

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE DOS TÉCNICAS DE
REPARACIÓN DE MUROS EN ALBAÑILERÍA CONFINADA
LUEGO DE UN PROCESO DE FALLA POR ACCIÓN SÍSMICA**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ESTRUCTURAS**

AUTORES (S): BR. RUIZ SANTILLAN, JOSIMAR

ASESOR: ING. URTEAGA GARCÍA, JUAN MANUEL

**TRUJILLO - PERÚ
2020**

MIEMBROS DEL JURADO CALIFICADOR

Tesis: ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE DOS TÉCNICAS DE REPARACIÓN DE MUROS EN ALBAÑILERÍA CONFINADA LUEGO DE UN PROCESO DE FALLA POR ACCIÓN SÍSMICA.

Presentado por:

BR. JOSIMAR RUIZ SANTILLÁN.

Aprobado por el jurado:

ING. CESAR LEONIDAS CANCINO RODAS
PRESIDENTE

ING. WILLIAM CONRAD GALICIA GUARNIZ
SECRETARIO

ING. EINER REBAZA SANCHEZ
VOCAL

ING. MANUEL ANTONIO VILLALOBOS VARGAS
ACCESITARIO

DEDICATORIA

A DIOS, en primer lugar, por iluminar mi camino, por la sabiduría de elegir una carrera que me gusta, y proporcionarme la salud para poder lograr mis metas.

A MIS PADRES, por enseñarme a jamás rendirse y esforzarme para lograr lo que me propongo, sin su guía no hubiera sido posible llegar hasta aquí.

A ESPOSA E HIJO, por creer siempre en mi dándome su apoyo incondicional, e inspirándome a ser cada día mejor y ser un ejemplo de padre y esposo.

AGRADECIMIENTO

A Dios nuestro señor por permitir culminar mi trabajo a pesar de tantos inconvenientes.

A mis padres por su apoyo, por enseñarme a no rendirme nunca y a lograr mis objetivos.

A mis familiares por confiar en mí y ofrecerme su apoyo.

A mi asesor Ing. Urteaga García, Juan Manuel, por brindarme su tiempo y habilidades, por guiarme con su conocimiento durante el desarrollo de mi tesis.

A los docentes de la escuela de ingeniería civil, por impartir sus conocimientos en los años de carrera universitaria.

A mis amigos que compartieron sus conocimientos, tiempo y amistad antes, durante y después del desarrollo de mi tesis.

RESUMEN

La presente tesis consiste en la reparación de cuatro muros de albañilería confinada a escala reducida 1/2.5, ensayados a carga lateral monotónica, ensayo estático, que consistió en la aplicación de cargas laterales controlando su desplazamiento de 1 mm por fase, hasta llegar a 1 cm, tesis de (Johnny Rondo Torres, 2018) dejando como resultado cuatro muros que fallaron por corte, dejando fisuras diagonales. La presente está dividida en tres partes:

En la primera parte presento la recopilación de resultados de los 4 muros originales, muro M1-M1', M2-M2', también se describe como se comportaron los muros por cada fase, para hacer más fácil la comparación de resultados con los muros reparados.

En la segunda parte desarrollamos todo sobre la reparación de los muros, con dos tipos de técnicas, la primera consiste en hacer un corte tipo canaleta en el muro de forma horizontal, para luego colocar un refuerzo, que en este caso son varillas de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP), la segunda técnica consiste en encamisar al muro con una malla electrosoldada, asegurándolo al muro mediante perforaciones perpendiculares a su plano, para pasar entre ellas alambre y atar las mallas al muro (encamisado), luego se pañetea el muro como tarrajeo. Todo este proceso se haría en las instalaciones del ingeniero Rondo Torres, empleado mano de obra calificada y con experiencia en albañilería.

Por último, en la tercera parte ensayaremos los muros reparados, usando el mismo método de ensayo, se controlarán los desplazamientos por fases tal cual se hicieron en los muros originales, para poder hacer una correcta comparación de resultados.

ABSTRACT

The present thesis consists of the repair of four confined masonry walls at a reduced scale 1 / 2.5, tested at monotonic lateral load static test that consisted of the application of lateral loads controlling their displacement by phases of 1 mm per phase until reaching 1 cm , thesis of (Johnny Rondo Torres, 2018) leaving as a result four walls that failed due to cuts and failures in their structure. This is divided into three parts:

In the first part I present the compilation of results of the 4 original walls, wall M1-M1´, M2-M2´ also describes how the walls behaved for each phase, to make it easier to compare the results with the repaired walls.

In the second part we develop everything about the repair of the walls, with two types of techniques, the first consists of making a gutter-like cut in the wall horizontally, and then placing a reinforcement, which in this case are reinforced polymer rods With fiberglass (GFRP), the second technique consists of casing the wall with an electro-welded mesh, securing it to the wall by means of perforations perpendicular to its plane to pass wire between them and tie the meshes that will go on the two sides of the wall, then the wall was patterned as tarrageo. All this process would be done at the facilities of the engineer Rondo Torres, a skilled hand employee with experience in masonry.

Finally, in the third part we will test the repaired walls using the same test method, the displacement will be controlled by phases as they were done in the original walls, in order to make a correct comparison of results.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

Conformé estipula el reglamento de grados y títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, pongo a vuestra disposición la presente tesis titulada: **ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE DOS TÉCNICAS DE REPARACIÓN DE MUROS EN ALBAÑILERÍA CONFINADA LUEGO DE UN PROCESO DE FALLA POR ACCIÓN SÍSMICA.**

Con el objetivo de obtener el título profesional de ingeniero civil y complementar el conocimiento en el área de estructuras, esperando cumplir con sus expectativas.

INDICE

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ESTRUCTURAS	i
MIEMBROS DEL JURADO CALIFICADOR	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
PRESENTACIÓN	vii
INDICE	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Realidad problemática	2
1.1.1 Descripción del problema	2
1.1.2 Formulación del problema	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 Justificación de la investigación	3
1.3.1 Justificación académica	3
1.3.2 Justificación técnica	3
1.4 Alcances	3
1.5 Aportes	4
2. MARCO DE REFERENCIA	4
2.1. Antecedentes del estudio	4
2.1.1. Nacional	4
2.2. Marco teórico	5
2.2.1. Rigidez y Resistencia	5
2.2.2. Ductilidad	5
2.2.3. Rigidez lateral de una estructura	6
2.2.4. Rigidez lateral inicial	7
2.2.5. Determinación de la rigidez de un muro de albañilería	8
2.2.6. Rigidez por flexión	10
2.2.7. Rigidez por corte	10
2.2.8. Rigidez total del muro confinado	11
2.2.9. Norma E070 albañilería confinada	12
2.3. Marco conceptual	12
2.3.1. La albañilería	12
2.3.2. Albañilería confinada	13

2.3.3.	Técnicas de reparación	13
2.3.4.	Técnica de ensayo.....	14
2.3.4.1.	Generalidades	14
2.4.	Hipótesis	15
2.5.	Definición y operacionalización de las variables	16
2.6.	Operacionalización de variables	16
3.	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	18
3.1.	Tipo y nivel de investigación	18
3.2.	Población y muestra de estudio	18
3.2.1.	Población.....	18
3.2.2.	Muestra	18
3.3.	Técnicas e instrumentos de investigación	18
3.3.1.	Técnica de recolección de datos.....	18
3.3.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	19
3.3.3.	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	19
4.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	20
4.1.	Materiales para la construcción del muro original	20
4.1.1.	Unidades de albañilería	20
4.1.2.	Mortero.....	21
4.1.3.	Concreto	21
4.1.4.	Acero de refuerzo	21
4.2.	Materiales para la reparación del muro	21
4.2.1.	Mortero.....	21
4.2.2.	Malla de acero electrosoldada	21
4.2.3.	Varilla de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP)	21
4.3.	Propiedades de la albañilería simple	22
4.3.1.	Generalidades	22
4.3.2.	Resultados	22
4.3.2.1.	Pila de ladrillos.....	22
4.3.2.2.	Muretes de ladrillo	23
4.4.	Muro de albañilería confinada	24
4.4.1.	Descripción del espécimen	24
4.4.1.1.	Columna	24
4.4.1.2.	Viga solera	25
4.5.	Proceso constructivo de los muros	27
4.6.	Ensayo del muro original a carga lateral monotónica	31
4.6.1.	Generalidades	31
4.6.2.	Instrumentación	32
4.6.2.1.	Instrumentos que se usaron en la referencia N°07	32

4.6.2.2.	Instrumentos que se usaron en la reparación de los muros	33
4.6.3.	Ensayo de los muros de albañilería.....	36
4.7.	Resultado de los ensayos de los muros originales	37
4.7.1.	Descripción de fallas del muro M1	37
4.7.2.	Descripción de fallas del muro M2.....	42
4.7.3.	Comportamiento elástico de los muros	48
4.7.4.	Primera fisura por flexión en columnas de los muros M1 y M2.....	51
4.7.5.	Agrietamiento diagonal	53
4.7.6.	Cargas y desplazamientos.....	53
4.8.	Reparación del muro de albañilería	55
4.8.1.	Generalidades	55
4.8.2.	Primera técnica de reparación	56
4.8.2.1.	Procedimiento	57
4.8.3.	Segunda técnica de reparación	61
4.8.3.1.	Procedimiento	61
4.8.4.	Curado de los muros reparados.....	65
4.9.	Ensayo de carga lateral monotónica de los muros reparados	66
4.9.1.	Generalidades	66
4.9.2.	Instrumentación	66
4.9.3.	Montaje del muro	68
4.9.4.	Calibrado de instrumentos de recolección de datos	68
4.9.5.	Ensayo de los muros reparados.....	70
4.10.	Resultado de los muros reparados	70
4.10.1.	Descripción de las fallas muro M1´	70
4.10.2.	Descripción de las fallas muro M1	79
4.10.3.	Descripción de las fallas del muro M2´	79
4.10.4.	Descripción de las fallas del muro M2	85
4.11.	Comportamiento elástico de los muros	90
4.12.	Primera fisura de tracción por flexión	90
4.13.	Agrietamiento diagonal.....	91
4.14.	Cargas y desplazamiento	91
4.14.1.	Muro M1´	91
4.14.2.	Muro M2´	93
4.14.3.	Muro M2	95
5.	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MUROS	97
5.1.	Rigidez lateral.....	97
5.2.	Primera fisura por flexión	100
5.3.	Agrietamiento diagonal	101
6.	CONCLUSIONES.....	103

7. RECOMENDACIONES.....	104
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	105

1. INTRODUCCIÓN

La albañilería confinada en el Perú es una modalidad de construcción muy utilizada, principalmente en hogares unifamiliares y multifamiliares, sin embargo, conforme aumenta las construcciones también aumenta la autoconstrucción, sin el apoyo técnico de un profesional calificado. En la actualidad el mayor porcentaje de construcciones con este método se realiza de esta manera, poniendo en riesgo la integridad de una familia, debido a que, si este método de construcción no sigue un proceso de evaluación, cálculo estructural y soporte técnico, las edificaciones quedarían en riesgo ante un evento sísmico.

La albañilería confinada es básicamente una técnica de construcción, conformada casi en su totalidad por muro de ladrillo enmarcado o confinado por elementos de concreto armado y juntos conforman un elemento estructural, que si es construido de una manera correcta este puede soportar las fuerzas producidas por un sismo sin sufrir grandes daños, sin embargo, es inevitable que el muro quede fisurado, agrietado u obsoleto luego de un eventual sismo severo. Es por ello que dependiendo de los daños causados por fuerzas laterales de un evento sísmico y luego de una evaluación, el muro aun pueda repararse con la finalidad de regresarle la rigidez y resistencia al agrietamiento diagonal, evitando la demolición de toda la edificación.

Ahora que técnica utilizar, cual de todas me permite recuperar mayor porcentaje de rigidez. Para esta investigación escogí dos técnicas, con la intención de usarlas como método de reparación y comparar los resultados, determinado cual es más efectiva o talvez comprobando que ambas lo sean.

La primera es usar refuerzos horizontales con un elemento resistente a fuerzas de tracción, para ello elegí varillas de un polímero reforzado con fibra de vidrio(GFRP), su resistencia a la tracción dependiendo del diámetro puede llegar a ser más del doble que la del acero, es resistente a cloruros y no es conductor de electricidad.

La segunda técnica es encamisar al muro con una malla electrosoldada, anclándolo con alambre en forma perpendicular al plano del muro, luego cubrirlo con concreto a manera de tarrajeo.

1.1. Realidad problemática

1.1.1 Descripción del problema

Cuando una edificación sufre daños, ya sea por mal proceso constructivo, por falta de estudios de suelo o por un proceso de falla por acción sísmica, la estructura sufre daños y la magnitud del daño depende del factor que lo ocasiona, con esto la estructura pierde sus propiedades como la resistencia, rigidez y ductilidad, manifestándose mediante grietas en los elementos estructurales.

Cuando un muro se agrieta ya sea por cualquier factor mencionado y el daño no pasa el límite de reparación estipulado en la norma E070, la solución no es picar las grietas y luego maquillarlas con mortero, la solución sería devolver al muro un porcentaje aceptable de rigidez y resistencia al agrietamiento que tenía en un inicio, ya que si solo se maquilla o rellena grietas cuando ocurra un suceso telúrico, la edificación se desplomara sin dar tiempo de evacuar a los propietarios, ya que los muros perdieron rigidez, resistencia y ductilidad, esto se logra usando técnicas de reparación confiables, que den buenos resultados para compararlos con los resultados que en un inicio tenía dichos muros. La pregunta es que técnica utilizar, cual es más confiable, cual me recupera más rigidez y resistencia al agrietamiento.

En esta tesis se tomaron dos técnicas teniendo en cuenta su efectividad y su bajo costo, los especímenes serán reparados con las técnicas mencionadas, se ensayarán aplicando una carga lateral o ensayo monotónico, se tomarán los resultados para luego comparar con los resultados arrojados en el ensayo de los muros originales, determinado de esta manera cuál de las dos técnicas o las dos son confiables.

1.1.2 Formulación del problema

¿Cuál de las técnicas de reparación (encamisado con malla electrosoldada o integrar en los muros varillas de polímero reforzado con fibra de vidrio GFRP), permite recuperar más porcentaje de rigidez lateral inicial y

resistencia al agrietamiento diagonal, luego de un proceso de falla por acción sísmica?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinar cuál de las dos técnicas de reparación mencionadas permite recuperar más porcentaje de rigidez lateral inicial y resistencia al agrietamiento diagonal al muro, mediante ensayos experimentales en prototipos de muros confinados a escala reducida.

1.2.2 Objetivos específicos

- Reparar 4 muros que previamente habían fallado por corte.
- Ensayar los muros reparados a carga lateral monotónica.
- Analizar el comportamiento de los muros por cada fase de ensayo.
- Analizar el estado final de cada muro.

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Justificación académica

El proyecto de tesis se justifica académicamente porque permitirá aplicar los conocimientos adquiridos a nivel de pregrado además de los nuevos conocimientos que se obtendrán en el proceso de la investigación.

1.3.2 Justificación técnica

El presente proyecto está orientado al análisis comparativo técnico-económico de las dos técnicas de reparación de muros en albañilería confinada, lo que con los conocimientos adquiridos y los equipamientos con los que contamos en nuestra universidad es factible de alcanzar.

1.4 Alcances

Investigaciones, ensayos y tesis realizados por el ingeniero Ángel San Bartolomé, en el laboratorio de pruebas de la Universidad Católica del Perú

1.5 Aportes

Con los resultados obtenidos, tendremos una mejor perspectiva de cada técnica de reparación, conoceremos cuál de las dos técnicas resulta ser más efectiva y confiable, para optar por una o las dos técnicas, dependiendo de los resultados obtenidos luego de comparar resultados.

La rigidez recuperada y la resistencia al agrietamiento diagonal de los muros reparados serán fundamentales para optar por dichas técnicas.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Nacional

ANTECEDENTE 1: “REPARACIÓN DE UN MURO DE ALBAÑILERIA CONFINADA”

Pontificia Universidad Católica Del Perú (San Bartolome & Castro Moran, 2007)

- Resumen

La primera referencia se obtuvo de la investigación que realizó el ingeniero San Bartolomé y Castro Moran en la PUCP, la cual estuvo orientada al desarrollo de una técnica de reparación para muros en albañilería confinada que hayan fallado por fuerza cortante, la técnica consistió en el encamisado del muro mediante mallas de acero electro soldadas.

La investigación concluyó satisfactoriamente, logrando la recuperación del 85% de la rigidez lateral inicial 78% del agrietamiento diagonal, respecto a la del muro original, por lo que se requiere la adición mínima de otros elementos estructurales en un supuesto edificio a reparar (por ejemplo, placas de concreto armado).

ANTECEDENTE 2: “REPARACION Y REFORZAMIENTO CON VARILLAS DE FIBRA DE VIDRIO EN UN MURO DE ALBAÑILERIA CONFINADA”

Pontificia Universidad Católica Del Perú (San Bartolomé & Loayza Seminario, Reparación y reforzamiento con varillas de fibra de vidrio en un muro de albañilería confinada, 2008)

- **Resumen**

La segunda referencia se obtuvo de la investigación de Ángel San Bartolomé y Juan Loayza Seminario realizado en la PUCP, la cual tuvo como propósito analizar la efectividad de una técnica de reparación de muros en albañilería confinada, que consiste en integrar varillas de fibra de vidrio dentro del muro.

la investigación concluyó satisfactoriamente logrando recuperar la rigidez lateral inicial y la resistencia al agrietamiento en un 73% y 69% del muro original.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Rigidez y Resistencia

La resistencia tiene que ver con la geometría de los elementos estructurales que garanticen la estabilidad de la estructura sometida a todas las combinaciones de cargas, la resistencia de la estructura depende de su forma y de las propiedades mecánicas de los materiales.

En cambio, la rigidez se relaciona con la deformación de la estructura producto de las cargas aplicadas, la rigidez de un elemento estructural se expresa mediante el cociente entre la carga y la deformación que produce. La medida de la rigidez es la deflexión, y los factores que determinan la rigidez del elemento estructural son: módulo de elasticidad, sección, inercia y longitud. (Abanto Castillo, 2017)

2.2.2. Ductilidad

La ductilidad es la capacidad de un sistema estructural para deformarse más allá del rango elástico bajo cargas relativamente constante sin sufrir daños excesivos, si analizamos un caso sencillo.

Si una viga es construida solamente con concreto (sin barras de acero) y la sometemos a la acción de una carga gradual, entonces la viga se deformará y se romperá súbitamente, esto pasa porque el concreto es un material frágil, no es dúctil.

Ahora si construimos la misma viga adicionando barras de acero horizontal y transversal (concreto armado) y la sometemos a carga, entonces la viga se deformará sin romperse, si aumentamos la carga la viga continuará deformándose apareciendo grietas, pero igualmente no se romperá violentamente.

Esto nos demuestra que el acero es un material de alta ductilidad, es decir, tiene capacidad de deformarse ante la acción de cargas más allá del límite elástico.

El concreto armado (combinación de concreto más acero) es un material que tiene ductilidad, motivo por el cual es utilizado en la construcción de diferentes estructuras. Por lo tanto, la ductilidad es un aspecto muy importante a considerar dentro de la concepción estructural sismo resistente. (Abanto Castillo, 2017)

2.2.3. Rigidez lateral de una estructura

La rigidez lateral de una estructura se refiere a la deformación horizontal de piso a piso y previene que la estructura mantenga un alineamiento vertical.

Esto quiere decir que, si ocurre una deformación horizontal excesiva puede hacer que las cargas se apliquen excéntricamente sobre los elementos verticales, originando momentos flectores que puedan llevar al colapso de la estructura, las estructuras deben ser rígidas para evitar las deformaciones por acción de las cargas (Abanto Castillo, 2017).

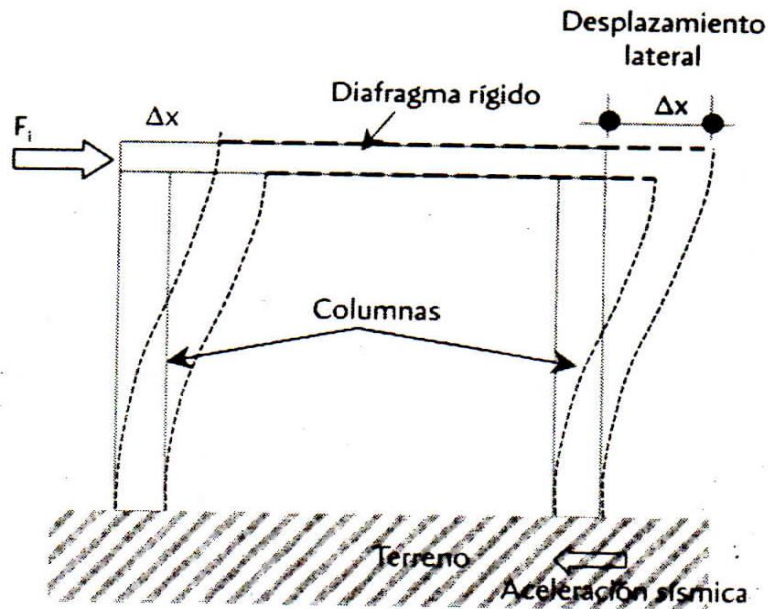


Figura N°01: Desplazamiento debido a una carga lateral.

Fuente: libro del ing. (Abanto Castillo, 2017)

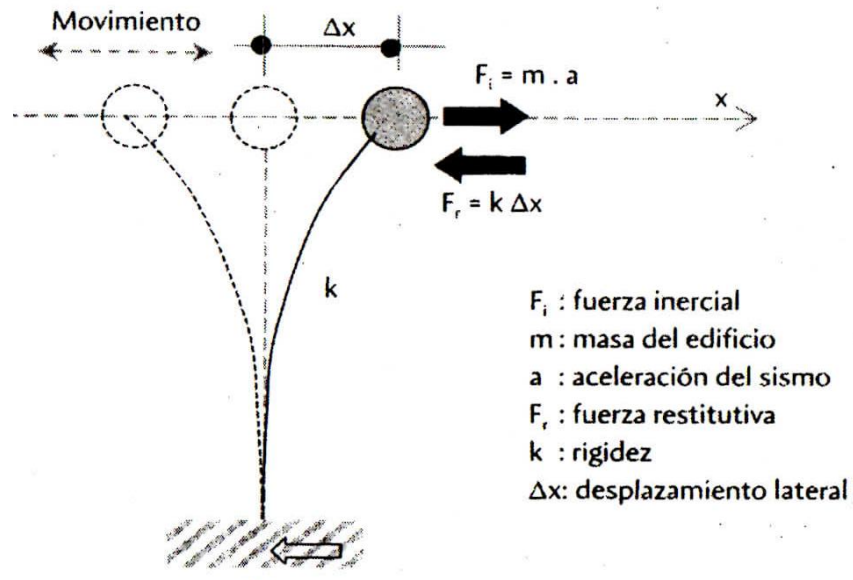


Figura N°02 Estructura de un piso, idealizada en un sistema de un grado de libertad.

Fuente: libro del Ing. (Abanto Castillo, 2017)

2.2.4. Rigidez lateral inicial

Es la rigidez característica de una estructura sin someterla a esfuerzos o cargas laterales que puedan deformarla.

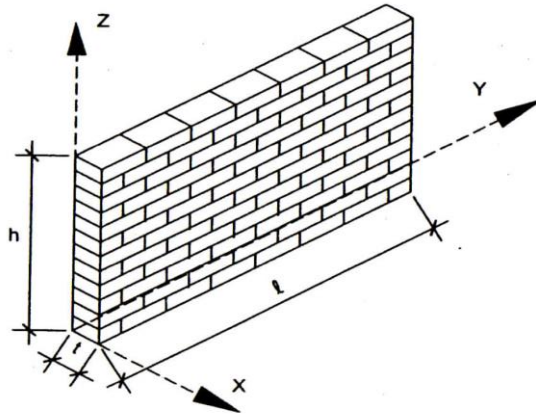


Figura N° 03 Idealización de un muro estructural de albañilería
Fuente: libro del Ing. (Abanto Castillo, 2017)

2.2.5. Determinación de la rigidez de un muro de albañilería

En el presente proyecto uno de los objetivos es determinar la rigidez de un muro en albañilería confinada, para lograrlo tenemos que someter al muro a una carga lateral y medir el desplazamiento o la deformación.

“Esto significa que, La rigidez de un muro de ladrillo se expresa como la relación que existe entre la fuerza aplicada y la deformación generada por esta fuerza”. (Abanto Castillo, 2017)

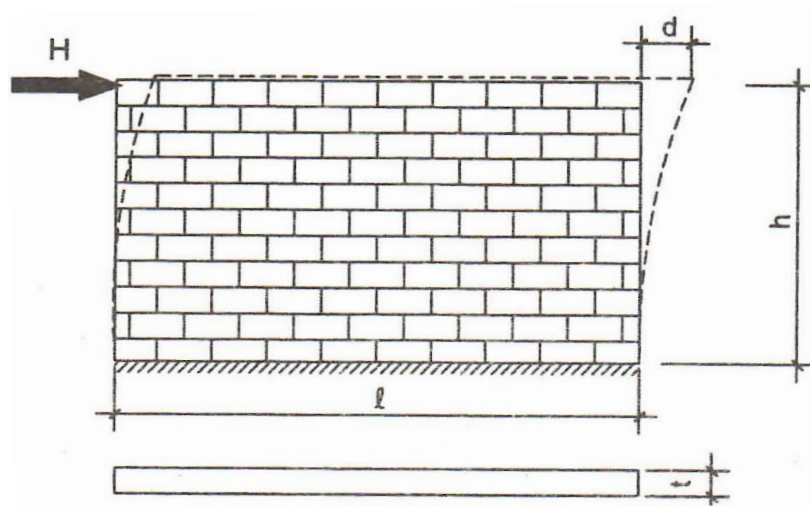


Figura N° 04 Determinación de la rigidez de un muro de albañilería

Fuente: libro del Ing. (Abanto Castillo, 2017)

El desplazamiento total del muro está compuesto por la deformación por flexión y la deformación por corte, es decir.

$$d = d_{\delta} + d_s$$

Donde:

$$d_{\delta} = \frac{H}{K_{\delta}} \text{ deformación por flexión}$$

$$d_s = \frac{H}{K_s} \text{ deformación por corte}$$

K_{δ} y K_s son la rigidez por flexión y por corte, respectivamente, si denominamos a K como la rigidez total equivalente del muro, después de reemplazar en la expresión anterior, se tiene:

$$\frac{H}{K} = \frac{H}{K_{\delta}} + \frac{H}{K_s}; \quad K = \frac{1}{\frac{1}{K_{\delta}} + \frac{1}{K_s}}$$

2.2.6. Rigidez por flexión

$$d_{\delta} = \frac{H \cdot h^3}{3E_m \cdot I} ; I = \frac{t \cdot l^3}{12} ; K_{\delta} = \frac{H}{d_{\delta}} ; K_{\delta} = \frac{E_m \cdot t}{4\left(\frac{h}{l}\right)^3}$$

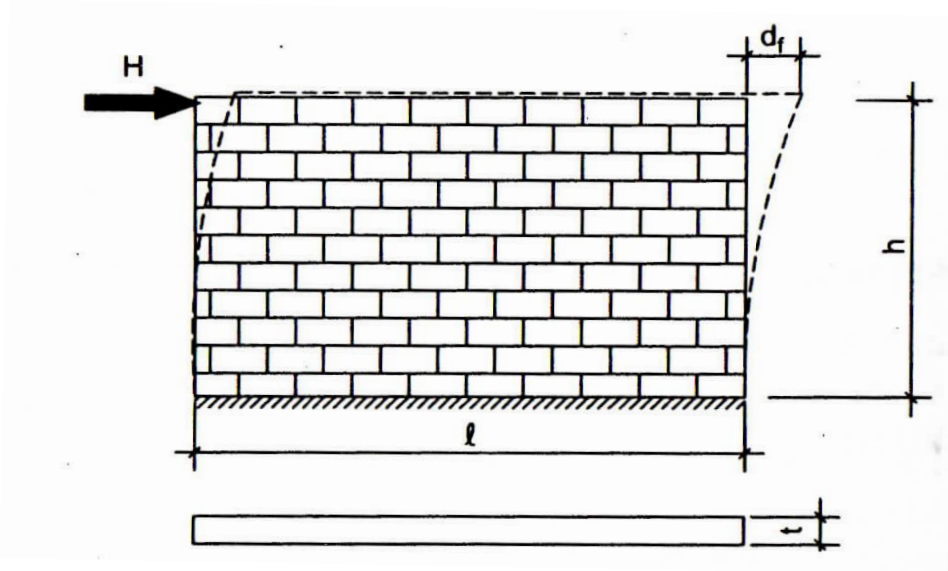


Figura N° 05 Rigidez por flexión en un muro de albañilería
Fuente: libro del Ing. (Abanto Castillo, 2017).

2.2.7. Rigidez por corte

$$d_s = \frac{1.2H \cdot h}{GA} ; K_s = \frac{H}{d_s} ; K_s = \frac{E_m t}{3\left(\frac{h}{l}\right)}$$

Donde:

$G = \text{Modulo de corte} = 0.40E_m$

$A = \text{Area} = l.t$

Luego la rigidez del muro resulta ser

$$K = \frac{E_m t}{4\left(\frac{h}{l}\right)^3 + 3\left(\frac{h}{l}\right)}; \quad E_m = 500f'm$$

Donde:

K : Rigidez lateral en Kg/cm.

E_m : Modulo de elasticidad de la albañilería en kg/cm².

t : Dimensión del muro perpendicular a la dirección analizada (cm).

l : Dimensión del muro paralela a la dirección analizada (cm).

h : Altura del muro (cm).

f'm : resistencia a compresión axial de la albañilería.

2.2.8. Rigidez total del muro confinado

El procedimiento anterior es para hallar la rigidez total del muro de albañilería sin contar con la rigidez de los arriostres (columna y viga), ya que para ello tenemos que transformar el muro en un solo elemento (sección transformada) para ello utilizamos la siguiente formula.

$$K = \frac{E_m}{\frac{h^3}{3I} + \frac{f * h * E_m}{At * G}}$$

Donde:

E_m : Módulo de elasticidad de la albañilería.

h : Altura del muro.

G : Módulo de corte de la albañilería.

I : Momento de inercia de la sección transformada.

f : Factor de forma (At/A).

At : Área de la sección transformada

A : Área del alma de la sección transformada.

2.2.9. Norma E070 albañilería confinada

Esta Norma establece los requisitos y las exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la inspección de las edificaciones de albañilería estructuradas principalmente por muros confinados y por muros armados.

Para estructuras especiales de albañilería, tales como arcos, chimeneas, muros de contención y reservorios, las exigencias de esta Norma serán satisfechas en la medida que sean aplicables.

Los sistemas de albañilería que estén fuera del alcance de esta Norma, deberán ser aprobados mediante Resolución del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento luego de ser evaluados por SENCICO.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. La albañilería

La invención se les atribuye a los sumerios, que construyeron grandes edificaciones usando unidades hechas de barro paja de arroz y agua secada al sol.

“La Albañilería o Mampostería se define como un conjunto de unidades trabadas o adheridas entre sí con algún material, como el mortero de barro o de cemento. Las unidades pueden ser naturales (piedras) o artificiales (adobe, tapias, ladrillos y bloques)”. (San Bartolomé, Quiun Wong, & Silva Berrios, 2011)

2.3.2. Albañilería confinada

Este es el sistema que tradicionalmente se emplea en casi toda Latinoamérica para la construcción de edificios de hasta 5 pisos.

“La Albañilería Confinada se caracteriza por estar constituida por un muro de albañilería simple enmarcado por una cadena de concreto armado, vaciada con posterioridad a la construcción del muro”. (San Bartolomé Ramos, 1994)

El marco de confinamiento es para darle ductilidad al muro, por consiguiente, otorgarle capacidad de deformación inelástica, incrementando muy levemente su resistencia, “el pórtico funciona como elemento de arriostre cuando la albañilería se ve sujeta a acciones perpendiculares a su plano”. (San Bartolomé Ramos, 1994)

2.3.3. Técnicas de reparación

Es un procedimiento que tiene como objetivo obtener un resultado determinado y efectivo, en este caso la recuperación de la capacidad estructural de la edificación.

- Encamisado mediante mallas electrosoldadas

Este método fue analizado en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). el propósito fue de analizar la efectividad de una técnica de reparación, consistente en encamisar con mallas electrosoldadas a un

muro de albañilería confinada que previamente había fallado por fuerza cortante.

La técnica de reparación empleada hizo que la rigidez lateral inicial se recupere en 85% respecto a la del muro original, por lo que se requiere la adición mínima de otros elementos estructurales en un supuesto edificio a reparar (por ejemplo, placas de concreto armado) en caso se necesite recuperar o incrementar su rigidez. Puesto que la rigidez del muro reparado no pudo evaluarse teóricamente, porque las fisuras muy finas existentes en gran cantidad en la albañilería y en las columnas permanecieron, se recomienda trabajar para fines de análisis estructural del edificio a reparar con el 85% de la rigidez original.

(San Bartolome & Castro Moran, 2007)

- **Reparación y reforzamiento con varillas de fibra de vidrio en un muro de albañilería confinada**

La efectividad de esta técnica de reparación y reforzamiento, fue realizado en la Universidad Católica del Perú y consiste en resanar y adicionar varillas de fibra de vidrio (GFRP) a un muro de albañilería confinada, que previamente había fallado por fuerza cortante, las varillas cumplen la función de refuerzo horizontal y se colocaron cada 2 hiladas, intercalándolas alternadamente en ambas caras del muro con el fin de no debilitar a su sección transversal, usando el método de ensayo a carga lateral cíclica. (San Bartolomé & Loayza Seminario, 2008)

2.3.4. Técnica de ensayo

La técnica de ensayo tiene por nombre ensayo a carga lateral monotónica, que consiste en aplicar una carga lateral creciente y controlada.

2.3.4.1. Generalidades

La técnica de ensayo consiste en aplicar la carga lateral controlada, aumentando la carga por fases, y en cada fase tomarnos unos minutos para revisar las posibles fallas en el espécimen (muro), realizar los ensayos a muros a escala natural sería un proceso costoso, sobretodo en fabricar un prototipo como el del laboraría de pruebas de la PUCP, sin embargo, no es imposible, es por ello que se fabricó uno a escala, para muros fabricados con los mismos materiales que se emplea en un muro normal, pero con la diferencia que este muro tendría que ser más pequeño.

El prototipo se fabricó en Laredo en las instalaciones del Ing. Rondo Torres quien realizo sus ensayos a 10 muros a escala 1/2.5, de los cuales seleccione 5 que fallaron por corte.

La desventaja de esta técnica es que no permite contemplar cómo se comportaría el muro ante un ensayo cíclico, el mayor deterioro que sufre el muro no se puede determinar mediante esta técnica, pero si permite obtener la rigidez y resistencia, que es lo que nos interesa.

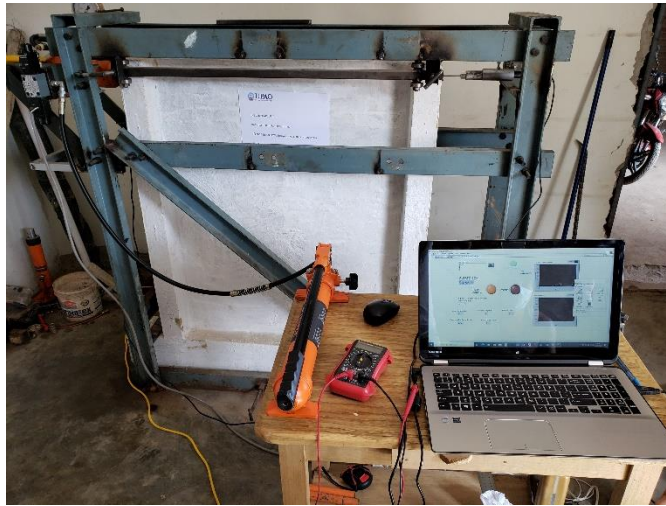


Foto N°01: Prototipo a escala que permito el ensayo monotónico

2.4. Hipótesis

La técnica de reparación que consiste en el encamisado del muro mediante mallas electrosoldadas, permitirá recuperar mayor porcentaje de rigidez lateral inicial y mayor resistencia al agrietamiento diagonal.

2.5. Definición y operacionalización de las variables

2.5.1. Variables dependientes:

Y: recuperación de la rigidez total del muro

2.5.2. Variable Independiente:

X: Técnicas de reparación

2.6. Operacionalización de variables

Tabla N°01: Esquema de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Unidad de medida	Indicador	Instrumento de medición
Dependiente: Recuperación de la rigidez total del muro	Se le denomina rigidez a la propiedad de un cuerpo, elemento o estructura de oponerse a deformaciones o desplazamientos laterales.	Será evaluado observando el desplazamiento del muro ensayado y la fuerza que origino dicho desplazamiento.	Kg/mm	La deflexión	Formulas físicas y matemáticas
Independiente: Técnicas de reparación de muros.	Conjunto de procedimientos o recursos que se usan en una actividad determinada.	Técnica N°1: consiste en el encamisado del muro mediante una malla electrosoldada. Técnica N°2: integrar en la albañilería unas varillas de un material que resiste fuerzas cortantes	Kg/mm	Efectividad	Formulas físicas y matemáticas

3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. Tipo y nivel de investigación

a) Por su finalidad:

El proyecto de investigación por su finalidad es **aplicada** ya que mediante el desarrollo y ejecución del presente proyecto de investigación, conoceremos mediante los resultados obtenidos, una técnica de reparación que resulte ser confiable.

b) Por su profundidad:

Este trabajo de investigación es del tipo **experimental** y explicativa, por cuanto todos los aspectos serán evaluados en laboratorio y sus alcances serán prácticos en la medida que serán considerados por el presente trabajo de investigación.

3.2. Población y muestra de estudio

3.2.1. Población

La población será todos los muros de albañilería confinada con esbeltez coplanares del orden = 1

3.2.2. Muestra

La muestra será 5 prototipos de muros en albañilería confinada a escala 1/2.5

3.3. Técnicas e instrumentos de investigación

3.3.1. Técnica de recolección de datos

Se emplearán las siguientes técnicas para desarrollar nuestro trabajo de investigación:

- Observación de las pruebas experimentales de los componentes de albañilería confinada.
- Análisis de las pruebas experimentales.

3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos para obtener los datos serán las siguientes:

- Transductor de desplazamiento (LVDT)
- Transductor de presión capacidad 3500psi.
- Software labview.

3.3.3. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

c) Técnicas para el procesamiento de la información

El procesamiento se ejecutará mediante la estadística descriptiva en el desarrollo del presente trabajo de investigación:

- Ordenamiento y clasificación.
- Registro manual.
- Proceso computarizado con Excel.
- Frecuencias absolutas simples y porcentuales.
- Media aritmética: Medida de tendencia central.
- Desviación estándar: Medida de dispersión.
- Valores mínimo y máximo.
- Índice de magnitud expresado en porcentaje.

d) Técnicas para el análisis de la información

Las técnicas de análisis que se emplearan, permitirá describir, entender e interpretar adecuadamente la información recopilada en el presente proceso de investigación. Se aplicarán las siguientes técnicas:

- Análisis documental.
- Tabulación de cuadros con cantidades y porcentajes.
- Evaluación de los ensayos experimentales.
- Conciliación de datos.
- Investigación de datos

4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

4.1. Materiales para la construcción del muro original

4.1.1. Unidades de albañilería

Debido a que los muros son a escala reducida, fueron cortados de ladrillos artesanales solidos cuyas dimensiones son.

Tabla N°02: Dimensiones de los muros

Fuente: Autoría propia

Dimensión	Medida Real	Escala =1/2.5
largo	13.0	5.2
ancho	22.5	9.0
altura	9.0	3.6

a) Resistencia a la compresión

La resistencia característica a la compresión axial de la albañilería (f'_b) es un ensayo muy importante, ya que nos permite determinar la calidad de las unidades de albañilería (ladrillo)

TABLA 1 CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERIA PARA FINES ESTRUCTURALES					
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)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

Figura N°06: clases de unidades de albañilería

Fuente: Ref. N°2

4.1.2. Mortero

Es un tipo de pegamento que se utiliza para adherir las unidades de albañilería, el tipo de mortero usado está compuesto por cemento pórtland tipo 1, arena y agua.

La proporción volumétrica que se empleo fue cemento: arena 1:4

4.1.3. Concreto

Para la elaboración de las columnas, vigas soleras y de cimentación se utilizó un concreto $f'c$ 210 kg/cm².

4.1.4. Acero de refuerzo

El acero usado para las vigas de cimentación fue de ½ y para las comunas 1/4'' de grado 60

4.2. Materiales para la reparación del muro

En este capítulo describiremos las propiedades de los materiales usados para la reparación de los muros con las dos técnicas de reparación.

4.2.1. Mortero

El mortero usado en la reparación tuvo una proporción volumétrica de 1:4

4.2.2. Malla de acero electrosoldada

La malla usada para la reparación es una malla de acero de 1/4'', este tipo de malla es comercial, pero por el tiempo y siendo algo sencillo de hacer se fabricó un día antes de la reparación.

4.2.3. Varilla de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP)

Las varillas de refuerzo usadas para la reparación, están fabricadas con fibra de virio y una resina que adhiere los filamentos, a tal grado de transformarlo en un único elemento.

Su resistencia a la tensión es más que la del acero y puede llegar a ser el doble, dependiendo de su diámetro, son más livianas, no son conductoras de electricidad, y son resistentes a cloruros y a la humedad.



Figura N°07: Varilla de GFRP.

4.3. Propiedades de la albañilería simple

4.3.1. Generalidades

Es importante conocer las propiedades de la albañilería simple, la resistencia característica a la compresión ($f'm$) y la resistencia a la tracción diagonal ($v'm$).

Para ello se construyó 3 pilas y 3 muretes con los mismos ladrillos cortados a escala que se usaron para construir los muros, el mortero también fue el mismo de 1:4.

4.3.2. Resultados

4.3.2.1. Pila de ladrillos

Las pilas fueron ensayadas en el laboratorio de pruebas de la UPAO, y su resistencia llegó a 42.41 kg/cm^2 , los resultados de cada muestra aparecen en la tabla N°4.

Tabla N°03: Dimensiones de las pilas de ladrillo

Muestra	Altura (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Esbeltez (cm)
P1	12.3	9	5.2	2.37
P2	16.4	9	5.2	3.15
P3	25.5	9	5.2	4.90

Tabla N°04: resultados del ensayo a compresión de las pilas

Muestra	Largo (cm)	Espesor (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Factor de esbeltez	f'm (kg/cm ²)	Promedio	Desv. estandar (kg/cm ²)	f'm (kg/cm ²)
P1	9	5.2	46.8	2925	0.781	48.822	45.655	3.245	42.410
P2	9	5.2	46.8	2340	0.916	45.808			
P3	9	5.2	46.8	1989	0.996	42.337			

4.3.2.2. Muretes de ladrillo

Al igual que las pilas los muretes también fueron ensayados en el laboratorio de pruebas de la UPAO, y su resistencia a compresión diagonal fue de 8.31 kg/cm², los resultados de cada muestra aparecen en la tabla N°6.

Tabla N°05: Dimensiones de los muretes

Muestra	largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Diagonal (cm)
P1	24.6	24.6	5.2	34.79
P2	24.6	24.6	5.2	34.79
P3	24.6	24.6	5.2	34.79

Tabla N°06: Resultados del ensayo de los muretes

Muestra	Área D*t (cm ²)	Carga (kg)	v'm (kg/cm ²)	Promedio	Desv. estandar (kg/cm ²)	v'm (kg/cm ²)
P1	180.908	1526.56	8.438	9.301	0.988	8.313
P2	180.908	1643.57	9.085			
P3	180.908	1877.74	10.380			

Para efectos de diseño según la norma E070 se debe usar.

$$V'm = \sqrt[2]{f'm} ; \sqrt[2]{42.41}=6.51\text{kg/cm}^2$$

4.4. Muro de albañilería confinada

Como se mencionó en un inicio, los muros que reparamos fueron seleccionados, y se tomaron 5 de los 10 que se construyeron, la característica de cada muro se menciona a continuación.

4.4.1. Descripción del espécimen

Los muros que serán reparados son los muros M1-M1' y M2-M2', también el muro M5 que servirá para calibrar los equipos, los muros presentan fallas por corte, luego del ensayo original realizado por el ingeniero Rondo Torres.

4.4.1.1. Columna

Las dimensiones de las columnas de cada muro no son iguales en el siguiente cuadro detallare sus dimensiones.

Tabla N°07: dimensiones de las columnas

Tipo de muro	Columna (txL) cm		Seccion transversal (cm ²)
M1-M1'	5.2	20	104
M2-M2'	6.5	16	104
M5	13	8	104

El acero para la columna fue de 1/4 '' y los estribos de alambre N°8

4.4.1.2. Viga solera

En este caso las características de las vigas soleras son las mismas para todos los muros, el acero también fue de 1/4'' y los estribos de alambre N°8.

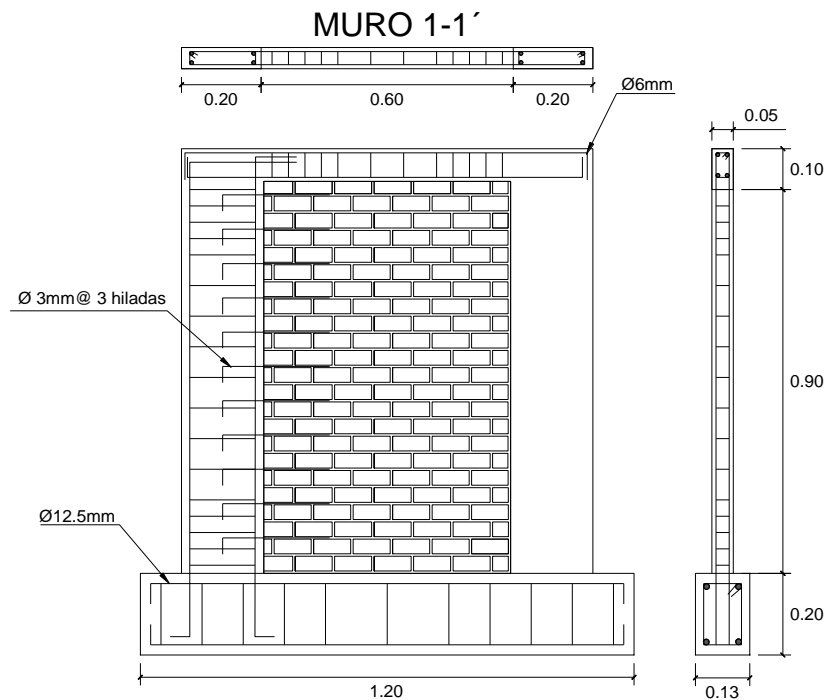


Figura N°08: Muro M1-M1'

Fuente: Autoría propia

MURO 2-2'

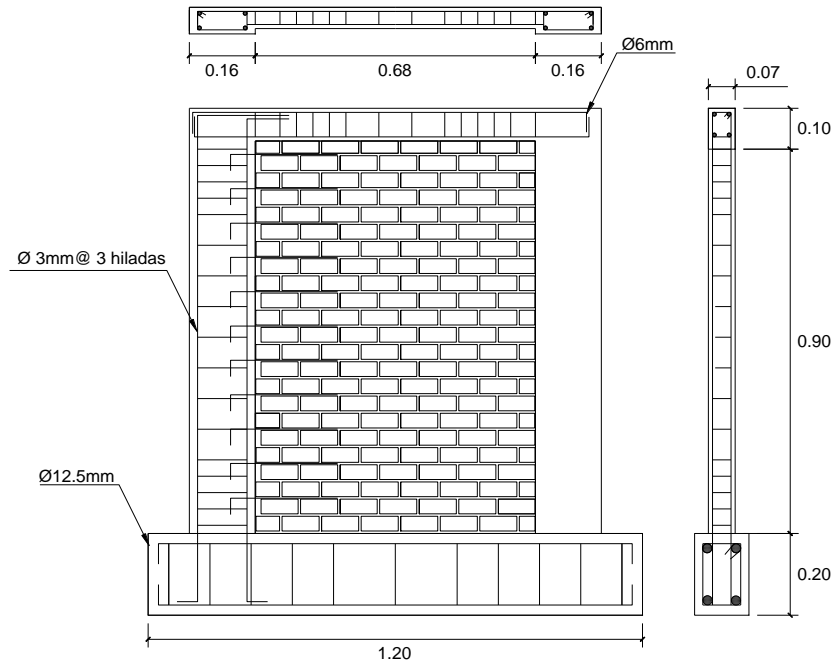


Figura N°9: Muro M2-M2'

Fuente: Autoría propia

MURO 5

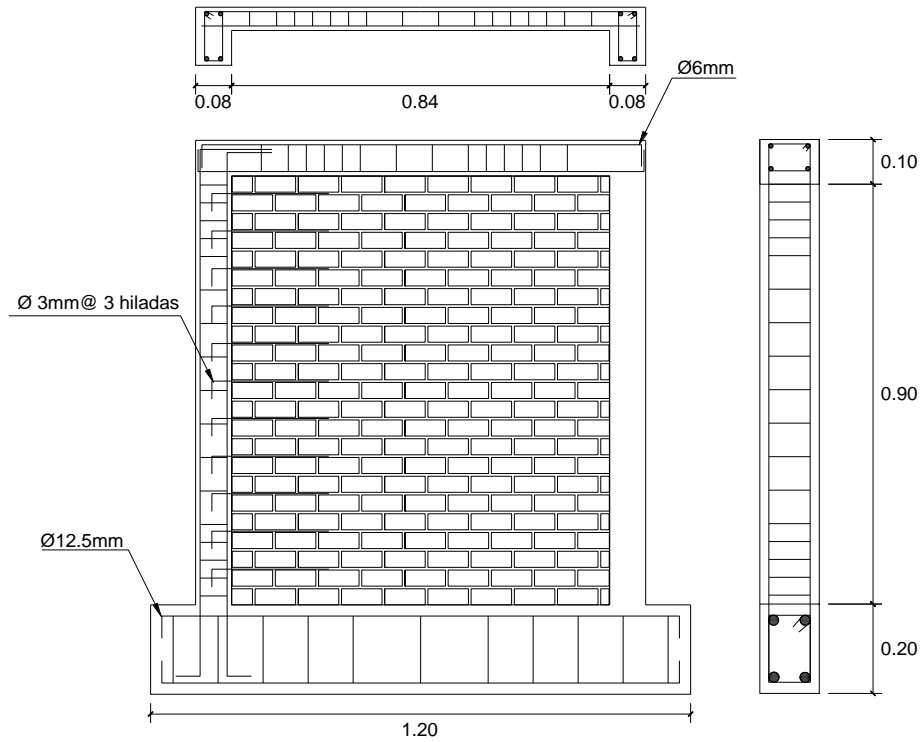


Figura N°10: Muro M5

Fuente: Autoría propia

4.5. Proceso constructivo de los muros

El proceso constructivo lo tome de la referencia N°07.

a) Cimentación y acero de refuerzo

Para el encofrado se utilizó paneles de 3m de largo y 20 cm de ancho de fierro, pudiendo encofrar 2 prototipos por cada panel tendido frente a frente; para asegurar el encofrado se utilizó alambre de amarre # 16, quedando listo para la colocación del concreto. Para el vaciado del concreto se utilizó arena gruesa y gravilla de $\frac{1}{2}$, proponiendo una dosificación necesaria para alcanzar la resistencia nominal de 210 kg/cm^2 a los 28 días.



Foto N°02: Encofrado y vaciado de las vigas de cimentación

Fuente: Ref. N°07

b) Asentado de las unidades de albañilería

Para la construcción de los paños de albañilería se tuvo que previamente haber mojado el ladrillo durante 30 minutos aproximadamente el día anterior al día de asentado, logrando que al momento de asentarlos se encuentre la zona de contacto húmeda para que pueda absorber al material cementante y el núcleo saturado de tal modo que esa agua sirva para curar al mortero de manera natural.

La zona de la viga de cimentación que estaba rayada se limpió de impurezas sueltas con una escobilla, estas ranuras permitieron una buena adherencia de la primera capa de mortero. Luego se procedió al emplantillado de la primera hilada, teniendo en cuenta que todos los muros presentarían conexión columna-albañilería a ras con mechas de alambre # 16 cada dos hiladas.

Los paños de albañilería fueron construidos manteniendo su verticalidad y horizontalidad respectiva, para ello fue necesario el uso de una plomada, cordel y un escantillón, que fueron usados por personal con mano de obra calificada quienes se tomaron muchas jornadas de trabajo para realizar dicha actividad, ya que el personal no tenía experiencia en trabajos a escala, demorándose en su adaptación para este tipo de trabajo.

Se tuvo especial cuidado de no atentar contra la integridad del muro recién asentado, además se tuvo que asentar el muro en dos jornadas de trabajo, la primera fue de 12 hiladas y la segunda de 11 hiladas, dejando libre la junta vertical correspondiente a la última hilada de la primera jornada, logrando crear llaves de corte con el mortero que las cubre al iniciar la segunda jornada, evitando

fallas de cizalle en esa zona.

Se elaboró pilas y muretes a escala reducida para encontrar las propiedades mecánicas de la albañilería.



Foto N°03 Asentado de ladrillo

Fuente: Ref.N°07

c) Vaciado de columnas

Para el encofrado de las columnas se tuvo la necesidad de comprar triplay de 1 cm de espesor y habilitarlo a la medida requerida, ya que con la madera tradicional era inapropiado para el encofrado dado las dimensiones de las columnas.

La técnica de encofrado fueron las mismas típicas que se utilizan en un encofrado a escala real.

Para el vaciado de las columnas se tuvo que preparar concreto líquido fino, dado que las columnas eran de secciones pequeñas. El concreto líquido tuvo una dosificación de 1: 2: 2, con una relación agua cemento de 1, lo cual fueron batidos mecánicamente hasta lograr la consistencia de un líquido uniforme, sin segregación de los agregados.

Paralelo al vaciado también se vaciaron los testigos para su ensayo de la resistencia del concreto, estas probetas fueron fabricadas considerando una esbeltez igual a 2 y la técnica de curado que se le dio fue el mismo que a las

columnas para que el concreto de las probetas se encuentre en las mismas condiciones que el de las columnas (se roció agua por tres días).



Foto N°04: Vaciado de columnas

Fuente: Ref. N°07

d) Viga solera

En esta actividad al igual que en las columnas se habilitó los estribos y el acero longitudinal, teniendo en cuenta que el refuerzo vertical de las columnas penetren al interior de la solera, evitando doblar sobre la última hilada de la albañilería, aumentando la resistencia al corte en la zona de conexión solera-columna, además se adiciono 1 estribo de columna en el nudo donde se encuentran la solera y columna (nudo rígido), la recomendación era de adicionar 2 estribos, pero dada la dificultad por ser elementos pequeños, se logró solo adicionar un estribo. El encofrado de las vigas se realizó con la misma madera que se utilizó para las columnas. El concreto y la técnica para vaciar estas vigas fue el mismo que se utilizó para vaciar las columnas,

poniendo interés en el chuceado del concreto para evitar cangrejas en el vaciado.



Foto N°05: Armado de la viga collarín o solera.

Fuente: Ref. N°07

4.6. Ensayo del muro original a carga lateral monotónica

La siguiente información proviene de la referencia N°07

4.6.1. Generalidades

El ensayo a carga lateral monotónica consiste en aplicar la carga lateral en una sola dirección de forma incremental a una cierta velocidad, hasta alcanzar la rotura diagonal de la albañilería.

Conjuntamente se controla los desplazamientos laterales conforme aumenta la carga aplicada hasta alcanzar la falla del espécimen. Este tipo de ensayo no permite contemplar cómo sería el deterioro de un muro frente a desplazamientos laterales cíclicos, sin embargo, si el objetivo es determinar la resistencia del muro si es recomendable, ya que los resultados de la resistencia al corte y la rigidez lateral inicial fueron similares al de un ensayo a carga lateral cíclica.

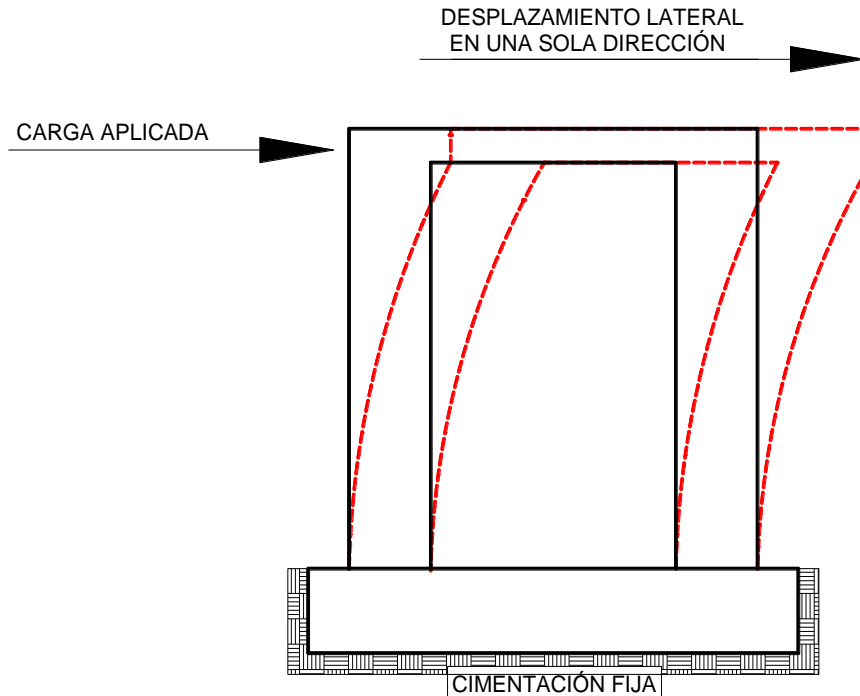


Figura N°11: Esquema de la aplicación de la carga lateral

Fuente: Autoría propia

4.6.2. Instrumentación

Esta parte lo dividiremos en dos, ya que los instrumentos usados en los ensayos de la referencia N°07 No son los mismos que se usó en los ensayos de los muros reparados, debido a que fue difícil la recolección de datos ya que los instrumentos no eran adecuados y carecían de precisión, en esta parte detallare los instrumentos que permitieron una mejor recolección de información.

4.6.2.1. Instrumentos que se usaron en la referencia N°07

Para la aplicación de la carga lateral monotónica, se empleó un gato hidráulico, colocando en posición horizontal en el mismo sentido de la viga solera.

Para la recolección de los desplazamientos, se fabricó un dispositivo que capturaba los desplazamientos y los enviaba a una laptop la cual los iba guardando con forme el muro se desplazaba.

La gata era accionada de forma manual, y para controlar los desplazamientos milimétricos se apoyaba de una electroválvula, la cual era accionada por un programa realizado en Matlab, y su función, no dejaba pasar aceite hidráulico si el desplazamiento era superior al requerido, en esta parte se anotaba la presión que ejercía el gato hidráulico mediante un manómetro y era anotado de forma manual, esto se repetía por cada fase hasta culminar los 10 muros.



Foto N°06: Gata hidráulica y manómetro que se usaron en los ensayos originales

Fuente: Ref. N°07

4.6.2.2. Instrumentos que se usaron en la reparación de los muros

a) Marco rígido y carga aplicada

En este caso el gato hidráulico que aplicaba la carga lateral fue mejorado ya que en los ensayos de los muros originales tuvimos muchos problemas con el gato hidráulica, el cual perdía presión por las modificaciones que le hicieron, esto causó muchos

inconvenientes por lo que opte por mejorar la aplicación de la carga lateral con la ayuda de un porto power hidráulico de 10 toneladas marca truper, el cual tiene la facilidad de colocar el pistón hidráulico en diferentes posiciones sin presentar ningún inconveniente, además viene con su propia bomba hidráulica manual, que nos permitió controlar mejor el inyectado del aceite hidráulico.



Figura N°12: Porto power de 10 ton Truper

Fuente: www.truper.com

Al marco rígido se hicieron unas pequeñas modificaciones de refuerzo lo demás fue igual.

b) Instrumentos de recolección de datos (desplazamiento y presión)

Para la recolección del desplazamiento de manera más precisa, use un transductor de desplazamiento LVDT analógico, con una precisión milimétrica, y su función era transmitir señales analógicas a un programa instalado en una laptop que transformaba las señales y convertía en desplazamiento.

Este programa automáticamente guardaba los desplazamientos en una hoja de calcula Excel para posteriormente poder analizar los datos.



Figura N°13: Transductor de desplazamiento (LVDT)

Fuente: SOP (Precision Intelligent Manufacturin Technology)

De igual manera para recolectar los datos de la carga aplicada por cada milímetro, use un transductor de presión el cual lo compre junto con el transductor de desplazamiento, y de igual manera, iba conectado al mismo programa instalado en la laptop, su función era enviar las señales analógicas para que el programa las trasformara en presión y automáticamente guardaba los datos en una hoja de cálculo Excel.



Figura N°14:Trasdutor de Presión

Fuente: SOP (Precision Intelligent Manufacturin Technology)

4.6.3. Ensayo de los muros de albañilería

En esta parte solo mostrare los resultados de 5 muros de los 10 que se realizaron, debido a que para mí investigación no era necesario reparar y ensayar todos los muros, los muros originales como mencione se ensayaron a carga lateral monotónica, en un sentido, aplicando la carga a uno de los lados del muro, por lo tanto la aplicación de la carga en los muros reparados se hará en ambos lados por lo que se optó por reparar dos de cada tipo de muro y un muro reparado solo con mortero para calibrar los sensores.

Tabla N°08: Fases se ensayo

FASE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Para poder distinguir las grietas por cada fase nos apoyamos con la ayuda de unos crayones de distintos colores y de esta manera quede registrado mejor el avance de las grietas.

4.7. Resultado de los ensayos de los muros originales

Los datos numéricos de los muros originales se tomaron de la referencia N°07

4.7.1. Descripción de fallas del muro M1

- Como era de esperarse en la primera fase el muro no presentó ninguna fisura, la carga aplicada fue de 693 kg y su desplazamiento 1mm
- En la segunda fase, se apreció una fisura en la zona interface viga de cimentación-columna, también se observó una fisura en la columna de tendencia horizontal, esta fisura se prolongaba desde la parte externa de la columna (zona en tracción) direccionado hacia la albañilería. La carga en esta fase llegó a 977kg.

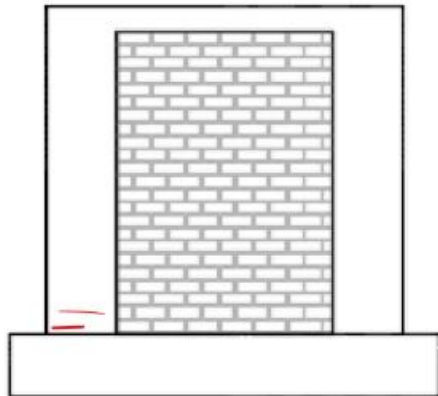


Figura N°15: Primera Fisura en el muro

Fuente: Ref. N°07

- En la tercera fase, se prolongó las fisuras provenientes de la columna de manera horizontal, llegando a una carga de 1153kg.

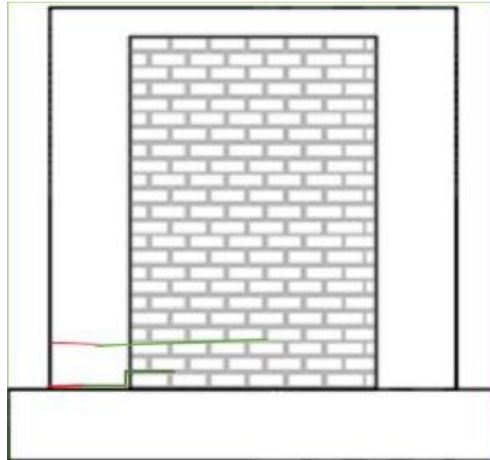


Figura N°16: Fisura en la fase 3

Fuente: Ref. N°07

- En la cuarta fase, se prolongó la fisura horizontal proveniente de la columna, en esta fase la carga llegó a 1334kg.



Foto N°07: Fisura en la fase 4

Fuente: Ref. N°07

- En la quinta y sexta fase, se escuchó un sonido que se interpretó como de rotura, pero no fue visible ninguna grieta, suponiendo que la fisura fue interna y no se prolongó hasta la superficie del muro.

- En la séptima fase se escuchó un sonido característico asimilándolo al crujiir de un bloque de ladrillo, sin embargo, a diferencia del anterior sonido este si deajo ver la fisura marcada en la columna (falla de tracción por flexión). En esta fase el muro alcanzo una carga de 2078 kg.



Foto N°08: Fisura en la fase 7

Fuente: Ref. N°07

- En la octava fase se produjo una fisura diagonal en la columna, en la zona del tercio superior, lo que indica que la columna por tener un peralte considerable estaba trabajando también a corte. La carga en esta fase lleo a 2238kg.

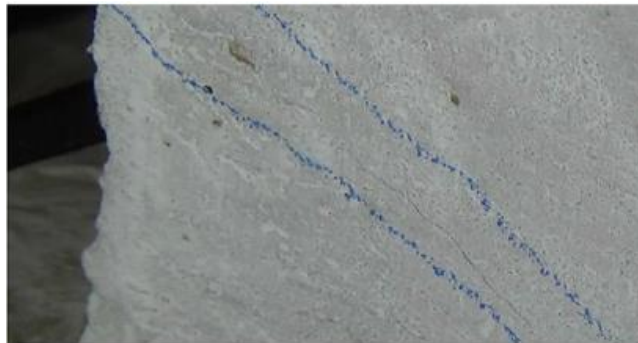


Foto N°09: Fisura en la fase 8

Fuente: Ref. N°07

- En la novena fase, se visualizó una fisura con tendencia a ser horizontal pero que llega a la columna de forma diagonal, esta fisura se dio en la parte superior del muro, se visualizó una nueva fisura por tracción en la columna, la fisura diagonal de la fase anterior se prolongó. La carga en esta fase llega a 2399 kg.



Foto N°10: Fisura en la fase 9

Fuente: Ref. N°07

- En la última fase, el muro presento fisuras diagonales combinadas con escalonadas, esta fisura inicio en la parte central y a medida que íbamos revisando, se prolongaban hacia los extremos llegando hasta la columna en forma diagonal. Esta falla produjo un sonido fuerte el más fuerte hasta entonces. La carga en esta fase llega a 2587 kg y su desplazamiento fue de 10mm.



Foto N°11: Fisura en la fase 10
Fuente: Ref. N°07

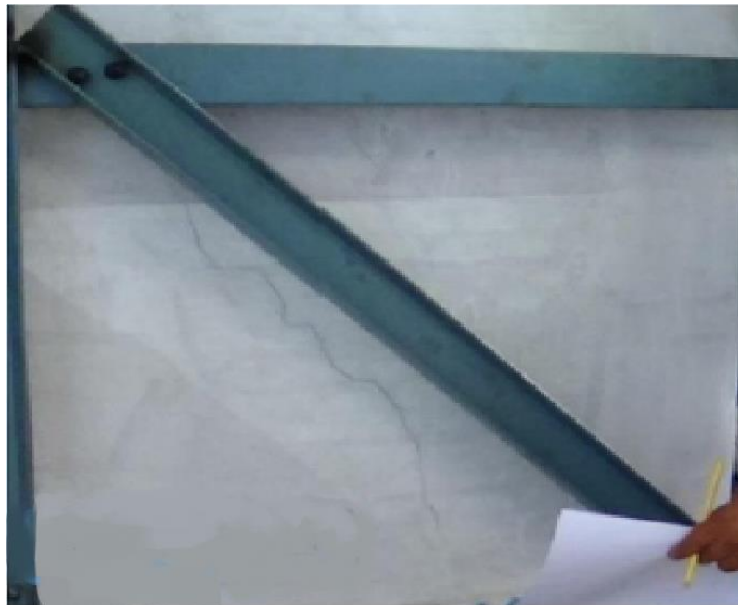


Foto N°12: Fisura en la fase 10
Fuente: Ref. N°07

4.7.2. Descripción de fallas del muro M2

- Al igual que el anterior muro, en la primera fase este no presentó fisuras, llegando a una carga de 866 kg para un desplazamiento de 1 mm.

En la segunda fase se observó una fina fisura en la interface columna-viga de cimentación, en esta fase la carga fue de 1463 kg con un desplazamiento de 2 mm.

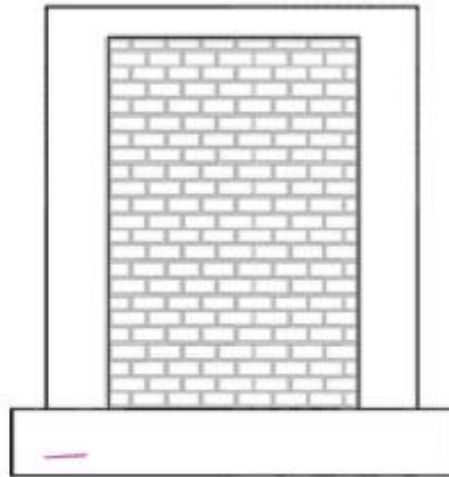


Figura N°17: Fisura en la fase 1

Fuente: Ref. N°07

- En la tercera fase, se observó una fisura en la parte baja de la columna tomando forma cercana a diagonal, y otra fisura en la zona central de la columna, esta fisura si fue de manera horizontal, pasando toda la columna y llegando hasta la albañilería, pero solo se observó en la zona del muro donde la columna está a ras, no pasó hacia el lado donde sobresalía la columna. Asimismo, se observó una fisura diagonal pequeña en la albañilería. En esta fase la carga fue de 1843 kg.



Foto N°13: Falla de tracción por flexión en la columna fase 3

Fuente: Ref. N°07

- En la fase 4, se escuchó un sonido que se asemeja a fricción de superficies rugosas, observándose una fisura diagonal continuada con una horizontal en la albañilería, empezando en la parte central del muro. La grieta horizontal de la fase 3 en esta fase rodeo la columna hasta llegar a la albañilería. La carga en esta fase llego a 2118 kg y un desplazamiento de 4mm.



Foto N°14: Primera fisura diagonal fase 4

Fuente: Ref. N°07

- En la quinta fase, se escuchó un sonido que asimilamos a un sonido de rotura, formándose grietas diagonales en la albañilería pasando a la columna en la dirección de la zona de contacto con la gata hidráulica, también se formaron nuevas grietas de tracción por flexión en las columnas. En esta fase la carga fue de 2265kg con un desplazamiento de 5mm.



Foto N°15: Fisura diagonal fase 5

Fuente: Ref. N°07



Foto N°16: Falla por corte fase 5

Fuente: Ref. N°07

- En la sexta fase, se ampliaron las fisuras diagonales producidas en la fase anterior y se prolongaron, estas fisuras llegaron hasta la zona inferior de la columna en compresión, llegando a sobrepasar la misma de forma diagonal. Asimismo, se formaron nuevas fisuras detracción por flexión en la columna traccionada. En esta fase la carga fue de 2399kg y un desplazamiento de 6mm.



Foto N°17: Degradación de la albañilería fase 6

Fuente: Ref. N°07

- En la fase 7, las fisuras se siguieron ampliando y en la fase 8, se observaron prolongaciones de las fisuras diagonales anteriores, una de ellas llego hasta la zona de contacto con la gata hidráulica. Asimismo, se observó nuevas fisuras. En esta fase la carga llego a 2750 kg con un desplazamiento de 8mm.



Foto N°18: Falla en la zona de contacto muro-pistón de la gata hidráulica fase 8
Fuente: Ref. N°07



Foto N°19: falla de tracción por flexión fase 8
Fuente: Ref. N°07

- En la fase 9, aparecieron nuevas fisuras diagonales, las cuales fueron pequeñas, las fisuras de tracción de las columnas se prolongaron, llegando a cruzar toda la columna en la cara del muro que no sobresale la columna, y para el otro lado aun no llego a cruzar las fisuras. En esta fase la carga llego a 2932 kg con un desplazamiento de 9mm.
- En la última fase, continuaron prolongándose algunas grietas y se ampliaron las que ya existían, llegando a medir hasta 2 mm con carga sostenida. La carga en esta fase llego a 3026 kg y un desplazamiento 10 mm.



Foto N°20: Muro agrietado fase 10

Fuente: Ref. N°07

4.7.3. Comportamiento elástico de los muros

Los dos muros presentaron un comportamiento elástico en la primera fase, ya que a partir de la segunda aparecieron fisuras en el muro. Se entiende que la rigidez inicial K_0 se define como la fuerza que genera un desplazamiento unitario.

La rigidez lateral se puede calcular numéricamente, esto si asumimos que es un muro en voladizo. Para poder calcular la rigidez usaremos la siguiente expresión que corresponde a la rigidez teórica.

$$K = \frac{E_m}{\frac{h^3}{3I} + \frac{f * h * E_m}{At * G}}$$

Donde:

E_m : Módulo de elasticidad de la albañilería.

h : Altura del muro.

G : Módulo de corte de la albañilería.

I : Momento de inercia de la sección transformada.

f : Factor de forma (At/A).

At : Área de la sección transformada

A : Área del alma de la sección transformada.

Como el muro lo conforma distintos materiales (concreto armado y albañilería), lo que se busca es que el elemento sea homogéneo en sus características, por lo tanto, aplicaremos el criterio de la sección transformada.

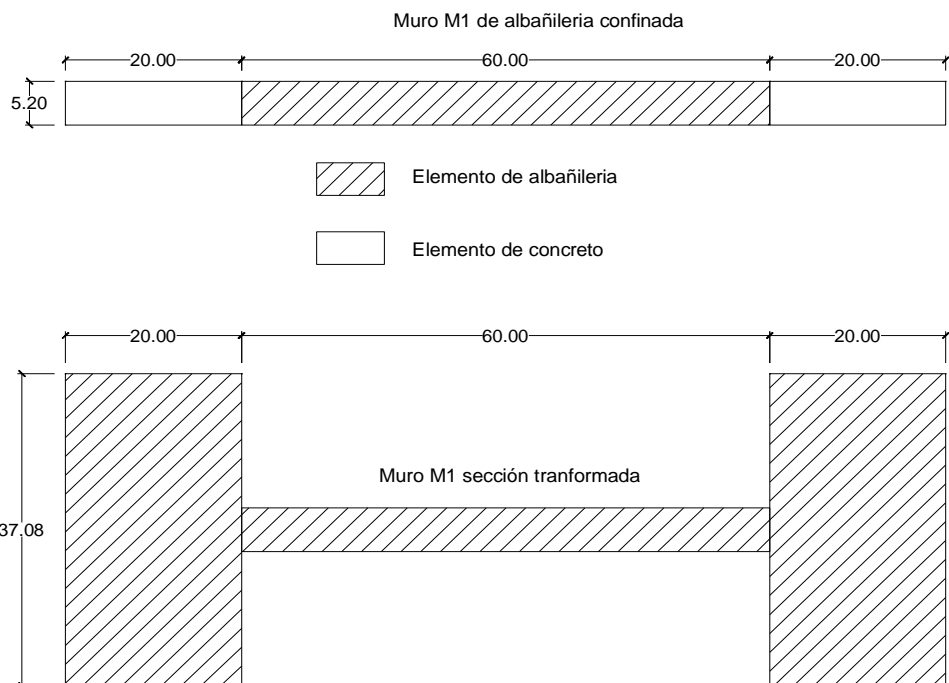


Imagen N°18: Aplicación del criterio de la sección transformada al muro M1

Fuente: Autoría propia

Datos:

MURO M1			
DESCRIPCION	SIMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
AREA	A	1794.849	cm ²
INERCIA DEL ELEMENTO	I	2515898.667	cm ⁴
FACTOR DE FORMA	f	3.452	
ALTURA	h	108	cm
MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO	E _c	151493	kg/cm ²
RESISTENCIA DE LA ALBAÑILERIA	f'm	42.5	kg/cm ²
MODULO DE ELASTICIDAD DE LA ALBAÑILERIA	E _a	21250	kg/cm ²
RELACION DE MODULOS ELASTICOS	n=E _c /E _a	7.129	
MODULO DE CORTE	E _a /G _a =2.5--G _a	8500	kg/cm ²

Tabla N°9: Los valores de $E_a=500f'm$ y $E_a/G_a=2.5$, se tomaron de la norma E070 Ref. N°02

La rigidez teórica del muro M1 resulto 30970 kg/cm, mientras que el experimental fue 6934 kg/cm valor que resulto siendo 22.38% de la rigidez teórica, esta diferencia notable puede depender de muchos factores como, por ejemplo, el marco de acero donde está instalado todo el sistema para generar la carga, se colocaron dos arriostres empernados y las deformaciones que presenta todo el marco en conjunto no se consideraron.

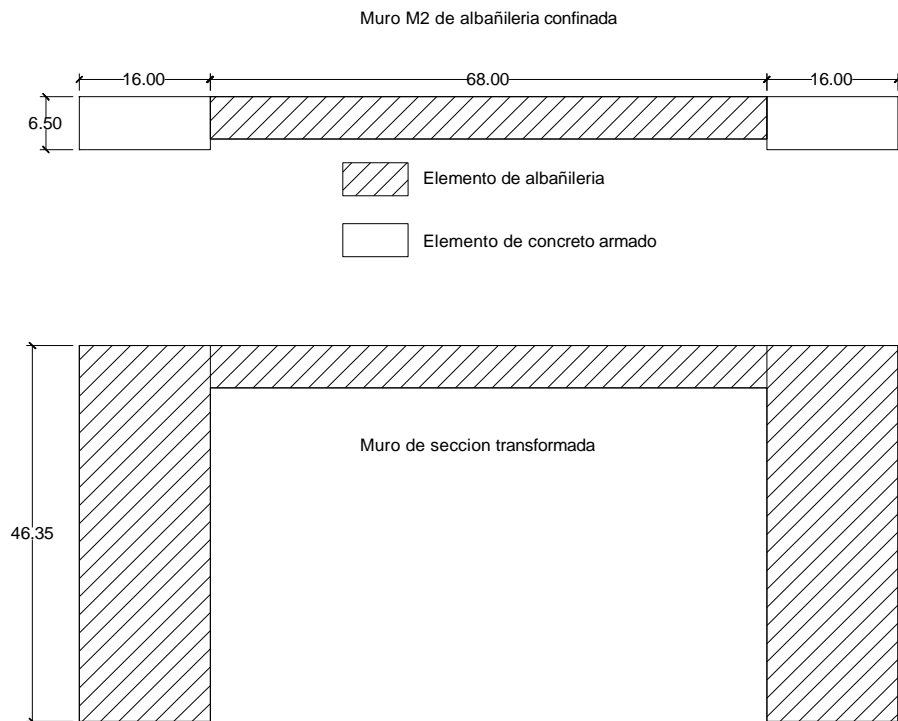


Imagen N°19: Aplicación del criterio de la sección transformada al muro M2

Fuente: Autoría propia

Datos:

MURO M2-M2'			
DESCRIPCION	SIMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
AREA	A	1836.400	cm ²
INERCIA DEL ELEMENTO	I	2783974.6	cm ⁴
FACTOR DE FORMA	f	3.370	
ALTURA	h	108	cm
MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO	Ec	151493	kg/cm ²
RESISTENCIA DE LA ALBAÑILERIA	f'm	42.5	kg/cm ²
MODULO DE ELASTICIDAD DE LA ALBAÑILERIA	Ea	21250	kg/cm ²
RELACION DE MODULOS ELASTICOS	n=Ec/Ea	7.129	
MODULO DE CORTE	Ea/Ga=2.5--Ga	8500	kg/cm ²

Tabla N°10: Los valores de $Ea=500f'm$ y $Ea/Ga=2.5$, se tomaron de la norma E070 Ref. N°02

La rigidez teórica del muro M2 resulto 33644.36 kg/cm, mientras que el experimental fue 8661 kg/cm valor que resulto siendo 25.74% de la rigidez teórica.

4.7.4. Primera fisura por flexión en columnas de los muros M1 y M2

Para determinar teóricamente la carga asociada a la primera fisura, se utilizó el criterio de la sección transformada no agrietada.

El esfuerzo de tracción máximo se calculó con la siguiente expresión:

$$\sigma_{\text{tracción}} = \frac{M * y}{I} = \frac{F'r}{n} = \frac{2\sqrt{f'c}}{n}$$

$$M = F * H$$

Entonces la capacidad de tracción del concreto será:

$$F = \frac{2\sqrt{f'c} * I}{H * y * n}$$

Donde:

n = relación de módulos de elasticidad E_c/E_a

H= altura desde la base hasta el centro del pistón de la gata hidráulica

I = inercia de la sección transformada

y= distancia desde el centro de gravedad hasta la fibra más extrema en tracción.

M=momento flector

F´r= módulo de rotura del concreto $2\sqrt{f'c}$

Tabla N°11: Datos para calcular teóricamente la primera fisura en la columna muro M1

Descripción	Símbolo	Cantidad	unidad
Inercia	I	2515898.667	cm ⁴
Altura des de la base hasta el centro del pistón de la gata	H	104	cm
Relación de módulos de elasticidad	n	7.129	
Fibra extrema en tracción	y	50	cm

Tabla N°12: Resultado

MURO	F. teórica	F. experimental	diferencia
M1	1516.922kg	1463kg	3.55 %

Tabla N°13: Datos para calcular teóricamente la primera fisura en la columna muro M2

Descripción	Símbolo	Cantidad	unidad
Inercia	I	2783974.6	cm ⁴
Altura desde la base hasta el centro del piston dela gata	H	104	cm
Relacion de modulos de elasticidad	n	7.129	
Fibra extrema en traccion	y	50	cm

Tabla N°14: Resultado

MURO	F. teórica	F. experimental	diferencia
M2	1370.85 kg	977kg	28.73 %

4.7.5. Agrietamiento diagonal

Para obtener la resistencia teórica del agrietamiento diagonal de la albañilería, se utilizó la formula expuesta en la norma E070.

$$V_m = 0.5 \times v' \times m \times \alpha \times t \times L + 0.23 \times P_g$$

Donde:

V_m = resistencia teórica al agrietamiento diagonal = **1695.2 kg**

$v'm$ = resistencia a corte puro de los muretes = **6.52 Kg/cm²**

t = espesor del muro efectivo = **5.2cm**

L = longitud total del muro, incluyendo el peralte de las columnas = **100 cm**

α = factor de reducción por efecto de esbeltez = **1**

P_g = fuerza gravitacional de servicio en este caso = **0**

Espécimen	V(kg)	Fase
Muro M1		
Muro original	2238.00	8
Muro M2'		
Muro original	1843.00	3

4.7.6. Cargas y desplazamientos

En esta parte presentaremos los valores de la carga lateral máxima y sus respectivos desplazamientos de los muros originales durante el ensayo.

Tabla N°15: Fuerzas obtenidas por cada fase del ensayo original

Fuente: Autoría propia

D(mm)	FM1-M1' (kg)	FM2-M2' (kg)
0	0	0
1	694	866
2	977	1463
3	1153	1843
4	1334	2119
5	1451	2265
6	1580	2399
7	2078	2581
8	2238	2751
9	2399	2932
10	2587	3026

Grafico N°01: Grafico del esfuerzo vs el desplazamiento

Fuente: Autoría propia

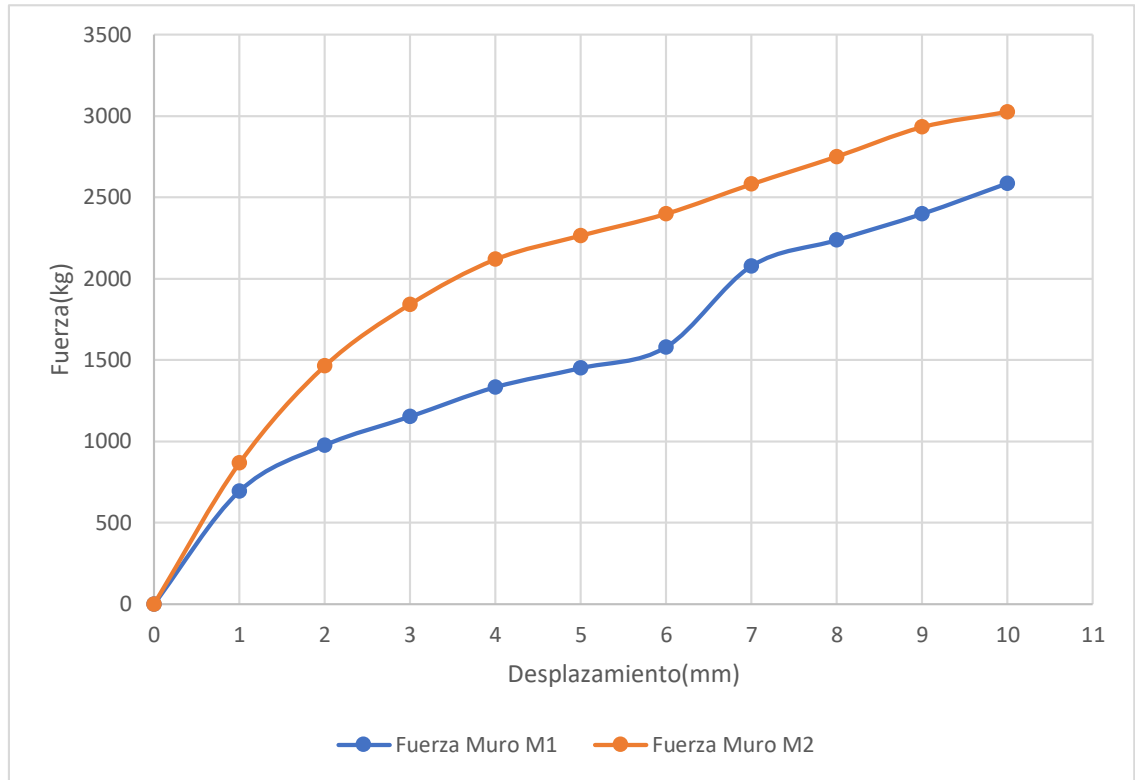


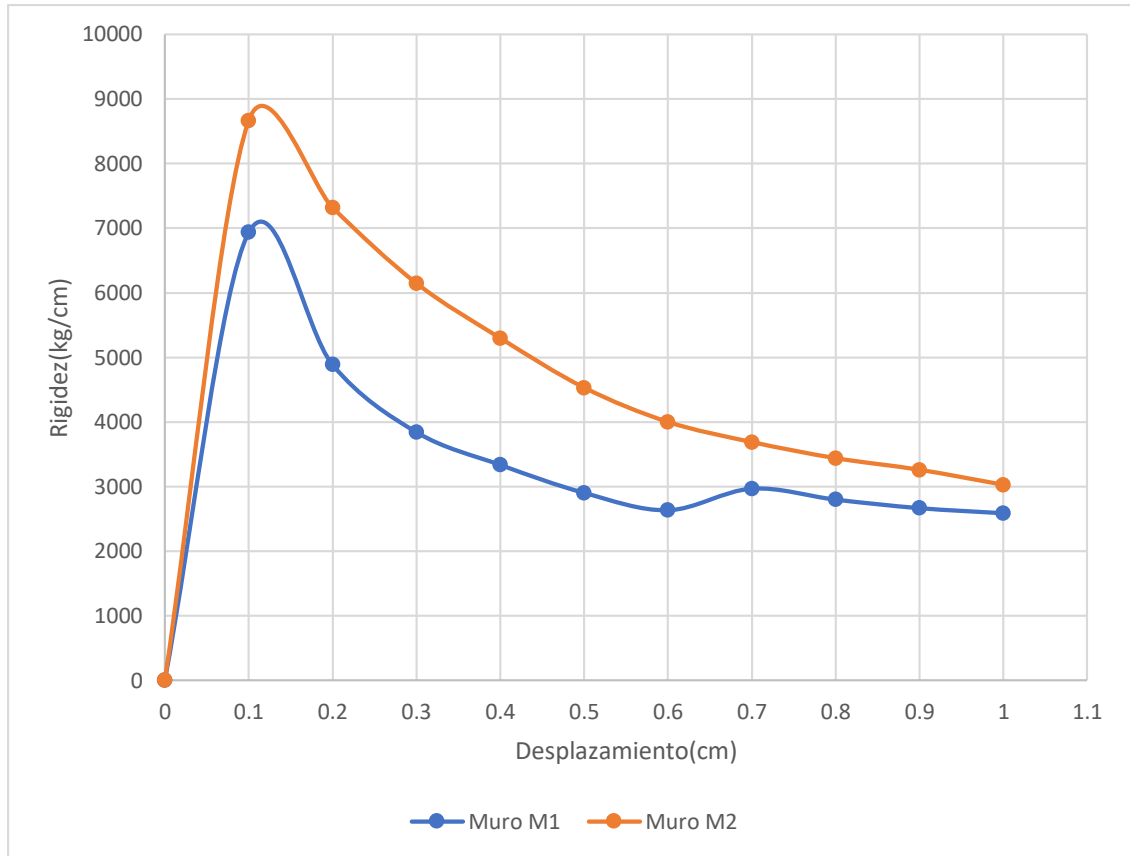
Tabla N°16: Degradación de la rigidez por cada fase del ensayo original

Fuente: Autoría propia

D(mm)	FM1 (kg/cm)	FM2 (kg/cm)
0	0	0
1	6935	8661
2	4887	7315
3	3843	6145
4	3336	5296
5	2903	4530
6	2634	3999
7	2968	3687
8	2798	3438
9	2666	3258
10	2587	3026

Grafico N°02: Grafico de la degradación de la rigidez de los muros M1 y M2

Fuente: Autoría propia



4.8. Reparación del muro de albañilería

4.8.1. Generalidades

Luego de que los muros fueron ensayados y de presentar falla por corte el siguiente paso fue la reparación, con el objetivo de recuperar un porcentaje de la rigidez inicial y resistencia al agrietamiento diagonal, usando las dos técnicas propuestas, para luego hacer el comparativo y dé como resultado la técnica más efectiva.

Antes de iniciar las reparaciones, quitamos con agua y escobillas la pintura base color blanco, que se colocó para una mejor apreciación de las fisuras y para que el mortero se adiera mejor al muro.



Foto N°21: Limpieza de los muros antes de iniciar las reparaciones
Fuente: Autoría Propia

4.8.2. Primera técnica de reparación

Esta técnica consiste en reforzar por corte al muro, en este caso utilizamos unas varillas de (GFRP) tal cual se muestra en el siguiente esquema.

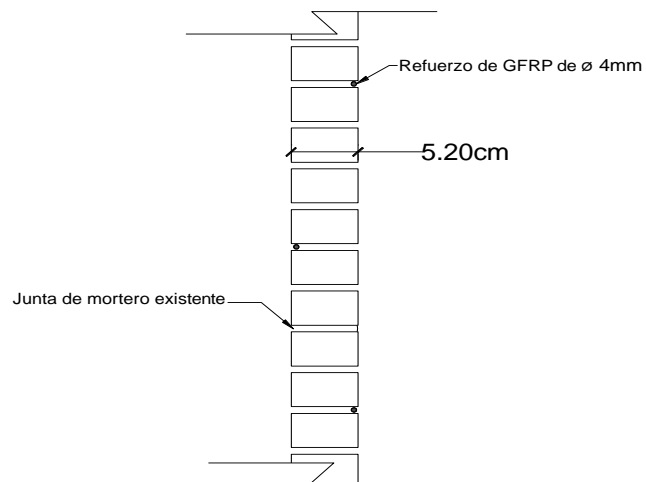


Imagen N°20: Esquema de la aplicación del refuerzo horizontal
Fuente: Autoría propia

4.8.2.1. Procedimiento

a) Separación de las varillas

Para calcular la separación para colocar las varillas, recurrí a la fórmula para hallar el área del refuerzo horizontal de la norma E070 Ref. N°2.

$$Ash = \frac{Vm * S}{fy * D}$$

$$S = \frac{Ash * fy * D}{Vm}$$

Donde:

S = espaciamiento del refuerzo horizontal <=40cm

D = altura del muro (108)

fy = 8400kg/cm² para refuerzo de GFRP

Vm = fuerza cortante máxima del muro ensayado

Ash = área transversal del refuerzo 0.126cm²

El resultado nos dio un S=45.23 cm, optamos por la separación de 40cm.

b) Picado de las zonas agrietadas del muro

Luego de realizarla la limpieza de los muros, pasamos a picar las grietas donde la albañilería sufrió más daño solo las grietas importantes, quitando los trozos de ladrillo triturado, para posteriormente rellenar esos vacíos con mortero.



Foto N°22 y N°23: Picado de las fisuras más importantes

Fuente: Autoría Propia

c) Reparación de las grietas

Luego de picar las grietas y remover partes trituradas de ladrillos, pasamos a rellenar los vacíos que quedaron con mortero 1:4.



Foto N°24 y N°25: Humedeciendo el muro y aplicando mortero en las grietas

Fuente: Autoría Propia

d) Ranurado de las juntas con amoladora

Para colocar las varillas de refuerzo nos apoyamos con la ayuda de una amoladora, haciendo unas canaletas en las juntas del muro. Las dimensiones de las canaletas fueron de 1cm x 1.5 cm de profundidad.



Foto N°26 y N°27: Canaletas para colocar el refuerzo horizontal

Fuente: Autoría Propia

e) Colocación del refuerzo GFRP

Luego de haber realizado las canaletas, el siguiente paso fue quitar todo residuo de polvo debido a que las varillas están recubiertas por una resina adherente, por tal motivo eliminamos todo residuo de polvo para luego colocar las varillas, luego de colocar las varillas se rellenó cada espacio de las canaletas con mortero, teniendo cuidado de no dejar ningún espacio vacío.



Foto N°28 y N°29: Colocación del refuerzo horizontal

Fuente: Autoría Propia

Luego de colocar las varillas en ambos muros se tarrajeo con una fina capa de cemento más arena, el objetivo era lograr tener una superficie lisa donde se pueda apreciar mejor las grietas durante los ensayos.



Foto N°30 y N°31: Estado final del muro reparado

Fuente: Autoría Propia

4.8.3. Segunda técnica de reparación

Esta técnica consiste en el encamisado del muro con una malla electrosolda de acero de 1/4", anclada al muro mediante perforaciones perpendiculares al plano y atadas con alambre # 16.

4.8.3.1. Procedimiento

a) Picado de las zonas agrietadas del muro

Del mismo modo que los primeros muros, los muros M2-M2' fueron limpiados hasta remover polvo y pintura luego se picaron las grietas importantes, retirando todo residuo de ladrillo triturado. También se realizaron las perforaciones para asegurar las mallas en los muros.



Foto N°32 y N°33: Picado de las grietas más importantes en los muros

Fuente: Autoría Propia



Foto N°34: Perforación del muro para asegurar la malla electrosoldada

Fuente: Autoría Propia

b) Reparación de las grietas

Con la ayuda de una brocha se limpió el polvo de las grietas para dejar listo para el siguiente paso que fue reemplazar los espacios vacíos con mortero, pañeteando del mismo modo que en los muros anteriores.



Foto N°35: Aplicación del mortero en el muro

Fuente: Autoría Propia

c) Colocación de la malla electrosoldada

Previamente se hicieron las perforaciones para asegurar la malla en ambos lados del muro, luego se colocaron las mallas y se aseguraron con alambre, las perforaciones fueron rellenadas con una lechada de cemento y agua con la ayuda de una botella a manera de inyección, luego se pañeteo el muro y se cubrió ambos lados a manera de tarrajeo.



*Foto N°36: Aplicación de lechada a base de cemento y agua en las perforaciones
Fuente: Autoría Propia*



Foto N°37: Muros M2 y M2' luego de asegurar las mallas electro soldadas

Fuente: Autoría Propia



Foto N°38: Pañeteo de los muros

Fuente: Autoría Propia



Foto N°39: Estado final de los muros

Fuente: Autoría Propia

4.8.4. Curado de los muros reparados

Los muros reparados, pasaron por un proceso de curado antes del ensayo a carga lateral monotónica el curado se realizó con agua durante 4 días.



Foto N°40: Curado de los muros

Fuente: Autoría Propia

4.9. Ensayo de carga lateral monotónica de los muros reparados

4.9.1. Generalidades

El ensayo de carga lateral monotónica de los muros reparados fue el mismo que para los muros originales, con la diferencia de los instrumentos de recolección de datos, fueron mejorados para una toma de datos más óptima.

4.9.2. Instrumentación

Los instrumentos electrónicos de medición colocados en el marco rígido fueron colocados como muestra la siguiente imagen.

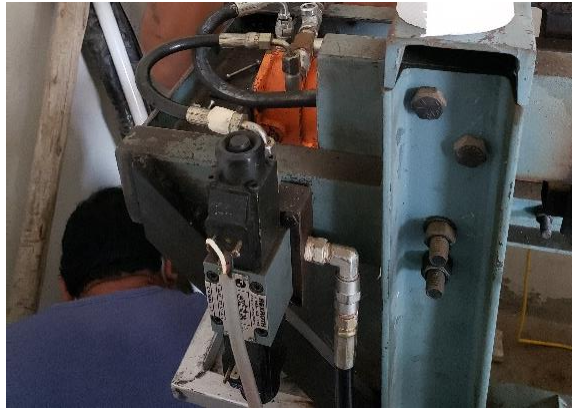


Foto N°41: Electroválvula

Fuente: Autoría Propia



Foto N°42: Manómetros y sensor de presión

Fuente: Autoría Propia



Foto N°43 y N°44: LVDT y Arduino

Fuente: Autoría Propia



Foto N°45: Software labview.

Fuente: Autoría Propia

Los instrumentos mostrados nos permitieron medir:

- La carga lateral.
- Los desplazamientos en el mismo sentido de la aplicación de la fuerza.

4.9.3. Montaje del muro

Con la ayuda de dos tubos de metal de 3/8 '' a manera de rodillo, fue sencillo colocar los muros en su lugar de ensayo, se necesitó la ayuda de dos personas sin realizar gran esfuerzo.



Foto N°46: Montaje del muro

Fuente: Autoría Propia

4.9.4. Calibrado de instrumentos de recolección de datos

a) Transductor se presión

Antes de iniciar con los ensayos de los muros reparados, era conveniente calibrar los transductores, para ello se reparó el muro M5 solo con mortero, pues su finalidad era comprobar la eficacia de los transductores y el procesamiento de información del software. Los transductores tienen la finalidad de transmitir una señal mediante voltaje al software y el software convierte esa señal a presión, con la ayuda de un manómetro de 1000 psi se comparó y la diferencia era de 28 psi. Una vez hecho los ajustes y el intervalo para que el programa pueda transformar las señales a psi, era conveniente probar el sensor con una presión más fuerte para ello se hizo otra comparación con un

manómetro de 7000psi llegado a una presión de 3000 psi no más debido a que el sensor tiene un límite de 3500 psi, en esta comparación la diferencia no era apreciable, optando por asumir que ya está listo el sensor de presión para iniciar los ensayos.



Foto N°47: Manómetros de rango 0-1000psi y de 0-7000psi

Fuente: Autoría Propia

b) Transductor de desplazamiento (LVDT)

Calibrar el transductor de desplazamiento no es necesario hacerlo con el muro montado, ya que cuenta con una aguja sensible y a medida que la aguja se introduce el software inicia a captar las señales, con la ayuda de un vernier controlamos los milímetros la diferencia era mínima, luego montamos el LVDT al marco e iniciamos nuevamente el ensayo simulado, esta vez colocado los dos transductores, el programa nos arrojó los datos en una hoja Excel, una vez comprobado la eficacia de software, se inició con los ensayos.

4.9.5. Ensayo de los muros reparados

Los muros reparados fueron ensayados a carga lateral monotónica de la misma manera que los muros originales, con desplazamientos controlados de 1 mm cada fase hasta llegar a 1 cm y 10 fases como los muros originales, es preciso hacerlo igual que los muros originales para poder comprar sus comportamientos por cada fase.

La carga aplicada a los muros originales se hizo en un lado del muro y para los ensayos de los muros reparados se creyó conveniente hacerlo también en el lado donde no se aplicó la carga, es de esta manera que se preparó 2 tipos de muros, el muro M1, M1', M2, M2' y el muro M5 para calibrar los instrumentos.

Tabla N°17: Fases de ensayo

Fuente: Autoría propia

FASE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Para poder distinguir las grietas por cada fase nos apoyamos con la ayuda de unos crayones de distintos colores y de esta manera quede registrado mejor el avance de las grietas.

4.10. Resultado de los muros reparados

Se presentará las fallas de igual manera que los muros originales, comparando por cada fase sus comportamientos.

4.10.1. Descripción de las fallas muro M1'

- En la primera fase ocurrió algo inesperado, el muro llegó a desplazarse 1.002 mm tan solo con 156.28 kg de carga, mientras que el muro original necesitó 694kg, sin embargo, al revisar no se visualizó alguna grieta.



Foto N°48: Muro colocado y listo para el primer ensayo

Fuente: Autoría Propia



Foto N°49: Ingresando las fases de ensayo en el software labview

Fuente: Autoría Propia

- En la segunda fase la carga fue de 381.81kg y se desplazó 2.004mm, comparando con el muro original seguía la amplia diferencia ya que el muro original en la segunda fase alcanzo una carga de 977kg, era necesario detenerse y analizar lo que estaba pasando, ya que el muro seguía intacto sin presentar fisuras, sin embargo, luego de revisar el marco de acero y las mangueras hidráulicas para descartar fugas, no se halló nada, optando por seguir con el ensayo.



Foto N°50: Revisión de posibles fallas

Fuente: Autoría Propia



Foto N°51: Revisando el marco rígido y las mangueras hidráulicas

Fuente: Autoría Propia

- En la tercera fase la carga fue de 693.76 kg con un desplazamiento 3.006mm frente a 1153 kg del muro original, luego de revisar el muro note una fina fisura en el muro, mas no en la columna (falla de tracción por flexión) donde inicia las grietas en este tipo de ensayos, esta fisura puede deberse a tarrajeo.

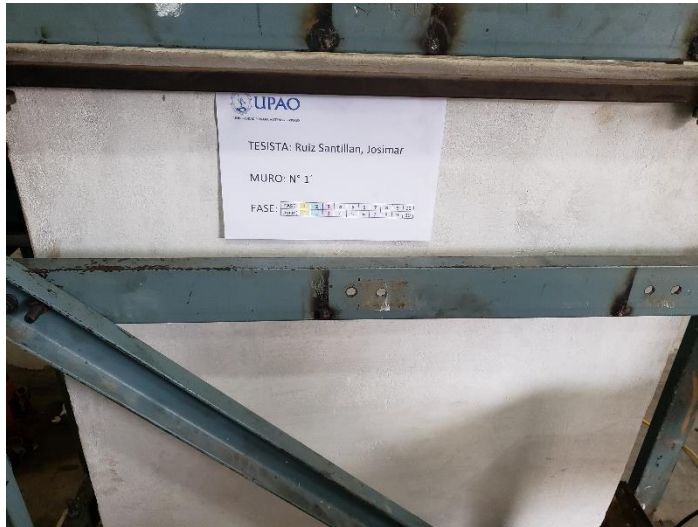


Foto N°52: Marcando la fase 3 con color rojo

Fuente: Autoría Propia



Foto N°53: Una posible fisura

Fuente: Autoría Propia

- En la cuarta fase apareció otra fisura en el muro con una carga de 1137.78kg con un desplazamiento de 4.008mm, frente a 1334 kg del muro original, en esta fase la diferencia se redujo en un 14.71%, mientras que el muro seguía sin presentar fallas importantes, esto dejaba muchas dudas ya que a este nivel de ensayo y con la carga que nos daba el transductor de presión y el manómetro, debía iniciar las fallas en la columna, sin embargo, no ocurrió lo esperado, cabe mencionar que el intervalo de cada ciclo duraba entre 2 y 3 minutos para revisar las posibles grietas.

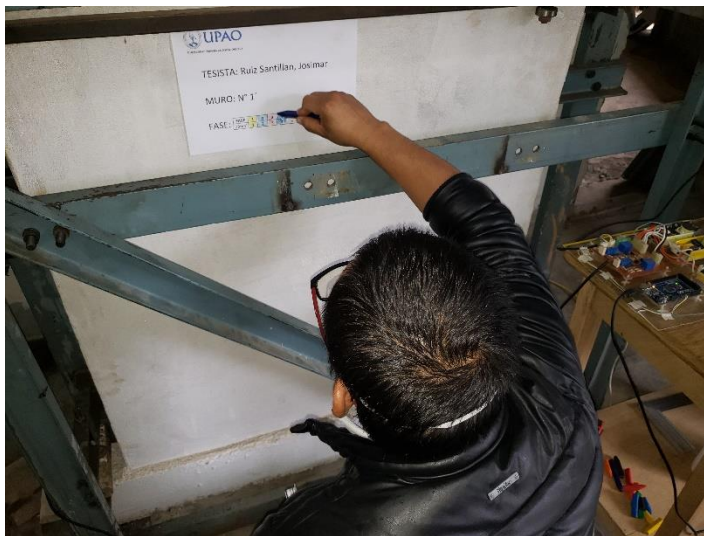


Foto N°54: Marcando la fase 4

Fuente: Autoría Propia

- Luego de terminar las revisiones en la cuarta fase, y a unos segundos de iniciado la quinta fase, cuando el transductor de desplazamiento marcaba 4.20 mm y una carga de 1236.45 kg para ser más exacto, se oyó un sonido característico como de rotura, y como ya había iniciado la fase 5 no nos podíamos detener hasta alcanzar los 5 mm de la quinta fase. Llegando a la quinta fase con una carga de 1535.99 kg y un desplazamiento de 5.01mm, al revisar el muro note que en la viga de cimentación se había producido una fisura asumiendo que fue la que produjo el sonido.



Foto N°55: Fisura en la cimentación

Fuente: Autoría Propia

- En la sexta fase la carga fue de 1870.77 kg y un desplazamiento de 6.06 mm, sobrepasando al muro original en un 18 %, sin fisuras en el muro ni en la columna, sin embargo, seguía sufriendo daño la viga de cimentación.



Foto N°56: Fisura en la cimentación

Fuente: Autoría Propia

- En la séptima fase la carga fue de 2156.22 kg y un desplazamiento de 7.11mm, aún no había fisuras importantes en el muro, sin embargo, la viga seguía sufriendo daño, también se notó una fisura en el talón de la columna.
- En la fase 8 y 9 el muro no presentaba fisuras importantes, pero la columna comenzó a traccionarse.
- En la fase 10 hubo otro sonido característico de rotura, dejándose notar una fina fisura diagonal.

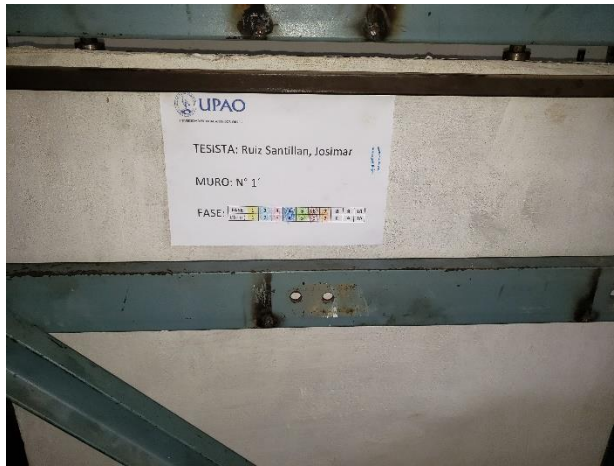


Foto N°57: Marcando la fase 7

Fuente: Autoría Propia



Foto N°58: Fisura en el talón de la columna

Fuente: Autoría Propia



Foto N°59: Fisura en la cimentación

Fuente: Autoría Propia

- Queriendo llegar al objetivo de agrietar el muro, opte por seguir con tres fases más 11mm, 12 mm y 13 mm. A un minuto de culminada la fase 11 mientras hacia las revisiones, hubo otro sonido seguido de la grito diagonal esperada, a una carga de 2839.87kg y un desplazamiento de 11.07mm.
- En la fase 12 y 13 solo se agrando la grieta de la fase 11.



Foto N°60: Fisura diagonal en la albañilería

Fuente: Autoría Propia

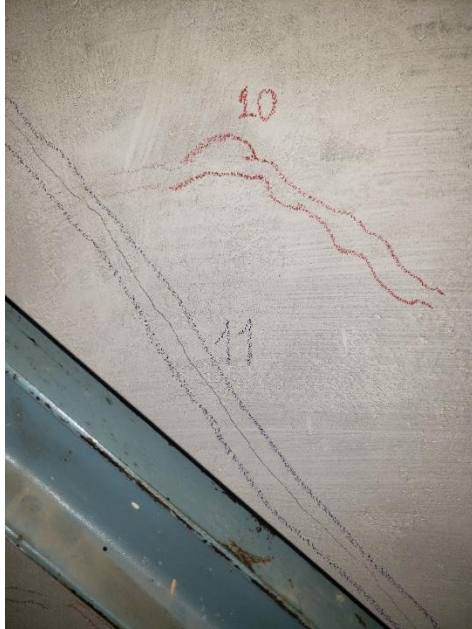


Foto N°61: Fisura diagonal falla por corte
Fuente: Autoría Propia



Foto N°62: Estado del muro luego del ensayo
Fuente: Autoría Propia



Foto N°63: Fisura diagonal última fase

Fuente: Autoría Propia

4.10.2. Descripción de las fallas muro M1

El ensayo de este muro no se realizó, debido a que al movilizar el muro hubo un accidente que casi termina en tragedia, el muro se desplomó en el suelo de concreto pulido, quedando obsoleto, sin víctimas que lamentar, sin embargo, aún quedaba los muros M2 y M2' que nos servirá para comprobar cual teoría es la correcta.

4.10.3. Descripción de las fallas del muro M2'

- El muro M2' se colocó en la misma posición que en el ensayo original, asumí que el muro se comportaría de igual manera que el muro M1' debido a que se ensayaron en la misma posición original.

- En la primera fase, la carga fue de 469.91kg y un desplazamiento de 1.002 mm, mientras que del muro original fue de 866 kg, una diferencia del 45.74 %, el muro no presento fisuras.



Foto N°64: Primera fase del muro M2´

Fuente: Autoría Propia

- En la segunda fase, la carga alcanzo los 757.20kg y un desplazamiento de 2 mm, mientras que en el muro original alcanzó los 1463 kg, en esta fase inicio las fisuras en la viga de cimentación mas no en la columna ni tampoco en el muro.



Foto N°65 y N°66: Primera fisura en la viga de cimentación

Fuente: Autoría Propia

- En la tercera fase, la carga alcanzo los 1151.88 kg y un desplazamiento de 3.006mm, mientras que el muro original alcanzó una carga de 1843 kg una diferencia del 38.79%, sin embargo, ambos muros se fisuraron diagonalmente en esta fase, iniciando en la columna y pasando hasta el muro.



Foto N°67: Primera fisura en la columna

Fuente: Autoría Propia



Foto N°68: Primera fisura en la albañilería

Fuente: Autoría Propia

- En la fase 4, 5 y 6 el muro seguía sin fisuras importantes, mientras que la viga de cimentación seguía sufriendo, a diferencia del muro original que en la fase 4 se oyó un sonido de fricción dejándose notar una fisura diagonal y en las posteriores fases 5 y 6 el muro quedó agrietado
- En la fase 7, el muro alcanzó una carga de 2258.41 kg y un desplazamiento de 7.06mm, en esta fase se escuchó un sonido de rotura, al identificar su origen resultó que las fisuras en la viga se engrosaron. Lo mismo ocurrió en las posteriores fases 8, 9 y 10, quien sufrió daño era la viga más no el muro.

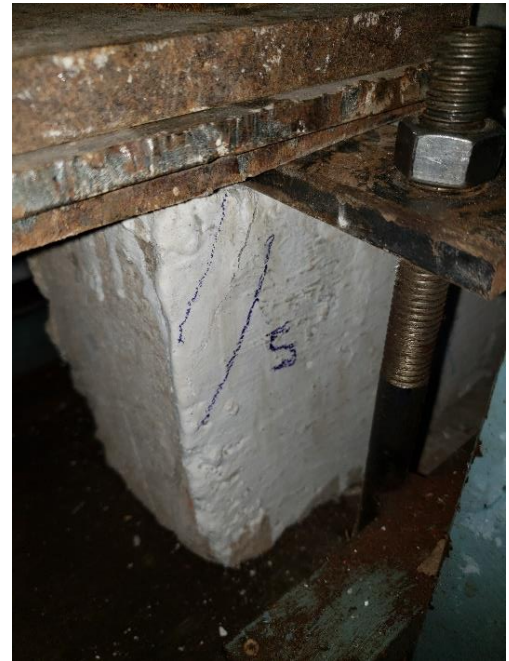


Foto N°69 y N°70: Fisuras en la viga de cimentación

Fuente: Autoría Propia

- Queriendo buscar la grieta diagonal, decidí darle tres fases más, sin embargo, en la fase 11 con una carga de 3357.89kg y un desplazamiento de 11.02 mm, un sonido contundente de rotura detuvo el ensayo, la viga se había roto, culminado de esta manera con el ensayo, el muro quedó prácticamente intacto, con finas grietas y sin la fisura diagonal.



Foto N°71 y N°72: Rotura de la viga de cimentación

Fuente: Autoría Propia

4.10.4. Descripción de las fallas del muro M2

El ensayo de este muro resolvería las dudas producidas durante el ensayo del muro M1' y del muro M2', que fueron ensayados en la misma posición que los muros originales, para este muro la aplicación de la carga se hará en el lado que no fue ensayado originalmente, hasta el momento hace suponer que las reparaciones son eficientes ya que se comportaron más rígidas que la viga de cimentación.

- En el primer ciclo la carga alcanzo a 311.33 kg con un desplazamiento de 1.00mm esto daba una diferencia del 64.04 % comparado con el muro original.



Foto N°73: Inicio de la primera fase del muro M2

Fuente: Autoría Propia

- En la fase 2, la carga fue de 803.01 kg y un desplazamiento de 2.004mm, en esta fase se formaron unas fisuras verticales.



Foto N°74: Fisuras verticales en la fase 2

Fuente: Autoría Propia

- En la fase 3, la carga fue de 1451.42 kg, y un desplazamiento de 3.006mm, la diferencia de cargas con la del muro original inicio a reducir igual que en el muro M1', las fisuras finas aumentaron en las fases 4 y 5. En la fase 6 a una carga de 2801.10 kg, apareció una fisura en la cimentación un siclo después que en el muro M2'.



Foto N°75 y N°76: Fisuras verticales e inicio de fisuras en la viga de cimentación

Fuente: Autoría Propia

- En la fase 7, la carga llego a 3068.93 kg y un desplazamiento de 7.01 mm el muro seguía sin presentar fisuras importantes, el comportamiento era similar al muro M2', quien soportaba la mayor carga era la viga de cimentación, el muro seguía sin presentar fallas.

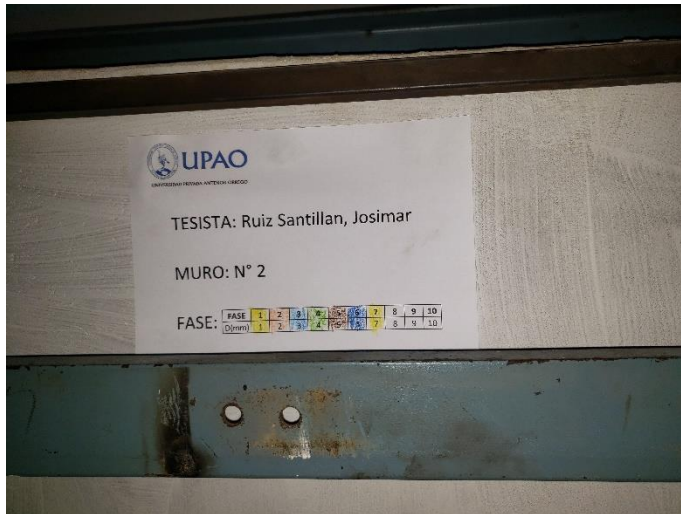


Foto N°77: Inicio de la Fase 7

Fuente: Autoría Propia



Foto N°78: Fisura en la viga de cimentación

Fuente: Autoría Propia

- Culminada las revisiones de la fase 7 cuando los sensores marcaban 7.16mm y una carga de 3100 psi (3165.40kg), note el sonido característico de rotura, asumiendo que era la viga, sin embargo, continuamos el ensayo hasta alcanzar los 8mm que correspondía a la fase 8, al revisar el muro note que la fisura que apareció en la viga de cimentación en la fase 6 seguía igual, revisando la columna note fisuras de tracción por flexión, comprendiendo que el sonido fue de la columna, que se extendió como fisura diagonal al muro.



Foto N°79: Inicio de la fase 8

Fuente: Autoría Propia



Foto N°80: Fisuras por falla de tracción por flexión

Fuente: Autoría Propia

- Como en la fase 8 el muro se acercó a 3500psi que es el límite que soporta el sensor de presión, teníamos que dejar de usarlo, como teníamos instalado el manómetro, serramos el pase de aceite hidráulico al sensor y trabajamos solo con el manómetro.

En la fase 9 la carga llego a 3778.57kg y un desplazamiento de 9.02mm, el muro seguía sin fisurarse, seguían notándose más grietas en la columna.

- En la fase 10 el muro alcanzo una carga de 4080.39kg y un desplazamiento de 10.07mm pasaba lo mismo que en la fase anterior, y con la intención de buscar la grieta diagonal opte por hacer 5 ciclos más sin obtener la falla del muro. El ensayo del ultimo muro culmino en la fase 15 con una carga de 4901.26 kg y un desplazamiento de 15.03mm, las fisuras en la columna aumentaron el grosor y la viga de cimentación seguía esforzándose, pero lo que nos detuvo fue que se rompió una parte del marco de metal la cual está en la parte de la viga de cimentación que impide que el muro se desplace, marcando el final del ensayo.



Foto N°81 N°82: Válvula que cerro el pase de aceite hidráulico y soporte que no aguanto la carga lateral

Fuente: Autoría Propia

4.11. Comportamiento elástico de los muros

- **Comportamiento elástico del muro M1**

La rigidez lateral obtenida de los ensayos experimentales fue de $K_0 = 1562.76 \text{ kg/cm}$, para obtener este valor se utilizó la carga de la fase 1 en el rango elástico, sin embargo, el muro tuvo un comportamiento inusual, ya que en la fase 6 fue el pico más alto arrojando una rigidez de 3117.96 kg/cm como se puede observar en la gráfica N°4

- **Comportamiento elástico del muro M2´**

La rigidez lateral obtenida del ensayo experimental del muro M2´ fue de $K_0 = 4699.10 \text{ kg/cm}$, este muro tuvo un comportamiento similar al muro original, tal como se ve en la gráfica N°6

- **Comportamiento elástico del muro M2**

La rigidez lateral obtenida del ensayo experimental del muro M2 fue de $K_0 = 3106.97 \text{ kg/cm}$, este muro tuvo un comportamiento distinto al muro original como se ve en la gráfica N°8.

4.12. Primera fisura de tracción por flexión

- **Primera fisura de tracción por flexión en el muro M1´**

La primera fisura de tracción por flexión apareció en la fase 5 con una carga de 1236.45 y con un desplazamiento de 4.01 mm .

- **Primera fisura de tracción por flexión en el muro M2´**

La primera fisura de tracción por flexión apareció en la fase 3 con una carga de 1151.88 kg y con un desplazamiento de 3 mm .

- **Primera fisura de tracción por flexión en el muro M2**

La primera fisura de tracción por flexión apareció en la fase 6 iniciando en el talón de la columna y bajando a la cimentación con una carga de 2801.10 kg y con un desplazamiento de 6 mm .

4.13. Agrietamiento diagonal

- **Agrietamiento diagonal del muro M1´**

En la fase 10 fue visible una fisura fina diagonal, el muro seguía sin fisuras importantes, recién en la fase 11 con una carga de 2839.87kg el muro se agrieto.

- **Agrietamiento diagonal del muro M2´**

En la fase 3 con una carga de 1151.88 kg el muro se agrieto diagonalmente, marcando el límite máximo de resistencia de la albañilería.

- **Agrietamiento diagonal del muro M2**

En este ensayo no se formó el agrietamiento diagonal como en el muro original, sin embargo, en la fase 8 el muro se fisuro, iniciando en la columna y pasando al muro, la carga fue de 3421.33 kg.

4.14. Cargas y desplazamiento

En esta parte presentare los resultados de los ensayos de los tres muros M1´, M2´ y M2, como las cargas que soporto el muro en todas las fases y la degradación de la rigidez mediante gráficos en Excel, comparándolas con los resultados de los muros originales.

4.14.1. Muro M1´

Tabla N°18: Comparación de cargas muro original vs el reparado

Fuente: Autoría Propia

D(mm)	Fuerza muro original	Fuerza muro Reparado
0	0	0
1	694	156.27571
2	977	381.81052
3	1153	693.76365
4	1334	1137.7853
5	1451	1535.9952
6	1580	1870.7734
7	2078	2156.2159
8	2238	2276.0313
9	2399	2409.9426
10	2587	2624.9055

Grafico N°3: Fuerza vs desplazamiento

Fuente: Autoría Propia

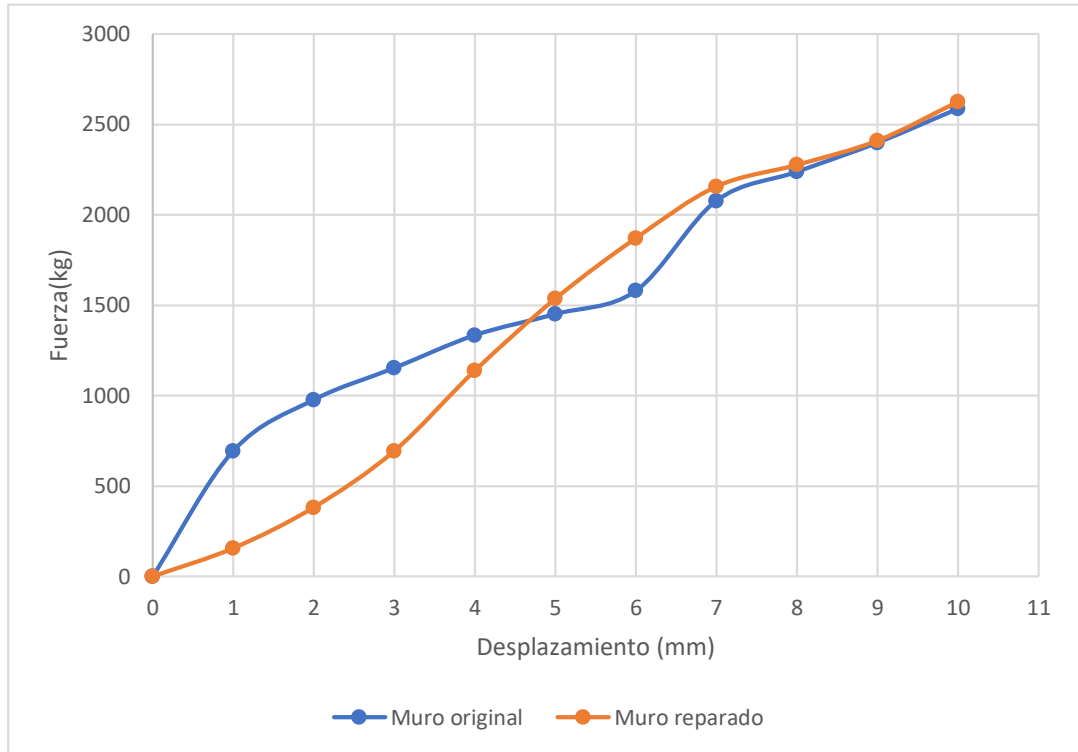


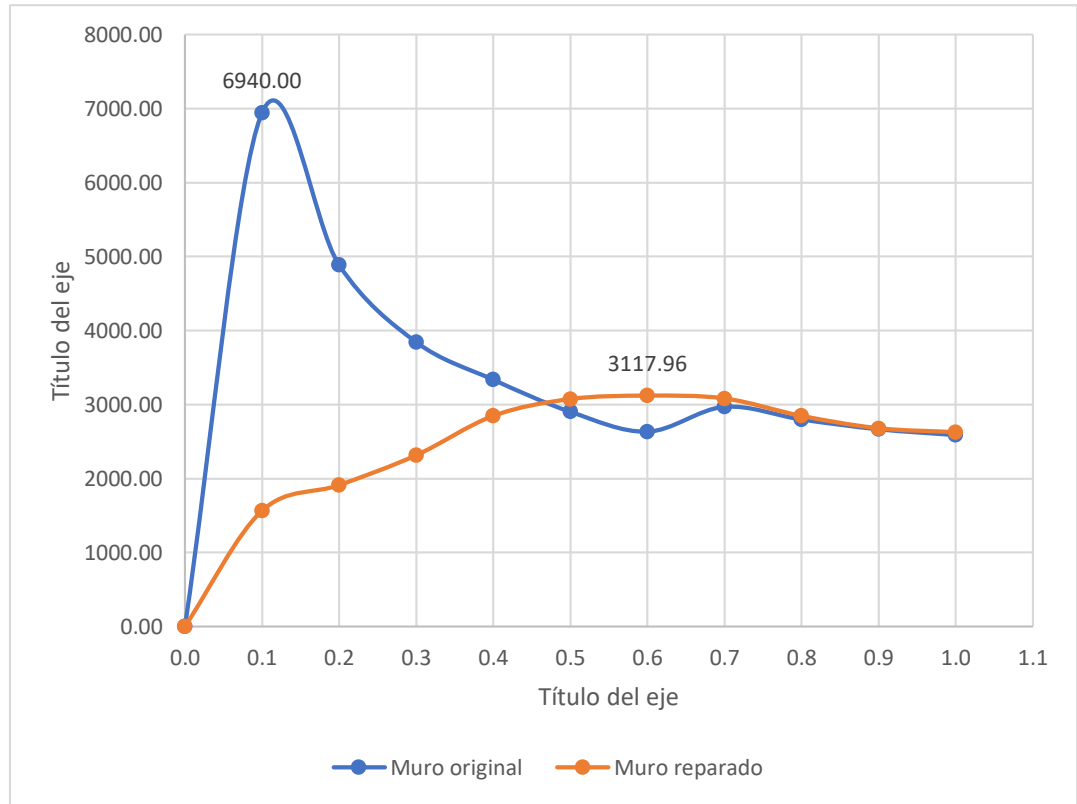
Tabla N°19: Comparación de rigideces

Fuente: Autoría Propia

D(cm)	Rigidez muro original	Rigidez muro reparado
0.0	0.00	0.00
0.1	6940.00	1562.76
0.2	4885.00	1909.05
0.3	3843.33	2312.55
0.4	3335.00	2844.46
0.5	2902.00	3071.99
0.6	2633.33	3117.96
0.7	2968.57	3080.31
0.8	2797.50	2845.04
0.9	2665.56	2677.71
1.00	2587.00	2624.91

Grafico N°4: Degradación de rigideces muro original vs muro reparado

Fuente: Autoría Propia



4.14.2. Muro M2'

TablaN°20: Comparación de cargas muro original vs el reparado

Fuente: Autoría Propia

D(mm)	Fuerza muro original	Fuerza muro reparado
0	0.00	0.00
1	866.00	469.91
2	1463.00	757.20
3	1843.00	1151.88
4	2119.00	1416.18
5	2265.00	1666.38
6	2399.00	1941.25
7	2581.00	2258.41
8	2751.00	2568.52
9	2932.00	2815.20
10	3026.00	3097.12

Grafico N°5: Fuerza vs desplazamiento

Fuente: Autoría Propia

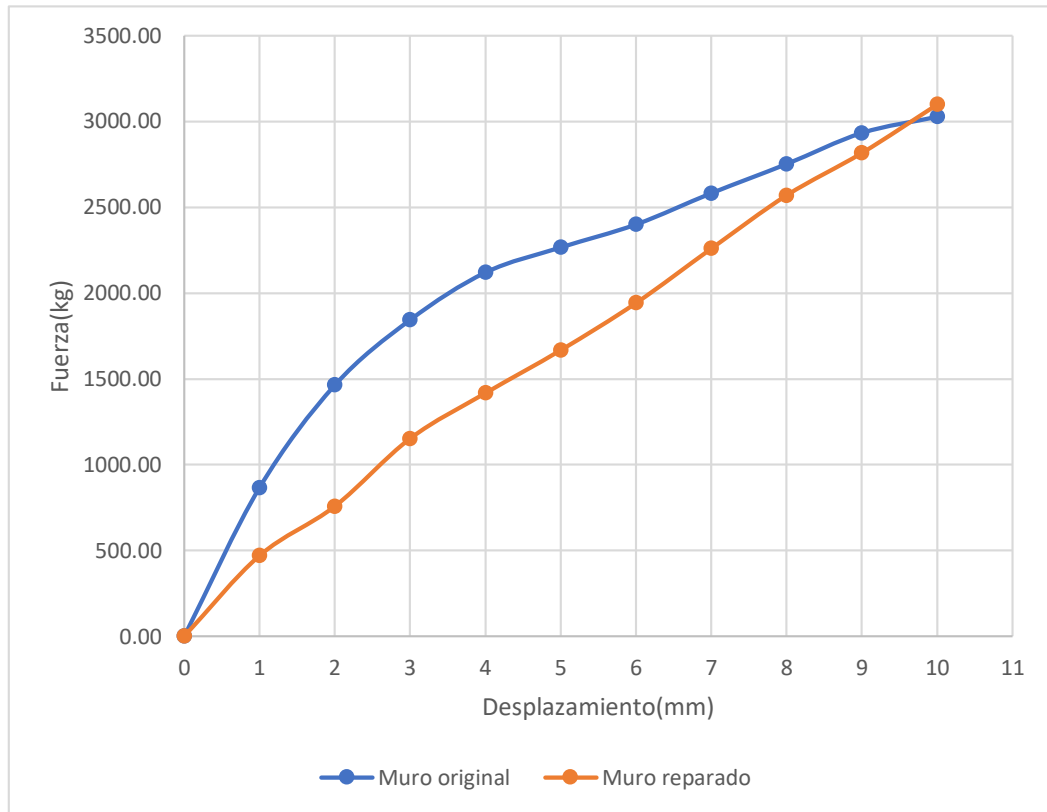


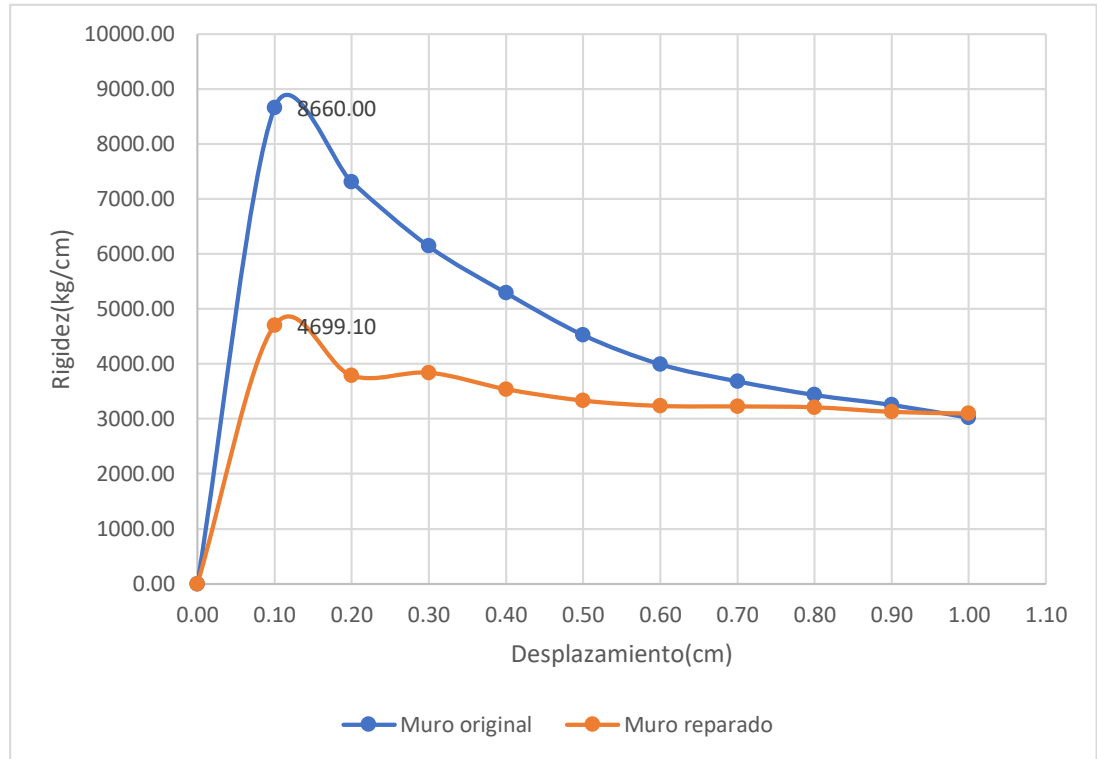
Tabla N°21: Comparación de rigideces

Fuente: Autoría Propia

D(cm)	Rigidez muro original	Rigidez muro reparado
0.00	0.00	0.00
0.10	8660.00	4699.10
0.20	7315.00	3785.98
0.30	6143.33	3839.60
0.40	5297.50	3540.45
0.50	4530.00	3332.77
0.60	3998.33	3235.42
0.70	3687.14	3226.30
0.80	3438.75	3210.65
0.90	3257.78	3128.00
1.00	3026.00	3097.12

Grafico N°6: Degradación de rigideces muro original vs muro reparado

Fuente: Autoría Propia



4.14.3. Muro M2

Tabla N°22: Comparación de cargas muro original vs el reparado

Fuente: Autoría Propia

D(mm)	Fuerza muro original	Fuerza muro reparado
0	0.00	0.00
1	866.00	311.33
2	1463.00	803.01
3	1843.00	1451.42
4	2119.00	1923.63
5	2265.00	2357.08
6	2399.00	2801.10
7	2581.00	3068.93
8	2751.00	3421.33
9	2932.00	3778.57
10	3026.00	4084.39

Grafico N°7: Fuerza vs desplazamiento

Fuente: Autoría Propia

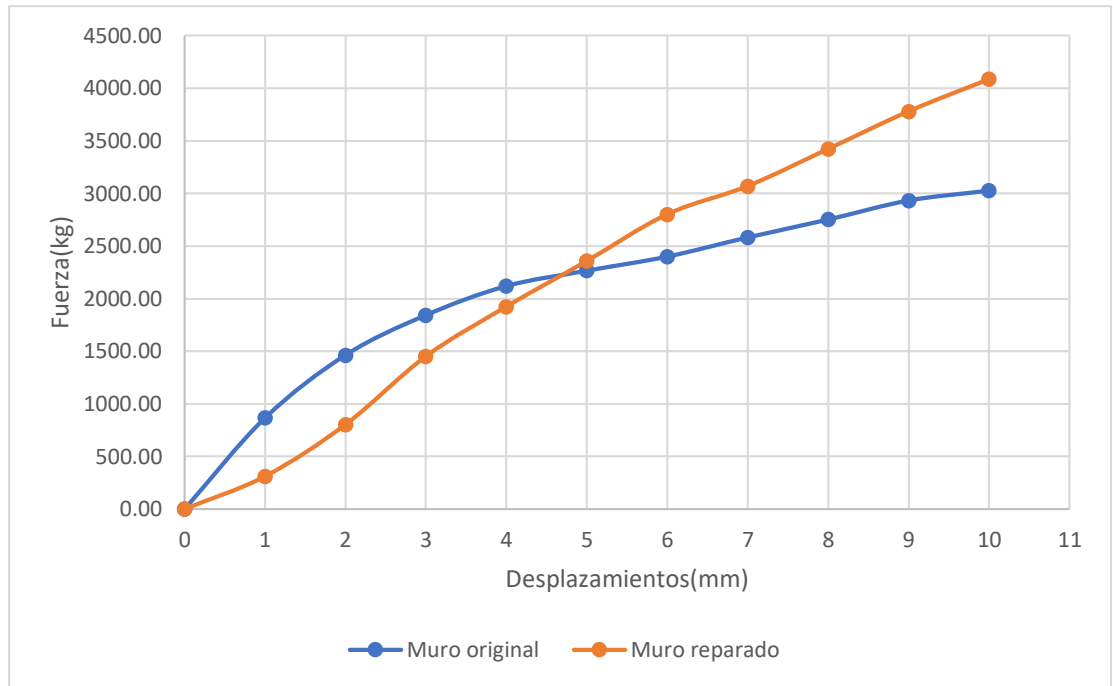


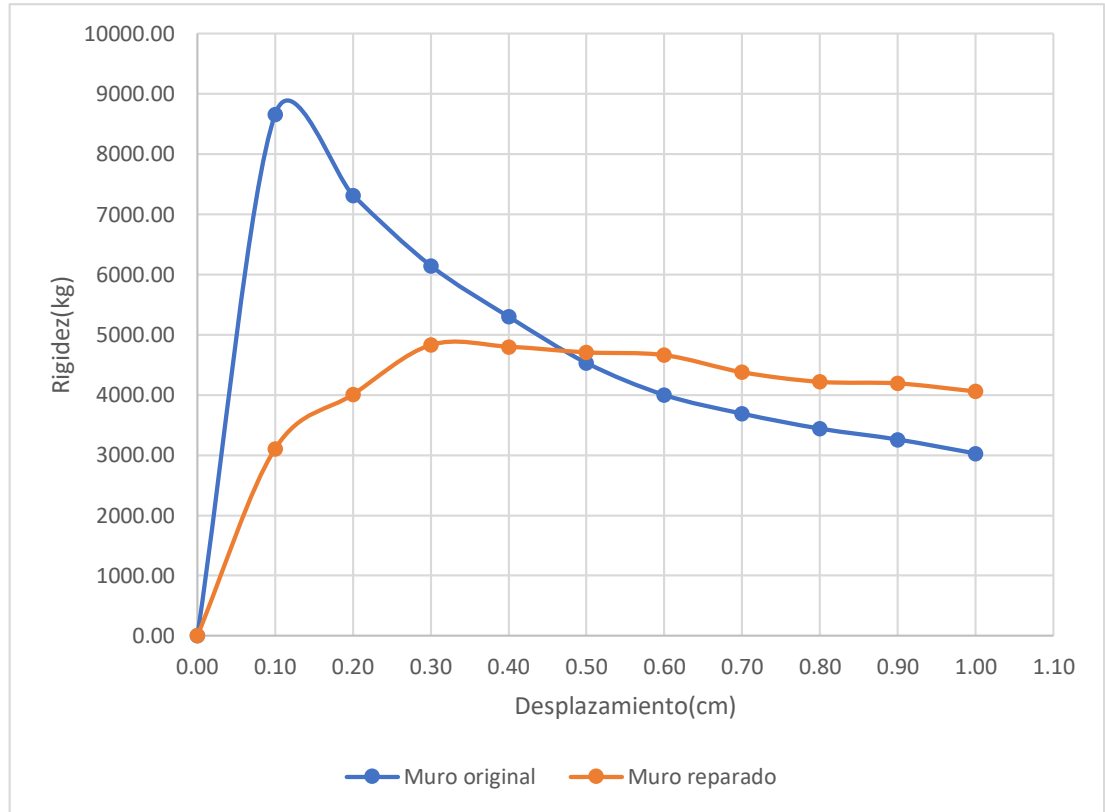
Tabla N°23: Comparación de rigideces

Fuente: Autoría Propia

D(cm)	Rigidez muro original	Rigidez muro reparado
0.00	0.00	0.00
0.10	8660.00	3106.97
0.20	7315.00	4006.86
0.30	6143.33	4828.21
0.40	5297.50	4799.29
0.50	4530.00	4704.56
0.60	3998.33	4659.00
0.70	3687.14	4375.25
0.80	3438.75	4215.26
0.90	3257.78	4189.86
1.00	3026.00	4055.79

Grafico N°8: Degradación de rigideces muro original vs muro reparado

Fuente: Autoría Propia



5. ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MUROS

5.1. Rigidez lateral

- Muro M1'

El comportamiento de este muro durante el ensayo fue distinto al comportamiento del muro original como se muestra en el grafico N°4, mientras el muro original alcanzo su rigidez máxima en la primera fase, el muro reparado alcanzo su rigidez máxima en la fase 6, eso es debido a que la columna no fue reparada ya que no presentaba fisuras importantes, además reparar fisuras casi imperceptibles a la vista sería un proceso difícil, es por ello que el muro se comportó linealmente en la primera fase del ensayo, si el muro no se hubiera

reparado, a partir de la primera fase la rigidez hubiera descendido, pero como podemos apreciar en la gráfica N°4 la rigidez seguía en aumento aunque no linealmente, esto es debido al refuerzo horizontal (varillas de GFRP) que como podemos ver cumplió con su función, apporto rigidez al muro cuando el confinamiento dejo de hacerlo, que es el comportamiento correcto de un muro en albañilería confinada.

La diferencia de la rigidez lateral entre el muro original y el reparado fue de 77.48%, una diferencia que no era la esperada, sin embargo la reparación si se comportó como lo esperado, el muro quedo menos dañado que el muro original, la diferencia entre rigideces en la primera fase puede deberse también a que la viga quedo fatigada en los ensayos originales, esto puede ser la causa que el muro no presente fisuras importantes como ocurrió con el muro original, debido a que en las primeras fases estaría trabajando la viga de cimentación, por ello la gran diferencia con los resultados del muro original. También puede ser que la técnica de reparación rigidizo al muro quedando más rígido que la viga y por ello este fallando la viga antes que el muro, para tener una respuesta se decidió ensayar el muro M1 en la posición contraria a la del muro original, sin embargo, al transportar el muro se le cayó al personal que esta designado para ese trabajo, quedando obsoleto.

- **Muro M2´**

El muro se ensayó en la misma posición que la del muro original, tuvo un comportamiento similar al muro original grafico N°6, ambos se comportaron lineal mente en la primera fase, sin embargo, la amplia diferencia en rigidez se dejaba nota con una diferencia de 45.74%, en este caso hacía suponer que la técnica de reparación no cumplió su función, sin embargo, no lo reflejaba, el muro no mostraba fisuras importantes hasta la fase 10, es por eso que decidí darle unas fases más, pero cuando iniciaba la fase 11 con una carga de 3357.89kg, la viga se rompió foto N°71 y N°72, aclarando las dudas, la diferencia de la rigidez fue debido a que la viga estaba soportando las cargas y como estaba fatiga producto del ensayo original, no permitió comprobar el comportamiento del muro reparado, la técnica si fue eficiente ya que el muro

recupero su rigidez lateral ocasionando que la viga se esfuerce hasta alcanzar la rotura, sin embargo no fue posible obtener numéricamente la rigidez real del muro reparado.

- **Muro M2**

El resultado de este último muro sería determinate ya que se ensayó en la posición contraria al ensayo del muro original, sin embargo, el muro se comportó igual como el muro M1', en la primera fase su comportamiento fue lineal, luego aumentaba la rigidez conforme aumentaba el desplazamiento, hasta la fase 3, luego la rigidez comenzó a descender, pero más lento que la rigidez del muro original, manteniéndose por encima a partir de la fase 5 hasta el final del ensayo, tal como se muestra en la gráfica N°8.

La diferencia de las rigideces en este último ensayo también fue amplia, como en los ensayos anteriores, y las fallas en la viga de cimentación también fueron similares, mientras que el muro se mantenía intacto hasta la última fase 15mm.

Tabla N°24: Cuadro comparativo de la rigidez inicial y final de los muros ensayado

Fuente: Autoría Propia

Espécimen	Ko(kg/cm)	Kfinal(kg/cm)
Muro M1		
Muro original	6940.00	2587.00
Muro reparado	1562.76	2624.91
Muro M2'		
Muro original	8660.00	3026.00
Muro reparado	4699.10	3097.12
Muro M2		
Muro original	8660.00	3026.00
Muro reparado	3106.97	4055.79

5.2. Primera fisura por flexión

- Muro M1´

La primera fisura por flexión en la columna del muro M1 original ocurrió en la fase 2 con una carga de 977kg y en el muro reparado en la fase 5, está la provoco una carga de 1236.45, esto es 26.56 % más que el muro original esta diferencia puede haber ocurrido porque en las primeras fases quien soporto las cargas fue la viga de cimentación que quedo fatigada del primer ensayo original.

- Muro M2´

En este ensayo la primera fisura por flexión si coincidió, ambos muros el original como el reparado, tuvieron una falla de tracción por flexión en la misma fase, siendo 37.50% menor que el muro original.

- Muro M2

Los resultados en este ensayo arrojaron 52% más que el muro original, este último ensayo se completó casi a las 11 de la noche, y talvez se formaron fisuras imperceptibles en la columna antes de la fase 6 y no se haya notado.

TablaN°25: Cuadro comparativo de la carga que genero la primera fisura por flexión

Fuente: Autoría Propia

Espécimen	V(kg)	Fase
Muro M1´		
Muro original	977.000	2
Muro reparado	1236.45	5
Muro M2´		
Muro original	1843.00	3
Muro reparado	1151.88	3
Muro M2		
Muro original	1843.00	3
Muro reparado	2801.1	6

5.3. Agrietamiento diagonal

➤ Muro M1´

El muro M1´ fue el primer ensayo que se realizó, y el tipo de técnica fue la que consiste en reforzar horizontalmente el muro con varillas de GFRP, el muro original se fisuro en la fase 8, con una carga de 2238 kg, mientras que el muro reparado en la fase 8 alcanzó una carga de 2276.03kg sin presentar fisuras importantes, como podemos apreciar en el gráfico N°3 el muro aumentó su resistencia al agrietamiento diagonal, esto debido al refuerzo horizontal de la reparación. La primera fisura diagonal apareció en la fase 10 con una carga de 2624.90kg pero, hizo falta una fase más para que el muro se agrietara, en la fase 11 con una carga de 2839.87kg, el muro se agrietó, demostrando que fue más resistente que el muro original, a partir de la fase 5 que es cuando el confinamiento falló, la técnica cumplió con su función, la de elevar la rigidez del muro tal como se ve en la gráfica N°4, el muro reparado aumentó su rigidez con respecto al muro original a partir de la fase 5 y se mantuvo por encima hasta el final del ensayo.

➤ Muro M2´

La técnica de reparación para el muro M2´, fue la que consiste en el encamisado con una malla electrosoldada compuesta por varillas de acero de 1/4" y mortero 1:4, las fisuras diagonales en el muro original, se dejaron notar en la fase 3, con una carga de 1843kg, mientras que el muro reparado en la fase 3 alcanzó una carga de 1151.88kg y una fina fisura como se aprecia en la foto N°68, la resistencia de este muro, siempre se mantuvo por debajo que la del muro original, como se aprecia en la gráfica N°5, pero, no se manifestó con grietas diagonales de la misma magnitud que las del muro original, algo estaba pasando. Terminó el ensayo llegando a la fase 10, con una carga de 3097.12kg, casi igual que la resistencia del muro original, como se aprecia en la gráfica N°5, de igual manera que para el muro M1´ decidí darle más fases. En la fase 11 con una carga de 3357.89kg y un desplazamiento de 11.02 mm, la viga de cimentación se rompió, el muro quedó prácticamente intacto con fisuras mínimas, eso nos demostró que la resistencia del muro reparado se

mantenía por debajo del muro original, debido a que la viga estaba soportando las cargas, ya que como el ensayo se realizó en la misma posición que la del muro original, la viga quedó fatigada, y se comportó menos rígida que el muro reparado, fallando antes que el mismo foto N°71 y N°72.

➤ **Muro M2**

El muro M2' y M2 tienen las mismas características, también se realizó la misma técnica de reparación tal como se aprecia en la foto N° 37, lo que no fue igual es su comportamiento frente a las cargas laterales aplicadas como se aprecia en la gráfica N°7, para comprobar la efectividad de esta técnica, decidí ensayar por el lado contrario al ensayo del muro original, con el objetivo de ver la efectividad de la técnica de reparación y también para que no suceda lo mismo que ocurrió con la viga de cimentación del muro anterior M2'.

El resultado del ensayo nos demostró que la técnica si es eficiente, luego de la primera fisura por flexión en la fase 3, el muro redujo su resistencia, pero la recupero gracias a la reparación, en la fase 5 el muro fue más resistente que el muro original, a partir de esta fase hasta el fin del ensayo, como se aprecia en el gráfico N°7, el ensayo culminó y el muro no presentó fisuras importantes, como ocurrió con el muro original. Prácticamente este muro quedó sin daño comprobando la eficiencia de esta técnica de reparación.

Tabla N°26: Cuadro comparativo de la carga que generó el agrietamiento diagonal.

Fuente: Autoría Propia

Espécimen	V(kg)	Fase
Muro M1		
Muro original	2238.00	8
Muro reparado	2624.90	10
Muro M2'		
Muro original	1843.00	3
Muro reparado	1151.88	3
Muro M2		
Muro original	1843.00	3
Muro reparado	3421.33	8

6. CONCLUSIONES

- Se realizó los ensayos a los muros reparados con las técnicas propuestas, los resultados obtenidos y el estado final de los muros, demostraron que ambas técnicas son eficientes, sin embargo, los muros reparados con la técnica que consistió en el encamisado mediante malla electrosoldada termino con menos daño, demostrando ser una técnica más eficiente.
- Se realizó las reparaciones con las técnicas propuestas y fueron sencillas de aplicar, el costo para ello fue mínimo, necesitando solo un personal operario para ello.
- **Primera técnica de reparación (reforzar el muro con varillar de GFRP)**
Aplicada esta técnica de reparación, permitió recuperar un 22.52% la rigidez lateral inicial, una gran diferencia con la rigidez lateral inicial del muro original, esto debido a que no se reparó las grietas finas de la columna, también la baja resistencia de la viga de cimentación por falta de refuerzo, sin embargo, la resistencia al agrietamiento diagonal fue 26.89% más que la del muro original, comportándose más resistente a partir de la fase 5 y se mantuvo hasta el final, quedando con menos daño que el muro original, por ello podemos concluir afirmando que sería una técnica optima si también se repara el confinamiento.
- **Segunda técnica de reparación (refuerzo mediante malla de acero electrosoldada)**
Aplicanda esta técnica, la rigidez lateral inicial se recuperó en un 35.88% con respecto a la rigidez lateral del muro original, y la resistencia al agrietamiento diagonal aumento 85.64% más, que la del muro original, resultado que se dejó notar, ya que el muro quedo sin grietas. La capacidad de carga aumento en un 38.98% más en la fase 10.
- El prototipo a escala que permitió hacer los ensayos a carga lateral monotónica, cumplió con su propósito, debido también a las mejoras que se le hizo, los transductores tanto el de presión como el de desplazamiento, facilito la toma de datos, debido a que todo se guardaba en tiempo real en la memoria de la laptop.

- Identificar con diferentes colores las fases de ensayo, fue fundamental, ya que permitió contemplar mejor el comportamiento de cada muro frente al valor de la carga aplicada, para luego comparar los daños del muro original frente al muro reparado.
- Se analizó el estado final de cada muro ensayado, con el objetivo de determinar cuál de las técnicas resultó ser más eficiente, dando como resultado que la técnica N°2 permitió que los muros quedaran con menos daño.

7. RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones, se sugiere tener especial énfasis en la construcción de los muros, para que su comportamiento ante cargas aplicadas durante los ensayos, sea similar a un muro a escala natural.
- El prototipo fabricado para realizar ensayos a carga lateral monotónica, es innovador y con algunas mejoras permitiría obtener resultados más exactos, se recomienda reforzar el marco rígido, para evitar deformaciones que no correspondan al estudio.
- **Primera técnica de reparación (reforzar el muro con varillar de GFRP)**
En futuras investigaciones se sugiere comprobar la eficiencia de esta técnica, usando algún tipo de anclaje en las varillas, de esta manera se prevendría el deslizamiento.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Abanto Castillo, T.F. (2017) análisis y diseño de edificaciones de albañilería. Lima: San Marcos.

- [2] Norma Técnica E070, Albañilería
Ministerio de Vivienda
Lima,2006

- [3] San Bartolomé Ramos, A.F. (1994) *pucp*.
Obtenido de repositorio.pucp.edu.pe: <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/72>

- [4] San Bartolomé, Á., & Castro Moran, A. (2007). Reparación de un muro de albañilería confinada. Lima: PUCP

- [5] San Bartolomé, Á., & Loayza Seminario, J. (2008). Reparación y reforzamiento con varillas de fibra de vidrio en un muro de albañilería confinada. Lima-Perú: PUCP

- [6] San Bartolomé, Á., Quiun Wong, D., & Silva Berrios, W. E. (2011). Diseño y construcción de estructuras sismo resistentes de albañilería. Lima: Fondo editorial PUCP.

- [7] Torres, J. R. (2018). Análisis de la incidencia de la rigidez lateral de las columnas de confinamiento en la interface paño-columna para los sistemas de albañilería confinada. Trujillo.