

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN EL DESEMPEÑO SÍSMICO
DE MUROS DE ALBAÑILERÍA EN UNA VIVIENDA
MULTIFAMILIAR AUTOCONSTRUIDA DE 3 PISOS UBICADA EN EL
DISTRITO DE ATE**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES:

Ñaupari Diaz, Antonio Hildebrando

Mariscal Gonzales, Arcel Julio

ASESOR:

Dr. Morán Yañez, Luis Miguel

Lima, noviembre, 2024

Informe de Similitud

Yo, Luis Miguel Morán Yáñez, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada:

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN EL DESEMPEÑO SÍSMICO DE MUROS DE ALBAÑILERÍA EN UNA VIVIENDA MULTIFAMILIAR AUTOCONSTRUIDA DE 3 PISOS UBICADA EN EL DISTRITO DE ATE

De los autores


Ñaupari Díaz, Antonio Hildebrando

Mariscal Gonzales, Arcel Julio

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de **12%**. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 05/11/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima 5 de noviembre de 2024.

Apellidos y nombres del asesor: Morán Yáñez, Luis Miguel	
DNI: 06118148	Firma 
ORCID: 0000-0003-0695-8829	

RESUMEN

Actualmente en toda Latinoamérica el sector construcción afronta una gran problemática: la autoconstrucción. El Perú presenta una gran tendencia por este tipo de construcción debido a factores sociales y económicos, es entendible que se tenga una idea de “ahorro” al prescindir de un profesional. Sin embargo, en este tipo de construcciones no se tiene en cuenta un factor importante, la seguridad ante los sismos.

La presente investigación aborda esta problemática, se enfoca en la mejora del desempeño sísmico, y para ello se toma como referencia una vivienda autoconstruida, en donde se decide reforzar los muros.

La vivienda se ubica en el distrito de ATE, es multifamiliar y cuenta con 3 pisos sin sótanos. El área construida es de 113.88 m² por piso. Se utilizó albañilería hueca como material predominante, por lo que ante una sollicitación sísmica es muy probable que los ladrillos huecos se trituren y se produzca una falla por corte.

Al momento de la evaluación se calculan las fuerzas de los muros ante la sollicitación sísmica y se determinan los muros a reforzar. Después del análisis se obtuvo como resultados que solo se necesita reforzar muros en una dirección. Se tiene una mayor densidad de muros a reforzar en el primer piso y va disminuyendo conforme se evalúan los pisos superiores.

Con la finalidad de mejorar el desempeño sísmico se evaluaron cuatro alternativas de reforzamiento en muros, las cuales son: fibra de carbono, fibra de vidrio, malla electrosoldada y malla de acero.

La fibra de carbono es un material que ha tenido mucha acogida en el sector construcción debido a su alta resistencia a tracción (35 500kg/cm²), a su flexibilidad a adaptarse a superficies y a su rápida instalación, la fibra de vidrio no cuenta con la misma resistencia que la fibra de carbono, pero resulta más económica. La malla electrosoldada consta de barras de acero lisas o corrugadas y se forman al soldarlas eléctricamente, mientras que las mallas de acero constan de barras de acero corrugadas unidas mediante alambre.

Se calculó la cantidad de material requerido para cada tipo de reforzamiento según la capacidad que necesitan alcanzar los muros que presentan un déficit de resistencia. Luego se obtuvo el costo de cada tipo de reforzamiento para cada uno de los muros a reforzar. De esa manera se obtuvo la alternativa más económica, la cual varía dependiendo del muro que se requiere reforzar, por lo que se recomienda utilizar un sistema mixto de reforzamiento.

En el caso que se requiera utilizar una única alternativa dentro de las cuatro opciones evaluadas se recomienda la fibra de carbono, ya que resulta ser la alternativa más económica que satisface las sollicitaciones sísmicas a las que los muros llegarían a estar expuestos en un eventual sismo.

INDICE

CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO	1
1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2. Justificación e Hipótesis	2
1.2.1. Justificación.....	2
1.2.2. Hipótesis.	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General.	3
1.3.2. Objetivos Específicos.	3
1.4. Alcances	4
1.5. Limitaciones	4
1.6. Metodología.....	4
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Tipos de muros	6
2.1.1. Clasificación por función Estructural.	6
2.1.2. Clasificación por la distribución del refuerzo.....	7
2.2. Propiedades de los materiales	9
2.2.1. Unidad de albañilería.....	9
2.2.2. Mortero.	10
2.2.3. Concreto.	10
2.2.4. Acero.....	10
2.3. Ensayos	10
2.3.1. Albañilería simple (pilas, muretes).....	10
2.3.2. Ensayo a carga lateral cíclica.....	12
2.4. Estados límites.....	13
2.4.1. Estado Límite de Servicio (ELS).....	14
2.4.2. Estado Límite Operacional (ELO).....	14
2.4.3. Estado Limite de Daño Controlado (ELDC).....	14
2.4.4. Estado Limite de Resistencia (ELR).	14
2.4.5. Estado Limite Ultimo (ELU).	14
2.5. Tipos de falla	16
2.5.1. Falla por Flexión.	16
2.5.2. Falla por Cortante.....	16
2.6. Métodos de construcción, reparación y reforzamiento	17

2.6.1.	Fibra de carbono	17
2.6.2.	Fibra de vidrio	19
2.6.3.	Malla electrosoldada	21
2.6.4.	Arriostramiento de parapetos de albañilería.....	24
2.6.5.	Mallas de acero	26
2.6.6.	Sistema TRM	28
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS METODOLOGÍAS DE REFUERZO		30
3.1.	Introducción	30
3.2.	Costo de reforzamiento de un muro con malla armada de acero corrugado.....	31
3.3.	Costo de reforzamiento con malla electrosoldada.....	33
3.4.	Costo de reforzamiento de un muro con fibra de vidrio	34
3.5.	Costo de reforzamiento de un muro con fibra de carbono	36
3.6.	Análisis de resultados	37
CAPÍTULO 4: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA VIVIENDA.....		41
4.1.	Descripción general de la vivienda	41
4.2.	Materiales	43
4.2.1.	Concreto Armado.....	43
4.2.2.	Acero de refuerzo.....	43
4.2.3.	Albañilería hueca.....	43
4.3.	Diagnóstico previo	44
CAPÍTULO 5: CÁLCULOS ESTRUCTURALES		46
5.1.	Metrado de cargas.....	46
5.2.	Modelamiento.....	46
5.3.	Peso efectivo del edificio	49
5.4.	Análisis Modal	49
5.5.	Parámetros de Diseño.....	49
5.6.	Análisis Estático	51
5.6.1.	Verificación de irregularidades.....	52
5.6.2.	Verificación de derivas.....	52
5.7.	Fuerzas en los muros de albañilería sin refuerzo	53
5.8.	Fuerzas en los muros de albañilería con refuerzo	67
5.8.1.	Malla de acero galvanizado	68
5.8.2.	Malla electrosoldada	70
5.8.3.	Fibra de vidrio	72

5.8.4. Fibra de carbono	74
CAPÍTULO 6: ELABORACIÓN DE LA PROPUESTA TÉCNICA	77
6.1. Metodología	77
6.1.1. Plano indicando muros a reforzar.	77
6.2. Presupuesto	78
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES.....	80
CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA	81



LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Material predominante en las viviendas 2018 (Fuente: INEI)</i>	2
<i>Figura 2. Daños materiales a nivel nacional ocasionados por sismo (Fuente: INDECI)</i>	2
<i>Figura 3. Disposición de pilas para ensayo a compresión (Fuente: Lujan)</i>	11
<i>Figura 4. Dimensiones y prueba de murete en ensayo a compresión diagonal (Fuente: Lujan)</i>	12
<i>Figura 5. Curvas Histeréticas de los Muros (Fuente: Luján)</i>	13
<i>Figura 6. Dimensiones y posición de los LVDT's en ensayo dinámico del muro (Fuente: Luján)</i>	13
<i>Figura 7. Relación de desplazamientos, distorsión, daño y Estados Límite (Fuente: Alcocer y Hernández)</i>	15
<i>Figura 8. Estados de daño para los estados límites ELS, ELO, ELDC, ELU (Fuente: Adaptado de Astroza y Schmidt)</i>	15
<i>Figura 9. Tipos de falla en muros de albañilería (Fuente: Materialesparaconstruir.blogspot.com)</i> ...	17
<i>Figura 10. Muro después de ensayo de carga lateral cíclica (Fuente: San Bartolomé y Coronel)</i>	18
<i>Figura 11. Aplicación de fibra de carbono sobre muro (Fuente: San Bartolomé y Coronel)</i>	18
<i>Figura 12. Lazos Histeréticos V-D1 del muro original y reparado (Fuente: San Bartolomé y Coronel)</i>	19
<i>Figura 13. Envolventes V-D1 del muro original y reparado (Fuente: San Bartolomé y Coronel)</i>	19
<i>Figura 14. Muro después de ensayo de carga lateral cíclica (Fuente: Loayza y San Bartolomé)</i>	20
<i>Figura 15. Aplicación de varillas de fibra de vidrio sobre muro (Fuente: San Bartolomé y Loayza)</i>	20
<i>Figura 16. Lazos Histeréticos V-D del muro original y reparado (Fuente: San Bartolomé y Loayza)</i> ...	21
<i>Figura 17. Envolventes V-D1 del muro original y reparado (Fuente: San Bartolomé y Loayza)</i>	21
<i>Figura 18. Lazos Histeréticos V-D del muro sin malla y con malla (Fuente: Barr y Pineda)</i>	22
<i>Figura 19. Envolventes V-D1 del sin malla y con malla (Fuente: Barr y Pineda)</i>	22
<i>Figura 20. Lazos Histeréticos V-D del muro sin malla y con malla (Fuente: Araoz y Velezmoro)</i>	24
<i>Figura 21. Envolventes V-D1 del muro sin malla y con malla (Fuente: Araoz y Velezmoro)</i>	24
<i>Figura 22. Parapetos construidos sobre un anillo de concreto (Fuente: Siancas y Manrique)</i>	25
<i>Figura 23. Ensayo dinámico de muros, Carga máxima “w(kg/m²)”- Aceleración en fracción de la gravedad “Ao(g)” (Fuente: Siancas y Manrique)</i>	25
<i>Figura 24. Ensayo estático de muros, Resistencia máxima “w(kg/m²)” (Fuente: Siancas y Manrique)</i>	25
<i>Figura 25. Envolvente Fuerza Cortante vs Desplazamiento de los muros reparados y reforzados (Fuente: Lujan)</i>	27
<i>Figura 26. Envolvente Fuerza Cortante vs Desplazamiento de los muros sin reforzar (Fuente: Lujan)</i>	27
<i>Figura 27. Envolvente Fuerza Cortante vs Desplazamiento (Fuente: Lujan)</i>	27
<i>Figura 28. Relación tensión-deformación en los diferentes tejidos TRM (Fuente: Escrig)</i>	28
<i>Figura 29. Ensayos realizados sobre la mampostería reforzada con TRM (Fuente: Papanicolaou)</i>	29
<i>Figura 28. Costo de reforzamiento con malla de acero corrugado. (Fuente: SENCICO)</i>	32
<i>Figura 29. Costo actualizado de reforzamiento con malla de acero corrugado. (Fuente: SENCICO)</i> ..	32
<i>Figura 30. Costo de reforzamiento con malla electrosoldada. (Fuente: SENCICO)</i>	33
<i>Figura 31. Costo de reforzamiento con malla electrosoldada. (Fuente: SENCICO)</i>	34
<i>Figura 32. Costo de reforzamiento con fibra de vidrio. (Fuente: SENCICO)</i>	35
<i>Figura 33. Costo de reforzamiento con fibra de vidrio. (Fuente: SENCICO)</i>	35
<i>Figura 34. Costo de reforzamiento con fibra de carbono. (Fuente: SENCICO)</i>	36
<i>Figura 35. Costo de reforzamiento con fibra de carbono. (Fuente: SENCICO)</i>	37

<i>Figura 36. Costos de reforzamiento respecto a los costos de construcción de un muro de albañilería. (Fuente: Adaptado de SENCICO)</i>	38
<i>Figura 37. Incremento de la rigidez lateral degrada según el método de refuerzo (Fuente: SENCICO)</i>	39
<i>Figura 38. Ubicación de la vivienda (Fuente: Google Maps)</i>	41
<i>Figura 39. Plano arquitectónico de planta del primer piso de la vivienda (Fuente: Propia)</i>	42
<i>Figura 40. Planta del primer piso obtenida a partir del programa ETABS (Fuente: Propia)</i>	48
<i>Figura 41. Vista 3D del programa ETABS y división de elementos Shell (Fuente: Propia)</i>	48
<i>Figura 42. Asignación de nombre a cada uno de los muros portantes (Fuente: Propia)</i>	54
<i>Figura 43. Plano de la primera planta de la vivienda indicando los muros a reforzar (Fuente: Propia)</i>	78



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Material predominante en las paredes exteriores en viviendas (Fuente: "INEI")	1
Tabla 2. Clasificación y resistencia característica de las unidades de albañilería (Fuente: NTP. E070) .	9
Tabla 3. Tipos de mortero según su uso en muros de albañilería (Fuente: NTP. E070).....	10
Tabla 4. Tasa de Inflación acumulada anual (Fuente: Adaptado de Banco Central de Reserva del Perú)	31
Tabla 5. Costos de construcción y reforzamiento de un muro (Fuente: Adaptado de SENCICO)	37
Tabla 6. Rendimientos y Costos de reforzamiento de un muro de albañilería (Fuente: Adaptado de SENCICO).....	40
Tabla 7. Cargas asignadas a la edificación según normativa (Fuente: Norma E.020)	46
Tabla 8. Periodos obtenidos para el caso modal sin excentricidades (Fuente: Propia).....	49
Tabla 9. Factores Z correspondientes del tipo de zona (Fuente: Norma E.030).....	49
Tabla 10. Factores "S" correspondientes del tipo de zona y tipo de suelo (Fuente: Norma E.030)	50
Tabla 11. Factores "T _p " y "T _L " correspondientes del tipo de suelo (Fuente: Norma E.030)	50
Tabla 12. Cuadro de resumen de los factores obtenidos	50
Tabla 13. Cuadro de resumen de los pesos obtenidos	51
Tabla 14. Cuadro de resumen de los pesos obtenidos	51
Tabla 15. Cuadro de ratios obtenidos para ambas direcciones	52
Tabla 16. Cuadro de derivas de entrepiso para un sismo en dirección X-X.....	53
Tabla 17. Cuadro de derivas de entrepiso para un sismo en dirección Y-Y	53
Tabla 18. Cuadro resumen de valores obtenidos para ambas direcciones	53
Tabla 19. Fuerzas obtenidas en los muros de albañilería para un sismo en dirección X-X en el piso 155	
Tabla 20. Fuerzas obtenidas en los muros de albañilería para un sismo en dirección Y-Y en el piso 155	
Tabla 21. Fuerzas obtenidas en los muros de albañilería para un sismo en dirección X-X en el piso 256	
Tabla 22. Fuerzas obtenidas en los muros de albañilería para un sismo en dirección Y-Y en el piso 257	
Tabla 23. Fuerzas obtenidas en los muros de albañilería para un sismo en dirección X-X en el piso 358	
Tabla 24. Fuerzas obtenidas en los muros de albañilería para un sismo en dirección Y-Y en el piso 358	
Tabla 25. Fuerzas obtenidas y resistencia de los muros de albañilería para un sismo con dirección X-X en el piso 1	61
Tabla 26. Fuerzas obtenidas y resistencia de los muros de albañilería para un sismo con dirección Y-Y en el piso 1	62
Tabla 27. Fuerzas obtenidas y resistencia de los muros de albañilería para un sismo con dirección X-X en el piso 2	62
Tabla 28. Fuerzas obtenidas y resistencia de los muros de albañilería para un sismo con dirección Y-Y en el piso 2	63
Tabla 29. Fuerzas obtenidas y resistencia de los muros de albañilería para un sismo con dirección X-X en el piso 3	64
Tabla 30. Fuerzas obtenidas y resistencia de los muros de albañilería para un sismo con dirección Y-Y en el piso 3	65
Tabla 31. Características del acero en las columnas de confinamiento y altura correspondiente	66
Tabla 32. Cuadro resumen de resistencia a flexión de muros de albañilería	66
Tabla 33. Resistencia faltante en muros de albañilería del piso 1 que requieren refuerzo	67
Tabla 34. Resistencia faltante en muros de albañilería del piso 2 que requieren refuerzo	68
Tabla 35. Resistencia faltante en muros de albañilería del piso 3 que requieren refuerzo	68

Tabla 36. Características de las varillas utilizadas para reforzamiento con malla de acero galvanizado	68
Tabla 37. Cuadro resumen de número de varillas horizontales requerido para cada muro del piso 1	69
Tabla 38. Cuadro resumen de número de varillas horizontales requerido para cada muro del piso 2	69
Tabla 39. Cuadro resumen de número de varillas horizontales requerido para cada muro del piso 3	70
Tabla 40. Características de mallas electrosoldadas utilizadas para reforzamiento	70
Tabla 41. Resistencias de las mallas electrosoldadas utilizadas para reforzamiento	71
Tabla 42. Cuadro resumen de tipo de malla escogida para cada muro del piso 1.....	71
Tabla 43. Cuadro resumen de tipo de malla escogida para cada muro del piso 2.....	71
Tabla 44. Cuadro resumen de tipo de malla escogida para cada muro del piso 3.....	72
Tabla 45. Características de las varillas de fibra de vidrio utilizadas para reforzamiento.....	72
Tabla 46. Cuadro resumen de número de varillas de fibra de vidrio requerido para cada muro del piso 1	73
Tabla 47. Cuadro resumen de número de varillas de fibra de vidrio requerido para cada muro del piso 2	73
Tabla 48. Cuadro resumen de número de varillas de fibra de vidrio requerido para cada muro del piso 3	73
Tabla 49. Cuadro resumen de longitud de varillas de fibra de vidrio a utilizar	74
Tabla 50. Características del material utilizado para reforzamiento con fibra de carbono	75
Tabla 51. Cuadro resumen de número de franjas de fibra de carbono requerido para cada muro del piso 1	75
Tabla 52. Cuadro resumen de número de franjas de fibra de carbono requerido para cada muro del piso 2	76
Tabla 53. Cuadro resumen de número de franjas de fibra de carbono requerido para cada muro del piso 3	76
Tabla 54. Cuadro resumen de longitud de fibra de carbono total a utilizar.....	76
Tabla 55. Descripción y metrado de muros de albañilería del primer piso que requieren reforzamiento	78
Tabla 56. Descripción y metrado de muros de albañilería del segundo piso que requieren reforzamiento	79
Tabla 57. Descripción y metrado de muros de albañilería del tercer piso que requieren reforzamiento	79
Tabla 58. Costo de cada tipo de reforzamiento para cada uno de los muros a reforzar	79

CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO

1.1. Planteamiento del Problema

Actualmente en toda Latinoamérica el sector construcción afronta una gran problemática: la autoconstrucción, la cual debido a factores sociales y económicos presenta una tendencia creciente en el Perú. Esto se puede comprobar mediante las estadísticas brindadas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento las cuales afirman que el 70% de las viviendas construidas en Lima carecen de planificación al momento de su construcción (MVCS, 2018).

Además, la información recopilada en la Tabla 1, por parte del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) afirma que desde el año 2012 hasta el año 2018 en el área urbana las viviendas particulares se tiene el uso de ladrillo o bloque de cemento como material predominante en sus paredes exteriores (INEI, 2018).

Tabla 1. Material predominante en las paredes exteriores en viviendas (Fuente: "INEI")

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Urbana	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Ladrillo o bloque de cemento	67.0	67.2	66.4	66.0	66.0	67.0	67.8
Piedra o sillar con cal o cemento	1.0	0.8	0.7	0.7	1.0	0.8	0.6
Adobe o tapia	20.8	20.8	21.7	21.0	21.0	20.3	20.4
Quincha (caña con barro)	1.8	1.8	1.6	1.7	1.4	1.6	1.2
Piedra con barro	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Madera 1/	5.8	6.3	6.5	7.5	7.7	7.5	6.5
Estera 2/	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	1.8
Otro material 3/	3.1	2.5	2.4	2.5	2.3	2.4	1.5

En la Figura 1 se observa que en el año 2018 en el área urbana el 67.8% de las viviendas particulares tenían como material predominante en sus paredes exteriores el uso de ladrillo o bloque de cemento (INEI, 2018).

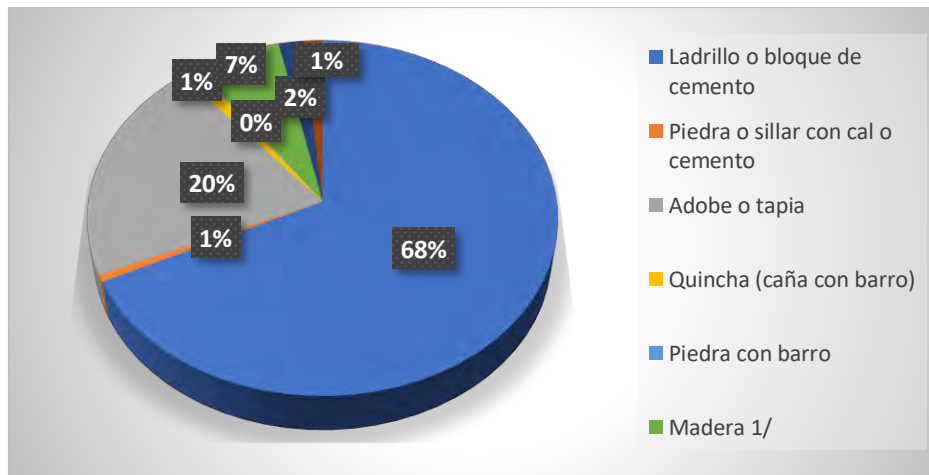


Figura 1. Material predominante en las viviendas 2018 (Fuente: INEI)

Asimismo, se ha comprobado que la autoconstrucción genera grandes pérdidas materiales y humanas. Miguel Estrada (2017) menciona que “En la capital hay alrededor de dos millones de viviendas. El 70% son informales y, de ese porcentaje, medio millón son altamente vulnerables a un terremoto de alta intensidad (Capital, 2017)”. INDECI se ha encargado de recopilar información relacionada a los daños materiales a nivel nacional ocasionados por los sismos a lo largo de los años desde su fundación, información con la cual se obtuvo el siguiente cuadro estadístico mostrado en la Figura 2.

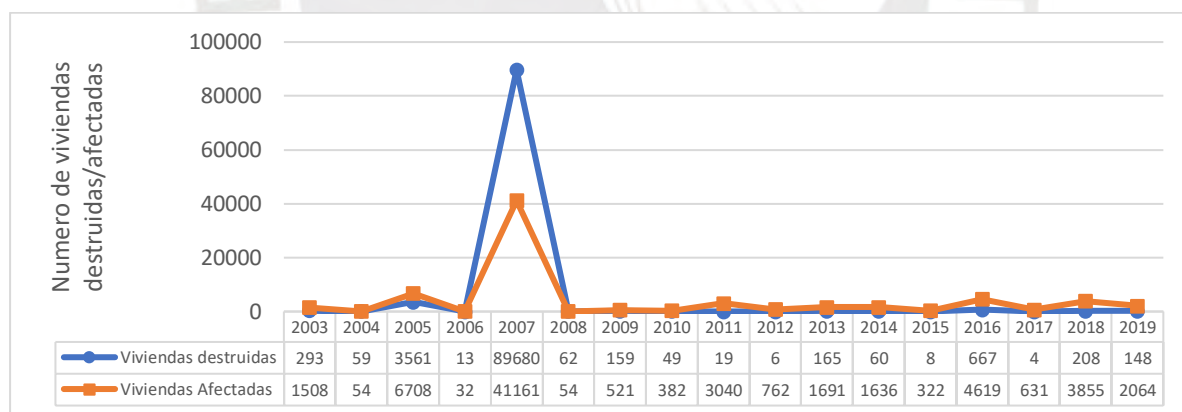


Figura 2. Daños materiales a nivel nacional ocasionados por sismo (Fuente: INDECI)

1.2. Justificación e Hipótesis

1.2.1. Justificación.

Las viviendas particulares constituyen un espacio importante de desarrollo y seguridad para las familias, siendo estos afectados por el significativo impacto que tiene la autoconstrucción en la calidad de estas viviendas. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

En ese sentido, la investigación propuesta contribuirá a determinar un método viable tanto técnica como económicamente que contribuya a mejorar el desempeño sísmico de los muros de albañilería de una vivienda multifamiliar de 3 pisos ubicada en el distrito de ATE en el año 2024 sometida a la acción de un sismo raro.

Para esto se realizará una comparación de los resultados obtenidos en muros de albañilería elaborados con los métodos de análisis seleccionado.

1.2.2. Hipótesis.

El reforzamiento de muros de albañilería empleando fibra de carbono es el método más eficiente para resistir las fuerzas sísmicas ante un evento de este tipo.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General.

Determinar un método viable, de manera técnica y económica, que garantice el correcto desempeño sísmico de los muros de albañilería de una vivienda multifamiliar autoconstruida de 3 pisos ubicada en el distrito de ATE.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Obtener información de los distintos métodos de construcción, reparación y reforzamiento en muros de albañilería existentes.
- Analizar los distintos métodos encontrados mediante la bibliografía existente, haciendo énfasis en el aspecto económico.
- Evaluar el déficit de resistencia a fuerzas de corte presente en los muros de albañilería de la vivienda.
- Seleccionar el método de reforzamiento más eficiente para soportar las fuerzas sísmicas.

1.4. Alcances

- Comparación de los distintos métodos de reforzamiento existentes en muros de albañilería para soportar fuerzas de corte.
- Elección del método de reforzamiento de muros de albañilería más adecuado de acuerdo a las condiciones o necesidades de la vivienda.
- Elaboración de propuesta técnica para la implementación del método seleccionado de reforzamiento de muros en la vivienda.

1.5. Limitaciones

- Se asume que una vez seleccionado y aplicado el método de reforzamiento en muros que soporte las cargas solicitadas en la primera evaluación (según los valores obtenidos en el primer modelamiento realizado en el programa ETABS), la estructura en general puede soportar también las fuerzas aplicadas.

1.6. Metodología

En la presente investigación se evalúa una propuesta de mejoramiento en el desempeño sísmico de muros de albañilería en una vivienda multifamiliar autoconstruida de 3 pisos ubicada en el distrito de ATE.

En la primera etapa se revisará la bibliografía correspondiente a la vivienda autoconstruida, en donde se identificará y tomará registro de las dimensiones y propiedades de cada elemento. Con la finalidad de obtener la información necesaria para la elaboración de un modelo de análisis estructural, y así determinar la resistencia de cada elemento ante las sollicitaciones del sismo estudiado.

En la segunda etapa se obtendrá información de los distintos métodos existentes de reparación y reforzamiento de muros de albañilería.

En la tercera etapa se realizará un análisis de la vivienda en estudio en donde se determinará los muros propensos a fallar ante una sollicitación sísmica. Este proceso será realizado con la ayuda de un programa de cómputo, ETABS.

En la cuarta etapa se hará el análisis de los distintos métodos encontrados, en donde se determinará, en base a sus resultados, la opción más accesible y económica que sea capaz de resistir las solicitudes.

En la quinta etapa, se elaborará una propuesta técnica de mejoramiento en base a los resultados obtenidos con el método seleccionado, dicha propuesta incluirá el presupuesto y los entregables necesarios.



CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

El sistema de albañilería confinada es un sistema constructivo y estructural que está siendo mal empleado y difundido debido a la autoconstrucción. Este fenómeno se da en muchos países de Latinoamérica, los cuales guardan mucha similitud en relación a los aspectos que explican tanto el origen como la difusión de la construcción informal, siendo el más importante el aspecto económico. Resulta evidente que construir sin la ayuda de un profesional ni ningún tipo de diseño, es “beneficioso” económicamente a primera vista. Sin embargo, de forma paralela a esta idea de “ahorro”, surgen muchas ideas en contra, de las cuales se presenta como la más importante una sola: la seguridad ante los sismos (Vizconde, 2016).

2.1. Tipos de muros

Los tipos de muros de albañilería, según la clasificación presentada por el Ing. Angel San Bartolomé Ramos (San Bartolomé, 1994), son los siguientes:

2.1.1. Clasificación por función Estructural.

2.1.1.1. Muros no portantes.

- No reciben carga vertical
- Son usados como elementos divisorios de ambientes
- Generalmente, en Perú, se usan ladrillos tubulares “Panderetas”

2.1.1.2. Muros portantes.

- Se emplean como elementos estructurales.
- Están sujetos a todo tipo de solicitaciones: Contenidas en su plano, perpendicular a su plano, verticales, laterales, eventuales y permanentes.

2.1.2. Clasificación por la distribución del refuerzo.

2.1.2.1. Muros no reforzados o de albañilería simple.

- Carecen de refuerzo o presentan refuerzo que no cumple con las especificaciones mínimas reglamentarias.
- Según la Norma E.070, el espesor mínimo efectivo empleado debe ser $h/25$ para la Zona Sísmica 1, donde “h” es la altura libre entre los elementos de arriostre horizontales o la altura efectiva de pandeo.

2.1.2.2. Muros reforzados

Muros armados

- Se caracterizan por llevar el refuerzo en el interior de la albañilería: Este refuerzo está generalmente distribuido a lo largo de la altura del muro (refuerzo horizontal) como de su longitud (refuerzo vertical).
- Estos muros requieren de la fabricación de unidades especiales que cuenten con alveolos por donde pueda colocarse el refuerzo vertical.
- El diámetro del refuerzo horizontal depende de la magnitud de la fuerza cortante que tiene que ser soportada íntegramente por el acero.

De acuerdo con la Norma E-070, todo muro armado debe satisfacer los siguientes requisitos mínimos:

- El recubrimiento de la armadura debe ser mayor que 1.5 veces el diámetro de la barra, y no debe ser menor de 1 cm.
- En las juntas que contengan refuerzo horizontal, el espesor mínimo de la junta será 6 mm más el diámetro de la barra.
- El diámetro, o dimensión mínima, de los alveolos debe ser 5 cm por cada barra vertical, o 4 veces el diámetro de la barra por el número de barras alojadas en el alveolo.

- La cuantía mínima de refuerzo en cualquier dirección será de 0,1%; siendo el refuerzo de varillas de acero corrugado.
- En los bordes del muro y en las intersecciones de los muros ortogonales, debe colocarse un refuerzo mínimo de $2\phi 3/8''$, o su equivalente.

Muros confinados

- Se caracterizan por estar constituida por un muro de albañilería simple enmarcado por una cadena de concreto armado, la cual es vaciada posteriormente a la construcción del muro de albañilería.
- Las columnetas funcionan como elemento de arriostre cuando la albañilería se ve sujeta a acciones perpendiculares a su plano, además de ductilizar al sistema otorgándole capacidad de deformación inelástica.

Los requisitos mínimos que señala la Norma E-070, para que un muro se considere confinado son:

- El muro debe estar enmarcado en sus cuatro lados por elementos de concreto armado verticales (columnas) y horizontales (vigas soleras) especialmente diseñados.
- La distancia máxima entre los confinamientos verticales (columnas) debe ser 2 veces la distancia que existe entre los confinamientos horizontales (soleras) y no mayor que 5 m.
- El área de la sección de las columnas será la mayor de las que proporcione el diseño por compresión o el diseño por corte fricción, pero no menor que 15 veces el espesor del muro (15 t) en cm^2 . La solera podrá tener un peralte igual al espesor de la losa del techo, con un área suficiente para alojar al refuerzo respectivo; esto se debe a que la solera trabaja a tracción y más bien debe servir como un elemento transmisor de cargas verticales y horizontales hacia la albañilería. En la solera se colocará estribos mínimos: $[\] 6\text{mm}, 1 @ 5, 4 @ 10, \text{resto } @ 25 \text{ cm.}$
- El área de acero mínimo del refuerzo a emplear en los elementos de confinamiento horizontales y verticales debe ser: $A_s (\text{mín.}) \geq 0.1 * f'c * (A_c; A_{cs}) / f_y.$

2.2. Propiedades de los materiales

2.2.1. Unidad de albañilería.

El ladrillo por definición es aquel material que puede ser manipulado con una sola mano, debido a su peso y a sus dimensiones; a diferencia del bloque que se manipula con ambas manos. Por su materia prima se pueden clasificar en: unidades de arcilla, de concreto, sílico calcáreas y unidades de sillar.

De acuerdo con el rango de variación que existe entre las dimensiones de los distintos ladrillos se clasificaran en 5 tipos, teniendo cada uno de ellos una resistencia característica descrita en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación y resistencia característica de las unidades de albañilería (Fuente: NTP. E070)

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSION (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f'_b mínimo en MPa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P ⁽¹⁾	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP ⁽²⁾	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

Asimismo, estas unidades deben encontrarse en un correcto estado, en donde, las unidades no deberán de presentar más del 20% de dispersión (en sus dimensiones) en caso de ser producidas industrialmente y 40% si se producen de forma artesanal; ya que la excesiva variación de sus dimensiones debilitaría la capacidad resistente del muro. Además, las unidades de albañilería deben de cumplir con las especificaciones de la norma respecto a su máxima absorción permisible, eflorescencia, así como también no deberá presentar materias extrañas en su interior al igual que rajaduras, fracturas y grietas.

2.2.2. Mortero.

Compuesto de aglomerantes y agregado fino, que son mezclados con agua con el fin de proporcionar una mezcla trabajable. La proporción que deberán cumplir los materiales deberán ser las indicadas en la Tabla 3, dependiendo de su uso.

Tabla 3. Tipos de mortero según su uso en muros de albañilería (Fuente: NTP. E070)

COMPONENTES				USOS
TIPO	CEMENTO	CAL	ARENA	
P1	1	0 a 1/4	3 a 3 ½	Muros Portantes
P2	1	0 a 1/2	4 a 5	Muros Portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros No Portantes

2.2.3. Concreto.

Mezcla de cemento hidráulico, agregado fino y agregado grueso. Para su uso en muros debe de tener una resistencia a compresión mayor o igual a 175 kg/cm².

2.2.4. Acero.

Se utiliza como armadura para los elementos de confinamiento, de forma que junto con el concreto posee las propiedades correspondientes al concreto armado, por lo general se utiliza una resistencia de fluencia igual a 4200 kg/cm².

2.3. Ensayos

2.3.1. Albañilería simple (pilas, muretes).

Los ensayos de pilas y muretes resultan de gran importancia para diseñar los elementos de los muros a escala, pues para obtener resultados lo más cercanos al valor real se tienen que construir especímenes representativos. Esto con la finalidad de que el comportamiento estructural calculado teóricamente de los muros sea el más cercano al obtenido mediante los ensayos en el laboratorio. Para lo cual se utilizarán las resistencias características de la albañilería como lo son la resistencia a la compresión axial y diagonal ($f'm$ y $v'm$). (Lujan, 2018)

Para el cálculo de la resistencia axial, se utilizó cuatro especímenes con las características que se muestran en la Figura 3:

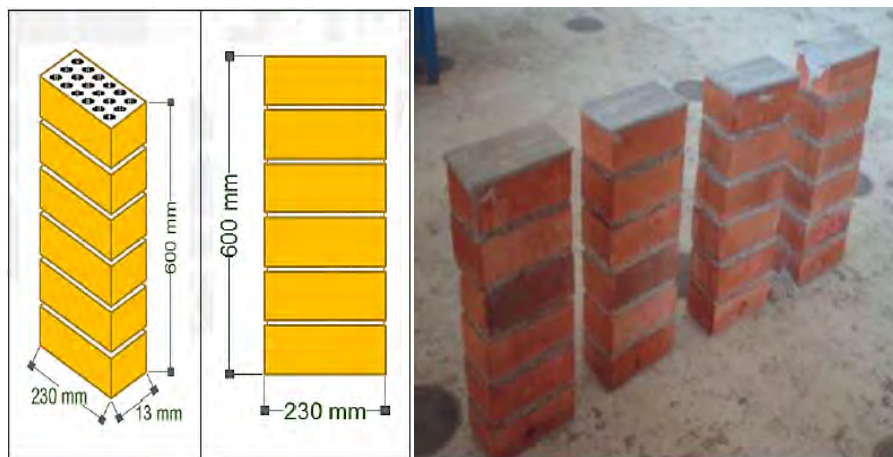


Figura 3. Disposición de pilas para ensayo a compresión (Fuente: Lujan)

Además, como indica en su tesis, para la realización del ensayo se utilizó una gata hidráulica con capacidad de 200 ton y una bomba con 600 BAR de capacidad a una velocidad de 0.5 mm/min. El software elegido por el autor, debido a que es una herramienta potente para modelar ensayos reales fue LabVIEW. En ambas caras de las pilas se colocó LVDT's (Linear Variable Differential Transformer), los cuales son dispositivos diseñados para la medición de voltaje. Al estar calibrados estos dispositivos permiten obtener lecturas de longitud, es así que se pueden registrar los valores de desplazamiento durante todo el transcurso del ensayo.

El autor calcula la resistencia axial como la división de la carga de rotura entre el área bruta, además, para el cálculo del módulo de elasticidad de cada pila ensayada utiliza la gráfica de fuerza vs desplazamiento.

Finalmente realiza el cálculo de la deformación unitaria y los esfuerzos de cada sensor en cada cara del muro. Según la norma E.070 el módulo de elasticidad se calcula como $E_m = 500 * f_m$.

Siguiendo el procedimiento antes mencionado el autor obtuvo una diferencia del 21% entre el valor teórico del Módulo de Elasticidad y del calculado mediante los ensayos realizados en el laboratorio.

De manera similar que, en el ensayo de Pilas, para obtener el módulo de corte cercano al real, Martín Luján ensayo 4 elementos, denominados muretes, a compresión diagonal cuyas dimensiones de diseño se indican en la Figura 4:

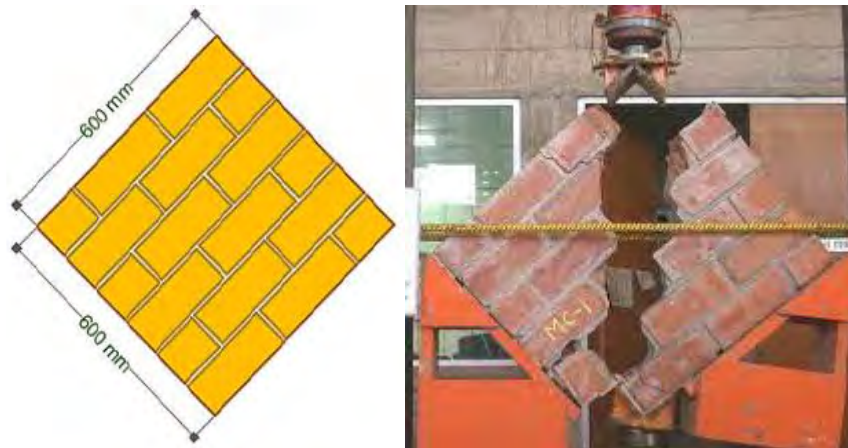


Figura 4. Dimensiones y prueba de murete en ensayo a compresión diagonal (Fuente: Lujan)

Según lo indicado en la tesis antes mencionada, el autor realiza los ensayos mediante la aplicación de una carga de 10 KN/min en los muretes hasta que el elemento llega a la falla.

Para el cálculo del módulo de corte, Luján hace uso de muretes de albañilería, y mediante los datos registrados por los LVDT's colocados tanto en forma vertical como horizontal elaboró la gráfica de fuerza desplazamiento de los cuatro muretes.

Finalmente, se calcula el módulo de corte de cada uno de los muretes y luego mediante el promedio de estos y su respectiva desviación estándar se obtiene el módulo de corte corregido.

2.3.2. Ensayo a carga lateral cíclica.

Los ensayos a carga lateral cíclica son útiles para poder tener una simulación de lo que podría generar un movimiento telúrico sobre los muros de albañilería. Por ejemplo, Martín Luján detalla en su tesis que los muros diseñados para la realización de los ensayos fueron construidos de ladrillo King Kong de 18 huecos industrial. Dichos muros fueron sometidos a una carga lateral cíclica utilizando al desplazamiento como indicador de cada fase. De esta manera se obtuvo los diagramas histeréticos de Fuerza cortante – Desplazamiento lateral presentados en la Figura 5, la envolvente de fuerza cortante – desplazamiento lateral, rigidez lateral, módulo de corte y la capacidad de carga máxima.

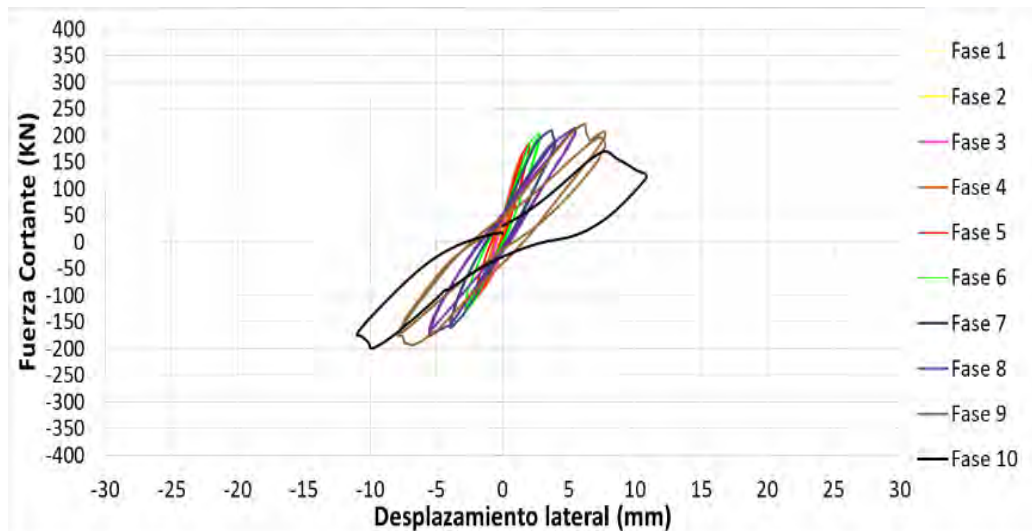


Figura 5. Curvas Histeréticas de los Muros (Fuente: Luján)

Para el registro de datos se usarán sensores LVDT con la finalidad de obtener un registro detallado de los desplazamientos necesarios para los objetivos de la investigación. La colocación de los sensores suele realizarse 1 día antes de cada ensayo teniendo como duración estimada 2 horas. En la Figura 6 se presenta la vista posterior del detalle de la instrumentación usada en los muros ensayados por Martín Luján:

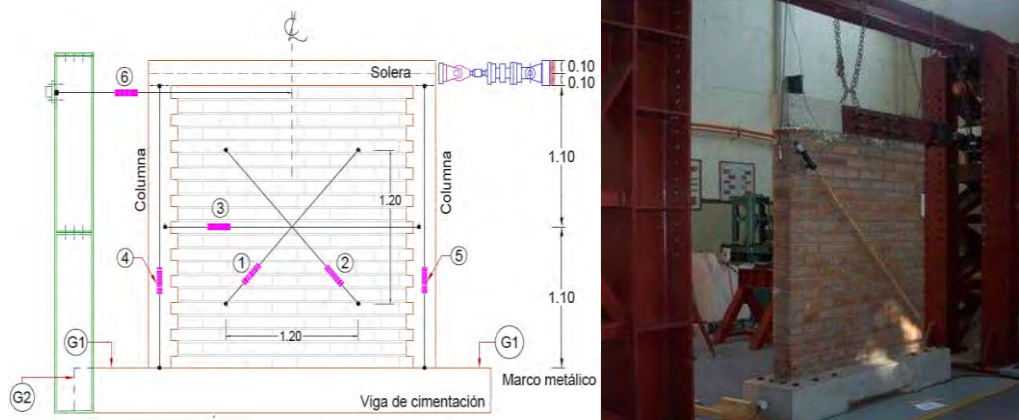


Figura 6. Dimensiones y posición de los LVDT's en ensayo dinámico del muro (Fuente: Luján)

2.4. Estados límites

Los estados límites ayudan a definir el rango y determinar las condiciones en el cual se encuentra un elemento o un sistema. Según Astroza y Schmidt existen 5 estados límites presentados en la Figura 7 (Astroza, & Schmidt, 2004), los cuales se reconocen a continuación:

2.4.1. Estado Límite de Servicio (ELS).

Estado en donde se presenta el inicio del agrietamiento del muro.

2.4.2. Estado Límite Operacional (ELO).

Estado en donde empieza el agrietamiento diagonal. El daño producido en el muro no es considerable y, además el muro conserva su rigidez y su resistencia.

2.4.3. Estado Limite de Daño Controlado (ELDC).

Estado en donde los muros presentan agrietamiento diagonal, el cual aún es reparable. No existe peligro alguno para los habitantes o para los instrumentos que se encuentren en el interior de la vivienda.

2.4.4. Estado Limite de Resistencia (ELR).

Estado en donde el muro alcanza su máxima capacidad de carga. En este caso aún existe un margen ante un posible colapso, el cual se produciría de seguir forzando el material a deformarse.

2.4.5. Estado Limite Ultimo (ELU).

Estado en el cual el muro alcanza un daño del 20% de la fuerza máxima que llega a resistir. Los daños en el muro son apreciables, en donde se observan grietas de un ancho igual o superior a 10 mm, las cuales son difíciles de reparar. Se produce además una gran pérdida de rigidez.

A continuación, en la Figura 7 se visualiza cada uno de los estados límites descritos:

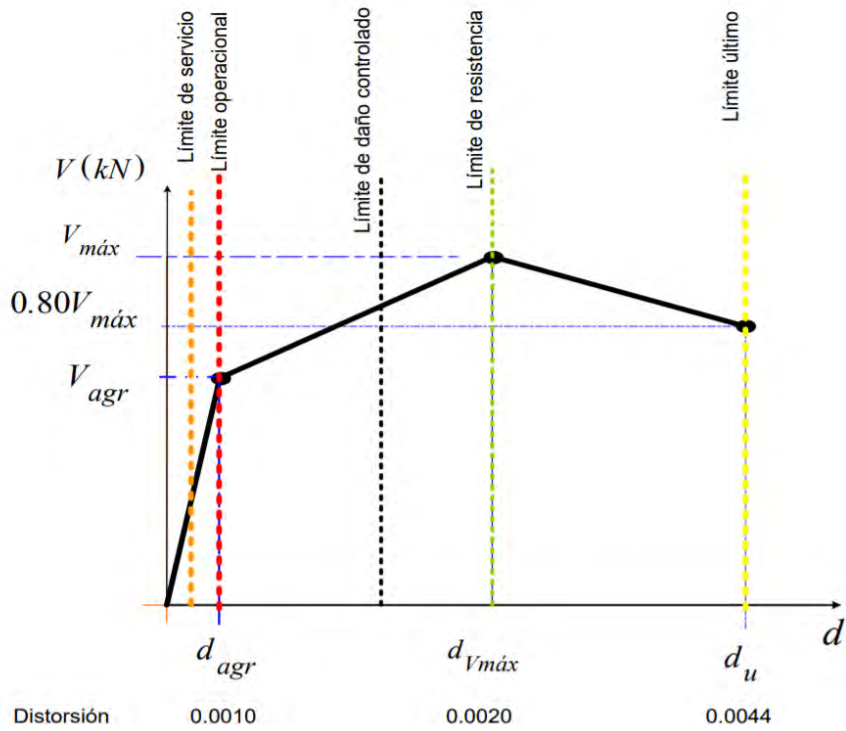


Figura 7. Relación de desplazamientos, distorsión, daño y Estados Límite (Fuente: Alcocer y Hernández)

Asimismo, en la Figura 8 se detalla el nivel de daño existente en el muro de albañilería para los estados límites.

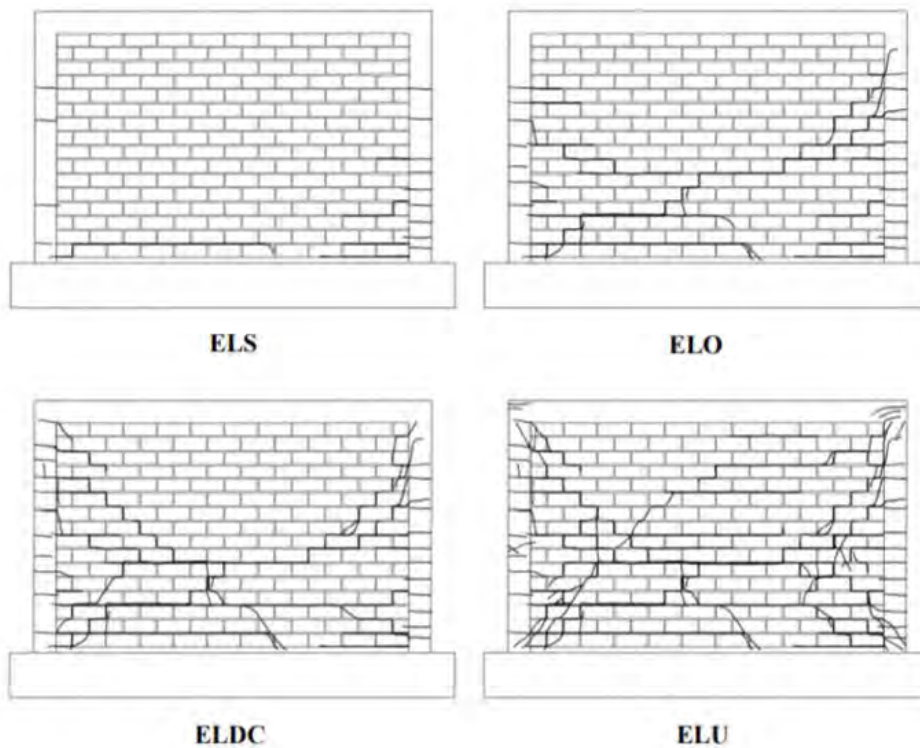


Figura 8. Estados de daño para los estados límites ELS, ELO, ELDC, ELU (Fuente: Adaptado de Astroza y Schmidt)

2.5. Tipos de falla

Empezaremos citando un fragmento del trabajo de investigación del Ing. Angel San Bartolomé titulado “Construcciones de Albañilería” publicado en 1994, el cual indica que “Debe entenderse que la falla principal es aquella donde se acumulan las mayores grietas, originando una fuerte degradación tanto de la resistencia como de la rigidez”.

2.5.1. Falla por Flexión.

Este tipo de falla se obtiene bajo efectos de flexo compresión, deslizamiento a través de la base del muro y la rotura del refuerzo vertical por acción de tracción, pandeo o cizallamiento.

Generalmente en este tipo de fallas puede que previamente se hayan formados fisuras por acción de corte, sin embargo, la presencia de las grietas principales se localiza en la parte inferior del muro.

2.5.2. Falla por Cortante.

Generalmente en este tipo de fallas puede que previamente se hayan formados fisuras por acción de flexión, esto suele degradar la rigidez del muro, sin embargo, no reduce la capacidad de carga. Posteriormente, se producen las grietas diagonales, siendo este instante el punto de partida desde el cual el muro se desplazará manteniendo aun su capacidad de carga. Luego, ocurrirá la trituration de la región central del muro de albañilería y de los extremos de los muros, llegándose a producir de esta manera una considerable degradación de la resistencia del elemento.

La Figura 9 presenta los principales tipos de falla en muros de albañilería, según la clasificación presentada inicialmente por el Ing. Angel San Bartolomé Ramos (1994) y posteriormente abordada en los trabajos de investigación de Martin Luján (2018), y Farje y Yabuta (2020).

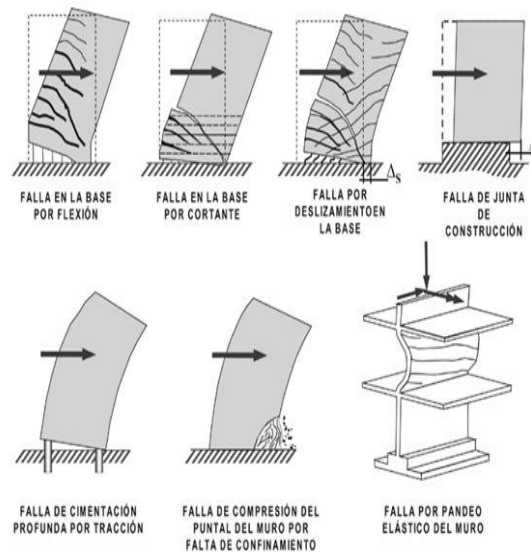


Figura 9. Tipos de falla en muros de albañilería (Fuente: Materialesparaconstruir.blogspot.com)

2.6. Métodos de construcción, reparación y reforzamiento

2.6.1. Fibra de carbono

La fibra de carbono es un polímero que nace a partir del proceso de calentar repetidas veces otro polímero llamado poliacrilonitrilo a altas temperaturas de alrededor de 1500 °C. Debido a este proceso se generan cintas de carbono alineadas en forma de grafito. Por lo cual lleva el nombre de fibra de carbono (Flores, 2013).

En el sector construcción la fibra de carbono es uno de los materiales que más acogida ha tenido respecto a otros sistemas de reforzamiento estructural, debido a su alta resistencia a tracción (35 500 kg/cm²), a su flexibilidad de adaptarse a las superficies y su rápida instalación.

Se simuló el desempeño de un muro ante las fuerzas de corte. En el estudio se midió la resistencia del muro sin reforzar y luego se la comparó con la resistencia después de reparar y reforzar mediante fibra de carbono (San Bartolomé & Coronel).

En este caso se utilizó un muro con aparejo de soga, la conexión de albañilería columna fue a ras y se le añadieron mechas de 6mm de diámetro cada 2 hiladas, las cuales fueron insertadas 15 cm en la columna y 40 cm en la albañilería. Para la viga solera se utilizó 4 Ø de 3/8" y estribos de 6mm, 1 @ .05, 4 @ .10, r @ .20 m. Con respecto a las columnas se contó con 4 Ø de 1/2" y estribos de 6mm, 1 @ .05, 4 @ .10, r @ .20 m (San Bartolomé & Coronel).

Se realizó un ensayo de carga lateral cíclica con desplazamiento lateral controlado. Para el ensayo se limitó la deriva en 0.006, con la finalidad de permitir que el muro quede en un estado reparable, tal y como se muestra en la Figura 10.

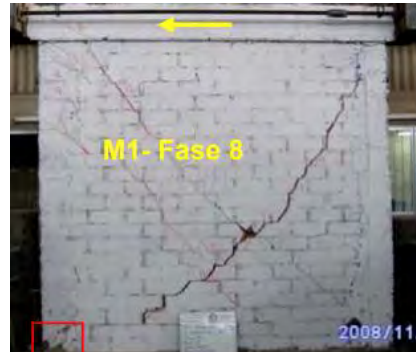


Figura 10. Muro después de ensayo de carga lateral cíclica (Fuente: San Bartolomé y Coronel)

Después de realizar el ensayo correspondiente se obtuvo como resultado dos grietas diagonales en la totalidad de la albañilería, fisuras de tracción por flexión en las columnas, y la trituración en el talón izquierdo del muro. Para la reparación del muro se empleó una técnica en donde se limpia, humedece y tapona manualmente con mortero las fisuras encontradas en el muro, además la zona central fue rellena con concreto simple. En las columnas se aplicó resina epóxica, además las fisuras con grosor menor a 1cm no fueron resanadas para este caso.

Como se indicó previamente para el reforzamiento se contó con fibra de carbono. Para poder instalar el reforzamiento se debe realizar primero los cálculos en donde se determina las bandas de carbono a emplear. Para este caso se requieren 7 bandas, las cuales se instalaron de forma alternada, tal y como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Aplicación de fibra de carbono sobre muro (Fuente: San Bartolomé y Coronel)

Finalmente se realizó un nuevo ensayo en donde se comparan los desempeños de ambos casos. Los resultados se muestran a continuación en las figuras 12 y 13.

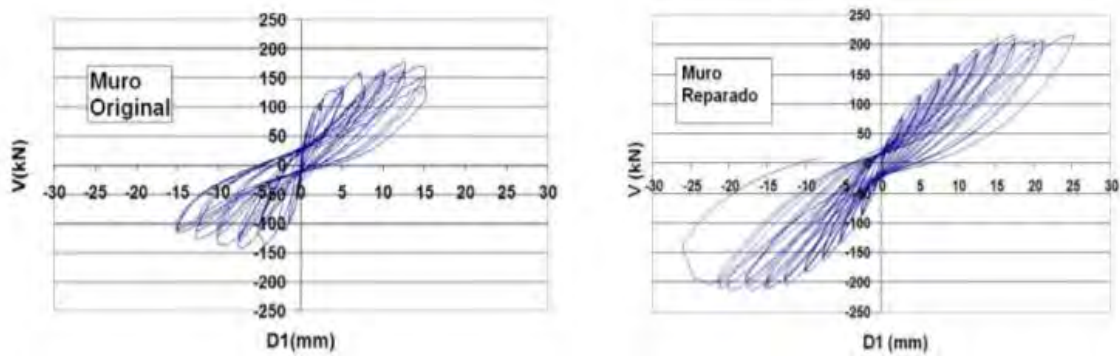


Figura 12. Lazos Histeréticos V-D1 del muro original y reparado (Fuente: San Bartolomé y Coronel)

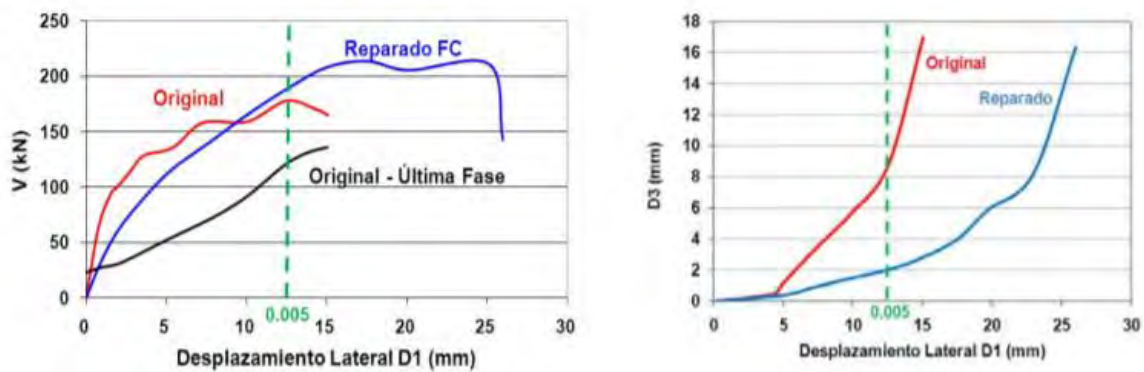


Figura 13. Envoltentes V-D1 del muro original y reparado (Fuente: San Bartolomé y Coronel)

Como se observa en ambas figuras el desempeño que se obtuvo al reparar y reforzar con fibra de carbono fue satisfactorio. Si bien la rigidez inicial del muro reparado no fue similar al muro original, después de una determinada deformación lateral se muestra que incluso llega a superar al muro original.

2.6.2. Fibra de vidrio

La fibra de vidrio es un material elaborado a partir de sílice, cal, alúmina y magnesita. Para conseguir el filamento se les añade óxidos a las materias mencionadas, luego se trituran y hornean a 1550 °C. La fibra de vidrio no es tan fuerte o rígida en comparación a la fibra de carbono, pero si es menos frágil y más económica (Lockuan, & La Peña, 2020).

Se simuló el desempeño de un muro ante las fuerzas de corte. En el estudio se midió la resistencia del muro sin reforzar y luego se la comparó con la resistencia después de reparar y reforzar mediante varillas de fibra de vidrio (San Bartolomé & Loayza).

En este caso se utilizó un muro en donde la conexión de albañilería y columna fue a ras, se añadieron mechas de 6mm de diámetro cada tres hiladas. Las columnas tuvieron un tamaño de 13x24 cm y se reforzaron con 4 Ø de 1/2", estribos de 1/4", 1 @ .05, 4 @ .10, r @ .25 m. Las vigas soleras de dimensiones 23 x 28 cm se reforzaron con 4 Ø de 3/8" y estribos de 1/4", 1 @ .05, 4 @ .10, r @ .25 m. Y con espesor de junta de 1 cm. (San Bartolomé & Loayza).

Se realizó un ensayo de carga lateral cíclica con desplazamiento lateral controlado. Para el ensayo se limitó el desplazamiento en 20mm, en donde se sobrepasó el límite máximo de reparación de 12.7mm.



Figura 14. Muro después de ensayo de carga lateral cíclica (Fuente: Loayza y San Bartolomé)

Después de realizar el ensayo correspondiente, se realiza la reparación del elemento, procedimiento que consiste en resanar aquellas grietas visiblemente notorias en el muro y las columnas, para lo cual se hace uso del concreto.

Para el reforzamiento se utilizó varillas de fibra de vidrio cada dos hiladas, las cuales fueron cubiertas con una capa de mortero, los refuerzos deben ser intercalados en ambas caras para este caso, debido a que se puede producir un debilitamiento de la sección transversal. Tal y como se muestra en la figura 15.



Figura 15. Aplicación de varillas de fibra de vidrio sobre muro (Fuente: San Bartolomé y Loayza)

Los resultados del nuevo ensayo con el muro reforzado se muestran a continuación en las figuras 16 y 17.

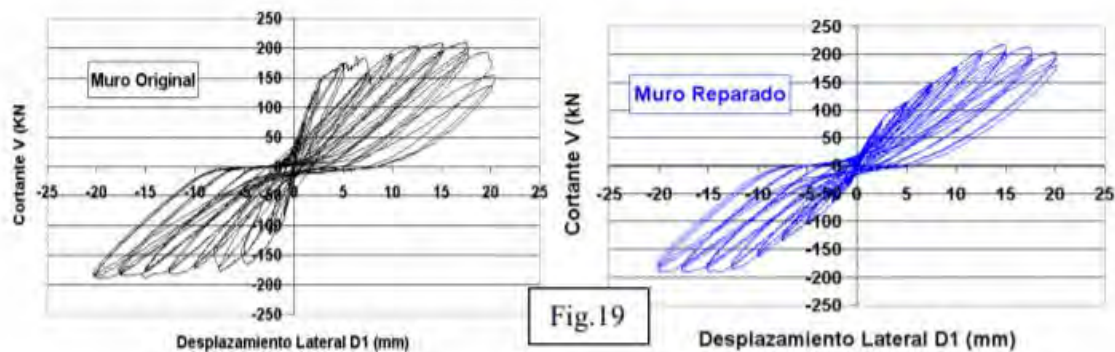


Figura 16. Lazos Histeréticos V-D del muro original y reparado (Fuente: San Bartolomé y Loayza)

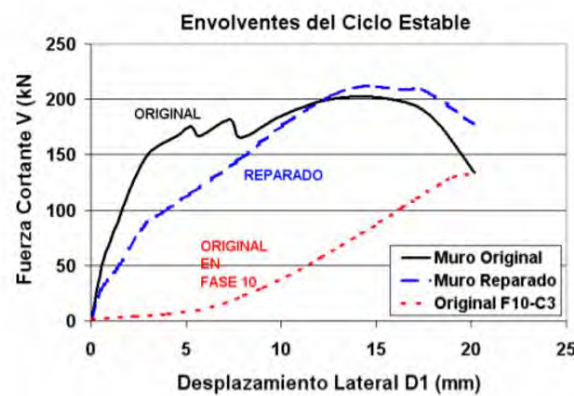


Figura 17. Envolturas V-D1 del muro original y reparado (Fuente: San Bartolomé y Loayza)

Como se observa en los resultados anteriores, no existe gran diferencia entre el muro original y el muro reparado. Sin embargo, el resultado es bastante efectivo si al momento de la reparación se trata solo de recuperar la capacidad del muro.

2.6.3. Malla electrosoldada.

Las mallas electrosoldadas son estructuras de acero planas que se forman al entrecruzar y soldar eléctricamente barras de acero lisas o corrugadas. Al juntar barras longitudinales y transversales se generan cuadrículas de acero flexible, pero a su vez resistente. En la soldadura eléctrica se fusionan bajo presión dos partes metálicas, y por medio de una fuente de alto amperaje se le suministra calor, ablandando así el material para su fusión (Donaire, 2016).

Se simuló el desempeño de dos muros ante las fuerzas de corte. En el estudio se midió la resistencia del muro sin reforzar y luego se la comparó con la resistencia de otro muro reforzado mediante malla electrosoldada (Barr &Pineda, 2011).

En este caso se utilizaron 2 tipos de muros confinados, los cuales fueron construidos de forma similar, con la diferencia de que al segundo muro se le colocó una malla electrosoldada de 1/4" en ambas caras. Los muros fueron de aparejo con soga, se realizó una unión dentada entre columnas y muro. La viga solera de dimensiones 20x20 cm cuenta con 4 Ø de 3/8", estribos de 1/4", 1 @ .05, 4 @ .10, r @ .20 m. Las columnas de dimensiones 20 x 20 cm se reforzaron con 4 Ø de 1/2" y estribos de 1/4", 1 @ .05, 4 @ .10, r @ .20 m. Además, se contó con una viga de cimentación (Barr &Pineda, 2011).

Para el reforzamiento con mallas electrosoldadas se utilizaron conectores con alambre #8, en donde una vez se terminó de construir el muro de albañilería, se implementó el refuerzo en ambas caras del muro. Una vez se terminó de perforar los ladrillos se colocaron las mallas y se unieron con los conectores. Finalmente se taponó el muro y se tarrajea por ambos lados con mortero. Este refuerzo fue aplicado solo al muro, mas no a las columnas. Los resultados se muestran a continuación en las figuras 18 y 19.

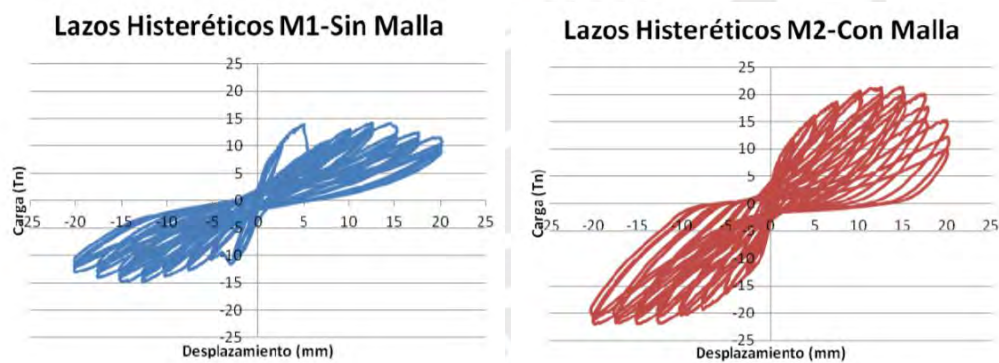


Figura 18. Lazos Histeréticos V-D del muro sin malla y con malla (Fuente: Barr y Pineda)

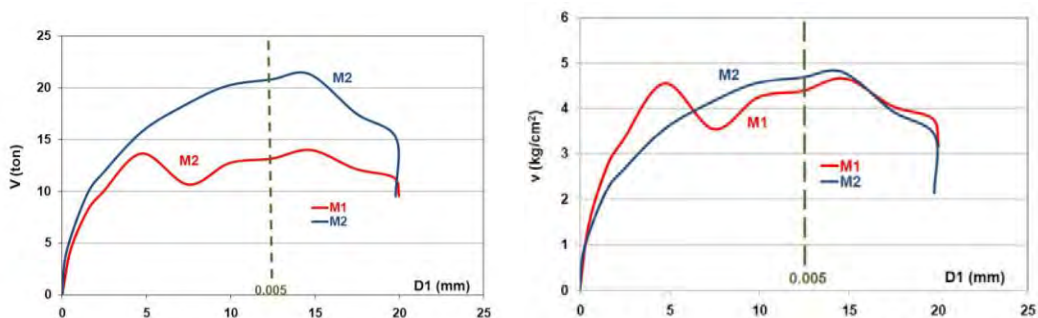


Figura 19. Envoltentes V-D1 del sin malla y con malla (Fuente: Barr y Pineda)

En las gráficas anteriores se muestra un mejor desempeño por parte del muro con malla, el cual tiene una mayor capacidad para resistir las cargas solicitadas, sin embargo, cuando se realiza una comparación con el espesor que se debió aumentar al momento de agregar la malla de acero se observa que no existe mayor diferencia en temas de esfuerzo. El uso de la malla llega a cumplir su objetivo al lograr aumentar la capacidad del muro significativamente y garantizar la seguridad de las personas.

2.6.3.1. Reforzamiento de muros confinados hechos con ladrillos pandereta

Se simuló el desempeño de dos muros ante las fuerzas de corte. En el estudio se midió la resistencia del muro sin reforzar y luego se la comparó con la resistencia de otro muro reforzado mediante malla electrosoldada (Araoz & Velezmoro, 2012).

En este caso se utilizaron 2 tipos de muros confinados, los cuales fueron construidos de forma similar, con la diferencia de que al segundo muro se le colocó una malla electrosoldada de 4.5 mm cada 150 mm en ambas caras. Los muros fueron construidos con unidades tubulares (pandereta) que, si bien está prohibido por la norma utilizar este tipo de muros fuera de la zona 1, se realizó este ensayo con fines académicos. Los muros son de aparejo con soga, se realizó una unión dentada entre columnas y muro. La viga solera de dimensiones 13x20 cm cuenta con 4 Ø de 3/8", estribos de 1/4", 1 @ .05, 4 @ .10, r @ .20 m. Las columnas de dimensiones 13 x 20 cm se reforzaron con 4 Ø de 1/2" y estribos de 1/4", 1 @ .05, 4 @ .10, r @ .20 m. Además, se contó con una viga de cimentación con dimensiones 30x35 cm con 6 Ø de 5/8" y estribos de 3/8", 1 @ .05, 4 @ .10, r @ .20 m (Araoz & Velezmoro, 2012).

Para el reforzamiento con mallas electrosoldadas de alambre #16 se utilizaron conectores con alambre #8, en donde una vez se terminó de construir el muro de albañilería, se implementó el refuerzo en ambas caras del muro. Una vez se terminó de perforar los ladrillos se colocaron las mallas y se unieron con los conectores que se ubicaban cada 45 cm (3 veces la distancia de la cocada). Finalmente se taponó las perforaciones en el muro con lechada de concreto y se tarrajea por ambos lados con mortero. Este refuerzo fue aplicado solo al muro, mas no a las columnas. Los resultados se muestran a continuación en las figuras 20 y 21.

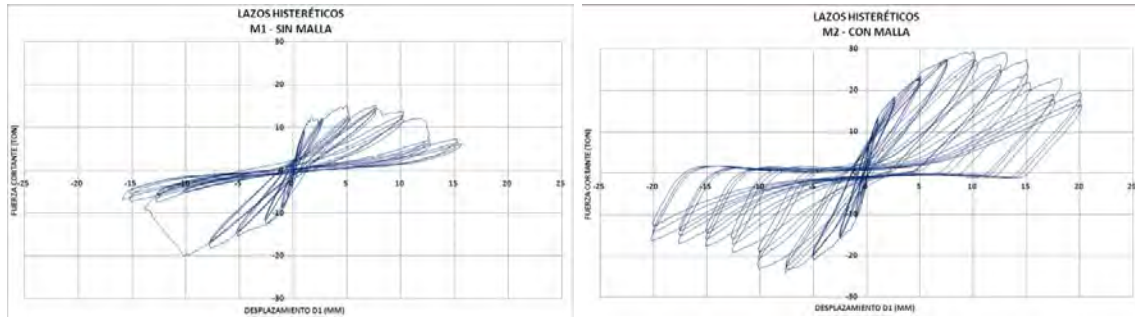


Figura 20. Lazos Histeréticos V-D del muro sin malla y con malla (Fuente: Araoz y Velezmoro)

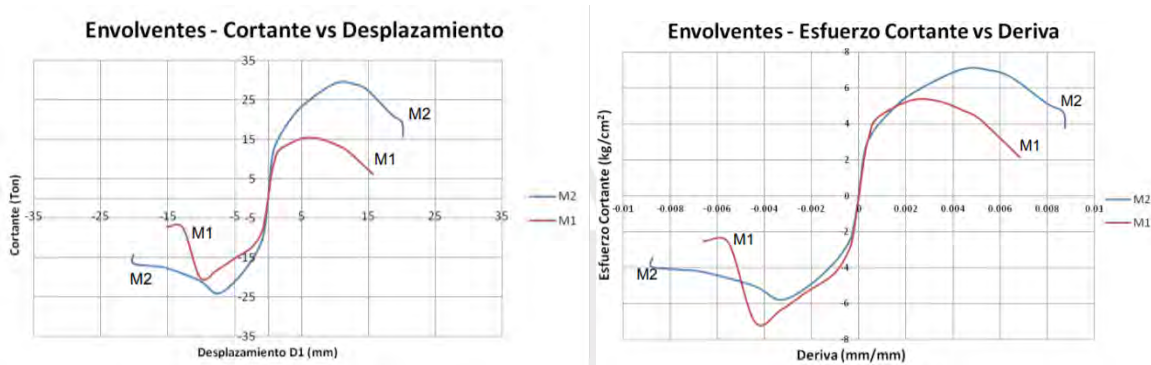


Figura 21. Envoltentes V-D1 del muro sin malla y con malla (Fuente: Araoz y Velezmoro)

En las gráficas anteriores se observa que existe un aumento considerable al momento de tomar en cuenta la alternativa de usar la malla electrosoldada para el caso de ladrillos pandereta, ya que ese tipo de ladrillo carece de resistencia, por lo que la malla es de gran ayuda para el sistema.

2.6.4. Arriostramiento de parapetos de albañilería.

Para este caso se simuló el desempeño de cuatro muros ante las fuerzas de volcamiento. En el estudio se midió la resistencia de cuatro muros. Los muros fueron contruidos con unidades macizas (King Kong) y con un aparejo tipo sogá. A cada uno de los muros se le aplicó una forma de reforzamiento, excepto en el segundo, el cual simulaba el comportamiento que tendría el muro original. En el primer muro se arriostaron dos columnetas de 12 cm x 12 cm a cada uno de sus extremos, en donde se utilizó además una varilla de 8 mm anclada con epóxico. Para el tercer y cuarto muro se arriostó de forma similar al primer muro, usando columnetas de 12 cm x 12 cm, pero se utilizaron 2 varillas de 1/4", en donde se anclaron químicamente en la cimentación, con la diferencia que para el cuarto muro se utilizaron perforaciones para el anclaje (Siancas & Manrique, 2013).



Figura 22. Parapetos construidos sobre un anillo de concreto (Fuente: Siancas y Manrique)

Para el ensayo dinámico de los muros se tuvo en cuenta la representación de un sismo leve, moderado y un sismo raro. Una vez terminado el ensayo dinámico se realizó además un ensayo estático, en donde se determinó la resistencia final de los cuatro muros. Los resultados se muestran a continuación en las figuras 23 y 24.

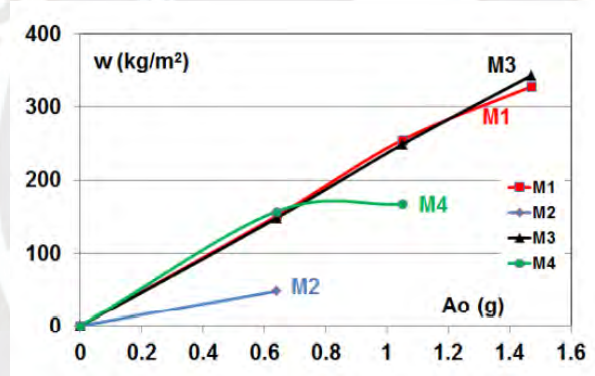


Figura 23. Ensayo dinámico de muros, Carga máxima " w (kg/m²)"- Aceleración en fracción de la gravedad " A_o (g)" (Fuente: Siancas y Manrique)

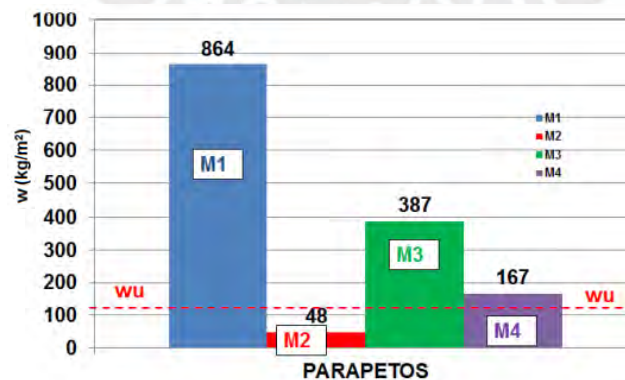


Figura 24. Ensayo estático de muros, Resistencia máxima " w (kg/m²)" (Fuente: Siancas y Manrique)

En las gráficas anteriores se observa que el tipo de muro que más resiste es el primero, mientras que el segundo muro mostró un comportamiento insuficiente según normativa, los muros 3 y 4 tuvieron un mejor comportamiento que el muro 2, pero no llegaron al nivel del muro 1. A su vez se destaca la facilidad de construir el primer tipo de muro, con lo cual sería la mejor alternativa al considerar uno de los métodos empleados.

2.6.5. Mallas de acero.

Las mallas de acero son estructuras de acero planas que se forman al entrecruzar barras de acero corrugadas. Para generar la malla se juntan las barras longitudinales y transversales, y para unir las se utiliza alambre #16 en las intersecciones de las barras, dando forma a la cuadrícula.

Se simuló el desempeño de tres muros ante las fuerzas de corte. En el estudio se midió la resistencia de los muros sin reforzar y luego se los comparó con sus resistencias después de reparar y reforzar con malla de acero (Lujan, 2016).

En el presente estudio se utilizaron 3 muros de albañilería confinada, los cuales fueron construidos con ladrillo King Kong de 18 huecos. Las dimensiones del muro fueron de 2.20m de largo x 2.20 m de alto, con 13 cm de espesor, en donde se utilizó aparejo tipo soga. La viga solera de dimensiones 20x20 cm cuenta con 4 Ø de 1/2", estribos de 1/4", 1 @ .05, 4 @ .10, r @ .20 m. Las columnas de dimensiones 13 x 20 cm se reforzaron con 4 Ø de 1/2" y estribos de 1/4", 1 @ .05, 4 @ .10, r @ .20 m. Además, se contó con una viga de cimentación con dimensiones 30x35 cm con 4 Ø de 5/8" y estribos de 3/8", 1 @ .05, 4 @ .10, r @ .25 m (Lujan, 2016).

Para la reparación se empezó con un apuntalamiento de los muros, las fisuras mayores a 0.8 mm de profundidad se picaron y se rellenaron con mortero, finalmente se cubrió el muro con una lechada de concreto en una de las caras. Para el reforzamiento se utilizaron varillas de acero corrugado de 4.7 mm de diámetro, para su instalación se realizaron perforaciones en el muro por donde pasarían los conectores con alambre #8 cuya función es conectar ambas mallas. Acto seguido se colocaron las mallas en ambas caras del muro y se utilizó alambre #16 para fijarlo mediante nudos. Finalmente se aplicó lechada de concreto para mejorar la adherencia y después se tarrajeó el muro con mortero. Los resultados se muestran a continuación en las figuras 25, 26 y 27.

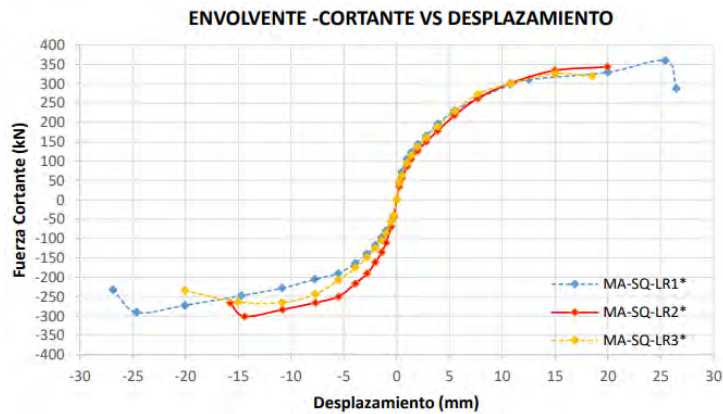


Figura 25. Envoltura Fuerza Cortante vs Desplazamiento de los muros reparados y reforzados (Fuente: Lujan)

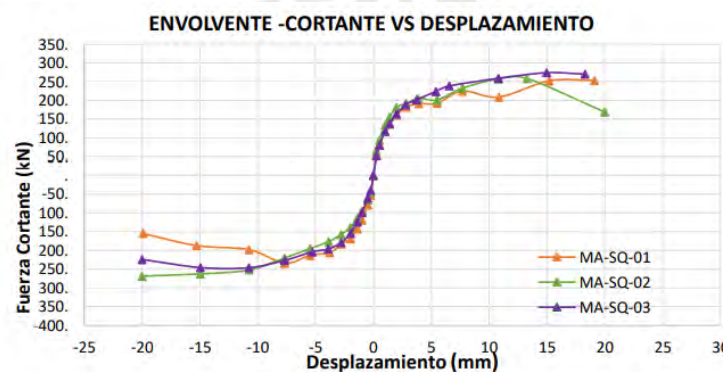


Figura 26. Envoltura Fuerza Cortante vs Desplazamiento de los muros sin reforzar (Fuente: Lujan)

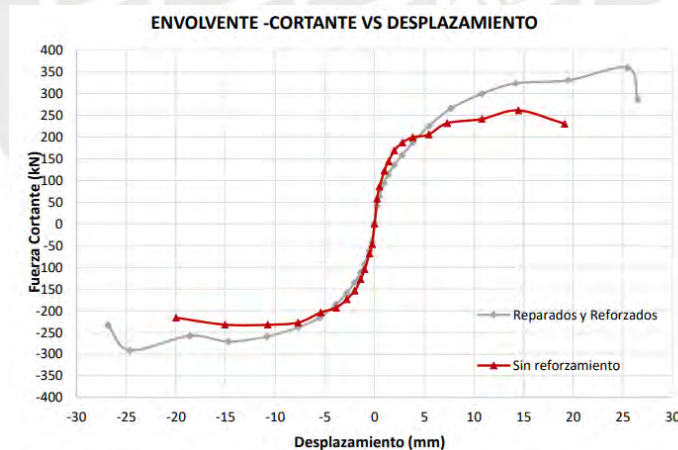


Figura 27. Envoltura Fuerza Cortante vs Desplazamiento (Fuente: Lujan)

En las gráficas anteriores se observa que existe un aumento en la capacidad del muro para resistir la fuerza cortante después de realizar la reparación y el reforzamiento, además aumenta su capacidad de deformación en un aproximado del 36%. Cabe agregar que la malla permitió al muro trabajar como un sólido rígido, haciendo que el motivo de la falla sea por desprendimiento de la viga y de las columnas.

2.6.6. Sistema TRM

Por último, se menciona al sistema TRM (Textile Reinforced Mortars), es un sistema que combina fibras en forma de textiles con morteros a base de cemento, este sistema se destaca por su facilidad de instalación y su efectividad. La base del sistema se centra en la transmisión de esfuerzos entre la matriz cementante y la malla seleccionada, la cual puede ser fibra de vidrio, basalto o carbón. La matriz es más frágil que la malla, por lo que la matriz se fisura antes de que la malla alcance su máxima resistencia. Es así que se genera un comportamiento no lineal en el sistema. (Yacila & Salsavilca, 2019)

Existen diferentes tipos de material con el que se puede constituir la malla, algunos de los cuales son: fibra de vidrio, fibra de carbono, fibra de basalto, fibra de Poliparafenil Benzobisoxazol (PBO), fibra vegetal o algún otro polímero sintetizado. En la figura 28 se muestra el comportamiento de cada uno de los materiales mencionados.

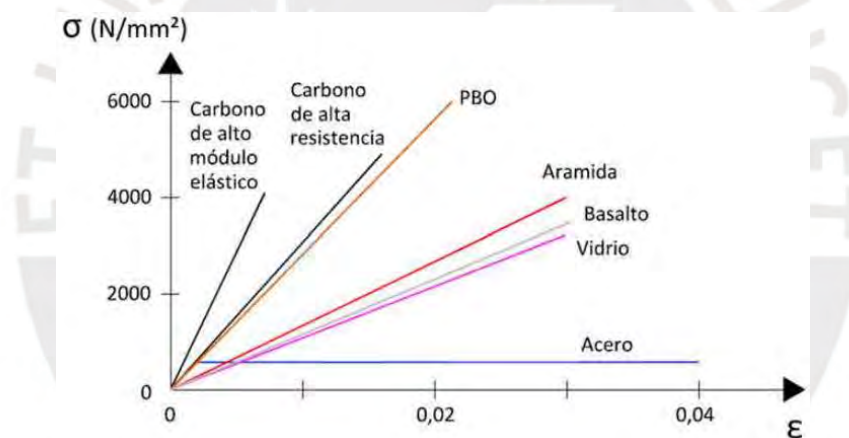


Figura 28. Relación tensión-deformación en los diferentes tejidos TRM (Fuente: Escrig)

Los primeros estudios en mampostería sobre el uso de TRM se realizaron por Papanicolau, en ellos se realizaron ensayos cíclicos sobre diferentes configuraciones de muro a media escala, A partir de los ensayos se concluyó que la aplicación del TRM aumento la capacidad de deformación y la resistencia de los muros de albañilería. (Escrig, 2015)

Posteriormente, se presentó otro estudio en elementos de mampostería, los cuales reforzaron con TRM y fueron ensayados con cargas cíclicas. Para el ensayo se utilizaron los materiales ya descritos en la figura 28 para la composición del tejido, y además se utilizó varios morteros como matriz de refuerzo, lo que derivo en una gran variedad de componentes. (Escrig, 2015)

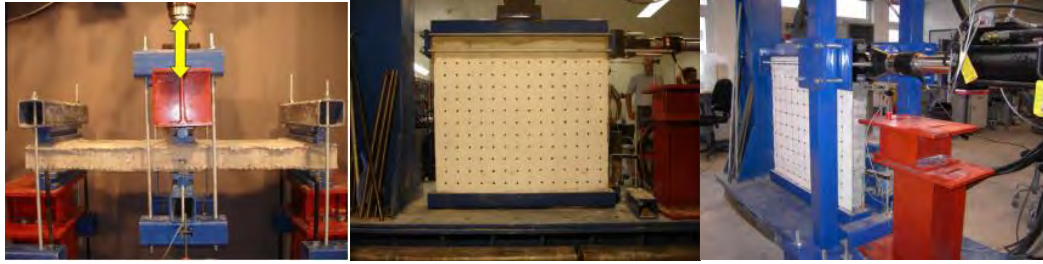


Figura 29. Ensayos realizados sobre la mampostería reforzada con TRM (Fuente: Papanicolaou)

Los resultados del ensayo indicaron que en la peor de las combinaciones entre los componentes (utilizando el mortero con la resistencia más baja y el tejido con las menores prestaciones), se logro aumentar la deformabilidad un 130% y la capacidad de carga un 400% con respecto a los muros sin reforzar. (Escrig, 2015)



CAPÍTULO 3: ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS METODOLOGÍAS DE REFUERZO

3.1. Introducción

La evaluación de los pros y contras de los métodos de reparación de muros de albañilería requiere hacer una comparación de precios tanto para la construcción del muro como de su reparación y reforzamiento. El presente trabajo abordará todo lo relacionado con el reforzamiento de muros de albañilería.

Un hecho ligado a la autoconstrucción es que la mayoría de la población inmersa en esta problemática no cuenta con los recursos económicos necesarios para realizar algún tipo de reparación, más aún para reparaciones costosas tras la ocurrencia de un desastre. En estos casos son los mismos propietarios quienes reparan sus inmuebles aumentando la informalidad en la construcción.

Por lo tanto, es esencial que los métodos de reforzamiento cuenten con técnicas que minimicen los costos y maximicen la eficiencia. El reforzamiento puede llegar incluso no solo a recuperar la capacidad original del muro, sino lograr superarla y por ende aportar un mayor nivel de seguridad.

Para la elección del método de reforzamiento en muros de albañilería sobre otras alternativas en estudio será necesario conocer el costo del reforzamiento.

En cada uno de los métodos de reforzamiento se da un aumento del precio producto de la inflación, por lo cual el costo unitario incrementa. A modo de ejemplo se mostrará primero la partida del año 2017 y posteriormente la partida actualizada al presente año 2023.

Las tasas inflacionarias fueron obtenidas del Banco Central de Reserva del Perú, a continuación, se muestran dichas tasas.

Tabla 4. Tasa de Inflación acumulada anual (Fuente: Adaptado de Banco Central de Reserva del Perú)

Año	Tasa de Inflación
2012	3.655
2013	2.806
2014	3.246
2015	3.548
2016	3.593
2017	2.804
2018	1.317
2019	2.136
2020	1.827
2021	3.979
2022	7.877
2023	6.264

Para actualizar los costos se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Precio actualizado} = \text{Precio base} * \left(1 + \frac{\text{tasa de interes}_1}{100}\right) * \dots * \left(1 + \frac{\text{tasa de interes}_n}{100}\right)$$

En nuestro caso los precios eran del año 2017, por lo cual se utilizarán las tasas de inflación correspondientes desde ese año hasta el año 2023. Es así como la formula anterior queda reducida a la siguiente expresión:

$$\text{Precio actualizado} = \text{Precio base} * 1.291$$

3.2. Costo de reforzamiento de un muro con malla armada de acero corrugado

El pañeteo de ambas caras puede durar hasta 1/3 día, el armado de la malla dura alrededor de 2/3 día, la perforación y colocación de la malla 2/3 día y el tarrajeo 1 día. Resultando en una razón de 2.70 días por muro. Finalmente, se estima el costo total de los materiales y mano de obra, rendimiento de la cuadrilla, tiempo de duración de todo el proceso y el costo de reforzamiento por unidad de área a intervenir, como se muestra a continuación en la figura 30. (SENCICO, 2017).

Partida: 03.00 Reforzamiento de un muro de albañilería confinada con malla de acero corrugado						
Especificación: Armado de malla de refuerzo, pañeteo y tarrajeo de muro						
						Costo/m² 147.69
Cuadrilla: 1 Técnico + 1 Ayudante						
Rendimiento: 4.62 m ² /día						
Descripción	Unid.	Cantidad	P. Unitario	Parcial	Total	I. U.
MATERIALES						
Cemento	bolsa	6	21.00	126.00		30
Arena fina	m ³	0.38	45.00	17.10		
Arena gruesa	m ³	0.09	50.00	4.50		
Varillas	Und.	16	5.00	80.00		
Alambre #8	Kg.	3	5.00	15.00		
Alambre #16	Kg.	14	5.00	70.00		
Costo de Material					312.60	
MANO DE OBRA						
Técnico	hh	22	19.38	426.25		47
Ayudante	hh	22	7.50	165.00		47
Costo de Mano de Obra					591.25	
EQUIPO, HERRAMIENTAS						
Herramientas (3% M.O.)		0.03	591.25	17.74		37
Costo de Equipo, Herramientas					17.74	
TOTAL S/.					921.59	

Figura 30. Costo de reforzamiento con malla de acero corrugado. (Fuente: SENCICO)

La partida actualizada a la presente fecha quedará como se muestra en la figura 31:

Partida: 01.00 Reforzamiento de un muro de albañilería confinada con malla de acero corrugado						
Especificación: Armado de malla de refuerzo, pañeteo y refuerzo de muro						
						Costo/m² 190.71
Cuadrilla: 1 Técnico + 1 Ayudante						
Rendimiento: 4.62 m ² /día						
Descripción	Unid.	Cantidad	P. Unitario	Parcial	Total	
MATERIALES						
Cemento	bolsa	6	27.11	162.66		
Arena fina	m ³	0.38	58.10	22.08		
Arena gruesa	m ³	0.09	64.55	5.81		
Varillas	Und.	16	6.46	103.36		
Alambre #8	Kg.	3	6.46	19.38		
Alambre #16	Kg.	14	6.46	90.44		
Costo de Material					403.73	
MANO DE OBRA						
Operario	hh	22	25.02	550.44		
Peón	hh	22	9.68	212.96		
Costo de Mano de Obra					763.40	
EQUIPO, HERRAMIENTAS						
Herramientas (3% M.O.)		0.03	763.40	22.90		
Costo de Equipo, Herramientas						
TOTAL S/.					1190.03	

Figura 31. Costo actualizado de reforzamiento con malla de acero corrugado. (Fuente: SENCICO)

3.3. Costo de reforzamiento con malla electrosoldada

El pañeteo puede durar hasta 1/3 día, la perforación y colocación de la malla dura alrededor de 2/3 día y el tarrajeo 1 día. Resultando en una razón de 2.00 días por muro. Finalmente, se estima el costo total de los materiales y mano de obra, rendimiento de la cuadrilla, tiempo de duración de todo el proceso y el costo de reforzamiento por unidad de área a intervenir, como se muestra a continuación en la figura 32. (SENCICO, 2017).

Partida: 03.00 Reforzamiento de un muro de albañilería confinada con malla electrosoldada						
Especificacio Armado de malla de refuerzo, pañeteo y tarrajeo de muro						
						Costo/m ² 131.47
Cuadrilla: 1 Técnico + 1 Ayudante						
Rendimiento 6.24 m ² /día						
Descripción	Unid.	Cantidad	P. Unitario	Parcial	Total	I. U.
MATERIALES						
Cemento	bolsa	6	21.00	126.00		30
Arena fina	m ³	0.38	45.00	17.10		
Arena gruesa	m ³	0.09	50.00	4.50		
Alambre #8	kg.	3	5.00	15.00		
Alambre #16	kg.	3	5.00	15.00		
Malla soldada QE-106	und.	1	199.90	199.90		
Costo de Material					377.50	
MANO DE OBRA						
Técnico	hh	16	19.38	310.00		47
Ayudante	hh	16	7.50	120.00		47
Costo de Mano de Obra					430.00	
EQUIPO, HERRAMIENTAS						
Herramientas (3% M.O.)		0.03	430.00	12.90		37
Costo de Equipo, Herramientas					12.90	
TOTAL S/.					820.40	

Figura 32. Costo de reforzamiento con malla electrosoldada. (Fuente: SENCICO)

La partida actualizada a la presente fecha quedará como se muestra en la figura 33:

Partida: 02.00 Reforzamiento de un muro de albañilería confinada con malla electrosoldada					
Especificación: Armado de malla de refuerzo, pañeteo y refuerzo de muro					
Cuadrilla: 1 Técnico + 1 Ayudante				Costo/m²	169.75
Rendimiento: 6.24 m ² /día					
Descripción	Unid.	Cantidad	P.Unitario	Parcial	Total
MATERIALES					
Cemento	bolsa	6	27.11	162.66	
Arena fina	m ³	0.38	58.10	22.08	
Arena gruesa	m ³	0.09	64.55	5.81	
Alambre #8	Kg.	3	6.46	19.38	
Alambre #16	Kg.	3	6.46	19.38	
Malla soldada QE-106	und.	1	258.07	258.07	
Costo de Material					487.38
MANO DE OBRA					
Operario	hh	16	25.02	400.32	
Peón	hh	16	9.68	154.88	
Costo de Mano de Obra					555.20
EQUIPO, HERRAMIENTAS					
Herramientas (3% M.O.)		0.03	555.20	16.66	
Costo de Equipo, Herramientas					16.66
TOTAL S/.					1059.23

Figura 33. Costo de reforzamiento con malla electrosoldada. (Fuente: SENCICO)

3.4. Costo de reforzamiento de un muro con fibra de vidrio

Este tipo de reforzamiento no demanda mucho tiempo en su ejecución, pues haciendo uso de una amoladora el ranurado de las juntas puede durar hasta un ¼ día y la colocación de los refuerzos GFRP ¾ día. Resultando en una razón de 1.00 día por muro. Finalmente, se estima el costo total de los materiales y mano de obra, rendimiento de la cuadrilla, tiempo de duración de todo el proceso y el costo de reforzamiento por unidad de área a intervenir, como se muestra a continuación en la Figura 34. (SENCICO, 2017)

Partida: 04.00 Reforzamiento de un muro de albañilería confinada con fibra de vidrio GFRP						
Especificación: Instalación de la varillas GFRP						
						Costo/m² 76.11
Cuadrilla: 1 Técnico + 1 Ayudante						
Rendimiento: 12.48 m ² /día						
Descripción	Unid.	Cantidad	P. Unitario	Parcial	Total	I. U.
MATERIALES						
Cemento	bolsa	0.125	21.00	2.63		30
Arena gruesa	m ³	0.01	50.00	0.50		
Varilla GFRP	und.	5	39.00	195.00		
Costo de Material					198.13	
MANO DE OBRA						
Técnico	hh	10	19.38	193.75		47
Ayudante	hh	10	7.50	75.00		47
Costo de Mano de Obra					268.75	
EQUIPO, HERRAMIENTAS						
Herramientas (3% M.O.)		0.03	268.75	8.06		37
Costo de Equipo, Herramientas					8.06	
TOTAL S/.					474.94	

Figura 34. Costo de reforzamiento con fibra de vidrio. (Fuente: SENCICO)

La partida actualizada a la presente fecha quedará como se muestra en la figura 35:

Partida: 03.00 Reforzamiento de un muro de albañilería confinada con fibra de vidrio GFRP						
Especificación: Instalación de varillas GFRP						
						Costo/m² 98.27
Cuadrilla: 1 Técnico + 1 Ayudante						
Rendimiento: 12.48 m ² /día						
Descripción	Unid.	Cantidad	P. Unitario	Parcial	Total	
MATERIALES						
Cemento	bolsa	0.125	27.11	3.39		
Arena gruesa	m ³	0.01	64.55	0.65		
Varilla GFRP	und.	5	50.35	251.75		
Costo de Material					255.78	
MANO DE OBRA						
Operario	hh	10	25.02	250.20		
Peón	hh	10	9.68	96.80		
Costo de Mano de Obra					347.00	
EQUIPO, HERRAMIENTAS						
Herramientas (3% M.O.)		0.03	347.00	10.41		
Costo de Equipo, Herramientas					10.41	
TOTAL S/.					613.19	

Figura 35. Costo de reforzamiento con fibra de vidrio. (Fuente: SENCICO)

3.5. Costo de reforzamiento de un muro con fibra de carbono

El recorte de la fibra de carbono, el esmerilado y marcado de la zona a reforzar dura alrededor de 3/4 día; la aplicación del imprimante Mbrace Primer, pasta Mbrace Putty, resina Mbrace Saturant e instalación de la fibra de carbono 1 día. Dando una razón de 1.75 días por muro. Finalmente, se estima el costo total de los materiales y mano de obra, rendimiento de la cuadrilla, tiempo de duración de todo el proceso y el costo de reforzamiento por unidad de área a intervenir, como se muestra a continuación en la figura 36. (SENCICO, 2017)

Partida: 05.00 Reforzamiento de un muro de albañilería confinada con fibra de carbono						
Especificación: Instalación de bandas de fibra de carbono						
						Costo/m² 146.32
Cuadrilla: 1 Técnico + 1 Ayudante						
Rendimiento: 7.13 m ² /día						
Descripción	Unid.	Cantidad	P. Unitario	Parcial	Total	I. U.
MATERIALES						
Fibra de carbono CF130	m ²	1.70	267.20	454.24		
Mbrace Primer	kg	0.47	79.52	37.37		
Mbrace Putty	kg	0.47	31.67	14.88		
Mbrace Saturant	kg	0.47	40.41	18.99		
Costo de Material					525.49	
MANO DE OBRA						
Técnico	hh	14	19.38	271.25		47
Ayudante	hh	14	7.50	105.00		47
Costo de Mano de Obra					376.25	
EQUIPO, HERRAMIENTAS						
Herramientas (3% M.O.)		0.03	376.25	11.29		37
Costo de Equipo, Herramientas					11.29	
TOTAL S/.					913.03	

Figura 36. Costo de reforzamiento con fibra de carbono. (Fuente: SENCICO)

La partida actualizada a la presente fecha quedará como se muestra en la Figura 37:

Partida: 04.00 Reforzamiento de un muro de albañilería confinada con fibra de carbono					
Especificación: Instalación de bandas de fibra de carbono					
Costo/m2					186.07
Cuadrilla: 1 Técnico + 1 Ayudante					
Rendimiento: 7.13 m2/día					
Descripción	Unid.	Cantidad	P.Unitario	Parcial	Total
MATERIALES					
Fibra de Carbono CF130	m2	1.70	344.96	586.43	
Mbrace Printer	kg	0.47	102.66	48.25	
Mbrace Putty	kg	0.47	40.89	19.22	
Mbrace Saturant	kg	0.47	52.17	24.52	
Costo de Material					678.42
MANO DE OBRA					
Operario	hh	14	25.02	350.28	
Peón	hh	14	8.45	118.3	
Costo de Mano de Obra					468.58
EQUIPO, HERRAMIENTAS					
Herramientas (3% M.O.)		0.03	468.58	14.06	
Costo de Equipo, Herramientas					14.0574
TOTAL S/.					1161.06

Figura 37. Costo de reforzamiento con fibra de carbono. (Fuente: SENCICO)

3.6. Análisis de resultados

Se concluye que el costo de construcción del muro es el mismo para los cuatro tipos de reforzamiento antes mencionados, asumiendo la misma geometría en todos los casos. Por otro lado, puede visualizarse en la tabla 5 que donde sí existe una diferencia notable es en los costos de reforzamiento, pues los cuatro casos implican procedimientos diferentes de reforzamiento, y estos a su vez hacen uso de distintos materiales.

Tabla 5. Costos de construcción y reforzamiento de un muro (Fuente: Adaptado de SENCICO)

Método de refuerzo	Construcción de muro (CM) (S/.)	Reforzamiento de muro (RFM) (S/.)	RFM/CM (%)
Malla electrosoldada	2016.04	1059.23	52.54%
Fibra de vidrio	2016.04	613.19	30.42%
Fibra de carbono	2016.04	1161.06	58.47%
Malla de acero corrugado	2016.04	1190.03	59.02%

En la Figura 38 se presenta un comparativo del costo reforzamiento respecto al costo de construcción de un muro de albañilería; debe aclararse que estos costos consideran los materiales y la mano de obra requerida. En dicha grafica puede observarse que los costos de reforzamiento del muro representan en promedio un 50% de su costo inicial de construcción. Siendo los refuerzos con malla de acero corrugado y con fibra de carbono quienes tienen los mayores costos siendo 59% y 58%, respectivamente. Además, el refuerzo con malla electrosoldada tiene un costo equivalente al 53% con respecto al costo del muro, mientras que el refuerzo con fibra de vidrio representa un costo de tan solo un 30%.



Figura 38. Costos de reforzamiento respecto a los costos de construcción de un muro de albañilería. (Fuente: Adaptado de SENCICO)

Además, dentro de los costos totales para reforzar un muro se concluye que la diferencia entre la metodología de refuerzo con acero corrugado y las demás metodologías es que la primera es elaborada in situ, mientras que las demás usan productos prefabricados. Esto representa para el método de reforzamiento con malla de acero corrugado un mayor costo en mano de obra respecto a los demás métodos. Sin embargo, al analizar los costos de materiales requeridos para el proceso de reforzamiento del muro, la fibra de carbono y la malla electrosoldada tienen mayores costos frente a la malla de acero corrugado y la fibra de vidrio. Estos costos de construcción pueden reducirse si se emplea una mano de obra más accesible (como peones) con la suficiente destreza, guía o supervisión para realizar el proceso de construcción de manera satisfactoria. Con esto podría lograrse reducir el costo de reforzamiento de los muros logrando que todas estas metodologías sean aún más ventajosas y accesibles para su empleo en el reforzamiento de estructuras reales (SENCICO, 2017).

Comportamiento del muro reforzado bajo carga lateral

Mediante un análisis comparativo de las curvas de capacidad, puede identificarse que los muros reforzados mediante malla de acero corrugado y con malla electrosoldada presentaron una mayor resistencia a la solicitada por carga lateral, esto en comparación con los muros reforzados mediante fibra de vidrio y fibra de carbono (SENCICO, 2017).

Esta mayor capacidad de resistencia a carga lateral se relaciona con una mayor rigidez lateral. En el comportamiento real - dinámico de las estructuras la deformación lateral o el período de agitación (periodo de vibración) son inversamente proporcional a la rigidez lateral de la estructura, esto implica que a mayor rigidez menor será su deformación adjunta. Después de esto, se entiende que el grado de daño, en una estructura bajo la acción de cargas laterales, resulta ser directamente proporcional a la deformación (desplazamiento lateral). Por ende, la forma más apta de controlar estos desplazamientos laterales excesivos es mediante el incremento de la rigidez lateral que puede tolerar la estructura. Por ello, se evaluó cuál de las metodologías presenta de manera más simple y eficiente una mayor ayuda al crecimiento de la rigidez lateral de la estructura. En la figura 39 se muestra que la malla electrosoldada y la malla de acero corrugado incrementaron la rigidez lateral degradada del muro en 8.36 y 6.53 veces, respectivamente; mientras que la fibra de vidrio en 5.84 veces y la fibra de carbono en 3.50 veces (SENCICO, 2017).

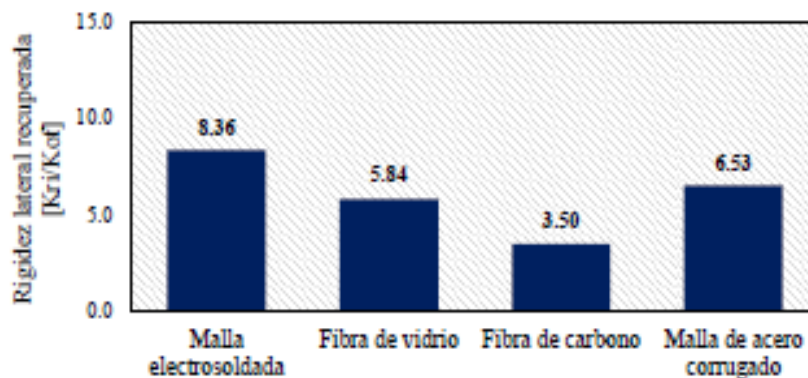


Figura 39. Incremento de la rigidez lateral degradada según el método de refuerzo (Fuente: SENCICO)

En primer lugar, se identificó que la malla electrosoldada mostró una mayor eficacia al incrementar la competencia del muro 1.4 veces su capacidad inicial, seguido de la malla de acero corrugado y la de fibra de carbono con un acrecentamiento de 1.20 y finalmente siendo la menos capaz fue la fibra de vidrio pues solo permitió recuperar la capacidad original de carga lateral del muro (SENCICO, 2017).

En segundo lugar, se puede apreciar que la malla electrosoldada permitió incrementar la capacidad de deformación lateral máxima prevista del muro en un 59%, seguido de la fibra de carbono, la malla de acero corrugado y la fibra de vidrio en un 42%, 33% y 23% precisamente (SENCICO, 2017).

Por lo expuesto en todo el proyecto de investigación, se concluye que la solución de reforzamiento a emplear será la del reforzamiento con fibra de vidrio pues permite mantener dentro de márgenes aceptables, tanto técnicos como económicos, a los tres factores principales para lograr un buen desempeño sismorresistente de la estructura, como son: Rigidez lateral, capacidad de carga lateral y capacidad de deformación lateral.

Ventajas del sistema de reforzamiento propuesto

En la tabla 6 se muestra a manera de compilación los principales resultados de los diferentes métodos de refuerzo.

Tabla 6. Rendimientos y Costos de reforzamiento de un muro de albañilería (Fuente: Adaptado de SENCICO)

	Rendimiento (m²/día)	Costo/m² (S/.)
Malla electrosoldada	6.24	169.75
Malla de acero corrugado	4.62	190.71
Fibra de carbono	7.13	186.07
Fibra de vidrio	12.48	98.27

CAPÍTULO 4: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA VIVIENDA

4.1. Descripción general de la vivienda

Para el presente trabajo se cuenta con una vivienda multifamiliar de 3 pisos, sin sótanos. Esta se ubica en la ciudad de Lima, en el distrito de Ate, al frente del Parque II – Av. El Banco 7.

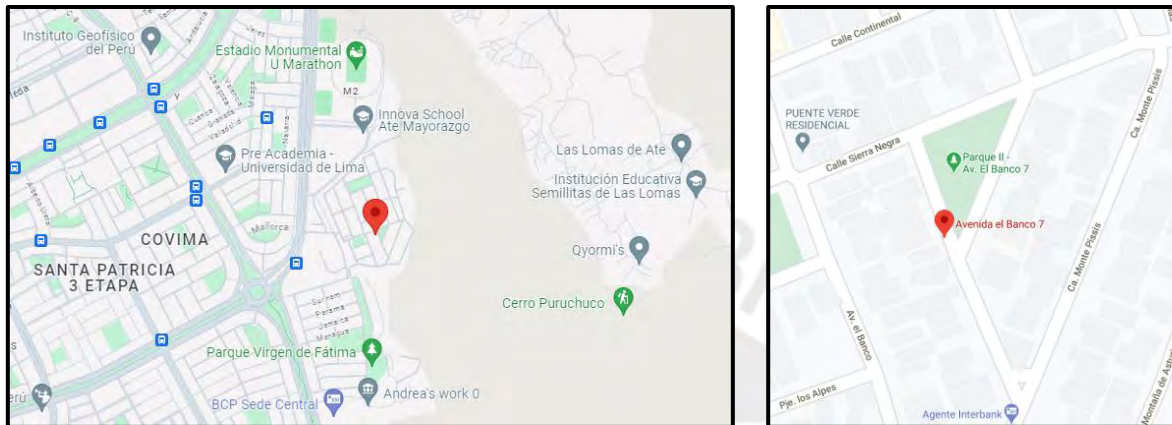


Figura 40. Ubicación de la vivienda (Fuente: Google Maps)

El área construida por piso es de 113.88 m². Es así que se tiene un total de 341.63 m² de área construida. A continuación, en la Figura 41 se muestra un plano en planta de la vivienda.

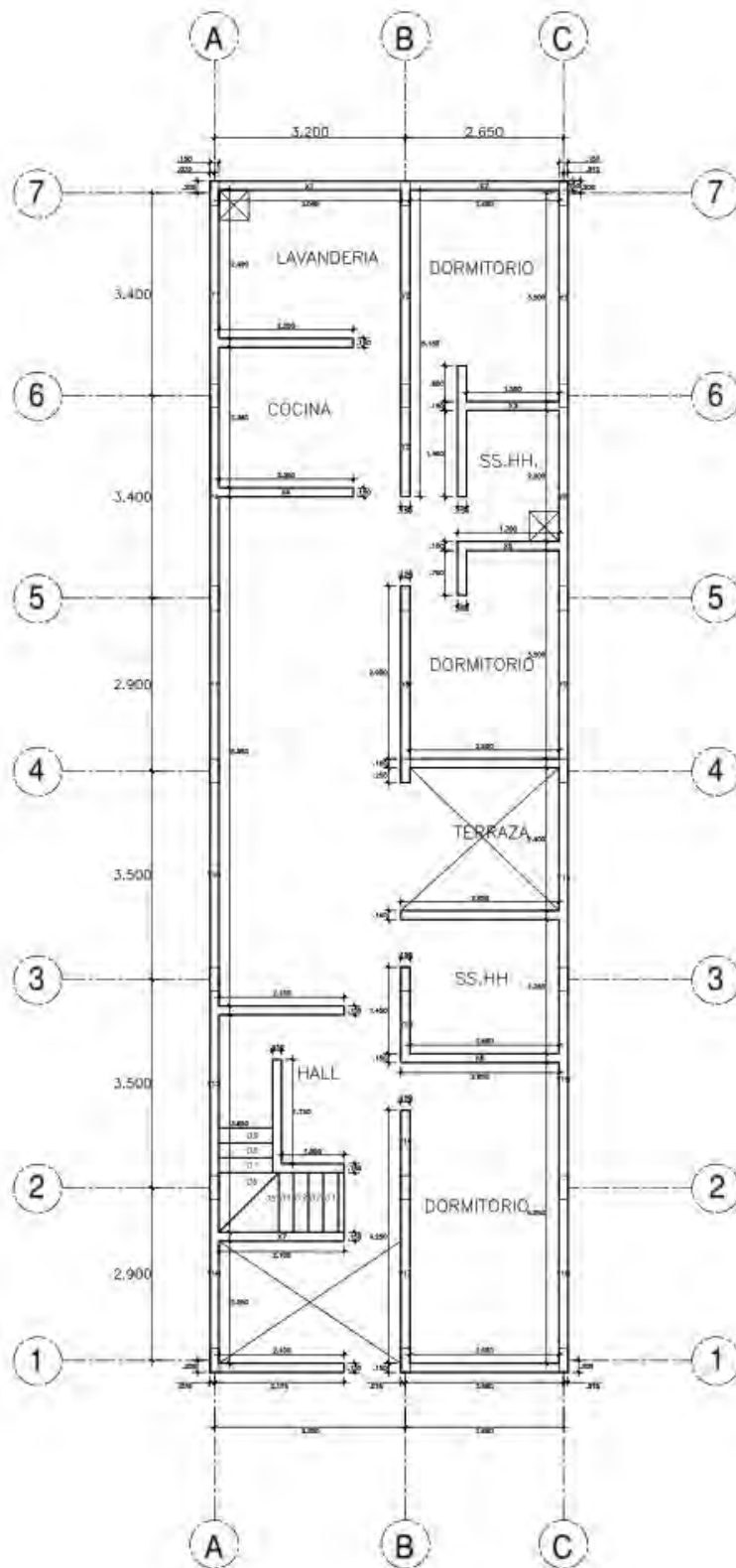


Figura 41. Plano arquitectónico de planta del primer piso de la vivienda (Fuente: Propia)

4.2. Materiales

4.2.1. Concreto Armado.

Uno de los principales materiales usados en el proyecto es el concreto armado, el cual está regido bajo la Norma E.060. Las características de dicho material se describen a continuación:

- Resistencia nominal a compresión ($f'c$) = 175 kg/cm²
- Módulo de elasticidad (E_c) = 200000 kg/cm²
- Deformación unitaria del concreto (ϵ_c) = 0.003

4.2.2. Acero de refuerzo

El tipo de acero estructural corrugado que se utiliza en esta vivienda es la ASTM A615 – Grado 60 con una sección circular. Las características de este material se describen a continuación:

- Esfuerzo de fluencia (f_y) = 4200 kg/cm²
- Módulo de elasticidad (E_s) = 2000000 kg/cm²
- Deformación al inicio de la fluencia (ϵ_y) = 0.0021

4.2.3. Albañilería hueca

En la vivienda de estudio se construyó con albañilería hueca y no se utilizó albañilería maciza, por lo cual se describirán las características correspondientes únicamente a la albañilería hueca. La norma no permite considerar a la albañilería hueca como elemento estructural, pero debido a aspectos académicos, y con la finalidad de poder conocer el desempeño de una vivienda que cuenta con estas características se evaluarán sus propiedades. De esta manera se utilizará como referencia estudios pasados sobre este tipo de albañilería.

Se toma como referencia los siguientes valores (Barr, & Pineda, 2011):

- Resistencia a compresión ($f'm$) = 78 kg/cm²
- Resistencia característica a corte puro ($v'm$) = 7.2 kg/cm²

- Módulo de elasticidad (E_m) = 39000 kg/cm²
- Módulo de corte (G_m) = 15600 kg/cm²

4.3. Diagnóstico previo

De la vivienda analizada se logra identificar sus elementos estructurales, así como sus dimensiones y material predominante. La losa aligerada es de una dirección con espesor de 20cm, en donde se utilizó como material ladrillo hueco y concreto, las columnas son de dimensiones 15x40 cm y vigas con igual peralte que la losa de dimensiones 40 x 20 cm, ambos elementos de concreto armado.

Se puede observar que la vivienda no cuenta con muros de albañilería maciza, sino que en la construcción se utilizó albañilería hueca. Esto trae consigo una deficiencia por parte de la albañilería al momento de producirse un evento sísmico, ya que es muy probable que los ladrillos huecos lleguen a triturarse y se produzca una falla por corte.

Asimismo, se observa que no cumple con la densidad mínima de muros establecida en la norma, ya que no cuenta con albañilería maciza en ninguna dirección. Sin embargo, no se encuentra presencia de fisuras en ninguno de los elementos estructurales. A continuación, se muestra el cálculo realizado para corroborar la densidad de muros presente en la vivienda.

$$\frac{\sum L.t}{A_p} \geq \frac{ZUSN}{k} \rightarrow \frac{\sum L.t}{96.09} \geq \frac{0.45 \times 1 \times 1.05 \times 3}{40}$$

$$\sum L.t \geq 3.41$$

En la dirección X-X:

$$\sum L.t = 2.43 \text{ (no cumple)}$$

En la dirección Y-Y:

$$\sum L.t = 3.24 \text{ (no cumple)}$$

Donde:

L: Longitud (m)

t: espesor (m)

A_p: Area techada(m²)

N: Número de pisos

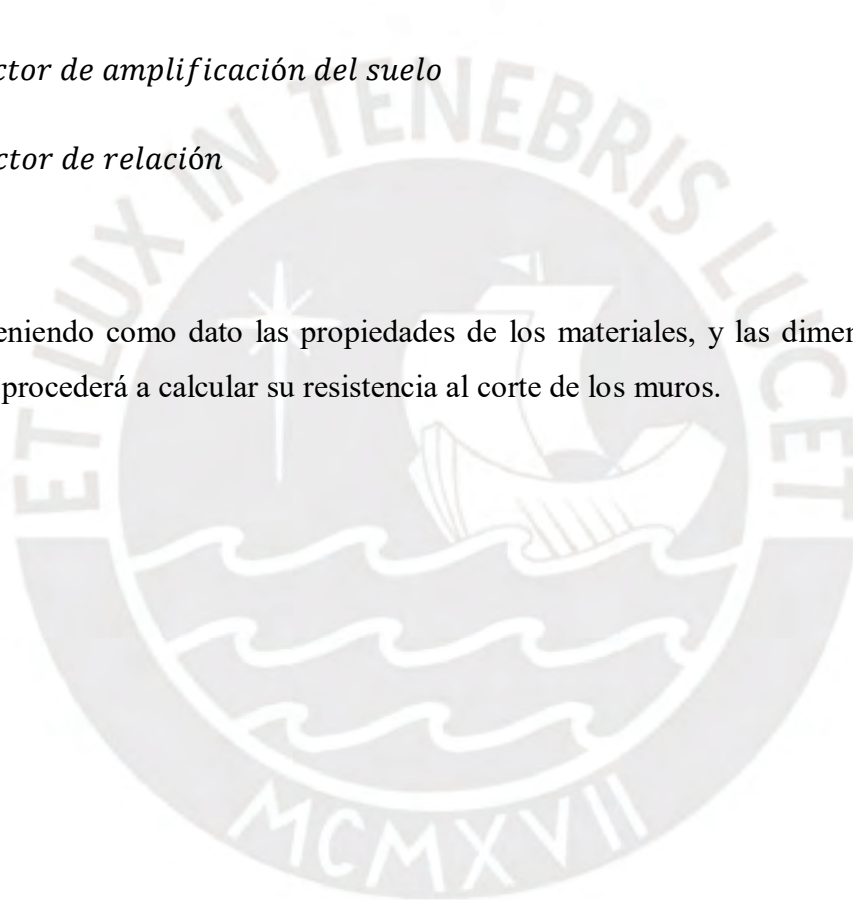
Z: Factor de zona

U: Factor de Uso

S: Factor de amplificación del suelo

k: Factor de relación

Finalmente teniendo como dato las propiedades de los materiales, y las dimensiones de los elementos se procederá a calcular su resistencia al corte de los muros.



CAPÍTULO 5: CÁLCULOS ESTRUCTURALES

5.1. Metrado de cargas

En esta sección, se indican las cargas de gravedad que se consideran para el diseño estructural estático y el modelado de la edificación. Para esto, se tomará en cuenta lo estipulado en la Norma E.020.

Al ser una vivienda se tiene un valor de sobrecarga igual a 200 kg/m², además para la carga muerta se tiene un valor de 300 kg/m² para el aligerado (h =20cm) y 1350 kg/m² para los muros de albañilería hueca.

A continuación, se muestra una tabla con los valores considerados

Tabla 7. Cargas asignadas a la edificación según normativa (Fuente: Norma E.020)

Tipo de carga	Carga (kg/m ²)
s/c	200
Losas Aligeradas	300
Piso terminado	100
Muro de albañilería hueco	1350

5.2. Modelamiento

El modelamiento se realiza a partir del plano de arquitectura, y las características de los materiales. De esa manera, el primer paso a realizar luego de insertar la grilla correspondiente es definir los materiales a utilizar, el concreto de 175kg/cm² y el acero de 4200kg/cm².

Las consideraciones que se tomaron para el presente modelamiento fueron:

- Para la base del edificio se consideraron empotramientos.
- Los aligerados se modelaron con el fin de considerar únicamente la transmisión de cargas, se despreció el espesor para asignarlo como carga muerta posteriormente, y se le asignó la opción para que distribuya las cargas en una sola dirección.

- Los muros se modelan con un único espesor de 15 cm. Asimismo, al no contar con muros de albañilería maciza se optó por considerar a los muros que tenían una longitud mayor a 1.20 m como muros portantes. A su vez se modela las columnas con una sección de 0.15m x 0.40m, y las vigas soleras con una sección de 0.15 m x 0.20m, las cuales confinan el muro.
- Para el resto de los muros que tenían una longitud menor a 1.20 m se le considero como tabiquería, en cuyo caso se modelo como una carga distribuida rectangular y se asignó como una carga muerta encima del elemento donde se encontraba.
- A las vigas que no llegan a desarrollar su longitud efectiva en el apoyo se las considera libre de girar por lo que se le asigna esa propiedad en el modelo.
- Debido a que los ductos tienen dimensiones de 0.50 x 0.50 se evitó considerarlos al momento de realizar el modelado del edificio. Ello debido a que sus dimensiones son despreciables en comparación al área de la losa en la que se encuentran.
- Se asignaron diafragmas rígidos para las losas de los tres pisos de la estructura, además se modelo la escalera como losa aligerada.

Siguiendo las anteriores consideraciones se tiene el siguiente modelo de la planta de primer piso (Figura 42) y el modelo en 3D (Figura 43):

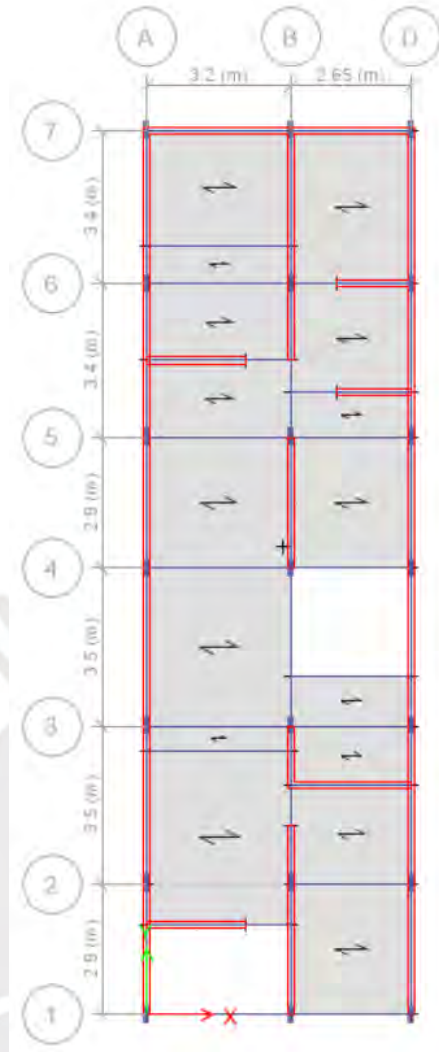


Figura 42. Planta del primer piso obtenida a partir del programa ETABS (Fuente: Propia)

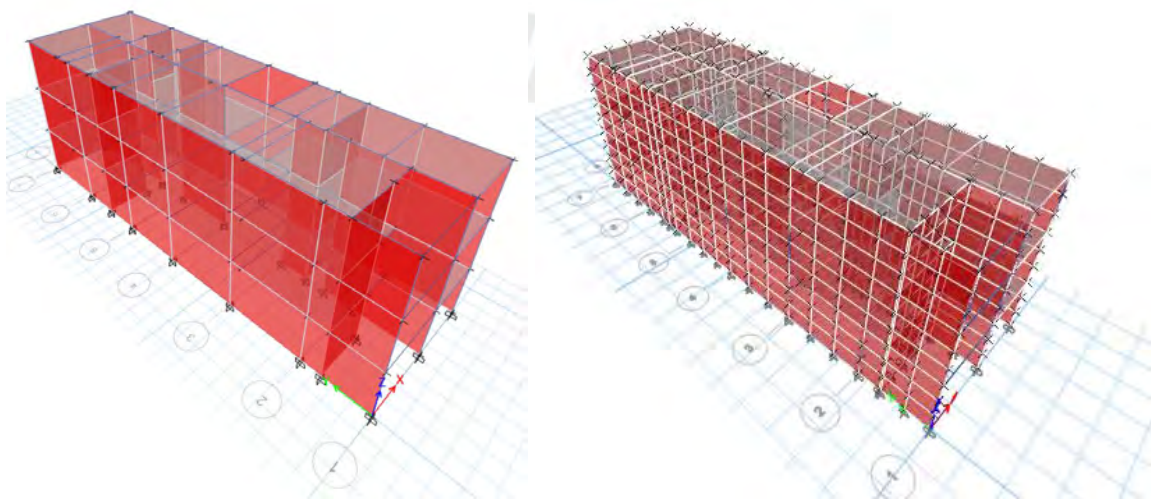


Figura 43. Vista 3D del programa ETABS y división de elementos Shell (Fuente: Propia)

5.3. Peso efectivo del edificio

El proyecto al tratarse de una vivienda califica como una estructura con categoría “C”, para lo cual se considera un 100% de carga muerta, y un 25% de carga viva.

5.4. Análisis Modal

Al tener solo tres pisos se tienen 9 modos naturales para la estructura. Al realizar el análisis se obtiene que el modo fundamental se da en el eje “X” con un periodo de 0.171 segundos.

Asimismo, se muestra una tabla resumen de los valores obtenidos después de realizar el análisis modal:

Tabla 8. Periodos obtenidos para el caso modal sin excentricidades (Fuente: Propia)

Caso	Modo	Periodo (s)	Masa Participativa	
			Ux	Uy
Modal	1	0.171	0.726	1.00E-04
Modal	2	0.084	0.094	2.31E-05
Modal	3	0.064	2.00E-04	0.886
Modal	4	0.054	0.142	2.00E-04
Modal	5	0.032	0.016	0.000
Modal	6	0.029	0.021	3.10E-06
Modal	7	0.022	1.28E-06	0.100
Modal	8	0.020	0.003	0.000
Modal	9	0.015	0.000	0.014

5.5. Parámetros de Diseño

Se identifican los parámetros de Z, U, C, S y R.

El proyecto se ubica en el distrito de Ate, la cual es una Zona 4, para el cual corresponde un factor Z de 0.45g.

Tabla 9. Factores Z correspondientes del tipo de zona (Fuente: Norma E.030)

Zona	Z (g)
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Según los datos obtenidos mediante estudios se espera tener un tipo de suelo S₂, para el que se obtiene un factor S= 1.05, y rangos de T_P y T_L iguales a 0.6 y 2.0 respectivamente.

Tabla 10. Factores “S” correspondientes del tipo de zona y tipo de suelo (Fuente: Norma E.030)

	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z₄	0.80	1.00	1.05	1.10
Z₃	0.80	1.00	1.15	1.20
Z₂	0.80	1.00	1.20	1.40
Z₁	0.80	1.00	1.60	2.00

Tabla 11. Factores “T_P” y “T_L” correspondientes del tipo de suelo (Fuente: Norma E.030)

	Perfil de Suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T_P	0.3	0.4	0.6	1.0
T_L	3.0	2.5	2.0	1.6

Su factor de uso al ser una edificación destinada a vivienda es U= 1 al ser una edificación común.

Al no presentar ninguna Irregularidad la estructura se obtienen valores de I_a e I_p = 1.

Debido a que se cuenta con un sistema que se ha construido en base a albañilería el factor R correspondiente es R_o=3.

A continuación, se muestra una tabla resumen de los valores obtenidos.

Tabla 12. Cuadro de resumen de los factores obtenidos

Z	0.45
U	1.0
S	1.05
R	3
T_p	0.6
T_l	2.0

Para el eje “X” e “Y” se tiene un periodo menor al valor de T_p (0.6), para lo cual corresponde un valor de “C” = 2.5 en ambos ejes.

5.6. Análisis Estático

Para hallar el valor de la cortante que se origina en la estructura se debe reducir el factor Z a la mitad por normativa, en donde se considera un sismo moderado en primera instancia, para garantizar un correcto funcionamiento de la estructura. Es así que se tiene la siguiente expresión:

$$\frac{ZUCS}{R} = \frac{(0.45/2) * 1 * 2.5 * 1.05}{3} = 0.19688$$

Con el valor calculado se define un patrón de carga en el programa ETABS y se coloca su factor correspondiente junto con una excentricidad accidental del 5%.

A su vez se determina el peso de la estructura, para después calcular la cortante basal de la estructura. Para ello se obtiene la tabla de masas del programa ETABS, ya que al haber modelado todos los elementos del sistema el programa puede calcular la masa total en cada uno de los pisos, como se observa en la tabla 13:

Tabla 13. Cuadro de resumen de los pesos obtenidos

Piso	Masa (tonf-s ² /m)
3	7.962
2	10.511
1	10.511

De esa manera al multiplicarle el valor de la gravedad se obtiene el peso a partir de las masas, tal cual se muestra en la tabla 14:

Tabla 14. Cuadro de resumen de los pesos obtenidos

Piso	Peso (Ton)
3	78.10
2	103.11
1	103.11

Entonces se observa que el peso total de la estructura sería 284.33 Ton, por lo que el valor final para las cortantes en ambas direcciones sería

$$V_x = V_y = \frac{ZUCS}{R} * P = \frac{\left(\frac{0.45}{2}\right) * 1 * 2.5 * 1.05}{3} * 284.33 = 55.98 \text{ ton}$$

5.6.1. Verificación de irregularidades.

Se verifican que los valores de ratio no superen el valor de 1.3 (Según el artículo 17 de la norma E.030) para que califique como una estructura sin irregularidad torsional.

Tabla 15. Cuadro de ratios obtenidos para ambas direcciones

Pisos	Sismo	Dirección	Deriva Máxima	Deriva Promedio	Ratio
Piso 3	SX	X	0.000507	0.000370	1.372
Piso 3	SY	Y	0.000043	0.000040	1.070
Piso 2	SX	X	0.000581	0.000429	1.354
Piso 2	SY	Y	0.000023	0.000011	1.063
Piso 1	SX	X	0.000418	0.000317	1.318
Piso 1	SY	Y	0.000065	0.000062	1.050

Se observa que existe irregularidad por torsión, ya que en el eje “X” se supera el valor de 1.3, por esta razón se debe cambiar el valor de I_p :

$$I_p = 0.75 \text{ (Irregularidad torsional)}$$

De esta manera el valor de R también se ve afectado:

$$R = 3 * 0.75 = 2.25$$

Por lo que el nuevo valor para la cortante estática será:

$$\frac{ZUCS}{R} = \frac{(0.45/2) * 1 * 2.5 * 1.05}{2.25} = 0.2625$$

$$V_x = V_y = \frac{ZUCS}{R} * P = \frac{\left(\frac{0.45}{2}\right) * 1 * 2.5 * 1.05}{2.25} * 361.50 = 74.64 \text{ ton}$$

5.6.2. Verificación de derivas.

Se verifica por norma que las derivas de entrepiso no superen el valor máximo permitido en albañilería de 5×10^{-3} (Según el artículo 29 de la norma E.030). Para esto se toma como referencia la dirección más desfavorable “X”, se verifica que en la dirección crítica “X” se cumple el valor de deriva máxima permitida (1.12×10^{-3}). Asimismo, en la dirección “Y” se tiene un valor de (0.124×10^{-3}). Ambos valores se reflejan en las tablas 16 y 17.

Tabla 16. Cuadro de derivas de entrepiso para un sismo en dirección X-X

Piso	Elevación (m)	X	Y
Piso 3	7.2	9.69E-04	8.42E-05
Piso 2	4.8	1.12E-03	9.43E-05
Piso 1	2.4	8.02E-04	6.09E-05
0	0	0	0

Tabla 17. Cuadro de derivas de entrepiso para un sismo en dirección Y-Y

Piso	Elevación (m)	X	Y
Piso 3	7.2	3.56E-05	8.26E-05
Piso 2	4.8	4.46E-05	0.124E-03
Piso 1	2.4	3.21E-05	0.124E-03
0	0	0	0

Finalmente se muestra una tabla resumen con los valores calculados:

Tabla 18. Cuadro resumen de valores obtenidos para ambas direcciones

Peso (Ton)	284.33
ZUCS/R	0.2625
V basal (Ton)	74.64
D elast. X (‰)	0.584
D elast. Y (‰)	0.065
D inelast. X (‰)	1.12
D inelast. Y (‰)	0.124

5.7. Fuerzas en los muros de albañilería sin refuerzo

Se le asigna nombre a cada uno de los muros de albañilería, de esa forma se identifica la carga que recibe al momento de la sollicitación sísmica.

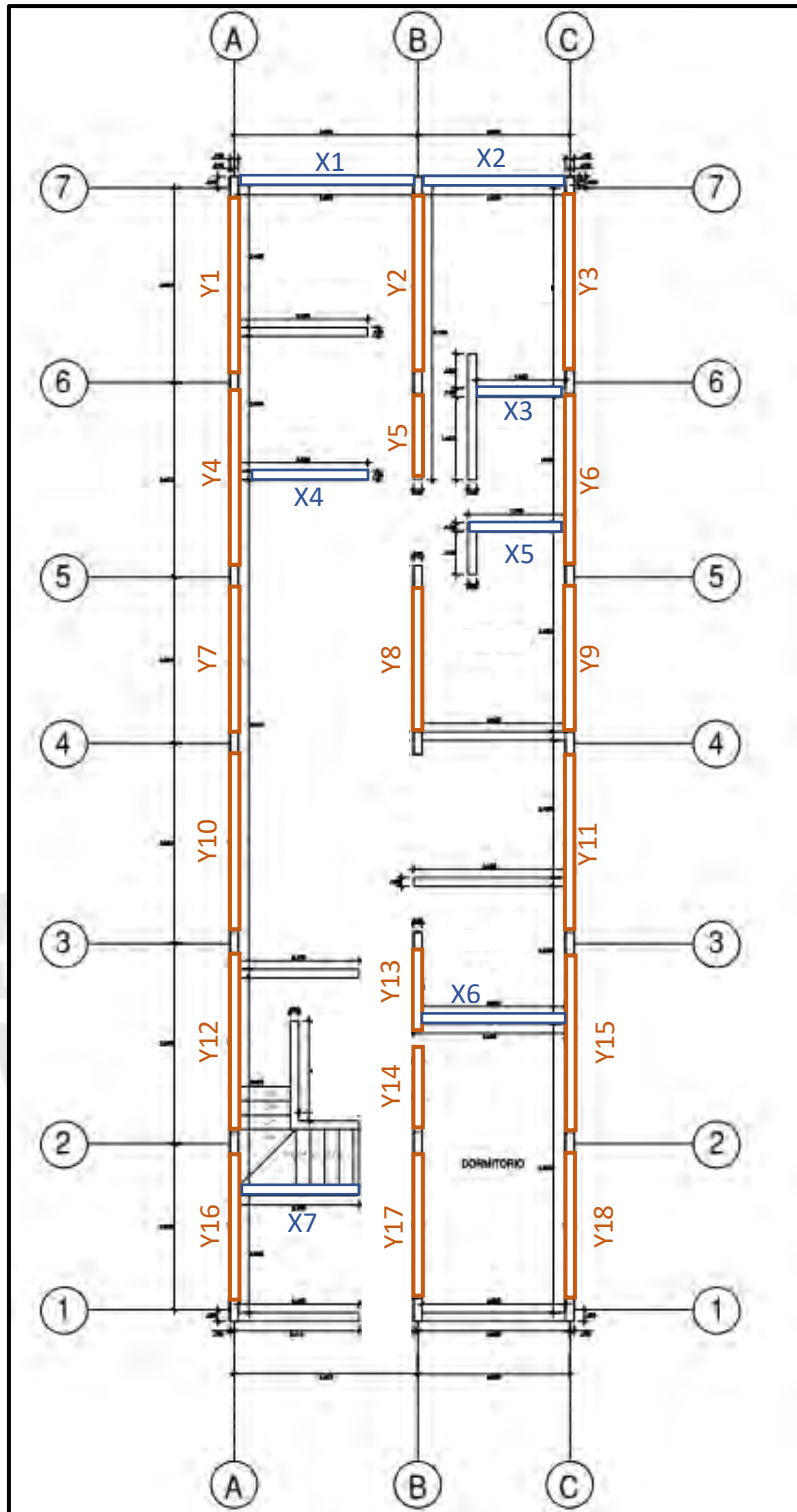


Figura 44. Asignación de nombre a cada uno de los muros portantes (Fuente: Propia)

En el primer piso para un sismo en dirección “X-X” se obtienen los siguientes valores.

Tabla 19. Fuerzas obtenidas en los muros de albañilería para un sismo en dirección X-X en el piso 1

Piso	Muro	Dirección	P	V2	M3
			Ton.f	Ton.f	Ton.f-m
Piso 1	X1	X	7.96	14.54	22.22
Piso 1	X2	X	-7.46	11.79	17.20
Piso 1	X3	X	4.14	5.46	8.80
Piso 1	X4	X	-10.24	7.67	15.00
Piso 1	X5	X	6.63	5.04	8.93
Piso 1	X6	X	6.80	16.76	28.94
Piso 1	X7	X	-17.45	11.28	22.15
Piso 1	Y01	X	12.12	-1.03	-4.18
Piso 1	Y02	X	0.87	-0.05	0.82
Piso 1	Y03	X	-13.79	1.49	4.26
Piso 1	Y04	X	5.36	-2.00	-3.12
Piso 1	Y05	X	1.26	0.18	0.22
Piso 1	Y06	X	-7.08	1.96	3.64
Piso 1	Y07	X	2.07	-1.42	-2.48
Piso 1	Y08	X	0.26	0.23	0.42
Piso 1	Y09	X	-2.85	1.71	2.78
Piso 1	Y10	X	0.74	-2.44	-2.98
Piso 1	Y11	X	-6.55	4.23	2.38
Piso 1	Y12	X	4.30	-3.54	-2.27
Piso 1	Y13	X	10.38	-2.00	-1.82
Piso 1	Y14	X	0.64	0.43	0.44
Piso 1	Y15	X	-8.84	2.23	4.04
Piso 1	Y16	X	3.98	-1.21	-2.59
Piso 1	Y17	X	0.56	0.37	0.41
Piso 1	Y18	X	-1.51	0.90	2.92

Asimismo, para un sismo en dirección Y se obtienen los siguientes valores:

Tabla 20. Fuerzas obtenidas en los muros de albañilería para un sismo en dirección Y-Y en el piso 1

Piso	Muro	Dirección	P	V2	M3
			Ton.f	Ton.f	Ton.f-m
Piso 1	X1	Y	-3.41	-0.23	-0.42
Piso 1	X2	Y	-2.91	-0.36	-0.31
Piso 1	X3	Y	-0.13	-0.07	-0.06
Piso 1	X4	Y	-0.16	0.05	0.09
Piso 1	X5	Y	-0.13	-0.04	0.01
Piso 1	X6	Y	1.36	0.31	0.90
Piso 1	X7	Y	0.43	0.30	0.77
Piso 1	Y01	Y	-2.23	4.48	6.39
Piso 1	Y02	Y	-0.69	4.46	6.92
Piso 1	Y03	Y	-2.31	4.95	7.05

Piso 1	Y04	Y	-0.31	4.87	6.09
Piso 1	Y05	Y	2.68	1.72	2.52
Piso 1	Y06	Y	-0.28	5.39	6.71
Piso 1	Y07	Y	0.01	4.20	5.15
Piso 1	Y08	Y	0.11	3.36	5.68
Piso 1	Y09	Y	-0.01	4.64	5.69
Piso 1	Y10	Y	0.14	5.07	6.23
Piso 1	Y11	Y	-0.09	5.66	6.85
Piso 1	Y12	Y	0.57	4.96	6.31
Piso 1	Y13	Y	0.16	1.23	1.70
Piso 1	Y14	Y	-1.72	1.29	1.76
Piso 1	Y15	Y	0.36	5.45	7.01
Piso 1	Y16	Y	2.60	3.66	5.29
Piso 1	Y17	Y	1.25	3.55	5.62
Piso 1	Y18	Y	2.92	3.98	5.83

Se observa que los muros presentan la mayor demanda sísmica cuando ocurre un sismo en la dirección X-X, por lo que el reforzamiento a realizar tendrá como prioridad mejorar el comportamiento de los muros en esa dirección.

Se obtienen además los valores correspondientes para los pisos superiores, de la misma manera se muestran los resultados para el piso 2 y 3:

Tabla 21. Fuerzas obtenidas en los muros de albañilería para un sismo en dirección X-X en el piso 2

			P	V2	M3
Piso	Muro	Sismo	tonf	tonf	tonf-m
Piso 2	X1	X	4.08	15.03	20.28
Piso 2	X2	X	-3.86	11.77	15.57
Piso 2	X3	X	-0.77	3.16	3.99
Piso 2	X4	X	-2.86	4.19	5.77
Piso 2	X5	X	0.81	2.01	2.52
Piso 2	X6	X	3.00	16.22	21.51
Piso 2	X7	X	-5.64	6.92	9.78
Piso 2	Y01	X	6.25	0.13	-1.43
Piso 2	Y02	X	0.45	-0.43	-0.04
Piso 2	Y03	X	-6.34	0.84	2.70
Piso 2	Y04	X	2.25	-2.35	-3.43
Piso 2	Y05	X	0.71	0.30	0.37
Piso 2	Y06	X	-2.21	2.46	3.46
Piso 2	Y07	X	0.82	-1.74	-2.12
Piso 2	Y08	X	0.17	0.33	0.47
Piso 2	Y09	X	-1.45	2.61	2.88
Piso 2	Y10	X	1.01	-3.55	-4.16

Piso 2	Y11	X	-3.65	7.40	8.20
Piso 2	Y12	X	1.14	-5.53	-6.77
Piso 2	Y13	X	4.44	-3.63	-4.46
Piso 2	Y14	X	0.31	0.85	1.01
Piso 2	Y15	X	-4.05	2.88	4.02
Piso 2	Y16	X	0.65	-1.45	-1.84
Piso 2	Y17	X	0.44	0.72	0.78
Piso 2	Y18	X	-0.95	0.28	1.04

Asimismo, para un sismo en dirección Y se obtienen los siguientes valores:

Tabla 22. Fuerzas obtenidas en los muros de albañilería para un sismo en dirección Y-Y en el piso 2

Piso	Muro	Sismo	P tonf	V2 tonf	M3 tonf-m
Piso 2	X1	Y	-1.55	-0.02	-0.05
Piso 2	X2	Y	-1.34	-0.39	-0.43
Piso 2	X3	Y	-0.11	-0.10	-0.09
Piso 2	X4	Y	-0.15	0.14	0.19
Piso 2	X5	Y	-0.01	-0.04	-0.05
Piso 2	X6	Y	-0.06	0.32	0.25
Piso 2	X7	Y	0.44	0.06	0.12
Piso 2	Y01	Y	-1.11	3.56	4.56
Piso 2	Y02	Y	-0.16	3.11	4.44
Piso 2	Y03	Y	-1.17	4.09	5.23
Piso 2	Y04	Y	-0.26	4.43	5.42
Piso 2	Y05	Y	0.47	0.78	0.89
Piso 2	Y06	Y	-0.27	5.08	6.17
Piso 2	Y07	Y	0.01	3.92	4.68
Piso 2	Y08	Y	0.07	1.81	2.52
Piso 2	Y09	Y	-0.04	4.46	5.33
Piso 2	Y10	Y	0.08	4.73	5.67
Piso 2	Y11	Y	0.01	5.50	6.59
Piso 2	Y12	Y	0.46	4.45	5.48
Piso 2	Y13	Y	-0.10	0.42	0.49
Piso 2	Y14	Y	-0.12	0.60	0.69
Piso 2	Y15	Y	0.51	4.97	6.18
Piso 2	Y16	Y	1.21	2.63	3.38
Piso 2	Y17	Y	0.37	2.15	3.00
Piso 2	Y18	Y	1.45	2.95	3.80

Piso 3:

Tabla 23. Fuerzas obtenidas en los muros de albañilería para un sismo en dirección X-X en el piso 3

Piso	Muro	Sismo	P	V2	M3
			tonf	tonf	tonf-m
Piso 3	X1	X	1.08	9.79	12.32
Piso 3	X2	X	-1.03	7.24	9.04
Piso 3	X3	X	-1.33	1.30	1.26
Piso 3	X4	X	0.19	0.81	0.61
Piso 3	X5	X	-0.61	0.14	-0.10
Piso 3	X6	X	0.30	10.15	12.06
Piso 3	X7	X	-0.13	1.73	1.62
Piso 3	Y01	X	1.66	1.54	1.40
Piso 3	Y02	X	0.23	-0.88	-0.86
Piso 3	Y03	X	-1.46	-0.80	-0.41
Piso 3	Y04	X	0.43	-1.63	-2.18
Piso 3	Y05	X	0.16	0.29	0.30
Piso 3	Y06	X	-0.21	1.75	2.20
Piso 3	Y07	X	0.14	-1.64	-1.87
Piso 3	Y08	X	0.08	0.19	0.22
Piso 3	Y09	X	-0.41	2.64	2.96
Piso 3	Y10	X	0.46	-3.34	-3.94
Piso 3	Y11	X	-1.01	7.09	8.53
Piso 3	Y12	X	-0.06	-4.80	-6.15
Piso 3	Y13	X	0.84	-2.65	-3.34
Piso 3	Y14	X	0.53	1.23	1.36
Piso 3	Y15	X	-0.87	2.05	2.55
Piso 3	Y16	X	-0.31	-1.03	-1.10
Piso 3	Y17	X	0.02	0.70	0.83
Piso 3	Y18	X	-0.31	-0.61	-0.62

Asimismo, para un sismo en dirección Y se obtienen los siguientes valores:

Tabla 24. Fuerzas obtenidas en los muros de albañilería para un sismo en dirección Y-Y en el piso 3

Piso	Muro	Sismo	P	V2	M3
			tonf	tonf	tonf-m
Piso 3	X1	Y	-0.36	0.15	0.18
Piso 3	X2	Y	-0.31	-0.31	-0.36
Piso 3	X3	Y	-0.01	-0.19	-0.21
Piso 3	X4	Y	-0.03	0.17	0.18
Piso 3	X5	Y	0.02	-0.03	-0.04
Piso 3	X6	Y	-0.27	0.38	0.29
Piso 3	X7	Y	0.20	-0.17	-0.24
Piso 3	Y01	Y	-0.30	1.78	2.16

Piso 3	Y02	Y	-0.02	0.97	1.32
Piso 3	Y03	Y	-0.32	2.11	2.57
Piso 3	Y04	Y	-0.11	2.72	3.30
Piso 3	Y05	Y	-0.14	0.16	0.11
Piso 3	Y06	Y	-0.11	3.22	3.89
Piso 3	Y07	Y	0.00	2.53	3.03
Piso 3	Y08	Y	0.03	0.11	0.09
Piso 3	Y09	Y	-0.02	2.93	3.50
Piso 3	Y10	Y	0.03	3.05	3.65
Piso 3	Y11	Y	0.02	3.63	4.36
Piso 3	Y12	Y	0.16	2.69	3.27
Piso 3	Y13	Y	-0.10	-0.02	-0.07
Piso 3	Y14	Y	0.23	0.24	0.23
Piso 3	Y15	Y	0.23	2.97	3.63
Piso 3	Y16	Y	0.30	1.08	1.31
Piso 3	Y17	Y	0.04	0.37	0.48
Piso 3	Y18	Y	0.38	1.22	1.47

Capacidad del muro

Con la finalidad de determinar los muros que requieren reforzamiento se calcula la resistencia a corte de los distintos muros. Para unidades de arcilla (Según el artículo 26 de la norma E.070) se tiene que la capacidad del muro esta descrita por la siguiente fórmula:

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

De la misma forma (Según el artículo 26 de la norma E.070) el valor de alfa queda descrita por la siguiente fórmula:

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

$$2 \leq V_{mi}/V_{ei} \leq 3$$

Asimismo, (Según el artículo 27 de la norma E.070) se tiene las fórmulas para calcular las fuerzas máximas teóricas a las que se somete el muro.

$$V_{ui} = V_{ei} * \frac{V_{mi}}{V_{ei}}$$

$$M_{ui} = M_{ei} * \frac{V_{mi}}{V_{ei}}$$

Tomando como ejemplo al muro X1 correspondiente al piso 1:

En primer lugar, se calcula el valor de “ α ” para después poder determinar la capacidad del muro.

$$\alpha = \frac{V_e * L}{M_e} = \frac{14.54 * 3.20}{22.22} = 2.09$$

El máximo valor permitido para “ α ” es 1, por lo que se tomará este valor para el resto de los cálculos.

$$\alpha = 1$$

Se determina el valor de la fuerza cortante que es capaz de soportar el muro.

$$V_m = 0.5 * 7.2 * 1 * 0.15 * 3.20 * 10 + 0.23 * 8.32 = 19.19 \text{ Ton}$$

$$0.55 V_m = 0.55 * 19.19 \text{ Ton} = 10.56 \text{ Ton}$$

Se calcula la relación entre la resistencia del muro y la fuerza elástica a la que es sometida.

$$V_{mi}/V_{ei} = 19.19/14.54 = 1.32$$

El valor mínimo para la relación V_{mi}/V_{ei} es 2, por lo que se continuarán los cálculos con este valor.

$$V_{mi}/V_{ei} = 2$$

De esa manera se calculan las fuerzas últimas correspondientes al muro “X1”.

$$V_{ui} = 14.54 * 2 = 29.09 \text{ Ton}$$

$$M_{ui} = 22.22 * 2 = 44.43 \text{ Ton}$$

Se realiza una comparación entre la fuerza demandada por el sismo, y la fuerza cortante capaz de resistir el muro, con lo que se apreciará si necesita refuerzo.

$$V_u = 29.09 \text{ Ton} > V_m = 19.19 \text{ Ton}$$

Como se observa en los resultados para el primer muro, la fuerza ultima es mayor que la capacidad del muro, por lo que requiere reforzamiento. El proceso anterior se repite para el resto de los muros, con lo que se obtiene las siguientes tablas:

Piso 1

Para la dirección X

Tabla 25. Fuerzas obtenidas y resistencia de los muros de albañilería para un sismo con dirección X-X en el piso 1

Muro	L (m)	Pg (T)	Ve (T)	Me (Tm)	Alfa	Vm (T)	0.55 Vm	Vm1 /Vel	Vu (T)	Mu (Tm)	
X1	3.20	8.32	14.54	22.22	1.00	19.19	10.56	2.00	29.09	44.43	A reforzar
X2	2.65	6.02	11.79	17.20	1.00	15.69	8.63	2.00	23.57	34.41	A reforzar
X3	1.65	4.24	5.46	8.80	1.00	9.88	5.44	2.00	10.93	17.61	A reforzar
X4	2.20	5.31	7.67	15.00	1.00	13.10	7.21	2.00	15.35	29.99	A reforzar
X5	1.65	4.29	5.04	8.93	0.93	9.28	5.11	2.00	10.08	17.87	cumple
X6	2.65	9.51	16.76	28.94	1.00	16.50	9.07	2.00	33.53	57.88	A reforzar
X7	2.20	3.62	11.28	22.15	1.00	12.71	6.99	2.00	22.57	44.29	A reforzar
Y01	3.40	9.32	-1.03	-4.18	0.84	17.56	9.66	3.00	3.10	12.54	cumple
Y02	3.40	11.71	-0.05	0.82	0.33	8.81	4.85	3.00	0.16	2.47	cumple
Y03	3.40	7.20	1.49	4.26	1.00	20.02	11.01	3.00	4.47	12.79	cumple
Y04	3.40	9.58	-2.00	-3.12	1.00	20.56	11.31	3.00	5.99	9.37	cumple
Y05	1.70	7.84	0.18	0.22	1.00	10.98	6.04	3.00	0.55	0.67	cumple
Y06	3.40	7.89	1.96	3.64	1.00	20.17	11.10	3.00	5.89	10.92	cumple
Y07	2.90	7.97	-1.42	-2.48	1.00	17.49	9.62	3.00	4.25	7.44	cumple
Y08	2.90	13.65	0.23	0.42	1.00	18.80	10.34	3.00	0.68	1.27	cumple
Y09	2.90	6.61	1.71	2.78	1.00	17.18	9.45	3.00	5.14	8.35	cumple
Y10	3.50	10.18	-2.44	-2.98	1.00	21.24	11.68	3.00	7.31	8.94	cumple
Y11	3.50	8.24	4.23	2.38	1.00	20.79	11.44	3.00	12.70	7.15	cumple
Y12	3.50	9.58	-3.54	-2.27	1.00	21.10	11.61	3.00	10.63	6.81	cumple
Y13	2.90	6.49	-2.00	-1.82	1.00	17.15	9.43	3.00	6.01	5.45	cumple
Y14	1.30	4.99	0.43	0.44	1.00	8.17	4.49	3.00	1.29	1.32	cumple
Y15	3.50	8.69	2.23	4.04	1.00	20.90	11.49	3.00	6.69	12.11	cumple
Y16	2.90	6.18	-1.21	-2.59	1.00	17.08	9.39	3.00	3.62	7.76	cumple
Y17	2.90	10.14	0.37	0.41	1.00	17.99	9.90	3.00	1.10	1.22	cumple
Y18	2.90	7.01	0.90	2.92	0.90	15.70	8.63	3.00	2.71	8.75	cumple

Para la dirección Y:

Tabla 26. Fuerzas obtenidas y resistencia de los muros de albañilería para un sismo con dirección Y-Y en el piso 1

Muro	L (m)	Pg (T)	Ve (T)	Me (Tm)	Alfa	Vm (T)	0.55 Vm	Vm1 /Vel	Vu (T)	Mu (Tm)	
X1	3.20	8.32	-0.23	-0.42	1.00	19.19	10.56	3.00	0.70	1.25	cumple
X2	2.65	6.02	-0.36	-0.31	1.00	15.69	8.63	3.00	1.07	0.92	cumple
X3	1.65	4.24	-0.07	-0.06	1.00	9.88	5.44	3.00	0.21	0.17	cumple
X4	2.20	5.31	0.05	0.09	1.00	13.10	7.21	3.00	0.14	0.26	cumple
X5	1.65	4.29	-0.04	0.01	0.33	3.96	2.18	3.00	0.11	0.04	cumple
X6	2.65	9.51	0.31	0.90	0.93	15.46	8.50	3.00	0.94	2.69	cumple
X7	2.20	3.62	0.30	0.77	0.86	11.06	6.08	3.00	0.91	2.31	cumple
Y01	3.40	9.32	4.48	6.39	1.00	20.50	11.28	3.00	13.43	19.18	cumple
Y02	3.40	11.71	4.46	6.92	1.00	21.05	11.58	3.00	13.39	20.76	cumple
Y03	3.40	7.20	4.95	7.05	1.00	20.02	11.01	3.00	14.85	21.16	cumple
Y04	3.40	9.58	4.87	6.09	1.00	20.56	11.31	3.00	14.61	18.27	cumple
Y05	1.70	7.84	1.72	2.52	1.00	10.98	6.04	3.00	5.16	7.57	cumple
Y06	3.40	7.89	5.39	6.71	1.00	20.17	11.10	3.00	16.17	20.14	cumple
Y07	2.90	7.97	4.20	5.15	1.00	17.49	9.62	3.00	12.59	15.45	cumple
Y08	2.90	13.65	3.36	5.68	1.00	18.80	10.34	3.00	10.09	17.04	cumple
Y09	2.90	6.61	4.64	5.69	1.00	17.18	9.45	3.00	13.92	17.06	cumple
Y10	3.50	10.18	5.07	6.23	1.00	21.24	11.68	3.00	15.21	18.70	cumple
Y11	3.50	8.24	5.66	6.85	1.00	20.79	11.44	3.00	16.99	20.54	cumple
Y12	3.50	9.58	4.96	6.31	1.00	21.10	11.61	3.00	14.89	18.93	cumple
Y13	2.90	6.49	1.23	1.70	1.00	17.15	9.43	3.00	3.69	5.11	cumple
Y14	1.30	4.99	1.29	1.76	0.95	7.84	4.31	3.00	3.88	5.29	cumple
Y15	3.50	8.69	5.45	7.01	1.00	20.90	11.49	3.00	16.34	21.04	cumple
Y16	2.90	6.18	3.66	5.29	1.00	17.08	9.39	3.00	10.99	15.88	cumple
Y17	2.90	10.14	3.55	5.62	1.00	17.99	9.90	3.00	10.66	16.86	cumple
Y18	2.90	7.01	3.98	5.83	1.00	17.27	9.50	3.00	11.93	17.49	cumple

Piso 2

Dirección X:

Tabla 27. Fuerzas obtenidas y resistencia de los muros de albañilería para un sismo con dirección X-X en el piso 2

Muro	L (m)	Pg (T)	Ve (T)	Me (Tm)	Alfa	Vm (T)	0.55 Vm	Vm1 /Vel	Vu (T)	Mu (Tm)	
X1	3.20	5.69	15.03	20.28	1.00	18.59	10.22	2.00	30.06	40.57	A reforzar
X2	2.65	4.10	11.77	15.57	1.00	15.25	8.39	2.00	23.55	31.13	A reforzar
X3	1.65	2.90	3.16	3.99	1.00	9.58	5.27	2.00	6.32	7.98	cumple
X4	2.20	3.63	4.19	5.77	1.00	12.72	6.99	2.00	8.38	11.55	cumple
X5	1.65	2.90	2.01	2.52	1.00	9.58	5.27	2.00	4.02	5.04	cumple

X6	2.65	6.44	16.22	21.51	1.00	15.79	8.69	2.00	32.45	43.01	A reforzar
X7	2.20	2.49	6.92	9.78	1.00	12.45	6.85	2.00	13.84	19.57	A reforzar
Y01	3.40	6.25	0.13	-1.43	0.33	7.56	4.16	3.00	0.39	4.29	cumple
Y02	3.40	7.80	-0.43	-0.04	1.00	20.15	11.08	3.00	1.29	0.11	cumple
Y03	3.40	4.86	0.84	2.70	1.00	19.48	10.71	3.00	2.51	8.09	cumple
Y04	3.40	6.36	-2.35	-3.43	1.00	19.82	10.90	3.00	7.04	10.28	cumple
Y05	1.70	4.98	0.30	0.37	1.00	10.32	5.68	3.00	0.89	1.10	cumple
Y06	3.40	5.28	2.46	3.46	1.00	19.57	10.77	3.00	7.37	10.38	cumple
Y07	2.90	5.41	-1.74	-2.12	1.00	16.90	9.30	3.00	5.23	6.35	cumple
Y08	2.90	9.10	0.33	0.47	1.00	17.75	9.76	3.00	1.00	1.40	cumple
Y09	2.90	4.43	2.61	2.88	1.00	16.68	9.17	3.00	7.82	8.64	cumple
Y10	3.50	6.74	-3.55	-4.16	1.00	20.45	11.25	3.00	10.66	12.47	cumple
Y11	3.50	5.49	7.40	8.20	1.00	20.16	11.09	3.00	22.20	24.61	cumple
Y12	3.50	6.33	-5.53	-6.77	1.00	20.36	11.20	3.00	16.59	20.32	cumple
Y13	2.90	4.23	-3.63	-4.46	1.00	16.63	9.15	3.00	10.88	13.39	cumple
Y14	1.30	3.24	0.85	1.01	1.00	7.77	4.27	3.00	2.54	3.03	cumple
Y15	3.50	5.81	2.88	4.02	1.00	20.24	11.13	3.00	8.63	12.06	cumple
Y16	2.90	4.09	-1.45	-1.84	1.00	16.60	9.13	3.00	4.36	5.53	cumple
Y17	2.90	6.72	0.72	0.78	1.00	17.21	9.46	3.00	2.15	2.34	cumple
Y18	2.90	4.74	0.28	1.04	0.80	13.55	7.45	3.00	0.85	3.11	cumple

Dirección Y:

Tabla 28. Fuerzas obtenidas y resistencia de los muros de albañilería para un sismo con dirección Y-Y en el piso 2

Muro	L (m)	Pg (T)	Ve (T)	Me (Tm)	Alfa	Vm (T)	0.55 Vm	Vm1 /Ve1	Vu (T)	Mu (Tm)	
X1	3.20	5.69	-0.02	-0.05	1.00	18.59	10.22	3.00	0.06	0.15	cumple
X2	2.65	4.10	-0.39	-0.43	1.00	15.25	8.39	3.00	1.18	1.28	cumple
X3	1.65	2.90	-0.10	-0.09	1.00	9.58	5.27	3.00	0.30	0.27	cumple
X4	2.20	3.63	0.14	0.19	1.00	12.72	6.99	3.00	0.43	0.56	cumple
X5	1.65	2.90	-0.04	-0.05	1.00	9.58	5.27	3.00	0.12	0.15	cumple
X6	2.65	6.44	0.32	0.25	1.00	15.79	8.69	3.00	0.97	0.76	cumple
X7	2.20	2.49	0.06	0.12	1.00	12.45	6.85	3.00	0.19	0.36	cumple
Y01	3.40	6.25	3.56	4.56	1.00	19.80	10.89	3.00	10.69	13.67	cumple
Y02	3.40	7.80	3.11	4.44	1.00	20.15	11.08	3.00	9.33	13.31	cumple
Y03	3.40	4.86	4.09	5.23	1.00	19.48	10.71	3.00	12.27	15.69	cumple
Y04	3.40	6.36	4.43	5.42	1.00	19.82	10.90	3.00	13.29	16.25	cumple
Y05	1.70	4.98	0.78	0.89	1.00	10.32	5.68	3.00	2.34	2.68	cumple
Y06	3.40	5.28	5.08	6.17	1.00	19.57	10.77	3.00	15.24	18.52	cumple
Y07	2.90	5.41	3.92	4.68	1.00	16.90	9.30	3.00	11.75	14.05	cumple
Y08	2.90	9.10	1.81	2.52	1.00	17.75	9.76	3.00	5.42	7.57	cumple
Y09	2.90	4.43	4.46	5.33	1.00	16.68	9.17	3.00	13.38	16.00	cumple
Y10	3.50	6.74	4.73	5.67	1.00	20.45	11.25	3.00	14.19	17.02	cumple
Y11	3.50	5.49	5.50	6.59	1.00	20.16	11.09	3.00	16.50	19.77	cumple

Y12	3.50	6.33	4.45	5.48	1.00	20.36	11.20	3.00	13.36	16.45	cumple
Y13	2.90	4.23	0.42	0.49	1.00	16.63	9.15	3.00	1.26	1.46	cumple
Y14	1.30	3.24	0.60	0.69	1.00	7.77	4.27	3.00	1.80	2.06	cumple
Y15	3.50	5.81	4.97	6.18	1.00	20.24	11.13	3.00	14.90	18.53	cumple
Y16	2.90	4.09	2.63	3.38	1.00	16.60	9.13	3.00	7.89	10.15	cumple
Y17	2.90	6.72	2.15	3.00	1.00	17.21	9.46	3.00	6.45	9.00	cumple
Y18	2.90	4.74	2.95	3.80	1.00	16.75	9.21	3.00	8.84	11.40	cumple

Piso 3

Dirección X:

Tabla 29. Fuerzas obtenidas y resistencia de los muros de albañilería para un sismo con dirección X-X en el piso 3

Muro	L (m)	Pg (T)	Ve (T)	Me (Tm)	Alfa	Vm (T)	0.55 Vm	Vml /Vel	Vu (T)	Mu (Tm)	
X1	3.20	2.77	9.79	12.32	1.00	17.92	9.85	2.00	19.57	24.63	cumple
X2	2.65	2.06	7.24	9.04	1.00	14.78	8.13	2.00	14.49	18.09	cumple
X3	1.65	1.47	1.30	1.26	1.00	9.25	5.09	2.00	2.59	2.52	cumple
X4	2.20	1.83	0.81	0.61	1.00	12.30	6.77	2.00	1.62	1.23	cumple
X5	1.65	1.46	0.14	-0.10	0.33	3.31	1.82	2.00	0.28	0.20	cumple
X6	2.65	3.01	10.15	12.06	1.00	15.00	8.25	2.00	20.30	24.11	A reforzar
X7	2.20	1.33	1.73	1.62	1.00	12.18	6.70	2.00	3.46	3.24	cumple
Y01	3.40	3.08	1.54	1.40	1.00	19.07	10.49	3.00	4.62	4.20	cumple
Y02	3.40	3.96	-0.88	-0.86	1.00	19.27	10.60	3.00	2.64	2.58	cumple
Y03	3.40	2.52	-0.80	-0.41	1.00	18.94	10.42	3.00	2.39	1.22	cumple
Y04	3.40	3.24	-1.63	-2.18	1.00	19.11	10.51	3.00	4.88	6.55	cumple
Y05	1.70	2.77	0.29	0.30	1.00	9.82	5.40	3.00	0.86	0.91	cumple
Y06	3.40	2.78	1.75	2.20	1.00	19.00	10.45	3.00	5.26	6.59	cumple
Y07	2.90	2.77	-1.64	-1.87	1.00	16.30	8.96	3.00	4.91	5.61	cumple
Y08	2.90	4.56	0.19	0.22	1.00	16.71	9.19	3.00	0.56	0.65	cumple
Y09	2.90	2.22	2.64	2.96	1.00	16.17	8.89	3.00	7.92	8.87	cumple
Y10	3.50	3.41	-3.34	-3.94	1.00	19.69	10.83	3.00	10.02	11.83	cumple
Y11	3.50	2.62	7.09	8.53	1.00	19.50	10.73	3.00	21.26	25.59	cumple
Y12	3.50	3.19	-4.80	-6.15	1.00	19.63	10.80	3.00	14.40	18.46	cumple
Y13	2.90	1.99	-2.65	-3.34	1.00	16.12	8.86	3.00	7.96	10.03	cumple
Y14	1.30	1.86	1.23	1.36	1.00	7.45	4.10	3.00	3.68	4.09	cumple
Y15	3.50	2.95	2.05	2.55	1.00	19.58	10.77	3.00	6.15	7.65	cumple
Y16	2.90	2.00	-1.03	-1.10	1.00	16.12	8.87	3.00	3.09	3.31	cumple
Y17	2.90	3.14	0.70	0.83	1.00	16.38	9.01	3.00	2.10	2.49	cumple
Y18	2.90	2.40	-0.61	-0.62	1.00	16.21	8.92	3.00	1.82	1.87	cumple

Dirección Y:

Tabla 30. Fuerzas obtenidas y resistencia de los muros de albañilería para un sismo con dirección Y-Y en el piso 3

Muro	L (m)	Pg (T)	Ve (T)	Me (Tm)	Alfa	Vm (T)	0.55 Vm	Vm1 /Ve1	Vu (T)	Mu (Tm)	
X1	3.20	2.77	0.15	0.18	1.00	17.92	9.85	3.00	0.46	0.54	cumple
X2	2.65	2.06	-0.31	-0.36	1.00	14.78	8.13	3.00	0.93	1.09	cumple
X3	1.65	1.47	-0.19	-0.21	1.00	9.25	5.09	3.00	0.58	0.62	cumple
X4	2.20	1.83	0.17	0.18	1.00	12.30	6.77	3.00	0.50	0.54	cumple
X5	1.65	1.46	-0.03	-0.04	1.00	9.25	5.09	3.00	0.09	0.11	cumple
X6	2.65	3.01	0.38	0.29	1.00	15.00	8.25	3.00	1.15	0.88	cumple
X7	2.20	1.33	-0.17	-0.24	1.00	12.18	6.70	3.00	0.51	0.71	cumple
Y01	3.40	3.08	1.78	2.16	1.00	19.07	10.49	3.00	5.34	6.49	cumple
Y02	3.40	3.96	0.97	1.32	1.00	19.27	10.60	3.00	2.90	3.96	cumple
Y03	3.40	2.52	2.11	2.57	1.00	18.94	10.42	3.00	6.33	7.71	cumple
Y04	3.40	3.24	2.72	3.30	1.00	19.11	10.51	3.00	8.16	9.89	cumple
Y05	1.70	2.77	0.16	0.11	1.00	9.82	5.40	3.00	0.48	0.33	cumple
Y06	3.40	2.78	3.22	3.89	1.00	19.00	10.45	3.00	9.66	11.66	cumple
Y07	2.90	2.77	2.53	3.03	1.00	16.30	8.96	3.00	7.60	9.09	cumple
Y08	2.90	4.56	0.11	0.09	1.00	16.71	9.19	3.00	0.33	0.27	cumple
Y09	2.90	2.22	2.93	3.50	1.00	16.17	8.89	3.00	8.79	10.51	cumple
Y10	3.50	3.41	3.05	3.65	1.00	19.69	10.83	3.00	9.15	10.96	cumple
Y11	3.50	2.62	3.63	4.36	1.00	19.50	10.73	3.00	10.89	13.08	cumple
Y12	3.50	3.19	2.69	3.27	1.00	19.63	10.80	3.00	8.08	9.80	cumple
Y13	2.90	1.99	-0.02	-0.07	0.78	12.71	6.99	3.00	0.06	0.20	cumple
Y14	1.30	1.86	0.24	0.23	1.00	7.45	4.10	3.00	0.71	0.69	cumple
Y15	3.50	2.95	2.97	3.63	1.00	19.58	10.77	3.00	8.90	10.88	cumple
Y16	2.90	2.00	1.08	1.31	1.00	16.12	8.87	3.00	3.25	3.94	cumple
Y17	2.90	3.14	0.37	0.48	1.00	16.38	9.01	3.00	1.12	1.44	cumple
Y18	2.90	2.40	1.22	1.47	1.00	16.21	8.92	3.00	3.66	4.41	cumple

De los cuadros anteriores se puede observar que la vivienda solo presenta inconvenientes cuando el sismo ocurre en la dirección “X”, y los muros que se deben reforzar son precisamente los correspondientes a esta dirección.

Resistencia a flexión

Asimismo, se calcula la resistencia a flexión del muro, el cual depende del acero longitudinal colocado en las columnas de confinamiento. Para ello se consideró que en la vivienda se utilizó 4 Ø 1/2 y 2 Ø 3/8 como acero longitudinal en sus columnas. Para lo cual se tiene la siguiente fórmula, con la que se puede despejar el valor de la cortante por flexión.

$$M = Vf * h = As * fy * L'$$

Para cada uno de los muros se tiene como datos los valores mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 31. Características del acero en las columnas de confinamiento y altura correspondiente

Acero (cm²)	6.58
h (m)	2.30
fy (kg/cm²)	4200

Se reemplazan los datos en la fórmula previamente mostrada, para después poder despejar el valor de resistencia a flexión.

$$Vf * 2.30 = 6.58 * 4200 * 3.20$$

$$Vf = 38.45 \text{ Ton}$$

Se repite el mismo procedimiento para el resto de los muros, con lo que se obtienen los valores mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 32. Cuadro resumen de resistencia a flexión de muros de albañilería

Muro	L (m)	Vf (T)
X1	3.20	38.45
X2	2.65	31.84
X3	1.65	19.83
X4	2.20	26.43
X5	1.65	19.83
X6	2.65	31.84
X7	2.20	26.43
Y01	3.40	40.85
Y02	3.40	40.85
Y03	3.40	40.85
Y04	3.40	40.85
Y05	1.70	20.43
Y06	3.40	40.85
Y07	2.90	34.85
Y08	2.90	34.85
Y09	2.90	34.85
Y10	3.50	42.05
Y11	3.50	42.05
Y12	3.50	42.05
Y13	2.90	34.85
Y14	1.30	15.62

Y15	3.50	42.05
Y16	2.90	34.85
Y17	2.90	34.85
Y18	2.90	34.85

De la tabla 32 se verifica que la resistencia a flexión en cada uno de los muros es mayor que la resistencia a cortante, por lo que se deduce que las fallas estarán delimitadas por el valor de fuerza cortante y por consiguiente serán fallas por corte.

5.8. Fuerzas en los muros de albañilería con refuerzo

Siguiendo la línea de investigación se procede a estimar la resistencia de cada uno de los muros, con la finalidad de obtener su comportamiento una vez reforzados, y teniendo como base estos resultados seleccionar finalmente el método adecuado para realizar este reforzamiento.

Para esto se tomaron como referencia estudios anteriores en los cuales el reforzamiento se dio luego de que el muro fue ensayado, sin embargo, esta investigación se centra directamente en el reforzamiento antes de la falla, esto con la finalidad de que los elementos analizados soporten la sollicitación sísmica indicada.

Para analizar el reforzamiento de muros por cada uno de los métodos fue necesario primero estimar el déficit en la capacidad de Resistencia a la Carga Lateral de cada muro.

$$\text{Resistencia faltante} = V_u - V_m$$

Piso 1

Tabla 33. Resistencia faltante en muros de albañilería del piso 1 que requieren refuerzo

Muro	V _m (Ton)	V _u (Ton)	Resistencia faltante (Ton)
X1	19.19	29.09	9.90
X2	15.69	23.57	7.88
X3	9.88	10.93	1.04
X4	13.10	15.35	2.25
X6	16.50	33.53	17.03
X7	12.71	22.57	9.86

Piso 2

Tabla 34. Resistencia faltante en muros de albañilería del piso 2 que requieren refuerzo

Muro	V _m (T)	V _u (T)	Resistencia faltante (Ton)
X1	18.59	30.06	11.47
X2	15.25	23.55	8.29
X6	15.79	32.45	16.66
X7	12.45	13.84	1.39

Piso 3

Tabla 35. Resistencia faltante en muros de albañilería del piso 3 que requieren refuerzo

Muro	V _m (T)	V _u (T)	Resistencia faltante (Ton)
X6	15.00	20.30	5.30

5.8.1. Malla de acero galvanizado

Para analizar el reforzamiento por Malla de Acero Galvanizado fue necesario primero estimar el déficit en la capacidad de Resistencia a la Carga Lateral de cada muro, una vez conocida esta diferencia y teniendo como datos el diámetro de las barras de acero que conformaran la malla de Acero Galvanizado, además del valor del esfuerzo de fluencia del acero se procedió a analizar el diámetro óptimo para las mallas de Acero Galvanizado, así como el número de estas que requerirá el muro.

A continuación, se muestra el procedimiento seguido para el muro denominado X1 y luego un cuadro resumen para todos los muros que requieran reforzamiento:

Tabla 36. Características de las varillas utilizadas para reforzamiento con malla de acero galvanizado

Diámetro (mm)	4.7
F _y (kg/cm ²)	4200

En primer lugar, se determina el área que tiene una varilla, para después poder determinar la resistencia que tiene cada una de ellas.

$$\text{Área de la varilla} = \frac{\pi * d^2}{4} = 17.35mm^2$$

$$\text{Resistencia por varilla} = f_y A_s = 728.7 \text{ kg}$$

Entonces para determinar el número de varillas se divide la resistencia que se requiere entre lo que resiste cada una de las varillas, además se tiene como dato que para el primer muro se desea aumentar la resistencia en 9.90 Ton.

$$\text{Número de varillas} = \frac{\text{Resistencia requerida}}{\text{Resistencia por varilla}} = \frac{9.90}{0.73} = 13.6 \approx 14$$

Para determinar el espaciamiento que se debe tener entre varillas se divide la altura total del muro entre el número de varillas, con lo que se obtiene el siguiente espaciamiento:

$$\text{Espaciamiento} = 2.20 / 14 = 15.7 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm}$$

Se repite el procedimiento anterior para cada uno de los muros que requieren reforzamiento con lo que se obtienen los siguientes valores para los diferentes pisos:

Piso 1

Tabla 37. Cuadro resumen de número de varillas horizontales requerido para cada muro del piso 1

Muro	Capacidad Faltante (Ton)	Número de varillas requerido	Separación (m)
X1	9.90	14	0.15
X2	7.88	11	0.20
X3	1.04	1	2.20
X4	2.25	2	1.10
X6	0.80	12	0.18
X7	17.03	14	0.15

Piso 2

Tabla 38. Cuadro resumen de número de varillas horizontales requerido para cada muro del piso 2

Muro	Capacidad Faltante (Ton)	Número de varillas requerido	Separación (m)
X1	11.47	16	0.13
X2	8.29	12	0.18
X3	16.66	12	0.18
X4	1.39	2	1.10

Piso 3

Tabla 39. Cuadro resumen de número de varillas horizontales requerido para cada muro del piso 3

Muro	Capacidad Faltante (Ton)	Número de varillas requerido	Separación (m)
X6	5.30	4	0.55

5.8.2. Malla electrosoldada

Para analizar el reforzamiento por Malla electrosoldada fue necesario primero estimar el déficit en la capacidad de Resistencia a la Carga Lateral de cada muro, una vez conocida esta diferencia y teniendo como datos el diámetro de las barras de acero que conformaran la malla electrosoldada y las dimensiones comerciales en las cuales se presentan dichas mallas, presentes en los catálogos, además del valor del esfuerzo de fluencia del acero se procedió a analizar el tipo de malla electrosoldada así como el número de estas que requerirá el muro.

A continuación, se muestra el procedimiento seguido para el muro denominado X1 y luego un cuadro resumen para todos los muros que requieran reforzamiento:

Para el cálculo de la resistencia se tomó en consideración 3 mallas del catálogo de PRODAC en la sección de especificaciones técnicas. Las primeras tres mallas resultaron suficiente para cubrir la resistencia requerida en toda la primera planta.

Tabla 40. Características de mallas electrosoldadas utilizadas para reforzamiento

Descripción	Medidas (m)	Cocada (mm)	Diámetro (mm)
Malla Soldada R-80	2.40 x 6.00	200 x 330	4.5/3.0
Malla Soldada QE-106	2.40 x 5.00	150 x 150	4.50

Para la malla R-80 con diámetro de 3mm se tienen las siguientes especificaciones mostradas en la tabla 40. Teniendo en consideración los valores de la primera malla, se mostrarán los cálculos utilizados para determinar la resistencia.

Inicialmente se calculará el área de la varilla y la resistencia de cada una de ellas trabajando individualmente.

$$\text{Área de la varilla} = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 3^2}{4} = 7.07mm^2$$

$$\text{Resistencia por varilla} = f_y A_s = 296.9 \text{ kg}$$

Posteriormente se calculará el número de varillas dividiendo la altura del muro entre el espaciamiento indicado en la tabla 40.

$$\text{Número de varillas} = h/s = 2.2/0.2 = 11$$

Finalmente se calcula la resistencia de las varillas actuando en conjunto.

$$\text{Resistencia} = 296.9 * 11 = 3.27 \text{ Ton}$$

Tabla 41. Resistencias de las mallas electrosoldadas utilizadas para reforzamiento

Malla	Resistencia (Ton)
R80-3	3.27
R80-4.5	8.02
QE106	10.68

Al poder colocar las mallas en ambas caras del elemento, solo se necesita cubrir la mitad de la capacidad faltante del muro. De esta manera se escogió la malla más adecuada para cada muro como se indica en las tablas 42, 43 y 44.

Piso 1

Tabla 42. Cuadro resumen de tipo de malla escogida para cada muro del piso 1

Muro	Capacidad Faltante (Ton)	Resistencia demandada por malla (Ton)	Malla escogida
X1	9.90	4.95	R80-4.5
X2	7.88	3.94	R80-4.5
X3	1.04	0.52	R80-3
X4	2.25	1.12	R80-3
X5	0.80	0.40	R80-3
X6	17.03	8.51	QE106
X7	9.86	4.93	R80-4.5

Piso 2

Tabla 43. Cuadro resumen de tipo de malla escogida para cada muro del piso 2

Muro	Capacidad Faltante (Ton)	Resistencia demandada por malla (Ton)	Malla escogida
X1	11.47	5.74	R80-4.5

X2	8.29	4.15	R80-4.5
X6	16.66	8.33	QE106
X7	1.39	0.70	R80-3

Piso 3

Tabla 44. Cuadro resumen de tipo de malla escogida para cada muro del piso 3

Muro	Capacidad Faltante (Ton)	Resistencia demandada por malla (Ton)	Malla escogida
X6	5.30	2.65	R80-3

5.8.3. Fibra de vidrio

Para analizar el reforzamiento mediante varillas GFRP fue necesario primero estimar el déficit en la capacidad de Resistencia a la Carga Lateral de cada muro, una vez conocida esta diferencia y teniendo como datos los diámetros nominales de las varillas GFRP que conformarán el refuerzo longitudinal, la resistencia a la tracción de las varillas GFRP, ambas presentes en las especificaciones técnicas, el número de hiladas presentes en cada muro y las longitudes comerciales en las cuales se presentan dichas varillas, se procedió a analizar el aporte de Resistencia a la Carga Lateral por cada varilla y con esta se pudo obtener el número de varillas GFRP que requerirá el muro.

A continuación, se muestra el procedimiento seguido para el muro denominado X1 y luego un cuadro resumen para todos los muros que requieran reforzamiento:

Tabla 45. Características de las varillas de fibra de vidrio utilizadas para reforzamiento

Diámetro (mm)	6.25
Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	8435

Se calcula inicialmente el área de la varilla de fibra de vidrio y su resistencia nominal.

$$\text{Área de la varilla} = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 6.25^2}{4} = 30.68mm^2$$

$$\text{Resistencia nominal de varilla} = \text{Resistencia} * A_s = 8.435 * 0.0301 = 2.59 \text{ Ton}$$

El valor obtenido será reducido mediante un factor de seguridad igual a 3, debido al tipo de falla que puede ocurrir, la cual es tipo corte.

$$Resistencia\ por\ varilla = \frac{Resistencia\ nominal\ de\ franja}{F.S.} = \frac{2.59}{3} = 0.86\ Ton$$

Finalmente se calcula el número de varillas necesarias para satisfacer la resistencia requerida.

$$Número\ de\ varillas = \frac{Resistencia\ requerida}{Resistencia\ por\ varilla} = \frac{9.90}{0.86} = 11.51 \approx 12$$

Se repite el mismo procedimiento para el resto de los muros para los distintos pisos y se obtienen las siguientes tablas:

Piso 1

Tabla 46. Cuadro resumen de número de varillas de fibra de vidrio requerido para cada muro del piso 1

Muro	Capacidad Faltante (Ton)	Número de varillas
X1	9.90	12
X2	7.88	10
X3	1.04	2
X4	2.25	3
X6	17.03	20
X7	9.86	12

Piso 2

Tabla 47. Cuadro resumen de número de varillas de fibra de vidrio requerido para cada muro del piso 2

Muro	Capacidad Faltante	Número de varillas
X1	11.47	14
X2	8.29	10
X6	16.66	20
X7	1.39	2

Piso 3

Tabla 48. Cuadro resumen de número de varillas de fibra de vidrio requerido para cada muro del piso 3

Muro	Capacidad Faltante	Número de varillas
X6	5.30	7

Una vez obtenido el número de varillas en cada uno de los muros se calcula la longitud de varilla requerida para cada uno de los muros. Para ello se multiplica la longitud de cada muro por el número de varillas correspondientes a cada uno de ellos. Finalmente se suman todas las longitudes parciales obtenidas para hallar la longitud total requerida.

Tabla 49. Cuadro resumen de longitud de varillas de fibra de vidrio a utilizar

Piso	Muro	L(m)	Número de varillas	Longitud Parcial
Piso 1	X1	3.20	12	38.40
Piso 1	X2	2.65	10	26.50
Piso 1	X3	1.65	2	3.30
Piso 1	X4	2.20	3	6.60
Piso 1	X6	2.65	20	53.00
Piso 1	X7	2.20	12	26.40
Piso 2	X1	3.20	14	44.80
Piso 2	X2	2.65	10	26.50
Piso 2	X6	2.65	20	53.00
Piso 2	X7	2.20	2	4.40
Piso 3	X6	2.65	7	18.55
Total				303.10
+ 5% de desperdicio				318.25

De esa manera considerando un 5% adicional al valor obtenido se obtiene una longitud total de 325 m.

5.8.4. Fibra de carbono

Para analizar el reforzamiento mediante Fibra de carbono fue necesario primero estimar el déficit en la capacidad de Resistencia a la Carga Lateral de cada muro, una vez conocida esta diferencia y teniendo como datos la longitud y el ancho nominales de la Fibra de carbono que conformaran el refuerzo longitudinal, la resistencia a la tracción de la Fibra de carbono, todas presentes en las especificaciones técnicas, y las dimensiones de los muros, se procedió a analizar el aporte de Resistencia a la Carga Lateral por franja de Fibra de carbono y con esta se pudo obtener el ancho de cada franja así como el número de franjas de Fibra de carbono que requerirá el muro.

A continuación, se muestra el procedimiento seguido para el muro denominado X1 y luego un cuadro resumen para todos los muros que requieran reforzamiento:

Inicialmente se considera dividir las franjas en trozos de 10cm, por lo que se presenta una reducción con respecto a la capacidad inicial de la fibra de carbono.

Tabla 50. Características del material utilizado para reforzamiento con fibra de carbono

Espesor (mm)	0.165
Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	38749

Se calcula el área correspondiente a la franja de 10 cm y además se calcula la resistencia nominal de cada una de ellas.

$$\text{Área} = t * \text{ancho} = 0.165 \text{ cm}^2$$

$$\text{Resistencia nominal de franja} = \text{Área} * \text{Resistencia} = 6.39 \text{ Ton}$$

Después, aplicando el factor de seguridad correspondiente, debido a que se tiene una falla frágil se calcula la resistencia por franja.

$$\text{Resistencia por franja} = \frac{\text{Resistencia nominal de franja}}{F.S.} = \frac{6.39}{3} = 2.13 \text{ Ton}$$

Posteriormente se calcula el número de franjas necesarias para cumplir la resistencia requerida.

$$\text{Número de franjas} = \frac{\text{Resistencia requerida}}{\text{Resistencia por franja}} = \frac{9.90}{2.13} = 4.65 \approx 5$$

Se repite el mismo procedimiento para el resto de los muros en los diferentes pisos y se obtienen las siguientes tablas:

Piso 1

Tabla 51. Cuadro resumen de número de franjas de fibra de carbono requerido para cada muro del piso 1

Muro	Capacidad Faltante	Número de franjas
X1	9.90	5
X2	7.88	4
X3	1.04	1
X4	2.25	2
X6	17.03	8
X7	9.86	5

Piso 2

Tabla 52. Cuadro resumen de número de franjas de fibra de carbono requerido para cada muro del piso 2

Muro	Capacidad Faltante	Número de franjas
X1	11.47	6
X2	8.29	4
X6	16.66	8
X7	1.39	1

Piso 3

Tabla 53. Cuadro resumen de número de franjas de fibra de carbono requerido para cada muro del piso 3

Muro	Capacidad Faltante	Número de franjas
X6	5.25	3

Se calcula la longitud de la fibra de carbono final a utilizar en la vivienda.

Tabla 54. Cuadro resumen de longitud de fibra de carbono total a utilizar

Piso	Muro	L(m)	Número de franjas	Longitud Parcial
Piso 1	X1	3.20	5	16.00
Piso 1	X2	2.65	4	10.60
Piso 1	X3	1.65	1	1.65
Piso 1	X4	2.20	2	4.40
Piso 1	X6	2.65	8	21.20
Piso 1	X7	2.20	5	11.00
Piso 2	X1	3.20	6	19.20
Piso 2	X2	2.65	4	10.60
Piso 2	X6	2.65	8	21.20
Piso 2	X7	2.20	1	2.20
Piso 3	X6	2.65	3	7.95
Total				126.00
+ 5% de desperdicio				132.30

La cantidad final de material requerido son 132.3 m para reforzar toda la vivienda. Como se describió previamente el ancho del material es de 50cm y se está dividiendo en cinco partes de 10 cm cada una. Es por ello que se requerirá utilizar la quinta parte del valor obtenido, es decir, alrededor de 30m de fibra de carbono en total.

CAPÍTULO 6: ELABORACIÓN DE LA PROPUESTA TÉCNICA

6.1. Metodología

En primer lugar, para implementar algún tipo de reforzamiento es imprescindible conocer las características de la vivienda. Para ello es necesario determinar las propiedades de los materiales que se utilizaron al momento de construir la vivienda, así como también la distribución de los ambientes, para después crear un plano que represente a la vivienda, en caso la vivienda no cuente con ninguno. Posteriormente se revisará que cumpla con los requerimientos indicados en la norma, con lo cual se determinará los puntos débiles que presenta la vivienda.

En segundo lugar, se seleccionarán los muros que no cumplan con los requerimientos indicados en la norma, y se analizará la implementación de cada metodología individualmente a cada muro que necesite reforzamiento.

En tercer lugar, con la información obtenida del planteamiento anterior se procederá a evaluar el coste individual de cada método de reforzamiento analizado en el paso anterior para cada uno de los muros seleccionados.

Finalmente, se seleccionará el método de reforzamiento para cada muro individualmente que cubra de manera más eficiente el déficit en la capacidad de Resistencia a la Carga Lateral abarcando una perspectiva tanto técnica como económica.

6.1.1. Plano indicando muros a reforzar.

Después de realizar el análisis sísmico en el programa ETABS, y compararlo con la resistencia de cada uno de los muros se determinó los muros a reforzar. En la Figura 45 se aprecia cada uno de los muros que requieren reforzamiento, los cuales corresponden al primer piso de la edificación.

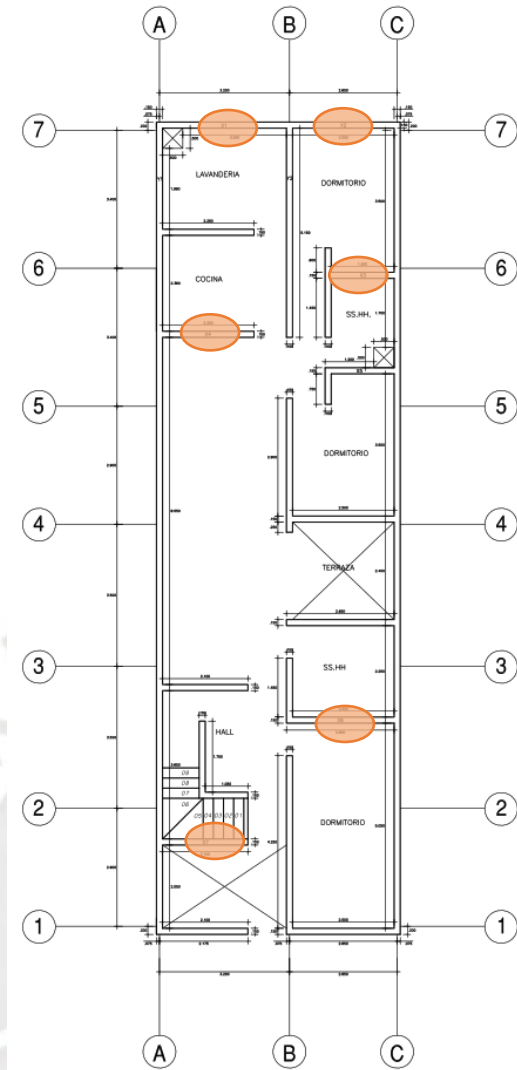


Figura 45. Plano de la primera planta de la vivienda indicando los muros a reforzar (Fuente: Propia)

6.2. Presupuesto

Se realiza un metrado de cada uno de los muros existentes en los distintos pisos, para determinar la cantidad de material a utilizar en cada uno de ellos.

Tabla 55. Descripción y metrado de muros de albañilería del primer piso que requieren reforzamiento

PARTIDA	MUROS DE ALBAÑILERÍA					UNIDAD	M2	
	ELEMENTO	Descripción	Cantidad	Nº Caras	Largo (m)			Ancho (m)
X1	EXTERIOR		1.00	1.00	3.05	0.15	2.20	6.71
X2	EXTERIOR		1.00	1.00	2.50	0.15	2.20	5.50
X3	INTERIOR		1.00	2.00	1.55	0.15	2.20	6.82
X4	INTERIOR		1.00	2.00	2.25	0.15	2.20	9.90
X6	INTERIOR		1.00	2.00	2.50	0.15	2.20	11.00
X7	EXTERIOR		1.00	1.00	2.10	0.15	2.20	4.62
TOTAL							44.55	

Tabla 56. Descripción y metrado de muros de albañilería del segundo piso que requieren reforzamiento

PARTIDA	MUROS DE ALBAÑILERIA					UNIDAD	M2
ELEMENTO	Descripción	Cantidad	Nº Caras	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	
X1	EXTERIOR	1.00	1.00	3.05	0.15	2.20	6.71
X2	EXTERIOR	1.00	1.00	2.50	0.15	2.20	5.50
X6	INTERIOR	1.00	2.00	2.50	0.15	2.20	11.00
X7	EXTERIOR	1.00	1.00	2.10	0.15	2.20	4.62
						TOTAL	27.83

Tabla 57. Descripción y metrado de muros de albañilería del tercer piso que requieren reforzamiento

PARTIDA	MUROS DE ALBAÑILERIA					UNIDAD	M2
ELEMENTO	Descripción	Cantidad	Nº Caras	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	
X6	INTERIOR	1.00	2.00	2.50	0.15	2.20	11.00
						TOTAL	11.00

Finalmente se realiza una comparación entre los distintos métodos de reforzamiento evaluados, para determinar la opción más económica, y que cumpla con los requerimientos de los diferentes muros.

Tabla 58. Costo de cada tipo de reforzamiento para cada uno de los muros a reforzar

Piso	Muro	Malla de acero corrugado (S/)	Malla electrosoldada (S/)	Varillas de fibra de vidrio GFRP (S/)	Fibra de carbono (S/)
1	X1	1258.82	1139.02	1038.38	873.02
1	X2	997.66	933.62	762.37	657.55
1	X3	1088.83	1157.69	505.10	599.46
1	X4	1601.05	1680.51	813.09	974.66
1	X6	2018.09	1867.24	2412.32	1779.41
1	X7	866.73	784.24	714.95	601.10
2	X1	1279.66	1139.02	1146.66	943.83
2	X2	1009.05	933.62	762.37	657.55
2	X6	2018.09	1867.24	2412.32	1779.41
2	X7	747.16	784.24	342.16	406.09
3	X6	1824.50	1867.24	1258.47	1199.03
COSTO TOTAL (S/)		14709.65	14153.67	12168.20	10471.12

Al realizar la comparación entre los distintos métodos se observa que utilizar fibra de carbono es una opción más económica, y a la vez cumple con las solicitudes demandadas por el sismo, por lo que la fibra de carbono es la mejor alternativa entre las evaluadas.

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES

Debido a la naturaleza del proyecto, en donde se está construyendo una vivienda de manera informal, el concreto utilizado es uno mezclado en obra y el tipo de ladrillo utilizado no es el adecuado para funciones estructurales. Por lo que se observa que la resistencia a la compresión del concreto y de los ladrillos son menores a las típicas.

En los tres pisos solo se requiere reforzamiento en la dirección “X-X”, ya que la densidad de muros en la dirección “Y-Y” es tal que las fuerzas en los muros de esta dirección son muy bajas. De esta manera las fuerzas en ciertos muros de la dirección “X-X” son mayores a la capacidad que pueden resistir, por lo que requieren utilizar un tipo de reforzamiento.

La fuerza cortante existente en los muros decrece conforme se realiza una evaluación en pisos superiores, de esta manera en el primer piso se requiere reforzar cinco muros, en el segundo piso los muros que requieren reforzamiento son tres, y en el tercer piso se requiere reforzar solo un muro.

El material más económico dentro de las cuatro alternativas estudiadas es la fibra de vidrio, pero por la cantidad de material requerido en algunos de los muros se debe realizar una comparación con las otras alternativas con el fin de determinar la opción que se adapte mejor a las necesidades de los muros.

Al realizar la evaluación de los distintos sistemas a usar como reforzamiento se determinó que se debe utilizar un sistema mixto, es decir, no se utilizará un único método de reforzamiento en toda la vivienda, sino que se escogerá la mejor alternativa para cada muro de forma individual. En caso se desee utilizar un único método de reforzamiento en la edificación se sugiere utilizar el método de fibra de carbono.

Se espera la continuación del desarrollo del tema investigado, al dejar como línea de investigación un estudio más profundo del desempeño de las columnas. Al mismo tiempo se promueve que se realice una investigación en diversas viviendas. De esta manera se podrá determinar una metodología que permita la implementación de reforzamiento en cada una de las viviendas autoconstruidas, indistintamente del lugar o forma de construcción.

CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA

- Alcocer, S; Hernandez, H. & Sandoval, R. (2013). Envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras de mampostería confinada. *Revista De Ingeniería Sísmica*, (89), 24-54.
- Aquino, J., & Miranda, H. (2021). Propuesta de rehabilitación con “textile reinforced mortar” de un reservorio de agua apoyado de concreto armado con fisuras no estructurales en el distrito de Villa Maria Del Triunfo. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Araoz, T & Velezmore, J. (2012). Reforzamiento de viviendas existentes construidas con muros confinados hechos con ladrillos pandereta. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Astroza I., M., & Schmidt A., A. (2004). Capacidad de deformación de muros de albañilería confinada para distintos niveles de desempeño. *Revista De Ingeniería Sísmica*, (70), 59 - 75.
- Barr, K & Pineda, C. (2011). Control de la trituración de los ladrillos huecos mediante malla de refuerzo en muros de albanilería confinada sujetos a carga lateral cíclica. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Cabrera, J. (1995). La adherencia en los morteros de albañilería. *Materiales De Construcción*, 45(240), 47-52.
- Capital. (viernes 22 de septiembre del 2017). Informalidad en el sector construcción: ¿Por qué las edificaciones se caen? ¿Cómo evitarlo? Obtenido de <https://capital.pe/actualidad/informalidad-en-el-sector-construccion-por-que-las-edificaciones-se-caen-como-evitarlo-noticia-1078286>
- Capital, R. (22 de Septiembre de 2017). Informalidad en el sector construcción: ¿Por qué las edificaciones se caen? ¿Cómo evitarlo? Lima. Obtenido de <https://capital.pe/actualidad/informalidad-en-el-sector-construccion-por-que-las-edificaciones-se-caen-como-evitarlo-noticia-1078286>
- CSI (2006). ETABS Integrated building design software, User’s Guide. Version 9. California
- Donaire, M. (2016). Ensayos de calidad de mallas electrosoldadas. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla.
- Escrig, C. (2015). Estudio del comportamiento mecánico de vigas de hormigón armado reforzadas a flexión y a cortante con materiales compuestos de matriz cementítica. Universidad Politécnica de Cataluña, España.

Farje, K., Yabuta Hideki (2020). Propuesta de reforzamiento, en viviendas de albañilería confinada en el distrito, de Villa María del Triunfo. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Flores, L. (2013). Fibras de carbono: Reforzamiento de estructuras. Revista Civilizate, (3), 46-48.

INDECI (2020). Edición multimedia de compendios estadísticos. Obtenido de

<https://portal.indeci.gob.pe/direccion-politicas-y-planes/compendios-estadisticos/edicion-multimedia-de-compendios-estadisticos/>

Lockuan, J. & La Peña, P. (2020). Influencia de la fibra de vidrio al 1% 2% y 3% en las resistencias a compresión y flexión del concreto $f'c=210\text{kgcm}^2$ con respecto al agregado fino. Universidad César Vallejo.

Lujan, M. (2016). Reforzamiento de los muros de albañilería confinada con mallas de acero. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (9 de junio de 2017). MVCS evalúa experiencia suiza en capacitación para autoconstrucción segura, saludable y sostenible en el norte del país. Obtenido de

<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/noticias/7484-mvcs-evalua-experiencia-suiza-en-capacitacion-para-autoconstruccion-segura-saludable-y-sostenible-en-el-norte-del-pais>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (18 de mayo de 2018). Se destinarán S/ 5 millones para elaborar mapas de riesgos y estudios de microzonificación sísmica a nivel nacional. Obtenido de

<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/noticias/11798-se-destinaran-s-5-millones-para-elaborar-mapas-de-riesgos-y-estudios-de-microzonificacion-sismica-a-nivel-nacional>

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (2018). Perú.

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. Norma Técnica E.070 Albañilería (2006). Perú.

- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. Propuesta de Norma Técnica E.070 Albañilería (2019). Perú.
- San Bartolomé, A., & Coronel, C. Reparación y reforzamiento de un muro de albañilería confinada mediante fibra de carbono. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- PRODAC (2020). Catálogo ficha técnica de malla electrosoldada.
- Papanicolaou, C (2007). Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in-planecyclic loading. University of Patras.
- Papanicolaou, C (2008). Textile reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: out-of-planecyclic loading. University of Patras.
- Papanicolaou, C (2011). Externally bonded grids as strengthening and seismic retrofitting materials of masonry panels. University of Patras.
- San Bartolomé, A., & Loayza, J. Reparación y reforzamiento con varillas de fibra de vidrio en un muro de albañilería confinada. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- San Bartolomé, A., & Quiun, D. (2004). Propuesta normativa para el diseño sísmico de edificaciones de albañilería confinada. Presentado, en XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.
- SENCICO (2017). Evaluación técnica y económica sobre metodologías existentes de reforzamiento sísmico de muros de albañilería confinada.
- Siancas, R & Manrique, A. (2013). Arriostramiento de parapetos de albañilería existentes en fachadas de edificios. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Vizconde Campos, A. (21 de Marzo del 2016). Peligro de la autoconstrucción de edificaciones con albañilería confinada | Edificaciones de Calidad. 18/05/2020. Obtenido de <http://edificacionesdecalidad.com/autoconstruccion-albañileria-confinada-sismorresistente>
- Yacila, L., & Salsavilca, J. (2019). Aplicación de la fibra de acero galvanizado para el reforzamiento estructural de muros de albañilería confinada ante cargas cíclicas en su plano. Pontificia Universidad Católica del Perú.