



**Análisis por desempeño de estructuras de hormigón armado con mampostería reforzada  
(enchape) para edificaciones de mediana altura**

Herrera Quishpe, Melisa Natalia

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Maestría de Investigación en Ingeniería Civil

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Magíster en Ingeniería Civil Mención

Estructuras

MSc. Ing. Díaz Mendoza, Sigifredo Décimo

22 de junio del 2023



## Tesis Ing Melisa

### INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

**Fecha de entrega:** 12-jun-2023 11:41p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2115003590

**Nombre del archivo:** 35124\_JUAN\_DAVID\_VILLARREAL\_ARMAS\_Tesis\_Ing\_Melisa\_7039733\_568267099.pdf (3.94M)

**Total de palabras:** 35892

**Total de caracteres:** 146318



Firmado electrónicamente por:  
SIGIFREDO DECIMO  
DIAZ MENDOZA

.....  
**Díaz Mendoza, Sigifredo Décimo**

**Director**

**C.C.:08000161630**



## Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

### Centro de Posgrados

#### Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, “**Análisis por desempeño de estructuras de hormigón armado con mampostería reforzada (enchape) para edificaciones de mediana altura**” fue realizado por la señorita **Herrera Quishpe, Melisa Natalia**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 22 de junio de 2023**



Firmado electrónicamente por:  
**SIGIFREDO DECIMO  
DÍAZ MENDOZA**

.....  
**Díaz Mendoza, Sigifredo Décimo**

**Director**

**C.C.:08000161630**



**Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología**

**Centro de Posgrados**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo **Herrera Quishpe, Melisa Natalia**, con cédula de ciudadanía n°1723139844, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “**Análisis por desempeño de estructuras de hormigón armado con mampostería reforzada (enchape) para edificaciones de mediana altura**” es de mí autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 22 de junio de 2023**



Firmado electrónicamente por:  
**MELISA NATALIA  
HERRERA QUISHPE**

.....  
**Herrera Quishpe, Melisa Natalia**

**C.C.: 1723139844**



## Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

### Centro de Posgrados

### Autorización de Publicación

Yo **Herrera Quishpe, Melisa Natalia**, con cédula de ciudadanía n°1723139844, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Análisis por desempeño de estructuras de hormigón armado con mampostería reforzada (enchape) para edificaciones de mediana altura”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 22 de junio de 2023



Firmado electrónicamente por:  
**MELISA NATALIA  
HERRERA QUISHPE**

.....  
**Herrera Quishpe, Melisa Natalia**

**C.C.: 1723139844**

## **Dedicatoria**

A mis padres Gandy y Susy que los amo mucho.

## Agradecimiento

Primero agradezco a mi Dios por todas las bendiciones que me da, pero sobre todo por haberme regalado unos padres maravillosos.

Un fuerte agradecimiento a mis padres Gandy y Susy, por su apoyo incondicional en cada paso que doy, por estar siempre pendientes de mí, cuidándome, amándome y rezando por mí.

A mi hermano Felipe mi cuñada Naty y mis sobrinos Benja y Maxi que, aunque están lejos siempre me envían fuerzas.

A Christian por siempre brindarme su apoyo, su tiempo y compañía, por animarme, tener paciencia conmigo y darme valiosos consejos, muchas gracias por impulsarme a ser mejor cada día.

Mi más sincero agradecimiento a los ingenieros Sigifredo Díaz y Diego Sosa por su colaboración y guía durante el desarrollo de esta investigación, gracias por el tiempo que me brindaron y las enseñanzas que me han dado.

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

Resumen .....	21
Abstract.....	22
Capítulo I .....	23
Introducción .....	23
Antecedentes .....	23
Terminología .....	26
Construcción informal .....	26
Pórticos de hormigón armado .....	27
Mampostería como relleno de pórticos de hormigón.....	27
Enchape .....	27
Evaluación por desempeño.....	27
Objetivos .....	28
Objetivo General.....	28
Objetivos Específicos.....	28
Alcance .....	29
Generalidades .....	29
Enchape como sistema de reforzamiento .....	29
Ingeniería sísmica basada en desempeño (ISBD) .....	38



	9
Metodología .....	44
Capítulo II .....	45
Modelación del enchape .....	45
Revisión ensayos experimentales existentes.....	45
Curva de capacidad teórica .....	51
Momento-Curvatura .....	51
Curva de Capacidad .....	57
Calibración de modelos .....	59
Definición de Materiales.....	60
Definición de Elementos .....	67
Análisis Pushover .....	68
Segunda Calibración.....	69
Puntos críticos que presenta el enchape .....	70
Capítulo III .....	72
Descripción de las estructuras .....	72
Descripción de edificios.....	72
Materiales .....	76
Geometría y armado de secciones .....	76
Cargas gravitacionales.....	81
Tipo de suelo .....	82

	10
Descripción de modelo no lineal .....	82
Definición de materiales.....	82
Definición de elementos.....	83
Definición de cargas gravitacionales .....	86
Modelos Estructurales .....	86
Descripción de la amenaza .....	88
Objetivos de desempeño .....	88
Escenarios sísmicos .....	88
Capítulo IV .....	90
Estudios Analíticos.....	90
Método de análisis.....	90
Desplazamiento Objetivo .....	90
Evaluación del desempeño .....	92
Estructuras de 2 pisos .....	97
Curvas de capacidad y desplazamiento objetivo.....	97
Análisis de resultados .....	99
Estructuras de 4 pisos .....	110
Curvas de capacidad y desplazamiento objetivo.....	110
Análisis de resultados .....	112
Estructuras de 6 pisos .....	124

	11
Curvas de capacidad y desplazamiento objetivo.....	124
Análisis de Resultados.....	125
Estructuras de 8 pisos.....	137
Curvas de capacidad y desplazamiento objetivo.....	137
Análisis de Resultados.....	139
Capítulo V.....	152
Conclusiones y recomendaciones.....	152
Conclusiones.....	152
Recomendaciones.....	155
Bibliografía.....	157
Apéndices.....	163

## Índice de tablas

Tabla 1 Número de estructuras a analizar.....	29
Tabla 2 Niveles de desempeño de acuerdo con SEAOC Vision 2000 Committee, 1995. ....	40
Tabla 3 Niveles de amenaza probabilística (FEMA-273, 1997) .....	42
Tabla 4 Propiedades mecánicas de los materiales .....	47
Tabla 5 Deformaciones unitarias del acero .....	51
Tabla 6 Cálculo de la longitud de la rótula plástica.....	58
Tabla 7 Propiedades mecánicas del hormigón.....	62
Tabla 8 Propiedades mecánicas del acero.....	66
Tabla 9 Criterios de desempeño materiales .....	71
Tabla 10 Porcentaje de paredes enchapadas por planta – 2 Pisos .....	75
Tabla 11 Porcentaje de paredes enchapadas por planta – 4 Pisos .....	75
Tabla 12 Porcentaje de paredes enchapadas por planta – 6 Pisos .....	75
Tabla 13 Porcentaje de paredes enchapadas por planta – 8 Pisos .....	76
Tabla 14 Peso losa alivianada .....	81
Tabla 15 Peso mampostería con bloque de 40x20x20cm .....	81
Tabla 16 Definición de cargas gravitacionales .....	81
Tabla 17 Propiedades mecánicas del hormigón.....	82
Tabla 18 Propiedades mecánicas del acero.....	83
Tabla 19 Longitud de rótula plástica para muros de edificios de 2 y 4 pisos .....	83
Tabla 20 Longitud de rótula plástica para muros de edificios de 6 pisos .....	84
Tabla 21 Longitud de rótula plástica para muros de edificios de 8 pisos .....	84
Tabla 22 Longitud de rótulas plásticas - columnas.....	85
Tabla 23 Cargas gravitacionales asignadas.....	86

	13
Tabla 24 Clasificación de tipo de muros.....	93
Tabla 25 Límites de deformación de los materiales .....	96
Tabla 26 Desplazamientos objetivos - 2 Pisos .....	99
Tabla 27 Relación de capacidad estructuras – 2 Pisos .....	99
Tabla 28 Clasificación del tipo de muro de la Configuración E1– 2 Pisos.....	100
Tabla 29 Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E1- 2 Pisos .....	100
Tabla 30 Revisión de muros a corte de la Configuración E1 – 2 Pisos.....	101
Tabla 31 Revisión de columnas a corte de la Configuración E1 – 2 Pisos .....	101
Tabla 32 Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E1 – 2 Pisos .....	101
Tabla 33 Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E1 - 2 Pisos.....	101
Tabla 34 Clasificación del tipo de muro de la Configuración E2– 2 Pisos.....	102
Tabla 35 Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E2- 2 Pisos .....	102
Tabla 36 Revisión de muros a corte de la Configuración E2 – 2 Pisos.....	103
Tabla 37 Revisión de columnas a corte de la Configuración E2 – 2 Pisos .....	103
Tabla 38 Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E2 – 2 Pisos.....	104
Tabla 39 Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E2 - 2 Pisos.....	104
Tabla 40 Clasificación del tipo de muro de la Configuración E3– 2 Pisos.....	105
Tabla 41 Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E3- 2 Pisos .....	105
Tabla 42 Revisión de muros a corte de la Configuración E3 – 2 Pisos.....	106
Tabla 43 Revisión de columnas a corte de la Configuración E3 – 2 Pisos .....	106

	14
Tabla 44 Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E3 – 2 Pisos.....	107
Tabla 45 Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E3 - 2 Pisos.....	107
Tabla 46 Resumen evaluación por deformaciones Configuración E1- 2Pisos.....	108
Tabla 47 Nivel de desempeño alcanzado Configuración E1- 2 Pisos.....	108
Tabla 48 Resumen evaluación por deformaciones Configuración E2- 2Pisos.....	108
Tabla 49 Nivel de desempeño alcanzado Configuración E2- 2 Pisos.....	109
Tabla 50 Resumen evaluación por deformaciones Configuración E3- 2Pisos.....	109
Tabla 51 Nivel de desempeño alcanzado Configuración E3- 2 Pisos.....	109
Tabla 52 Desplazamientos objetivos - 4 Pisos.....	112
Tabla 53 Relación de capacidad estructuras – 4 Pisos.....	112
Tabla 54 Clasificación del tipo de muro de la Configuración E1– 4 Pisos.....	113
Tabla 55 Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E1- 4 Pisos.....	113
Tabla 56 Revisión de muros a corte de la Configuración E1 – 4 Pisos.....	114
Tabla 57 Revisión de columnas a corte de la Configuración E1 – 4 Pisos.....	114
Tabla 58 Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E1 – 4 Pisos.....	114
Tabla 59 Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E1 - 4 Pisos.....	115
Tabla 60 Clasificación del tipo de muro de la Configuración E2– 4 Pisos.....	115
Tabla 61 Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E2- 4 Pisos.....	116
Tabla 62 Revisión de muros a corte de la Configuración E2 – 4 Pisos.....	116
Tabla 63 Revisión de columnas a corte de la Configuración E2 – 4 Pisos.....	117

	15
Tabla 64 Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E2 – 4 Pisos.....	117
Tabla 65 Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E2 - 4 Pisos.....	118
Tabla 66 Clasificación del tipo de muro de la Configuración E3– 4 Pisos.....	118
Tabla 67 Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E3- 4 Pisos .....	119
Tabla 68 Revisión de muros a corte de la Configuración E3 – 4 Pisos.....	119
Tabla 69 Revisión de columnas a corte de la Configuración E3 – 4 Pisos .....	120
Tabla 70 Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E3 – 4 Pisos.....	120
Tabla 71 Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E3 - 4 Pisos.....	121
Tabla 72 Resumen evaluación por deformaciones Configuración E1- 4Pisos.....	121
Tabla 73 Nivel de desempeño alcanzado Configuración E1- 4 Pisos.....	122
Tabla 74 Resumen evaluación por deformaciones Configuración E2- 4Pisos.....	122
Tabla 75 Nivel de desempeño alcanzado Configuración E2- 4 Pisos.....	122
Tabla 76 Resumen evaluación por deformaciones Configuración E3- 4Pisos.....	122
Tabla 77 Nivel de desempeño alcanzado Configuración E3- 4 Pisos.....	123
Tabla 78 Curvas de capacidad y desplazamientos objetivos – 6 pisos .....	124
Tabla 79 Desplazamientos objetivos- 6 Pisos .....	125
Tabla 80 Relación de capacidad estructuras – 6 Pisos .....	125
Tabla 81 Clasificación del tipo de muro de la Configuración E1– 6 Pisos.....	126
Tabla 82 Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E1- 6 Pisos .....	126
Tabla 83 Revisión de muros a corte de la Configuración E1 – 6 Pisos.....	127

	16
Tabla 84 Revisión de columnas a corte de la Configuración E1 – 6 Pisos .....	127
Tabla 85 Clasificación del tipo de muro de la Configuración E2– 6 Pisos.....	128
Tabla 86 Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E2- 6 Pisos .....	128
Tabla 87 Revisión de muros a corte de la Configuración E2 – 6 Pisos.....	128
Tabla 88 Revisión de columnas a corte de la Configuración E2 – 6 Pisos .....	129
Tabla 89 Clasificación del tipo de muro de la Configuración E3– 6 Pisos.....	130
Tabla 90 Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E3- 6 Pisos .....	130
Tabla 91 Revisión de muros a corte de la Configuración E3 – 6 Pisos.....	131
Tabla 92 Revisión de columnas a corte de la Configuración E3 – 6 Pisos .....	131
Tabla 93 Porcentaje de paredes enchapadas configuración E4 -6 Pisos .....	133
Tabla 94 Desplazamientos objetivos configuración E4 - 6 Pisos.....	134
Tabla 95 Relación de capacidad configuración E4 – 6 Pisos .....	134
Tabla 96 Clasificación del tipo de muro de la Configuración E4 – 6 Pisos.....	134
Tabla 97 Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E4- 6 Pisos .....	134
Tabla 98 Revisión de muros a corte de la Configuración E4 – 6 Pisos.....	135
Tabla 99 Revisión de columnas a corte de la Configuración E4 – 6 Pisos .....	135
Tabla 100 Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E4 – 6 Pisos.....	135
Tabla 101 Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E4 -6 Pisos.....	136
Tabla 102 Resumen evaluación por deformaciones Configuración E4 - 6Pisos.....	136
Tabla 103 Nivel de desempeño alcanzado Configuración E4- 6 Pisos.....	137
Tabla 104 Desplazamientos objetivos- 8 Pisos .....	139
Tabla 105 Relación de capacidad estructuras – 8 Pisos .....	139



	17
Tabla 106 Clasificación del tipo de muro de la Configuración E1– 8 Pisos.....	140
Tabla 107 Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E1- 8 Pisos .....	140
Tabla 108 Revisión de muros a corte de la Configuración E1 – 8 Pisos.....	141
Tabla 109 Revisión de columnas a corte de la Configuración E1 – 8Pisos .....	141
Tabla 110 Clasificación del tipo de muro de la Configuración E2– 8 Pisos.....	142
Tabla 111 Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E2- 8 Pisos .....	142
Tabla 112 Revisión de muros a corte de la Configuración E2 – 8 Pisos.....	142
Tabla 113 Revisión de columnas a corte de la Configuración E2 – 8 Pisos .....	143
Tabla 114 Clasificación del tipo de muro de la Configuración E3– 8 Pisos.....	144
Tabla 115 Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E3- 8 Pisos .....	144
Tabla 116 Revisión de muros a corte de la Configuración E3 – 8 Pisos.....	145
Tabla 117 Revisión de columnas a corte de la Configuración E3 – 8 Pisos .....	145
Tabla 118 Porcentaje de paredes enchapadas configuración E4 -8 Pisos .....	147
Tabla 119 Desplazamientos objetivos configuración E4 - 8 Pisos .....	147
Tabla 120 Relación de capacidad configuración E4 – 8 Pisos .....	147
Tabla 121 Clasificación del tipo de muro de la Configuración E4 – 8 Pisos.....	148
Tabla 122 Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E4- 8 Pisos .....	148
Tabla 123 Revisión de muros a corte de la Configuración E4 – 8 Pisos.....	148
Tabla 124 Revisión de columnas a corte de la Configuración E4 – 8 Pisos .....	149
Tabla 125 Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E4 – 8 Pisos.....	149
Tabla 126 Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E4 -8 Pisos.....	149
Tabla 127 Resumen evaluación por deformaciones Configuración E4 - 8Pisos.....	150
Tabla 128 Nivel de desempeño alcanzado Configuración E4- 8 Pisos.....	150

## Índice de figuras

Figura 1 Mapa de vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito.....	24
Figura 2 Proceso de reforzamiento con enchape .....	30
Figura 3 Detalle de conectores .....	31
Figura 4 Detalle del armado de enchape en vanos con y sin aberturas.....	33
Figura 5 Comparación de curvas envolventes, muro simple, muro con daño previo reforzado, muro reforzado.....	36
Figura 6 Descripción de los estados de daño y niveles de desempeño (SEAOC Vision 2000 Committee, 1995) .....	41
Figura 7 Matriz de objetivos de desempeño.....	42
Figura 8 Detalle de secciones del muro .....	45
Figura 9 Detalle de armado del muro .....	46
Figura 10 Protocolo de carga - Panel reforzado.....	47
Figura 11 Progreso de daño - Panel reforzado con enchape .....	48
Figura 12 Curvas de capacidad envolventes de los modelos ensayados.....	49
Figura 13 Panel reforzado con enchape en los últimos ciclos de carga. ....	50
Figura 14 Curvas esfuerzo deformación del acero de refuerzo y malla electrosoldada. ....	52
Figura 15 Análisis de contribución de la mampostería .....	53
Figura 16 Diagramas de deformaciones y esfuerzos de la sección a) caso de fluencia, longitud de equilibrio dentro del alma de la sección; b) caso para control de daño, longitud de equilibrio dentro de la columna.....	54
Figura 17 Diagrama Momento- Curvatura de la sección .....	55
Figura 18 Curva bilineal del diagrama Momento-Curvatura .....	56
Figura 19 Curva bilineal del diagrama momento curvatura .....	57

	19
Figura 20 Obtención de desplazamiento a partir de la distribución de curvaturas .....	57
Figura 21 Determinación longitud de la rótula plástica. ....	58
Figura 22 Curva de capacidad del muro.....	59
Figura 23 Gráfico Esfuerzo vs. Deformación del hormigón confinado propuesto por Mander (1988) .....	60
Figura 24 Detalle del modelo de Mander en el programa SeismoStruct .....	63
Figura 25 Modelo del acero de Menegotto y Pinto, (1973) .....	64
Figura 26 Detalle del modelo de Menegotto y Pinto en el programa SeismoStruct .....	66
Figura 27 Detalle discretización de sección por fibras.....	67
Figura 28 Modelo del muro enchapado en el programa SeismoStruct. ....	68
Figura 29 Comparación de curvas de capacidad .....	68
Figura 30 Modelo del muro enchapado en el programa SeismoStruct, considerando nodos intermedios. ....	69
Figura 31 Comparación de curvas de capacidad .....	70
Figura 32 Puntos críticos de muro reforzado con enchape .....	71
Figura 33 Planta base de estructuras.....	73
Figura 34 Configuración de paredes enchapadas E-1.....	73
Figura 35 Configuración de paredes enchapadas E-2.....	74
Figura 36 Configuración de paredes enchapadas E-2.....	74
Figura 37 Detalle de losa alivianada .....	77
Figura 38 Dimensión y armado de vigas .....	77
Figura 39 Sección y armado de columnas de acuerdo con el número de pisos .....	78
Figura 40 Sección de enchape.....	79
Figura 41 Armado del enchape .....	79
Figura 42 Detalle de conectores .....	80

	20
Figura 43 Detalle de grapas o vinchas de enchape.....	80
Figura 44 Determinación longitud de la rótula plástica- columnas.....	85
Figura 45 Modelos estructuras de 2 pisos.....	86
Figura 46 Modelos estructuras de 4 pisos.....	87
Figura 47 Modelos estructuras de 6 pisos.....	87
Figura 48 Modelos estructuras de 6 pisos.....	87
Figura 49 Objetivos de desempeño.....	88
Figura 50 Espectro de diseño para un periodo de retorno de 475 años .....	89
Figura 51 Espectros utilizados .....	89
Figura 52 Curva bilineal idealizada fuerza- deformación .....	92
Figura 53 Niveles de desempeño.....	96
Figura 54 Deformación última del hormigón.....	97
Figura 55 Curvas de capacidad y desplazamientos objetivos – 2 pisos .....	98
Figura 56 Comparación de curvas de capacidad para las diferentes configuraciones - 2 Pisos	99
Figura 57 Curvas de capacidad y desplazamientos objetivos – 4 pisos .....	111
Figura 58 Comparación de curvas de capacidad para las diferentes configuraciones - 4 Pisos .....	112
Figura 59 Comparación de curvas de capacidad para las diferentes configuraciones - 6 Pisos .....	125
Figura 60 Configuración de paredes enchapadas E-4.....	133
Figura 61 Curvas de capacidad y desplazamientos objetivos configuración E4 – 6 Pisos.....	133
Figura 62 Curvas de capacidad y desplazamientos objetivos – 8 Pisos.....	138
Figura 63 Comparación de curvas de capacidad para las diferentes configuraciones - 8 Pisos .....	139
Figura 64 Curvas de capacidad y desplazamientos objetivos configuración E4 – 8 Pisos.....	147

## Resumen

En el Ecuador existe un porcentaje muy alto de estructuras construidas de manera informal que son vulnerables frente a eventos sísmicos. Estas estructuras requieren ser reforzadas utilizando metodologías eficientes y económicas. Una de las alternativas es el reforzamiento de estructuras con el uso de enchapes.

En la presente investigación se evaluó el desempeño sísmico de edificios de mediana altura con pórticos de hormigón armado y mampostería de relleno reforzados con el sistema de enchape. La muestra de estudio comprendió tipologías de estructuras de 2, 4, 6 y 8 pisos con y sin reforzamiento; se presentaron 3 configuraciones con diferentes porcentajes de paredes enchapas por planta y por sentido de análisis.

Como punto de partida se revisaron estudios experimentales realizados en muros de hormigón armado reforzados con el sistema de enchape. Seguidamente se calibraron modelos matemáticos con la respuesta momento curvatura de la sección.

Para el estudio del desempeño de las estructuras, se definieron objetivos de desempeño que garanticen un desempeño adecuado de estructuras reforzadas. Se utilizaron procedimientos estáticos no lineales para obtener las curvas de capacidad de las estructuras, así como los desplazamientos objetivos. Posteriormente para cada desplazamiento objetivo se realizó un levantamiento detallado de los elementos estructurales para evaluar su desempeño ante corte y límites de deformaciones de los materiales.

Finalmente se presenta el porcentaje óptimo de paredes reforzadas para cada nivel de las estructuras, así como conclusiones y recomendaciones que se generaron en el desarrollo de la presente investigación.

*Palabras clave:* reforzamiento, enchape de muros, mampostería reforzada, SeismoStruct.

### Abstract

In Ecuador there is a large percentage of structures built informally that are vulnerable to seismic events. These structures need to be reinforced using efficient and economical methodologies. One of the alternatives is the reinforcement of structures with mortar walls. In the present investigation, the seismic performance of reinforced concrete (RC) moment frame medium-rise buildings retrofitted with mortar walls reinforced with steel wire mesh, was evaluated. The study sample included types of structures of 2, 4, 6 and 8 floors with and without reinforcement, 3 configurations were presented with different percentages of mortar walls reinforced with steel wire mesh per floor and by direction of analysis. As a starting point, experimental studies carried out on RC walls retrofitted with mortar and steel wire mesh were reviewed. Next, mathematical models were calibrated with the curvature moment response of the section. For the study of the performance of the structures, performance objectives were defined that guaranteed adequate performance of reinforced structures. Nonlinear static procedures were used to obtain the capacity curves of the structures, as well as target displacements. Subsequently, for each target displacement, a detailed survey of the structural elements was carried out to evaluate their performance for shear and limits of deformation of the materials. Finally, the optimal percentage of reinforced walls for each level of the structures is presented, as well as conclusions and recommendations that were generated in the development of this investigation.

*Keywords:* reinforcement, retrofitted walls, reinforced masonry, SeismoStruct.

## Capítulo I

### Introducción

#### Antecedentes

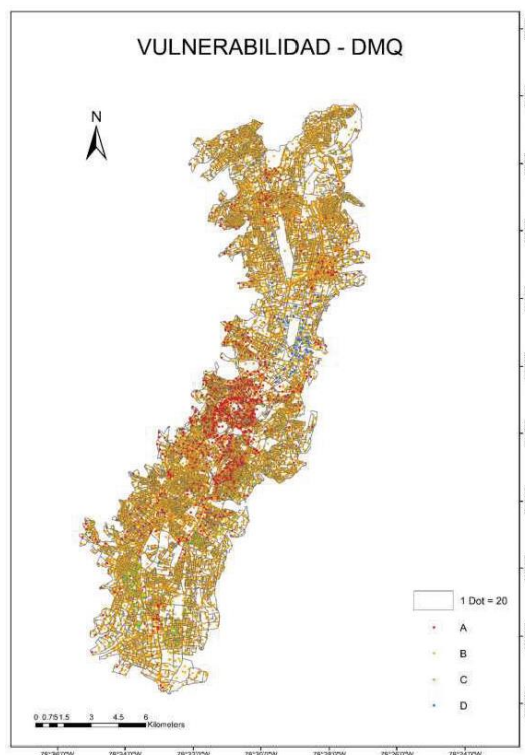
Los pórticos de hormigón armado con mampostería de relleno han sido empleados comúnmente en Ecuador y varios países del mundo con alta sismicidad, como principal sistema constructivo debido a que es un sistema económico, flexible y que permite una mejor distribución de espacios libres. Sin embargo, es un sistema que requiere un amplio conocimiento del comportamiento para tener un buen diseño y evitar fallas estructurales (Crisafulli, 1997). Además, se ha visto la importancia de tener un buen control en obra ya que los detalles estructurales permiten al sistema desarrollar ductilidad (Placencia, 2020).

El uso de pórticos de hormigón armado con mampostería de relleno en estructuras de baja y mediana altura se ha desarrollado desde inicios de este siglo (Crisafulli, 1997), sin embargo, en Ecuador el uso de códigos de construcción y controles municipales no era común hasta hace pocos años por lo cual, se puede decir que un gran número de estructuras no tienen un diseño ingenieril. Con el paso de los años se han ido implantando normas de construcción como fueron el Código Ecuatoriano de Construcción en el año 2000 (CEC 2000) y más reciente la Norma Ecuatoriana de Construcción del año 2015 (NEC -15), no obstante, la falta de conocimiento y la situación económica del país orilla a que personas construyan sus viviendas de manera informal, es decir sin estudios ingenieriles y sin un control técnico y de calidad. Además, una ausencia de control por parte de las autoridades ha permitido que se realicen construcciones en zonas como quebradas y laderas, o que se realicen ampliaciones sin necesidad de estudios ni guías técnicas.

En 2015 se inició un levantamiento en más de diez mil estructuras en Quito como parte del proyecto *Modelo de Exposición y Curvas de Fragilidad de Edificaciones Residenciales de la Ciudad de Quito*, realizado por la Fundación Global Earthquake Model (GEM) y la Escuela Politécnica Nacional (EPN), con el fin de identificar tipologías constructivas y obtener un mapa de la ciudad de Quito donde se definan zonas y niveles de vulnerabilidad. Los resultados mostraron que alrededor del 80 % de las edificaciones tiene un sistema de pórticos de hormigón armado con mampostería de relleno no dúctiles, por otro lado, de acuerdo al mapa de vulnerabilidad la mayoría de las estructuras están clasificadas con vulnerabilidad clase B correspondientes a pórticos de hormigón armado y mampostería que tienen una vulnerabilidad alta. Esto se debe también, a los bajos recursos económicos de la sociedad que influye en la mala construcción y uso de materiales de baja calidad (Chicaiza, 2017).

### Figura 1

*Mapa de vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito*





Nota: Tomado de *Modelo de exposición y mapa de vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito*, por Chicaiza, 2017, Escuela Politécnica Nacional.

En un primer estudio de las curvas de fragilidad de este proyecto, Celi et al., 2018 tomaron una muestra de cuatro tipologías entre ellas: edificaciones de un piso, edificaciones de dos y tres pisos con irregularidad en planta, edificaciones de dos y tres pisos con forma regular y edificaciones de cuatro a seis pisos con forma regular y determinaron que independiente la tipología de estudio el comportamiento de las distintas estructuras presenta una falla frágil en base de columnas una vez que las mamposterías colapsan ante sollicitación sísmica y el resultado más alarmante fue que para un escenario sísmico de 475 años de periodo de retorno amplificado por un suelo tipo C, más del 80% de los modelos no alcanzan una demanda sísmica.

Además de la problemática de vulnerabilidad estructural que existe en el país, se debe mencionar que, el Ecuador es un país con alta sismicidad debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico, donde se conoce se libera el 85% de la energía sísmica que libera el planeta en forma de terremotos. Principalmente la fuente de generación de sismos es la subducción de la Placa Nazca bajo la Placa Sudamericana pero además, el país cuenta con un complejo sistema de fallas superficiales que produce sismos importantes en todo el territorio ecuatoriano(Yépez, 2001).

Para ver la gran sismicidad del país se recuerda que Ecuador ha sido escenario de varios sismos que han dejado destrucción y pérdidas a su paso, entre los sismos más importantes se tiene el sismo de 1906 en Esmeraldas que por su magnitud de 8.8 es uno de los terremotos que mayor energía han liberado en el mundo, en 1942 el sismo de Jama de magnitud 7.8, en 1998 el sismo de Bahía de Caráquez de magnitud 7.2 y recientemente el

sismo de Pedernales en 2016 con una magnitud de 7.8. Por mencionar otros sismos se tiene los sismos al norte de Esmeraldas en 1958 de magnitud 7.7 y el sismo de Colombia-Ecuador de 1979 de magnitud 8.2 (Aguiar et al., 2018).

Al analizar las estructuras, se puede ver que estas desarrollan toda su capacidad para un primer evento sísmico (rigidez, resistencia y ductilidad), sin embargo, con el paso de eventos sísmicos estos tienden a degradarse lo que lleva a la importancia de reforzar las estructuras (Placencia, 2020; Pachano, 2018). No obstante, el problema cultural que se tiene en el país de no reforzar edificios es grande, un ejemplo de ello fueron las construcciones que se comportaron aparentemente bien durante el sismo de 1998 y no fueron reforzadas lo único que se realizó fue una reconstrucción a nivel de mampostería y durante el sismo de 2016 colapsaron (Aguiar et al., 2018).

El riesgo sísmico presente en el país es importante y es imprescindible buscar alternativas de reforzamiento que brinden una solución a la vulnerabilidad de las estructuras y sean una respuesta segura y económica para la sociedad.

## **Terminología**

### ***Construcción informal***

El término construcción informal se refiere a estructuras que han sido construidas sin el seguimiento de una norma o código constructivo por lo cual, no cuentan con un diseño ingenieril y no han tenido un control técnico y de calidad durante su construcción.

Por lo general para este tipo de construcción no se cuenta con estudios estructurales o geotécnicos, no existen planos aprobados ni licencias constructivas o en algunos casos cuentan con ello, pero realizan modificaciones o adiciones a lo aprobado.

### ***Pórticos de hormigón armado***

Los pórticos son un sistema constructivo que se conforma de elementos estructurales como columnas o pilares y vigas, estos se unen mediante conexiones rígidas las cuales permiten la transferencia de cargas axiales y momentos flectores desde las vigas hacia las columnas. Este sistema se caracteriza por ser muy flexible por lo cual, tiene periodos de vibración más largos lo que conlleva a mayores desplazamientos.

### ***Mampostería como relleno de pórticos de hormigón***

La mampostería como tal es un material compuesto, conformado por unidades de mampostería como bloques o ladrillos unidos por mortero.

El uso de mampostería como relleno de pórticos de hormigón armado en edificios de baja y mediana altura se ha visto aplicada tradicionalmente como separación de ambientes, sin embargo, la literatura confirma que los rellenos de mampostería aumentan la respuesta sísmica de los pórticos de hormigón armado en términos de resistencia, rigidez y capacidad de disipación de energía (Abrams, 1994; Baran y Sevil, 2010; Bertero y Brokken, 1983; Moretti, 2015; Pachano, 2018)

### ***Enchape***

El enchape es un sistema estructural y de reforzamiento utilizado en estructuras con pórticos y mampostería de relleno o bien en estructuras únicamente de mampostería. El sistema consiste en recubrir la mampostería con malla de acero mediante conectores y revestirla con hormigón de baja resistencia para que actúe como refuerzo.

### ***Evaluación por desempeño***

La ingeniería sísmica basada en desempeño (ISBD) es un proceso formal de diseño para nuevos edificios, rehabilitación sísmica de edificios existentes, que incluye una intención

específica de alcanzar objetivos de desempeño que relacionan la cantidad de daño que el edificio puede experimentar en respuesta a niveles de peligrosidad.

En esta metodología se expresan los niveles de desempeño en términos de una serie de niveles discretos de desempeño estructural (FEMA-273, 1997) conocidos como: nivel operacional, ocupación inmediata, seguridad de vida y prevención de colapso

De igual manera se expresan niveles de intensidad sísmica como: frecuente (72 años de periodo de retorno) con probabilidad de excedencia del 50% / 50 años, ocasional (225 años de periodo de retorno) con probabilidad de excedencia del 20% / 50 años, raro (474 años de periodo de retorno) con probabilidad de excedencia del 10% / 50 años y muy raro (2475 años de periodo de retorno) con probabilidad de excedencia de 2% / 50 años (FEMA-273, 1997).

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Analizar el desempeño de edificios de hasta ocho pisos de altura de hormigón armado con mampostería reforzada - enchape.

### ***Objetivos Específicos***

- Calibrar modelos analíticos con resultados experimentales de pórticos de hormigón armado reforzados con enchape sometidos a carga lateral cíclica.
- Revisar analíticamente el desempeño del enchape en edificios de hasta ocho pisos, mediante modelación estático no lineal.
- Definir la relación área de muros reforzados con enchape y el área total de la estructura.
- Establecer recomendaciones para el adecuado uso del reforzamiento con enchape y cuando llevarlo a cabo.

## Alcance

Este estudio pretende determinar el desempeño de estructuras de hormigón armado con mampostería de relleno reforzadas con el sistema de enchape, en edificaciones de mediana altura. En la presente investigación se considerará los criterios de la primera generación de Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño (análisis de daños físicos).

Para el análisis se utilizarán procedimientos estáticos no lineales, y se tomarán 12 estructuras regulares en elevación y en planta, de uso residencial con libertad en sus cuatro lados, es decir sin adosamientos. Las variables para contemplar incluyen el número de pisos (2, 4, 6 y 8 pisos de altura) y la configuración en planta de las paredes enchapadas (3).

### Tabla 1

*Número de estructuras a analizar*

Número de Pisos	Número de Edificaciones	Porcentaje de Paredes
2	3	Porcentaje 1
		Porcentaje 2
		Porcentaje 3
4	3	Porcentaje 1
		Porcentaje 2
		Porcentaje 3
6	3	Porcentaje 1
		Porcentaje 2
		Porcentaje 3
8	3	Porcentaje 1
		Porcentaje 2
		Porcentaje 3
<b>Total</b>	<b>12</b>	

## Generalidades

### *Enchape como sistema de reforzamiento*

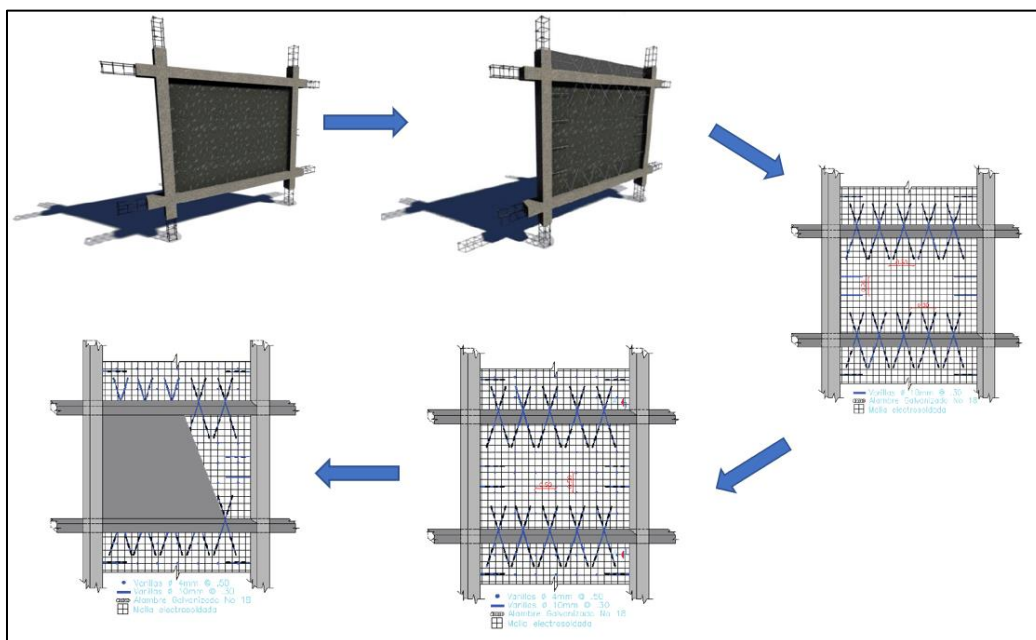
El reforzamiento con enchape cambia el sistema resistente de la estructura de pórticos con mampostería de relleno a un sistema de muros portantes. Para ello se une el pórtico a la mampostería para que trabaje de forma monolítica.

Como reforzamiento el enchape se lo puede realizar en una o dos caras de la mampostería dependiendo si la estructura se encuentra libre o adosada a otras estructuras. De ser posible se buscará que tenga continuidad en altura y vanos para lograr un mejor comportamiento.

### Proceso de reforzamiento con enchape

**Figura 2**

*Proceso de reforzamiento con enchape*



*Nota: Tomado de Diagnóstico y propuesta de reforzamiento estructurales de una edificación representativa en el barrio A tucucho, de Quito, por Aguilar & Lumbi, 2014, Escuela Politécnica Nacional.*

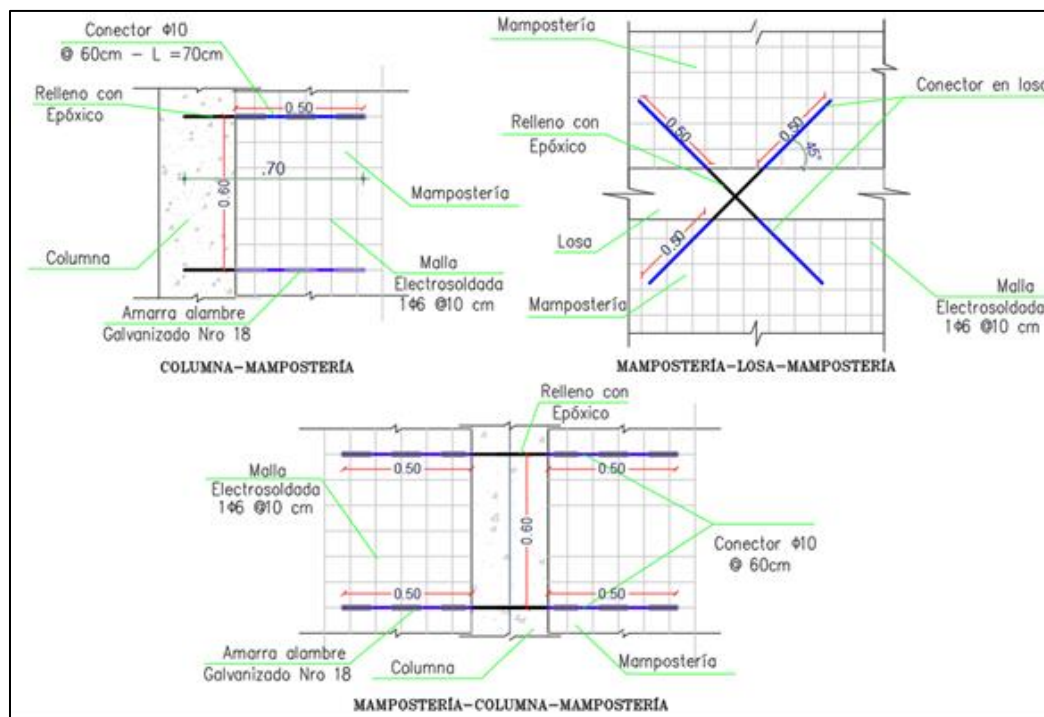
Como primer paso se debe preparar la superficie a enchapar, para ello se retira pintura y estucado con la ayuda de herramienta menor, posteriormente se pica el enlucido con una punta (de forma arbitraria), con el fin de obtener una superficie rugosa y lograr una mejor adherencia con el mortero del enchape.

Posteriormente para conectar la mampostería con el pórtico se realizan perforaciones de media pulgada en columnas y losas para colocar chicotes. En el caso de columnas se realiza perforaciones horizontales cada 40 o 60 cm con una profundidad mínima de 20 cm, mientras que para las losas se realizan perforaciones inclinadas con un ángulo de  $45^\circ$  cada 60 cm atravesando el elemento para permitir una continuidad con pisos superiores. Los chicotes tendrán una longitud igual a la profundidad de perforación más una extensión de 50 o 60 cm a cada lado, para su colocación se debe utilizar epóxico que permita su adherencia con el hormigón existente.

En caso de tener el mismo ancho de mampostería y columna los chicotes se realizarán en forma de U para que abracen la columna y mampostería.

### Figura 3

#### Detalle de conectores



Nota: Tomado de *Análisis del reforzamiento de una estructura construida informalmente mediante el uso de enchapes*, por Herrera et al., 2022, Revista Gaceta Técnica.

Como tercer paso se debe realizar perforaciones de media pulgada de diámetro que atraviesen la mampostería, éstas se realizan cada 40 cm y a manera de zigzag a lo largo y alto de toda la pared. En caso de realizar el enchapado a una sola cara la profundidad de estas dependerá del ancho del bloque, pero se sugiere un mínimo de 10 cm. Estas perforaciones permitirán pasar las vinchas que amarrarán las mallas a la mampostería. Las vinchas tendrán una longitud equivalente al ancho de la mampostería (en caso de enchapado a dos caras) más una extensión de 30 cm a cada lado, para realizar el doblado y sujetar la malla.

Posteriormente se debe colocar la malla electrosoldada, esta debe cubrir la mampostería y el pórtico de ser posible. La malla se debe colocar a una distancia de la mampostería equivalente a la mitad del espesor de mortero que se vaya a colocar. En caso de que la malla no alcance a cubrir el área requerida se deberá realizar un traslape de acuerdo con lo mencionado en el ACI-318 (2014).

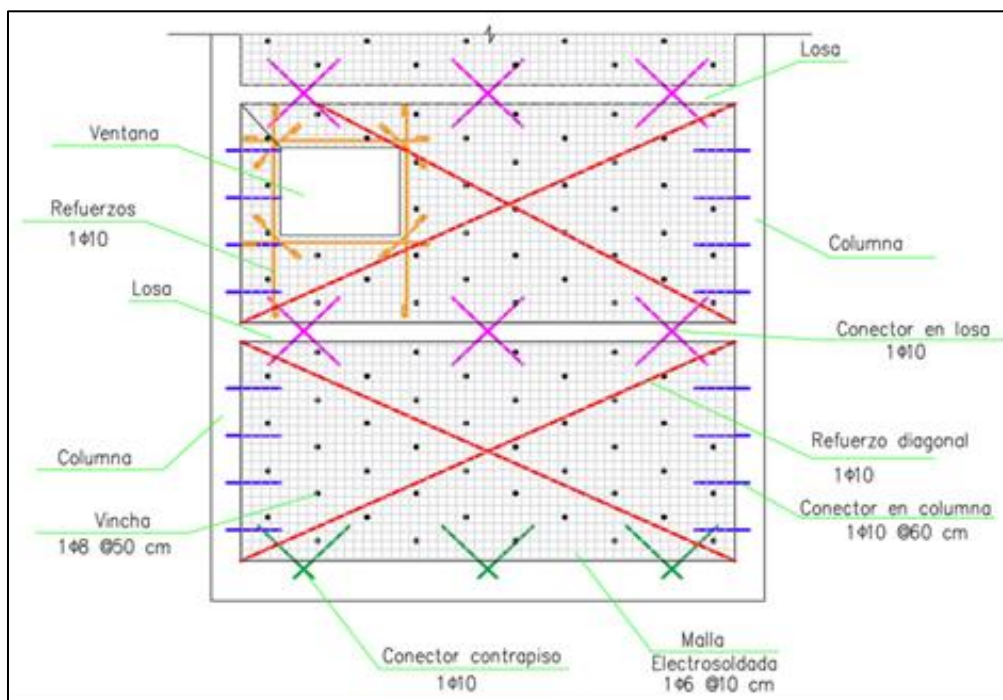
Se coloca un refuerzo adicional (varillas) en zonas de mayor concentración de esfuerzos, ejemplo las diagonales de la mampostería y bordes de ventanas o puertas.

Con la malla en su sitio se procede a colocar vinchas, chicotes y se procede a amarrar la malla con alambre galvanizado.



**Figura 4**

*Detalle del armado de enchape en vanos con y sin aberturas.*



Nota: Tomado de *Análisis del reforzamiento de una estructura construida informalmente mediante el uso de enchapes*, por Herrera et al., 2022, Revista Gaceta Técnica.

Finalmente se cubre todo con una capa mortero de baja resistencia del espesor requerido, se recomienda un mínimo de 3cm para poder cubrir el armado (y dobleces).

### **Investigaciones previas**

El enchape es un sistema que se ha venido usando hace algunos años en países de Latinoamérica como México, Argentina y Perú y han demostrado tener un gran comportamiento frente cargas laterales. Ruiz & Alcocer, (1998) afirman que “este método de rehabilitación, aplicado correctamente, permite aumentar la resistencia ante cargas lateral, incrementar la rigidez remanente, así como la capacidad de deformación y de disipación de energía”.

A continuación, se presenta algunas investigaciones realizadas internacionalmente aplicando el sistema de enchape:

- Bertero y Brokken (1983), estudiaron el comportamiento de paneles de hormigón armado con mampostería de relleno, en modelos a escala 1:3 de los 3 ½ primeros pórticos de un edificio de 11 pisos. Diferentes combinaciones de reforzamiento fueron probadas y concluyeron que, por razones económicas, de fácil construcción, propiedades mecánicas favorables y eficiencia en diferentes tipos de mampostería de relleno, la configuración más prometedora consistía en la mampostería reforzada a dos lados con malla electrosoldada recubierta con mortero.
- Alcocer et al., (1996), Quiun et al., (2005), evaluaron muros reforzados con malla electrosoldada con daño previo, sin daño previo y con mampostería simple (sin reforzamiento) y concluyen que el revestimiento de la pared con malla electrosoldada aumenta notablemente la resistencia a corte y la capacidad de deformación de las paredes, además la malla ayuda a los muros a soportar sismos moderados en el rango elástico y sismos severos con un comportamiento dúctil.
- Albarracin et al. (2014), buscaron disminuir la vulnerabilidad sísmica de estructuras construidas con adobe, mediante la aplicación de refuerzo con malla metálica y recubrimiento de mortero, para lo cual ensayaron prototipos a escala 1:2 con y sin reforzamiento y encontraron que el reforzamiento evitó el colapso de la estructura frente excitaciones dinámicas, mismas que resultaron de carácter destructivo en el modelo sin reforzar.
- Carrillo et al. (2015), realizaron un análisis comparativo en costos constructivos de tres sistemas estructurales usados comúnmente como son muros de mampostería

confinada, muros de hormigón reforzado con fibras de acero, y muros reforzados con malla electrosoldada. El estudio consistía en un análisis de presupuestos con sus respectivos precios unitarios y rubros para una vivienda de 2 pisos. Por último, determinaron que los sistemas de muros de concreto reforzado con fibras de acero o con malla electrosoldada eran más económicos que los sistemas de muros confinados.

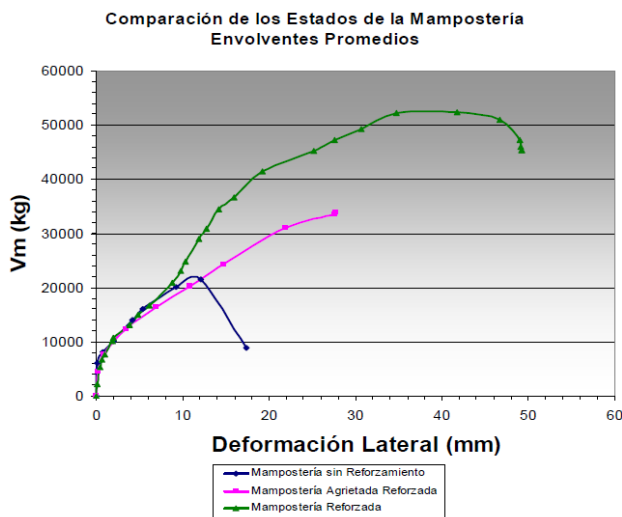
- Diaz et al., 2017, realizaron un programa experimental en el Centro Peruano Japonés De Investigaciones Sísmicas y Mitigación De Desastres (CISMID), el cual contemplaba 4 ensayos a carga cíclica en muros confinados de mampostería de ladrillo, con y sin reforzamiento de malla de acero y mortero de cemento, y evidenciaron mejoras en ductilidad y resistencia al reforzar los muros a dos caras. Con la base experimental realizaron simulaciones numéricas en viviendas de dos pisos para lo cual utilizaron cuatro registros sísmicos y una onda sintética, con un PGA promedio de 0.55g y concluyeron que la vivienda reforzada solo en un piso cumplía ampliamente con las derivas requeridas por la norma NTE E030-2016, mientras que la vivienda sin reforzar sobrepasaba el límite permitido. De igual manera Zavala, 2019, muestra 3 técnicas de reforzamiento de mampostería estudiadas en el CISMID: cubiertas con fibra, cruceta con malla y recubrimiento total con malla. Y concluye que, en el caso del muro con cobertura total con malla, se logra restituir la resistencia, la ductilidad y la rigidez.

En Ecuador en el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) de la EPN se ha venido investigando el sistema tanto experimental como analíticamente y se ha visto que este sistema presenta excelentes resultados en estructuras porticadas, así como de mampostería. A continuación, se presentan algunas de las investigaciones realizadas.

- Angulo & López (2008), estudiaron el comportamiento de muros de mampostería artesanal reforzados con el sistema de enchape, para ello evaluaron tres escenarios un muro de mampostería simple, un muro con daño previo reforzado, un muro sin daño previo reforzado y los resultados que obtuvieron muestran como el enchape incrementa la resistencia del muro con daño previo y mucho más cuando se tiene el reforzamiento desde un inicio, que al hacer un análisis costo beneficio es a un costo muy bajo.

### Figura 5

Comparación de curvas envolventes, muro simple, muro con daño previo reforzado, muro reforzado



Nota: Tomado de *Reforzamiento de mampostería de ladrillo artesanal*, por Angulo y López, 2008, Escuela Politécnica Nacional.

- Fernández & Paredes (2010), ensayaron a carga lateral un prototipo de vivienda de dos pisos de mampostería artesanal reforzada con malla electrosoldada, tomando las condiciones más pobres posibles, es decir una malla de diámetro bajo, mortero de baja resistencia, reforzando solo un lado de la mampostería y concluyeron que la

resistencia del sistema es más que suficiente ya que resistió más del 100% de su peso.

- Aguilar & Lumbi (2014), Borja & Torres (2015) , Cuasqui & Merizalde (2019), Estrada & Vivanco (2019), compararon algunas alternativas de reforzamiento para estructuras de hasta 4 pisos construidos de manera informal, con vulnerabilidad sísmica alta y concluyeron que el enchape de mampostería es efectivo pues rigidiza la estructura y alivia al pórtico, además representa una solución de reforzamiento a nivel de estructura y no a nivel de elementos como lo hacen otros reforzamientos, y considerando la relación costo – beneficio resulta ser la alternativa más óptima frente otros sistemas de reforzamiento como son encamisado de columnas y disipadores.
- Albuja & Pantoja (2017), estudiaron el enchape en muros de hormigón armado con panel de relleno y determinaron que una mampostería reforzada con el sistema de enchape resiste 2.9 veces más que un muro con mampostería simple y además una mampostería rehabilitada con este sistema es capaz de resistir 2 veces más que un muro con mampostería simple.
- Chávez & Gómez (2020), evaluaron el desempeño del reforzamiento de una estructura con enchape de paredes realizando análisis no lineales tipo push over y concluyeron que el enchape aumenta la capacidad de la estructura, incrementa el amortiguamiento en el punto de desempeño, alcanzando niveles de seguridad de vida.
- Mosquera & Rosero, (2021), evaluaron el reforzamiento de mampostería con la técnica del enchape, en sistemas mixtos de acero-hormigón, para lo cual compararon el comportamiento del pórtico vacío, pórtico con mampostería simple, y pórticos con mampostería reforzada con enchape, y concluyeron que reforzar este tipo de estructuras con enchape mejora las características de resistencia, rigidez y distribución

de grietas, reduciendo considerablemente la vulnerabilidad sísmica de este tipo de estructuras, especialmente en construcciones informales.

De acuerdo con los estudios revisados en muros y estructuras de baja altura, se puede ver que el enchape presenta grandes beneficios económicos y estructurales, sin embargo, su comportamiento en edificaciones de mediana altura aún no ha sido estudiado con gran detenimiento, por tal motivo, en esta investigación se espera ver el desempeño de este reforzamiento en edificios de hasta 8 pisos.

### ***Ingeniería sísmica basada en desempeño (ISBD)***

La Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño (ISBD) se originó a partir de las grandes pérdidas materiales y económicas que resultaron en eventos sísmicos severos, como los de México 1985, Loma Prieta 1989, Northridge 1994 y Kobe 1995, debido a un desempeño sísmico insatisfactorio de algunas estructuras diseñadas conforme a reglamentos de diseño sísmico actuales. Es así como, dado el nivel inesperado de pérdidas se formularon enfoques integrales de diseño sísmico, como el diseño por desempeño, que enfatiza la necesidad de un control explícito de la respuesta dinámica (Sánchez Badillo y Terán Gilmore, 2008).

De acuerdo con Fajfar y Krawinkler, 2004, “La ISBD implica el diseño, evaluación, construcción, monitoreo y mantenimiento de estructuras cuyo desempeño bajo cargas comunes y extremas responde a las necesidades y objetivos diversos de la sociedad.” Es una metodología que “busca mejorar la toma de decisiones sobre el riesgo sísmico a través de métodos de evaluación y diseño que son más transparentes, científicos, e informativos que los enfoques prescriptivos actuales” (Deierlein et al., 2003).

Con base en estos conceptos surgió la primera generación de la ISBD, misma que busca alcanzar objetivos de desempeño relacionados a los posibles daños físicos sobre los

componentes estructurales y no estructurales. El reporte del SEAOC Vision 2000 (1995) fue el documento donde por primera vez se definieron niveles de desempeño para diferentes niveles de intensidad. Y a partir de ahí se desarrollaron guías para evaluar y reforzar estructuras existentes, como el FEMA 273 (1997), FEMA 356 (2000), ATC 40 (1996), ASCE 41-06 (2007) que se basaban en estos niveles de desempeño e intensidad, pero que además plantean criterios de aceptación basados en deformaciones. Posteriormente vendría la segunda generación de la ISBD con la propuesta del PEER y FEMA P-58 donde se desarrolló una metodología actualizada que incluye aspectos como la cantidad de pérdidas económicas y de vidas humanas, inducidas por estos daños, así como la funcionalidad de la estructura posterior al sismo.

En ese sentido la ISBD tiene por objeto, el desarrollo de métodos que permitan concebir, diseñar, construir, y mantener edificaciones que sean capaces de exhibir un desempeño predecible, cuando son afectadas por sismos. De acuerdo con (Melone, 2002) el desempeño se cuantifica en términos de la cantidad de daño sufrido por un edificio afectado por un movimiento sísmico y el impacto que tienen estos daños en las actividades posteriores al evento sísmico.

### **Nivel de desempeño**

El nivel de desempeño describe un estado límite de daño en términos de los efectos de un sismo, sobre la capacidad de la estructura para realizar sus funciones. Como pueden ser: posibles daños físicos en la edificación; la amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la edificación (inducidos por estos daños físicos de la estructura); y la funcionalidad de la edificación posterior al terremoto.

Los daños estructurales y no estructurales se describen en formas discretas en términos de uno o varios índices de respuesta estructural, por lo general dadas por las respuestas máximas (pico) como, por ejemplo: desplazamiento máximo del techo, la deriva máxima entre pisos, y la aceleración máxima del piso (Uma, 2012).

De acuerdo con Visión 2000 hay 4 niveles de desempeño, mismos que se muestran en la tabla a continuación:

**Tabla 2**

*Niveles de desempeño de acuerdo con SEAOC Vision 2000 Committee, 1995.*

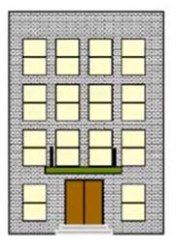
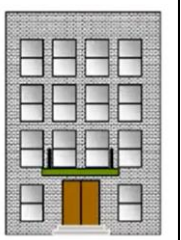
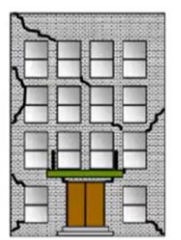
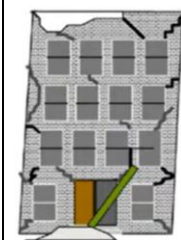

<b>A - Totalmente Operacional:</b>	Nivel de desempeño en el cual no ocurren esencialmente daños. La edificación permanece totalmente segura para sus ocupantes. Todo el contenido y los servicios de la edificación permanecen funcionales y disponibles para su uso. No se requieren reparaciones.
<b>B – Operacional:</b>	Nivel de desempeño en el cual ocurren daños moderados en elementos no estructurales y en el contenido de la edificación, e incluso algunos daños ligeros en elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la edificación. Ocupación inmediata después del sismo. Los daños en elementos no estructurales y contenido, puede interrumpir parcialmente algunas funciones. En general, se requieren algunas reparaciones menores.
<b>C – Seguridad:</b>	Nivel de desempeño en el cual ocurren daños moderados en elementos estructurales, no estructurales y en el contenido de la edificación. Degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema. Interrupción de servicios eléctricos, mecánicos y perturbación de las vías de escape de la edificación. Las instalaciones quedan fuera de servicios y el edificio probablemente requerirá reparaciones importantes.
<b>D - Pre-Colapso:</b>	Nivel de desempeño en el cual la degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema compromete la estabilidad de la estructura aproximándose al colapso estructural. Interrupción de servicios y vías de escape. La Edificación es completamente insegura para sus ocupantes y la extensión de las reparaciones pueden resultar no factible técnica o económicamente.

La siguiente figura resume algunas de las principales características asociadas a estos niveles de desempeño y su relación con los estados de daños.



**Figura 6**

Descripción de los estados de daño y niveles de desempeño (SEAOC Vision 2000 Committee, 1995)

					
Estado de daño	Despreciable	Ligero	Moderado	Severo	Completo
Nivel de desempeño	Totalmente operacional O	Operacional o de Ocupación Inmediata IO	Seguridad de Vida LS	Prevención de Colapso CP	Colapso C
Características principales	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando sus servicios y funciones después del sismo.	Agrietamientos en elementos estructurales. Los sistemas de seguridad y evacuación funcionan con normalidad. Edificio seguro para su reocupación	Daños moderados en algunos elementos. Pérdida de resistencia y rigidez del sistema resistente a cargas laterales. El sistema permanece funcional. El edificio puede necesitar ser evaluado	Daño severo en elementos estructurales. Fallo de elementos secundarios; no estructurales; con potencial riesgo para personas. Puede ser necesario demoler el edificio	Perdida parcial o total del soporte. Colapso parcial o total. No es posible la reparación.

### Objetivos de desempeño para estructuras existentes

Un objetivo de desempeño se define típicamente cuando un conjunto de niveles de desempeño se combina con diferentes intensidades de entrada sísmica. La selección de estos objetivos dependerá de varios factores como: la importancia de las funciones dentro de la estructura, seguridad de los ocupantes, costos económicos, importancia de la estructura (estructuras esenciales, básicas).

Las demandas sísmicas se encuentran en función de la ubicación del edificio con respecto a las características geológicas regionales y específicas del sitio, y los niveles de riesgo de movimiento del suelo seleccionados como objetivo de rehabilitación. Los niveles de amenaza pueden definirse sobre una base probabilística o determinista. Los niveles probabilísticos se definen en términos de la probabilidad de experimentar demandas más severas (probabilidad de excedencia) en un período de 50 años. Los niveles deterministas se

definen dentro de un nivel de confianza en términos de una magnitud específica de un evento en una falla en particular. (FEMA-273, 1997)

**Tabla 3**

*Niveles de amenaza probabilística (FEMA-273, 1997)*

Sismo	Periodo de retorno
Probabilidad de Excedencia	(años)
50% / 50 años	72
20% / 50 años	225
10% / 50 años	474
2% / 50 años	2475

Para rehabilitación de estructuras se tiene dos objetivos que se busca normalmente: tener un nivel de desempeño de seguridad de vida para un sismo de probabilidad de excedencia de 10% en 50 años, y un nivel de desempeño de prevención de colapso para un sismo de probabilidad de excedencia de 2% en 50 años, excepto para regiones cercanas a fallas activas.

**Figura 7**

*Matriz de objetivos de desempeño*

		Niveles de Desempeño Esperados en el Edificio			
		Nivel Operacional (1-A)	Nivel de Ocupación Inmediata (1-B)	Nivel de Seguridad de Vida (3-C)	Nivel de Prevención al Colapso (5-E)
NIVEL DE TERREMOTO	50% / 50 años	a	b	c	d
	20% / 50 años	e	f	g	h
	BSE-1 (10% / 50 años)	i	j	k	l
	BSE-2 (2% / 50 años)	m	n	o	p

1.- Cada celda en esta matriz representa un Objetivo de Rehabilitación discreto

2.- Los objetivos de rehabilitación de esta tabla pueden ser usados para representar los siguientes 3 objetivos de rehabilitación:

Objetivo Básico de Seguridad    **k y p**

Objetivos Avanzados            **k y m, n, o**  
**p e i ó j**  
**k y p y a, b, e, ó f**

Objetivos Limitados            **m, n, u ó sólo**  
**k sólo**  
**p sólo**  
**c, d, g, h, o l sólo**

*Nota:* Tomado de Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS, NEC-15, Ecuador

**Módulos que abarca la metodología**

**Amenaza Sísmica.** Definir las amenazas sísmicas, como los efectos de vibración del suelo, ruptura del suelo, licuefacción, desplazamiento lateral. Definidos según el tipo de evaluación (intensidad, escenario de tiempo).

Medida de Intensidad (IM): PGA, PGV, Sa, etc.

**Respuesta Estructural.** Análisis estructural para predecir la respuesta del edificio en unidades de demanda que se pueden relacionar con el desempeño de los elementos estructurales y no estructurales.

Parámetro de demanda Estructural (EDP): Deflexiones máximas, deriva máxima de piso, aceleraciones máximas, etc.

**Fragilidad de Colapso.** Función de probabilidad de alcanzar el colapso en función de la medida de intensidad sísmica. Existen distintas metodologías para derivar las funciones de fragilidad como IDA; HAZUZ / ATC 40; SPO2IDA

**Desempeño.** Calcular el desempeño de la estructura, para lo cual existen distintas metodologías PACT, Open Quake, Metodologías simplificadas

Medida de daño (DM): Estados de daño asociados a acciones específicas

Estimación de pérdidas: Variables de Decisión (DV) Pérdidas económicas, tiempo de inactividad, muertes, heridos.

A continuación, se describe la ecuación formulada por el PEER para poder tener un valor cuantitativo del desempeño.  $\lambda(DV) = \iiint G(DV|DM)|dG(DM|EDP)||dG(EDP|IM)||d\lambda(IM)$

### **Desempeño de estructuras de hormigón armado de mediana altura**

La filosofía de diseño sismo resistente establece que los edificios deben disipar energía. Si bien se puede encontrar pórticos de ductilidad alta, estos requieren un gran detalle de sus elementos y un riguroso control en obra.

En cuanto al desempeño de estas estructuras para edificaciones de mediana altura autores como Ugel Garrido, (2015); Ugel y Herrera, (2015) han visto que aun siguiendo la normativa en este tipo de estructuras el daño que se puede presentar para sismos moderados es muy alto.

### **Metodología**

A continuación, se describe brevemente la secuencia de la investigación:

- **Modelación del enchape:** para la presente investigación se partirá de una revisión de ensayos experimentales existentes en muros de hormigón armado con mampostería de relleno reforzados con el método del enchape, para posteriormente realizar modelos matemáticos calibrados.
- **Descripción de las estructuras:** en este punto se definen las estructuras a analizar, propiedades de materiales, geometrías, configuraciones de enchape y cargas gravitacionales.
- **Estudios analíticos:** para cada estructura se realizarán análisis estáticos no lineales (push over) y se determinará los puntos de desempeño para dos intensidades sísmicas. De acuerdo con los objetivos de desempeño planteados se realizará una revisión por cortante y por deformaciones de los elementos para cada estructura, con la finalidad de determinar el porcentaje óptimo de paredes a reforzar con el sistema de enchape de acuerdo con el número de pisos
- **Conclusiones y recomendaciones:** al culminar la investigación se propondrán conclusiones y recomendaciones para el adecuado uso del reforzamiento con enchape.

## Capítulo II

### Modelación del enchape

En este capítulo se describe el comportamiento del enchape frente cargas laterales, para lo cual, se revisa ensayos experimentales existentes, para posteriormente realizar modelos matemáticos calibrados.

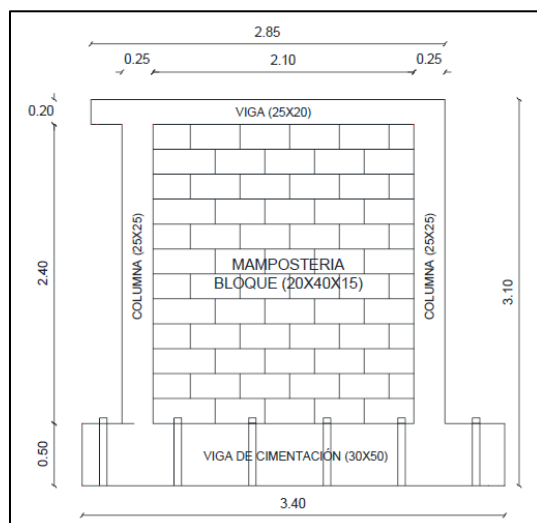
#### Revisión ensayos experimentales existentes

Para la presente investigación se tomará como referencia la investigación realizada por Albuja y Pantoja (2017), debido a que es la que más se asemeja al reforzamiento propuesto en esta investigación.

Albuja y Pantoja ensayaron a carga lateral muros de hormigón armado con mampostería de relleno simple y con mampostería reforzada con el sistema de enchape. Para la revisión del comportamiento del enchape de la presente investigación, se analizará el muro reforzado con enchape sin daño previo.

#### Figura 8

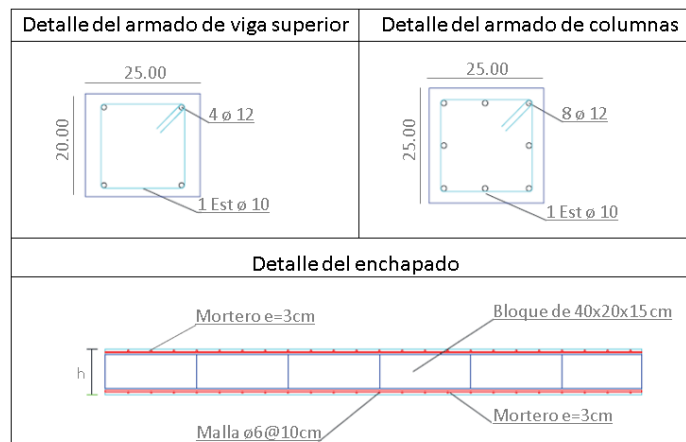
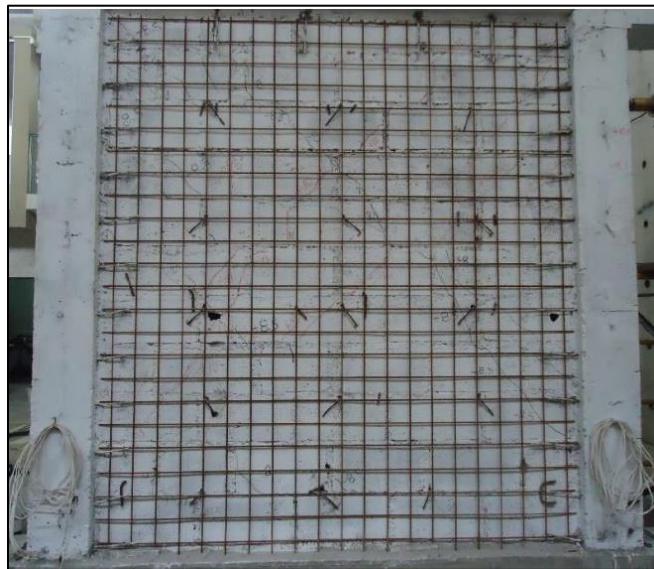
*Detalle de secciones del muro*



*Nota: Tomado del Estudio del reforzamiento de la mampostería de bloque de hormigón con malla electrosoldada mediante ensayos destructivos, por Albuja y Pantoja, 2017, Escuela Politécnica Nacional.*

### Figura 9

*Detalle de armado del muro*



*Nota: Tomado del Estudio del reforzamiento de la mampostería de bloque de hormigón con malla electrosoldada mediante ensayos destructivos, por Albuja y Pantoja, 2017, Escuela Politécnica Nacional.*

**Tabla 4**

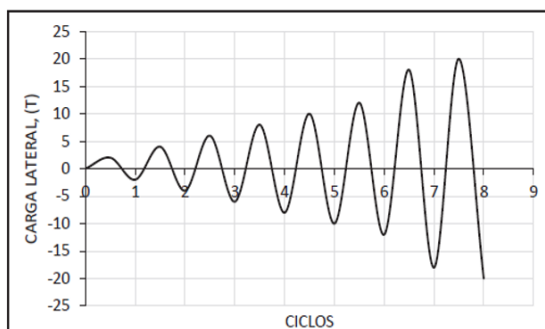
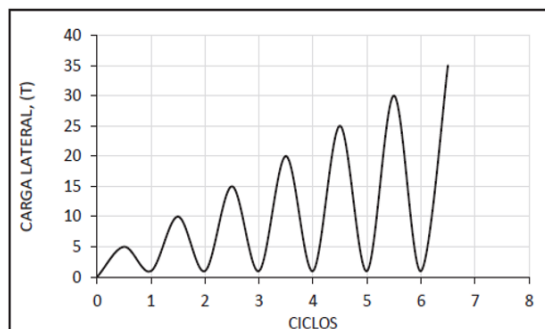
*Propiedades mecánicas de los materiales*

Parámetro	Hormigón de Columnas y Viga		Mortero de Enchape	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
$f'_c$	20593.965	kPa	13729.31	kPa
Parámetro	Acero de refuerzo de columnas y viga		Malla electrosoldada para el enchape	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
$f_y$	420000	kPa	470000	kPa
$E_s$	210000000	kPa	94000000	kPa

La carga lateral empleada en el ensayo fue una carga incremental bidireccional hasta alcanzar las 20 toneladas, posteriormente se procedió a aplicar una carga unidireccional, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 10**

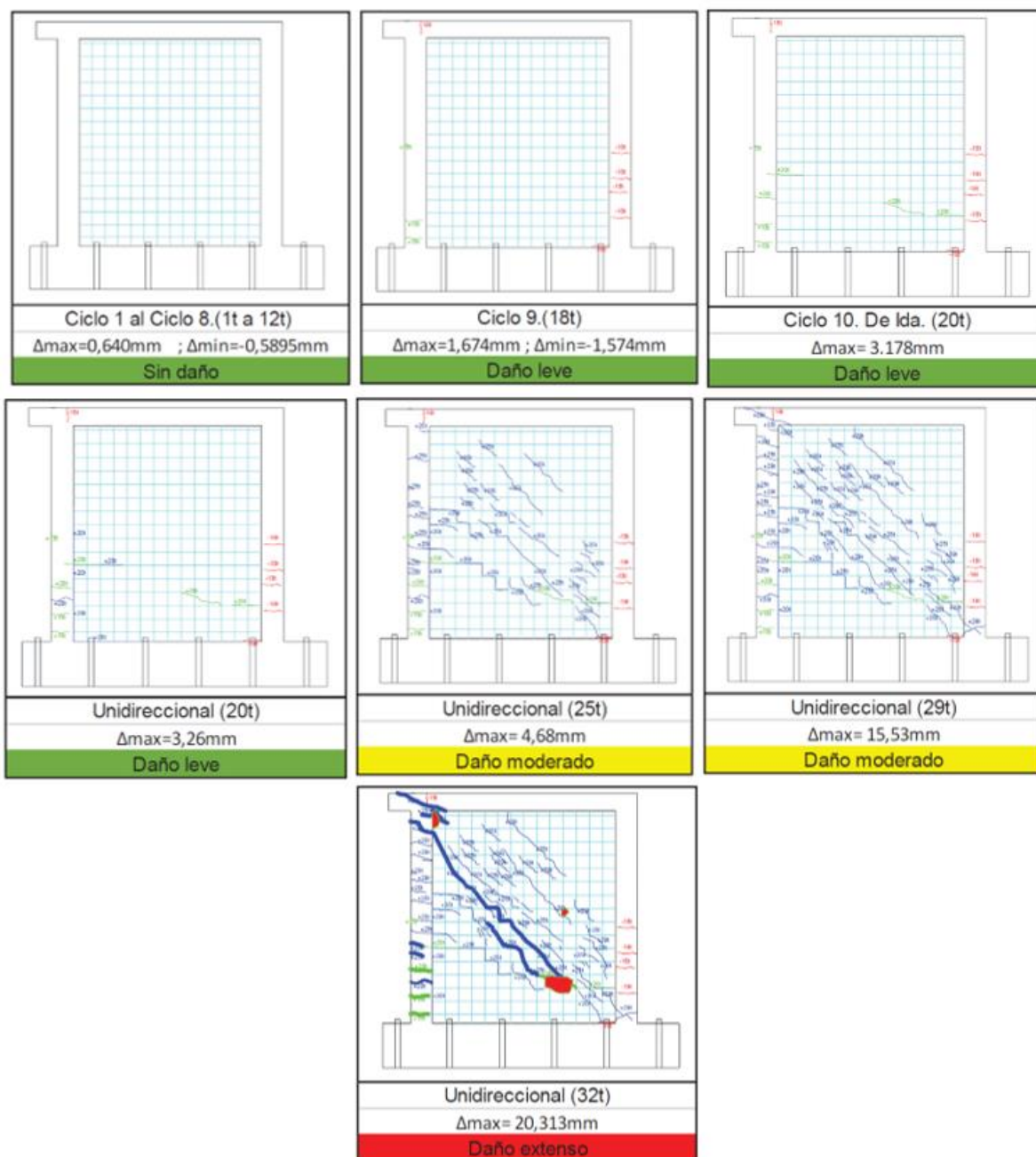
*Protocolo de carga - Panel reforzado.*

**a) Carga bidireccional****b) Carga Unidireccional**

*Nota: Tomado del Estudio del reforzamiento de la mampostería de bloque de hormigón con malla electrosoldada mediante ensayos destructivos, por Albuja y Pantoja, 2017, Escuela Politécnica Nacional.*

Figura 11

Progreso de daño - Panel reforzado con enchape



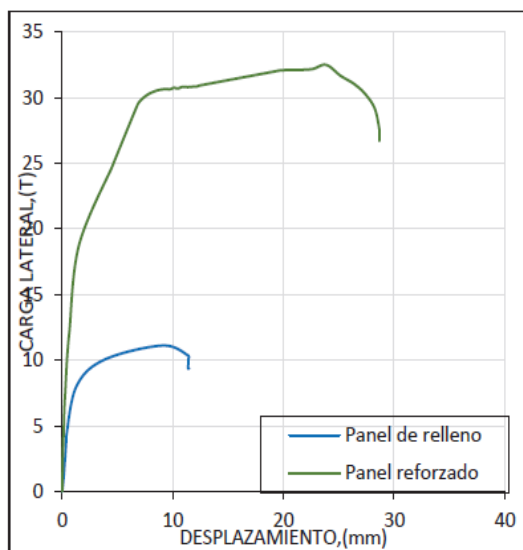
Nota: Tomado del *Estudio del reforzamiento de la mampostería de bloque de hormigón con malla electrosoldada mediante ensayos destructivos*, por Albuja y Pantoja, 2017, Escuela Politécnica Nacional.



Como se observa el progreso de daño en el muro reforzado con enchape para los primeros ciclos de carga es nulo; posteriormente se observa como empiezan a aparecer pequeñas fisuras en el hormigón de columnas y con un poco más de carga se visualiza unas pocas fisuras en el mortero del enchape, representando un daño leve; al superar las 20 toneladas de carga, se empieza a fisurar el mortero del enchape a lo largo del panel, esto es debido a que la malla ayuda a distribuir los esfuerzos, de igual manera se incrementan las fisuras por flexión en la columna izquierda, alcanzando así un daño moderado; al incrementar la carga se observa como la grieta de la diagonal principal del enchape presenta una mayor apertura, y existe desprendimiento del mortero de enchape, también se observa una falla en la unión viga columna, alcanzando así un daño extenso.

### Figura 12

*Curvas de capacidad envolventes de los modelos ensayados*



*Nota:* Tomado del Estudio del reforzamiento de la mampostería de bloque de hormigón con malla electrosoldada mediante ensayos destructivos, por Albuja y Pantoja, 2017, Escuela Politécnica Nacional.

Los resultados demostraron que los muros reforzados con el sistema de enchape resistían 2.9 veces más carga en comparación con el muro con panel simple, de igual manera, se evidenció un aumento de rigidez en un 345%, y un incremento de 3.5 veces ductilidad de desplazamiento.

### Figura 13

*Panel reforzado con enchape en los últimos ciclos de carga.*



*Nota: Tomado del Estudio del reforzamiento de la mampostería de bloque de hormigón con malla electrosoldada mediante ensayos destructivos, por Albuja y Pantoja, 2017, Escuela Politécnica Nacional.*

Sí bien los resultados obtenidos por Albuja y Pantoja son de gran aporte y muestran un incremento de rigidez en los muros reforzados en comparación con el muro de mampostería simple, revisando la bibliografía existente se puede analizar que la resistencia que alcanzaron los muros reforzados no es tan alta como se podría esperar. Haciendo un análisis en la figura 9

se puede ver que el armado del enchape propuesto por Albuja y Pantoja cuenta con conectores a lo largo de columnas y vigas, sin embargo, no cuenta con conectores hacia la cimentación, mismos que son importantes para que la estructura se comporte como muro. La ausencia de estos conectores puede resultar en la disminución de la capacidad.

## **Curva de capacidad teórica**

### ***Momento-Curvatura***

Con la finalidad de verificar la capacidad del muro completamente empotrado, se realizó el análisis momento curvatura de la sección.

El diagrama momento-curvatura se calcula mediante un análisis incremental que satisface la compatibilidad de deformaciones, las relaciones de esfuerzo-deformación del material y el equilibrio; para lo cual se realizan cálculos iterativos hasta que se satisface el equilibrio de fuerzas en la sección transversal.

Para el análisis se utilizaron las deformaciones unitarias del acero, para diferentes estados límites, mismos que se tomaron de (Priestley et al., 2007), además se incluyeron puntos intermedios para tener más puntos de estudio.

**Tabla 5**

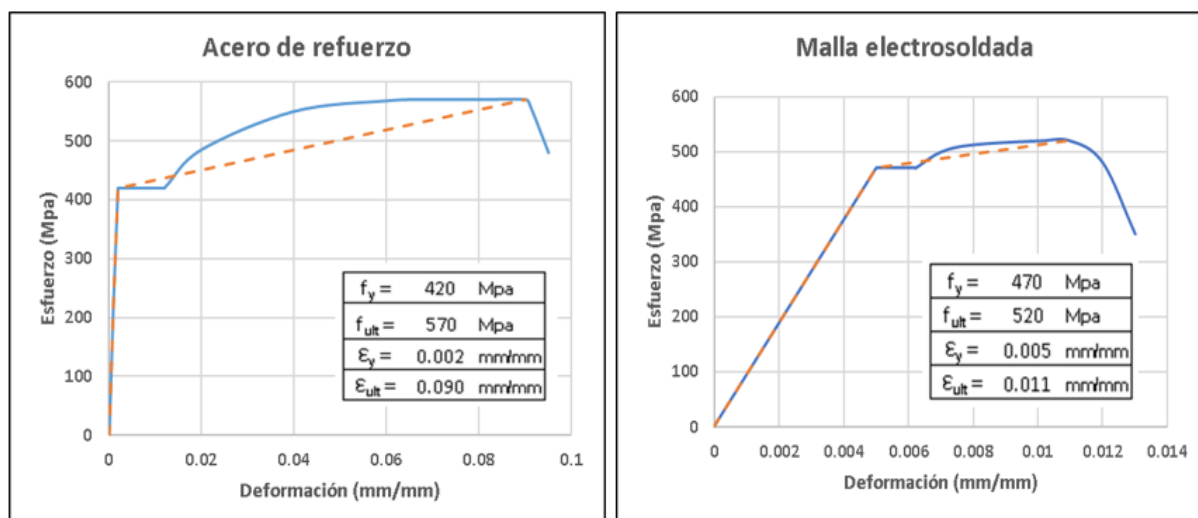
*Deformaciones unitarias del acero*

<b>Escenario</b>	<b>Deformación unitaria <math>\epsilon</math></b>
Estado límite de fluencia	0.002
Punto adicional 1	0.007
Estado límite de serviciabilidad	0.015
Punto adicional 2	0.030
Estado límite de control de daño	0.060

Los materiales que se utilizaron fueron los definidos por Albuja y Pantoja, que se muestran en la tabla 4, y se detallan de mejor manera los esfuerzos del acero de refuerzo y malla electrosoldada en la figura a continuación.

### Figura 14

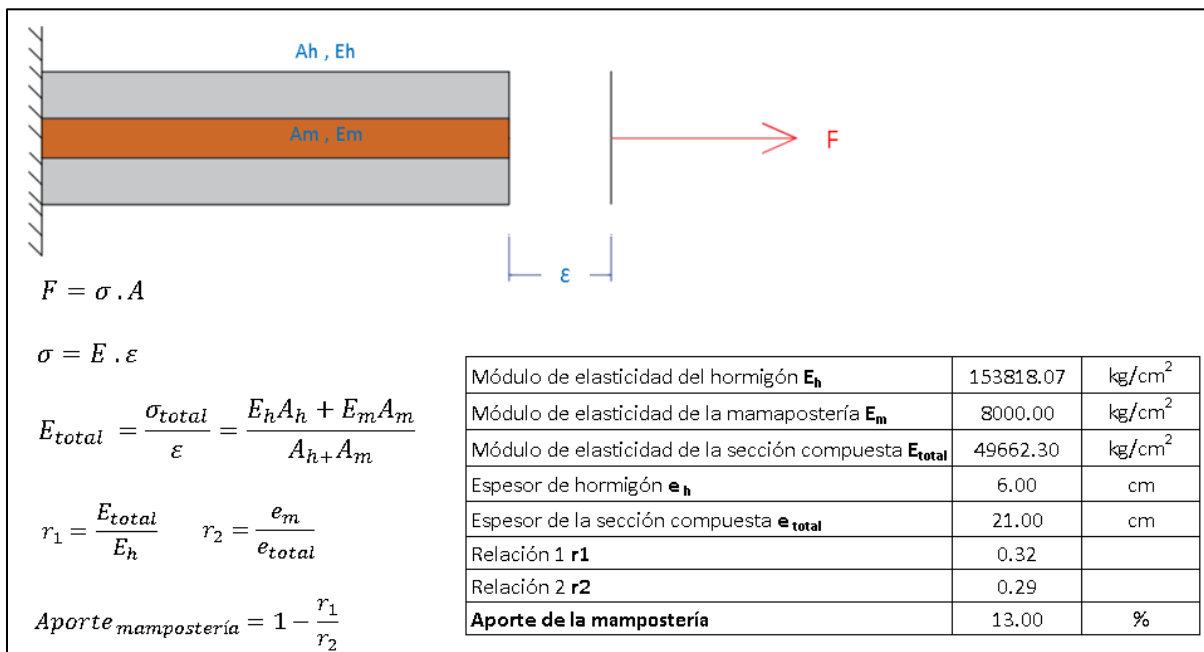
*Curvas esfuerzo deformación del acero de refuerzo y malla electrosoldada.*



De igual manera, se tomó la geometría y armados mostrados en las figuras 8 y 9, sin embargo, para la sección de mampostería enchapada se consideró un espesor equivalente de solo mortero de enchape igual a 6 cm. Sí analizamos el módulo de elasticidad de la sección compuesta y la comparamos con la sección del mortero de enchape se puede determinar que el aporte de la mampostería es alrededor del 10%, en ese sentido al no considerar el aporte de la mampostería durante el análisis, se tiene un caso más crítico que servirá como factor de seguridad.

Figura 15

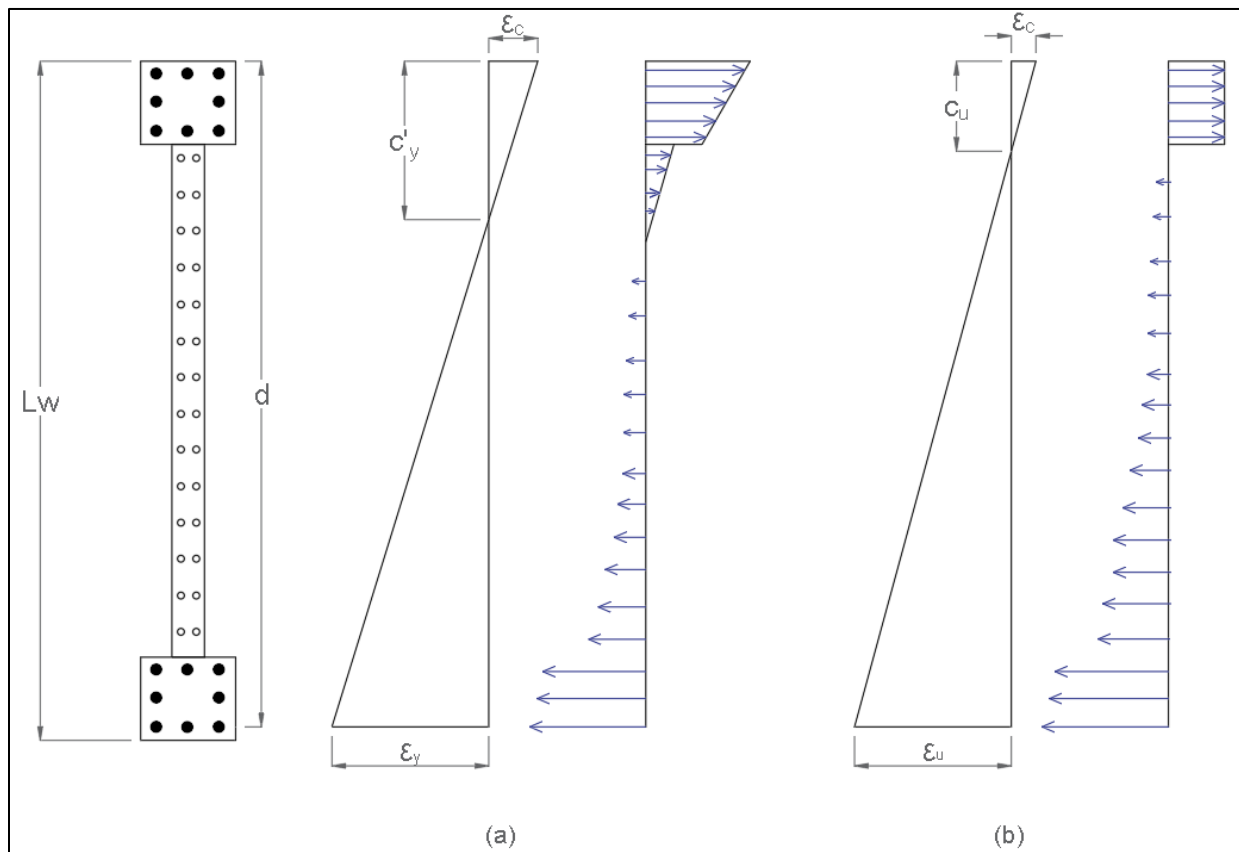
## Análisis de contribución de la mampostería



Al tener un muro compuesto por dos materiales de diferentes propiedades (hormigón y mortero de enchape), el diagrama de esfuerzos puede variar si la longitud de equilibrio se encuentra dentro de la sección de las columnas o dentro del alma. En las figuras a continuación se muestra los diagramas de deformaciones y esfuerzos para el análisis de fluencia y para los otros estados límite, que se obtuvieron con el análisis momento- curvatura de la sección del muro; de igual manera se muestra la curva momento curvatura del muro.

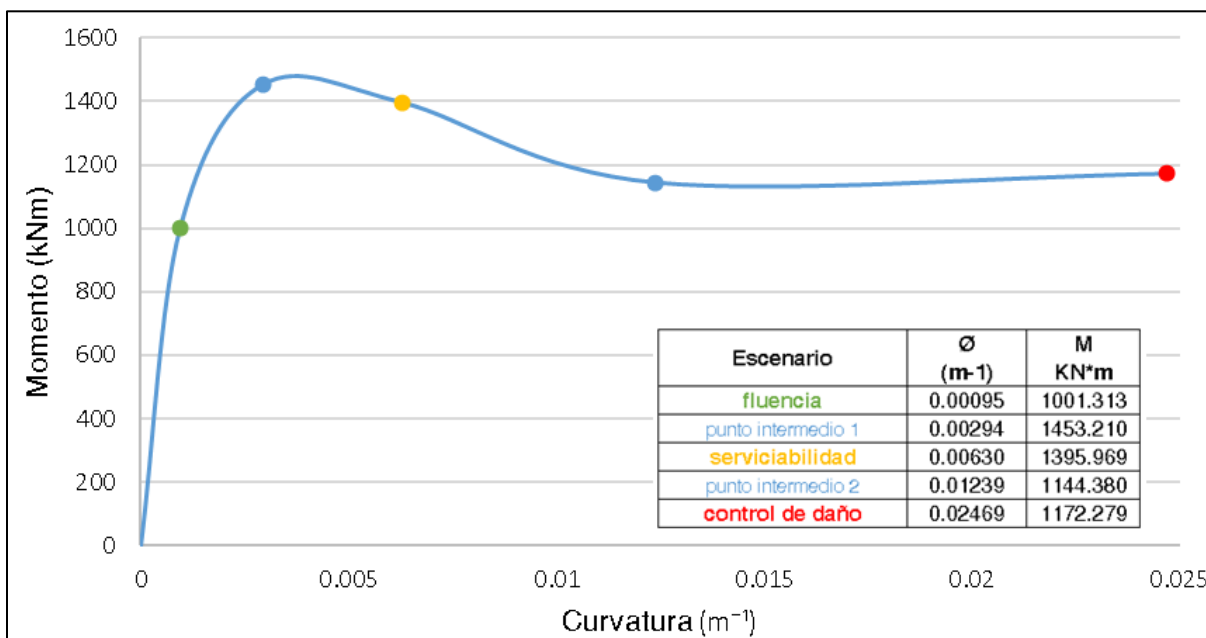
**Figura 16**

Diagramas de deformaciones y esfuerzos de la sección a) caso de fluencia, longitud de equilibrio dentro del alma de la sección; b) caso para control de daño, longitud de equilibrio dentro de la columna



**Figura 17**

*Diagrama Momento- Curvatura de la sección*

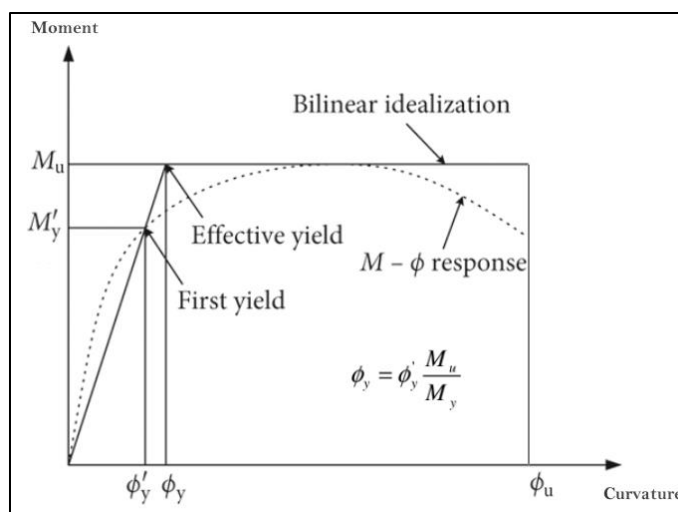


Cabe mencionar que en este apartado en un inicio se optó por un método aproximado bilineal para determinar el diagrama momento curvatura, el cual consiste en una rama "elástica" inicial y una rama "plástica" posterior a la fluencia. Para secciones de hormigón armado y mampostería la rama elástica se determina utilizando la rigidez secante desde el origen hasta la primera fluencia como la rigidez elástica efectiva. La primera fluencia se define como el punto en la respuesta momento-curvatura cuando el refuerzo a tracción extrema (es decir, la barra de refuerzo más alejada del eje neutral) alcanza por primera vez la deformación de fluencia, o cuando la fibra de compresión extrema del concreto (nuevamente, a la distancia máxima del eje neutral) alcanza una deformación de 0,002, cualquiera que ocurra primero (Priestley et al., 2007).

El momento y la curvatura en el punto de primera fluencia se denota como  $M_y$  y  $\phi'_y$  respectivamente. Esta línea que define la rigidez elástica se extrapola hasta la capacidad de momento nominal, que se define por una deformación extrema, a compresión de la fibra extrema del concreto de 0,0093 o una deformación extrema en la barra de refuerzo a tracción de 0,06, cualquiera que ocurra primero, cabe indicar que estos límites se han tomado para el caso de estudio de control de daño. La curvatura correspondiente se denomina curvatura de fluencia nominal  $\phi_y$ . La rama plástica se define conectando el punto de fluencia nominal ( $M_n$ ,  $\phi_y$ ) con la condición última ( $M_u$ ,  $\phi_u$ ).

### Figura 18

Curva bilineal del diagrama Momento-Curvatura

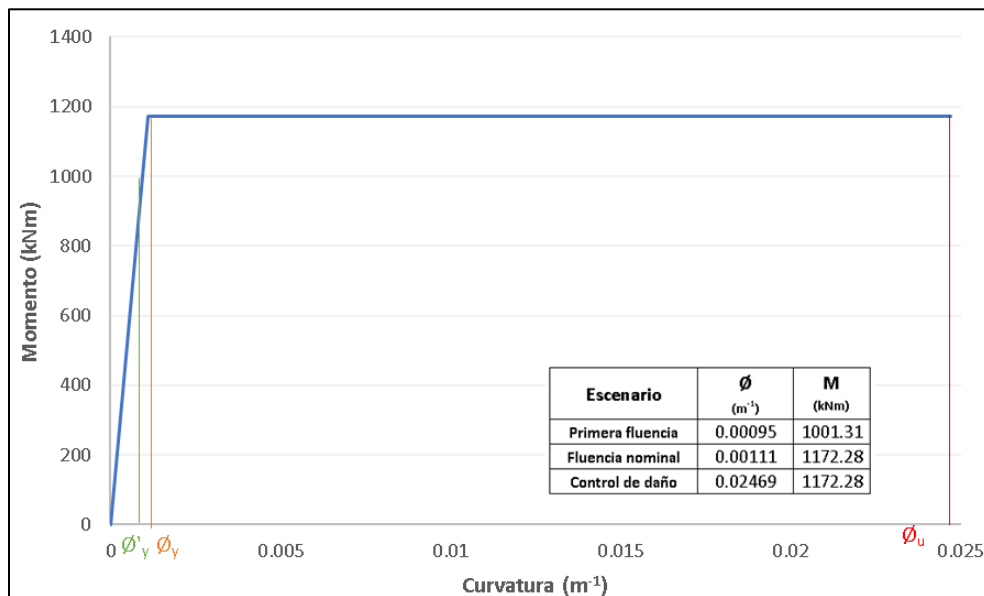


Sin embargo, en la figura que se muestra a continuación, se puede observar que la aproximación bilineal de la respuesta momento curvatura para secciones con diferentes materiales puede descartar puntos importantes del comportamiento de la sección.



**Figura 19**

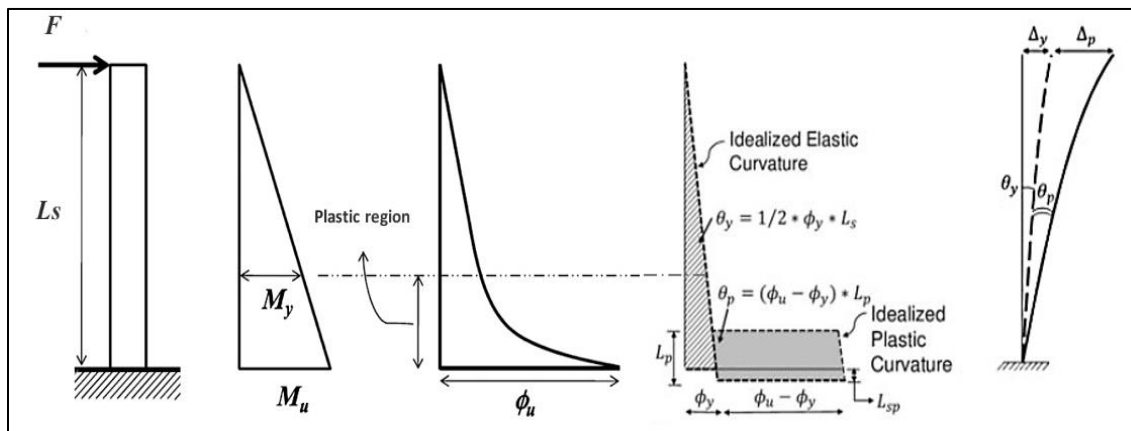
*Curva bilineal del diagrama momento curvatura*



**Curva de Capacidad**

**Figura 20**

*Obtención de desplazamiento a partir de la distribución de curvaturas*

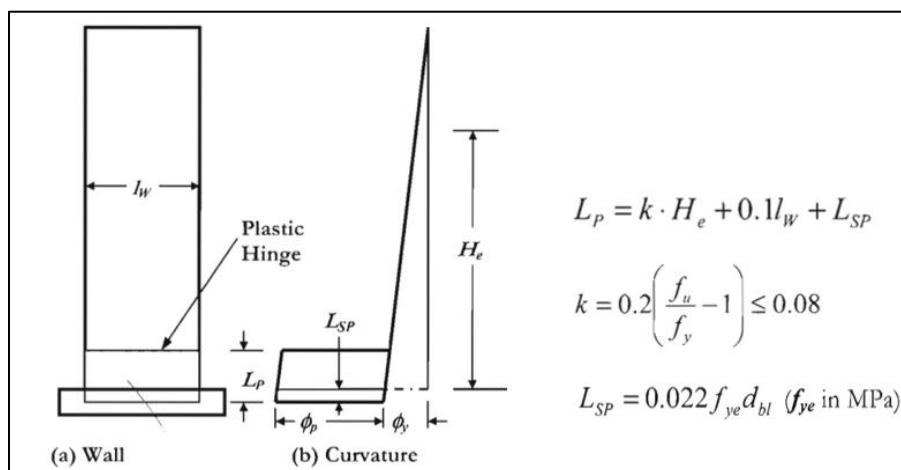


La figura 20 muestra el método para determinar los desplazamientos en la parte alta de un muro empotrado sometido a una carga lateral, a partir de la relación momento curvatura.

Para determinar la **longitud de la rótula plástica** se tomó la aproximación mencionada en Priestley et al., (2007), el cual considera una altura efectiva entre el 70 y 75% de la altura total del muro, y un componente adicional relacionado con la longitud del muro.

**Figura 21**

*Determinación longitud de la rótula plástica*



*Nota:* Tomado de *Displacement-Based Seismic Desing of Structures*, por Priestley, Calvi y Kowalsky, 2007, Pavia, Italy.

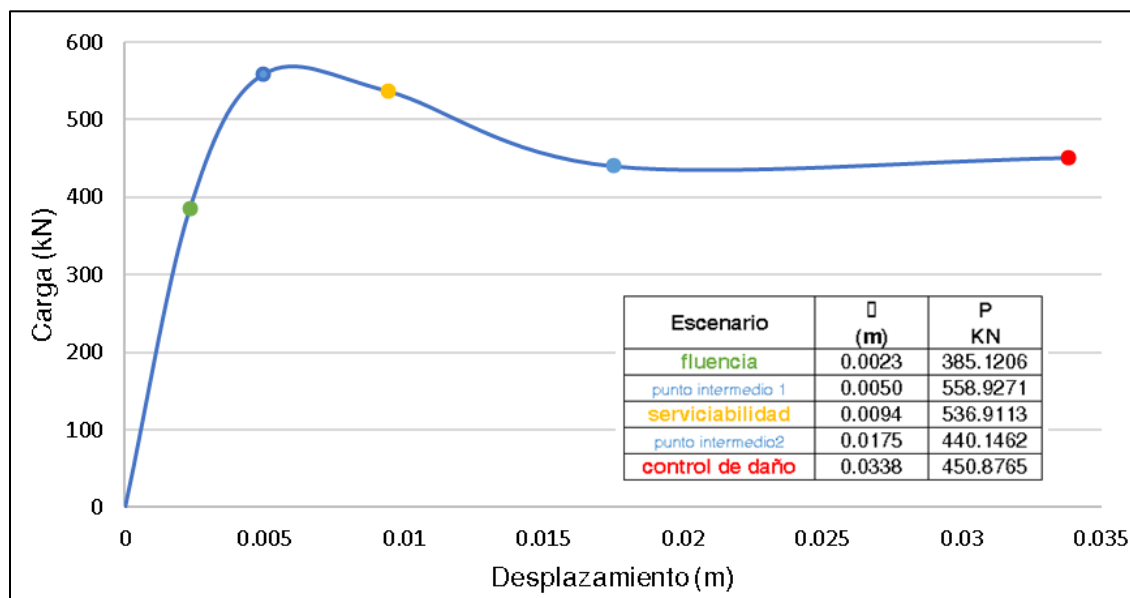
**Tabla 6**

*Cálculo de la longitud de la rótula plástica*

Detalle	Valor	Unidad
Altura Muro	2.600	m
Altura Efectiva	1.950	m
f <sub>ye</sub>	420.000	Mpa
f <sub>u</sub>	570.000	Mpa
d <sub>bl</sub>	0.012	m
L <sub>sp</sub>	0.111	m
k	0.071	
L <sub>w</sub>	2.600	m
<b>L<sub>p</sub></b>	<b>0.510</b>	<b>m</b>
L <sub>p</sub>	19.622	%

**Figura 22**

*Curva de capacidad del muro*



En la figura 22 se muestra la curva de capacidad teórica obtenida del análisis momento curvatura de la sección del muro. Se puede observar como la capacidad de carga es mayor en comparación a la obtenida durante el ensayo, evidenciando que la falta de conectores hacia la cimentación redujo la capacidad del muro.

Para la calibración en los modelos computacionales se tomará como base la curva de capacidad calculada teóricamente, ya que representa el sistema de enchape que se desea estudiar.

### **Calibración de modelos**

Para la modelación matemática se utilizó el programa SeismoStruct ya que es un paquete de elementos finitos capaz de predecir el comportamiento de grandes desplazamientos de marcos espaciales bajo carga estática o dinámica, teniendo en cuenta tanto las no linealidades geométricas como la inelasticidad del material (SeismoSoft Ltd., 2023).

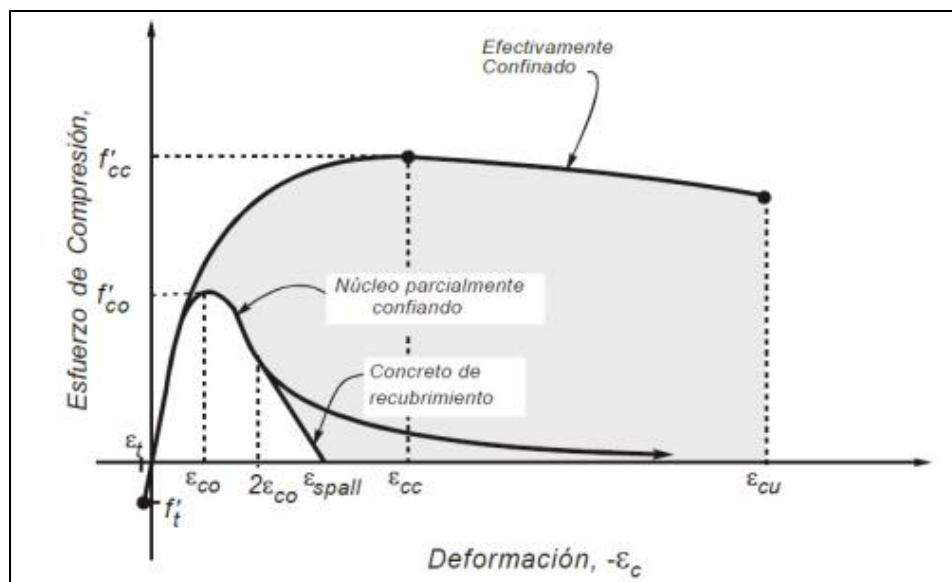
## Definición de Materiales

### Hormigón

Para el modelo constitutivo del hormigón se ha considerado el modelo de confinamiento constante no lineal uniaxial, que sigue la relación constitutiva propuesta por Mander et al., (1988) y las reglas cíclicas propuestas por Martínez-Rueda y Elnashai, (1997). Los efectos de confinamiento proporcionados por el refuerzo transversal lateral se incorporan a través de las reglas propuestas por Mander et al., (1988) en el que se supone una presión de confinamiento constante en todo el rango tensión-deformación (SeismoSoft Ltd., 2023).

### Figura 23

Gráfico Esfuerzo vs. Deformación del hormigón confinado propuesto por Mander (1988)



Nota: Tomado de *Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete*, por J. B. Mander, M. J. N. Priestley, y R. Park, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 114, No. 8, pp. 1804-1826.

A continuación, se presentan las ecuaciones del modelo constitutivo del hormigón propuesto por Mander (1988).

$$f_c = \frac{f'_{cc} \cdot x \cdot r}{r-1+x^r} \quad (1)$$

$$f'_{cc} = k \cdot f'_{co} \quad (2)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[ 1 + R \left( \frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad (4)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (5)$$

$$E = 5000 \sqrt{f'_{co}} \quad (6)$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (7)$$

Donde:

$f_c$ : Esfuerzo del concreto en una deformación unitaria determinada [Mpa].

$f'_{cc}$ : Resistencia máxima a la compresión del concreto confinado [Mpa].

$f'_{co}$ : Resistencia máxima a la compresión del concreto no confinado [Mpa].

$k$ : Factor para transformar el hormigón no confinado en hormigón confinado.

$x$ : Relación entre la deformación en un instante determinado y la deformación en el  $f'_{cc}$ .

$\varepsilon_c$ : Deformación unitaria del concreto a compresión.

$\varepsilon_{cc}$ : Deformación correspondiente al esfuerzo  $f'_{cc}$ .

$\varepsilon_{co}$ : Deformación correspondiente al esfuerzo  $f'_{co}$ .

$r$ : Relación relativa entre el módulo inicial y la secante de elasticidad.

$E_c$ : Módulo secante de elasticidad inicial del concreto [Mpa].

$E_{sec}$ : Módulo secante de elasticidad del concreto en el esfuerzo máximo [Mpa].

La ventaja del uso de esta curva constitutiva es la facilidad de representar la gráfica del hormigón confinado mediante el uso de un coeficiente  $k$ , mismo que indica el grado de confinamiento que el hormigón puede alcanzar en la zona del núcleo confinado por la presencia de refuerzo transversal.

Los parámetros importantes de este modelo son:

**$f'_c$** : esfuerzo a compresión,

**$f_t$** : esfuerzo de tracción,

**$E_c$** : Módulo de elasticidad,

**$\epsilon_c$** : Deformación máxima en el pico de esfuerzo,

**$\gamma$** : peso específico.

Para determinar  $\epsilon_c$ , se utilizó la ecuación descrita por (Sosa, 2014).

$$\epsilon_c = \frac{2 * f'_c}{E_c} \quad (8)$$

A continuación, se presentan los parámetros del hormigón que se utilizaron.

**Tabla 7**

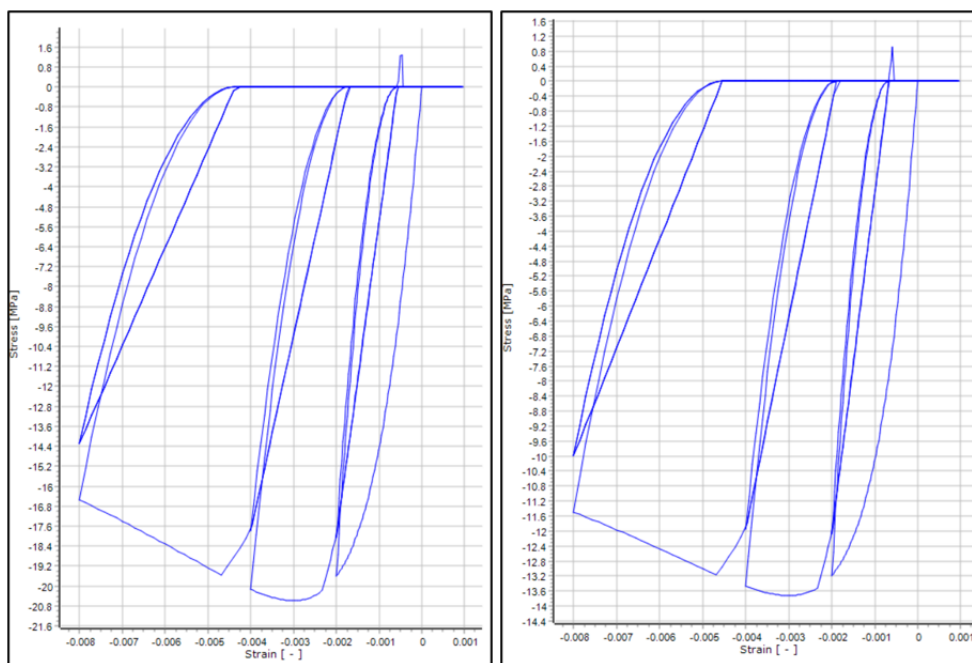
*Propiedades mecánicas del hormigón.*

Parámetro	Hormigón de Columnas y Viga		Mortero de Enchape	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
<b><math>f'_c</math></b>	20593.965	kPa	13729.31	kPa
<b><math>f_t</math></b>	2059.3965	kPa	1372.931	kPa
<b><math>E_c</math></b>	19185101.1	kPa	14504231	kPa
<b><math>\epsilon_c</math></b>	0.0021	m/m	0.002	m/m
<b><math>\gamma</math></b>	24	kN/m <sup>3</sup>	24	kN/m <sup>3</sup>

Para determinar el módulo de elasticidad se consideró la ecuación planteada en el código ACI-318, (2014), considerando un coeficiente menor debido a la calidad del material que se tiene en el país (rango ente  $12500\sqrt{f'c}$  y  $13500\sqrt{f'c}$ ).

## Figura 24

Detalle del modelo de Mander en el programa SeismoStruct



a) Hormigón de columnas y viga

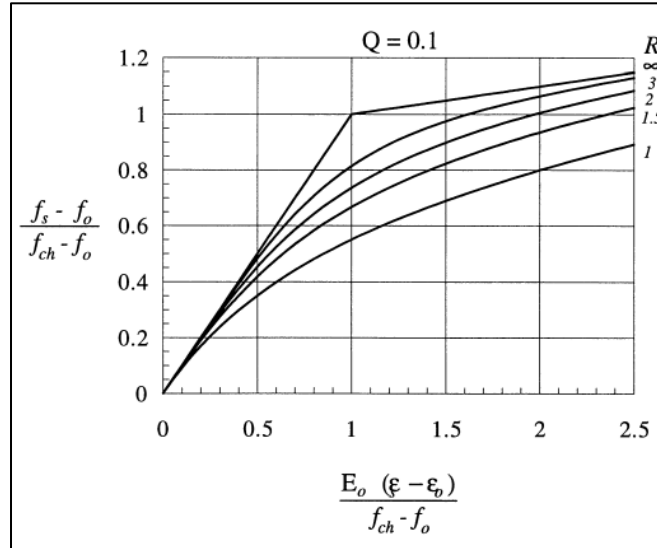
b) Mortero de enchape

## Acero

Para el modelo constitutivo del acero se consideró el modelo de Menegotto y Pinto, (1973), ya que es un modelo uniaxial, donde se incluye la zona de endurecimiento del mismo considerando un material isotrópico. Por su parte Chang G. A. y Mander, (1994), establecen que este modelo es útil al momento de describir la curva que permite la conexión de dos tangentes con un radio de curvatura variable, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 25**

Modelo del acero de Menegotto y Pinto, (1973)



Nota: Tomado de *Seismic Energy Based Fatigue Damage Analysis of Bridge Columns: Part 1- Evaluation of Seismic Capacity*, por Chang G.A. y Mander J.B., NCEER Technical Report No. NCEER-94-0006, State University of New York, Buffalo, N.Y., 1994.

A continuación, se presentan las ecuaciones del modelo constitutivo del acero propuesto por Menegotto y Pinto (1973).

$$f_s = f_o + E_o(\varepsilon_s - \varepsilon_o) \left\{ Q + \frac{1 - Q}{\left[ 1 + \left| \frac{E_o(\varepsilon_s - \varepsilon_o)}{f_{ch} - f_o} \right|^R \right]^{\frac{1}{R}}} \right\} \quad (9)$$

$$E_t = \frac{\partial f_s}{\partial \varepsilon_s} = E_{sec} - \frac{E_{sec} - QE_o}{1 + \left| \frac{E_o(\varepsilon_s - \varepsilon_o)}{f_{ch} - f_o} \right|^{-R}} \quad (10)$$

$$E_{sec} = \frac{f_s - f_o}{\varepsilon_s - \varepsilon_o} \quad (11)$$



Donde:

$f_s$ : Esfuerzo del acero en cualquier punto [Mpa].

$\varepsilon_s$ : Deformación unitaria del acero en cualquier punto.

$\varepsilon_o$ : Deformación unitaria del acero en el punto inicial.

$f_o$ : Esfuerzo del acero en el punto inicial [Mpa].

$E_o$ : Módulo de elasticidad tangente en el punto inicial [Mpa].

$Q, R, f_{ch}$ : Parámetros para controlar la forma de la envolvente.

Con la calibración correcta, este modelo, desarrollado inicialmente con barras de refuerzo corrugadas en mente, también se puede emplear para el modelado de barras de refuerzo lisas, que a menudo se encuentran en estructuras existentes (SeismoSoft Ltd., 2023).

Los parámetros importantes de este modelo son:

**Es**: módulo de elasticidad,

**fy**: esfuerzo de fluencia,

**u**: parámetro de endurecimiento por deformación,

**R0**: parámetro de forma inicial de la curva de transición,

**a1 y a2**: coeficientes de calibración de la forma de la curva de transición

**a3 y a4**: coeficientes de calibración del endurecimiento isotrópico

**$\varepsilon_{ult}$** : deformación de rotura/ pandeo

**$\gamma$** : peso específico.

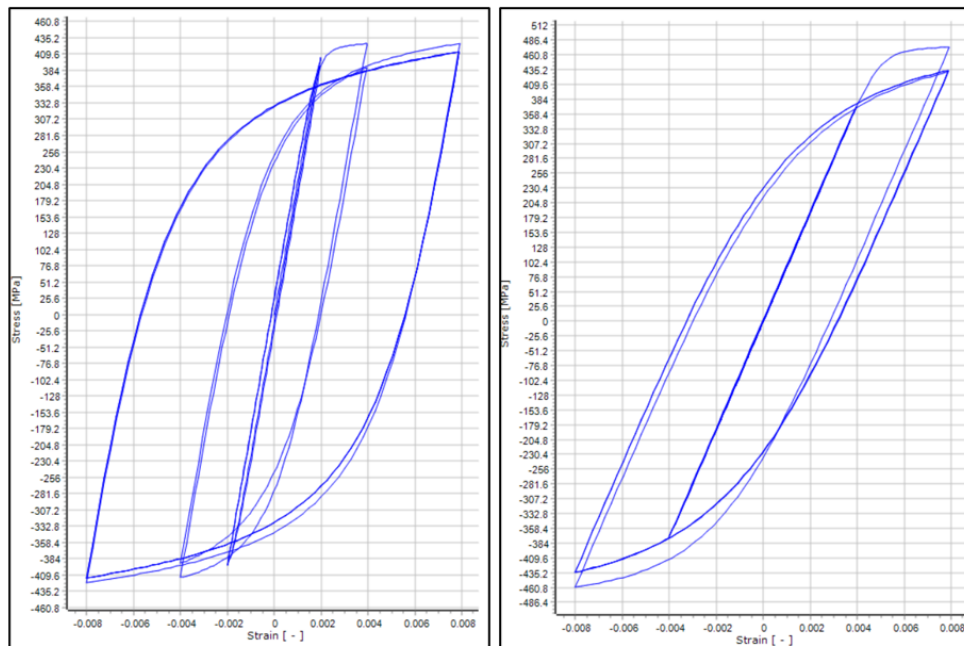
Tabla 8

Propiedades mecánicas del acero

Parámetro	Acero de refuerzo de columnas y viga		Malla electrosoldada para el enchape	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
$E_s$	210000000	kPa	94000000	kPa
$f_y$	420000	kPa	470000	kPa
$\mu$	0.00812	-	0.08865	-
$R_0$	20	-	20	-
$a_1$	18.5	-	18.5	-
$a_2$	0.15	-	0.15	-
$a_3$	0	-	0	-
$a_4$	1	-	1	-
$\epsilon_{ult}$	0.09	-	0.011	-
$\gamma$	78	kN/m <sup>3</sup>	78	kN/m <sup>3</sup>

Figura 26

Detalle del modelo de Menegotto y Pinto en el programa SeismoStruct



a) Acero de refuerzo de columnas y viga

b) Malla electrosoldada

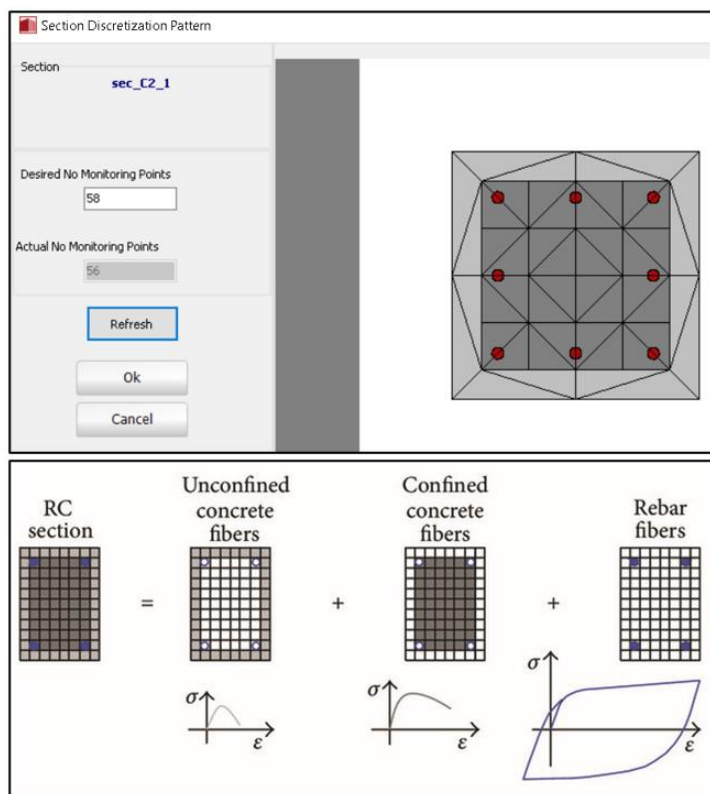
## Definición de Elementos

Para la modelación de los elementos se consideró elementos *infrmFBPH* (inelastic plastic-hinge force-based frame element) que son elementos con plasticidad concentrada, es decir que concentra la inelasticidad dentro de una longitud fija del elemento, como lo propusieron Scott y Fenves, (2006).

La longitud de la rótula plástica se definió de acuerdo con Priestley et al., (2007), como se menciona en el apartado “*Curva de Capacidad*” del presente documento. En ese sentido se tomó una longitud de rótula plástica equivalente a 19.62%.

### Figura 27

*Detalle discretización de sección por fibras*



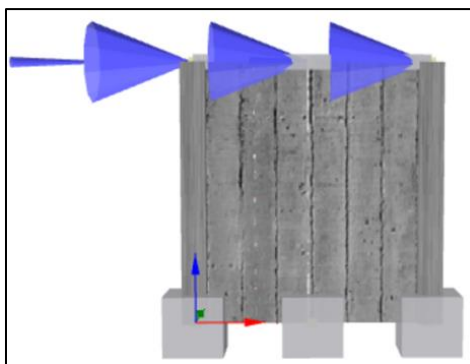
Para la conectividad de los elementos se utilizó un brazo rígido en la parte superior, conectando el nodo superior del muro con los nodos superiores de cada columna.

### **Análisis Pushover**

Una vez realizada la configuración estructural del modelo se realizó un análisis estático no lineal (Pushover), para determinar la curva de capacidad y poder compararla con la curva teórica obtenida.

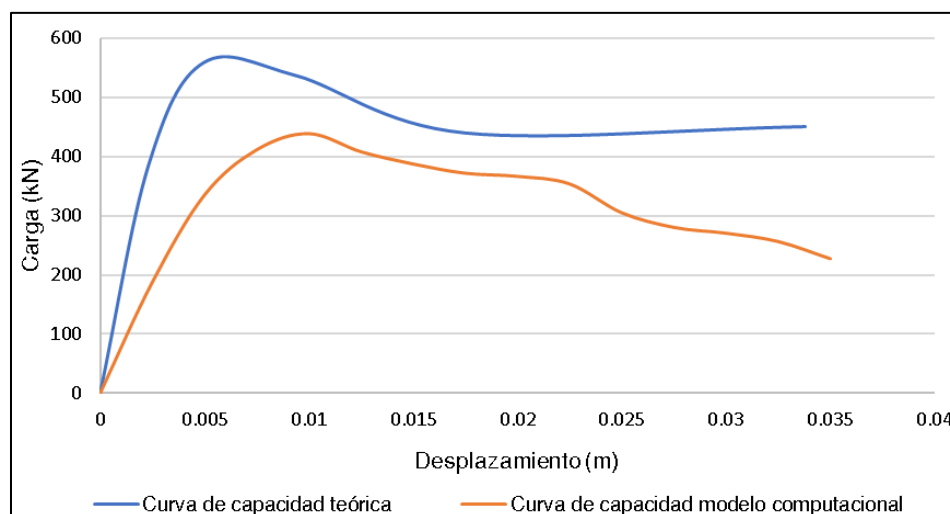
### **Figura 28**

*Modelo del muro enchapado en el programa SeismoStruct*



### **Figura 29**

*Comparación de curvas de capacidad*



En la figura 29 se muestra las curvas de capacidad obtenidas teóricamente y con el software computacional; se puede observar que el modelo computacional presenta una menor resistencia y rigidez en comparación con el modelo teórico (alrededor de un 25%).

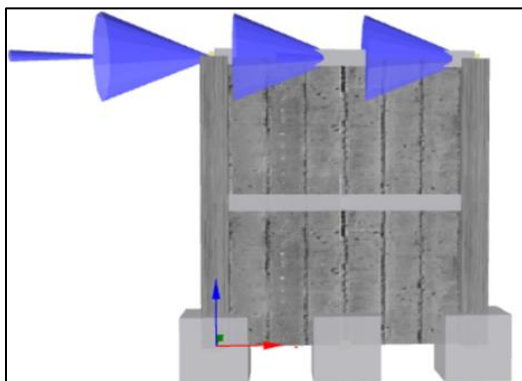
Sí se analiza la conectividad del modelo se puede ver que los tres elementos (columna-muro-columna) se conectan únicamente en la parte superior con un brazo rígido, sin embargo, no hay una conexión a lo largo de los elementos, que represente los conectores que se colocan para unir la mampostería al pórtico.

### **Segunda Calibración**

Para corregir el problema de rigidez y resistencia de la primera calibración, se ha optado por discretizar el muro dividiéndolo por la mitad, y unir con brazos rígidos a los puntos medios de las columnas, con el fin de mejorar la conexión entre el muro y las columnas.

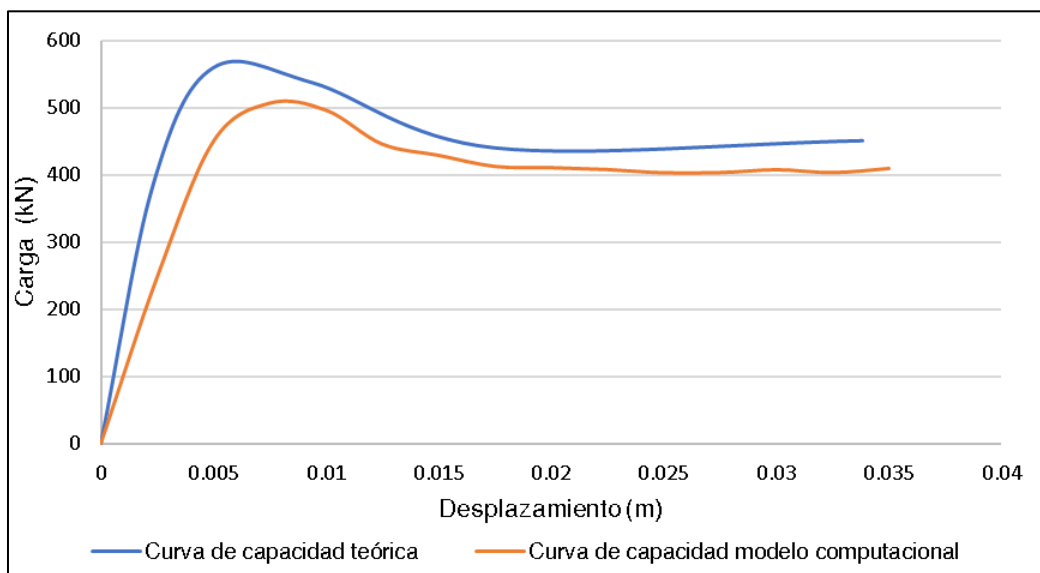
### **Figura 30**

*Modelo del muro enchapado en el programa SeismoStruct, considerando nodos intermedios.*



**Figura 31**

*Comparación de curvas de capacidad*



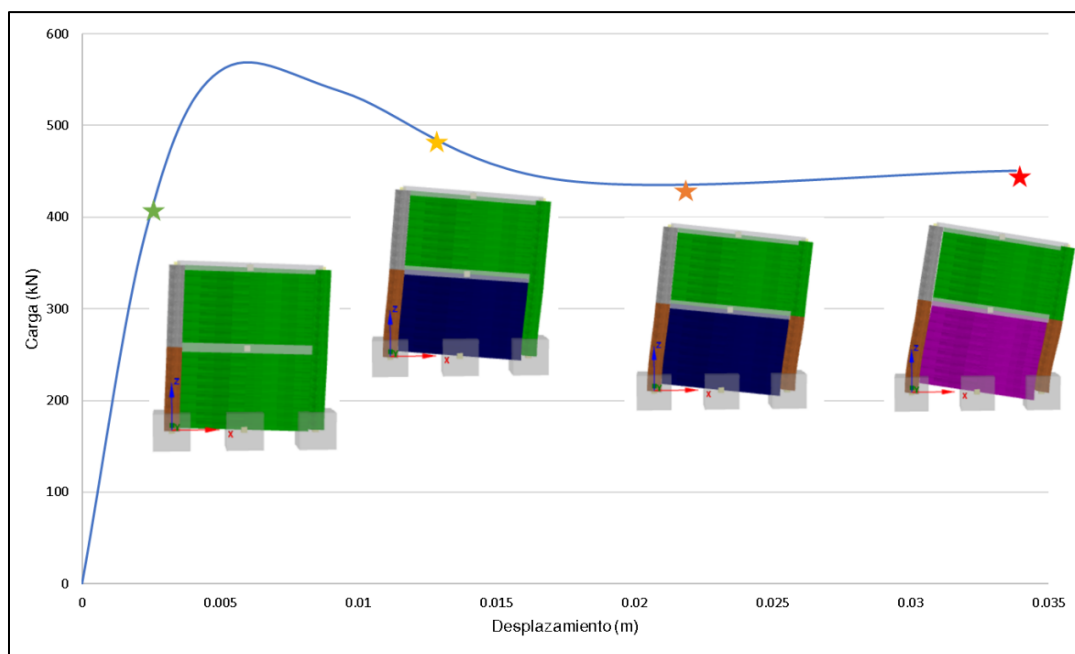
En la figura 31 se puede observar que la segunda calibración tiene una mejor aproximación a la curva teórica, con un error en cuanto a resistencia menor al 5%, por lo cual se la considera como aceptable.

### **Puntos críticos que presenta el enchape**

Dentro del programa SeismoStruct se puede definir criterios de desempeño de los elementos, para conocer estados de daño de la estructura. Estos criterios de desempeño pueden ser valores umbral para la deformación del material, fuerzas/ momentos del elemento o rotación de la cuerda del elemento, etc, dependiendo el análisis que se quiera revisar. Para este caso de estudio se definieron los siguientes criterios de desempeño basado en deformaciones de los materiales.

**Tabla 9***Criterios de desempeño materiales*

Criterio de desempeño	Valor
Fisuración de elementos estructurales	-0.0001
Agrietamiento del hormigón no confinado	-0.0035
Agrietamiento del hormigón confinado	-0.0060
Fluencia del acero de refuerzo	0.0020
Fluencia de la malla electrosoldada	0.0050
Control de daño del acero de refuerzo	0.0600

**Figura 32***Puntos críticos de muro reforzado con enchape*

Para el muro reforzado con enchape se definieron 4 puntos críticos:

1. Fisuración en mortero de enchape y hormigón de columnas; y fluencia en la parte inferior de columna izquierda.
2. Agrietamiento del mortero de enchape.
3. Fluencia del acero de refuerzo de la columna derecha
4. Fluencia de la malla electrosoldada.

## Capítulo III

### Descripción de las estructuras

En este capítulo se describen las edificaciones de estudio, desde un punto estructural señalando materiales, geometrías y cargas, además se presentan las configuraciones de enchape por planta a analizar, los modelos no lineales realizados y las amenazas sísmicas seleccionadas.

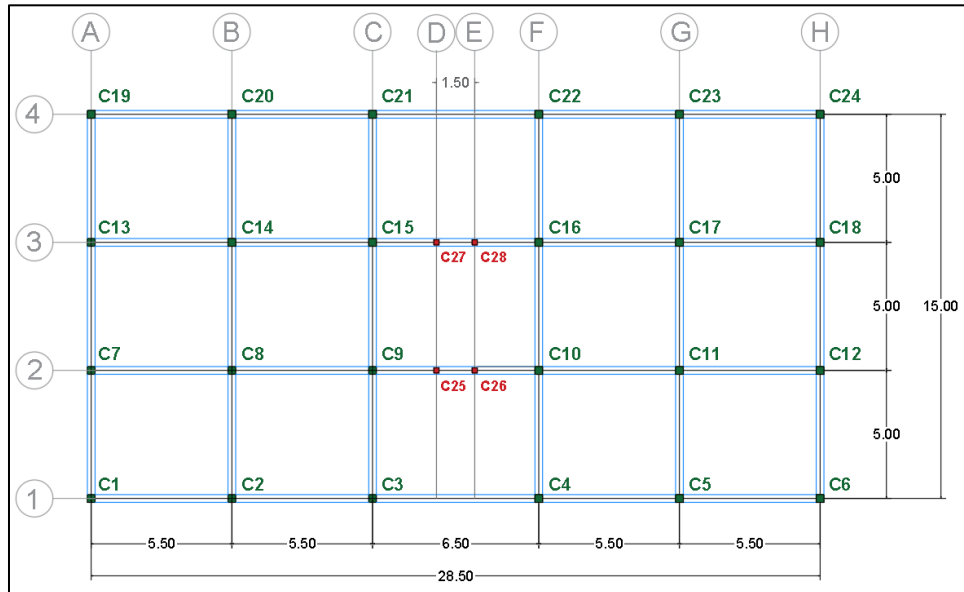
#### Descripción de edificios

Los edificios seleccionados son estructuras de 2, 4, 6 y 8 pisos de altura con un sistema estructural resistente de pórticos de hormigón armado, con mampostería de relleno, de uso residencial multifamiliar.

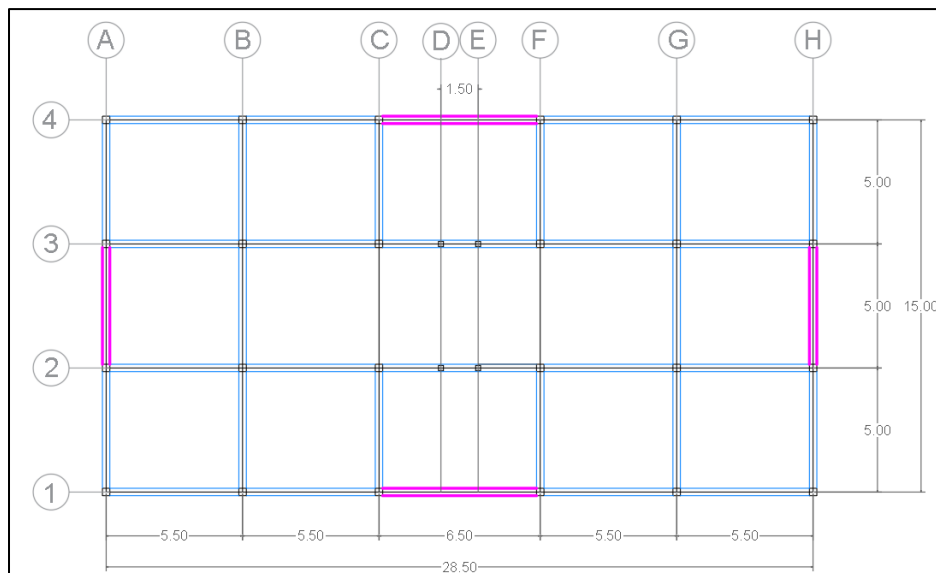
Para la presente investigación se ha definido una planta tipo para todas las estructuras, con el fin de eliminar variables que puedan cambiar el enfoque de la investigación.

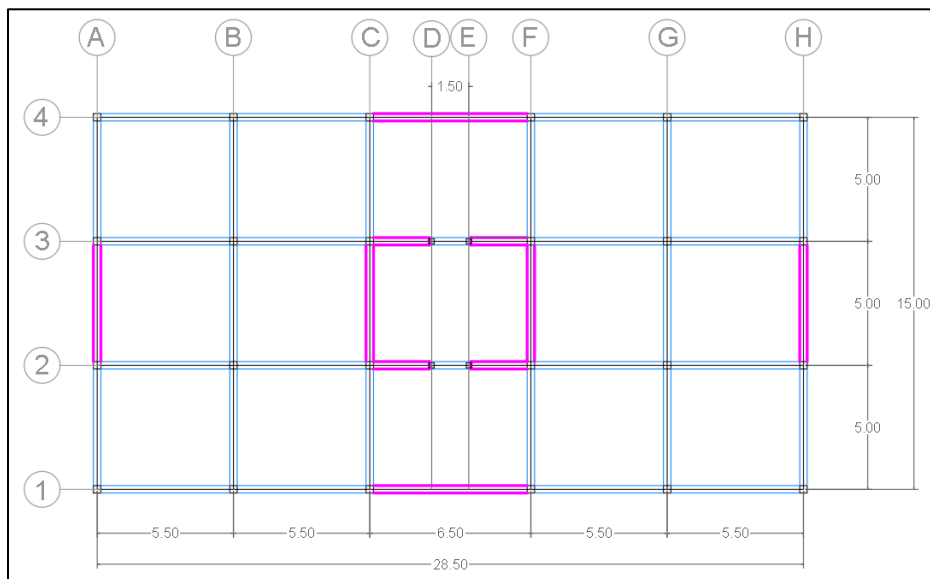
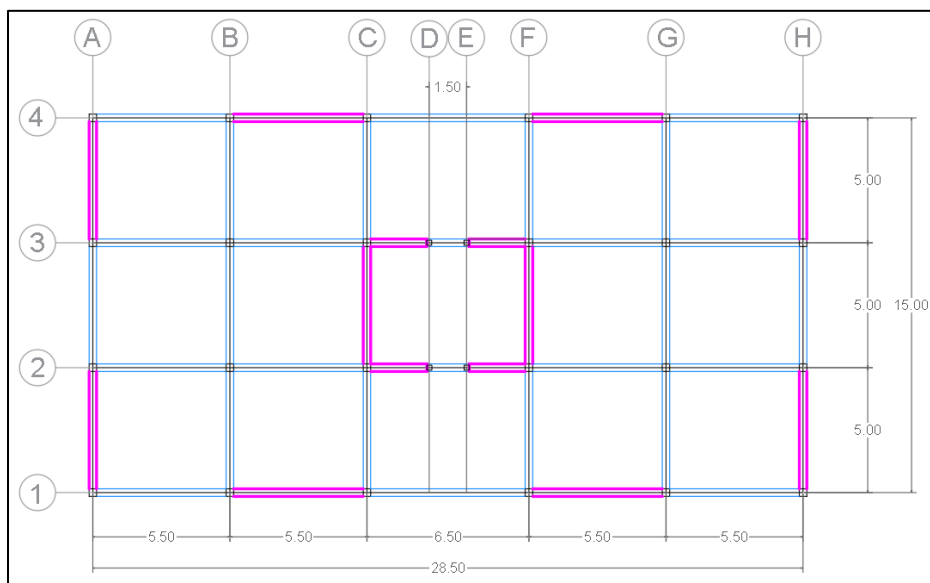
Se ha tomado una planta tipo regular de 427.5 m<sup>2</sup>; con 5 vanos en el sentido X y 3 vanos en el sentido Y; con una relación longitud ancho 2:1; libre a sus cuatro lados, es decir sin adosamiento; con una altura de entrepiso de 2.9 m; vigas banda de 30x35 cm; losas alivianadas (con casetones) de 30 cm de espesor y columnas cuadradas que cumplan con una sección y armado mínimo de acuerdo con el número de pisos. En el vano central se incluyeron 4 columnas cuadradas de 30x30 cm (C25 -C28), como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 33***Planta base de estructuras*

A cada estructura se reforzará con el sistema de enchape, considerando 3 configuraciones de paredes enchapadas, como se muestra a continuación.

**Figura 34***Configuración de paredes enchapadas E-1*

**Figura 35***Configuración de paredes enchapadas E-2***Figura 36***Configuración de paredes enchapadas E-2*

Cada configuración presenta un porcentaje de paredes enchapadas por planta, y por sentido de análisis, teniendo así 6 porcentajes diferentes que permitirán analizar el porcentaje

de paredes óptimo a reforzar dependiendo el número de pisos de las estructuras. Los porcentajes no son los mismos en todas las estructuras, debido a que mientras más pisos tiene la estructura las secciones de columnas son mayores, reduciendo así la longitud de paredes a enchapar.

**Tabla 10**

*Porcentaje de paredes enchapadas por planta – 2 Pisos*

Descripción	Configuración E-1				Configuración E-2				Configuración E-2			
	Sentido X		Sentido Y		Sentido X		Sentido Y		Sentido X		Sentido Y	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Longitud paredes enchapadas	12.30	m	9.30	m	21.00	m	18.60	m	29.30	m	27.90	m
Área en planta de paredes enchapadas	3.44	m <sup>2</sup>	2.60	m <sup>2</sup>	5.88	m <sup>2</sup>	5.21	m <sup>2</sup>	8.20	m <sup>2</sup>	7.81	m <sup>2</sup>
% paredes enchapadas	<b>0.81</b>	%	<b>0.61</b>	%	<b>1.38</b>	%	<b>1.22</b>	%	<b>1.92</b>	%	<b>1.83</b>	%

**Tabla 11**

*Porcentaje de paredes enchapadas por planta – 4 Pisos*

Descripción	Configuración E-1				Configuración E-2				Configuración E-2			
	Sentido X		Sentido Y		Sentido X		Sentido Y		Sentido X		Sentido Y	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Longitud paredes enchapadas	12.10	m	9.10	m	20.60	m	18.20	m	28.70	m	27.30	m
Área en planta de paredes enchapadas	3.39	m <sup>2</sup>	2.55	m <sup>2</sup>	5.77	m <sup>2</sup>	5.10	m <sup>2</sup>	8.04	m <sup>2</sup>	7.64	m <sup>2</sup>
% paredes enchapadas	<b>0.79</b>	%	<b>0.60</b>	%	<b>1.35</b>	%	<b>1.19</b>	%	<b>1.88</b>	%	<b>1.79</b>	%

**Tabla 12**

*Porcentaje de paredes enchapadas por planta – 6 Pisos*

Descripción	Configuración E-1				Configuración E-2				Configuración E-2			
	Sentido X		Sentido Y		Sentido X		Sentido Y		Sentido X		Sentido Y	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Longitud paredes enchapadas	11.90	m	8.90	m	20.20	m	17.80	m	28.10	m	26.70	m
Área en planta de paredes enchapadas	3.33	m <sup>2</sup>	2.49	m <sup>2</sup>	5.66	m <sup>2</sup>	4.98	m <sup>2</sup>	7.87	m <sup>2</sup>	7.48	m <sup>2</sup>
% paredes enchapadas	<b>0.78</b>	%	<b>0.58</b>	%	<b>1.32</b>	%	<b>1.17</b>	%	<b>1.84</b>	%	<b>1.75</b>	%

**Tabla 13***Porcentaje de paredes enchapadas por planta – 8 Pisos*

Descripción	Configuración E-1				Configuración E-2				Configuración E-2			
	Sentido X		Sentido Y		Sentido X		Sentido Y		Sentido X		Sentido Y	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Longitud paredes enchapadas	11.70	m	8.70	m	19.80	m	17.40	m	27.50	m	26.10	m
Área en planta de paredes enchapadas	3.28	m <sup>2</sup>	2.44	m <sup>2</sup>	5.54	m <sup>2</sup>	4.87	m <sup>2</sup>	7.70	m <sup>2</sup>	7.31	m <sup>2</sup>
% paredes enchapadas	<b>0.77</b>	%	<b>0.57</b>	%	<b>1.30</b>	%	<b>1.14</b>	%	<b>1.80</b>	%	<b>1.71</b>	%

**Materiales**

Para el diseño de las columnas, vigas y losa se ha considerado un hormigón con esfuerzo a la compresión  $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$  con un módulo de elasticidad equivalente a  $13500\sqrt{f'_c}$ .

Para el caso del mortero de enchape se ha optado por un hormigón de baja resistencia con un esfuerzo a la compresión  $f'_c = 150 \text{ kg/cm}^2$ , con un módulo de elasticidad de  $12500\sqrt{f'_c}$ .

Para el acero de refuerzo columnas, vigas y losa se ha considerado un acero con un esfuerzo de fluencia a la tracción  $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$  con un módulo de elasticidad de  $2100000 \text{ kg/cm}^2$ .

Para el refuerzo del enchape se ha tomado mallas electrosoldadas tradicionales con un esfuerzo de fluencia a la tracción  $F_y = 5000 \text{ kg/cm}^2$ .

**Geometría y armado de secciones**

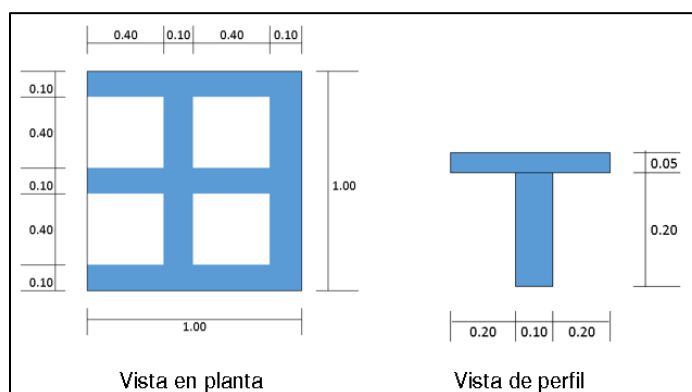
Las estructuras presentan con elementos sobre esforzados para reflejar la realidad de muchas construcciones informales, y que requieren un reforzamiento.

## Losas

Las losas, son alivianadas en las dos direcciones, tienen un espesor de 30 cm, y cuentan con un armado longitudinal  $\varnothing 12$  cada 20cm, los alivianamientos son casetones huecos de 40x40 cm, como se muestra a continuación.

### Figura 37

*Detalle de losa alivianada*

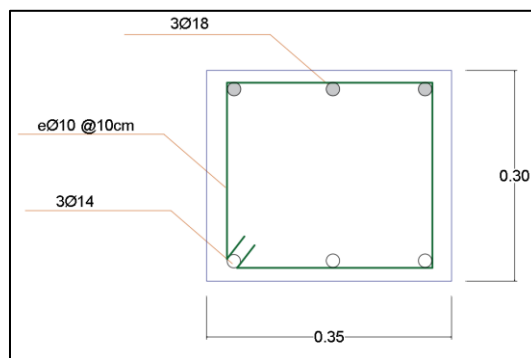


## Vigas

Las vigas para la planta son vigas banda con una sección de 30x35 cm, cuentan con un armado longitudinal inferior de 3 $\varnothing 14$ , un armado superior de 3 $\varnothing 18$  y un armado transversal de 2 $\varnothing 10$  cada 10cm para toda la longitud.

### Figura 38

*Dimensión y armado de vigas*

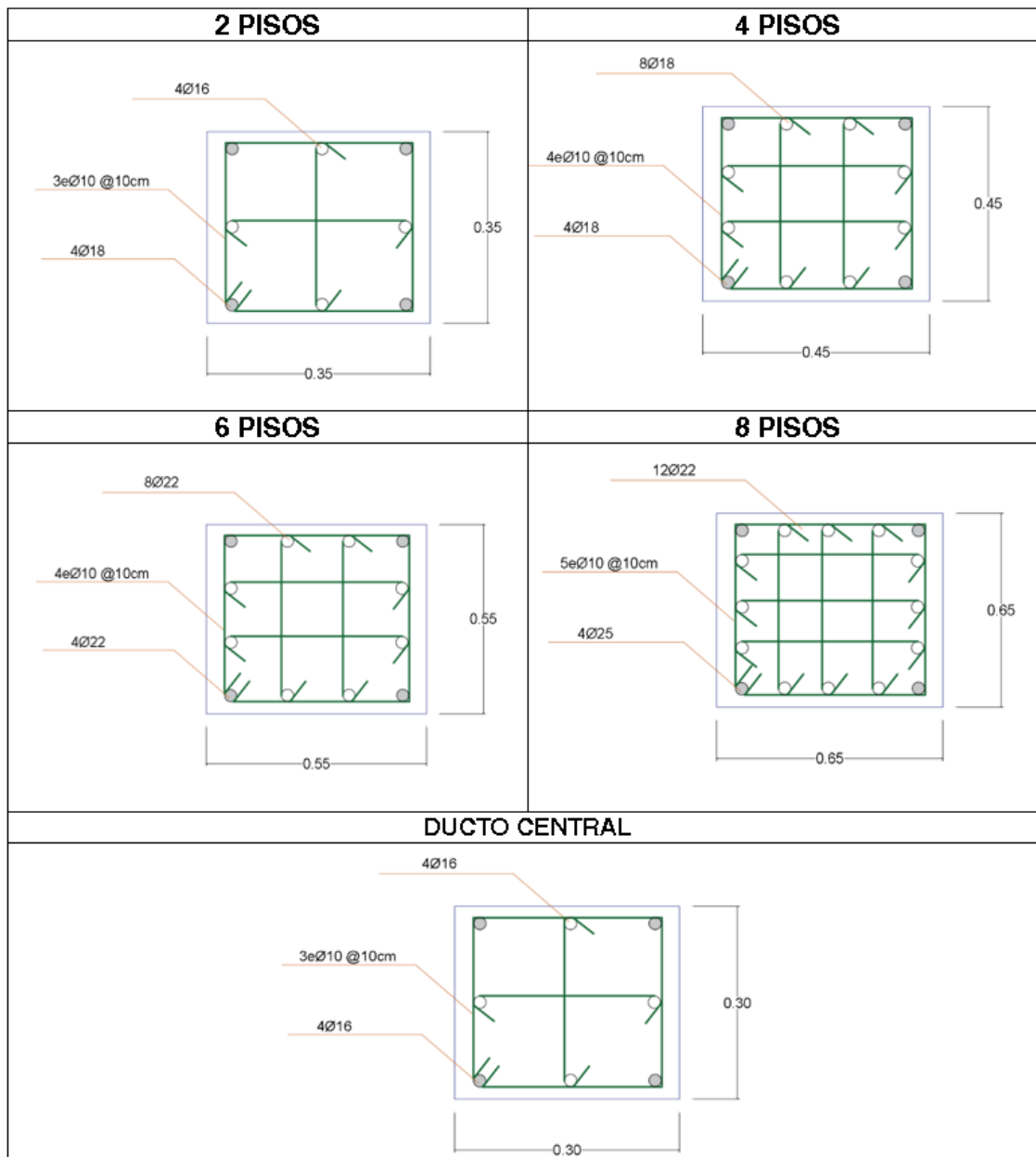


## Columnas

Para la definición de las columnas de la planta tipo se ha realizado un prediseño considerando dimensionamientos y armados mínimos ( $\rho=1.5\%$ ).

**Figura 39**

*Sección y armado de columnas de acuerdo con el número de pisos*



## Enchape

Para el diseño del reforzamiento se ha buscado uniformizar los parámetros de espesor y armado para todas las estructuras, con el fin de analizar el porcentaje de paredes a enchapar, en ese sentido se ha considerado un enchape a dos caras con espesor de 4cm a cada lado, para el armado se revisó catálogos de empresas ecuatorianas para tomar productos existentes en el mercado, seleccionando así una malla electrosoldada de diámetro de 9mm con apertura cuadrada de 10x10cm.

**Figura 40**

*Sección de enchape*



**Figura 41**

*Armado del enchape*

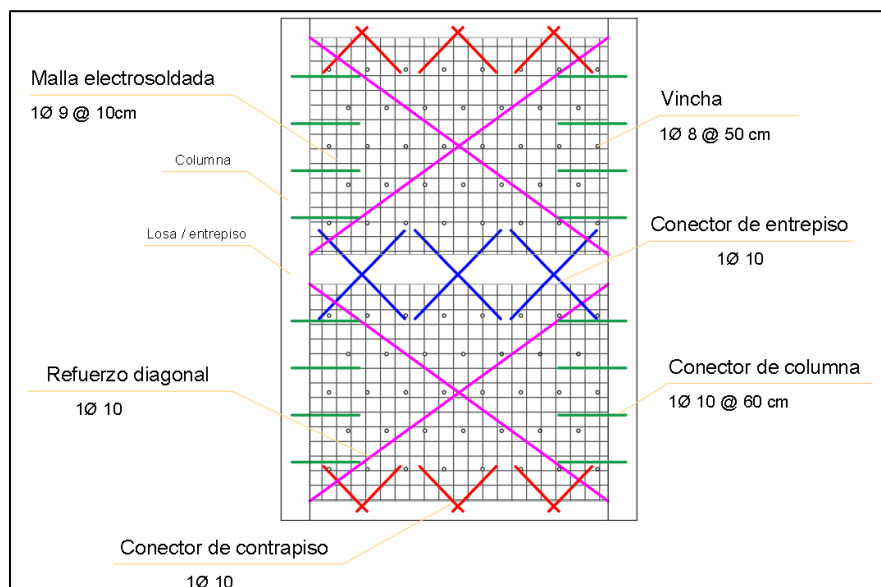


Figura 42

Detalle de conectores

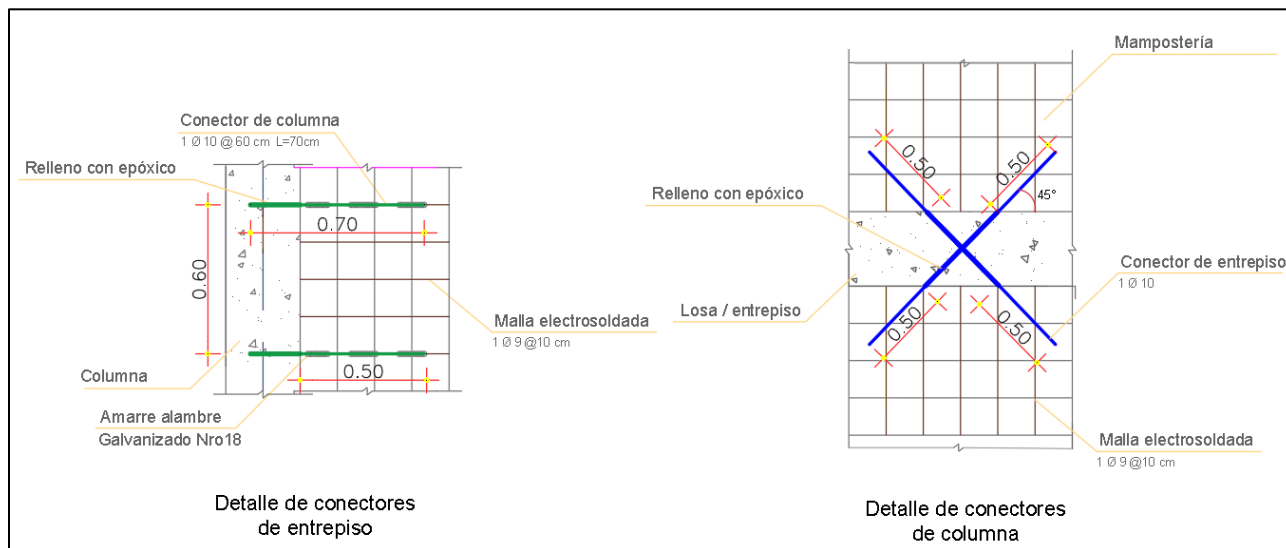
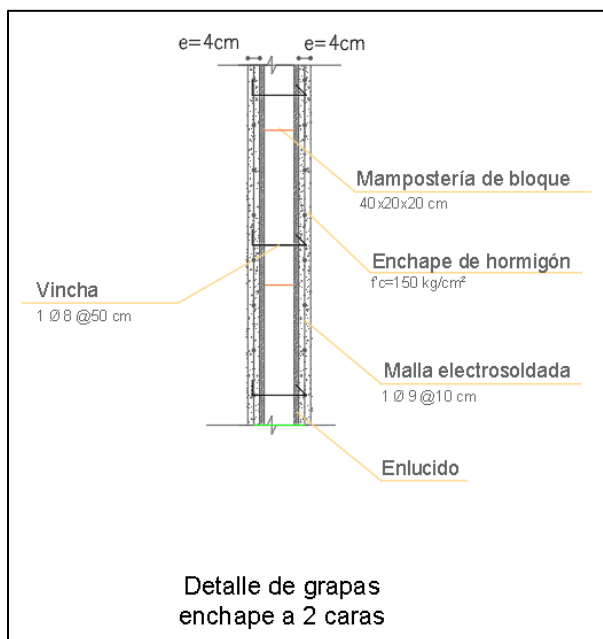


Figura 43

Detalle de grapas o vinchas de enchape





### **Cargas gravitacionales**

Las edificaciones son de un uso residencial, por lo cual las cargas vivas a considerar se tomaron de acuerdo con las recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15, 2014). Como cargas muertas adicionales se colocaron las correspondientes a mamposterías y acabados.

**Tabla 14**

*Peso losa alivianada*

Descripción	Volumen m <sup>3</sup>	Peso específico kg/m <sup>3</sup>	Peso por m <sup>2</sup> kg/m <sup>2</sup>
Loseta	0.05	2400	120
Nervios	0.09	2400	216
Acabados	0.03	2000	60
<b>Peso Losa por m<sup>2</sup></b>			<b>396</b>

**Tabla 15**

*Peso mampostería con bloque de 40x20x20cm*

Descripción	Valor	Unidad
Peso bloque 40x20x20 cm	12.00	kg
Volumen de Masilla	2450.00	cm <sup>3</sup>
Peso masilla	4.90	kg
Peso por m <sup>2</sup>	183.20	kg/m <sup>2</sup>
Peso enlucido a 2 lados	40.00	kg/m <sup>2</sup>
Peso total	223.20	kg/m <sup>2</sup>
Peso Adoptado	225.00	kg/m <sup>2</sup>
Área en planta	427.50	m <sup>2</sup>
Altura paredes	2.60	m
Longitud paredes en x	90.00	m
Longitud paredes en y	90.00	m
Peso paredes	105300.00	Kg
<b>Peso paredes por m<sup>2</sup></b>	<b>246.32</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>

**Tabla 16**

*Definición de cargas gravitacionales*

Tipo de carga	Valor	Unidad
Carga muerta total	650	kg/m <sup>2</sup>
Carga viva	200	kg/m <sup>2</sup>

### ***Tipo de suelo***

Para la presente investigación se ha considerado estructuras construidas en la ciudad de Quito sobre suelo tipo D.

### **Descripción de modelo no lineal**

Para la modelación de las estructuras se utilizó el programa SeismoStruct siguiendo la metodología descrita en el capítulo 2 del presente documento, para la calibración de los modelos computacionales. Por tal motivo, en este apartado se muestra a manera resumida la definición de materiales y elementos a utilizar.

### ***Definición de materiales***

El modelo constitutivo utilizado para el hormigón fue el propuesto por Mander et al., (1988).

**Tabla 17**

*Propiedades mecánicas del hormigón*

Parámetro	Hormigón de Columnas y Vigas		Mortero de Enchape	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
$f'_c$	23535.96	kPa	14709.98	kPa
$f_t$	2353.60	kPa	1471.00	kPa
$E_c$	20509735.75	kPa	15013305.37	kPa
$\epsilon_c$	0.0023	m/m	0.0020	m/m
$\gamma$	24.00	kN/m <sup>3</sup>	24.00	kN/m <sup>3</sup>

Para el caso del acero se utilizó el modelo constitutivo propuesto por Menegotto y Pinto, (1973).

**Tabla 18***Propiedades mecánicas del acero*

Parámetro	Acero de refuerzo de Columnas y Vigas		Malla electrosoldada para el Enchape	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
$E_s$	210000000	kPa	94000000	kPa
$f_y$	420000	kPa	470000	kPa
$\mu$	0.00812	-	0.08865	-
$R_0$	20	-	20	-
$a_1$	18.50	-	18.50	-
$a_2$	0.15	-	0.15	-
$a_3$	0	-	0	-
$a_4$	1	-	1	-
$\epsilon_{ult}$	0.09	-	0.011	-
$\gamma$	78	kN/m <sup>3</sup>	78	kN/m <sup>3</sup>

**Definición de elementos**

Para la modelación de los elementos se consideró elementos infrmFBPH (inelastic plastic-hinge force-based frame element) que son elementos con plasticidad concentrada. La longitud de la rótula plástica se definió de acuerdo con Priestley et al., (2007).

**Tabla 19***Longitud de rótula plástica para muros de edificios de 2 y 4 pisos*

Detalle	Valor	Valor	Valor	Valor	Unidad
Lw	<b>2.500</b>	<b>5.000</b>	<b>5.500</b>	<b>6.500</b>	m
Altura Muro	2.900	2.900	2.900	2.900	m
Altura Efectiva	2.175	2.175	2.175	2.175	m
fye	420.000	420.000	420.000	420.000	Mpa
fu	570.000	570.000	570.000	570.000	Mpa
dbl	0.018	0.018	0.018	0.018	m
Lsp	0.166	0.166	0.166	0.166	m
k	0.071	0.071	0.071	0.071	
<b>Lp</b>	<b>0.572</b>	<b>0.822</b>	<b>0.872</b>	<b>0.972</b>	<b>m</b>
<b>Lp</b>	<b>19.713</b>	<b>28.334</b>	<b>30.058</b>	<b>33.506</b>	<b>%</b>

**Tabla 20***Longitud de rótula plástica para muros de edificios de 6 pisos*

<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Lw	<b>2.500</b>	<b>5.000</b>	<b>5.500</b>	<b>6.500</b>	m
Altura Muro	2.900	2.900	2.900	2.900	m
Altura Efectiva	2.175	2.175	2.175	2.175	m
fye	420.000	420.000	420.000	420.000	Mpa
fu	570.000	570.000	570.000	570.000	Mpa
dbl	0.022	0.022	0.022	0.022	m
Lsp	0.203	0.203	0.203	0.203	m
k	0.071	0.071	0.071	0.071	
<b>Lp</b>	<b>0.609</b>	<b>0.859</b>	<b>0.909</b>	<b>1.009</b>	<b>m</b>
<b>Lp</b>	<b>20.987</b>	<b>29.608</b>	<b>31.332</b>	<b>34.781</b>	<b>%</b>

**Tabla 21***Longitud de rótula plástica para muros de edificios de 8 pisos*

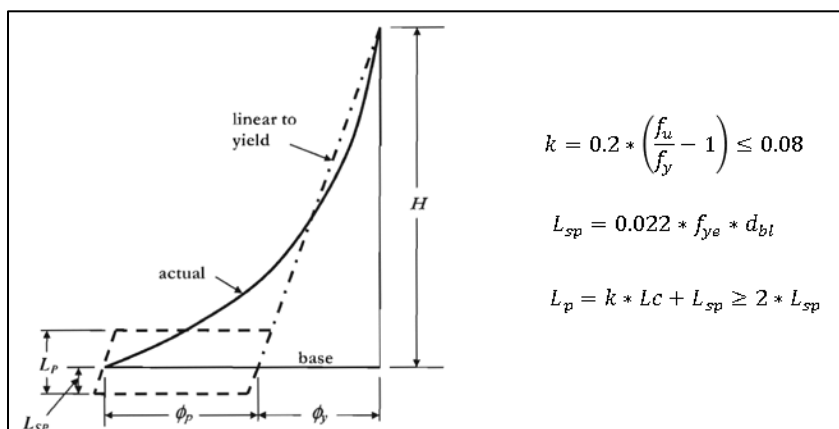
<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Lw	<b>2.500</b>	<b>5.000</b>	<b>5.500</b>	<b>6.500</b>	m
Altura Muro	2.900	2.900	2.900	2.900	m
Altura Efectiva	2.175	2.175	2.175	2.175	m
fye	420.000	420.000	420.000	420.000	Mpa
fu	570.000	570.000	570.000	570.000	Mpa
dbl	0.024	0.024	0.024	0.024	m
Lsp	0.222	0.222	0.222	0.222	m
k	0.071	0.071	0.071	0.071	
<b>Lp</b>	<b>0.627</b>	<b>0.877</b>	<b>0.927</b>	<b>1.027</b>	<b>m</b>
<b>Lp</b>	<b>21.625</b>	<b>30.245</b>	<b>31.970</b>	<b>35.418</b>	<b>%</b>

Cabe mencionar que estas longitudes de rótula son de los muros en su altura total, en vista que se va a dividir a los muros por la mitad de acuerdo con el capítulo 2 del presente documento, se debe duplicar esta longitud para cubrir la longitud total de rótula plástica. Por otro lado, como se puede observar en la figura 20, la zona plástica para muros se concentra en la parte inferior del elemento, en ese sentido se ha utilizado esta longitud de rótula plástica para los primeros pisos de cada estructura, en los siguientes pisos se ha utilizado los valores que presenta el programa por default.

La longitud de la rótula plástica para las columnas se definió de acuerdo con Priestley et al., (2007).

**Figura 44**

Determinación longitud de la rótula plástica- columnas



Nota: Tomado de *Displacement-Based Seismic Design of Structures*, por Priestley, Calvi y Kowalsky, 2007, Pavia, Italy.

**Tabla 22**

Longitud de rótulas plásticas - columnas

Detalle	2 - 4 Pisos	6 Pisos	8 Pisos	Ducto central	Unidades
	Valor	Valor	Valor	Valor	
Altura Columna	2.900	2.900	2.900	2.900	m
f <sub>ye</sub>	420.000	420.000	420.000	420.000	Mpa
f <sub>u</sub>	570.000	570.000	570.000	570.000	Mpa
dbl	<b>0.018</b>	<b>0.022</b>	<b>0.024</b>	<b>0.016</b>	m
L <sub>sp</sub>	0.166	0.203	0.222	0.148	m
k	0.071	0.071	0.071	0.071	
L <sub>c</sub>	1.450	1.450	1.450	1.450	m
L <sub>p</sub>	0.333	0.407	0.444	0.296	m
<b>L<sub>p</sub></b>	<b>11.470</b>	<b>14.019</b>	<b>15.294</b>	<b>10.196</b>	%

La geometría y armado de vigas y columnas es la indicada en el apartado "Geometría y armado de secciones" del presente documento.

Para la modelación de la losa alivianada se definió una sección de losa maciza con una altura equivalente de 21.54 cm.

### **Definición de cargas gravitacionales**

Para la asignación de carga muerta no se consideró el peso de la losa ya que el programa automáticamente calcula ese valor al definir el elemento. Es importante mencionar que al tener una losa maciza con una altura equivalente se debe considerar también una densidad equivalente para que el peso de la losa sea el adecuado, sin embargo, en el programa no se puede ingresar esta densidad equivalente, por lo cual se debe hacer el respectivo cálculo para definir la carga muerta.

**Tabla 23**

*Cargas gravitacionales asignadas*

<b>Tipo de carga</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Peso losa sin acabados	336.00	kg/m <sup>2</sup>
Peso losa programa	517.06	kg/m <sup>2</sup>
Diferencia	-181.06	kg/m <sup>2</sup>
Peso acabados	60.00	kg/m <sup>2</sup>
Peso paredes	246.32	kg/m <sup>2</sup>
Total	125.26	kg/m <sup>2</sup>
<b>Carga Muerta asignada</b>	<b>130.00</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Carga Viva asignada</b>	<b>200.00</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>

### **Modelos Estructurales**

A continuación, se muestran los modelos matemáticos realizados de cada estructura.

**Figura 45**

*Modelos estructuras de 2 pisos*



**Figura 46***Modelos estructuras de 4 pisos***Figura 47***Modelos estructuras de 6 pisos***Figura 48***Modelos estructuras de 8 pisos*

## Descripción de la amenaza

### Objetivos de desempeño

Para el análisis por desempeño de las edificaciones se buscó: que para un sismo de 10% de excedencia en 50 años las estructuras tengan un nivel de desempeño de seguridad de vida y que para un sismo de 2% de excedencia en 50 años las estructuras presenten un nivel de prevención de colapso.

### Figura 49

#### Objetivos de desempeño

		Building Performance Level			
		Operational	Occupiable, Damaged	Life Safe, Major Damage	Near Collapse
Design Shaking Level	Frequent (50%/50yr)	a	b	c	d
	Occasional (20%/50yr)	e	f	g	h
	Rare (~10%/50yr)	i	j	k	l
	MCE (~2%/50yr)	m	n	o	p

Most commonly selected performance objective

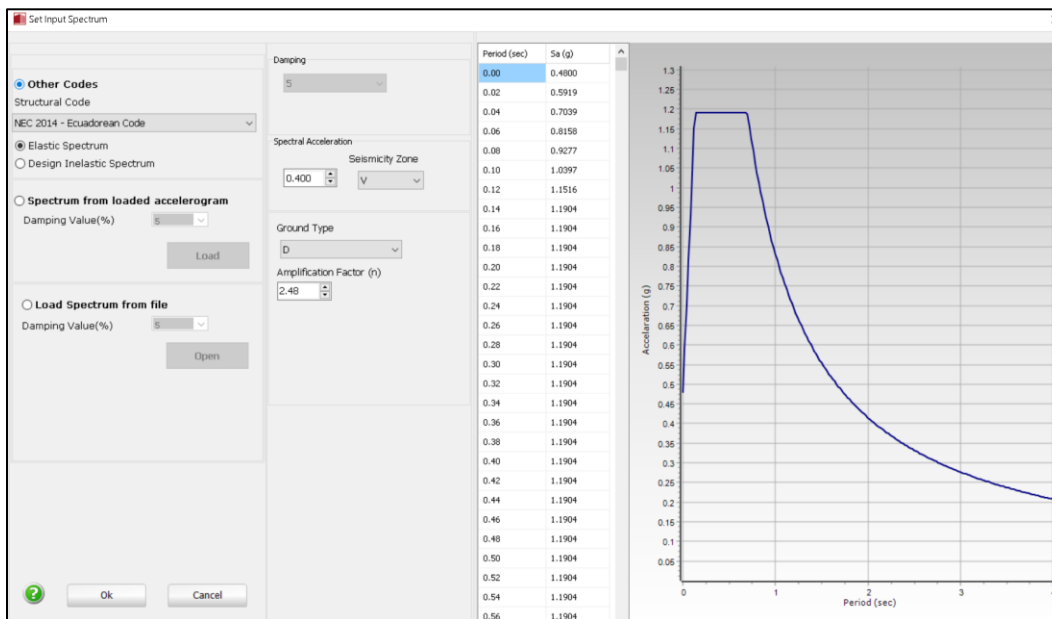
### Escenarios sísmicos

Como primer escenario se tiene un sismo raro con un periodo de retorno de 475 años, que es el evento sísmico de demanda para la filosofía de diseño sismorresistente ecuatoriana. El segundo escenario es el sismo máximo esperado (MCE) con un periodo de retorno de 2500 años.



**Figura 50**

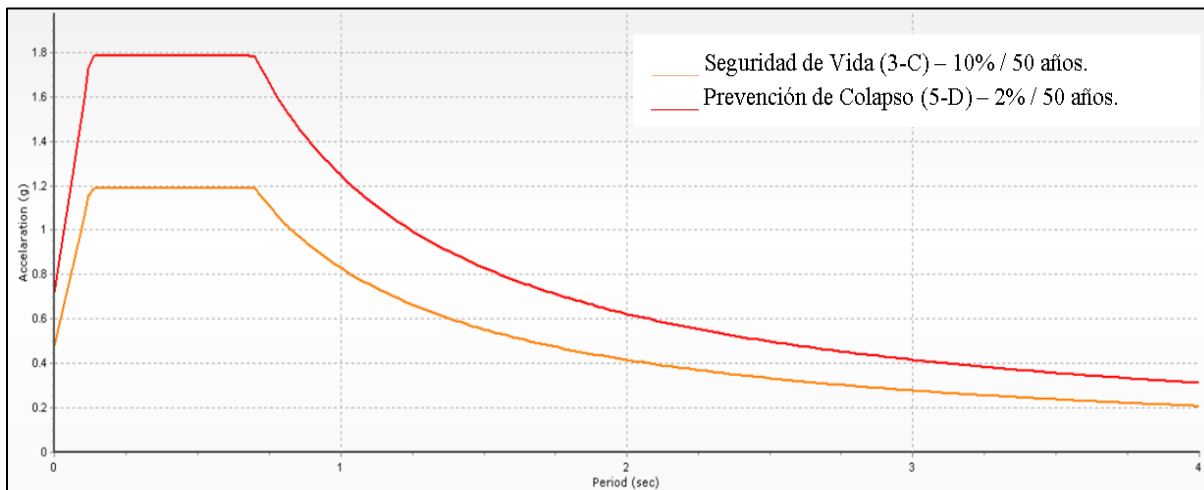
*Espectro de diseño para un periodo de retorno de 475 años*



Para determinar el MCE (periodo de retorno igual a 2500 años) se multiplicó el espectro diseño por un factor de 1.5, como se menciona en el ASCE 7-16 (American Society of Civil Engineers, 2013)

**Figura 51**

*Espectros utilizados*



## Capítulo IV

### Estudios Analíticos

En este capítulo se detalla los estudios analíticos realizados en las estructuras. Se presenta los puntos de desempeño determinados para los escenarios sísmicos seleccionados y finalmente se revisa el desempeño de la estructura.

#### **Método de análisis**

En todas las estructuras se realizó un análisis estático no lineal (NSP: Nonlinear Static Procedure) conocido como PUSHOVER, el cual consiste en aplicar una distribución de fuerzas laterales que se incrementan hasta que la estructura alcance el máximo desplazamiento. Logrando así, definir las curvas de capacidad de las estructuras.

El análisis se lo realizó tanto en el sentido X como en el sentido Y de las estructuras y se consideró una aplicación de carga incremental proporcional a las masas de cada piso.

#### ***Desplazamiento Objetivo***

El desplazamiento objetivo representa el desplazamiento máximo probable experimentado por la estructura para un escenario sísmico seleccionado. De esta forma se puede proveer información del nivel de daño probable que se puede producir al desplazar las estructuras una cierta cantidad de acuerdo con los escenarios sísmicos impuestos.

El desplazamiento objetivo se determinó de acuerdo con la norma ASCE 41-17 (American Society of Civil Engineers, 2017), la cual utiliza el método de los coeficientes para modificar la respuesta lineal elástica de un sistema equivalente de 1 GDL por medio de una

serie de coeficientes y se puede estimar el máximo desplazamiento global, denominado como desplazamiento objetivo (Cagua, 2022).

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (12)$$

Donde:

$T_e$ : Periodo efectivo de la estructura

$S_a$ : Aceleración espectral correspondiente al periodo fundamental efectivo  $T_e$ .

$C_0$ : Factor de modificación para relaciona SDOF a MDOF.

$C_1$ : Factor de modificación de máximo desplazamiento inelástico.

$C_2$ : Factor de modificación para considerar comportamiento hysterético pinchado, degradación cíclica y deterioro de resistencia en máximo desplazamiento.

El periodo efectivo se obtiene a partir de la curva bilineal idealizada fuerza-deformación.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (13)$$

Donde:

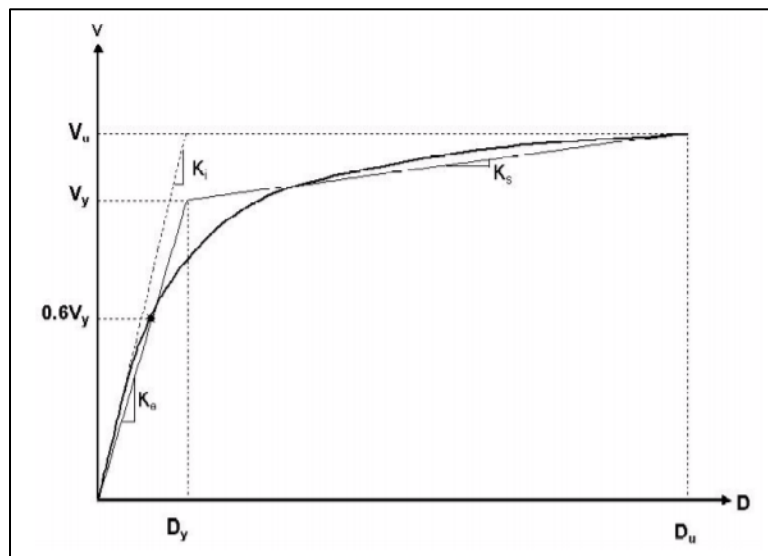
$T_i$ : Periodo fundamental elástico.

$K_i$ : Rigidez lateral elástica.

$K_e$ : Rigidez lateral efectiva de la estructura en la dirección considerada.

**Figura 52**

*Curva bilineal idealizada fuerza- deformación*



### ***Evaluación del desempeño***

Para la evaluación por desempeño de las estructuras de la presente investigación, se realizó un dimensionamiento detallado de todos los componentes estructurales, de tal forma que, luego de un desplazamiento dado (definido para un escenario sísmico), cada elemento maneje un nivel de seguridad y sufra daños controlados de acuerdo con los objetivos de desempeño que se hayan planteado.

Los criterios que se revisaron en este estudio fueron dos:

- Revisión de elementos por cortante
- Revisión de deformaciones de los materiales de cada elemento.

Para la **revisión de cortante de muros** se realizó una primera revisión identificando el tipo de muro de acuerdo con la relación alto/ancho ( $h_w/l_w$ ), se revisó que cumpla con el acero mínimo requerido a corte ( $\rho_{t\text{mín}} = 0.0025$ ), para posteriormente realizar un chequeo utilizando las ecuaciones planteadas en el Código (ACI-318, 2014).

**Tabla 24***Clasificación de tipo de muros*

Tipo de muro	Condicional
Muros Altos	$\frac{h_w}{l_w} \geq 5$
Muros Intermedios	$2 < \frac{h_w}{l_w} < 5$
Muros Bajos	$\frac{h_w}{l_w} \leq 2$

$$V_u \leq \phi V_n \quad (14)$$

$$V_n = V_c + V_s = A_{cv} * (\alpha_c * \lambda * \sqrt{f'_c} + \rho_t * f_y) \quad (15)$$

$$\phi = 0.6 \quad (16)$$

Donde:

$V_u$ : Fuerza cortante mayorada

$V_n$ : esfuerzo nominal resistente al corte

$V_c$ : resistencia nominal al cortante proporcionada por el hormigón

$V_s$ : resistencia nominal al cortante proporcionada por el refuerzo de cortante

$A_{cv}$ : área bruta de la sección de concreto, limitada por el espesor del alma del muro y la longitud de la sección en la dirección de la fuerza de cortante considerada.

$\alpha_c$ : coeficiente que define la contribución relativa de la resistencia del concreto a la resistencia nominal a cortante del muro (0.8 si  $h_w/l_w \leq 1.5$ ; 0.53 si  $h_w/l_w \geq 2.0$ ; si  $1.5 < h_w/l_w < 2$  se debe interpolar).

$\lambda$ : coeficiente del hormigón, es igual a 1 cuando el hormigón se considera normal

$f'_c$ : resistencia a la compresión del hormigón

$\rho_i$ : cuantía del área de refuerzo transversal distribuido al área bruta de concreto de una sección perpendicular a ese esfuerzo.

$f_y$ : resistencia específica a la fluencia del refuerzo

$\phi$ : factor de reducción de resistencia

Esta revisión se realizó contemplando únicamente el alma enchapada, con la finalidad de revisar el aporte que da la malla.

Cabe mencionar que no se consideró la ecuación que limita la capacidad nominal de los muros  $V_n \leq 2.65 * \sqrt{f'_c} * bw * d$ , ya que es una fórmula para controlar la capacidad de hormigones con grandes resistencias, considerando que la falla a corte del hormigón es frágil, sin embargo, para nuestro caso de estudio en el enchape se usa morteros de baja resistencia y se manejan espesores pequeños de 6 u 8 cm, por lo cual no resulta efectivo aplicar esta limitante.

Para la **revisión de cortante de columnas** se utilizó las ecuaciones planteadas en ASCE 41-17(American Society of Civil Engineers, 2017).

$$V_{col} = k_{nl} V_{col0} = k_{nl} \left[ \alpha_{col} \left( \frac{A_v f_{ytL/E} d}{s} \right) + \lambda \left( \frac{0.5 \sqrt{f'_{cL/E}}}{M_{UD}/V_{UD} d} \sqrt{1 + \frac{N_{UG}}{0.5 A_g \sqrt{f'_{cL/E}}}} \right) 0.8 A_g \right] \quad (17)$$

Donde:

$k$ : es igual a 1.0 en regiones donde la demanda de ductilidad de desplazamiento es menor o igual a 2, 0.7 en regiones donde el desplazamiento ductilidad es mayor o igual a 6, y varía linealmente para ductilidad de desplazamiento entre 2 y 6;

$\lambda$ : es igual a 0.75 para concreto de agregado liviano y 1.0 para peso normal

$N_u$ : es la fuerza de compresión axial (establecida en cero para la fuerza de tensión);

$M_{UD} / V_{UD}$ : es la relación más grande entre el momento y el corte por la profundidad efectiva bajo cargas de diseño para la columna, pero no deben tomarse mayor a 4 o menor que 2;

$d$ : profundidad efectiva. Se permitirá suponer que  $d = 0.8h$ , donde  $h$  es la dimensión de la columna en la dirección de cortante; y

$A_g$ : es el área de la sección transversal bruta de la columna.

Para la **revisión por deformaciones** se utilizó la herramienta *Performance Criteria* del programa SeismoStruct y se analizó elemento por elemento para cada uno de los escenarios sísmicos, las deformaciones que presentaban y se contabilizó cuantas excedían los límites establecidos, para posteriormente definir el desempeño de las estructuras y determinar la configuración y el porcentaje óptimo de paredes enchapadas.

Para la evaluación se han considerado los siguientes límites de deformación de acuerdo con el nivel de daño que pueden generar en la estructura.

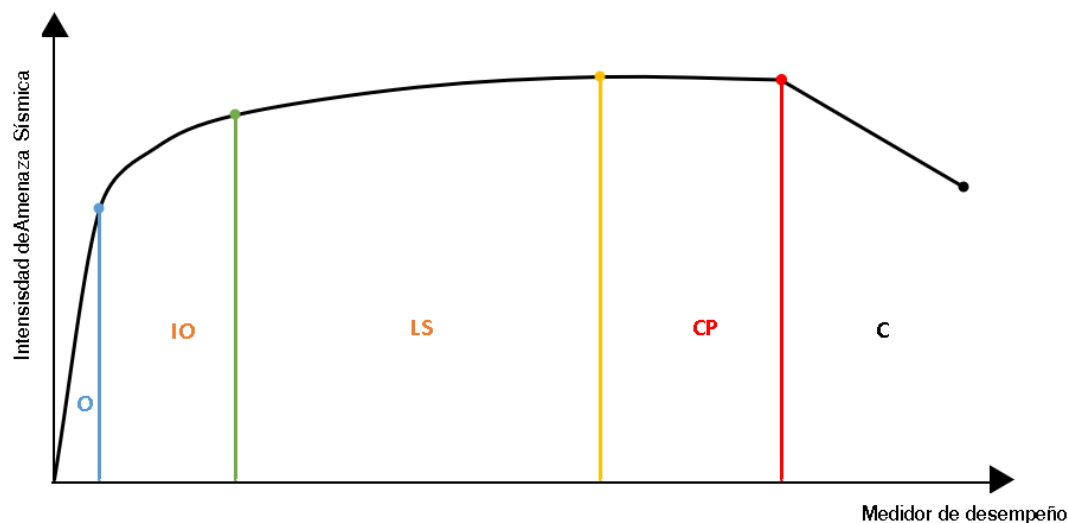
Tabla 25

Límites de deformación de los materiales

Nivel de desempeño	Límite		Criterio
Totalmente Operacional O	$\epsilon_s$	0.002	fluencia acero de refuerzo
	$\epsilon_m$	-0.005	fluencia de malla electrosoldada
Operacional o de Ocupación inmediata IO	$\epsilon_s$	0.015	estado límite de serviciabilidad del acero de refuerzo
	$\epsilon_m$	-0.011	fractura de malla electrosoldada
Seguridad de vida LS	$\epsilon_s$	0.060	estado límite de control de daño del acero de refuerzo
	$\epsilon_{cu}$	-0.294	deformación última del hormigón
Prevención colapso PC	$\epsilon_s$	0.090	fractura del acero de refuerzo
Colapso C	$\epsilon_s$	>0.090	supera la fractura de acero de refuerzo

Figura 53

Niveles de desempeño

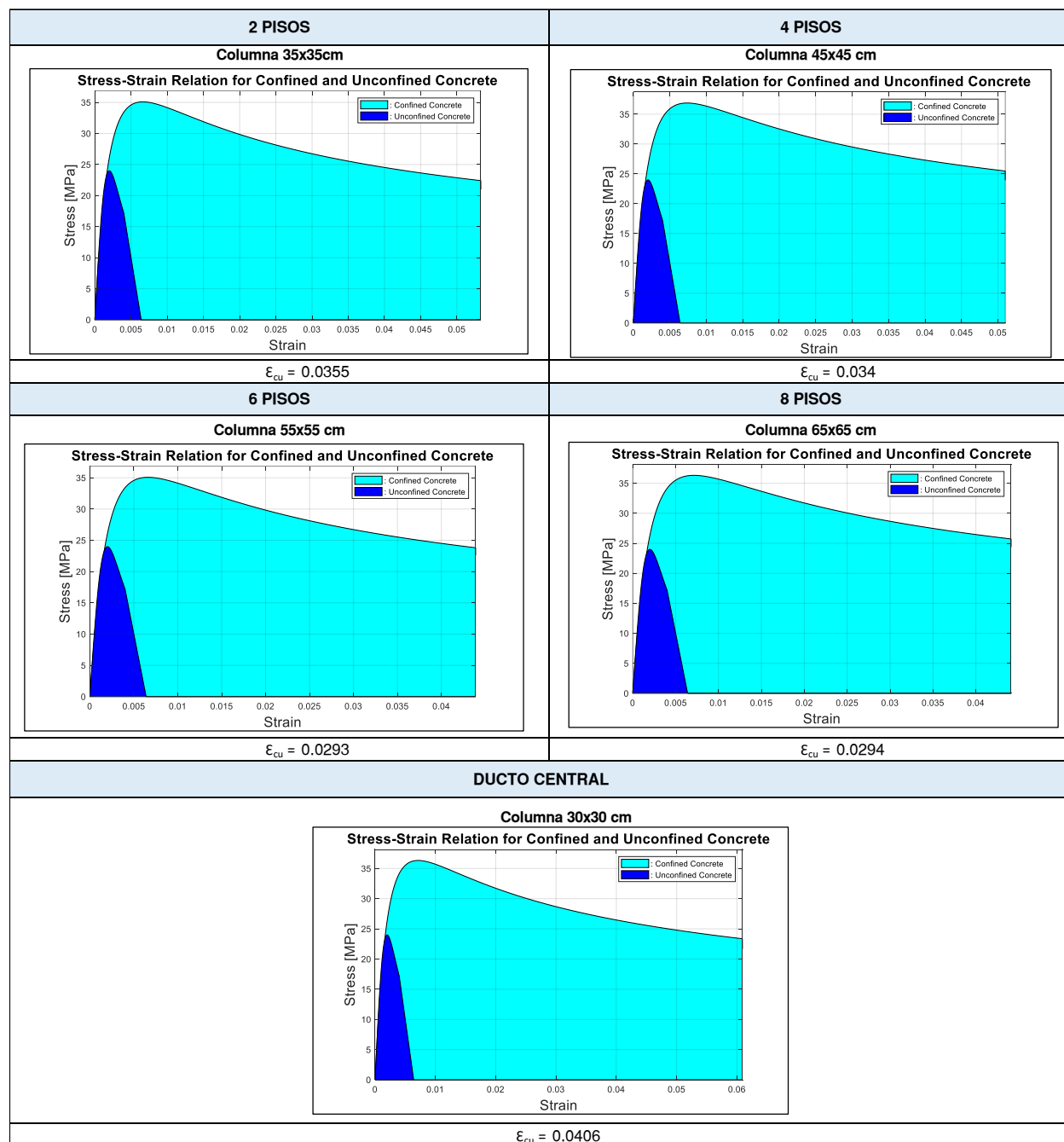


La mayoría de los límites se han definido en el desarrollo de la presente investigación, faltando la deformación última del hormigón, esta deformación se la determinó utilizando el programa Cumbia elaborado por Montejó y Kowalsky, (2007)



Figura 54

Deformación última del hormigón



Estructuras de 2 pisos

Curvas de capacidad y desplazamiento objetivo

A continuación, se presentan las curvas de capacidad en los dos sentidos de análisis, así como la ubicación de los desplazamientos objetivos para los 2 eventos sísmicos.

**Figura 55**

*Curvas de capacidad y desplazamientos objetivos – 2 pisos*

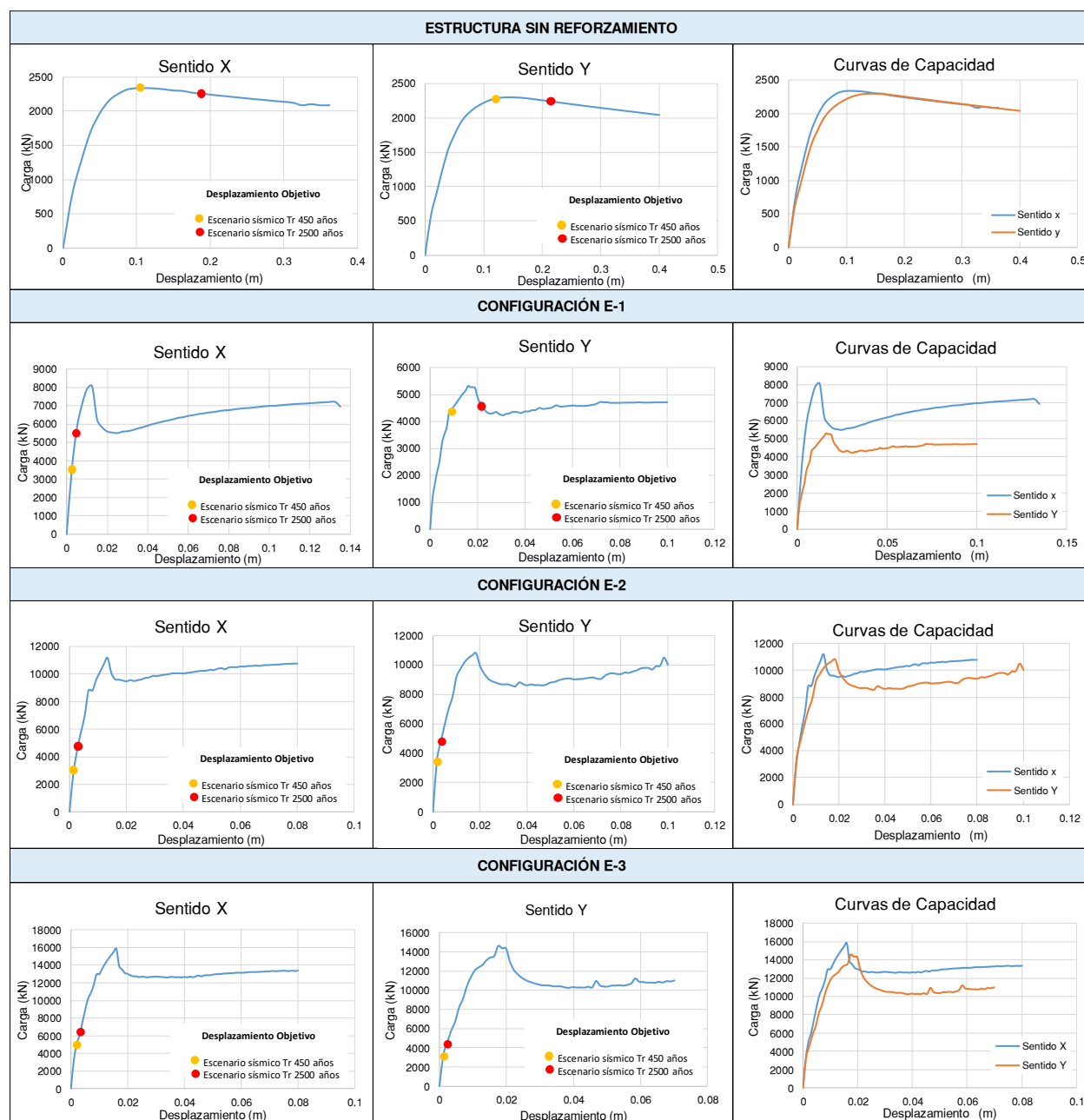


Tabla 26

## Desplazamientos objetivos - 2 Pisos

Caso de estudio	Sentido X				Sentido Y			
	Tr 450 años		Tr 2500 años		Tr 450 años		Tr 2500 años	
	Carga (kN)	Desplazamiento (m)	Carga (kN)	Desplazamiento (m)	Carga (kN)	Desplazamiento (m)	Carga (kN)	Desplazamiento (m)
Estructura sin reforzamiento	2342.536	0.10700	2261.518	0.18700	2294.570	0.13300	2221.738	0.22900
Configuración E-1	3520.530	0.00171	5784.678	0.00307	4447.650	0.00951	4884.947	0.02005
Configuración E-2	2793.515	0.00153	4457.302	0.00258	3516.070	0.00184	4764.645	0.00317
Configuración E-3	5042.196	0.00154	6007.245	0.00251	3310.176	0.00123	4555.151	0.00199

## Análisis de resultados

## Capacidad de las estructuras.

Figura 56

## Comparación de curvas de capacidad para las diferentes configuraciones - 2 Pisos

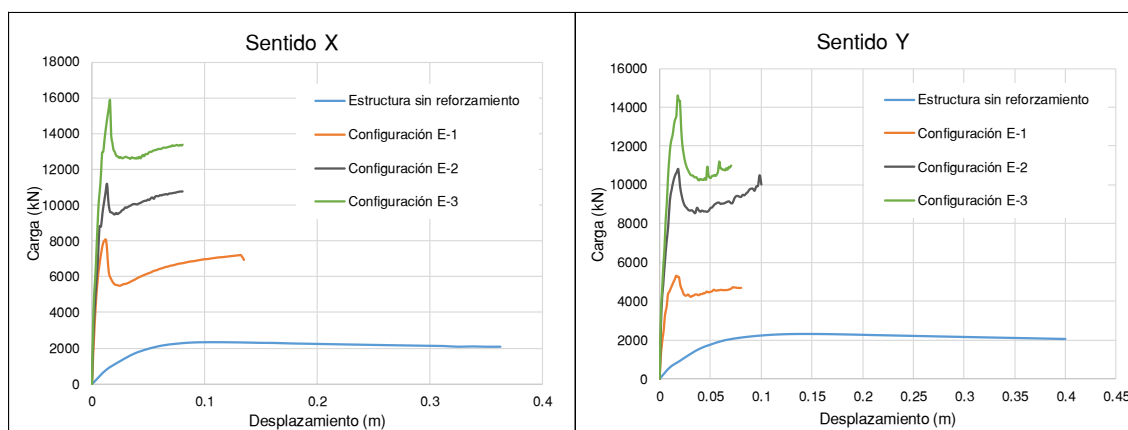


Tabla 27

## Relación de capacidad estructuras – 2 Pisos

Caso de estudio	Sentido X		Sentido Y	
	Carga Máx. (kN)	R	Carga Máx. (kN)	R
Estructura sin reforzamiento	2342.536	1.00	2299.494	1.00
Configuración E-1	8063.083	3.44	5304.187	2.31
Configuración E-2	11184.410	4.77	10787.275	4.69
Configuración E-3	15841.795	6.76	14593.548	6.35

En la figura 56 se puede observar como el reforzamiento con enchape incrementa significativamente la resistencia y rigidez de la estructura; en la tabla 27 se muestra la relación de capacidad que tienen en comparación con la estructura sin reforzamiento y se puede ver por ejemplo que para el caso de la configuración E1, la cual tiene 0.81% de paredes enchapadas en el Sentido X, la capacidad es 3.44 veces la capacidad de la estructura sin reforzamiento.

### Revisión de cortante

En este apartado se muestra la evaluación por corte que se realizó a muros y columnas de las estructuras de 2 pisos. Adicionalmente se presenta el porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape, en los diferentes eventos sísmicos. Igualmente, se indica el porcentaje de cortante que absorbe solamente el alma de los muros enchapados (sin los cabezales o columnas).

### Configuración E-1

**Tabla 28**

*Clasificación del tipo de muro de la Configuración E1– 2 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	hw (cm)	L (cm)	b <sub>col</sub> (cm)	lw (cm)	hw/lw	Tipo
X	Eje 1 entre C-F	580	650	35	580	1.00	Muro Bajo
	Eje 4 entre C-F	580	650	35	580	1.00	Muro Bajo
Y	Eje A entre 2-3	580	500	35	465	1.25	Muro Bajo
	Eje H entre 2-3	580	500	35	465	1.25	Muro Bajo

**Tabla 29**

*Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E1- 2 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Espesor bw (cm)	Acv (cm <sup>2</sup> )	malla #	∅ (cm)	@ (cm)	Varillas vert. #	Av (cm <sup>2</sup> )	ρ <sub>t</sub>	ρ <sub>t</sub> mín	Av mín (cm <sup>2</sup> )	Av > Av mín
X	Eje 1 entre C-F	150	5000	8	4640	2	0.9	10	59	75.07	0.01618	0.0025	11.6	ok
	Eje 4 entre C-F	150	5000	8	4640	2	0.9	10	59	75.07	0.01618	0.0025	11.6	ok
Y	Eje A entre 2-3	150	5000	8	3720	2	0.9	10	47	59.80	0.01608	0.0025	9.3	ok
	Eje H entre 2-3	150	5000	8	3720	2	0.9	10	47	59.80	0.01608	0.0025	9.3	ok

**Tabla 30***Revisión de muros a corte de la Configuración E1 – 2 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	$\alpha_c$	Vc (T)	Vs (T)	Vn (T)	$\phi Vn$ (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
								Vu< $\phi Vn$	Vu/ $\phi Vn$ (%)	Vu (T)	Vu< $\phi Vn$	Vu/ $\phi Vn$ (%)
X	Eje 1 entre C-F	0.80	45.46	375.34	420.80	252.48	167.50	ok	66%	248.50	ok	98%
	Eje 4 entre C-F	0.80	45.46	375.34	420.80	252.48	167.33	ok	66%	248.50	ok	98%
Y	Eje A entre 2-3	0.80	36.45	299.00	335.45	201.27	196.09	ok	97%	192.42	ok	96%
	Eje H entre 2-3	0.80	36.45	299.00	335.45	201.27	197.18	ok	98%	192.81	ok	96%

**Tabla 31***Revisión de columnas a corte de la Configuración E1 – 2 Pisos*

Sentido	Elemento	bc (cm)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	Vn (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
									Vu<Vn	Vu/Vn (%)	Vu (T)	Vu<Vn	Vu/Vn (%)
X	C3	35	240	4200	2.36	10	37.11	0.74	ok	2%	1.17	ok	3%
	C4	35	240	4200	2.36	10	31.37	0.15	ok	0%	0.24	ok	1%
	C21	35	240	4200	2.36	10	37.10	0.74	ok	2%	1.17	ok	3%
	C22	35	240	4200	2.36	10	31.37	0.15	ok	0%	0.24	ok	1%
Y	C7	35	240	4200	2.36	10	34.14	0.10	ok	0%	0.27	ok	1%
	C12	35	240	4200	2.36	10	34.14	0.10	ok	0%	0.27	ok	1%
	C13	35	240	4200	2.36	10	38.76	7.76	ok	20%	17.18	ok	44%
	C18	35	240	4200	2.36	10	38.74	7.72	ok	20%	17.22	ok	44%

**Tabla 32***Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E1 – 2 Pisos*

Sentido	Tr 475 años			Tr 2500 años		
	V	V	% V absorbe	V	V	% V absorbe
	enchape (T)	estructura (T)	enchape (T)	enchape (T)	estructura (T)	enchape (T)
X	336.59	359.00	94%	499.81	589.88	85%
Y	408.94	453.54	90%	420.16	498.13	84%

**Tabla 33***Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E1 -2 Pisos*

Sentido	Tr 475 años			Tr 2500 años		
	V	V	% V absorbe	V	V	% V absorbe
	muros (T)	estructura (T)	muros (T)	muros (T)	estructura (T)	muros (T)
X	334.83	359.00	93%	497.00	589.88	84%
Y	393.26	453.54	87%	385.23	498.13	77%

En la tabla 9 se puede ver que el sistema de enchape con la Configuración E-1 absorbe más del 84 % de cortante, y analizando únicamente el porcentaje de cortante que absorbe el alma de los muros se puede ver que este es superior al 77%.

### Configuración E-2

**Tabla 34**

*Clasificación del tipo de muro de la Configuración E2– 2 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	hw (cm)	L (cm)	b <sub>col</sub> (cm)	lw (cm)	hw/lw	Tipo
X	Eje 2 entre C-D	580	250	35	217.5	2.67	Muro Intermedio
	Eje 2 entre D-F	580	250	35	217.5	2.67	Muro Intermedio
	Eje 3 entre C-D	580	250	35	217.5	2.67	Muro Intermedio
	Eje 3 entre D-F	580	250	35	217.5	2.67	Muro Intermedio
	Eje 1 entre C-F	580	650	35	580	1.00	Muro Bajo
	Eje 4 entre C-F	580	650	35	580	1.00	Muro Bajo
Y	Eje C entre 2-3	580	500	35	465	1.25	Muro Bajo
	Eje F entre 2-3	580	500	35	465	1.25	Muro Bajo
	Eje A entre 2-3	580	500	35	465	1.25	Muro Bajo
	Eje H entre 2-3	580	500	35	465	1.25	Muro Bajo

**Tabla 35**

*Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E2- 2 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Espesor bw (cm)	Acv (cm <sup>2</sup> )	malla #	Ø (cm)	@ (cm)	Varillas vert. #	Av (cm <sup>2</sup> )	ρ <sub>t</sub>	ρ <sub>t min</sub>	Av mín (cm <sup>2</sup> )	Av > Avmín
X	Eje 2 entre C-D	150	5000	8	1740	2	0.9	10	22	27.99	0.01609	0.0025	4.35	ok
	Eje 2 entre D-F	150	5000	8	1740	2	0.9	10	22	27.99	0.01609	0.0025	4.35	ok
	Eje 3 entre C-D	150	5000	8	1740	2	0.9	10	22	27.99	0.01609	0.0025	4.35	ok
	Eje 3 entre D-F	150	5000	8	1740	2	0.9	10	22	27.99	0.01609	0.0025	4.35	ok
	Eje 1 entre C-F	150	5000	8	4640	2	0.9	10	59	75.07	0.01618	0.0025	11.6	ok
	Eje 4 entre C-F	150	5000	8	4640	2	0.9	10	59	75.07	0.01618	0.0025	11.6	ok
Y	Eje C entre 2-3	150	5000	8	3720	2	0.9	10	47	59.80	0.01608	0.0025	9.3	ok
	Eje F entre 2-3	150	5000	8	3720	2	0.9	10	47	59.80	0.01608	0.0025	9.3	ok
	Eje A entre 2-3	150	5000	8	3720	2	0.9	10	47	59.80	0.01608	0.0025	9.3	ok
	Eje H entre 2-3	150	5000	8	3720	2	0.9	10	47	59.80	0.01608	0.0025	9.3	ok

Tabla 36

Revisión de muros a corte de la Configuración E2 – 2 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	$\alpha_c$	Vc (T)	Vs (T)	Vn (T)	$\phi Vn$ (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
								Vu < $\phi Vn$	Vu / $\phi Vn$ (%)	Vu (T)	Vu < $\phi Vn$	Vu / $\phi Vn$ (%)
X	Eje 2 entre C-D	0.53	11.2945972	139.958	151.25	<b>90.75</b>	21.46	ok	24%	33.94	ok	37%
	Eje 2 entre D-F	0.53	11.2945972	139.958	151.25	<b>90.75</b>	16.01	ok	18%	16.10	ok	18%
	Eje 3 entre C-D	0.53	11.2945972	139.958	151.25	<b>90.75</b>	21.46	ok	24%	34.00	ok	37%
	Eje 3 entre D-F	0.53	11.2945972	139.958	151.25	<b>90.75</b>	15.97	ok	18%	16.07	ok	18%
	Eje 1 entre C-F	0.8	45.4625296	375.342	420.80	<b>252.48</b>	98.36	ok	39%	165.89	ok	66%
	Eje 4 entre C-F	0.8	45.4625296	375.342	420.80	<b>252.48</b>	98.30	ok	39%	165.90	ok	66%
Y	Eje C entre 2-3	0.8	36.4484074	299.001	335.45	<b>201.27</b>	94.91	ok	47%	123.93	ok	62%
	Eje F entre 2-3	0.8	36.4484074	299.001	335.45	<b>201.27</b>	94.97	ok	47%	104.42	ok	52%
	Eje A entre 2-3	0.8	36.4484074	299.001	335.45	<b>201.27</b>	77.11	ok	38%	104.61	ok	52%
	Eje H entre 2-3	0.8	36.4484074	299.001	335.45	<b>201.27</b>	76.89	ok	38%	124.10	ok	62%

Tabla 37

Revisión de columnas a corte de la Configuración E2 – 2 Pisos

Sentido	Columna	bc (cm)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	Vn (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años			
									Vu < Vn	Vu / Vn (%)	Vu (T)	Vu < Vn	Vu / Vn (%)	
X	C3	35	240	4200	2.36	10	31.95	0.24	ok	1%	0.20	ok	1%	
	C4	35	240	4200	2.36	10	41.14	0.58	ok	1%	1.03	ok	3%	
	C9	35	240	4200	2.36	10	34.14	0.80	ok	2%	0.67	ok	2%	
	C10	35	240	4200	2.36	10	38.69	0.69	ok	2%	1.22	ok	3%	
	C15	35	240	4200	2.36	10	34.14	0.80	ok	2%	0.67	ok	2%	
	C16	35	240	4200	2.36	10	38.67	0.69	ok	2%	1.22	ok	3%	
	C21	35	240	4200	2.36	10	31.95	0.25	ok	1%	0.20	ok	1%	
	C22	35	240	4200	2.36	10	41.14	0.58	ok	1%	1.03	ok	3%	
	C25	30	240	4200	2.36	10	30.01	0.41	ok	1%	0.76	ok	3%	
	C26	30	240	4200	2.36	10	26.34	0.35	ok	1%	0.12	ok	0%	
	C27	30	240	4200	2.36	10	30.02	0.41	ok	1%	0.76	ok	3%	
	C28	30	240	4200	2.36	10	26.34	0.35	ok	1%	0.12	ok	0%	
	Y	C7	35	240	4200	2.36	10	29.24	0.14	ok	0%	0.29	ok	1%
		C9	35	240	4200	2.36	10	29.28	0.14	ok	0%	0.33	ok	1%
C10		35	240	4200	2.36	10	29.29	0.14	ok	0%	0.33	ok	1%	
C12		35	240	4200	2.36	10	29.24	0.14	ok	0%	0.29	ok	1%	
C13		35	240	4200	2.36	10	37.30	0.88	ok	2%	1.61	ok	4%	
C15		35	240	4200	2.36	10	32.42	0.83	ok	3%	1.84	ok	6%	
C16		35	240	4200	2.36	10	32.41	0.83	ok	3%	1.85	ok	6%	
C18		35	240	4200	2.36	10	33.10	0.76	ok	2%	1.61	ok	5%	

**Tabla 38**

*Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E2 – 2 Pisos*

Sentido	Tr 475 años			Tr 2500 años		
	V enchape	V estructura	% V absorbe enchape	V enchape	V estructura	% V absorbe enchape
	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)
X	277.69	284.860312	97%	439.86	454.52	97%
Y	347.72	358.54069	97%	465.21	485.86	96%

**Tabla 39**

*Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E2 -2 Pisos*

Sentido	Tr 475 años			Tr 2500 años		
	V muros	V estructura	% V absorbe muros	V muros	V estructura	% V absorbe muros
	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)
X	271.5449	284.8603116	95%	431.89	454.52	95%
Y	343.8687	358.54069	96%	457.07	485.86	94%

En la tabla 38 se puede ver que el sistema de enchape con la Configuración E-2 absorbe más del 96 % de cortante, y analizando únicamente el porcentaje de cortante que absorbe el alma de los muros se puede ver que este es superior al 94%. Adicionalmente, en la tabla 36 se puede observar que los muros están trabajando alrededor del 50% de la capacidad.

### **Configuración E-3**



Tabla 40

Clasificación del tipo de muro de la Configuración E3- 2 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	hw (cm)	L (cm)	d col (cm)	lw (cm)	hw/lw	Tipo
X	Eje 1 entre B-C	580	550	35	515	1.13	Muro Bajo
	Eje 1 entre F -G	580	550	35	515	1.13	Muro Bajo
	Eje 4 entre B-C	580	550	35	515	1.13	Muro Bajo
	Eje 4 entre F -G	580	550	35	515	1.13	Muro Bajo
	Eje 2 entre C-D	580	250	35	218	2.67	Muro Intermedio
	Eje 2 entre D-F	580	250	35	218	2.67	Muro Intermedio
	Eje 3 entre C-D	580	250	35	218	2.67	Muro Intermedio
	Eje 3 entre D-F	580	250	35	218	2.67	Muro Intermedio
Y	Eje C entre 2-3	580	500	35	465	1.25	Muro Bajo
	Eje D entre 2-3	580	500	35	465	1.25	Muro Bajo
	Eje A entre 1-2	580	500	35	465	1.25	Muro Bajo
	Eje H entre 1-2	580	500	35	465	1.25	Muro Bajo
	Eje A entre 3-4	580	500	35	465	1.25	Muro Bajo
	Eje H entre 3-4	580	500	35	465	1.25	Muro Bajo

Tabla 41

Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E3- 2 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Espesor bw (cm)	Acv (cm <sup>2</sup> )	malla #	Ø (cm)	@ (cm)	Varillas vert. #	Av (cm <sup>2</sup> )	Pt	Pt <sub>min</sub>	Av mín (cm <sup>2</sup> )	Av > Av <sub>mín</sub>
X	Eje 1 entre B-C	150	5000	8	4120	2	0.9	10	52	66.16	0.01606	0.0025	10.3	ok
	Eje 1 entre F -G	150	5000	8	4120	2	0.9	10	52	66.16	0.01606	0.0025	10.3	ok
	Eje 4 entre B-C	150	5000	8	4120	2	0.9	10	52	66.16	0.01606	0.0025	10.3	ok
	Eje 4 entre F -G	150	5000	8	4120	2	0.9	10	52	66.16	0.01606	0.0025	10.3	ok
	Eje 2 entre C-D	150	5000	8	1740	2	0.9	10	22	27.99	0.01609	0.0025	4.35	ok
	Eje 2 entre D-F	150	5000	8	1740	2	0.9	10	22	27.99	0.01609	0.0025	4.35	ok
	Eje 3 entre C-D	150	5000	8	1740	2	0.9	10	22	27.99	0.01609	0.0025	4.35	ok
	Eje 3 entre D-F	150	5000	8	1740	2	0.9	10	22	27.99	0.01609	0.0025	4.35	ok
Y	Eje C entre 2-3	150	5000	8	3720	2	0.9	10	47	59.80	0.01608	0.0025	9.3	ok
	Eje D entre 2-3	150	5000	8	3720	2	0.9	10	47	59.80	0.01608	0.0025	9.3	ok
	Eje A entre 1-2	150	5000	8	3720	2	0.9	10	47	59.80	0.01608	0.0025	9.3	ok
	Eje H entre 1-2	150	5000	8	3720	2	0.9	10	47	59.80	0.01608	0.0025	9.3	ok
	Eje A entre 3-4	150	5000	8	3720	2	0.9	10	47	59.80	0.01608	0.0025	9.3	ok
	Eje H entre 3-4	150	5000	8	3720	2	0.9	10	47	59.80	0.01608	0.0025	9.3	ok

Tabla 42

Revisión de muros a corte de la Configuración E3 – 2 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	$\alpha_c$	Vc (T)	Vs (T)	Vn (T)	$\phi Vn$ (T)	Vu (T)	Tr 475 años			Tr 2500 años		
								Vu < $\phi Vn$	Vu / $\phi Vn$ (%)	Vu (T)	Vu < $\phi Vn$	Vu / $\phi Vn$ (%)	Vu (T)
X	Eje 1 entre B-C	0.80	40.37	330.81	371.18	<b>222.71</b>	100.72	ok	45%	124.91	ok	56%	
	Eje 1 entre F -G	0.80	40.37	330.81	371.18	<b>222.71</b>	103.02	ok	46%	126.08	ok	57%	
	Eje 4 entre B-C	0.80	40.37	330.81	371.18	<b>222.71</b>	100.22	ok	45%	124.54	ok	56%	
	Eje 4 entre F -G	0.80	40.37	330.81	371.18	<b>222.71</b>	102.82	ok	46%	125.94	ok	57%	
	Eje 2 entre C-D	0.53	11.29	139.96	151.25	<b>90.75</b>	30.50	ok	34%	27.78	ok	31%	
	Eje 2 entre D-F	0.53	11.29	139.96	151.25	<b>90.75</b>	14.31	ok	16%	16.67	ok	18%	
	Eje 3 entre C-D	0.53	11.29	139.96	151.25	<b>90.75</b>	30.49	ok	34%	27.70	ok	31%	
Y	Eje 3 entre D-F	0.53	11.29	139.96	151.25	<b>90.75</b>	14.32	ok	16%	16.67	ok	18%	
	Eje A entre 2-3	0.80	36.45	299.00	335.45	<b>201.27</b>	68.70	ok	34%	85.69	ok	43%	
	Eje H entre 2-3	0.80	36.45	299.00	335.45	<b>201.27</b>	68.80	ok	34%	82.66	ok	41%	
	Eje A entre 1-2	0.80	36.45	299.00	335.45	<b>201.27</b>	44.07	ok	22%	67.13	ok	33%	
	Eje H entre 1-2	0.80	36.45	299.00	335.45	<b>201.27</b>	43.65	ok	22%	66.76	ok	33%	
	Eje A entre 3-4	0.80	36.45	299.00	335.45	<b>201.27</b>	50.10	ok	25%	71.05	ok	35%	
Eje H entre 3-4	0.80	36.45	299.00	335.45	<b>201.27</b>	49.99	ok	25%	71.08	ok	35%		

Tabla 43

Revisión de columnas a corte de la Configuración E3 – 2 Pisos

Sentido	Columna	bc (cm)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	Vn (T)	Vu (T)	Tr 475 años			Tr 2500 años		
									Vu < Vn	Vu / Vn (%)	Vu (T)	Vu < Vn	Vu / Vn (%)	Vu (T)
X	C2	35	240	4200	35.00	10	33.04	0.20	ok	1%	0.21	ok	1%	
	C3	35	240	4200	35.00	10	33.78	0.86	ok	3%	1.15	ok	3%	
	C5	35	240	4200	35.00	10	33.77	0.87	ok	3%	1.16	ok	3%	
	C6	35	240	4200	35.00	10	33.77	0.87	ok	3%	1.33	ok	4%	
	C9	35	240	4200	35.00	10	30.28	1.16	ok	4%	0.29	ok	1%	
	C10	35	240	4200	35.00	10	31.60	1.02	ok	3%	1.58	ok	5%	
	C15	35	240	4200	35.00	10	30.29	1.16	ok	4%	0.29	ok	1%	
	C16	35	240	4200	35.00	10	31.60	1.02	ok	3%	1.58	ok	5%	
	C20	35	240	4200	35.00	10	33.05	0.19	ok	1%	0.21	ok	1%	
	C21	35	240	4200	35.00	10	33.77	0.86	ok	3%	1.15	ok	3%	
	C22	35	240	4200	35.00	10	33.05	0.21	ok	1%	0.21	ok	1%	
	C23	35	240	4200	35.00	10	25.26	0.61	ok	2%	1.16	ok	5%	
	C25	30	240	4200	3.93	10	25.26	0.61	ok	2%	0.85	ok	3%	
	C26	30	240	4200	3.93	10	22.74	0.10	ok	0%	0.15	ok	1%	
	C27	30	240	4200	3.93	10	25.25	0.61	ok	2%	0.85	ok	3%	
	C28	30	240	4200	3.93	10	22.74	0.10	ok	0%	0.15	ok	1%	
Y	C1	35	240	4200	35.00	10	32.97	0.19	ok	1%	0.21	ok	1%	
	C6	35	240	4200	35.00	10	32.97	0.19	ok	1%	0.21	ok	1%	
	C7	35	240	4200	35.00	10	32.04	0.66	ok	2%	1.15	ok	4%	
	C9	35	240	4200	35.00	10	34.14	0.45	ok	1%	0.27	ok	1%	
	C10	35	240	4200	35.00	10	34.14	0.44	ok	1%	0.27	ok	1%	
	C12	35	240	4200	35.00	10	32.01	0.66	ok	2%	1.14	ok	4%	
	C13	35	240	4200	35.00	10	32.94	0.20	ok	1%	0.22	ok	1%	
	C15	35	240	4200	35.00	10	33.04	0.76	ok	2%	1.38	ok	4%	
	C16	35	240	4200	35.00	10	33.05	0.76	ok	2%	1.36	ok	4%	
	C18	35	240	4200	35.00	10	32.95	0.20	ok	1%	0.22	ok	1%	
C19	35	240	4200	35.00	10	32.22	0.70	ok	2%	1.22	ok	4%		
C24	35	240	4200	35.00	10	32.21	0.70	ok	2%	1.22	ok	4%		

**Tabla 44**

*Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E3 – 2 Pisos*

Sentido	Tr 475 años			Tr 2500 años		
	V enchape	V estructura	% V absorbe enchape	V enchape	V estructura	% V absorbe enchape
	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)
X	506.83	514.1628105	99%	602.63	612.57	98%
Y	331.25	337.5452671	98%	453.24	464.50	98%

**Tabla 45**

*Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E3 -2 Pisos*

Sentido	Tr 475 años			Tr 2500 años		
	V muros	V estructura	% V absorbe muros	V muros	V estructura	% V absorbe muros
	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)
X	496.40	514.1628105	97%	590.30	612.57	96%
Y	325.32	337.5452671	96%	444.36	464.50	96%

En la tabla 44 se puede ver que el sistema de enchape con la Configuración E-3 casi el 100% de cortante, y analizando únicamente el porcentaje de cortante que absorbe el alma de los muros se puede ver que este es superior al 96%. Adicionalmente, en la tabla 42 se puede observar que los muros están trabajando a alrededor del 50% de la capacidad.

Finalmente se puede determinar que para las tres configuraciones propuestas los elementos muros y columna tiene un buen comportamiento a corte lo que permite continuar con el análisis de determinar cuál porcentaje de paredes enchapadas es el óptimo.

### Revisión por deformaciones.

A continuación, se presenta a manera de resumen el número de elementos que superaron los límites de deformación para cada nivel de desempeño. El detalle de cuantos elementos superaron cada límite por separado se presenta en el Apéndice 1.

### Configuración E-1

**Tabla 46**

*Resumen evaluación por deformaciones Configuración E1- 2Pisos*

Nivel de desempeño	Sentido X		Sentido Y	
	Tr	Tr	Tr	Tr
	475 años	2500 años	475 años	2500 años
O	0	0	6	8
IO	0	0	0	2
LS	0	0	0	0
CP	0	0	0	0
C	0	0	0	0

**Tabla 47**

*Nivel de desempeño alcanzado Configuración E1- 2 Pisos*

Escenario Sísmico	Sentido X	Sentido Y
10% de excedencia en 50 años (Tr=475 años)	Totalmente Operacional O	Operacional o de Ocupación Inmediata IO
2% de excedencia en 50 años (Tr=2500 años)	Totalmente Operacional O	Seguridad de Vida LS

### Configuración E-2

**Tabla 48**

*Resumen evaluación por deformaciones Configuración E2- 2Pisos*

Nivel de desempeño	Sentido X		Sentido Y	
	Tr	Tr	Tr	Tr
	475 años	2500 años	475 años	2500 años
O	0	0	0	0
IO	0	0	0	0
LS	0	0	0	0
CP	0	0	0	0
C	0	0	0	0

**Tabla 49***Nivel de desempeño alcanzado Configuración E2- 2 Pisos*

Escenario Sísmico	Sentido X	Sentido Y
10% de excedencia en 50 años (Tr=475 años)	Totalmente Operacional 0	Totalmente Operacional 0
2% de excedencia en 50 años (Tr=2500 años)	Totalmente Operacional 0	Totalmente Operacional 0

**Configuración E-3****Tabla 50***Resumen evaluación por deformaciones Configuración E3- 2Pisos*

Nivel de desempeño	Sentido X		Sentido Y	
	Tr	Tr	Tr	Tr
	475 años	2500 años	475 años	2500 años
O	0	0	0	0
IO	0	0	0	0
LS	0	0	0	0
CP	0	0	0	0
C	0	0	0	0

**Tabla 51***Nivel de desempeño alcanzado Configuración E3- 2 Pisos*

Escenario Sísmico	Sentido X	Sentido Y
10% de excedencia en 50 años (Tr=475 años)	Totalmente Operacional 0	Totalmente Operacional 0
2% de excedencia en 50 años (Tr=2500 años)	Totalmente Operacional 0	Totalmente Operacional 0

De acuerdo con las tablas 47, 49, 51, se puede evidenciar que todas las configuraciones propuestas para las estructuras de 2 pisos de esta investigación cumplen con los objetivos de desempeño planteados, e incluso presentan un desempeño mejor.

## **Reforzamiento Óptimo**

Una vez que se revisó el comportamiento de las estructuras y elementos en cuanto a capacidad, corte y deformaciones y que se ha evidenciado el cumplimiento de los objetivos de desempeño, se procede a determinar que para las estructuras de 2 pisos analizadas en esta investigación el porcentaje de paredes enchapadas óptimo es el caso de la Configuración E-1, en el sentido Y, el cual tiene un porcentaje de paredes enchapadas por planta de 0.61%.

En este punto se entiende que el porcentaje óptimo será aquel que cumpla los objetivos planteados, y entre ellos el que requiera una menor intervención y costo, es decir un menor porcentaje de paredes enchapadas.

Se enfatiza que este porcentaje es para estructuras de 2 pisos que presenten estas características: suelo tipo D, espesor total de enchape 8cm, resistencia a la compresión del mortero de enchape  $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$ ; refuerzo con malla electrosoldada de 9mm de diámetro y apertura cuadrada de 10x10 cm; resistencia a la tracción  $f_y=5000 \text{ kg/cm}^2$ .

## **Estructuras de 4 pisos**

### ***Curvas de capacidad y desplazamiento objetivo***

A continuación, se presentan las curvas de capacidad en los dos sentidos de análisis, así como la ubicación de los desplazamientos objetivos para los 2 eventos sísmicos.

Figura 57

Curvas de capacidad y desplazamientos objetivos – 4 pisos

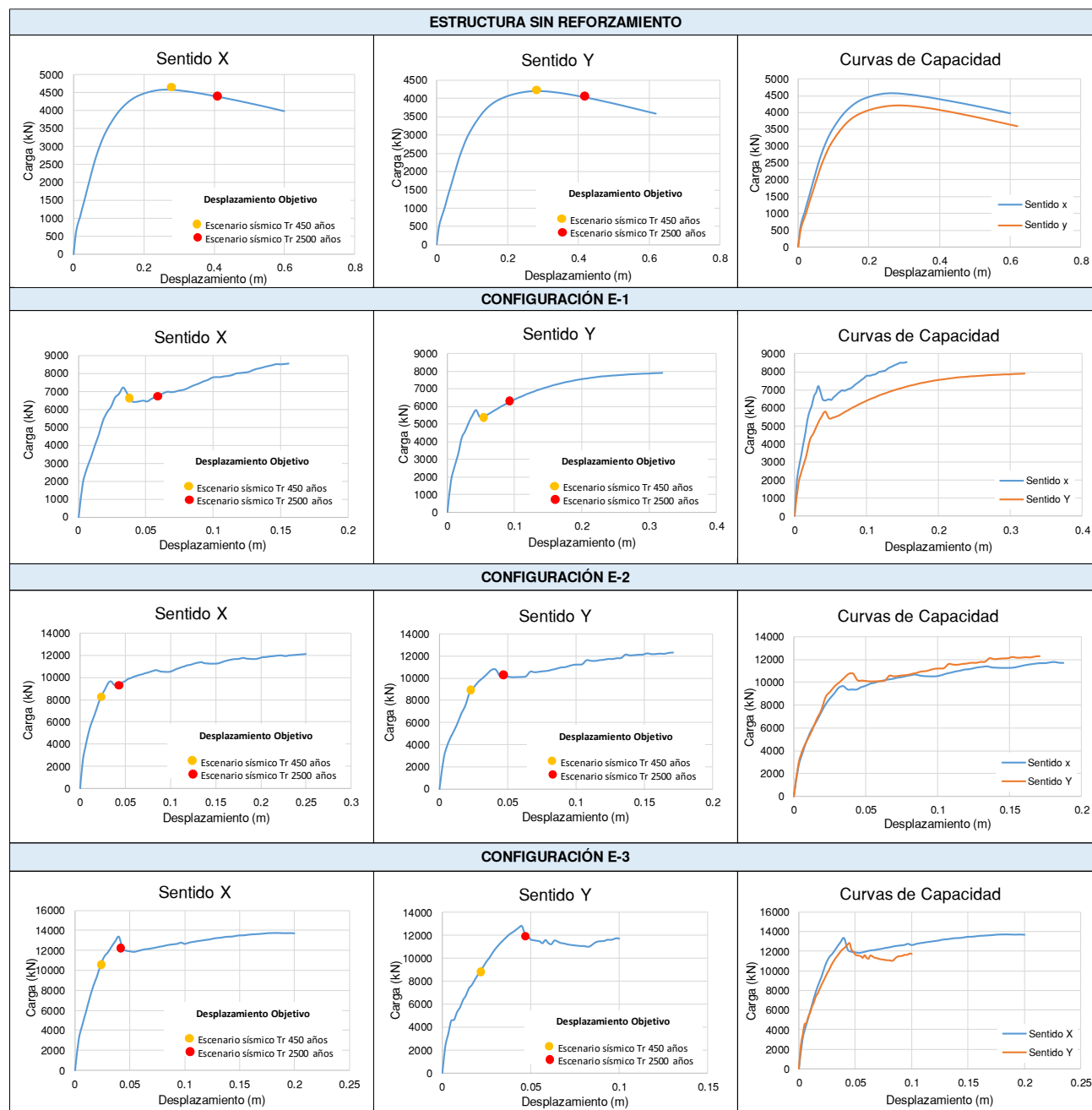


Tabla 52

## Desplazamientos objetivos - 4 Pisos

Caso de estudio	Sentido X				Sentido Y			
	Tr 450 años		Tr 2500 años		Tr 450 años		Tr 2500 años	
	Capacidad (kN)	Desplazamiento (m)	Capacidad (kN)	Desplazamiento (m)	Capacidad (kN)	Desplazamiento (m)	Capacidad (kN)	Desplazamiento (m)
Estructura sin reforzamiento	4579.363	0.26808	4377.323	0.41220	4214.028	0.27631	4027.725	0.42465
Configuración E-1	6885.911	0.03686	6948.843	0.07055	5452.415	0.05198	6310.335	0.09451
Configuración E-2	8029.700	0.02346	9370.775	0.04403	8747.566	0.02415	10793.791	0.04493
Configuración E-3	10561.688	0.02400	12178.862	0.04304	8919.132	0.02037	12269.937	0.04071

## Análisis de resultados

## Capacidad de las estructuras

Figura 58

## Comparación de curvas de capacidad para las diferentes configuraciones - 4 Pisos

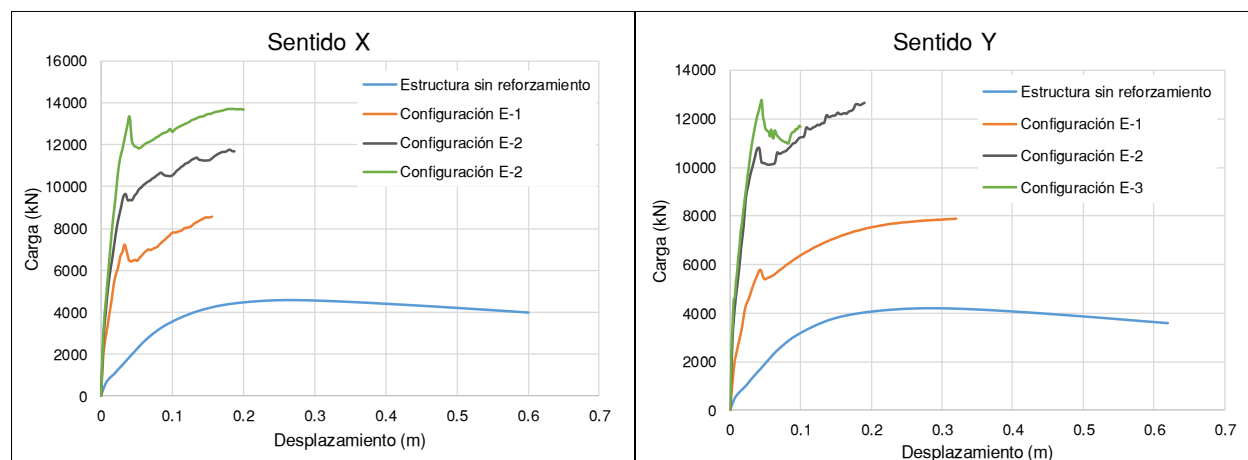


Tabla 53

## Relación de capacidad estructuras – 4 Pisos

Caso de estudio	Sentido X		Sentido Y	
	Carga Máx. (kN)	R	Carga Máx. (kN)	R
Estructura sin reforzamiento	4581.369	1.00	4215.013	1.00
Configuración E-1	9212.151	2.01	7895.122	1.87
Configuración E-2	12140.545	2.65	12661.545	3.00
Configuración E-3	13738.852	3.00	12783.768	3.03



En la figura 58 se puede observar como el reforzamiento con enchape incrementa significativamente la resistencia y rigidez de la estructura; en la tabla 53 se muestra la relación de capacidad que tienen en comparación con la estructura sin reforzamiento y se puede ver por ejemplo que, para el caso de la configuración E1, la cual tiene 0.79% de paredes enchapadas en el Sentido X, la capacidad es 2 veces la capacidad de la estructura sin reforzamiento.

### Revisión de cortante

En este apartado se muestra la evaluación por corte que se realizó a muros y columnas de las estructuras de 4 pisos. Adicionalmente se presenta el porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape, en los diferentes eventos sísmicos. Igualmente, se indica el porcentaje de cortante que absorbe solamente el alma de los muros enchapados (sin los cabezales o columnas).

### Configuración E-1

**Tabla 54**

*Clasificación del tipo de muro de la Configuración E1– 4 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	hw (cm)	L (cm)	b <sub>col</sub> (cm)	lw (cm)	hw/lw	Tipo
X	Eje 1 entre C-F	1160	650	45	605	1.92	Muro Bajo
	Eje 4 entre C-F	1160	650	45	605	1.92	Muro Bajo
Y	Eje A entre 2-3	1160	500	45	455	2.55	Muro Intermedio
	Eje H entre 2-3	1160	500	45	455	2.55	Muro Intermedio

**Tabla 55**

*Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E1- 4 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Espesor bw (cm)	Acv (cm <sup>2</sup> )	mallas #	∅ (cm)	@ (cm)	Varillas vert. #	Av (cm <sup>2</sup> )	ρ <sub>t</sub>	ρ <sub>t</sub> mín	Av mín (cm <sup>2</sup> )	Av > Av mín
X	Eje 1 entre C-F	150	5000	8	4840	2	0.9	10	61	77.61	0.01604	0.0025	12.1	ok
	Eje 4 entre C-F	150	5000	8	4840	2	0.9	10	61	77.61	0.01604	0.0025	12.1	ok
Y	Eje A entre 2-3	150	5000	8	3640	2	0.9	10	46	58.53	0.01608	0.0025	9.1	ok
	Eje H entre 2-3	150	5000	8	3640	2	0.9	10	46	58.53	0.01608	0.0025	9.1	ok

**Tabla 56***Revisión de muros a corte de la Configuración E1 – 4 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	$\alpha_c$	Vc (T)	Vs (T)	Vn (T)	$\emptyset Vn$ (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
								Vu < $\emptyset Vn$	Vu / $\emptyset Vn$ (%)	Vu (T)	Vu < $\emptyset Vn$	Vu / $\emptyset Vn$ (%)
X	Eje 1 entre C-F	0.57	34.06	388.07	422.13	253.28	253.09	ok	100%	173.44	ok	68%
	Eje 4 entre C-F	0.57	34.06	388.07	422.13	253.28	253.20	ok	100%	174.48	ok	69%
Y	Eje A entre 2-3	0.53	23.63	292.64	316.27	189.76	167.75	ok	88%	175.23	ok	92%
	Eje H entre 2-3	0.53	23.63	292.64	316.27	189.76	167.98	ok	89%	178.11	ok	94%

**Tabla 57***Revisión de columnas a corte de la Configuración E1 – 4 Pisos*

Sentido	Columna	bc (cm)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	Vn (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
									Vu < Vn	Vu / Vn (%)	Vu (T)	Vu < Vn	Vu / Vn (%)
X	C3	45	240	4200	3.14	10	57.92	3.68	ok	6%	7.27	ok	13%
	C4	45	240	4200	3.14	10	74.58	19.26	ok	26%	26.96	ok	36%
	C21	45	240	4200	3.14	10	57.92	3.70	ok	6%	7.29	ok	13%
	C22	45	240	4200	3.14	10	74.58	19.28	ok	26%	27.01	ok	36%
Y	C7	45	240	4200	3.14	10	57.87	3.04	ok	5%	4.76	ok	8%
	C12	45	240	4200	3.14	10	57.87	3.04	ok	5%	4.97	ok	9%
	C13	45	240	4200	3.14	10	66.27	13.83	ok	21%	14.67	ok	22%
	C18	45	240	4200	3.14	10	66.21	13.80	ok	21%	14.41	ok	22%

**Tabla 58***Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E1 – 4 Pisos*

Sentido	Tr 475 años			Tr 2500 años		
	V enchape	V estructura	% V absorbe enchape	V enchape	V estructura	% V absorbe enchape
	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)
X	552.22	702.17	79%	416.45	708.59	59%
Y	369.43	555.99	66%	392.15	643.48	61%

**Tabla 59**

*Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E1 -4 Pisos*

Sentido	Tr 475 años			Tr 2500 años		
	V muros	V estructura	% V absorbe muros	V muros	V estructura	% V absorbe muros
	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)
X	506.29	702.17	72%	347.92	708.59	49%
Y	335.73	555.99	60%	353.34	643.48	55%

En la tabla 58 se puede ver que el sistema de enchape con la Configuración E-1 absorbe más del 59 % de cortante, y analizando únicamente el porcentaje de cortante que absorbe el alma de los muros se puede ver que este es superior al 49%.

### **Configuración E-2**

**Tabla 60**

*Clasificación del tipo de muro de la Configuración E2– 4 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	hw (cm)	L (cm)	b <sub>col</sub> (cm)	lw (cm)	hw/lw	Tipo
X	Eje 1 entre C-F	1160	650	45	605	1.92	Muro Bajo
	Eje 4 entre C-F	1160	650	45	605	1.92	Muro Bajo
	Eje 2 entre C-D	1160	250	45	212.5	5.46	Muro Alto
	Eje 2 entre D-F	1160	250	45	212.5	5.46	Muro Alto
	Eje 3 entre C-D	1160	250	45	212.5	5.46	Muro Alto
	Eje 3 entre D-F	1160	250	45	212.5	5.46	Muro Alto
Y	Eje A entre 2-3	1160	500	45	455	2.55	Muro Intermedio
	Eje H entre 2-3	1160	500	45	455	2.55	Muro Intermedio
	Eje C entre 2-3	1160	500	45	455	2.55	Muro Intermedio
	Eje F entre 2-3	1160	500	45	455	2.55	Muro Intermedio

Tabla 61

Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E2- 4 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	fc	fy	Espesor bw	Acv	mall	Ø	@	Varillas vert.	Av	ρ <sub>t</sub>	ρ <sub>t min</sub>	Av mín	Av > Av mín
		(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	#	(cm)	(cm)	#	(cm <sup>2</sup> )			(cm <sup>2</sup> )	
X	Eje 1 entre C-F	150	5000	8	4840	2	0.9	10	61	77.61	0.01604	0.0025	12.1	ok
	Eje 4 entre C-F	150	5000	8	4840	2	0.9	10	61	77.61	0.01604	0.0025	12.1	ok
	Eje 2 entre C-D	150	5000	8	1700	2	0.9	10	22	27.99	0.01647	0.0025	4.25	ok
	Eje 2 entre D-F	150	5000	8	1700	2	0.9	10	22	27.99	0.01647	0.0025	4.25	ok
	Eje 3 entre C-D	150	5000	8	1700	2	0.9	10	22	27.99	0.01647	0.0025	4.25	ok
	Eje 3 entre D-F	150	5000	8	1700	2	0.9	10	22	27.99	0.01647	0.0025	4.25	ok
Y	Eje A entre 2-3	150	5000	8	3640	2	0.9	10	46	58.53	0.01608	0.0025	9.1	ok
	Eje H entre 2-3	150	5000	8	3640	2	0.9	10	46	58.53	0.01608	0.0025	9.1	ok
	Eje C entre 2-3	150	5000	8	3640	2	0.9	10	46	58.53	0.01608	0.0025	9.1	ok
	Eje F entre 2-3	150	5000	8	3640	2	0.9	10	46	58.53	0.01608	0.0025	9.1	ok

Tabla 62

Revisión de muros a corte de la Configuración E2 – 4 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	α <sub>c</sub>	V <sub>c</sub> (T)	V <sub>s</sub> (T)	V <sub>n</sub> (T)	ØV <sub>n</sub> (T)	V <sub>u</sub> (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
								V <sub>u</sub> <ØV <sub>n</sub>	V <sub>u</sub> /ØV <sub>n</sub> (%)	V <sub>u</sub> (T)	V <sub>u</sub> <ØV <sub>n</sub>	V <sub>u</sub> /ØV <sub>n</sub> (%)
X	Eje 1 entre C-F	0.57	34.0626044	388.065233	422.13	253.28	246.05	ok	97%	182.10	ok	72%
	Eje 4 entre C-F	0.57	34.0626044	388.065233	422.13	253.28	252.19	ok	100%	182.91	ok	72%
	Eje 2 entre C-D	0.53	11.0349513	139.957953	150.99	90.60	36.64	ok	40%	88.72	ok	98%
	Eje 2 entre D-F	0.53	11.0349513	139.957953	150.99	90.60	36.63	ok	40%	65.29	ok	72%
	Eje 3 entre C-D	0.53	11.0349513	139.957953	150.99	90.60	43.49	ok	48%	88.72	ok	98%
	Eje 3 entre D-F	0.53	11.0349513	139.957953	150.99	90.60	36.63	ok	40%	65.29	ok	72%
Y	Eje A entre 2-3	0.53	23.6277781	292.639356	316.27	189.76	182.78	ok	96%	145.57	ok	77%
	Eje H entre 2-3	0.53	23.6277781	292.639356	316.27	189.76	182.99	ok	96%	146.25	ok	77%
	Eje C entre 2-3	0.53	23.6277781	292.639356	316.27	189.76	189.57	ok	100%	182.14	ok	96%
	Eje F entre 2-3	0.53	23.6277781	292.639356	316.27	189.76	189.46	ok	100%	182.14	ok	96%

Tabla 63

Revisión de columnas a corte de la Configuración E2 – 4 Pisos

Sentido	Columna	bc (cm)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	Vn (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
									Vu<Vn	Vu/Vn (%)	Vu (T)	Vu<Vn	Vu/Vn (%)
X	C3	45	240	4200	3.14	10	55.70	2.07	ok	4%	0.50	ok	1%
	C4	45	240	4200	3.14	10	78.41	1.13	ok	1%	27.11	ok	35%
	C9	45	240	4200	3.14	10	52.74	1.87	ok	4%	2.63	ok	5%
	C10	45	240	4200	3.14	10	61.82	8.87	ok	14%	23.38	ok	38%
	C15	45	240	4200	3.14	10	52.74	1.87	ok	4%	2.61	ok	5%
	C16	45	240	4200	3.14	10	61.83	8.87	ok	14%	23.38	ok	38%
	C21	45	240	4200	3.14	10	55.71	2.07	ok	4%	0.50	ok	1%
	C22	45	240	4200	3.14	10	66.01	8.36	ok	13%	27.13	ok	41%
	C25	30	240	4200	2.36	10	27.09	1.73	ok	6%	4.59	ok	17%
	C26	30	240	4200	2.36	10	22.74	0.33	ok	1%	0.19	ok	1%
C27	30	240	4200	2.36	10	27.08	1.73	ok	6%	4.60	ok	17%	
C28	30	240	4200	2.36	10	22.74	0.33	ok	1%	0.19	ok	1%	
Y	C7	45	240	4200	3.14	10	54.41	2.15	ok	4%	0.62	ok	1%
	C9	45	240	4200	3.14	10	55.45	2.43	ok	4%	0.72	ok	1%
	C10	45	240	4200	3.14	10	55.44	2.43	ok	4%	0.72	ok	1%
	C12	45	240	4200	3.14	10	54.42	2.15	ok	4%	0.63	ok	1%
	C13	45	240	4200	3.14	10	66.45	9.28	ok	14%	33.09	ok	50%
	C15	45	240	4200	3.14	10	66.41	10.40	ok	16%	0.72	ok	1%
	C16	45	240	4200	3.14	10	66.40	10.39	ok	16%	35.33	ok	53%
	C18	45	240	4200	3.14	10	66.46	9.29	ok	14%	33.14	ok	50%

Tabla 64

Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E2 – 4 Pisos

Sentido	Tr 475 años			Tr 2500 años		
	V enchape	V estructura	% V absorbe enchape	V enchape	V estructura	% V absorbe enchape
	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)
X	690.86	811.00	85%	789.85	946.45	83%
Y	793.31	883.50	90%	761.08	1090.17	70%

**Tabla 65**

*Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E2 -4 Pisos*

Sentido	Tr 475 años			Tr 2500 años		
	V	V	% V absorbe	V	V	% V absorbe
	muros (T)	estructura (T)	muros (T)	muros (T)	estructura (T)	muros (T)
X	651.63	811.00	80%	673.03	946.45	71%
Y	744.80	883.50	84%	656.10	1090.17	60%

En la tabla 64 se puede ver que el sistema de enchape con la Configuración E-2 absorbe más del 83 % de cortante, y analizando únicamente el porcentaje de cortante que absorbe el alma de los muros se puede ver que este es superior al 60%.

### **Configuración E-3**

**Tabla 66**

*Clasificación del tipo de muro de la Configuración E3– 4 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	hw (cm)	L (cm)	b <sub>col</sub> (cm)	lw (cm)	hw/lw	Tipo
X	Eje 1 entre B-C	1160	550	45	505	2.30	Muro Intermedio
	Eje 1 entre F -G	1160	550	45	505	2.30	Muro Intermedio
	Eje 4 entre B-C	1160	550	45	505	2.30	Muro Intermedio
	Eje 4 entre F -G	1160	550	45	505	2.30	Muro Intermedio
	Eje 2 entre C-D	1160	250	45	213	5.46	Muro Alto
	Eje 2 entre D-F	1160	250	45	213	5.46	Muro Alto
	Eje 3 entre C-D	1160	250	45	213	5.46	Muro Alto
Y	Eje 3 entre D-F	1160	250	45	213	5.46	Muro Alto
	Eje A entre 2-3	1160	500	45	455	2.55	Muro Intermedio
	Eje H entre 2-3	1160	500	45	455	2.55	Muro Intermedio
	Eje A entre 1-2	1160	500	45	455	2.55	Muro Intermedio
	Eje H entre 1-2	1160	500	45	455	2.55	Muro Intermedio
	Eje A entre 3-4	1160	500	45	455	2.55	Muro Intermedio
Eje H entre 3-4	1160	500	45	455	2.55	Muro Intermedio	

Tabla 67

Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E3- 4 Pisos

Sentido	Ubicación	fc	fy	Espesor	Acv	malla	Ø	@	Varillas vert.	Av	Pt	pt mín	Av mín	Av > Avmín
		(kg/cm2)	(kg/cm2)	bw (cm)										
X	Eje 1 entre B-C	150	5000	8	4040	2	0.9	10	51	64.89	0.01606	0.0025	10.1	ok
	Eje 1 entre F -G	150	5000	8	4040	2	0.9	10	51	64.89	0.01606	0.0025	10.1	ok
	Eje 4 entre B-C	150	5000	8	4040	2	0.9	10	51	64.89	0.01606	0.0025	10.1	ok
	Eje 4 entre F -G	150	5000	8	4040	2	0.9	10	51	64.89	0.01606	0.0025	10.1	ok
	Eje 2 entre C-D	150	5000	8	1700	2	0.9	10	22	27.99	0.01647	0.0025	4.25	ok
	Eje 2 entre D-F	150	5000	8	1700	2	0.9	10	22	27.99	0.01647	0.0025	4.25	ok
	Eje 3 entre C-D	150	5000	8	1700	2	0.9	10	22	27.99	0.01647	0.0025	4.25	ok
Y	Eje 3 entre D-F	150	5000	8	1700	2	0.9	10	22	27.99	0.01647	0.0025	4.25	ok
	Eje A entre 2-3	150	5000	8	3640	2	0.9	10	46	58.53	0.01608	0.0025	9.1	ok
	Eje H entre 2-3	150	5000	8	3640	2	0.9	10	46	58.53	0.01608	0.0025	9.1	ok
	Eje A entre 1-2	150	5000	8	3640	2	0.9	10	46	58.53	0.01608	0.0025	9.1	ok
	Eje H entre 1-2	150	5000	8	3640	2	0.9	10	46	58.53	0.01608	0.0025	9.1	ok
	Eje A entre 3-4	150	5000	8	3640	2	0.9	10	46	58.53	0.01608	0.0025	9.1	ok
	Eje H entre 3-4	150	5000	8	3640	2	0.9	10	46	58.53	0.01608	0.0025	9.1	ok

Tabla 68

Revisión de muros a corte de la Configuración E3 – 4 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	$\alpha_c$	Vc (T)	Vs (T)	Vn (T)	$\phi Vn$ (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
								Vu < $\phi Vn$	Vu / $\phi Vn$ (%)	Vu (T)	Vu < $\phi Vn$	Vu / $\phi Vn$ (%)
X	Eje 1 entre B-C	0.53	26.22	324.45	350.67	210.40	207.56	ok	99%	186.72	ok	89%
	Eje 1 entre F -G	0.53	26.22	324.45	350.67	210.40	209.00	ok	99%	191.04	ok	91%
	Eje 4 entre B-C	0.53	26.22	324.45	350.67	210.40	207.81	ok	99%	190.34	ok	90%
	Eje 4 entre F -G	0.53	26.22	324.45	350.67	210.40	209.02	ok	99%	191.37	ok	91%
	Eje 2 entre C-D	0.53	11.03	139.96	150.99	90.60	44.18	ok	49%	90.39	ok	100%
	Eje 2 entre D-F	0.53	11.03	139.96	150.99	90.60	34.47	ok	38%	60.36	ok	67%
	Eje 3 entre C-D	0.53	11.03	139.96	150.99	90.60	44.09	ok	49%	90.39	ok	100%
Y	Eje 3 entre D-F	0.53	11.03	139.96	150.99	90.60	34.47	ok	38%	60.36	ok	67%
	Eje A entre 2-3	0.53	23.63	292.64	316.27	189.76	134.62	ok	71%	183.40	ok	97%
	Eje H entre 2-3	0.53	23.63	292.64	316.27	189.76	134.66	ok	71%	183.47	ok	97%
	Eje A entre 1-2	0.53	23.63	292.64	316.27	189.76	126.31	ok	67%	173.66	ok	92%
	Eje H entre 1-2	0.53	23.63	292.64	316.27	189.76	126.56	ok	67%	173.99	ok	92%
	Eje A entre 3-4	0.53	23.63	292.64	316.27	189.76	128.79	ok	68%	179.27	ok	94%
Eje H entre 3-4	0.53	23.63	292.64	316.27	189.76	129.00	ok	68%	179.75	ok	95%	

Tabla 69

Revisión de columnas a corte de la Configuración E3 – 4 Pisos

Sentido	Columna	bc (cm)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	Vn (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
									Vu<Vn	Vu/Vn (%)	Vu (T)	Vu<Vn	Vu/Vn (%)
X	C2	45	240	4200	240.00	10	57.92	0.34	ok	1%	0.42	ok	1%
	C3	45	240	4200	240.00	10	81.74	1.49	ok	2%	18.23	ok	22%
	C5	45	240	4200	240.00	10	81.64	6.06	ok	7%	18.30	ok	22%
	C6	45	240	4200	240.00	10	61.85	2.85	ok	5%	5.48	ok	9%
	C9	45	240	4200	240.00	10	57.92	1.99	ok	3%	3.17	ok	5%
	C10	45	240	4200	240.00	10	72.44	6.53	ok	9%	16.00	ok	22%
	C15	45	240	4200	240.00	10	57.92	1.99	ok	3%	3.16	ok	5%
	C16	45	240	4200	240.00	10	72.46	6.53	ok	9%	16.00	ok	22%
	C20	45	240	4200	240.00	10	57.92	0.35	ok	1%	0.42	ok	1%
	C21	45	240	4200	240.00	10	81.73	6.01	ok	7%	18.25	ok	22%
	C22	45	240	4200	240.00	10	57.92	0.38	ok	1%	0.42	ok	1%
	C23	45	240	4200	240.00	10	64.92	6.06	ok	9%	18.32	ok	28%
	C25	30	240	4200	3.93	10	35.55	1.22	ok	3%	2.94	ok	8%
	C26	30	240	4200	3.93	10	26.34	0.36	ok	1%	0.17	ok	1%
	C27	30	240	4200	3.93	10	35.53	1.22	ok	3%	2.94	ok	8%
	C28	30	240	4200	3.93	10	26.34	0.36	ok	1%	0.17	ok	1%
Y	C1	45	240	4200	240.00	10	55.17	2.37	ok	4%	0.37	ok	1%
	C6	45	240	4200	240.00	10	55.17	2.38	ok	4%	0.37	ok	1%
	C7	45	240	4200	240.00	10	62.90	6.49	ok	10%	14.56	ok	23%
	C9	45	240	4200	240.00	10	56.77	2.76	ok	5%	5.82	ok	10%
	C10	45	240	4200	240.00	10	56.76	2.76	ok	5%	5.81	ok	10%
	C12	45	240	4200	240.00	10	62.91	6.50	ok	10%	14.59	ok	23%
	C13	45	240	4200	240.00	10	55.65	2.50	ok	4%	1.96	ok	4%
	C15	45	240	4200	240.00	10	63.43	7.38	ok	12%	16.35	ok	26%
	C16	45	240	4200	240.00	10	63.43	7.37	ok	12%	16.35	ok	26%
	C18	45	240	4200	240.00	10	55.65	2.50	ok	5%	1.94	ok	3%
C19	45	240	4200	240.00	10	63.21	6.76	ok	11%	15.14	ok	24%	
C24	45	240	4200	240.00	10	63.22	6.77	ok	11%	15.19	ok	24%	

Tabla 70

Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E3 – 4 Pisos

Sentido	Tr 475 años			Tr 2500 años		
	V enchape (T)	V estructura (T)	% V absorbe enchape (T)	V enchape (T)	V estructura (T)	% V absorbe enchape (T)
	X	1034.34	1077.00	96%	1185.37	1241.90
Y	836.48	909.50	92%	1181.99	1251.19	94%



**Tabla 71**

*Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E3 -4 Pisos*

Sentido	Tr 475 años			Tr 2500 años		
	V	V	% V absorbe	V	V	% V absorbe
	muros (T)	estructura (T)	muros (T)	muros (T)	estructura (T)	muros (T)
X	990.61	1077.00	92%	1060.96	1241.90	85%
Y	779.94	909.50	86%	1073.53	1251.19	86%

En la tabla 70 se puede ver que el sistema de enchape con la Configuración E-3 absorbe más del 92 % de cortante, y analizando únicamente el porcentaje de cortante que absorbe el alma de los muros se puede ver que este es superior al 85%.

### Revisión por deformaciones

A continuación, se presenta a manera de resumen el número de elementos que superaron los límites de deformación para cada nivel de desempeño. El detalle de cuantos elementos superaron cada límite por separado se presenta en el Apéndice 1.

### Configuración E-1

**Tabla 72**

*Resumen evaluación por deformaciones Configuración E1- 4Pisos*

Nivel de desempeño	Sentido X		Sentido Y	
	Tr	Tr	Tr	Tr
	475 años	2500 años	475 años	2500 años
O	8	46	16	64
IO	2	4	2	4
LS	0	0	0	0
CP	0	0	0	0
C	0	0	0	0

**Tabla 73***Nivel de desempeño alcanzado Configuración E1- 4 Pisos*

Escenario Sísmico	Sentido X	Sentido Y
10% de excedencia en 50 años (Tr=475 años)	Seguridad de Vida LS	Seguridad de Vida LS
2% de excedencia en 50 años (Tr=2500 años)	Seguridad de Vida LS	Seguridad de Vida LS

**Configuración E-2****Tabla 74***Resumen evaluación por deformaciones Configuración E2- 4Pisos*

Nivel de desempeño	Sentido X		Sentido Y	
	Tr 475 años	Tr 2500 años	Tr 475 años	Tr 2500 años
O	10	26	0	40
IO	0	2	0	4
LS	0	0	0	0
CP	0	0	0	0
C	0	0	0	0

**Tabla 75***Nivel de desempeño alcanzado Configuración E2- 4 Pisos*

Escenario Sísmico	Sentido X	Sentido Y
10% de excedencia en 50 años (Tr=475 años)	Seguridad de Vida LS	Seguridad de Vida LS
2% de excedencia en 50 años (Tr=2500 años)	Seguridad de Vida LS	Seguridad de Vida LS

**Configuración E-3****Tabla 76***Resumen evaluación por deformaciones Configuración E3- 4Pisos*

Nivel de desempeño	Sentido X		Sentido Y	
	Tr 475 años	Tr 2500 años	Tr 475 años	Tr 2500 años
O	16	24	0	38
IO	0	2	0	0
LS	0	0	0	0
CP	0	0	0	0
C	0	0	0	0

**Tabla 77***Nivel de desempeño alcanzado Configuración E3- 4 Pisos*

Escenario Sísmico	Sentido X	Sentido Y
10% de excedencia en 50 años (Tr=475 años)	Seguridad de Vida LS	Seguridad de Vida LS
2% de excedencia en 50 años (Tr=2500 años)	Seguridad de Vida LS	Seguridad de Vida LS

De acuerdo con las tablas 73, 75 y 77, se puede evidenciar que todas las configuraciones propuestas para las estructuras de 4 pisos de esta investigación cumplen con los objetivos de desempeño planteados, e incluso presentan un mejor desempeño para el escenario de 2% de excedencia en 50 años (Tr=2500 años).

### **Reforzamiento Óptimo**

Una vez que se revisó el comportamiento de las estructuras y elementos en cuanto a capacidad, corte y deformaciones y que se ha evidenciado el cumplimiento de los objetivos de desempeño, se procede a determinar que para las estructuras de 4 pisos analizadas en esta investigación el porcentaje de paredes enchapadas óptimo es el caso de la Configuración E-1, en el sentido Y, el cual tiene un porcentaje de paredes enchapadas por planta de 0.60%.

En este punto se entiende que el porcentaje óptimo será aquel que cumpla los objetivos planteados, y entre ellos el que requiera una menor intervención y costo, es decir un menor porcentaje de paredes enchapadas.

Se enfatiza que este porcentaje es para estructuras de 4 pisos que presenten estas características: suelo tipo D, espesor total de enchape 8cm, resistencia a la compresión del mortero de enchape  $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$ ; refuerzo con malla electrosoldada de 9mm de diámetro y apertura cuadrada de 10x10 cm; resistencia a la tracción  $f_y=5000 \text{ kg/cm}^2$ .

## Estructuras de 6 pisos

### Curvas de capacidad y desplazamiento objetivo

A continuación, se presentan las curvas de capacidad en los dos sentidos de análisis, así como la ubicación de los desplazamientos objetivos para los 2 eventos sísmicos.

Tabla 78

Curvas de capacidad y desplazamientos objetivos – 6 pisos

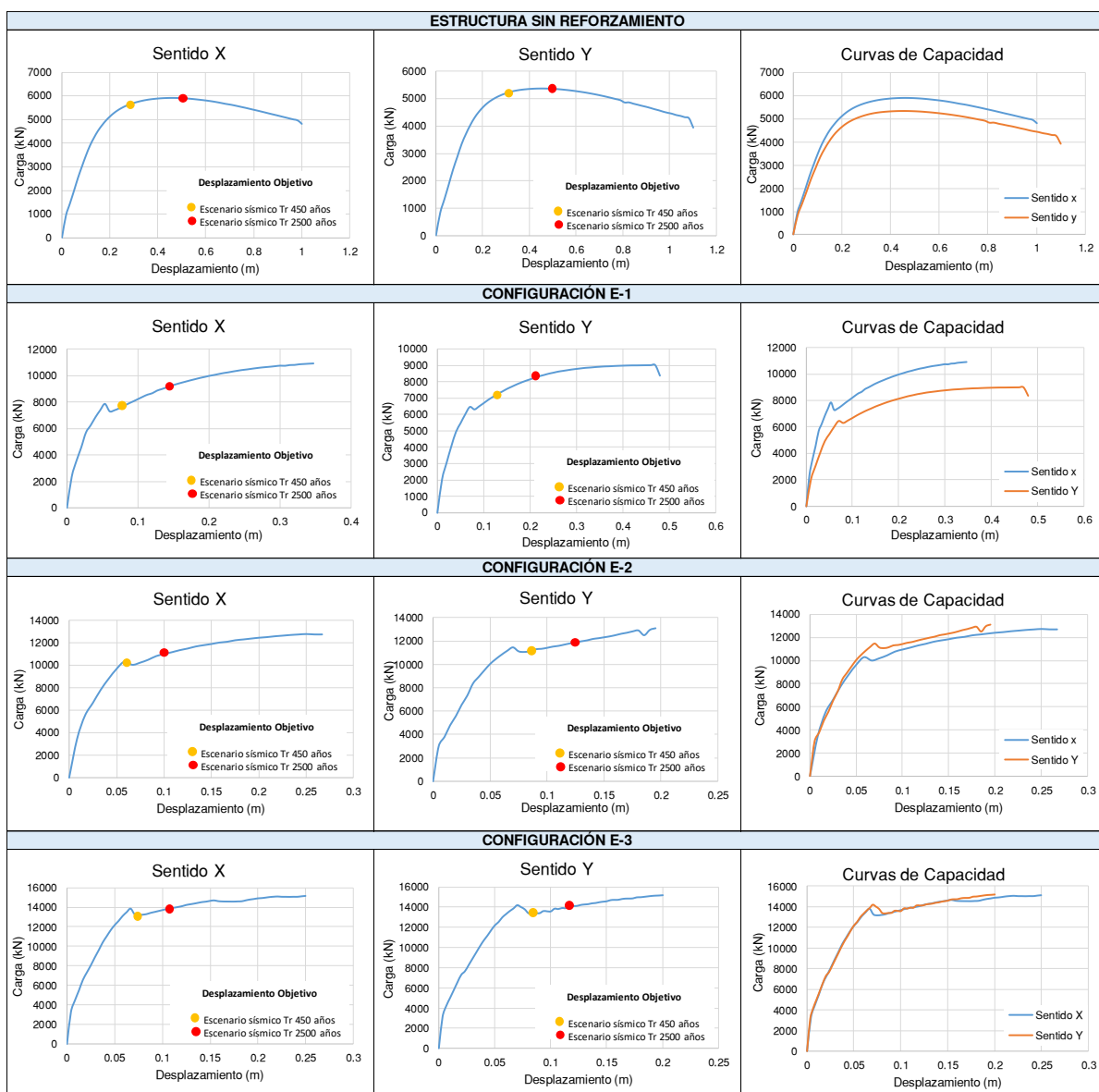


Tabla 79

Desplazamientos objetivos- 6 Pisos

Caso de estudio	Sentido X				Sentido Y			
	Tr 450 años		Tr 2500 años		Tr 450 años		Tr 2500 años	
	Carga (kN)	Desplazamiento (m)	Carga (kN)	Desplazamiento (m)	Carga (kN)	Desplazamiento (m)	Carga (kN)	Desplazamiento (m)
Estructura sin reforzamiento	5793.725	0.32375	5912.185	0.48563	5264.553	0.32814	5352.972	0.49221
Configuración E-1	7889.103	0.08761	9343.985	0.15240	7248.452	0.13244	8329.712	0.22301
Configuración E-2	10002.066	0.06013	11120.315	0.10649	11147.487	0.08828	12257.370	0.14792
Configuración E-3	13172.608	0.07419	14085.618	0.12258	13408.480	0.08407	14391.204	0.13762

## Análisis de Resultados

## Capacidad de las estructuras

Figura 59

Comparación de curvas de capacidad para las diferentes configuraciones - 6 Pisos

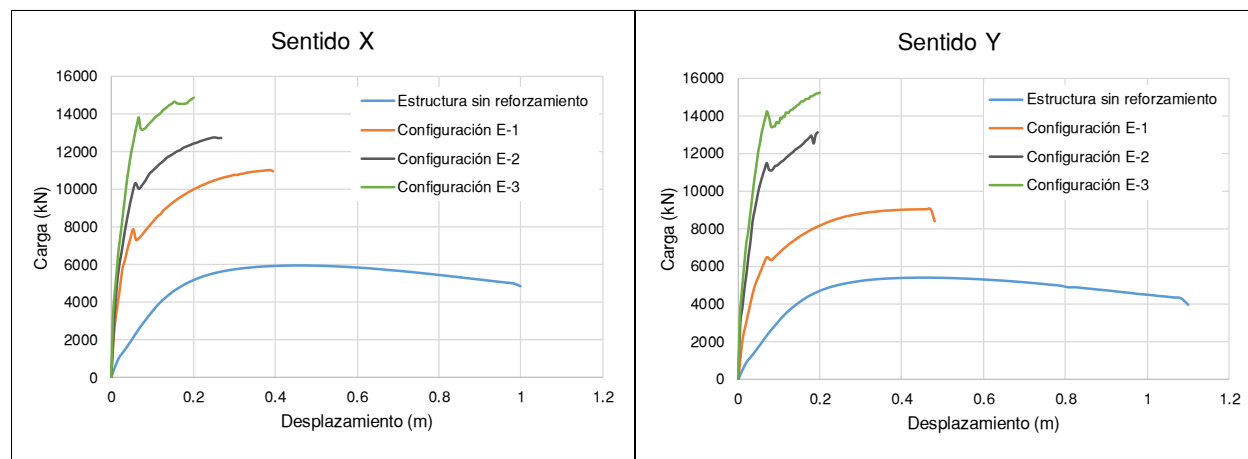


Tabla 80

Relación de capacidad estructuras – 6 Pisos

Caso de estudio	Sentido X		Sentido Y	
	Carga Máx. (kN)	R	Carga Máx. (kN)	R
Estructura sin reforzamiento	5915.780	1.00	5362.239	1.00
Configuración E-1	11003.172	1.86	9002.477	1.68
Configuración E-2	12729.809	2.15	13110.675	2.45
Configuración E-3	15126.562	2.56	15200.181	2.83

En la figura 59 se puede observar como el reforzamiento con enchape incrementa significativamente la resistencia y rigidez de la estructura; en la tabla 80 se muestra la relación de capacidad que tienen en comparación con la estructura sin reforzamiento y se puede ver por ejemplo que para el caso de la configuración E1 en la cual se tiene 0.68% de paredes enchapadas en el Sentido X, la capacidad es 1.86 veces la capacidad de la estructura sin reforzamiento.

### Revisión de cortante

En este apartado se muestra la evaluación por corte que se realizó a muros y columnas de las estructuras de 6 pisos. Adicionalmente se presenta el porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape, en los diferentes eventos sísmicos. Igualmente, se indica el porcentaje de cortante que absorbe solamente el alma de los muros enchapados (sin los cabezales o columnas).

### Configuración E-1

**Tabla 81**

*Clasificación del tipo de muro de la Configuración E1– 6 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	hw (cm)	L (cm)	b <sub>col</sub> (cm)	lw (cm)	hw/lw	Tipo
X	Eje 1 entre C-F	1740	650	55	595	2.92	Muro Intermedio
	Eje 4 entre C-F	1740	650	55	595	2.92	Muro Intermedio
Y	Eje A entre 2-3	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio
	Eje H entre 2-3	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio

**Tabla 82**

*Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E1- 6 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Espesor bw (cm)	Acv (cm <sup>2</sup> )	malla #	∅ (cm)	@ (cm)	Varillas vert. #	Av (cm <sup>2</sup> )	ρ <sub>t</sub>	ρ <sub>t min</sub>	Av mín (cm <sup>2</sup> )	Av > Avmín
X	Eje 1 entre C-F	150	5000	8	4760	2	0.9	10	60	76.34	0.01604	0.0025	11.9	ok
	Eje 4 entre C-F	150	5000	8	4760	2	0.9	10	60	76.34	0.01604	0.0025	11.9	ok
Y	Eje A entre 2-3	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok
	Eje H entre 2-3	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok

**Tabla 83**

*Revisión de muros a corte de la Configuración E1 – 6 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	$\alpha_c$	Vc (T)	Vs (T)	Vn (T)	$\phi Vn$ (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
								Vu< $\phi Vn$	Vu/ $\phi Vn$ (%)	Vu (T)	Vu< $\phi Vn$	Vu/ $\phi Vn$ (%)
X	Eje 1 entre C-F	0.53	30.90	381.70	412.60	247.56	252.79	no cumple	102%	271.11	no cumple	110%
	Eje 4 entre C-F	0.53	30.90	381.70	412.60	247.56	252.37	no cumple	102%	269.10	no cumple	109%
Y	Eje A entre 2-3	0.53	23.11	286.28	309.39	185.63	227.92	no cumple	123%	231.06	no cumple	124%
	Eje H entre 2-3	0.53	23.11	286.28	309.39	185.63	228.12	no cumple	123%	232.92	no cumple	125%

**Tabla 84**

*Revisión de columnas a corte de la Configuración E1 – 6 Pisos*

Sentido	Columna	bc (cm)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	Vn (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
									Vu<Vn	Vu/Vn (%)	Vu (T)	Vu<Vn	Vu/Vn (%)
X	C3	55	240	4200	3.14	10	75.19	7.51	ok	10%	13.27	ok	18%
	C4	55	240	4200	3.14	10	104.08	37.31	ok	36%	48.37	ok	46%
	C21	55	240	4200	3.14	10	75.19	7.52	ok	10%	13.00	ok	17%
	C22	55	240	4200	3.14	10	104.15	37.35	ok	36%	37.35	ok	36%
Y	C7	55	240	4200	3.14	10	75.19	8.47	ok	11%	13.49	ok	18%
	C12	55	240	4200	3.14	10	75.19	8.47	ok	11%	8.47	ok	11%
	C13	55	240	4200	3.14	10	101.82	35.46	ok	35%	35.46	ok	35%
	C18	55	240	4200	3.14	10	101.78	35.37	ok	35%	35.37	ok	35%

En la tabla 83 se puede observar que para esta configuración E-1 con las condiciones de armado y sección establecidos, en estructuras de 6 pisos los muros fallan por cortante en los dos sentidos de análisis, por lo que se descarta esta configuración como una opción para determinar el reforzamiento óptimo.

### **Configuración E-2**

Tabla 85

Clasificación del tipo de muro de la Configuración E2– 6 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	hw (cm)	L (cm)	b <sub>col</sub> (cm)	lw (cm)	hw/lw	Tipo
X	Eje 1 entre C-F	1740	650	55	595	2.92	Muro Intermedio
	Eje 4 entre C-F	1740	650	55	595	2.92	Muro Intermedio
	Eje 2 entre C-D	1740	250	55	207.5	8.39	Muro Alto
	Eje 2 entre D-F	1740	250	55	207.5	8.39	Muro Alto
	Eje 3 entre C-D	1740	250	55	207.5	8.39	Muro Alto
	Eje 3 entre D-F	1740	250	55	207.5	8.39	Muro Alto
Y	Eje A entre 2-3	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio
	Eje H entre 2-3	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio
	Eje C entre 2-3	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio
	Eje F entre 2-3	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio

Tabla 86

Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E2- 6 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Espesor bw (cm)	Acv (cm <sup>2</sup> )	malla #	∅ (cm)	@ (cm)	Varillas vert. #	Av (cm <sup>2</sup> )	P <sub>t</sub>	P <sub>t min</sub>	Av mín (cm <sup>2</sup> )	Av > Avmín
X	Eje 1 entre C-F	150	5000	8	4760	2	0.9	10	60	76.34	0.01604	0.0025	11.9	ok
	Eje 4 entre C-F	150	5000	8	4760	2	0.9	10	60	76.34	0.01604	0.0025	11.9	ok
	Eje 2 entre C-D	150	5000	8	1660	2	0.9	10	21	26.72	0.01610	0.0025	4.15	ok
	Eje 2 entre D-F	150	5000	8	1660	2	0.9	10	21	26.72	0.01610	0.0025	4.15	ok
	Eje 3 entre C-D	150	5000	8	1660	2	0.9	10	21	26.72	0.01610	0.0025	4.15	ok
	Eje 3 entre D-F	150	5000	8	1660	2	0.9	10	21	26.72	0.01610	0.0025	4.15	ok
Y	Eje A entre 2-3	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok
	Eje H entre 2-3	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok
	Eje C entre 2-3	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok
	Eje F entre 2-3	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok

Tabla 87

Revisión de muros a corte de la Configuración E2 – 6 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	α <sub>c</sub>	V <sub>c</sub> (T)	V <sub>s</sub> (T)	V <sub>n</sub> (T)	∅V <sub>n</sub> (T)	V <sub>u</sub> (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
								V <sub>u</sub> <∅V <sub>n</sub>	V <sub>u</sub> /∅V <sub>n</sub> (%)	V <sub>u</sub> (T)	V <sub>u</sub> <∅V <sub>n</sub>	V <sub>u</sub> /∅V <sub>n</sub> (%)
X	Eje 1 entre C-F	0.53	30.897864	381.704	412.60	247.56	170.92	ok	69%	180.84	ok	73%
	Eje 4 entre C-F	0.53	30.897864	381.704	412.60	247.56	170.91	ok	69%	180.29	ok	73%
	Eje 2 entre C-D	0.53	10.775305	133.596	144.37	86.62	88.20	no cumple	102%	107.51	no cumple	124%
	Eje 2 entre D-F	0.53	10.775305	133.596	144.37	86.62	45.80	ok	53%	50.14	ok	58%
	Eje 3 entre C-D	0.53	10.775305	133.596	144.37	86.62	88.22	no cumple	102%	107.51	no cumple	124%
	Eje 3 entre D-F	0.53	10.775305	133.596	144.37	86.62	46.15	ok	53%	46.87	ok	54%
Y	Eje A entre 2-3	0.53	23.108486	286.278	309.39	185.63	95.94	ok	52%	102.01	ok	55%
	Eje H entre 2-3	0.53	23.108486	286.278	309.39	185.63	94.71	ok	51%	130.12	ok	70%
	Eje C entre 2-3	0.53	23.108486	286.278	309.39	185.63	110.96	ok	60%	130.12	ok	70%
	Eje F entre 2-3	0.53	23.108486	286.278	309.39	185.63	117.65	ok	63%	129.64	ok	70%



Tabla 88

## Revisión de columnas a corte de la Configuración E2 – 6 Pisos

Sentido	Columna	bc (cm)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	Vn (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
									Vu<Vn	Vu/Vn (%)	Vu (T)	Vu<Vn	Vu/Vn (%)
X	C3	55	240	4200	3.14	10	75.19	11.81	ok	16%	14.37	ok	19%
	C4	55	240	4200	3.14	10	110.29	57.13	ok	52%	61.98	ok	56%
	C9	55	240	4200	3.14	10	74.29	10.72	ok	14%	14.77	ok	20%
	C10	55	240	4200	3.14	10	95.81	25.24	ok	26%	26.41	ok	28%
	C15	55	240	4200	3.14	10	75.19	10.69	ok	14%	26.20	ok	35%
	C16	55	240	4200	3.14	10	95.63	25.11	ok	26%	14.33	ok	15%
	C21	55	240	4200	3.14	10	75.19	11.81	ok	16%	62.08	ok	83%
	C22	55	240	4200	3.14	10	110.32	57.21	ok	52%	6.11	ok	6%
	C25	30	240	4200	2.36	10	31.60	4.95	ok	16%	1.25	ok	4%
	C26	30	240	4200	2.36	10	26.34	1.00	ok	4%	6.10	ok	23%
C27	30	240	4200	2.36	10	28.52	4.93	ok	17%	1.22	ok	4%	
C28	30	240	4200	2.36	10	71.33	3.87	ok	5%	1.22	ok	2%	
Y	C7	55	240	4200	3.14	10	75.19	20.98	ok	28%	23.63	ok	31%
	C9	55	240	4200	3.14	10	74.53	26.52	ok	36%	34.71	ok	47%
	C10	55	240	4200	3.14	10	74.54	26.47	ok	36%	34.62	ok	46%
	C12	55	240	4200	3.14	10	75.19	20.99	ok	28%	23.73	ok	32%
	C13	55	240	4200	3.14	10	107.65	69.60	ok	65%	67.14	ok	62%
	C15	55	240	4200	3.14	10	108.70	78.64	ok	72%	78.66	ok	72%
	C16	55	240	4200	3.14	10	108.75	78.70	ok	72%	78.70	ok	72%
	C18	55	240	4200	3.14	10	108.75	83.35	ok	77%	67.14	ok	62%

En la tabla 87 se puede observar que para esta configuración E-2 con las condiciones de armado y sección establecidos, en estructuras de 6 pisos dos muros fallan por cortante en el sentido X para los dos escenarios sísmicos, por lo que se descarta esta configuración como una opción para determinar el reforzamiento óptimo.

Se puede destacar que, a pesar de que en el sentido X se tiene un mayor porcentaje de paredes enchapadas 2 muros fallan por cortante, específicamente son 2 muros del ducto central que tienen una longitud  $L = 2.5\text{m}$ , en este caso una solución para resolver el cortante sería aumentar el armado de estos muros, sin embargo, el enfoque de esta investigación es determinar el porcentaje óptimo con las condiciones de armado, sección y materiales establecidos, razón por la cual se descarta esta configuración.

**Configuración E-3****Tabla 89***Clasificación del tipo de muro de la Configuración E3– 6 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	hw (cm)	L (cm)	b <sub>col</sub> (cm)	lw (cm)	hw/lw	Tipo
X	Eje 1 entre B-C	1740	550	55	495	3.52	Muro Intermedio
	Eje 1 entre F -G	1740	550	55	495	3.52	Muro Intermedio
	Eje 4 entre B-C	1740	550	55	495	3.52	Muro Intermedio
	Eje 4 entre F -G	1740	550	55	495	3.52	Muro Intermedio
	Eje 2 entre C-D	1740	250	55	208	8.39	Muro Alto
	Eje 2 entre D-F	1740	250	55	208	8.39	Muro Alto
	Eje 3 entre C-D	1740	250	55	208	8.39	Muro Alto
	Eje 3 entre D-F	1740	250	55	208	8.39	Muro Alto
Y	Eje A entre 2-3	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio
	Eje H entre 2-3	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio
	Eje A entre 1-2	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio
	Eje H entre 1-2	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio
	Eje A entre 3-4	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio
	Eje H entre 3-4	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio

**Tabla 90***Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E3- 6 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Espesor bw (cm)	Acv (cm <sup>2</sup> )	malla #	Ø (cm)	@ (cm)	Varillas vert. #	Av (cm <sup>2</sup> )	ρ <sub>t</sub>	ρ <sub>t min</sub>	Av mín (cm <sup>2</sup> )	Av > Avmín
X	Eje 1 entre B-C	150	5000	8	3960	2	0.9	10	50	63.62	0.01606	0.0025	9.9	ok
	Eje 1 entre F -G	150	5000	8	3960	2	0.9	10	50	63.62	0.01606	0.0025	9.9	ok
	Eje 4 entre B-C	150	5000	8	3960	2	0.9	10	50	63.62	0.01606	0.0025	9.9	ok
	Eje 4 entre F -G	150	5000	8	3960	2	0.9	10	50	63.62	0.01606	0.0025	9.9	ok
	Eje 2 entre C-D	150	5000	8	1660	2	0.9	10	21	26.72	0.01610	0.0025	4.15	ok
	Eje 2 entre D-F	150	5000	8	1660	2	0.9	10	21	26.72	0.01610	0.0025	4.15	ok
	Eje 3 entre C-D	150	5000	8	1660	2	0.9	10	21	26.72	0.01610	0.0025	4.15	ok
	Eje 3 entre D-F	150	5000	8	1660	2	0.9	10	21	26.72	0.01610	0.0025	4.15	ok
Y	Eje A entre 2-3	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok
	Eje H entre 2-3	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok
	Eje A entre 1-2	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok
	Eje H entre 1-2	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok
	Eje A entre 3-4	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok
	Eje H entre 3-4	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok

Tabla 91

Revisión de muros a corte de la Configuración E3 – 6 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	$\alpha_c$	Vc (T)	Vs (T)	Vn (T)	$\phi Vn$ (T)	Vu (T)	Tr 475 años			Tr 2500 años		
								Vu< $\phi Vn$	Vu/ $\phi Vn$ (%)	Vu (T)	Vu<Vn	Vu/Vn (%)	
X	Eje 1 entre B-C	0.53	25.70	318.09	343.79	206.27	143.84	ok	70%	120.38	ok	58%	
	Eje 1 entre F-G	0.53	25.70	318.09	343.79	206.27	144.49	ok	70%	119.60	ok	58%	
	Eje 4 entre B-C	0.53	25.70	318.09	343.79	206.27	143.87	ok	70%	119.62	ok	58%	
	Eje 4 entre F-G	0.53	25.70	318.09	343.79	206.27	144.51	ok	70%	106.34	ok	52%	
	Eje 2 entre C-D	0.53	10.78	133.60	144.37	86.62	93.48	no cumple	108%	127.81	no cumple	148%	
	Eje 2 entre D-F	0.53	10.78	133.60	144.37	86.62	46.98	ok	54%	44.13	ok	51%	
	Eje 3 entre C-D	0.53	10.78	133.60	144.37	86.62	93.49	no cumple	108%	127.84	no cumple	148%	
	Eje 3 entre D-F	0.53	10.78	133.60	144.37	86.62	46.92	ok	54%	44.00	ok	51%	
Y	Eje A entre 2-3	0.53	23.11	286.28	309.39	185.63	150.38	ok	81%	137.20	ok	74%	
	Eje H entre 2-3	0.53	23.11	286.28	309.39	185.63	150.57	ok	81%	137.14	ok	74%	
	Eje A entre 1-2	0.53	23.11	286.28	309.39	185.63	87.39	ok	47%	77.66	ok	42%	
	Eje H entre 1-2	0.53	23.11	286.28	309.39	185.63	103.77	ok	56%	77.25	ok	42%	
	Eje A entre 3-4	0.53	23.11	286.28	309.39	185.63	103.77	ok	56%	97.86	ok	53%	
	Eje H entre 3-4	0.53	23.11	286.28	309.39	185.63	105.06	ok	57%	99.60	ok	54%	

Tabla 92

Revisión de columnas a corte de la Configuración E3 – 6 Pisos

Sentido	Columna	bc (cm)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	Vn (T)	Vu (T)	Tr 475 años			Tr 2500 años		
									Vu<Vn	Vu/Vn (%)	Vu (T)	Vu<Vn	Vu/Vn (%)	
X	C2	55	240	4200	3.14	10	75.19	6.33	ok	8%	9.37	ok	12%	
	C3	55	240	4200	3.14	10	111.19	42.35	ok	38%	47.40	ok	43%	
	C5	55	240	4200	3.14	10	111.20	42.68	ok	38%	47.61	ok	43%	
	C6	55	240	4200	3.14	10	79.52	13.53	ok	17%	22.70	ok	29%	
	C9	55	240	4200	3.14	10	75.19	14.60	ok	19%	14.54	ok	19%	
	C10	55	240	4200	3.14	10	100.27	36.91	ok	37%	38.72	ok	39%	
	C15	55	240	4200	3.14	10	75.19	14.58	ok	19%	14.51	ok	19%	
	C16	55	240	4200	3.14	10	95.16	36.87	ok	39%	38.66	ok	41%	
	C20	55	240	4200	3.14	10	75.19	6.30	ok	8%	9.32	ok	12%	
	C21	55	240	4200	3.14	10	113.48	42.35	ok	37%	47.35	ok	42%	
	C22	55	240	4200	3.14	10	75.19	6.52	ok	9%	9.57	ok	13%	
	C23	55	240	4200	3.14	10	113.26	42.71	ok	38%	47.72	ok	42%	
	C25	30	240	4200	2.36	10	31.80	6.66	ok	21%	4.77	ok	15%	
	C26	30	240	4200	2.36	10	26.03	1.52	ok	6%	1.34	ok	5%	
	C27	30	240	4200	2.36	10	29.39	6.66	ok	23%	2.34	ok	8%	
	C28	30	240	4200	2.36	10	23.49	1.52	ok	6%	1.34	ok	6%	
Y	C1	55	240	4200	3.14	10	75.10	10.89	ok	14%	11.17	ok	15%	
	C6	55	240	4200	3.14	10	75.09	10.88	ok	14%	11.15	ok	15%	
	C7	55	240	4200	3.14	10	108.29	50.94	ok	47%	58.71	ok	54%	
	C9	55	240	4200	3.14	10	70.67	19.04	ok	27%	20.35	ok	29%	
	C10	55	240	4200	3.14	10	70.65	19.12	ok	27%	20.42	ok	29%	
	C12	55	240	4200	3.14	10	108.36	50.96	ok	47%	58.78	ok	54%	
	C13	55	240	4200	3.14	10	75.19	14.82	ok	20%	15.20	ok	20%	
	C15	55	240	4200	3.14	10	112.20	62.32	ok	56%	76.01	ok	68%	
	C16	55	240	4200	3.14	10	103.20	5.46	ok	5%	76.09	ok	74%	
	C18	55	240	4200	3.14	10	75.19	14.81	ok	20%	65.23	ok	87%	
C19	55	240	4200	3.14	10	110.71	55.63	ok	50%	65.23	ok	59%		
C24	55	240	4200	3.14	10	110.69	55.64	ok	50%	65.27	ok	59%		

En la tabla 91 se puede observar que para esta configuración E-3 con las condiciones de armado y sección establecidos, en estructuras de 6 pisos dos muros fallan por cortante en el sentido X para los dos escenarios sísmicos, por lo que se descarta esta configuración como una opción para determinar el reforzamiento óptimo.

A pesar de que, en el sentido X se tiene un mayor porcentaje de paredes enchapadas 2 muros fallan por cortante, específicamente son 2 muros del ducto central que tienen una longitud  $L=2.5\text{m}$ , en este caso una solución para resolver el cortante sería aumentar el armado de estos muros, sin embargo, el enfoque de esta investigación es determinar el porcentaje óptimo con las condiciones de armado, sección y materiales establecidos, razón por la cual se descarta esta configuración.

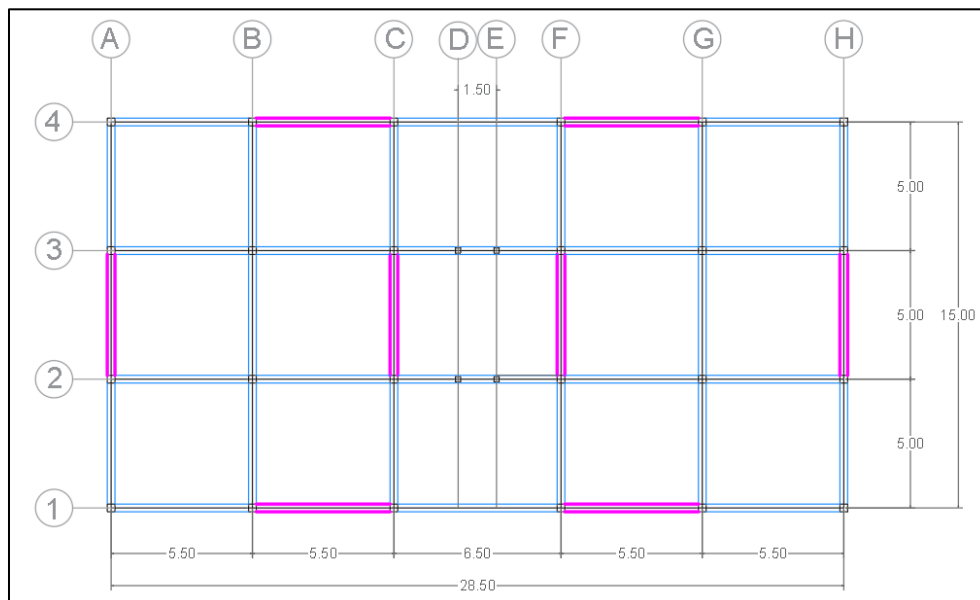
#### ***Configuración E-4***

En vista que las configuraciones E-2 y E-3 cumplen con el cortante en el sentido Y donde todos los muros tienen una longitud de  $L=5\text{ m}$ , y que ambas configuraciones fallan por cortante en el sentido X para los muros de longitud  $L=2.5\text{ m}$ , a pesar de tener mayor porcentaje de paredes enchapadas que en el sentido Y, se puede destacar que para muros altos el cortante que actúa es mayor por lo que requerirán un mayor armado o dimensionamiento.

Con la finalidad de revisar el porcentaje óptimo de reforzamiento manteniendo los armados, secciones y materiales establecidos en esta investigación, se propone una nueva configuración que tiene porcentajes de paredes enchapadas similares a la configuración E-2, sin embargo, tienen otra disposición en planta de muros enchapados, manteniendo una longitud de muros de  $L=5.5\text{ m}$  para el sentido X.

**Figura 60**

*Configuración de paredes enchapadas E-4*



**Tabla 93**

*Porcentaje de paredes enchapadas configuración E4 -6 Pisos*

Descripción	Sentido X		Sentido Y	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Longitud paredes enchapadas	19.8	m	17.8	m
Área en planta de paredes enchapada	5.544	m <sup>2</sup>	4.984	m <sup>2</sup>
% paredes enchapadas	<b>1.30</b>	%	<b>1.17</b>	%

**Figura 61**

*Curvas de capacidad y desplazamientos objetivos configuración E4 – 6 Pisos*

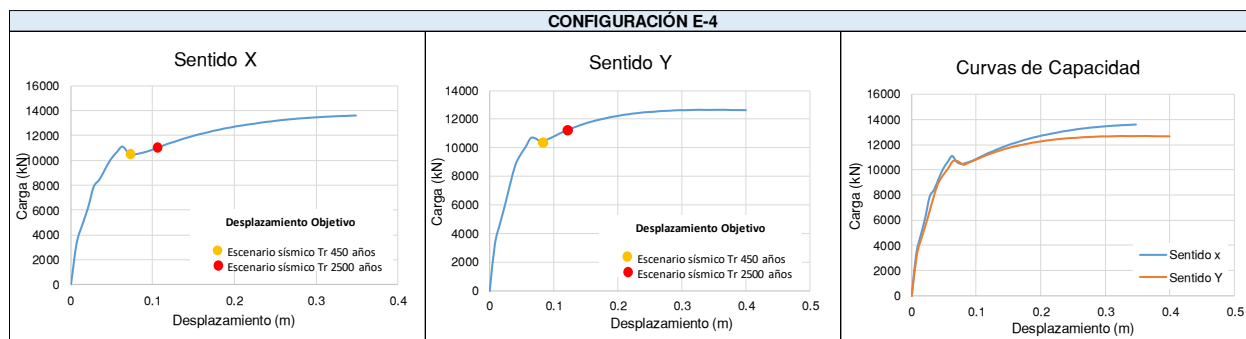


Tabla 94

Desplazamientos objetivos configuración E4 - 6 Pisos

Caso de estudio	Sentido X				Sentido Y			
	Tr 450 años		Tr 2500 años		Tr 450 años		Tr 2500 años	
	Carga (kN)	Desplazamiento (m)	Carga (kN)	Desplazamiento (m)	Carga (kN)	Desplazamiento (m)	Carga (kN)	Desplazamiento (m)
Configuración E-4	10660.680	0.06721	11155.494	0.11545	10378.574	0.07738659	11492.634	0.13055

Tabla 95

Relación de capacidad configuración E4 – 6 Pisos

Caso de estudio	Sentido X		Sentido Y	
	Carga Máx. (kN)	R	Carga Máx. (kN)	R
Estructura sin reforzamiento	5915.780	1.00	5362.239	1.00
Configuración E-4	13616.786	2.30	12653.982	2.36

Tabla 96

Clasificación del tipo de muro de la Configuración E4 – 6 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	hw (cm)	L (cm)	b <sub>col</sub> (cm)	lw (cm)	hw/lw	Tipo
X	Eje 1 entre B-C	1740	550	55	495	3.52	Muro Intermedio
	Eje 1 entre F-G	1740	550	55	495	3.52	Muro Intermedio
	Eje 4 entre B-C	1740	550	55	495	3.52	Muro Intermedio
	Eje 4 entre F-G	1740	550	55	495	3.52	Muro Intermedio
Y	Eje C entre 2-3	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio
	Eje F entre 2-3	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio
	Eje A entre 2-3	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio
	Eje H entre 2-3	1740	500	55	445	3.91	Muro Intermedio

Tabla 97

Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E4- 6 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Espesor bw (cm)	Acv (cm <sup>2</sup> )	malla #	∅ (cm)	@ (cm)	Varillas vert. #	Av (cm <sup>2</sup> )	ρ <sub>t</sub>	ρ <sub>t min</sub>	Av mín (cm <sup>2</sup> )	Av > Av mín
X	Eje 1 entre B-C	150	5000	8	3960	2	0.9	10	50	63.62	0.01606	0.0025	9.9	ok
	Eje 1 entre F-G	150	5000	8	3960	2	0.9	10	50	63.62	0.01606	0.0025	9.9	ok
	Eje 4 entre B-C	150	5000	8	3960	2	0.9	10	50	63.62	0.01606	0.0025	9.9	ok
	Eje 4 entre F-G	150	5000	8	3960	2	0.9	10	50	63.62	0.01606	0.0025	9.9	ok
Y	Eje C entre 2-3	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok
	Eje F entre 2-3	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok
	Eje A entre 2-3	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok
	Eje H entre 2-3	150	5000	8	3560	2	0.9	10	45	57.26	0.01608	0.0025	8.9	ok

Tabla 98

Revisión de muros a corte de la Configuración E4 – 6 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	$\alpha_c$	Vc (T)	Vs (T)	Vn (T)	$\emptyset Vn$ (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
								Vu < $\emptyset Vn$	Vu / $\emptyset Vn$ (%)	Vu (T)	Vu < $\emptyset Vn$	Vu / $\emptyset Vn$ (%)
X	Eje 1 entre B-C	0.53	25.70	318.09	343.79	206.27	161.85	ok	78%	140.84	ok	68%
	Eje 1 entre F-G	0.53	25.70	318.09	343.79	206.27	161.84	ok	78%	140.52	ok	68%
	Eje 4 entre B-C	0.53	25.70	318.09	343.79	206.27	162.49	ok	79%	140.03	ok	68%
	Eje 4 entre F-G	0.53	25.70	318.09	343.79	206.27	162.12	ok	79%	139.94	ok	68%
Y	Eje C entre 2-3	0.53	23.11	286.28	309.39	185.63	164.73	ok	89%	171.81	ok	93%
	Eje F entre 2-3	0.53	23.11	286.28	309.39	185.63	163.66	ok	88%	173.18	ok	93%
	Eje A entre 2-3	0.53	23.11	286.28	309.39	185.63	141.48	ok	76%	147.56	ok	79%
	Eje H entre 2-3	0.53	23.11	286.28	309.39	185.63	140.37	ok	76%	147.62	ok	80%

Tabla 99

Revisión de columnas a corte de la Configuración E4 – 6 Pisos

Sentido	Columna	bc (cm)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	Vn (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
									Vu < Vn	Vu / Vn (%)	Vu (T)	Vu < Vn	Vu / Vn (%)
X	C2	55	240	4200	3.14	10	75.19	6.69	ok	9%	15.86	ok	21%
	C3	55	240	4200	3.14	10	114.82	40.61	ok	35%	58.66	ok	51%
	C4	55	240	4200	3.14	10	75.19	6.76	ok	9%	15.88	ok	21%
	C5	55	240	4200	3.14	10	111.62	40.86	ok	37%	58.43	ok	52%
	C20	55	240	4200	3.14	10	75.19	6.74	ok	9%	15.88	ok	21%
	C21	55	240	4200	3.14	10	111.91	40.66	ok	36%	58.86	ok	53%
	C22	55	240	4200	3.14	10	75.19	6.77	ok	9%	15.87	ok	21%
	C23	55	240	4200	3.14	10	111.63	40.87	ok	37%	58.59	ok	52%
Y	C7	55	240	4200	3.14	10	75.19	11.64	ok	15%	15.34	ok	20%
	C9	55	240	4200	3.14	10	75.19	13.06	ok	17%	17.70	ok	24%
	C10	55	240	4200	3.14	10	75.19	13.06	ok	17%	17.71	ok	24%
	C12	55	240	4200	3.14	10	75.19	11.61	ok	15%	15.31	ok	20%
	C13	55	240	4200	3.14	10	108.27	47.79	ok	44%	54.07	ok	50%
	C15	55	240	4200	3.14	10	112.30	52.21	ok	46%	60.21	ok	54%
	C16	55	240	4200	3.14	10	112.21	52.25	ok	47%	60.32	ok	54%
	C18	55	240	4200	3.14	10	108.26	47.67	ok	44%	53.87	ok	50%

Tabla 100

Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E4 – 6 Pisos

Sentido	V enchape (T)	Tr 475 años			Tr 2500 años		
		V estructura (T)	% V absorbe enchape (T)	V enchape (T)	V estructura (T)	% V absorbe enchape (T)	
		X	838.25	1076.73	78%	859.35	1126.70
Y	859.54	1048.24	82%	934.71	1160.76	81%	

**Tabla 101**

*Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E4 -6 Pisos*

Sentido	Tr 475 años			Tr 2500 años		
	V muros	V estructura	% V absorbe muros	V muros	V estructura	% V absorbe muros
	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)
X	648.30	1076.73	60%	561.33	1126.70	50%
Y	610.24	1048.24	58%	640.17	1160.76	55%

En la tabla 100 se puede ver que el sistema de enchape con la Configuración E-4 absorbe más del 76 % de cortante, y analizando únicamente el porcentaje de cortante que absorbe el alma de los muros se puede ver que este es superior al 50%. Adicionalmente, en la tabla 98 se puede observar que los muros están trabajando a alrededor del 70% de la capacidad.

### Revisión por deformaciones

A continuación, se presenta a manera de resumen el número de elementos que superaron los límites de deformación para cada nivel de desempeño, para la configuración E-4, al ser la única que cumple con los chequeos a cortante. El detalle de cuantos elementos superaron cada límite por separado se presenta en el Apéndice 1.

**Tabla 102**

*Resumen evaluación por deformaciones Configuración E4 - 6Pisos*

Nivel de desempeño	Sentido X		Sentido Y	
	Tr	Tr	Tr	Tr
	475 años	2500 años	475 años	2500 años
O	24	99	55	113
IO	4	8	4	8
LS	0	0	0	0
CP	0	0	0	0
C	0	0	0	0



**Tabla 103**

*Nivel de desempeño alcanzado Configuración E4- 6 Pisos*

Escenario Sísmico	Sentido X	Sentido Y
10% de excedencia en 50 años (Tr=475 años)	Seguridad de Vida LS	Seguridad de Vida LS
2% de excedencia en 50 años (Tr=2500 años)	Seguridad de Vida LS	Seguridad de Vida LS

De acuerdo con la tabla 103, se puede evidenciar que la configuración E-4 propuesta para la estructura de 6 pisos de esta investigación cumple con los objetivos de desempeño planteados, e incluso presentan un mejor desempeño para el escenario de 2% de excedencia en 50 años (Tr=2500 años).

### **Reforzamiento Óptimo**

Una vez que se revisó el comportamiento de las estructuras y elementos en cuanto a capacidad, corte y deformaciones y que se ha evidenciado el cumplimiento de los objetivos de desempeño, se procede a determinar que para las estructuras de 6 pisos analizadas en esta investigación el porcentaje de paredes enchapadas óptimo es el caso de la Configuración E-4, en el sentido Y, el cual tiene un porcentaje de paredes enchapadas por planta de 1.17%.

Se enfatiza que este porcentaje es para estructuras de 6 pisos que presenten estas características: suelo tipo D, espesor total de enchape 8cm, resistencia a la compresión del mortero de enchape  $f'c=150$  kg/cm<sup>2</sup>; refuerzo con malla electrosoldada de 9mm de diámetro y apertura cuadrada de 10x10 cm; resistencia a la tracción  $f_y=5000$  kg/cm<sup>2</sup>, longitud de paredes entre 5 y 5.5 m.

### **Estructuras de 8 pisos**

#### ***Curvas de capacidad y desplazamiento objetivo***

A continuación, se presentan las curvas de capacidad en los dos sentidos de análisis, así como la ubicación de los desplazamientos objetivos para los 2 eventos sísmicos.

**Figura 62**

*Curvas de capacidad y desplazamientos objetivos – 8 Pisos*

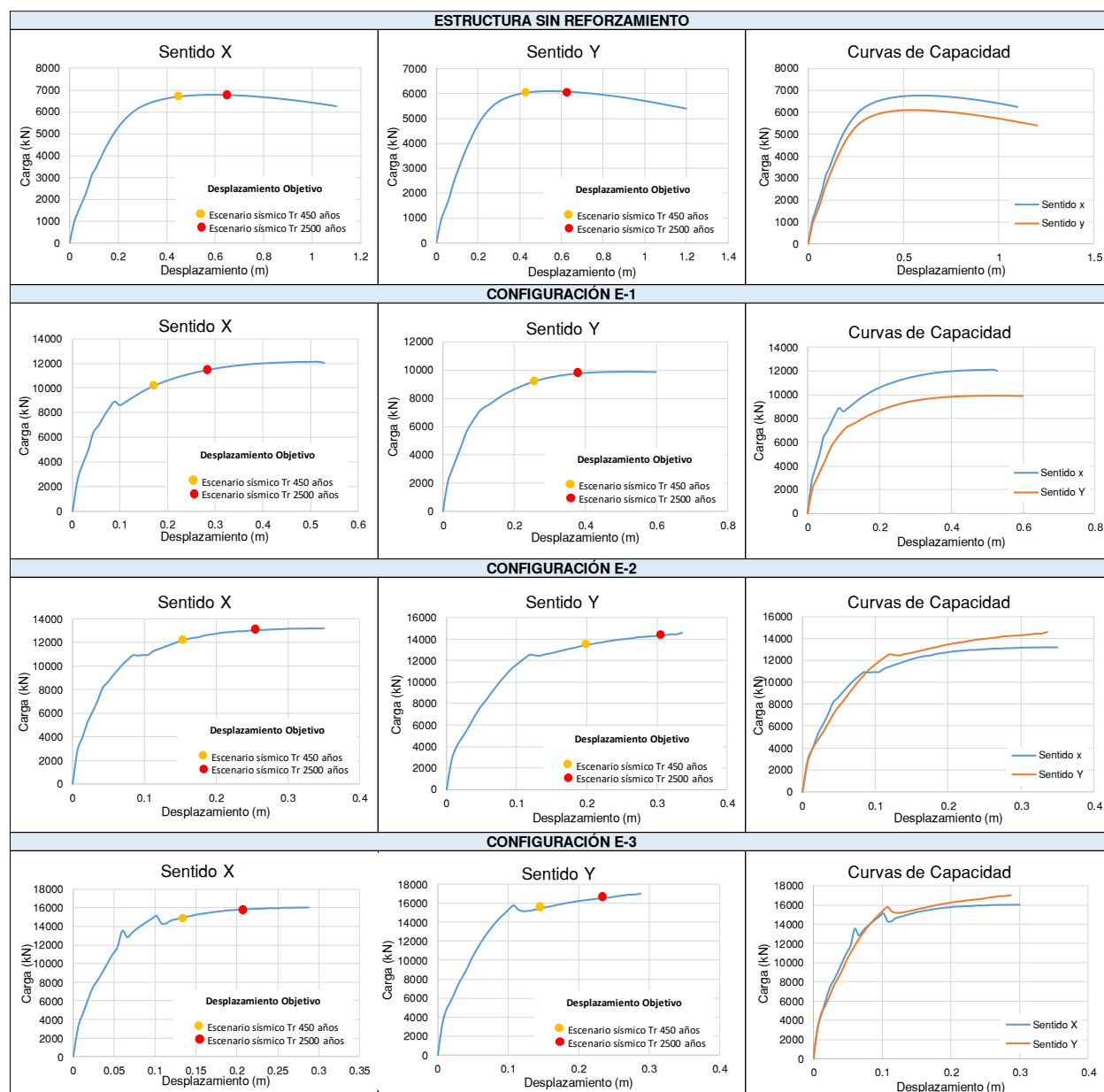


Tabla 104

## Desplazamientos objetivos- 8 Pisos

Caso de estudio	Sentido X				Sentido Y			
	Tr 450 años		Tr 2500 años		Tr 450 años		Tr 2500 años	
	Carga (kN)	Desplazamiento (m)	Carga (kN)	Desplazamiento (m)	Carga (kN)	Desplazamiento (m)	Carga (kN)	Desplazamiento (m)
Estructura sin reforzamiento	6640.905	0.42953	6762.074	0.64430	6049.429	0.43614	6067.195	0.65422
Configuración E-1	10256.972	0.17906	11557.71	0.29527	9244.524	0.25167	9798.834	0.39353
Configuración E-2	12371.971	0.16614	13066.176	0.27167	13471.26	0.20034	14424.163	0.32118
Configuración E-3	14882.079	0.13419	15856.138	0.21749	15619.9	0.15290	16620.677	0.24513

## Análisis de Resultados

## Capacidad de las estructuras

Figura 63

## Comparación de curvas de capacidad para las diferentes configuraciones - 8 Pisos

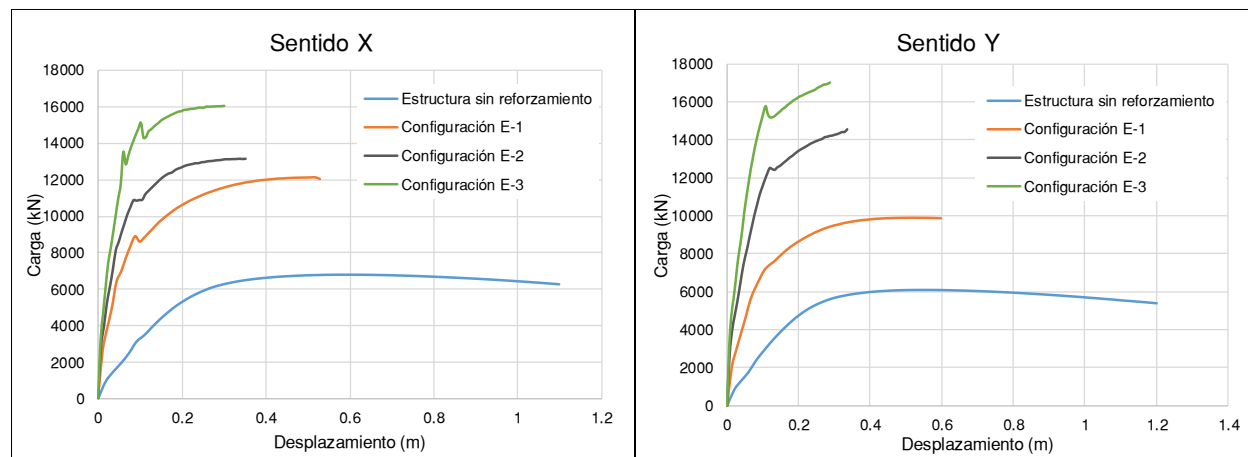


Tabla 105

## Relación de capacidad estructuras – 8 Pisos

Caso de estudio	Sentido X		Sentido Y	
	Carga Máx. (kN)	R	Carga Máx. (kN)	R
Estructura sin reforzamiento	6768.830	1.00	6100.702	1.00
Configuración E-1	12134.305	1.79	9906.002	1.62
Configuración E-2	13179.494	1.95	14568.578	2.39
Configuración E-3	16037.080	2.37	17006.626	2.79

En la figura 63 se puede observar como el reforzamiento con enchape incrementa significativamente la resistencia y rigidez de la estructura; en la tabla 105 se muestra la relación de capacidad que tienen en comparación con la estructura sin reforzamiento y se puede ver por ejemplo que para el caso de la configuración E1 en la cual se tiene 0.67% de paredes enchapadas en el Sentido X, la capacidad es 1.8 veces la capacidad de la estructura sin reforzamiento.

### Revisión de cortante

En este apartado se muestra la evaluación por corte que se realizó a muros y columnas de las estructuras de 8 pisos. Adicionalmente se presenta el porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape, en los diferentes eventos sísmicos. Igualmente, se indica el porcentaje de cortante que absorbe solamente el alma de los muros enchapados (sin los cabezales o columnas).

### Configuración E-1

**Tabla 106**

*Clasificación del tipo de muro de la Configuración E1– 8 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	hw (cm)	L (cm)	b <sub>col</sub> (cm)	lw (cm)	hw/lw	Tipo
X	Eje 1 entre C-F	2320	650	65	585	3.97	Muro Intermedio
	Eje 4 entre C-F	2320	650	65	585	3.97	Muro Intermedio
Y	Eje A entre 2-3	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto
	Eje H entre 2-3	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto

**Tabla 107**

*Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E1- 8 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Espesor bw (cm)	Acv (cm <sup>2</sup> )	malla #	Ø (cm)	@ (cm)	Varillas vert. #	Av (cm <sup>2</sup> )	ρ <sub>t</sub>	ρ <sub>t</sub> mín	Av mín (cm <sup>2</sup> )	Av > Av mín
X	Eje 1 entre C-F	150	5000	8	4680	2	0.9	10	59	75.07	0.01604	0.0025	11.7	ok
	Eje 4 entre C-F	150	5000	8	4680	2	0.9	10	59	75.07	0.01604	0.0025	11.7	ok
Y	Eje A entre 2-3	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok
	Eje H entre 2-3	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok

**Tabla 108**

*Revisión de muros a corte de la Configuración E1 – 8 Pisos*

Sentido	Ubicación del Muro	$\alpha_c$	Vc (T)	Vs (T)	Vn (T)	$\emptyset Vn$ (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
								Vu < $\emptyset Vn$	Vu / $\emptyset Vn$ (%)	Vu (T)	Vu < $\emptyset Vn$	Vu / $\emptyset Vn$ (%)
X	Eje 1 entre C-F	0.53	30.38	375.34	405.72	243.43	315.48	no cumple	130%	320.61	no cumple	132%
	Eje 4 entre C-F	0.53	30.38	375.34	405.72	243.43	315.90	no cumple	130%	320.80	no cumple	132%
Y	Eje A entre 2-3	0.53	22.59	279.92	302.51	181.50	235.43	no cumple	130%	226.47	no cumple	125%
	Eje H entre 2-3	0.53	22.59	279.92	302.51	181.50	234.82	no cumple	129%	226.00	no cumple	125%

**Tabla 109**

*Revisión de columnas a corte de la Configuración E1 – 8Pisos*

Sentido	Columna	bc (cm)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	Vn (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
									Vu < Vn	Vu / Vn (%)	Vu (T)	Vu < Vn	Vu / Vn (%)
X	C3	65	240	4200	3.93	10	109.13	14.68	ok	13%	19.16	ok	18%
	C4	65	240	4200	3.93	10	109.13	14.68	ok	13%	88.06	ok	81%
	C21	65	240	4200	3.93	10	109.13	15.04	ok	14%	19.28	ok	18%
	C22	65	240	4200	3.93	10	109.13	14.68	ok	13%	89.39	ok	82%
Y	C7	65	240	4200	3.93	10	109.13	12.11	ok	11%	14.70	ok	13%
	C12	65	240	4200	3.93	10	109.13	12.16	ok	11%	12.16	ok	11%
	C13	65	240	4200	3.93	10	162.39	77.15	ok	48%	77.15	ok	48%
	C18	65	240	4200	3.93	10	162.35	76.68	ok	47%	76.68	ok	47%

En la tabla 108 se puede observar que para la configuración E-1 con las condiciones de armado y sección establecidos, en estructuras de 8 pisos los muros fallan por cortante en los dos sentidos de análisis, por lo que se descarta esta configuración como una opción para determinar el reforzamiento óptimo.

### **Configuración E-2**

Tabla 110

Clasificación del tipo de muro de la Configuración E2– 8 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	hw (cm)	L (cm)	b <sub>col</sub> (cm)	lw (cm)	hw/lw	Tipo
X	Eje 1 entre C-F	2320	650	65	585	3.97	Muro Intermedio
	Eje 4 entre C-F	2320	650	65	585	3.97	Muro Intermedio
	Eje 2 entre C-D	2320	250	65	202.5	11.46	Muro Alto
	Eje 2 entre D-F	2320	250	65	202.5	11.46	Muro Alto
	Eje 3 entre C-D	2320	250	65	202.5	11.46	Muro Alto
	Eje 3 entre D-F	2320	250	65	202.5	11.46	Muro Alto
Y	Eje A entre 2-3	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto
	Eje H entre 2-3	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto
	Eje C entre 2-3	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto
	Eje F entre 2-3	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto

Tabla 111

Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E2- 8 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Espesor bw (cm)	Acv (cm <sup>2</sup> )	malla #	∅ (cm)	@ (cm)	Varillas vert. #	Av (cm <sup>2</sup> )	ρ <sub>t</sub>	ρ <sub>t min</sub>	Av mín (cm <sup>2</sup> )	Av > Avmín
X	Eje 1 entre C-F	150	5000	8	4680	2	0.9	10	59	75.07	0.01604	0.0025	11.7	ok
	Eje 4 entre C-F	150	5000	8	4680	2	0.9	10	59	75.07	0.01604	0.0025	11.7	ok
	Eje 2 entre C-D	150	5000	8	1620	2	0.9	10	21	26.72	0.01649	0.0025	4.05	ok
	Eje 2 entre D-F	150	5000	8	1620	2	0.9	10	21	26.72	0.01649	0.0025	4.05	ok
	Eje 3 entre C-D	150	5000	8	1620	2	0.9	10	21	26.72	0.01649	0.0025	4.05	ok
Y	Eje 3 entre D-F	150	5000	8	1620	2	0.9	10	21	26.72	0.01649	0.0025	4.05	ok
	Eje A entre 2-3	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok
	Eje H entre 2-3	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok
	Eje C entre 2-3	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok
	Eje F entre 2-3	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok

Tabla 112

Revisión de muros a corte de la Configuración E2 – 8 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	α <sub>c</sub>	V <sub>c</sub> (T)	V <sub>s</sub> (T)	V <sub>n</sub> (T)	∅V <sub>n</sub> (T)	V <sub>u</sub> (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
								V <sub>u</sub> <∅V <sub>n</sub>	V <sub>u</sub> /∅V <sub>n</sub> (%)	V <sub>u</sub> (T)	V <sub>u</sub> <∅V <sub>n</sub>	V <sub>u</sub> /∅V <sub>n</sub> (%)
X	Eje 1 entre C-F	0.53	30.37857	375.342	405.72	243.43	228.05	ok	94%	219.57	ok	90%
	Eje 4 entre C-F	0.53	30.37857	375.342	405.72	243.43	227.20	ok	93%	219.20	ok	90%
	Eje 2 entre C-D	0.53	10.51566	133.596	144.11	86.47	123.75	no cumple	143%	111.83	no cumple	129%
	Eje 2 entre D-F	0.53	10.51566	133.596	144.11	86.47	35.96	ok	42%	28.93	ok	33%
	Eje 3 entre C-D	0.53	10.51566	133.596	144.11	86.47	123.79	no cumple	143%	111.43	no cumple	129%
	Eje 3 entre D-F	0.53	10.51566	133.596	144.11	86.47	35.96	ok	42%	31.83	ok	37%
Y	Eje A entre 2-3	0.53	22.58919	279.916	302.51	181.50	105.62	ok	58%	113.05	ok	62%
	Eje H entre 2-3	0.53	22.58919	279.916	302.51	181.50	104.92	ok	58%	111.54	ok	61%
	Eje C entre 2-3	0.53	22.58919	279.916	302.51	181.50	140.28	ok	77%	139.81	ok	77%
	Eje F entre 2-3	0.53	22.58919	279.916	302.51	181.50	140.35	ok	77%	140.53	ok	77%

Tabla 113

Revisión de columnas a corte de la Configuración E2 – 8 Pisos

Sentido	Columna	bc (cm)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	Vn (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
									Vu<Vn	Vu/Vn (%)	Vu (T)	Vu<Vn	Vu/Vn (%)
X	C3	65	240	4200	3.93	10	109.13	17.15	ok	16%	22.08	ok	20%
	C4	65	240	4200	3.93	10	164.85	90.02	ok	55%	110.27	ok	67%
	C9	65	240	4200	3.93	10	109.13	25.73	ok	24%	33.03	ok	30%
	C10	65	240	4200	3.93	10	136.33	30.40	ok	22%	24.02	ok	18%
	C15	65	240	4200	3.93	10	109.13	25.69	ok	24%	32.93	ok	30%
	C16	65	240	4200	3.93	10	135.83	29.88	ok	22%	23.83	ok	18%
	C21	65	240	4200	3.93	10	109.13	17.31	ok	16%	22.44	ok	21%
	C22	65	240	4200	3.93	10	164.84	90.23	ok	55%	111.71	ok	68%
	C25	30	240	4200	2.36	10	34.55	4.49	ok	13%	5.15	ok	15%
	C26	30	240	4200	2.36	10	26.34	1.02	ok	4%	1.38	ok	5%
	C27	30	240	4200	2.36	10	34.55	4.49	ok	13%	5.15	ok	15%
C28	30	240	4200	2.36	10	26.34	1.02	ok	4%	1.38	ok	5%	
Y	C7	65	240	4200	3.93	10	96.09	30.52	ok	32%	30.24	ok	31%
	C9	65	240	4200	3.93	10	86.07	38.29	ok	44%	46.25	ok	54%
	C10	65	240	4200	3.93	10	86.05	38.63	ok	45%	46.81	ok	54%
	C12	65	240	4200	3.93	10	96.03	30.69	ok	32%	30.79	ok	32%
	C13	65	240	4200	3.93	10	158.47	108.26	ok	68%	116.99	ok	74%
	C15	65	240	4200	3.93	10	156.47	118.44	ok	76%	136.53	ok	87%
	C16	65	240	4200	3.93	10	161.18	118.69	ok	74%	133.83	ok	83%
	C18	65	240	4200	3.93	10	158.37	107.86	ok	68%	116.18	ok	73%

En la tabla 112 se puede observar que para esta configuración E-2 con las condiciones de armado y sección establecidos, en estructuras de 8 pisos dos muros fallan por cortante en el sentido X para los dos escenarios sísmicos, por lo que se descarta esta configuración como una opción para determinar el reforzamiento óptimo.

A pesar de que, en el sentido X se tiene un mayor porcentaje de paredes enchapadas, 2 muros fallan por cortante, específicamente son 2 muros del ducto central que tienen una longitud  $L = 2.5\text{m}$ , en este caso una solución para resolver el cortante sería aumentar el armado de estos muros, sin embargo, el enfoque de esta investigación es determinar el porcentaje óptimo con las condiciones de armado, sección y materiales establecidos, razón por la cual se descarta esta configuración.

### Configuración E-3

Tabla 114

Clasificación del tipo de muro de la Configuración E3- 8 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	hw (cm)	L (cm)	b <sub>col</sub> (cm)	lw (cm)	hw/lw	Tipo
X	Eje 1 entre B-C	2320	550	65	485	4.78	Muro Intermedio
	Eje 1 entre F-G	2320	550	65	485	4.78	Muro Intermedio
	Eje 4 entre B-C	2320	550	65	485	4.78	Muro Intermedio
	Eje 4 entre F-G	2320	550	65	485	4.78	Muro Intermedio
	Eje 2 entre C-D	2320	250	65	203	11.46	Muro Alto
	Eje 2 entre D-F	2320	250	65	203	11.46	Muro Alto
	Eje 3 entre C-D	2320	250	65	203	11.46	Muro Alto
	Eje 3 entre D-F	2320	250	65	203	11.46	Muro Alto
Y	Eje A entre 2-3	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto
	Eje H entre 2-3	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto
	Eje A entre 1-2	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto
	Eje H entre 1-2	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto
	Eje A entre 3-4	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto
	Eje H entre 3-4	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto

Tabla 115

Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E3- 8 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Espesor bw (cm)	Acv (cm <sup>2</sup> )	malla #	∅ (cm)	@ (cm)	Varillas vert. #	Av (cm <sup>2</sup> )	ρ <sub>t</sub>	ρ <sub>t min</sub>	Av mín (cm <sup>2</sup> )	Av > Av mín
X	Eje 1 entre B-C	150	5000	8	3880	2	0.9	10	49	62.34	0.01607	0.0025	9.7	ok
	Eje 1 entre F-G	150	5000	8	3880	2	0.9	10	49	62.34	0.01607	0.0025	9.7	ok
	Eje 4 entre B-C	150	5000	8	3880	2	0.9	10	49	62.34	0.01607	0.0025	9.7	ok
	Eje 4 entre F-G	150	5000	8	3880	2	0.9	10	49	62.34	0.01607	0.0025	9.7	ok
	Eje 2 entre C-D	150	5000	8	1620	2	0.9	10	21	26.72	0.01649	0.0025	4.05	ok
	Eje 2 entre D-F	150	5000	8	1620	2	0.9	10	21	26.72	0.01649	0.0025	4.05	ok
	Eje 3 entre C-D	150	5000	8	1620	2	0.9	10	21	26.72	0.01649	0.0025	4.05	ok
	Eje 3 entre D-F	150	5000	8	1620	2	0.9	10	21	26.72	0.01649	0.0025	4.05	ok
Y	Eje A entre 2-3	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok
	Eje H entre 2-3	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok
	Eje A entre 1-2	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok
	Eje H entre 1-2	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok
	Eje A entre 3-4	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok
	Eje H entre 3-4	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok



Tabla 116

Revisión de muros a corte de la Configuración E3 – 8 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	$\alpha_c$	Vc (T)	Vs (T)	Vn (T)	$\emptyset Vn$ (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
								Vu < $\emptyset Vn$	Vu / $\emptyset Vn$ (%)	Vu (T)	Vu < $\emptyset Vn$	Vu / $\emptyset Vn$ (%)
X	Eje 1 entre B-C	0.53	25.19	311.72	336.91	202.15	154.32	ok	76%	136.65	ok	68%
	Eje 1 entre F-G	0.53	25.19	311.72	336.91	202.15	154.22	ok	76%	137.26	ok	68%
	Eje 4 entre B-C	0.53	25.19	311.72	336.91	202.15	157.32	ok	78%	137.33	ok	68%
	Eje 4 entre F-G	0.53	25.19	311.72	336.91	202.15	156.78	ok	78%	137.01	ok	68%
	Eje 2 entre C-D	0.53	10.52	133.60	144.11	86.47	113.58	no cumple	131%	105.48	no cumple	122%
	Eje 2 entre D-F	0.53	10.52	133.60	144.11	86.47	41.82	ok	48%	30.44	ok	35%
	Eje 3 entre C-D	0.53	10.52	133.60	144.11	86.47	113.61	no cumple	131%	105.96	no cumple	123%
Y	Eje 3 entre D-F	0.53	10.52	133.60	144.11	86.47	41.65	ok	48%	30.06	ok	35%
	Eje A entre 2-3	0.53	22.59	279.92	302.51	181.50	102.84	ok	57%	99.73	ok	55%
	Eje H entre 2-3	0.53	22.59	279.92	302.51	181.50	103.20	ok	57%	99.89	ok	55%
	Eje A entre 1-2	0.53	22.59	279.92	302.51	181.50	73.68	ok	41%	46.07	ok	25%
	Eje H entre 1-2	0.53	22.59	279.92	302.51	181.50	55.05	ok	30%	45.80	ok	25%
	Eje A entre 3-4	0.53	22.59	279.92	302.51	181.50	73.68	ok	41%	78.73	ok	43%
	Eje H entre 3-4	0.53	22.59	279.92	302.51	181.50	72.22	ok	40%	78.33	ok	43%

Tabla 117

Revisión de columnas a corte de la Configuración E3 – 8 Pisos

Sentido	Columna	bc (cm)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	Vn (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
									Vu < Vn	Vu / Vn (%)	Vu (T)	Vu < Vn	Vu / Vn (%)
X	C2	65	240	4200	3.93	10	109.13	16.36	ok	15%	23.63	ok	22%
	C3	65	240	4200	3.93	10	161.56	70.48	ok	44%	91.98	ok	57%
	C5	65	240	4200	3.93	10	161.48	70.89	ok	44%	92.35	ok	57%
	C6	65	240	4200	3.93	10	124.05	4.31	ok	3%	11.43	ok	9%
	C9	65	240	4200	3.93	10	109.13	19.53	ok	18%	31.85	ok	29%
	C10	65	240	4200	3.93	10	133.41	25.77	ok	19%	23.52	ok	18%
	C15	65	240	4200	3.93	10	109.13	19.52	ok	18%	31.86	ok	29%
	C16	65	240	4200	3.93	10	133.11	25.29	ok	19%	22.00	ok	17%
	C20	65	240	4200	3.93	10	109.13	16.38	ok	15%	23.73	ok	22%
	C21	65	240	4200	3.93	10	161.57	70.58	ok	44%	92.48	ok	57%
	C22	65	240	4200	3.93	10	109.13	16.44	ok	15%	23.69	ok	22%
	C23	65	240	4200	3.93	10	161.47	71.09	ok	44%	93.01	ok	58%
	C25	30	240	4200	2.36	10	30.30	3.47	ok	11%	4.16	ok	14%
	C26	30	240	4200	2.36	10	23.33	0.79	ok	3%	1.21	ok	5%
	C27	30	240	4200	2.36	10	30.31	3.49	ok	12%	4.22	ok	14%
C28	30	240	4200	2.36	10	23.33	0.78	ok	3%	1.20	ok	5%	
Y	C1	65	240	4200	3.93	10	107.03	27.61	ok	26%	24.88	ok	23%
	C6	65	240	4200	3.93	10	107.01	27.60	ok	26%	24.89	ok	23%
	C7	65	240	4200	3.93	10	153.23	98.69	ok	64%	107.30	ok	70%
	C9	65	240	4200	3.93	10	97.93	44.77	ok	46%	45.97	ok	47%
	C10	65	240	4200	3.93	10	97.89	45.07	ok	46%	46.41	ok	47%
	C12	65	240	4200	3.93	10	153.25	98.70	ok	64%	107.50	ok	70%
	C13	65	240	4200	3.93	10	103.29	32.19	ok	31%	29.98	ok	29%
	C15	65	240	4200	3.93	10	160.75	127.06	ok	79%	141.51	ok	88%
C16	65	240	4200	3.93	10	160.77	127.36	ok	79%	142.25	ok	88%	
C18	65	240	4200	3.93	10	103.27	32.38	ok	31%	30.42	ok	29%	
C19	65	240	4200	3.93	10	158.68	110.86	ok	70%	121.76	ok	77%	
C24	65	240	4200	3.93	10	158.56	110.44	ok	70%	120.64	ok	76%	

En la tabla 116 se puede observar que para esta configuración E-3 con las condiciones de armado y sección establecidos, en estructuras de 8 pisos dos muros fallan por cortante en el sentido X para los dos escenarios sísmicos, por lo que se descarta esta configuración como una opción para determinar el reforzamiento óptimo.

Se puede confirmar lo que se observó en las estructuras de 6 pisos que, para muros altos el cortante que actúa es mayor, independiente del porcentaje de paredes enchapadas y en el caso de los 2 muros del ducto central que tienen una longitud  $L = 2.5\text{m}$ , el armado y dimensionamiento de reforzamiento establecidos en esta investigación es insuficiente para cubrir la demanda de corte, razón por la cual se descarta esta configuración.

#### ***Configuración E-4***

En vista que las configuraciones E-2 y E-3 cumplen con el cortante en el sentido Y donde todos los muros tienen una longitud de  $L = 5\text{ m}$ , y que ambas configuraciones fallan por cortante en el sentido X para los muros de longitud  $L = 2.5\text{ m}$ , a pesar de tener mayor porcentaje de paredes enchapadas que en el sentido Y, y con la finalidad de revisar el porcentaje óptimo de reforzamiento manteniendo los armados, secciones y materiales establecidos en esta investigación, se propone una nueva configuración que tiene porcentajes de paredes enchapadas similares a la configuración E-2, sin embargo, tienen otra disposición en planta de muros enchapados, manteniendo una longitud de muros de  $L = 5.5\text{ m}$  para el sentido X. (La configuración se presenta en la figura 60)

Tabla 118

Porcentaje de paredes enchapadas configuración E4 -8 Pisos

Descripción	Sentido X		Sentido Y	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Longitud paredes enchapadas	19.4	m	17.4	m
Área en planta de paredes enchapadas	5.432	m <sup>2</sup>	4.872	m <sup>2</sup>
% paredes enchapadas	<b>1.27</b>	%	<b>1.14</b>	%

Figura 64

Curvas de capacidad y desplazamientos objetivos configuración E4 – 8 Pisos

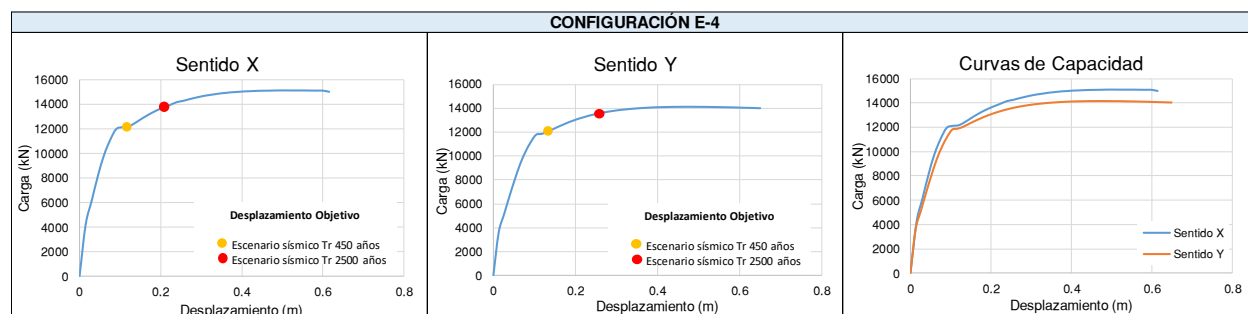


Tabla 119

Desplazamientos objetivos configuración E4 - 8 Pisos

Caso de estudio	Sentido X				Sentido Y			
	Tr 450 años		Tr 2500 años		Tr 450 años		Tr 2500 años	
	Carga (kN)	Desplazamiento (m)	Carga (kN)	Desplazamiento (m)	Carga (kN)	Desplazamiento (m)	Carga (kN)	Desplazamiento (m)
Configuración E-4	12405.471	0.12908	13742.169	0.21221	12636.77	0.16692	13702.544	0.26963

Tabla 120

Relación de capacidad configuración E4 – 8 Pisos

Caso de estudio	Sentido X		Sentido Y	
	Carga Máx. (kN)	R	Carga Máx. (kN)	R
Estructura sin reforzamiento	6768.830	1.00	6100.702	1.00
Configuración E-4	15085.657	2.23	14151.452	2.32

Tabla 121

Clasificación del tipo de muro de la Configuración E4 – 8 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	hw (cm)	L (cm)	b <sub>col</sub> (cm)	lw (cm)	hw/lw	Tipo
X	Eje 1 entre B-C	2320	550	65	485	4.78	Muro Intermedio
	Eje 1 entre F-G	2320	550	65	485	4.78	Muro Intermedio
	Eje 4 entre B-C	2320	550	65	485	4.78	Muro Intermedio
	Eje 4 entre F-G	2320	550	65	485	4.78	Muro Intermedio
Y	Eje C entre 2-3	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto
	Eje F entre 2-3	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto
	Eje A entre 2-3	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto
	Eje H entre 2-3	2320	500	65	435	5.33	Muro Alto

Tabla 122

Revisión del acero mínimo en muros de la Configuración E4- 8 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Espesor bw (cm)	Acv (cm <sup>2</sup> )	malla #	∅ (cm)	@ (cm)	Varillas vert. #	Av (cm <sup>2</sup> )	ρ <sub>t</sub>	ρ <sub>t min</sub>	Av mín (cm <sup>2</sup> )	Av > Av mín
X	Eje 1 entre B-C	150	5000	8	3880	2	0.9	10	49	62.34	0.01607	0.0025	9.7	ok
	Eje 1 entre F-G	150	5000	8	3880	2	0.9	10	49	62.34	0.01607	0.0025	9.7	ok
	Eje 4 entre B-C	150	5000	8	3880	2	0.9	10	49	62.34	0.01607	0.0025	9.7	ok
	Eje 4 entre F-G	150	5000	8	3880	2	0.9	10	49	62.34	0.01607	0.0025	9.7	ok
Y	Eje C entre 2-3	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok
	Eje F entre 2-3	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok
	Eje A entre 2-3	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok
	Eje H entre 2-3	150	5000	8	3480	2	0.9	10	44	55.98	0.01609	0.0025	8.7	ok

Tabla 123

Revisión de muros a corte de la Configuración E4 – 8 Pisos

Sentido	Ubicación del Muro	α <sub>c</sub>	V <sub>c</sub> (T)	V <sub>s</sub> (T)	V <sub>n</sub> (T)	∅V <sub>n</sub> (T)	V <sub>u</sub> (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
								V <sub>u</sub> < ∅V <sub>n</sub>	V <sub>u</sub> /∅V <sub>n</sub> (%)	V <sub>u</sub> (T)	V <sub>u</sub> < ∅V <sub>n</sub>	V <sub>u</sub> /∅V <sub>n</sub> (%)
X	Eje 1 entre B-C	0.53	25.19	311.72	336.91	202.15	158.21	ok	78%	169.92	ok	84%
	Eje 1 entre F-G	0.53	25.19	311.72	336.91	202.15	156.82	ok	78%	168.14	ok	83%
	Eje 4 entre B-C	0.53	25.19	311.72	336.91	202.15	159.59	ok	79%	170.49	ok	84%
	Eje 4 entre F-G	0.53	25.19	311.72	336.91	202.15	158.33	ok	78%	169.54	ok	84%
Y	Eje C entre 2-3	0.53	22.59	279.92	302.51	181.50	170.46	ok	94%	178.67	ok	98%
	Eje F entre 2-3	0.53	22.59	279.92	302.51	181.50	178.13	ok	98%	178.67	ok	98%
	Eje A entre 2-3	0.53	22.59	279.92	302.51	181.50	139.52	ok	77%	146.89	ok	81%
	Eje H entre 2-3	0.53	22.59	279.92	302.51	181.50	138.85	ok	76%	147.77	ok	81%

Tabla 124

Revisión de columnas a corte de la Configuración E4 – 8 Pisos

Sentido	Columna	bc (cm)	fc (kg/cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )	s (cm)	Vn (T)	Vu (T)	Tr 475 años		Tr 2500 años		
									Vu<Vn	Vu/Vn (%)	Vu (T)	Vu<Vn	Vu/Vn (%)
X	C2	65	240	4200	3.93	10	109.13	21.76	ok	20%	24.61	ok	23%
	C3	65	240	4200	3.93	10	161.03	84.71	ok	53%	93.90	ok	58%
	C4	65	240	4200	3.93	10	109.13	21.71	ok	20%	24.59	ok	23%
	C5	65	240	4200	3.93	10	160.46	84.91	ok	53%	93.80	ok	58%
	C20	65	240	4200	3.93	10	109.13	21.83	ok	20%	24.71	ok	23%
	C21	65	240	4200	3.93	10	161.00	85.16	ok	53%	94.33	ok	59%
	C22	65	240	4200	3.93	10	109.13	21.75	ok	20%	24.51	ok	22%
Y	C23	65	240	4200	3.93	10	160.45	84.99	ok	53%	94.05	ok	59%
	C7	65	240	4200	3.93	10	109.13	23.01	ok	21%	24.31	ok	22%
	C9	65	240	4200	3.93	10	109.13	25.69	ok	24%	26.82	ok	25%
	C10	65	240	4200	3.93	10	109.13	25.76	ok	24%	27.41	ok	25%
	C12	65	240	4200	3.93	10	109.13	23.00	ok	21%	24.39	ok	22%
	C13	65	240	4200	3.93	10	160.48	91.95	ok	57%	99.37	ok	62%
	C15	65	240	4200	3.93	10	166.46	99.47	ok	60%	108.37	ok	65%
	C16	65	240	4200	3.93	10	165.80	100.67	ok	61%	110.03	ok	66%
	C18	65	240	4200	3.93	10	160.42	91.37	ok	57%	98.68	ok	62%

Tabla 125

Porcentaje de cortante que absorbe el sistema de enchape Configuración E4 – 8 Pisos

Sentido	V enchape (T)	Tr 475 años		V enchape (T)	Tr 2500 años	
		V estructura (T)	% V absorbe enchape (T)		V estructura (T)	% V absorbe enchape (T)
X	1059.77	1252.95	85%	1152.59	1387.96	83%
Y	1107.87	1276.31	87%	1171.38	1383.96	85%

Tabla 126

Porcentaje de cortante que absorbe el alma de muros enchapados Configuración E4 -8 Pisos

Sentido	V muros (T)	Tr 475 años		V muros (T)	Tr 2500 años	
		V estructura (T)	% V absorbe muros (T)		V estructura (T)	% V absorbe muros (T)
X	632.95	1252.95	51%	678.09	1387.96	49%
Y	626.95	1276.31	49%	652.00	1383.96	47%

En la tabla 125 se puede ver que el sistema de enchape con la Configuración E-4 absorbe más del 83 % de cortante, y analizando únicamente el porcentaje de cortante que absorbe el alma de los muros se puede ver que este es superior al 47%.

### Revisión por deformaciones

A continuación, se presenta a manera de resumen el número de elementos que superaron los límites de deformación para cada nivel de desempeño, para la configuración E-4, al ser la única que cumple con los chequeos a cortante. El detalle de cuantos elementos superaron cada límite por separado se presenta en el Apéndice 1.

**Tabla 127**

*Resumen evaluación por deformaciones Configuración E4 - 8Pisos*

Nivel de desempeño	Sentido X		Sentido Y	
	Tr	Tr	Tr	Tr
	475 años	2500 años	475 años	2500 años
O	80	266	146	305
IO	4	8	8	12
LS	0	0	0	0
CP	0	0	0	0
C	0	0	0	0

**Tabla 128**

*Nivel de desempeño alcanzado Configuración E4- 8 Pisos*

Escenario Sísmico	Sentido X	Sentido Y
10% de excedencia en 50 años (Tr=475 años)	Seguridad de Vida LS	Seguridad de Vida LS
2% de excedencia en 50 años (Tr=2500 años)	Seguridad de Vida LS	Seguridad de Vida LS

De acuerdo con la tabla 128, se puede evidenciar que la Configuración E-4 propuesta para la estructura de 8 pisos de esta investigación cumple con los objetivos de desempeño planteados, e incluso presentan un mejor desempeño para el escenario de 2% de excedencia en 50 años ( $T_r=2500$  años).

### **Reforzamiento Óptimo**

Una vez que se revisó el comportamiento de las estructuras y elementos en cuanto a capacidad, corte y deformaciones y que se ha evidenciado el cumplimiento de los objetivos de desempeño, se procede a determinar que para las estructuras de 8 pisos analizadas en esta investigación el porcentaje de paredes enchapadas óptimo es el caso de la Configuración E-4, en el sentido Y, el cual tiene un porcentaje de paredes enchapadas por planta de 1.14%.

Se enfatiza que este porcentaje es para estructuras de 8 pisos que presenten estas características: suelo tipo D, espesor total de enchape 8cm, resistencia a la compresión del mortero de enchape  $f'_c=150$  kg/cm<sup>2</sup>; refuerzo con malla electrosoldada de 9mm de diámetro y apertura cuadrada de 10x10 cm; resistencia a la tracción  $f_y=5000$  kg/cm<sup>2</sup>, longitud de paredes entre 5 y 5.5 m.

## Capítulo V

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

El sistema de enchape como reforzamiento para estructuras de mediana altura, de hormigón armado con mampostería de relleno presentó un desempeño adecuado para los objetivos planteados. Para un evento sísmico con probabilidad de excedencia del 10% en 50 años ( $T_r=475$  años) las estructuras presentaron un nivel de daño de Seguridad de Vida (LS) y en algunos casos incluso se tuvo un mejor desempeño; y para el segundo evento sísmico con probabilidad de excedencia del 2% en 50 años ( $T_r=2500$  años) ninguna estructura alcanzó el nivel de daño de Prevención de Colapso (CP). Por lo cual se confirma que el sistema de reforzamiento con enchape se puede utilizar con seguridad en este tipo de estructuras. Cabe mencionar que esta conclusión es válida para reforzamientos con enchape que presenten estas características: suelo tipo D, espesor total de enchape 8cm, resistencia a la compresión del mortero de enchape  $f'_c=150$  kg/cm<sup>2</sup>; refuerzo con malla electrosoldada de 9mm de diámetro y apertura cuadrada de 10x10 cm; resistencia a la tracción  $f_y=5000$  kg/cm<sup>2</sup>, longitud de paredes entre 5 y 5.5 m, y dependiendo el número de pisos que cumplan con el porcentaje mínimo de paredes enchapadas que se presenta a continuación.

Para **estructuras de 2 y 4 pisos** reforzadas con el sistema de enchape con las características antes mencionadas, se encontró que, el **porcentaje óptimo de paredes a enchapar por planta y por sentido de análisis es del 0.60 %**.

Para el caso de las **estructuras de 6 y 8 pisos** reforzadas con el sistema de enchape con las características antes mencionadas, se encontró que, el **porcentaje óptimo de paredes a enchapar por planta y por sentido de análisis es del 1.14 %**.



Para estructuras de altura media baja como son 2 y 4 pisos no se tuvo problema en reforzar paredes con longitudes entre 2.5 y 6.5 metros, sin embargo, para estructuras de mediana altura como son de 6 y 8 pisos, la longitud de los muros es importante porque de ello dependerá si se clarifican como muros altos o intermedios, y con esta investigación se ratificó que para el caso de **muros altos** (como es el caso de los muros con longitud igual a 2.5 m), se **requiere de un mayor diseño a corte**.

**Si bien el sistema de enchape aumenta en gran medida la resistencia y rigidez de las estructuras, aumentando la ductilidad de estas, es importante contar con un buen diseño que permita resistir el cortante, especialmente en los primeros pisos.**

Para el caso de las **estructuras de 2 pisos** se pudo evidenciar que el **reforzamiento con el sistema de enchape** para el caso óptimo de paredes enchapadas, **incrementó en un 131% la resistencia** de la estructura en comparación a la estructura sin reforzamiento, es decir que la estructura reforzada resiste 2.31 veces lo que resiste la estructura sin reforzamiento.

Para el caso de las **estructuras de 4 pisos** se pudo evidenciar que el **reforzamiento con el sistema de enchape** para el caso óptimo de paredes enchapadas, **incrementó en un 87% la resistencia** de la estructura en comparación a la estructura sin reforzamiento, es decir que la estructura reforzada resiste 1.87 veces lo que resiste la estructura sin reforzamiento.

Para el caso de las **estructuras de 6 pisos** se pudo evidenciar que el **reforzamiento con el sistema de enchape** para el caso óptimo de paredes enchapadas, **incrementó en un 136% la resistencia** de la estructura en comparación a la estructura sin reforzamiento, es decir que la estructura reforzada resiste 2.36 veces lo que resiste la estructura sin reforzamiento.

Para el caso de las **estructuras de 8 pisos** se pudo evidenciar que el **reforzamiento con el sistema de enchape** para el caso óptimo de paredes enchapadas, **incrementó en un 132% la resistencia** de la estructura en comparación a la estructura sin reforzamiento, es decir que la estructura reforzada resiste 2.32 veces lo que resiste la estructura sin reforzamiento.

Para los escenarios óptimos de enchape se pudo observar que **el porcentaje de cortante que absorben los muros enchapados es alrededor del 70 % o superior** lo cual no muestra como este sistema alivia significativamente el cortante que van a recibir el resto de las columnas de la estructura, mismas que contaban con un diseño mínimo y que sin el reforzamiento se encontraban sobre esforzadas.

Para las **estructuras de 2 pisos** con el reforzamiento óptimo, el nivel de desempeño que se alcanzó para el escenario sísmico con un **periodo de retorno de 475 años fue Totalmente Operacional (O)**, mientras que para el escenario sísmico con un **periodo de retorno de 2500 años se tuvo un nivel de Seguridad de Vida (LS)**, cabe indicar que para el resto de reforzamiento el nivel que se alcanzó para los dos escenarios sísmicos fue Totalmente Operacional (O).

Para las **estructuras de 4,6 y 8 pisos** con el reforzamiento óptimo, el nivel de desempeño que se alcanzó **para los dos escenarios sísmicos fue un nivel de Seguridad de Vida (LS)**.

En la presente investigación se analizó porcentajes óptimos de paredes enchapadas contemplando en cierta medida la arquitectura, por ejemplo, se buscó enchapar los ductos centrales donde por lo general se encuentra el área de ascensores y gradas, que resultaría más fácil de intervenir, sin embargo, para lograr el porcentaje óptimo con las características de

enchape propuesto en algunos casos resultaba una mejor opción enchapar en la periferia de la estructura. No obstante, para casos prácticos habrá muchos escenarios en que la arquitectura será un obstáculo para lograr esos porcentajes de paredes enchapadas, en esos casos se puede buscar un diseño adecuado variando espesores, armados y resistencia de los materiales.

### **Recomendaciones**

La principal recomendación de esta investigación es considerar el enchape como sistema de reforzamiento ya que es un sistema fácil de aplicar, económico y que ha demostrado tener un buen desempeño para estructuras ubicadas en zonas con alto peligro sísmico.

Al momento de realizar el enchape es importante que el armado garantice la conexión entre la mampostería, el pórtico y la cimentación, así como la conexión entre pisos, por lo cual se recomienda seguir el esquema propuesto en las figuras 41, 42 y 43 donde se muestra detalladamente la longitud de conectores y disposición.

Esta investigación presenta el sistema de enchape con características de armado, secciones y materiales específicas, se recomienda continuar con investigaciones experimentales y teóricas que contemplen otras características para generar una mayor fuente de datos que muestre los beneficios de este sistema de reforzamiento y su aplicabilidad.

Se recomienda realizar investigaciones enfocadas en el análisis de cortante de muros enchapados para definir ecuaciones de cortante nominal según las características del mortero de enchape.

Para la calibración de modelos matemáticos, en los casos que no se cuente con suficiente información experimental se recomienda hacer el análisis de la respuesta Momento-Curvatura para tener una mejor aproximación del comportamiento de la sección. Para casos donde se tenga secciones compuestas por diferentes materiales se recomienda no utilizar la curva bilineal simplificada ya que al considerar solo dos puntos de análisis se pueden descartar puntos que muestren un comportamiento relevante de la sección.

Para la modelación del sistema de enchape en los diferentes softwares se recomienda revisar como el software conecta a los elementos para garantizar que se esté modelando el sistema de enchape como tal. El programa SeismoStruct permite definir un tipo de elemento para modelar secciones de muros con y sin cabezales, el cual es muy bueno, sin embargo, está dirigido a muros con el mismo material en toda la sección, para casos en los que se tiene materiales diferentes en el alma y cabezales del muro se debe modelar como dos elementos diferentes para caracterizar adecuadamente los materiales, por lo cual, para garantizar la conexión del alma con los cabezales y reflejar el comportamiento del muro es importante realizar una discretización en lo alto y utilizar brazos rígidos.

## Bibliografía

- Abrams, E. D. P. (1994). Proceedings from Seismic Response of Masonry Infills. In *National Center for Earthquake Engineering research*.
- ACI-318. (2014). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. In *America Concrete Institute*. [https://doi.org/10.1016/0360-3016\(84\)90476-0](https://doi.org/10.1016/0360-3016(84)90476-0)
- Aguiar, R., Rivas-Medina, A., & Iza, E. (2018). Determination of Spectros and Earthquakes for the Design of Quinindé Hospital With Seismic Isolators. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, Vol. 23(March), 73–100.
- Aguilar, I., & Lumbi, E. (2014). *Diagnóstico y propuesta de reforzamiento estructurales de una edificación representativa en el barrio Atucucho, de Quito*. Escuela Politécnica Nacional.
- Albarracin, O., Saldivar, M., Libardi, G., & Navarta, G. (2014). Reforzamiento De Estructuras De Adobe Con Mallas Metálicas. *Universidad Nacional de San Juan, Argentina, November*, 1–10.
- Albuja, D., & Pantoja, J. (2017). *Estudio del reforzamiento de la mampostería de bloque con malla electrosoldada mediante ensayos destructivos*. Escuela Politécnica Nacional.
- Alcocer, S. ., Ruiz, J., Pineda, J. ., & Zepeda, J. . (1996). Retrofitting of confined masonry walls with welded wire mesh. *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*.
- American Society of Civil Engineers. (2013). ASCE/SEI 7-16: Minimum design loads for buildings and other structures. In *ASCE Standard (Issues 7–10)*.
- American Society of Civil Engineers. (2017). *ASCE/SEI 41-17 : Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. <http://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780784414859>
- Angulo, L., & López, C. (2008). *Reforzamiento de Mampostería de ladrillo artesanal*. Escuela Politécnica Nacional.
- Baran, M., & Sevil, T. (2010). Analytical and experimental studies on infilled RC frames.

*International Journal of Physical Sciences*, 5(13), 1981–1998.

- Bertero, V., & Brokken, S. (1983). Infills in Seismic Resistant Building. *Journal of Structural Engineering*, 109(6). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(1983\)109:6\(1337\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1983)109:6(1337))
- Borja, L. F., & Torres, M. J. (2015). *Diseño del reforzamiento estructural de un edificio de departamentos de 4 plantas ubicado en el sector de Quitumbe, ciudad Quito, provincia de Pichincha*. Escuela Politécnica Nacional.
- Cagua, B. (2022). Comportamiento no lineal de pórticos de hormigón armado y pórticos de acero con y sin disipadores de energía tipo TADAS, Shear Link Bozzo y Barras de Pandeo Restringido para el escenario sísmico de Quito. In *Univeridad de las Fuerzas Armadas ESPE* (Vol. 33, Issue 1).
- Carrillo, J., Echeverri, F., & Aperador, W. (2015). Evaluación de los costos de construcción de sistemas estructurales para viviendas de baja altura y de interés social. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(4), 479–490. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.09.001>
- Celi, C., Pantoja, J., Sosa, D., & Ayala, C. (2018). Seismic Vulnerability of Quito Ecuador, Phase 1: Capacity Curves of Structural Tipologies, Project Gem -Sara. *Revista PUCE*, 0(106), 43–80. <http://www.revistapuce.edu.ec/index.php/revpuce/article/view/130>
- Chang G. A., & Mander, J. B. (1994). Seismic energy based fatigue damage analysis of bridge columns: Part I - Evaluation of seismic capacity. In *NCEER Technical Report No. NCEER-94-0006*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Seismic-Energy-Based-Fatigue-Damage-Analysis-of-1-Chang-Mander/57459fc6806e6a855ed0e3002639716a1c5bf907>
- Chávez, C., & Gómez, J. E. (2020). *Diseño del reforzamiento estructural para la ampliación del edificio “Instituto Tecnológico Superior Policía Nacional del Norte.”* Escuela Politécnica Nacional.
- Chicaiza, M. (2017). *Modelo de exposición y mapa de vulnerabilidad del Distrito Metropolitano*

de Quito. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17352>

- Crisafulli, F. J. (1997). Seismic behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills
- Crisafulli, F. J. (1997). Seismic behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills. In Civil Engineering. In *Civil Engineering*.
- Cuasqui, L., & Merizalde, M. (2019). *Análisis estructural, diseño de reforzamiento y determinación de presupuesto del edificio Arcos ubicado en el sector sur de Quito - Ecuador*. Escuela Politécnica Nacional.
- Deierlein, G. G., Krawinkler, H., & Cornell, C. . (2003). *A framework for performance-based fire following earthquake engineering*.
- Diaz, M., Zavala, C., Gallardo, J., & Lavado, L. (2017). Experimental Study of Non-Engineered Confined Masonry Walls Retrofitted With Wire Mesh and Cement-Sand Mortar. *16th World Conference on Earthquake, January*.
- Estrada, K., & Vivanco, N. (2019). *Evaluación De La Vulnerabilidad Sísmica, Análisis Estructural Y Diseño Del Reforzamiento De Una Vivienda De Tres Pisos Ubicada En El Norte De Quito- Ecuador*.
- Fajfar, P., & Krawinkler, H. (2004). *Performance-Based Seismic Design Concepts And Implementation Proceedings Of The International Workshop Bled, Slovenia*.
- FEMA-273. (1997). NEHRP Guidelines and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. In *Earthquake Spectra* (Vol. 16, Issue 1). <https://doi.org/10.1193/1.1586092>
- Fernández, L., & Paredes, P. (2010). *Investigación Teórico Experimental de un Sistema Estructural Alternativo*. Escuela Politécnica Nacional.
- Herrera, M., Gomez, C., Parra, G., Arévalo, D., Guaminga, E., & Hernández, L. (2022). Análisis del reforzamiento de una estructura construida informalmente mediante el uso de enchapes. *Revista Gaceta Técnica*, 23(2), 4–22.

- Mander, J. B., Priestley, M. J. N., & Park, R. (1988). Theoretical Stress-Strain Model For Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804–1826.
- Martinez-Rueda, J. E., & Elnashai, A. S. (1997). Confined concrete model under cyclic load. *Materials and Structures*, 30(197), 139–147.
- Melone, S. S. (2002). Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico. ... 2003. Disponible En URL: <Http://Www> ....
- Menegotto, M., & Pinto, P. E. (1973). Method of Analysis for Cyclically Loaded R. C. Plane Frames Including Changes in Geometry and Non-Elastic Behavior of Elements under Combined Normal Force and Bending. *Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads, International Association for Bridge and Structural Engineering*, 15–22.
- Montejo, L., & Kowalsky, M. (2007). CUMBIA Set of Codes for the Analysis of Reinforced Concrete Members. In *Environmental Engineering* (Issue February 2007).
- Moretti, M. L. (2015). Seismic design of masonry and reinforced concrete infilled frames: A comprehensive overview. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(4), 748–766. <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2015.748.766>
- Mosquera, C., & Rosero, M. (2021). *Estudio del Reforzamiento de Mampostería deBloque Mediante Técnica de Enchape, en Sistemas Estructurales Mixtos Acero-Hormigón con Uniones Soldadas*. Escuela Politécnica Nacional.
- NEC-15. (2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC: NEC-SE-CG - CARGAS NO SÍSMICAS. In *Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC-2015* (Vol. 1). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-CG-Cargas-Sísmicas.pdf>
- Pachano, F. (2018). *Determinación de parámetros mecánicos para modelos no lineales de*



*mampostería de relleno en pórticos de hormigón armado obtenidos de manera experimental*. Escuela Politécnica Nacional.

Placencia, P. (2020). Foro de Intercambio de Lecciones Aprendidas y Buenas Prácticas hacia una Vivienda Adecuada y Sostenible. *Programa de Las Naciones Unidas Para El Desarrollo PNUD*.

Priestley, M. J. N., Calvi, G. M., & Kowalsky, M. J. (2007). *Displacement Based Seismic Design of Structures* (IUSS Press).

Quiun, D., Alferez, K., & Quinto, D. (2005). *Reforzamiento estructural de muros de albañilería de bloques artesanales de concreto*.

Ruiz, J., & Alcocer, S. (1998). Desempeño Experimental De Estructuras De Mampostería Confinada Rehabilitadas Mediante El Uso De La Malla De Alambre. In *Revista de Ingeniería Sísmica* (Issue 59, p. 59). <https://doi.org/10.18867/ris.59.222>

Sánchez Badillo, A., & Terán Gilmore, A. (2008). Diseño Por Desempeño De Estructuras Dúctiles De Concreto Reforzado Ubicadas En La Zona Del Lago Del Distrito Federal: Ejemplo De Aplicación. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 71(78), 47. <https://doi.org/10.18867/ris.78.23>

Scott, M. H., & Fennes, G. L. (2006). Plastic Hinge Integration Methods for Force-Based Beam–Column Elements. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 132(2), 244–252. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(2006\)132:2\(244\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(2006)132:2(244))

SeismoSoft Ltd. (2023). *SeismoStruct's Help System*.

Sosa, D. (2014). *Comportamiento de la conexión pilote-losa en hormigón estructural* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/13412>

Ugel Garrido, R. D. (2015). *Vulnerabilidad sísmica en edificaciones porticadas compuestas de acero y hormigón armado* (Vol. 1).

Ugel, R., & Herrera, R. (2015). Comportamiento Sismo-Resistente De Tres Según Las Normas Venezolanas. *Revista Gaceta Técnica*, 14(1), 33–55.

Uma, S. R. (2012). *Achieving acceptable performance levels in the seismic design of buildings*.

Yépez, F. (2001). Últimos avances en la evaluación del riesgo sísmico de Quito y futuros proyectos de mitigación. *Memorias Del Seminario “Gestión de Riesgos y Prevención de Desastres,”* 16–24.

Zavala, C. (2019). *Técnicas De Reforzamiento En Muros De Mampostería*.

