

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS**

**“PROPUESTA DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN MURO  
DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CONSTRUÍDO CON BLOCKER II”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

BACH. ROMERO INFANTE, DIEGO ARTURO

BACH. VASQUEZ AIQUIPA, CIRO EDSON

TACNA – PERÚ

2018

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**TESIS DE INVESTIGACIÓN**

“PROPUESTA DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN MURO  
DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CONSTRUÍDO CON BLOCKER II”

Tesis sustentada y aprobada el 11 de Diciembre del 2018; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE:**



**Mtro. WILBER PERCY MENDOZA RAMIREZ**

**SECRETARIO**



**Mtro. EDGAR HIPOLITO CHAPARRO QUISPE**

**VOCAL**



**Ing. CESAR JULIO CRUZ ESPINOZA**

**ASESOR**



**Mtro. DINA MARLENE COTRADO FLORES**

## **DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD**

Yo **Diego Romero Infante**, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con DNI **47629321**.

Yo **Ciro Edson Vásquez Aiquipa** en calidad de: Grado Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con DNI **45746723**.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada:

**“PROPUESTA DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CONSTRUÍDO CON BLOCKER II”,**  
el mismo que se presenta para optar: **EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

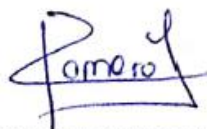
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, no hacemos responsables frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado,

asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del Incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, Sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

TACNA, 11 de Diciembre del 2018



.....  
**BACH. ROMERO INFANTE, DIEGO ARTURO**

**DNI 47629321**



.....  
**BACH. VASQUEZ AIQUIPA, CIRO EDSON**

**DNI 45746723**

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este proyecto de tesis a Dios sobre todo y a nuestros padres. A Dios porque ha estado siempre con nosotros a cada paso que damos, cuidándonos y fortaleciéndonos para continuar; a nuestros padres y hermanos(as), quienes a lo largo de nuestra vida han velado por nuestro bienestar y educación siendo de gran apoyo en todo momento. Depositaron su entera confianza en cada reto que se nos presentaba, dejaron todo por nosotros y nos sacaron adelante; los amamos con todas nuestras fuerzas.

**ROMERO INFANTE, DIEGO ARTURO**

**VASQUEZ AIQUIPA, CIRO EDSON**

## **AGRADECIMIENTOS**

Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a otras personas.

Agradecer Primeramente a Dios por sobre todas las cosas, a nuestros Padres, hermanos (as) y familiares que siempre nos brindaron su apoyo incondicional.

También queremos dar gracias a la Ing. Dina Cotrado, de la Universidad privada de Tacna, Gracias por su amabilidad, su tiempo y sus ideas.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PÁGINA DE JURADO.....	ii
PÁGINA DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE FIGURAS.....	x

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>5</b>
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	8
1.4. OBJETIVOS.....	9
1.4.1. Objetivo general.....	9
1.4.2. Objetivos específicos.....	9
1.5. HIPÓTESIS.....	10
1.5.1. Hipótesis general.....	10
1.5.2. Hipótesis específicas.....	10
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	12
2.1.1. Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros construidos con blocker II.....	12
2.1.2. Límite de reparación de 3 muros de albañilería confinada construida con blocker II.....	20
2.1.3. Ensayo a carga lateral de un muro de albañilería confinada construido con blocker II.....	

2.2. BASES TEÓRICAS.....	22
2.2.4. Falla en muros de albanilería confinada.....	24
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS .....	24
	27
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....</b>	
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	31
3.2. POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO.....	32
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	32
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	33
3.5. INSTRUMENTOS Y/O MATERIALES.....	34
3.5.1. Instrumentación.....	35
3.5.2. Materiales.....	35
3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	35
3.6.1. Procesos constructivos.....	41
A. Construcción del muro MBAT-3.....	41
B. Reparación y reforzamiento del muro MBAT-3.....	44
3.6.2. Ensayo de muro de albanilería confinada sometido a carga lateral cíclica y resultados.....	48
Descripción del ensayo.....	54
Descripción del mecano carga.....	55
Sistema de aplicación de carga.....	55
Sistema de adquisición de datos.....	56
Montaje del espécimen.....	57
Protocolo de desplazamientos.....	58
	64
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....</b>	
4.1. RESULTADOS.....	65
4.1.1. Análisis gráfico de resultados.....	66
4.1.2. Curva histerética del espécimen MBATR-3.....	66
4.1.3. Curva de capacidad del espécimen MBATR-3.....	76
4.2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	77
4.2.1. Comparación de curvas histeréticas.....	79
4.2.2. Comparación de curvas de capacidad.....	79
4.2.3. Comparación de degradación de la rigidez.....	80



4.2.4. Comparación de amortiguamiento histerético.....	83
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....</b>	<b>84</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>91</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>94</b>
	97

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Resumen de Daños, sismo de 23 de junio de 2001 en la región de Tacna.....	6
<b>Tabla 2.1</b> Ensayos de dimensionamiento largo.....	14
<b>Tabla 2.2</b> Ensayos de dimensionamiento – ancho.....	15
<b>Tabla 2.3</b> Ensayos de dimensionamiento alto.....	16
<b>Tabla 2.4</b> Ensayos de alabeo.....	16
<b>Tabla 2.5</b> Resistencia a la compresión $f'_b$ .....	17
<b>Tabla 2.6</b> Porcentaje de vacíos.....	18
<b>Tabla 2.7</b> Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de muestras de mortero.....	19
<b>Tabla 2.8</b> Identificación de los especímenes (pilas de albañilería).....	21
<b>Tabla 2.9</b> Determinación de $f'_m$ y $e'_m$ .....	21
<b>Tabla 2.10</b> Resultados de los ensayos de compresión diagonal de los muretes.....	23
<b>Tabla 2.11</b> Resumen de ensayos de compresión axial en pilas y compresión diagonal en muretes.....	23
	33

<b>Tabla 2.12</b>	Valor de desplazamientos para distorsiones objetivo.....	37
<b>Tabla 2.13</b>	Valor de fuerza para distorsiones objetivo.....	38
<b>Tabla 2.14</b>	Comparación de valores de fuerza para distorsiones objetivo de los 3 especímenes.....	39
<b>Tabla 2.15</b>	Degradación de la rigidez equivalente para el Muro MBAT-1 (Positivo).....	64
<b>Tabla 2.16</b>	Degradación de la rigidez equivalente para el Muro MBAT-1 (Negativo).....	78
<b>Tabla 3.1</b>	Operacionalización de variables.....	79
<b>Tabla 3.2</b>	Características del acero de refuerzo.....	
<b>Tabla 3.3</b>	Propiedades del acero de refuerzo.....	81
<b>Tabla 3.4</b>	Especificaciones técnicas para malla electrosoldada.....	
<b>Tabla 3.5</b>	Especificaciones técnicas para malla electrosoldada.....	
<b>Tabla 3.6</b>	Características de malla seleccionada.....	
<b>Tabla 3.7</b>	Distorsiones objetivo para el control de desplazamiento por ciclo.....	
<b>Tabla 4.1</b>	Desplazamiento para distorsiones objetivo, espécimen MBATR-3.....	
<b>Tabla 4.2</b>	Valor de Fuerza para distorsiones objetivo, espécimen MBATR-3.....	
<b>Tabla 4.3</b>	Comparación de valores de fuerza para distorsiones objetivo del tercer espécimen reforzado.....	

### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b>	Unidad de albañilería Blocker II.....	8
		26
<b>Figura 2.1.</b>	Tipos de fallas en los muros.....	32
		36
<b>Figura 3.1.</b>	Especímen MBATR-3.....	40
		40
<b>Figura 3.2.</b>	Vista de la unidad blocker II.....	
		40

<b>Figura 3.3.</b> Malla electrosoldada obtenida de PRODAC.....	42 43
<b>Figura 3.4.</b> Malla electrosoldada 6 mm con cocadas de 15cm.....	43
<b>Figura 3.5.</b> Clavo de acero Estriado tipo L 4x40mm para amarrar y fijar la malla al muro.....	44 45
<b>Figura 3.6.</b> Dimensiones del muro.....	46
<b>Figura 3.7.</b> Descripción del muro y corte a- a.....	46
<b>Figura 3.8.</b> Detalle de aceros en cimentación.....	47
<b>Figura 3.9.</b> Habilitación de acero para columnas de confinamiento anclado a la cimentación y encofrado de base de muro.....	48
<b>Figura 3.10.</b> Vaciado y vibrado de concreto en base de muro.....	48
<b>Figura 3.11.</b> Asentado y aplome de unidad de albañilería blocker II con nivel y plomada; aparejo de unidades de albañilería tipo soga.....	49
<b>Figura 3.12.</b> Dentado de 5cm. del muro para amarre de columnas de confinamiento con zunchos de 4mm.....	49 50
<b>Figura 3.13.</b> Encofrado, vaciado y desencofrado de columnas de confinamiento después de 24 horas.....	50
<b>Figura 3.14.</b> Encofrado, vaciado y desencofrado de viga solera después de 24 horas.....	51 51
<b>Figura 3.15.</b> Espécimen MBAT-3 posterior a ensayo cíclico de carga lateral.....	51
<b>Figura 3.16.</b> Apuntalamiento de viga solera y limpieza de unidades dañadas.....	52
<b>Figura 3.17.</b> Malla electrosoldada Q-188 de 1/4" para encamisado de muro.....	52 53
<b>Figura 3.18.</b> Reforzamiento de muro con malla electrosoldada Q-188 de 1/4".....	53

<b>Figura 3.19.</b> Perforación en el espécimen para colocación de clavos de acero para anclaje de malla electrosoldada.....	53 54
<b>Figura 3.20.</b> Colocación de clavos de acero para fijar malla electrosoldada a muro.....	56 57 58
<b>Figura 3.21.</b> Perforación de viga solera para aceros de fijación.....	
<b>Figura 3.22.</b> Perforación de la base del muro para anclaje de malla a cada 70 cm.....	59 59 59
<b>Figura 3.23.</b> Mezcla epóxica sikadur 32 proporción 1:2 para fijación de anclajes.....	60
<b>Figura 3.24.</b> Colocación de aceros para anclaje de muro.....	60
<b>Figura 3.25.</b> Anclajes de acero y fijación de malla electrosoldada.....	61
<b>Figura 3.26.</b> Alineación lateral para tarrajeo de muro.....	61
<b>Figura 3.27.</b> Tarrajeo de 3cm para muro encamisado con malla electrosoldada.....	62
<b>Figura 3.28.</b> Muro terminado y listo para ensayo cíclico de carga lateral...	62 63
<b>Figura 3.29.</b> Sistema de medición conformado por celdas de carga y transductores lvdt.....	63 64
<b>Figura 3.30.</b> Esquema de la configuración las cargas en el ensayo cíclico.	67 68
<b>Figura 3.31.</b> Sistema de adquisición de datos.....	69 70
<b>Figura 3.32.</b> Puente Grúa para Transporte del Especimen Ensayado (izquierda).....	71 72
<b>Figura 3.33.</b> Especimen anclado a la losa de reacción (derecha).....	73 74
<b>Figura 3.34.</b> Actuador Hidráulico Horizontal.....	75 76
<b>Figura 3.35.</b> Actuador Hidráulico Vertical.....	77

<b>Figura 3.36.</b> Colocación de los lvdts (transformador diferencial de variación lineal) en los extremos del espécimen.....	78 80
<b>Figura 3.37.</b> Colocación de los LVDTs (Transformador diferencial de variación lineal) en los extremos del espécimen.....	80
<b>Figura 3.38.</b> Colocación de los lvdts (transformador diferencial de variación lineal) en la base del espécimen.....	81 83
<b>Figura 3.39.</b> Sistema hidráulico y actuadores horizontales conectados a través de mangueras y cables.....	83
<b>Figura 3.40.</b> Sistema de recepción de datos de los 22 canales.....	
<b>Figura 3.41.</b> Programa de recopilación de datos.....	84
<b>Figura 3.42.</b> Sistema de instrumentación instalado.....	
<b>Figura 3.43.</b> Protocolo de desplazamiento objetivo.....	85
<b>Figura 4.1.</b> Comportamiento del ciclo 1 y 2 del muro.....	85
<b>Figura 4.2.</b> Comportamiento del muro para el ciclo 3.....	
<b>Figura 4.3.</b> Comportamiento del muro para el ciclo 4.....	
<b>Figura 4.4.</b> Comportamiento del muro para el ciclo 5.....	
<b>Figura 4.5.</b> Comportamiento del muro para el ciclo 6.....	
<b>Figura 4.6.</b> Comportamiento del muro para el ciclo 7.....	
<b>Figura 4.7.</b> Comportamiento del muro para el ciclo 8.....	
<b>Figura 4.8.</b> Comportamiento del muro para el ciclo	

9.....	
<b>Figura 4.9.</b>	Comportamiento del muro para el ciclo
10.....	
<b>Figura 4.10.</b>	Curva histerética del espécimen MBATR-
3.....	
<b>Figura 4.11.</b>	Curva de capacidad del espécimen MBATR-3(1) y MBATR-
3(2).....	
<b>Figura 4.12.</b>	Curva de capacidad del espécimen MBATR-3(2).....
<b>Figura 4.13.</b>	Comparación de las curvas histeréticas de los
	especímenes
	ensayados.....
<b>Figura 4.14.</b>	Comparación de la curva de capacidad de los especímenes
<b>Figura 4.15.</b>	Comparación de la curva de capacidad de los especímenes
	ensayados para la segunda aplicación (repetición) de la distorsión
	objetivo
	(0.005).....
<b>Figura 4.16.</b>	Estado de agrietamiento final del muro para una distorsión
	1/150.....
<b>Figura 4.17.</b>	Comparación de degradación de la rigidez equivalente de
	los especímenes ensayados para la primera aplicación de la distorsión
	objetivo.....
<b>Figura 4.18.</b>	Comparación de degradación de la rigidez equivalente de
	los especímenes ensayados para la segunda aplicación de la distorsión
	objetivo.....
<b>Figura 4.19.</b>	Comparación del factor de amortiguamiento de los
	especímenes ensayados para la primera aplicación de la distorsión
	objetivo.....
<b>Figura 4.20.</b>	Comparación del factor de amortiguamiento de los
	especímenes ensayados para la segunda aplicación (repetición) de la
	distorsión objetivo.....



## RESUMEN

**Problema:** La región Tacna, se encuentra en una zona altamente sísmica, en donde de acuerdo a la historia sísmica, han ocurrido sismos severos de hasta 9.0 grados de Magnitud de Momento Sísmico (Mw). La recurrencia de estos sismos severos es de un siglo, por lo que la región es considerada de alto peligro sísmico ante la posibilidad de ocurrencia de un gran evento en el futuro. Los terremotos fuertes han ocurrido en los siglos XIX y XX, destacando los de (1831; 7.0Mw), (1833, 7.7Mw), (1868; 9.0Mw), (1877; 8.8Mw), (1906; 8.2Mw), (1948; 7,0Mw) y (2001; 8,4Mw).

Blocker II es una unidad de albañilería considerada hueca ya que tiene un 53.93% de vacíos. En la tabla N° 2 de la NTE E 0.70 (Albañilería, Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales), una unidad con alto porcentaje de vacío no debe ser utilizada en la construcción de muros con carga portante para edificaciones ubicadas en la zona sísmica 4, pese a que el fabricante de la unidad Blocker II señala en su especificación técnica que esta unidad de albañilería solo se emplea en muros perimetrales, muros no portantes y tabiquerías, Sin embargo, por razones económicas, estos ladrillos son muy empleados en nuestro medio.

**Objetivo:** La presente tesis de investigación denominada “Reforzamiento Estructural de un muro de albañilería confinada construido con Blocker II utilizando malla electrosoldada”, estuvo orientada a verificar el comportamiento de un muro reparado y reforzado sometido a carga lateral cíclicas.

**Metodología:** Consistió en realizar un ensayo de carga lateral cíclica en un muro construido a escala natural, controlando sus desplazamientos y emulando ciertas condiciones de uso; este ensayo se realizó para hacer un comparativo entre muros sin reforzamiento y con reforzamiento, para poder observar su comportamiento y su mejora frente a fuerzas sísmicas.

**Conclusiones:** Con esta investigación demostramos que un muro de albañilería confinada construido con blocker II, luego de ser afectado por un sismo presentan daños que pueden ser reparados y reforzados por medio de una malla electrosoldada de 6mm y cocadas de 15cm. con la condición de que las fallas estén dentro del límite de reparación a una distorsión 1/550 (0.0018).



## ABSTRACT

**Problem:** The Tacna region is located in a highly seismic zone, where it is in accordance with the seismic history. Severe earthquakes of up to 9.0 degrees of Seismic Moment Magnitude (Mw) have already been made. The recurrence of these earthquakes is a century, so the region is considered a high seismic risk in the face of the possibility of a major event in the future. Strong earthquakes have occurred in the nineteenth and twentieth centuries, highlighting those of (1831, 7.0Mw), (1833, 7.7Mw), (1868, 9.0Mw), (1877, 8.8Mw), (1906, 8.2Mw), (1948; 7.0Mw) and (2001; 8.4Mw).

Blocker II is a unit of masonry considered hollow and that has 53.93% of voids. In Table No. 2 of the NTE E 0.70 (Masonry, Limitations in the use of the unit of masonry for fines), a unit with a high percentage of vacuum should not be associated in the construction of load bearing walls for buildings located in the seismic zone 4, despite the fact that the manufacturer of the Blocker II unit points out in its technical specification this masonry is only used in perimeter walls, non-bearing walls and partition walls, However, for economic reasons, these bricks are very good in our medium.

**Objective:** This research thesis entitled "Structural reinforcement of a confined masonry wall built with Blocker II using electrowelded mesh", was oriented to verify the behavior of a repaired and reinforced wall subject to cyclic lateral loading.

**Methodology:** It consisted in carrying out a cyclic lateral load test on a wall built on a natural scale, controlling its displacements and emulating certain conditions of use; this test was carried out to make a comparison between walls without reinforcement and with reinforcement, in order to observe their behavior and their improvement against seismic forces.

**Conclusions:** With this investigation we showed that a confined masonry wall built with blocker II, after being affected by an earthquake present damages that can be repaired and reinforced by means of a 6mm electrowelded mesh and 15cm cocadas. with the condition that the faults are within the repair limit at a distortion 1/550 (0.0018).

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Tacna se encuentra ubicada en una zona de gran sismicidad, el último sismo de 1968, uno de los principales sismos registrados en el sur del Perú, ocasionó gran destrucción en las viviendas y otras obras civiles de Tacna y Arica. Después de este movimiento se presentó un tsunami, llegando a las playas de Japón, Nueva Zelanda y Australia.

Una necesidad primordial tanto en Tacna como en todo nuestro País es tener acceso a una vivienda; la población ha aumentado a un ritmo acelerado causando evidentemente esta obligatoria necesidad, es necesario mencionar, que en el sismo de 1868 las construcciones existentes presentaban una alta vulnerabilidad debido a que se usaban materiales tradicionales de la zona como es el adobe y la quincha; en la actualidad se ha reemplazado por concreto y ladrillo, pero esto se ha traducido en las edificaciones masivas de viviendas informales que observamos a diario, en la mayoría de casos este tipo de edificaciones, son construidas sin asesoría técnica calificada, en el mejor de los casos, con un maestro de obra, basado en su bajo nivel socio-económico y cultural.

Es así, como parte de los trabajos de investigación propuestos por la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Privada de Tacna, se realizaron diferentes proyectos referidos a la construcción de viviendas informales con Blocker II. El propósito de la investigación es encontrar la forma de atenuar los efectos de un nuevo evento sísmico en las viviendas populares. Se evaluó la efectividad técnica de mejorar la resistencia a corte de muro de mampostería confinada hecho con unidades Blocker II dañadas, encamisándolo con malla electrosoldada.

Para esto se realizaron 3 ensayos de carga lateral cíclica con desplazamientos controlados en un muro a escala natural, emulando ciertas condiciones de uso, pertenecientes a la tesis de "Ensayo de Carga Cíclica de Tres Muros a Escala Natural con Especímenes de Albañilería Blocker II- Universidad Privada de Tacna"; partimos de los resultados del tercer muro, muro de albañilería confinado hecho con unidades Blocker II bajo condiciones normales denominado MBAT-3, es decir, sin reforzamiento alguno;

posteriormente , se sometió al mismo muro al ensayo cíclico de carga lateral, pero esta vez el muro fue reparado y reforzado con malla electrosoldada interconectada entre si y tarrajado con un mortero "1:5", al que denominaremos MBATR-3.

Esta tesis se encuentra estructurada en 05 capítulos:

**El capítulo I**, denominado planteamiento del problema, está referido a la descripción y formulación del problema, se destaca la justificación e importancia y los objetivos de nuestra investigación. Asimismo, se da a conocer la hipótesis general y las hipótesis específicas que enmarcaran el desarrollo de nuestra tesis.

**En el capítulo II**, denominado marco teórico, está referido a los antecedentes, donde mencionamos algunos trabajos de investigación y tesis similares que sirvieron de base para realizar la nuestra. Asimismo, se detallan bases teóricas y se definen términos técnicos.

**El capítulo III**, referido al marco metodológico, tipo y diseño de investigación, población y/o muestra de estudio, operacionalización de variables, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, y terminamos con el procesamiento y análisis de datos, donde hablaremos sobre la construcción, el mecanismo y el ensayo del espécimen.

**El capítulo IV**, está referido a la obtención de resultados a partir de gráficos de distorsión, desplazamiento y carga y a la comparación de la degradación de rigidez y el amortiguamiento histérico resultados de los especímenes ensayados a partir de trabajos en laboratorio y gabinete.

**El capítulo V**, está referido a establecer una discusión del trabajo en la que intercambiamos puntos de vista acerca de los ensayos realizados para posterior presentar nuestras conclusiones; esto considerando las hipótesis nombradas en el capítulo I.

El trabajo de investigación termina con la presentación de conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

# **Capítulo 1:**

# **PLANTEAMIENTO DE**

# **PROBLEMA**

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los sismos son fenómenos naturales que tienen un periodo de recurrencia. La consecuencia de los sismos puede ser catastróficas desde el punto de vista social y económico.

La ciudad de Tacna es una zona altamente sísmica; el 23 de Junio del 2001 hubo un sismo de gran magnitud probando así la baja capacidad sísmica de la mayoría de viviendas informales de la región de Tacna. Está determinado que en la región hay silencio sísmico; por lo tanto, se espera la ocurrencia de un sismo de mayor Intensidad que el del 2001, ante esto, la población y la infraestructura física debe estar preparada para enfrentarlo. (Ver Tabla 1.1)

**Tabla 1.1**

*Resumen de Daños, sismo de 23 de junio de 2001 en la región de Tacna*

Provincias	Población				Viviendas		
	Afectadas	Damnificados	Desaparecidos	Heridos	Fallecidos	Afectados	Destruídas
Tacna		58,135	0	252	10	14,404	3,772
Candarave		8,703	0	28	3	220	1,874
Tarata		2,445	0	15	0	453	441
Jorge Basadre		5,484	0	68	1	430	889
<b>Total General</b>		<b>74,767</b>	<b>0</b>	<b>363</b>	<b>14</b>	<b>15,507</b>	<b>6,976</b>

Fuente: Segunda y Tercera Región de Defensa Civil – Ministerio de Salud – Comités de Defensa Civil.

Desde 1868, un sismo de gran magnitud no se ha registrado en la ciudad de Tacna. Según USGS advirtió que este silencio sísmico en el sur del Perú y en el extremo norte de Chile podría provocar un terremoto de magnitud 9 o 9.5 grados. (USGS-Servicio Geológico de Estados Unidos)

A pesar de ello, en la ciudad de Tacna, durante el proceso constructivo de los muros portantes de las viviendas informales, se emplean materiales de no estandarizados en la NTP E-070 como es el caso de las unidades de arcilla Blocker II y el bloque de concreto artesanal, Bloqueta.

En ese sentido, la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Privada de Tacna viene llevando a cabo trabajos de investigación en muros de albañilería; en esta investigación se estudiará el comportamiento sísmico de un muro de albañilería confinada sometido a cargas cíclicas que será reparado y reforzado. De esta forma se pretende contribuir a los estudios de albañilería estructural y a la vulnerabilidad sísmica de viviendas informales de la ciudad de Tacna.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Se formula el problema general de la siguiente manera:

- ✓ ¿Qué tan efectiva es la propuesta de la técnica de reparación y reforzamiento de un muro de albañilería confinada mediante malla electrosoldada?

Para dar respuesta a la pregunta anterior, se formularon las siguientes interrogantes como problemas específicos:

- ✓ ¿Cuáles son las propiedades resistentes de un muro de albañilería confinada construido con “Blocker II”, sometido a cargas cíclicas?
- ✓ ¿Cuáles son las propiedades resistentes de un muro de albañilería confinada construido con “Blocker II”, Reparado y Reforzado, sometido a cargas cíclicas?
- ✓ ¿Qué comparativos de los resultados obtenidos en los distintos ensayos con los límites dispuestos en la Norma Técnica E.070 podemos encontrar?

### 1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El sur del Perú cuenta con registros históricos de sismos de magnitud mayor a 8 que se han presentado en Tacna como los ocurridos en los años 1604, 1868, 1833, y 1877 (Mapa sismicidad Histórica, Instituto Geofísico del Perú). (Acero y Cotrado 2016)

Según la ladrillera Martorell, el Blocker II es una unidad de albañilería para el uso de muros de tabiquería y cercos. Ver Figura 1.1. DIMENSIONES: 12 x 17 x 29 cm.



**Figura 1.1.** Unidad de albañilería Blocker II

Después del sismo del 23 de Junio del 2001, se ha recomendado a la población Tacneña hacer uso de unidades sólidas y de resistencia adecuada. Actualmente, en la construcción de las viviendas informales se viene empleando unidades de arcilla Blocker II. En otros casos, se ha empleado el bloque de concreto artesanal o comúnmente conocido en nuestro medio como “Bloqueta”.

Su uso masivo en los muros portantes de las viviendas informales y otro tipo de edificaciones de la ciudad de Tacna, hace necesario el estudio de este tipo de unidad de albañilería, a fin de determinar y verificar su comportamiento sísmico y desarrollar curvas de fragilidad que permitan la estimación de pérdidas en caso de un escenario de sismo severo.

**Conveniencia:** La realización de este proyecto de investigación es conveniente, ya que ante un posible evento sísmico de gran magnitud se podrá dar una alternativa de solución a muros de albañilería confinada construidas con blocker II que han sufrido fallas

**Relevancia social:** El presente proyecto de tesis es de relevancia social ya que con estudios como este se promueve el empleo de malla electrosoldada como una alternativa de reforzamiento en muros de albañilería dañados por un evento sísmico.

**Beneficiarios:** La realización de este trabajo de investigación beneficiará a la población de Tacna en forma directa, así como a las entidades pública y privada encargadas del desarrollo y prevención regional y urbana, por otro lado, incentivará a la comunidad académica y científica a realizar futuros estudios empleando ensayos de carga cíclica lateral y asumiendo mejoras para afrontar de manera óptima un evento sísmico en la localidad.

## 1.4. OBJETIVOS

### 1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Verificar la Efectividad de la Técnica de Reparación y Reforzamiento de un Muro de Albañilería Confinada mediante Malla Electrosoldada.

### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer las Propiedades Resistentes de un muro de Albañilería confinada construido con Blocker II sometido a cargas cíclicas.
- Conocer las Propiedades Resistentes de un Muro de Albañilería Confinada construido con Blocker II Reparado y Reforzado, sometido a cargas cíclicas.
- Comparar los Resultados obtenidos en los Distintos Ensayos con los Límites Dispuestos en la Norma Técnica E.070.



## 1.5. HIPÓTESIS

### 1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

Como hipótesis general se ha definido lo siguiente:

La Técnica de Reforzamiento con Malla electrosoldada incrementará las capacidades resistentes y cumplirá con los Parámetros de rigidez en un muro de Albañilería Portante.

### 1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Como hipótesis específicas, se han considerado las siguientes:

- **HIPÓTESIS ESPECÍFICA 01**

El Muro de Albañilería Confinada construido con Blocker II al ser Sometido a cargas cíclicas nos dará a Conocer sus Propiedades Resistentes.

- **HIPÓTESIS ESPECÍFICA 02**

El Muro de Albañilería Confinada construido con Blocker II al Ser Reparado y Reforzado Sometido a cargas cíclicas nos dará a Conocer sus Propiedades Resistentes.

- **HIPÓTESIS ESPECÍFICA 03**

Se hará una comparación de las capacidades de Resistencia y Rigidez de un muro de Albañilería Confinada basándonos en los Límites Dispuestos en la Norma Técnica E.070.

# **Capítulo 2:**

# **MARCO TEÓRICO**

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Para el desarrollo de la presente tesis se tuvo como base algunos trabajos previos de reforzamiento y evaluación de vulnerabilidad, realizados en el Laboratorio del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres de la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú, así como también trabajos similares en otras instituciones; a continuación, se presenta y comenta las siguientes tesis.

##### 2.1.1. PROPUESTA DE FÓRMULA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE MUROS CONSTRUIDOS CON BLOCKER II. (Cotrado, D. y Acero, J. 2016)

Proyecto de Investigación desarrollado por el Mag. José Acero Martínez y la Ing. Dina Cotrado Flores en colaboración con estudiantes de Ingeniería Civil (Aste Pinto, Daniella Alejandra; Ayca Tejada, Claudia Leonor; Chávez Quiñonez, Jhonathan Luis) en setiembre del 2016.

**Objetivo:** Elaboración de fórmula para determinar la densidad de muros.

**Resumen:** El proyecto de investigación consta de ensayos en pilas y muretes de albañilería construidos con Blocker II de la ladrillera Martorell (Ladrillos Maxx), y mediante la recopilación de otros ensayos se ha podido determinar las propiedades mecánicas del Blocker II como son  $f'm$  y  $v'm$ . En base a estos estudios se ha elaborado una propuesta de fórmula de fácil aplicación que permitirá determinar la longitud mínima de muros que se necesita en una edificación de albañilería para que pueda resistir un sismo severo.

### **Resultados:**

Fueron necesarios la ejecución de ensayos primarios, entre ellos los ensayos clasificatorios (variación dimensional, alabeo y compresión simple) y ensayos de clasificación por huecos, para poder determinar de esta manera la clasificación general del ladrillo blocker II, y así proceder a la realización de los ensayos de compresión axial y compresión diagonal en muretes, motivo principal de la tesis.

Como se tiene conocimiento, las unidades de albañilería no cumplen con las dimensiones exactas indicadas por el proveedor, lo que origina que la junta del mortero tenga un mayor espesor, por lo que disminuye la resistencia del muro; es por ello que los tesistas optan por realizar los ensayos de variación dimensional que se muestran a continuación.

**Tabla 2.1**

*Ensayos de dimensionamiento – largo*

<b>Muestra N°</b>	<b>Largo en mm</b>				<b>Promedio</b>
M-1	281	280	282	282	281.25
M-2	282	282	281	280	281.25
M-3	280	281	282	280	280.75
M-4	280	281	279	281	280.25
M-5	282	282	281	279	281
				<b>MP</b>	<b>280.9</b>
				<b>DE</b>	<b>290</b>
				<b>V en %</b>	<b>3.14</b>

Nota. V, es la variación dimensional, en porcentaje; DE, es la dimensión especificada en milímetros; y MP, es la medida promedio en cada dimensión, en milímetros.

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. (2016). *Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros contruidos con Blocker II*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Se realizaron ensayos de dimensionamiento – largo a 05 muestras de ladrillos Blocker II, obteniendo una medida promedio de 280.9 mm, 290 de dimensión especificada en mm, y una variación dimensional de 3.14%.

**Tabla 2.2***Ensayos de dimensionamiento – ancho*

<b>Muestra N°</b>	<b>Largo en mm</b>				<b>Promedio</b>
M-1	124	124	124	124	124.00
M-2	125	125	125	125	125.00
M-3	126	126	125	125	125.50
M-4	125	124	124	125	124.50
M-5	124	124	124	124	124.50
<b>MP</b>					<b>124.6</b>
<b>DE</b>					<b>120</b>
<b>V en %</b>					<b>-3.83</b>

Nota. V, es la variación dimensional, en porcentaje; DE, es la dimensión especificada en milímetros; y MP, es la medida promedio en cada dimensión, en milímetros.

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. (2016). *Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros contruidos con Blocker II*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Como resultado de los ensayos de dimensionamiento – ancho de 05 muestras de ladrillos Blocker II, se obtuvo una medida promedio de 124.6 mm, 120 de dimensión especificada en mm y una variación dimensional de -3.83%.

**Tabla 2.3***Ensayos de dimensionamiento – alto*

<b>Muestra N°</b>	<b>Largo en mm</b>				<b>Promedio</b>
M-1	175	175	172	170	173.00
M-2	172	173	169	170	171.00
M-3	174	173	171	170	172.00
M-4	174	173	171	170	172.00
M-5	174	173	171	170	172.00
<b>MP</b>					<b>172</b>
<b>DE</b>					<b>170</b>
<b>V en %</b>					<b>-1.18</b>

Nota. V, es la variación dimensional, en porcentaje; DE, es la dimensión especificada en milímetros; y MP, es la medida promedio en cada dimensión, en milímetros.

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. (2016). *Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros contruidos con Blocker II*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Con respecto a los ensayos de dimensionamiento – alto a 05 muestras de ladrillo Blocker II, se obtuvo una medida promedio de 172mm, 170 de dimensión especificada en mm y una variación dimensional de -1.18%.

Similar a la variación dimensional, también existen deformaciones de la superficie asimilables a concavidades o convexidades, disminuyendo el área de contacto con el mortero por vacíos generados en las zonas más alabeadas. Se muestra a continuación el ensayo de alabeo ejecutado.

**Tabla 2.4**

*Ensayos de alabeo*

<b>Muestra N°</b>	<b>Concavidad (mm)</b>	<b>Convexidad (mm)</b>
M-1	1.8	0
M-2	1.7	0
M-3	2	0
M-4	3	0
M-5	0.5	0
<b>Promedio (mm)</b>	<b>1.8</b>	<b>0</b>

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. (2016). *Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros contruidos con Blocker II*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Los ensayos de alabeo aplicados a 05 muestras de ladrillos blocker II determinaron una concavidad promedio de 1.8mm y convexidad promedio de 0.

**Tabla 2.5**

*Resistencia a la compresión f'b*

<b>Espécimen</b>	<b>Carga de rotura (kg)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>f'b (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
M-1	35200	348.812	100.91
M-2	33200	343.221	96.73
M-3	32000	345.811	92.54
M-4	31500	342.440	91.99
M-5	32600	342.467	95.19
		<b>Promedio</b>	<b>95.47</b>
		<b>D.E</b>	<b>3.607</b>
		<b>Corregido</b>	<b>91.86</b>

Nota: D.E desviación estándar

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. (2016). *Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros contruidos con Blocker II*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Los ensayos de resistencia a la compresión  $f'b$  realizados a 05 muestras de ladrillo blocker II, determinaron una resistencia promedio de 95.47, a la cual se le tuvo que restar la desviación estándar para obtener el  $f'b$ , obteniendo de esta manera una resistencia de 91.86.

**Tabla 2.6**

*Porcentaje de vacíos*

Espécimen	Volumen Ladrillo (cm <sup>3</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )	% de huecos
M-1	5944.56	3203.21	53.87
M-2	5950	3236.76	54.4
M-3	5950	3219.85	54.12
M-4	5971.25	3177.21	53.21
M-5	5881.32	3188.97	54.22
<b>Promedio</b>			<b>53.96</b>

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. (2016). *Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros contruidos con Blocker II*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Se analizaron los porcentajes de vacíos de 05 muestras de ladrillos blocker II, obteniendo un promedio de 53.96%, clasificándose de esta manera como una unidad hueca por sobrepasar el 30% como indica en NTE E.070.

**Tabla 2.7**

*Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de muestras de mortero*

Muestra	Área(cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
M-01	25	1525	61
M-02	25	1545	61.8
M-03	25	1395	55.8
<b>Promedio</b>			<b>59.53</b>

<b>D.E</b>	3.26
<b>Corregido</b>	56.27

Nota: D.E desviación estándar

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. (2016). *Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros contruidos con Blocker II*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión en tres muestras de mortero elaborados de la mezcla utilizada en el asentado de los ladrillos de las pilas y muretes. El ensayo de compresión se realizó rompiendo a los 28 días tres testigos cúbicos de 5 centímetros de lado. Como se muestra en la tabla 2.7. se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 59.53 kg/cm<sup>2</sup> a la cual se le disminuyó la desviación estándar para obtener una compresión de 56.27kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 2.8**

*Identificación de los especímenes (pilas de albañilería)*

Especímen	Dimensiones (cm)			Relación h/a	Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	Factor de corrección
	a	b	h			
BLQII-PO1	12.5	28.7	73.5	5.88	358.75	1.0
BLQII-PO2	12.5	29.0	73.5	5.88	362.50	1.0
BLQII-PO3	12.2	28.7	72.8	5.967	350.14	1.0
BLQII-PO4	12.0	28.5	73.4	6.117	342.00	1.0
BLQII-PO5	12.4	28.6	73.4	5.919	354.64	1.0

Nota: a, ancho promedio; b, Largo promedio; h, Altura promedio; h/a, esbeltez.

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. (2016). *Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros contruidos con Blocker II*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Se muestra en la tabla 2.8 las características de 05 pilas de albañilería de blocker II, en las que se muestran sus dimensiones, relación h/a, área bruta y factor de corrección.

**Tabla 2.9**

*Determinación de f'm y em*

Especímen	Carga de rotura (Ton)	f'm (kg/cm <sup>2</sup> )	Em (kg/cm <sup>2</sup> )	C
BLQII-PO1	17.96	51.84	39927	770.20
BLQII-PO2	16.31	46.59	47222	1013.57



BLQII-PO3	15.21	45.13	43380	961.22
BLQII-PO4	16.71	51.05	42299	828.58
BLQII-PO5	16.16	47.25	43073	911.60
<b>Promedio</b>	<b>48.37</b>	<b>43180.2</b>	<b>897.034</b>	
<b>D.E</b>	<b>2.95</b>	<b>2633.79</b>		
<b>Corregido</b>	<b>45.45</b>	<b>40546.41</b>		

Nota: D.E desviación estándar

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. (2016). *Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros contruidos con Blocker II*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Se muestran los resultados del ensayo de compresión axial en pilas en donde se ha realizado la corrección por esbeltez indicado en la Norma E070 que adopta un valor nominal de esbeltez igual a cinco. Se encontró que la resistencia a la compresión axial máxima promedio es de 48.37 kgf/cm<sup>2</sup> y la desviación estándar es de 2.92 kgf/cm<sup>2</sup>, con lo cual se puede sugerir un valor de resistencia a la compresión f'm de 45.45 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 2.10**

*Resultados de los ensayos de compresión diagonal de los muretes*

Identificación	Altura (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga Máxima (Ton)	v'm (kg/cm <sup>2</sup> )	G (kg/cm <sup>2</sup> )
BLQII-MO1	72.00	73.5	12.5	909.38	5.61	4.36	10000
BLQII-MO2	72.00	73.4	12.4	901.48	7.20	5.64	13333
BLQII-MO3	72.20	73.4	12.6	917.28	7.50	5.78	10437
BLQII-MO4	72.10	73.3	12.4	901.48	6.87	5.39	10464
BLQII-MO5	72.00	73.4	2.5	908.75	5.04	3.92	8589
					<b>Promedio</b>	<b>5.019</b>	<b>10564.75</b>
					<b>D.E</b>	<b>0.827</b>	<b>1725.84</b>
					<b>Corregido</b>	<b>4.192</b>	<b>8838.91</b>

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. (2016). *Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros contruidos con Blocker II*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.

El ensayo de compresión diagonal de los muretes fue desarrollado para medir de una manera más precisa la tensión diagonal de la albañilería. Se

obtuvo que la resistencia al corte máximo promedio de 5.02kg/cm<sup>2</sup> y la desviación estándar es de 0.83kg/cm<sup>2</sup>, por lo que se obtiene una resistencia al cortante característico de 4.192kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 2.11**

*Resumen de ensayos de compresión axial en pilas y compresión diagonal en muretes*

Lab.	Ident.	f'm (kg/cm <sup>2</sup> )	Em (kg/cm <sup>2</sup> )	Ident.	v'm (kg/cm <sup>2</sup> )	G (kg/cm <sup>2</sup> )
CISMID UNI (UPT, 2016)	BLQII-P01	51.84	39927	BLQII-M01	4.36	1000
	BLQII-P02	46.59	47222	BLQII-M02	5.64	13333
	BLQII-P03	45.13	43380	BLQII-M03	5.78	10437
	BLQII-P04	51.05	42299	BLQII-M04	5.39	10464
	BLQII-P05	47.25	43073	BLQII-M05	3.92	8589
PUCP (Aliaga & Vicente, 2008)	P: 1	72.72	33462.19	M: 1	3.2	7956.94
	P: 2	71.27	49416.7	M: 2	3.28	10599.73
	P: 3	82.6	57790.49	M: 3	3.06	7449.3
	P: 4	68.418	54158.13	M: 4	2.28	8505.01
CISMID UNI (Tarqui & Copaja 2007)	M-1	72.09	91298.98	-	-	-
	M-2	78.03	100192.55	-	-	-
	M-3	81.39	103770.85	-	-	-
	Promedio	64.035	58832.57		4.101	9703.776
	D.E	14.5	24848.9		1.266	1802.469
	Corregido	49.53	33983.67		2.834	7901.306

Nota: D.E desviación estándar

Fuente: Acero, J. y Cotrado, D. (2016). *Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros contruidos con Blocker II*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Se realizó una comparación de los resultados obtenidos en los laboratorios del CISMID-UNI y PUCP, y se observó la existencia de una variación en los resultados de un laboratorio respecto a otro. Se puede observar que la resistencia a la compresión axial máxima promedio es de 64.035Kg/cm<sup>2</sup> y la desviación estándar es de 14.50Kgf/cm<sup>2</sup>, con lo cual se sugirió un valor de resistencia a la compresión f'm de 49.53Kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, se determinó que la resistencia al corte máximo promedio de 4.10Kg/cm<sup>2</sup> y la desviación

estándar es de 1.27Kg/cm<sup>2</sup>, por lo cual se sugirió una resistencia al cortante característico de 2.834Kg/cm<sup>2</sup>.

### **Conclusiones:**

- Se determinó que la unidad de albañilería Blocker II es una unidad denominada hueca, al tener el 53.93% de área total hueca.
- Según los ensayos de variación dimensional, alabeo y resistencia a la compresión  $f'_b$ , la unidad Blocker II clasifica como un ladrillo tipo II.

### **2.1.2. LÍMITE DE REPARACIÓN DE 3 MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CONSTRUIDA CON BLOCKER II (Calderon, L. y Maque, M. 2017)**

Proyecto de Investigación desarrollado por la Ing. Dina Cotrado Flores en colaboración con estudiantes de Ingeniería Civil (Liss Miriam Calderón Gonzalo; Melissa Jhenifer Maque Gutierrez) en diciembre del 2016.

**Objetivo:** Obtener mediante ensayos experimentales, el valor máximo de la deriva de un muro de albañilería confinada construido con “Blocker II” sometándolo a carga lateral cíclica, de tal manera que este cumpla con la filosofía de Diseño Sismoresistente; es decir que quede reparable pero no colapsado.

**Resumen:** Estuvo orientada a obtener mediante ensayos experimentales, el valor de la deriva máxima de un muro de albañilería confinada construida con la unidad hueca llamada “Blocker II” sometido a ensayos de carga lateral cíclica y comparado con otros dos muros realizados en tesis anteriores. La técnica consistió en la construcción un muro de albañilería confinada a escala real, usando los mismos materiales empleados en la construcción de viviendas informales en la ciudad de Tacna.

**Resultados:** A continuación, se muestran las siguientes tablas obtenidas de los ensayos:



**Tabla 2.12**

*Valor de desplazamientos para distorsiones objetivo*

Ciclo	Distorsión	Desplazamiento (mm)
1	1/4200	0.52
2	1/3000	0.73
3	1/2150	1.02
4	1/1500	1.47
5	1/1100	2.00
6	1/800	2.75
7	1/550	4.00

Fuente: Calderón, L. y Maque, M. (2017). *Límite de reparación de 3 muros de albañilería confinada construida con blocker II*. Universidad Privada de Tacna. Tacna

Para el ciclo 7 a una distorsión de 0.0018mm se obtuvo un desplazamiento de 4mm (límite de reparación).

**Tabla 2.13**

*Valor de fuerza para distorsiones objetivo*

Ciclo	Distorsión	Desplazamiento (mm)	Fuerza (KN)
1	0.0002	0.52	20
2	0.0003	0.73	41
3	0.0005	1.02	51
4	0.0007	1.47	75
5	0.0009	2.00	93
6	0.0013	2.75	114
7	0.0018	4.00	138

Fuente: Calderón, L. y Maque, M. (2017). *Límite de reparación de 3 muros de albañilería confinada construida con blocker II*. Universidad Privada de Tacna. Tacna

Con los valores de desplazamiento se calculó tabulando los valores de carga obteniendo 138KN en el ciclo de límite de reparación.

**Tabla 2.14**

*Comparación de valores de fuerza para distorsiones objetivo de los 3 especímenes.*

Ciclo	Distorsión	Desplazamiento (mm)	mbat-1	mbat-2	mbat-3
			fuerza (KN)	fuerza (KN)	fuerza (KN)
1	0.0002	0.52	42	32	20
2	0.0003	0.73	58	55	41
3	0.0005	1.02	67	64	51

4	0.0007	1.47	81	81	75
5	0.0009	2.00	93	93	93
6	0.0013	2.75	105	101	114
7	0.0018	4.00	119	132	138
8	0.0025	5.50	130	147	-
9	0.0033	7.33	131	143	-
10	0.0050	11.00	110	115	-
11	0.0067	14.67	-	93	-

Fuente: Calderón, L. y Maque, M. (2017). *Límite de reparación de 3 muros de albañilería confinada construida con blocker II*. Universidad Privada de Tacna. Tacna

De los 03 especímenes ensayados se obtuvieron los valores de desplazamiento y carga mostrados en la tabla, podemos observar que hasta en el ciclo 5 a un desplazamiento de 2.00mm los 03 muros conservaron la misma fuerza. A partir de la distorsión 0.0013 las capacidades resistentes y rigidez lateral de los muros siguen aumentando.

### **Conclusiones:**

- La máxima deriva del muro construido con unidades Blocker II que es sometido a carga lateral cíclica, se da a una distorsión 1/550 o 0.0018 mm/mm, para un desplazamiento de 4 mm.
- Los parámetros establecidos para estructuras de albañilería confinada establecidas por la Norma E.030 “Diseño Sismoresistente”, son para estructuras construidas con unidades de albañilería sólida. Siendo la realidad peruana otra, ya que en el mercado se encuentra distintos tipos de unidades de albañilería, diseñados sin parámetro alguno, no cumpliendo con lo exigido en la norma y poniendo en riesgo las vidas humanas ante un eventual sismo.

### **2.1.3. ENSAYO A CARGA LATERAL DE UN MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CONSTRUIDO CON BLOCKER II. (Conde, D. y Chambi, R. 2017).**

El Proyecto de Investigación desarrollado por Chambi Chambi Rolando, Conde Copa David en el 2017.

**Objetivos:** Evaluar el comportamiento de un muro construido con la unidad hueca “Blocker II”, sujeto a ensayos a carga lateral cíclica, con la finalidad de determinar estados límites de daño y curvas de capacidad.

**Resumen:** El proyecto de tesis busca evaluar el comportamiento de un muro construido con la unidad Blocker II.

**Resultados:** Se analizaron las gráficas fuerza – desplazamiento con el objetivo de graficar la degradación de rigidez lateral K a lo largo del incremento del desplazamiento horizontal del muro, la degradación de la rigidez equivalente se muestra a continuación.

**Tabla 2.15**

*Degradación de la rigidez equivalente para el Muro MBAT-1 (Positivo)*

Ciclo	Distorsión	K (KN/mm)	Degradación (%)
1	1/4200	85.00	100%
2	1/3000	78.00	91.76%
3	1/2150	70.00	82.35%
4	1/1500	57.00	67.06%
5	1/1100	44.00	51.76%
6	1/800	35.00	41.18%
7	1/550	27.50	32.35%
8	1/400	22.50	26.47%
9	1/300	16.98	19.98%
10	1/200	9.00	10.59%

Fuente: Conde, D. y Chambi, R. (2016). *Ensayo a carga lateral de un muro de albañilería confinada construido con blocker II*. Universidad Privada de Tacna. Tacna.

La rigidez lateral se calculó como la pendiente del lazo histerético a lo largo del incremento del desplazamiento horizontal en el muro perteneciente al ciclo 1 de cada fase del ensayo, siendo el más estable en el eje positivo.

**Tabla 2.16**

*Degradación de la rigidez equivalente para el Muro MBAT-1 (Negativo)*

Ciclo	Distorsión	K (kN/mm)	Degradación (%)
1	1/4200	60.90	100%
2	1/3000	59.90	98.36%

3	1/2150	58.00	95.24%
4	1/1500	55.00	90.31%
5	1/1100	35.50	58.29%
6	1/800	27.20	44.66%
7	1/550	22.40	36.78%
8	1/400	17.00	27.91%
9	1/300	15.80	25.94%
10	1/200	7.50	12.32%

Fuente: Conde, D. y Chambi, R. (2016). *Ensayo a carga lateral de un muro de albañilería confinada construido con blocker II*. Universidad Privada de Tacna. Tacna.

La rigidez lateral se calculó como la pendiente del lazo histerético a lo largo del incremento del desplazamiento horizontal en el muro perteneciente al ciclo 1 de cada fase del ensayo, siendo el más estable en el eje negativo.

### **Conclusiones:**

- El elemento ensayado llega a una distorsión máxima de 0.0018 ó 1/550, siendo de este modo la deriva máxima inelástica, pasando este valor, el muro ya no es reparable, Según la norma E070 la deriva máxima es de 0.005 ó 1/200, esto quiere decir que el muro falló antes.
- Las curvas de capacidad (fuerza-desplazamiento) son finas y pasan por el origen del sistema de referencia, esto es muy usual en los sistemas que disipan poca energía y degradan rigidez lateral. Se obtiene de la gráfica una carga máxima de 134 kN (13.66 ton.) aproximadamente, con un desplazamiento de 6.1 mm, en el rango positivo, mientras que en el rango negativo tenemos una carga máxima de 132 kN (13.46 ton.) a un desplazamiento de 5.9 mm. De igual manera nos indica que pasada la carga máxima de 134 kN (13.66 ton.), el espécimen entró en el rango inelástico y así fue perdiendo rigidez lateral.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. FALLA EN MUROS DE ALBANILERÍA CONFINADA. (Páez, M.; Parra, R. y Montaña C. 2009)**



Cuando los muros de albañilería no cuentan con un adecuado confinamiento, una cantidad suficiente o detallado adecuado del refuerzo en el confinamiento o en el peor de los casos no cuenta ningún tipo de refuerzo, se han detectado cuatro tipos de patrones de agrietamiento, que originan las siguientes fallas en los muros.

**- Falla por deslizamiento: (Vásquez, K. y Manzano, A. 2012)**

En los edificios estructurados con muros de albañilería armada sometidos a terremotos, puede ocurrir, por una serie de razones, una falla por deslizamiento (cizalle o corte-fricción). Esta forma de falla es muy peligrosa, porque la sección transversal del muro se reduce significativamente, debido a la acción simultánea de las cargas sísmicas coplanares y perpendiculares al plano del muro, y también, porque esta falla puede causar incluso la rotura del refuerzo vertical y el disloque del muro por encima del plano de falla, lo que genera una doble excentricidad de la carga vertical.

Se producen a lo largo la junta horizontal del mortero como resultado de una falla de adherencia por corte en la junta, que se ocasiona por la poca adherencia entre las unidades y el mortero o por falta de refuerzo vertical que permita una adecuada distribución de cargas.

**- Falla de corte: (San Bartolomé, A., Barr, K. y Pineda, C. 2011)**

La falla por corte se produce en los muros de concreto armado cuando su capacidad resistente a fuerza cortante es inferior a la de flexión. Esta falla se caracteriza por la presencia de grietas diagonales siguiendo la junta de mortero a lo largo del muro, es consecuencia de las tensiones de tracción diagonal o esfuerzos de corte que se producen; si es que el extremo carece de estribos de confinamiento, los talones del muro pueden triturarse con el subsiguiente pandeo del refuerzo vertical al igual que una falla por flexión.

**- Falla de flexión: (San Bartolomé, A., Barr, K. y Pineda, C. 2011)**

El agrietamiento se manifiesta verticalmente en el centro y en las esquinas, este tipo de falla se presenta cuando la capacidad de resistencia a la fuerza cortante (proporcionada por el refuerzo horizontal y el concreto) supera a la de flexión (generada por el refuerzo vertical y la carga axial). Esta falla se caracteriza por el balanceo del muro en torno a sus extremos, transmitiéndose gran parte de la carga vertical por el extremo comprimido, lo que puede originar la trituración del concreto con el subsiguiente pandeo del refuerzo vertical, en caso de que no exista confinamiento en los extremos. Aunado a esto, experimentalmente se ha observado que una vez formada la grieta de tracción por o flexión en el borde del muro, el refuerzo vertical al trabajar en tracción o compresión, trata de expulsar al concreto. También puede producirse en muros esbeltos, generando una falla de compresión por flexión en el talón comprimido del muro.

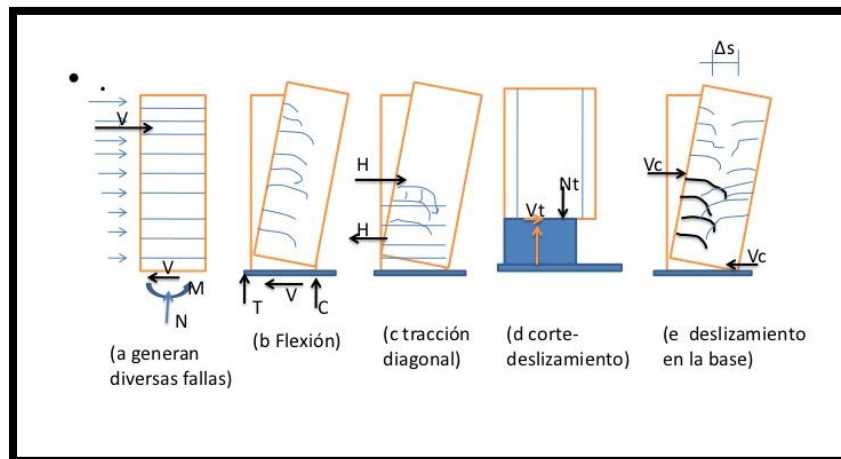
Estas continuas aberturas y cierres de las grietas, son las causantes de la trituración del concreto en el borde carente de confinamiento.

**- Falla de aplastamiento por compresión diagonal: (Páez, M.; Parra, R. y Montaña C. 2009).**

Se produce cuando el cuerpo del muro se separa de los elementos de confinamiento, esta situación genera grandes tensiones de compresión en las esquinas del muro, provocando fallas por aplastamiento de la zona cuando la mampostería es de calidad baja.

Para mampostería reforzada, cuando la cuantía del acero es elevada, se puede presentar una falla por compresión.

Los tipos de falla más comunes de la mampostería se muestran en la figura 2.1.



**Figura 2.1.** Tipos de fallas en los muros.

Fuente: Vásquez, K. y Manzano, A. (2012) *Muro de corte o Placas*. Repositorio académico UNI.

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

A continuación, se hace una breve descripción de algunos términos técnicos, los cuales fueron extraídos de la NTE E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones y otras bibliografías. (Norma NTP E.070 – Albañilería)

- **ALBAÑILERÍA CONFINADA:** Albañilería reforzada con elementos de concreto armado en todo su perímetro, vaciado posteriormente a la construcción de la albañilería. La cimentación de concreto se considerará como confinamiento horizontal para los muros del primer nivel. (NTE E.070, 2006).
- **ALBAÑILERÍA O MAMPOSTERÍA:** Material estructural compuesto por "unidades de albañilería" asentadas con mortero o por "unidades de albañilería" apiladas, en cuyo caso son integradas con concreto líquido. (NTE E.070, 2006).
- **BLOCKER II:** Unidad de albañilería empleado para la construcción de cercos perimétricos, recintos amurallados y muros livianos. Sus medidas son: 12x17x29 cm., y tiene un rendimiento de 17 Unid. x m<sup>2</sup>. (Ladrillos Maxx. 2018).

- **CARGAS:** Estructuralmente la carga es una fuerza que actúa sobre los elementos, pueden ser de sentido horizontal, vertical o perpendicular al plano del cuerpo. La carga puede ser medida en diferentes magnitudes. (Hans, D. 2017).
  
- **CONFINAMIENTO:** Conjunto de elementos de concreto armado, horizontales y verticales, cuya función es la de proveer ductilidad a un muro portante. (NTE E.070, 2006).
  
- **CONSTRUCCIONES DE ALBAÑILERÍA:** Edificaciones cuya estructura está constituida predominante por muros portantes de albañilería. (Chambi, Copa 2016).
  
- **CURVA DE CAPACIDAD:**  
La curva de capacidad de una estructura es representada por una curva pushover la curva de capacidad, se obtiene graficando los valores máximos de cortante basal (fuerza) y desplazamiento. El procedimiento para construir la curva de capacidad consiste en aplicar cargas laterales monotónicas, las cuales se van incrementando hasta llevar la estructura al colapso. (Teran, A. Zuñiga, O. 2008).
  
- **CURVA HISTERÉTICA:** La curva de histéresis muestra la curva de magnetización de un material. Sea cual sea el material específico, la forma tiene características similares.  
  
Al principio, la magnetización requiere un mayor esfuerzo. Este intervalo es la llamada zona reversible. En un determinado punto, la magnetización se produce de forma proporcional. En ese punto se inicia la denominada zona lineal.  
  
En albañilería la envolvente de comportamiento histerético aporta información relevante sobre el comportamiento de muros de mampostería sujetos a cargas laterales cíclicas, dicha envolvente corresponde a los puntos máximos asociados a cada ciclo de carga aplicado experimentalmente. (Zúñiga, Terán 2008).

- **DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ:** El objetivo último de las teorías y modelos de degradación de los materiales sometidos a cargas cíclicas es obtener una aproximación racional de la vida de un elemento estructural. Es decir, obtener un valor esperado del tiempo durante el cual este elemento cumplirá con la función para el que ha sido concebido. Habitualmente para estimar la vida útil de un componente estructural es suficiente con la predicción de la disminución de su resistencia o bien de su rigidez. Por lo tanto, la vida estructural puede ser definida prácticamente en términos de una pérdida de estas dos características a lo largo del tiempo. (Reifsnider, 1991).

Un parámetro importante en la evaluación de estructuras existentes, como en el diseño de nuevas estructuras de mampostería, es la degradación de rigidez, debido a que el daño de las mismas está asociado a su capacidad de absorber cargas laterales a través de su deformación. A menudo, se toman valores de distorsión permisibles en los reglamentos que limitan el desplazamiento lateral de las edificaciones para evitar un daño severo en la mampostería. Sin embargo, es necesario realizar un análisis a fondo para determinar los valores que deben permitirse a dichas estructuras. En este apartado se muestra la degradación de rigidez en función del nivel de distorsión medido para los dos muros de mampostería combinada y confinada ensayados. (Apaza, K. 2013)

- **DISTORSIÓN:** Deformación angular de una estructura debido a las fuerzas laterales que actúan sobre ella.
- **DISTORSIÓN ANGULAR:** Deformación lateral de un cuerpo causada por un esfuerzo cortante, que se define como la tangente del ángulo de distorsión de la deformación. También llamada deformación por cizallamiento, deformación tangencial unitaria.
- **ESFUERZO CORTANTE:** Un cuerpo está sometido a esfuerzo cortante cuando las fuerzas actúan en dirección puesta sobre superficies

adyacentes tendiendo a deslizar o cortar una superficie con respecto a la otra". (Avanto, F. 2012).

- **MALLA ELECTROSOLDADA:** La malla electrosoldada es un producto formado por dos sistemas de barras o alambres de acero, uno longitudinal y otro transversal, que se cruzan entre sí perpendicularmente y cuyos puntos de contacto están unidos, mediante soldaduras eléctricas por resistencia en un proceso de producción en serie.

Las mallas electrosoldadas son estructuras de acero planas formadas por barras de acero lisas o corrugadas, entrecruzadas y soldadas eléctricamente en los puntos de cruce de barras longitudinales y transversales, de manera que forman cuadrículas de acero flexible pero muy resistente una vez que se ha colocado. La soldadura eléctrica consiste en la fusión de dos partes metálicas bajo presión, sin aporte de material, ablandando por medio de calor, que proviene de una fuente de alto amperaje y que se comprime para facilitar el proceso. La malla se coloca como refuerzo encima de los muros o alrededor de las columnas de las edificaciones para que contribuya al soporte general de toda la estructura, pero se coloca sobre todo en aquellos puntos que necesitan un mayor refuerzo.

Se emplean el mismo tipo de varillas que se usaban en construcción, que proporcionaban mucha estabilidad al edificio, pero lo volvía mucho más pesado. La principal ventaja de este método es que se necesita mucha menos cantidad de acero para una misma estructura obteniendo estabilidad similar. La cuadrícula soldada de la malla proporciona una resistencia similar a la de un grupo de varillas.

Otra gran característica es la capacidad de absorber importantes cantidades de energía. Son muy eficientes en la retención de bloques pequeños inestables, provocados por eventos sísmicos, activaciones estructurales y otros.

También cabe destacar que el tiempo de instalación de la malla es sensiblemente menor, reduciendo también costes de construcción. La malla electrosoldada corrugada garantiza una mayor adherencia al hormigón en las hendiduras del alambre, mayor anclaje mecánico. (Mallasomnia. 2018) (Donaire, M. 2016).

- **MÓDULO DE ELASTICIDAD:** Relación entre la fatiga unitaria y la correspondiente deformación unitaria en un material sometido a un esfuerzo que está por debajo del límite de elasticidad del material. También llamado coeficiente de elasticidad, módulo de Young, módulo elástico.

## Capítulo 3:

# MARCO METODOLÓGICO





## CAPITULO III

### MARCO METODOLÓGICO

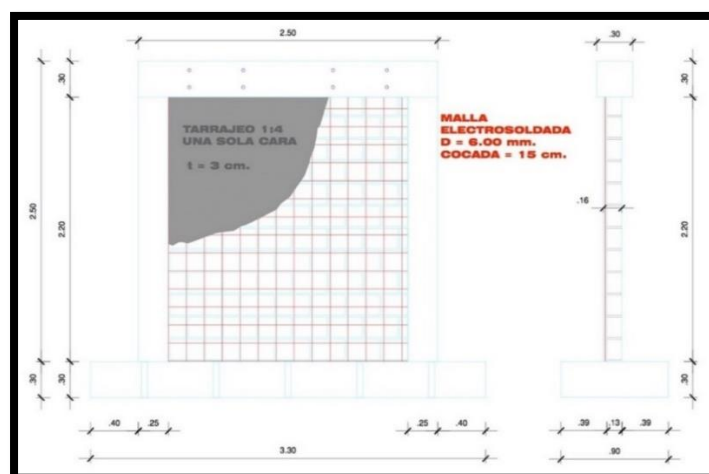
#### 3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

- Por el tipo de investigación es experimental.
- Se realiza un ensayo de carga cíclica lateral a un muro de albañilería confinada, construido con blocker II y reparado y reforzado.

#### 3.2. POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO

**Población:** Es un muro de albañilería con unidades tipo blocker II. El espécimen es un muro de 2.50 m de altura, 2.50 m de longitud, el espesor del muro sin reforzar es de 0.13 m. mientras el muro reforzado tiene un espesor de 0.16 m. La base del muro reducido es de 3.30 m de largo, 0.90 m de ancho y 0.30 m de altura. Se realizará 1 ensayo de carga lateral cíclica.

**Muestra:** MBATR- 3, resultado de la reparación y reforzamiento de la muestra MBAT- 3. (Pertenece al proyecto de tesis ENSAYO DE CARGA CÍCLICA DE TRES MUROS A ESCALA NATURAL CON ESPECÍMENES DE ALBAÑILERÍA BLOCKER II- UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA).



### Figura 3.1. Espécimen MBATR- 3

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La operacionalización de las variables, consisten en descomponer deductivamente las variables que compone la investigación.

Para la ejecución de la presente tesis, se ha identificado 2 variables que pueden ser medidas.

**Tabla 3.1**

*Operacionalización de variables*

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
<b>Variable dependiente (vd):</b> <b>Reforzamiento estructural con malla electrosoldada.</b>	Es una técnica que consiste en encamisar con una malla electrosoldada de 6mm un muro dañado, aportando rigidez y resistencia	Resistencia Estructural a la carga lateral cíclica	- Técnica de reforzamiento
<b>Variable independiente (vi):</b> <b>Muro de Albañilería Confinada Construida con Blocker II.</b>	Es un muro construido con la unidad de albañilería confinada Blocker II , en forma tal que transmite cargas horizontales y verticales hacia la cimentación	Valor dado de una demanda	- Especímenes - Carga Máxima - Desplazamiento

Fuente: Elaboración Propia

**MURO MBAT-03 y MBATR-03:** Los especímenes MBAT-03 y MBATR-03 son muros de albañilería confinada con unidades tipo blocker II. Los materiales utilizados en el ensayo fueron llevados desde la Ciudad de Tacna al Laboratorio de Estructuras del CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería en la Ciudad de Lima; tanto para la construcción como para el ensayo del muro. Con dimensiones de 2.50 m de altura, 2.50 m de longitud,

el espesor del muro sin reforzar MBAT3 es de 0.13 m. mientras que el muro reforzado MBATR-3 tiene un espesor de 0.16 m.

Las dimensiones de los elementos estructurales (vigas y columnas), y las cuantías de acero, fueron asumidas como las normalmente usadas en la construcción de las viviendas, estas fueron diseñadas netamente para uso experimental, asumiendo columnas del mismo espesor del muro.

Para disponer el muro en el dispositivo de ensayo, se construyó una base de muro reducido (viga de cimentación), Con dimensiones de 3.30 m de largo, 0.90 m de ancho y 0.30 m de altura, este servirá a su vez como base de apoyo.

#### **3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

Las principales técnicas que se utilizaron para la recolección de datos fueron:

**INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA:** Se recopilará información relacionada al proyecto de investigación. El comportamiento sísmico de muros de albañilería confinada ante cargas laterales, y los tipos de falla. La técnica de ensayo seguirá los lineamientos del FEMA 461.

**ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE MUROS:** Se construirán un muro a escala natural. Se pretende que los procedimientos generales de construcción y los detalles del refuerzo sean representativos de viviendas informales de la ciudad de Tacna. Se ensayará el muro bajo cargas laterales cíclicas en su plano con desplazamiento lateral controlado siguiendo los lineamientos del FEMA 461.

**PROCESAMIENTO DE RESULTADOS:** Se determinarán las curvas de capacidad de los muros ensayados a carga lateral. Los gráficos de carga vs. Desplazamiento se obtienen de la respuesta histerética de los muros. La curva de capacidad es la envolvente cíclica de los lazos histeréticos estables y éste se forma al graficar los picos máximos en cada fase de ensayo vs. Desplazamiento.

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS:** Se realizará una comparación de los resultados obtenidos del análisis teórico con los resultados de los ensayos experimentales. Se evaluarán los resultados de la rigidez lateral elástica (K), la fisura diagonal, la distorsión angular y la fisuración de tracción por flexión. Asimismo, se comparará los resultados con la NTE E-070 del reglamento nacional de edificaciones.

### **3.5. INSTRUMENTOS Y/O MATERIALES**

#### **3.5.1. INSTRUMENTACIÓN:**

Para la realización de este ensayo debe emplearse pórticos de acero que rodea al espécimen a manera de pórtico de reacción. De uno de los extremos del muro se coloca las gatas hidráulicas, un sistema de aplicación de carga horizontal, un sistema de medición conformado por celdas de carga y transductores LVDTs. Adicionalmente, se colocan las gatas hidráulicas verticales, que mantendrán una carga constante, apoyarán uno de sus extremos sobre la losa de reacción, mientras que las gatas hidráulicas horizontales, que aplicarán la carga cíclica lateral, apoyarán uno de los extremos sobre el muro de reacción.

#### **3.5.2. MATERIALES:**

**A. Unidad de albañilería blocker II:** En la investigación se utilizó unidades de albañilería Blocker II fabricados industrialmente en la ladrillera Martorell de la Ciudad de Tacna.

Se le considera Unidad de albañilería hueca ya que la sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente menor que el 70% del área bruta en el mismo plano.

Según las especificaciones técnicas, tiene las siguientes medidas:



**Figura 3.2.** Vista de la unidad blocker II

Fuente: Ladrillos MAXX.

Durante esta investigación no se realizaron estudios de clasificación y evaluación de unidades. Esta información fue obtenida de estudios realizados en la Universidad Privada de Tacna, nombrados en el Capítulo 2 como antecedentes con el título de PROPUESTA DE FÓRMULA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE MUROS CONSTRUIDOS CON BLOCKER II” Proyecto de Investigación desarrollado por el Mag. José Acero Martínez y la Ing. Dina Cotrado Flores en colaboración con estudiantes de Ingeniería Civil (Aste Pinto, Daniella Alejandra; Ayca Tejada, Claudia Leonor; Chávez Quiñonez, Jhonathan Luis) en setiembre del 2016, cuyos resultados se muestran en el acápite 2.1.

**B. Mortero:** El mortero utilizado en las juntas de la albañilería tuvo una proporción volumétrica de 1:4 (cemento – arena gruesa), similar al usado en las obras reales. A esta mezcla se le adicionó agua en cantidades que le suministraron una trabajabilidad apropiada.

El cemento utilizado fue Pórtland tipo-IP (ASTM C-150, ITINTEC 334-009). El agregado fue arena gruesa natural, libre de materia orgánica, y no se realizó ningún análisis granulométrico.

**C. Concreto:** El concreto utilizado en la construcción de los elementos del muro (cimentación, columnas y solera), tuvo una resistencia nominal igual a

17,15MPa (175kg / cm<sup>2</sup>). La mezcla deberá ser fluida, con un revenimiento del orden de 12,7 cm (5 pulgadas) medida en el cono de Abrams.

El concreto de las columnas de confinamiento se vaciará posteriormente a la construcción del muro de albañilería; este concreto empezará desde el borde superior del cimiento, no del sobrecimiento.

Las juntas de construcción entre elementos de concreto serán rugosas, humedecidas y libre de partículas sueltas. La parte recta de la longitud de anclaje del refuerzo vertical deberá penetrar al interior de la viga solera o cimentación; no se permitirá montar su doblez directamente sobre la última hilada del muro.

**D. Acero de refuerzo:** Se utilizó varillas de acero corrugado de diámetros nominales de:  $\frac{3}{8}$ " y  $\frac{1}{4}$ " en la viga solera y  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{1}{4}$ " en las columnas de confinamiento, para la viga de cimentación se utilizó acero longitudinal de  $\frac{1}{2}$ " y estribos de  $\frac{1}{2}$ ".

**Tabla 3.2**

*Característico del acero de refuerzo*

<b>Diámetro barra (pulg)</b>	<b>Sección (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro (mm)</b>	<b>Peso (Kg/m)</b>
3/8"	71	29.9	0.56
1/2"	129	39.9	0.994

Fuente: NTP 341.031 Grado 60

**Tabla 3.3**

*Propiedades del acero de refuerzo*

<b>Límite de fluencia</b>	fy	4200	kg/cm <sup>2</sup>
<b>Límite de rotura</b>	fu	6300	kg/cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de elasticidad</b>	Es	2.1x10 <sup>6</sup>	kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: ASTM A 615 Grado 70

**E. Malla electrosoldada:** Se componen de barras lisas o corrugadas, aminadas en frío, las que se colocan en forma longitudinal y transversal, que se cruzan en forma rectangular, estando las mismas soldadas en todas sus intersecciones.

Gracias a su mayor resistencia, permite utilizar una menor cantidad de acero. A diferencia de las barras corrugadas.

Sus uniones aseguran el exacto posicionamiento de las barras y posee una adherencia efectiva al concreto por sus uniones sólidas.

La malla electrosoldada usada para el reforzamiento del muro se adquirió de la empresa PRODAC SA. Las varillas que conforman la malla son de aceros trefilados en frío fabricados bajo especificaciones de las Normas ASTM A82 - 94 para alambre liso, con las siguientes propiedades:

**Tabla 3.4**

*Especificaciones técnicas para malla electrosoldada*

<b>Límite de fluencia</b>	fy	5000	kg/cm <sup>2</sup>
<b>Límite de rotura</b>	fu	5600	kg/cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de elasticidad</b>	Es	2.1x10 <sup>6</sup>	kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Alférez, K. y Quinto, D. (2002). *Reforzamiento estructural de muros de albañilería de bloques artesanales de concreto, tesis para obtener grado de magister*. Pontifica Universidad Católica del Perú.

**Características:**

- Mallas electrosoldadas: grado Ca50, límite de ruptura 5600 kg/cm<sup>2</sup>. Q - 188 (6 mm @ 15 cm) producidas por PRODAC. (Tabla 3.4)

**Tabla 3.5***Especificaciones técnicas para malla electrosoldada*

<b>Descripción</b>	<b>Medidas (m)</b>	<b>Cocada (mm)</b>	<b>Diám. (mm)</b>	<b>Peso Malla</b>	<b>Peso Kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Mallas para losas, muros de contención, zapatas</b>					
Malla soldada R-80	2.40x6.00	200x300	4.5/3.0	11.387	0.949
Malla soldada QE-106	2.40x5.00	150x150	4.5	19.878	1.657
Malla soldada Q-139	2.40x6.00	100x100	4.2	31.200	2.167
Malla soldada Q-158	2.40x6.00	150x150	5.5	35.809	2.487
Malla soldada Q-188	2.40x6.00	150x150	6.0	42.621	2.960
Malla soldada Q-238	2.40x6.00	100x100	5.5	53.710	3.730
Malla soldada Q-257	2.40x6.00	150x150	7.0	58.004	4.028
<b>Mallas para muros de edific. De ductibilidad limitada (Con puntas largas)</b>					
Malla soldada QE-159/196	2.40x3.05	100x100	4.5/5.0	17.643	2.410
Malla soldada QE-196	2.40x3.05	100x100	5.0	19.546	2.670
<b>Mallas para suples (Encuentro de Muros) o Dowels (Arranque de Muros)</b>					
Malla soldada RE-61/196	0.80x2.40	150x100	3.4/5.0	3.294	1.716
Malla soldada RE-84/257	0.80x2.40	150x150	4.0/7.0	4.340	2.260

Fuente: Prodac

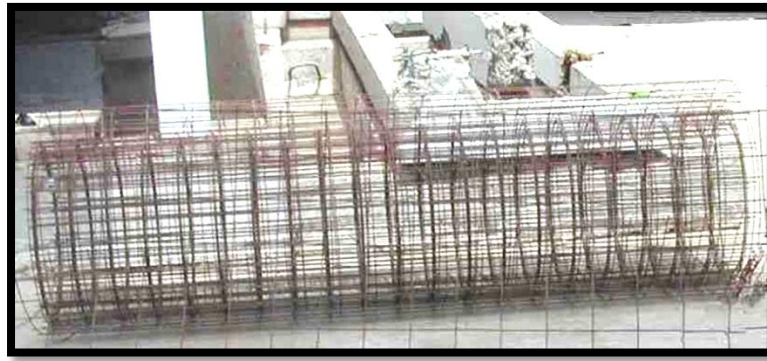
**Tabla 3.6***Características de malla seleccionada*

<b>Descripción</b>	<b>Medida (mm)</b>	<b>Cocada (mm)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Peso malla</b>	<b>Peso kg/m<sup>2</sup></b>
Malla Soldada Q-188	2.40 x 6.00	150 x 150	6.0	42.621	2.960

Fuente: Prodac

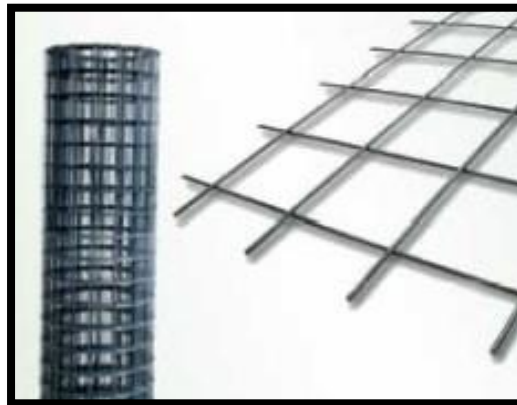
Los materiales utilizados para interconectar la malla electrosoldada al muro se observan en las siguientes figuras (Figuras 3.3, 3.4 y 3.5).





**Figura 3.3.** Malla electrosoldada obtenida de PRODAC

Fuente: PRODAC



**Figura 3.4.** Malla electrosoldada 6 mm con cocadas de 15cm

Fuente: PRODAC



**Figura 3.5.** Clavo de acero Estriado tipo L 4x40mm para amarrar y fijar la malla al muro

Fuente: PRODAC

### 3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Desarrollaremos la comparación entre un muro de albañilería sin reforzamiento y un muro de a

De esta manera comprobaremos que tan efectiva es la técnica de reforzamiento de muro de albañilería con malla electrosoldada, a un muro construido con blocker II.

#### 3.6.1. PROCESOS CONSTRUCTIVOS

En el proyecto de tesis "*Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural con especímenes de albañilería blocker II- Universidad Privada de Tacna*" se construyó un muro, al que llamaremos MBAT-3. El muro MBAT-3, tenía como fin ser ensayado para obtener las características de un muro en un estado natural, por lo cual su proceso constructivo finalizaba con la construcción de la viga solera del mismo. Luego de la construcción del muro MBAT-3. Se realizó el ensayo de carga cíclica, para luego ser reparado y reforzado para cumplir con el objetivo del proyecto, obtener las características estructurales de un muro reparado y reforzado con malla electro-soldada.

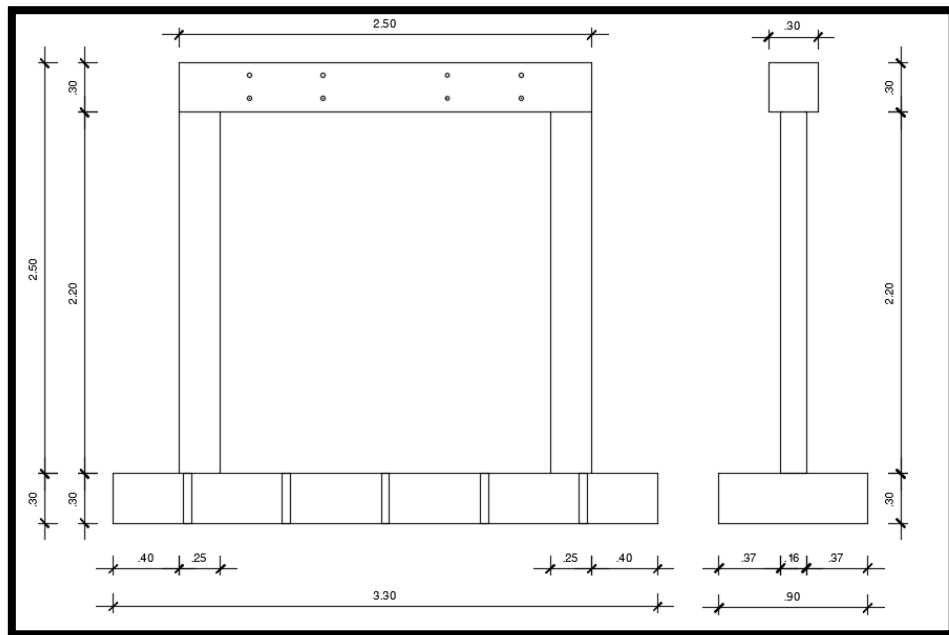
Los especímenes MBAT-3 y MBATR-3 son muros de albañilería confinada con unidades tipo blocker II. Los materiales utilizados en el ensayo fueron llevados desde la Ciudad de Tacna al Laboratorio de Estructuras del CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería en la Ciudad de Lima; tanto para la construcción como para el ensayo del muro. Con dimensiones de 2.50 m de altura, 2.50 m de longitud, el espesor del muro sin reforzar MBAT3 es de 0.13 m. mientras que el muro reforzado MBATR-3 tiene un espesor de 0.16 m.

Las dimensiones de los elementos estructurales (vigas y columnas), y las cuantías de acero, fueron asumidas como las normalmente usadas en la construcción de las viviendas, estas fueron diseñadas netamente para uso experimental, asumiendo columnas del mismo espesor del muro.

Para disponer el muro en el dispositivo de ensayo, se construyó una base de muro reducido (viga de cimentación), Con dimensiones de 3.30 m de largo,

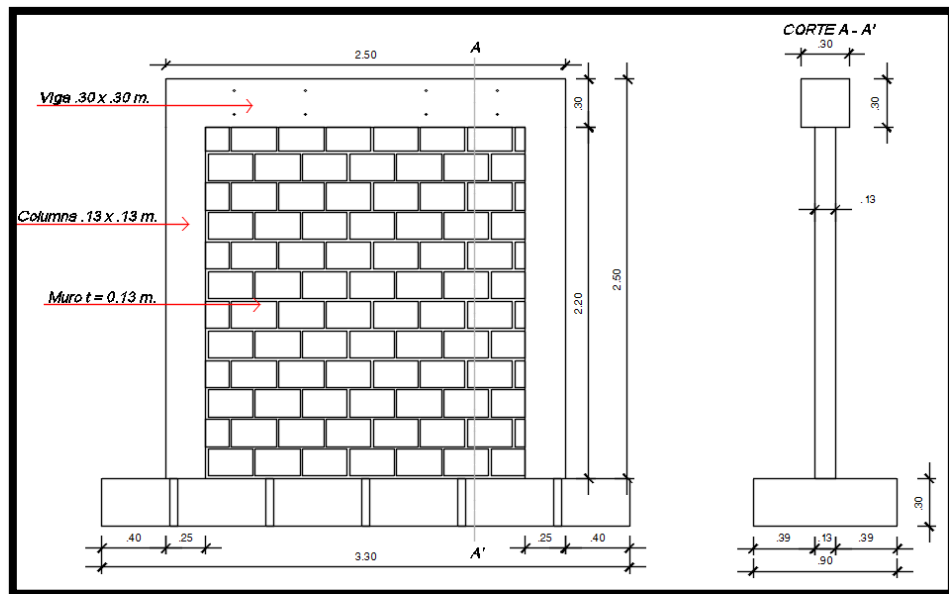
0.90 m de ancho y 0.30 m de altura, este servirá a su vez como base de apoyo.

Las dimensiones del muro y la disposición de los bloques y aceros de refuerzo se muestran en las figuras 3.6, 3.7 y 3.8.



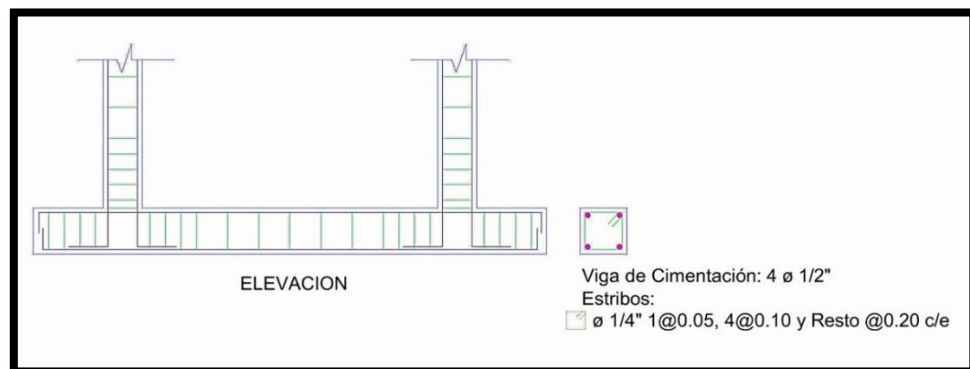
**Figura 3.6.** Dimensiones del muro

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016). *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.



**Figura 3.7.** Descripción del muro y corte a-a

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016). *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.



**Figura 3.8.** Detalle de aceros en cimentación

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016). *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.

### A. CONSTRUCCIÓN DEL MURO MBAT-3

La construcción del muro MBAT-3 se efectuó en Laboratorio de Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres de la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú y se llevó a cabo por etapas (Figura 3.9 a 3.14).

**Construcción de base para cimentación de muro:** Primero se habilitó el acero para viga de cimentación y columnas. Se colocó una base de triplay en el suelo y debajo de éste una lámina de plástico para que no se adhiera al mismo. Posteriormente, se colocaron 10 pases de PVC y 4 sujetadores para movilizar el muro a la zona de ensayo. Luego se colocaron los aceros de anclaje para las columnas para poder realizar el vaciado. La mezcla de concreto fue correctamente vibrada con una vibradora de 2”.



**Figura 3.9.** Habilitación de acero para columnas de confinamiento anclado a la cimentación y enconfrado de base de muro.

Fuente: Propia



**Figura 3.10.** Vaciado y vibrado de concreto en base de muro.

Fuente: Propia

**Construcción de muro de albañilería con blocker II:** Los ladrillos artesanales de arcilla se regaron parcialmente por 30 min, 12 horas antes al día del asentado. El asentado de los ladrillos para el muro se realizó con el humedecimiento de la base y colocación de mortero para facilitar la adherencia. Se verificó la verticalidad con el uso de la plomada y la horizontalidad con el nivel de mano y cordel. Para el anclaje del muro - columna, se dejó el dentado correspondiente de 5cm para la adherencia del concreto y fue amarrado por zunchos de 4mm doblados 90° hacia abajo para el confinamiento del muro.



**Figura 3.11.** Asentado y aplome de unidad de albañilería blocker II con nivel y plomada; aparejo de unidades de albañilería tipo sogá.

Fuente: Propia



**Figura 3.12.** Dentado de 5cm. del muro para amarre de columnas de confinamiento con zunchos de 4mm.

Fuente: Propia

**Construcción de columnas de confinamiento:** Concluido el muro de albañilería se procedió con el trazo de las dimensiones de las columnas en la viga de cimentación para el encofrado correspondiente. Con la finalidad de evitar las cangrejeras se utilizó confitillo de  $\frac{1}{4}$ ". Se utilizó concreto fue f'c: 175 Kg/cm<sup>2</sup>, no se utilizó desmoldante. Una vez vaceado se desencofro 24 horas después y se realizó el curado.



**Figura 3.13.** Encofrado, vaciado y desencofrado de columnas de confinamiento después de 24 horas.

Fuente: Propia

**Construcción de viga solera:** Se procedió a encofrar el fondo de viga que sobresale del muro, colocando puntales de madera, posteriormente se habilitó el acero, con un recubrimiento mínimo de 2.5cm, se verificó el espaciamiento entre estribos y se añadió dos estribos adicionales en los nudos para amarrarlos al refuerzo vertical de las columnas. El concreto fue  $F'c: 175 \text{ Kg/cm}^2$  con un slump en el rango (4-6cm) antes de vaciar la viga. Después de las 24 horas, se procedió a desencofrar e inmediatamente se realizó el curado necesario.





**Figura 3.14.** Encofrado, vaciado y desencofrado de viga solera después de 24 horas.

Fuente: Propia

## **B. REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO DEL MURO MBAT-3**

Culminado el ensayo de carga lateral cíclica del muro MBAT-3, se le reparó y se reforzó con malla electrosoldada, obteniendo una nueva denominación MBATR-3.



**Figura 3.15.** Especimen MBAT-3 posterior a ensayo cíclico de carga lateral.

Fuente: Propia

**El proceso de reparación:** Se procedió con la limpieza de unidades dañadas y mortero suelto, luego con el relleno de una mezcla cemento – arena gruesa 1:3 en las fallas diagonales que presentaba el muro en su límite de reparación. (Figura 3.16)



**Figura 3.16.** Apuntalamiento de viga solera y limpieza de unidades dañadas.

Fuente: Propia

**Muro Reforzado MBATR-3:** La técnica de reforzamiento utilizada para mejorar las propiedades del muro de albañilería confinada denominada “Técnica de encamisado”, consiste en cubrir con paneles de malla electrosoldada una cara del muro. Para llevar a cabo esta técnica se utilizó malla electrosoldada Q-188 adquirida de la empresa PRODAC S.A., cuyas características se presentan en el acápite 3.2.



**Figura 3.17.** Malla electrosoldada Q-188 de 1/4" para encamisado de muro.

Fuente: Propia

Para encamisar los muros, se utilizó una malla electro-soldada de 1/4" con una cocada de 15 cm de separación. Para la instalación de la malla, se perforó el muro con ayuda de un taladro eléctrico. Los huecos se ubicaron en las juntas de la albañilería fijándolas con clavos de acero. Las columnas fueron perforadas cada 30 cm, teniendo cuidado que estas perforaciones coincidan con la ubicación de las barras horizontales de la malla. El proceso se muestra en las figuras 3.18 a 3.27.

Así mismo se hicieron perforaciones en la base de cimentación cada 70 cm. Para colocar aceros de anclaje para la malla electrosoldada.



**Figura 3.18.** Reforzamiento de muro con malla electrosoldada Q-188 de 1/4".

Fuente: Propia



**Figura 3.19.** Perforación en el espécimen para colocación de clavos de acero para anclaje de malla electrosoldada.

Fuente: Propia



**Figura 3.20.** Colocación de clavos de acero para fijar malla electrosoldada a muro.

Fuente: Propia



**Figura 3.21.** Perforación de viga solera para aceros de fijación.

Fuente: Propia



**Figura 3.22.** Perforación de la base del muro para anclaje de malla a cada 70 cm.

Fuente: Propia



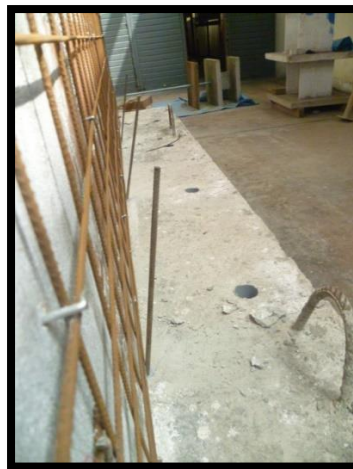
**Figura 3.23.** Mezcla epóxica sikadur 32 proporción 1:2 para fijación de anclajes.

Fuente: Propia



**Figura 3.24.** Colocación de aceros para anclaje de muro.

Fuente: Propia



**Figura 3.25.** Anclajes de acero y fijación de malla electrosoldada.

Fuente: Propia



**Figura 3.26.** Alineación lateral para tarrajeo de muro.

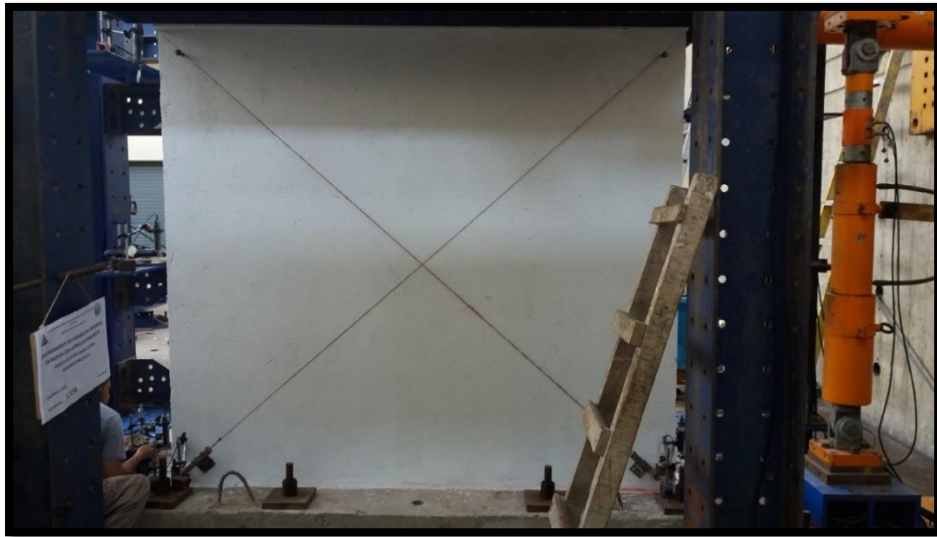
Fuente: Propia



**Figura 3.27.** Tarrajeo de 3cm para muro encamisado con malla electrosoldada.

Fuente: Propia

Culminada la reparación y reforzamiento del muro MBATR-3, se procedió a pintar una de las caras del muro con yeso blanco. Luego, el muro se transportó a su ubicación para el ensayo de carga cíclica controlada (Figura 3.28).



**Figura 3.28.** Muro terminado y listo para ensayo cíclico de carga lateral.

Fuente: Propia

### **3.6.2. ENSAYO DE MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA SOMETIDO A CARGA LATERAL CICLICA Y RESULTADOS**

En este capítulo se describe la ejecución de ensayos al espécimen de albañilería MBAT-3 y MBATR-3 Sometiéndolo a carga lateral cíclica. Además, se detallan las características de los ensayos, el sistema de aplicación de carga, la descripción del mecanismo de carga, sistema de adquisición de datos y protocolos de desplazamientos, finalmente se realiza la evaluación numérica

Para obtener la curva Histerética del espécimen y la curva de capacidad del Muro

En estos ensayos no se aplicó carga vertical, la cual hubiese originado mayores daños sobre los muros, reduciendo su ductilidad.

**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO:** El ensayo estático de carga lateral cíclica a escala natural se lleva a cabo con la finalidad de conocer el comportamiento estructural del muro de albañilería confinada construida con unidades del tipo blocker II sometiendo al ensayo de carga cíclica, hasta su límite de reparación; Posteriormente el muro es reparado y reforzado con malla

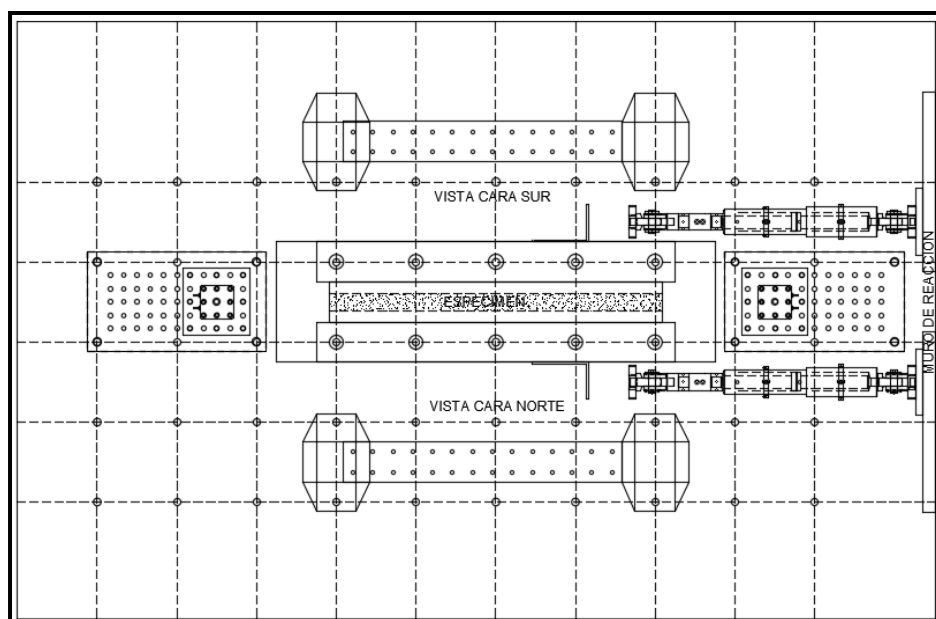


electrosoldada y es sometido nuevamente al mismo ensayo para finalmente compararlos Frente a cargas cíclicas que simularan la acción de un sismo y así evaluar su mejora frente fuerzas sísmicas

El ensayo arroja como resultados curvas de carga lateral vs. desplazamiento, asociados al mismo tiempo. De estas curvas se pueden obtener dos propiedades principales de la albañilería reforzada, resistencia al cortante ( $V_m$ ) y módulo de corte ( $G_m$ ). Además, se pueden realizar mediciones en puntos críticos como: juntas columnas - muro, juntas viga - muro, etc.

**DESCRIPCIÓN DEL MECANO CARGA:** Se empleó pórticos de acero que rodearon al espécimen a manera de pórtico de reacción. En uno de los extremos del muro se colocaron gatas hidráulicas, también un sistema de aplicación de carga horizontal y un sistema de medición compuesto por celdas de carga y transductores LVDTs, como se muestra en la Figura 3.29.

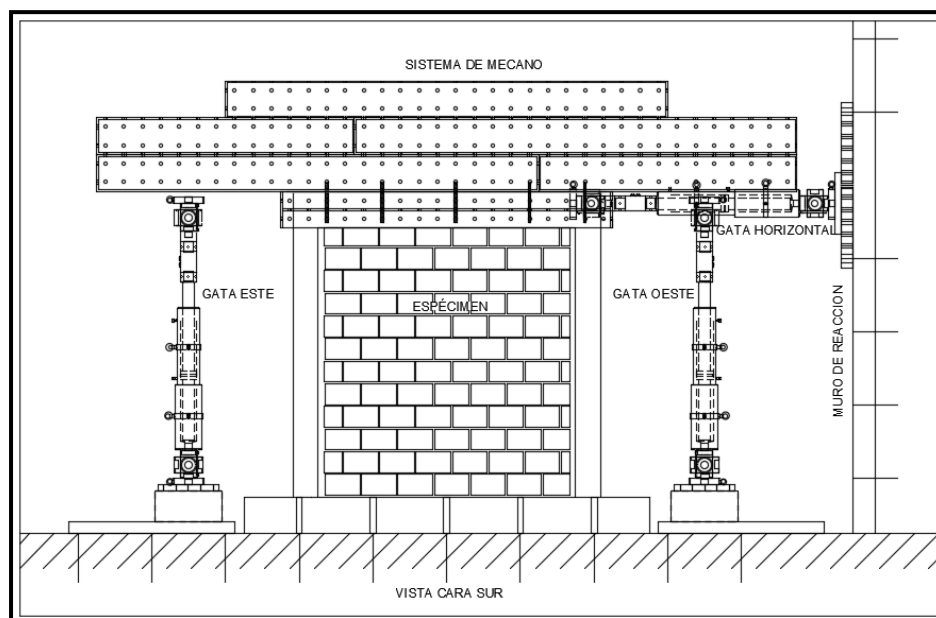
Asimismo, se colocaron gatas hidráulicas verticales, manteniendo una carga constante, se apoyó uno de los extremos sobre la losa de reacción, por otro lado las gatas hidráulicas horizontales, que aplican carga cíclica lateral, apoyaron uno de los extremos sobre el muro de reacción.



**Figura 3.29.** Sistema de medición conformado por celdas de carga y transductores lvdts.

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016). *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II.* Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.

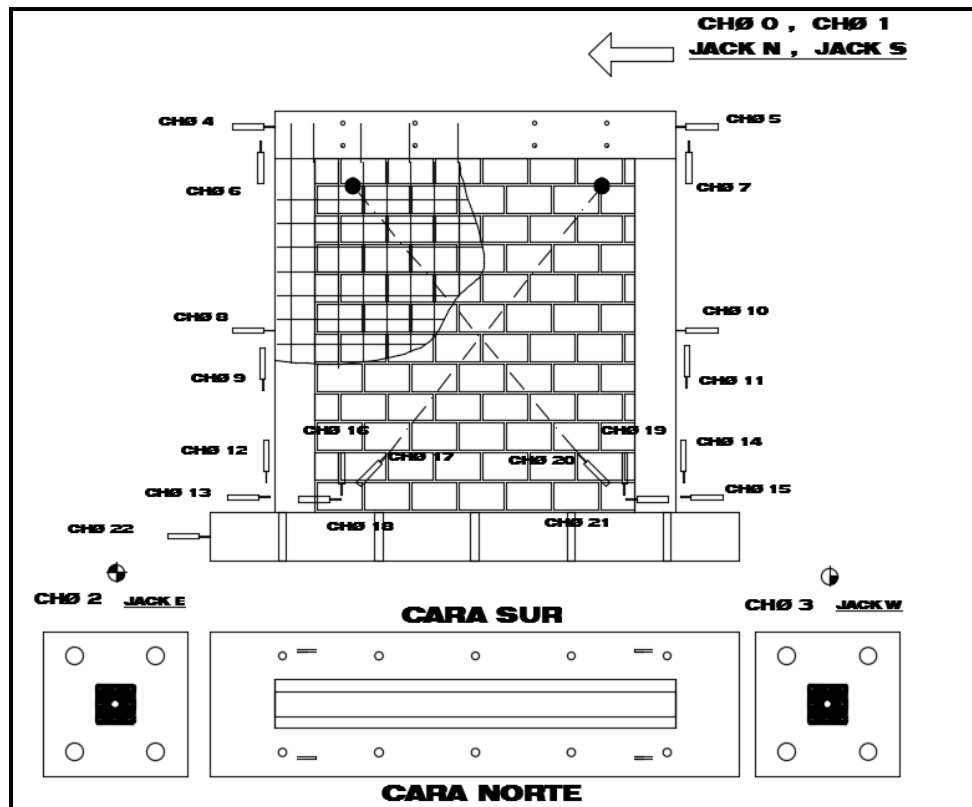
**SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA:** El sistema de aplicación de carga consta de 4 gatas hidráulicas estáticas; cada una tiene una capacidad de aplicación de carga de 500 kN con una amplitud del émbolo (stroke) de +/- 250mm. 2 de estas gatas hidráulicas son responsables de la aplicación de la carga horizontal cíclica lateral, mientras que las otras dos son las que mantienen una carga axial que simula la presencia de carga vertical de pisos sobre el muro de mampostería. Durante el ensayo, la carga axial aplicada por las dos gatas hidráulicas verticales se mantienen constante en 100 kN. La carga axial es aplicada con las dos gatas hidráulicas, bajo control de carga, usando la carga vertical requerida, que se distribuye horizontalmente mediante una viga de acero soportada por la viga superior de concreto del espécimen.



**Figura 3.30.** Esquema de la configuración las cargas en el ensayo cíclico

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016). *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II.* Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.

**SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS:** La instrumentación se conforma por 22 canales para la adquisición de los datos. La figura 3.30 muestra la instrumentación del espécimen. Los canales CH-00 y CH-01 corresponden a las celdas de carga de las gatas hidráulicas horizontales, CH-02 y CH-03 corresponden a las celdas de carga de las gatas hidráulicas verticales, y del CH-04 al CH-22 corresponden a los transductores de desplazamiento. Para el control del desplazamiento de las gatas hidráulicas se utilizará un transductor de desplazamiento monitor (CH-04) como se muestra en la Figura 3.31.



**Figura 3.31.** Sistema de adquisición de datos

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016). *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.

**MONTAJE DEL ESPÉCIMEN:** El espécimen ensayado consiste en un muro de albañilería confinada construida con unidades tipo blocker II. El

espécimen es un muro de 2.50 m de altura, 2.50 m de longitud, el espesor del muro sin reforzar es de 0.13 m. mientras el muro reforzado con malla electrosoldada y revestida con mortero tiene un espesor de 0.16 m. La base del muro reducido es de 3.30 m de largo, 0.90 m de ancho y 0.30 m de altura.

Una vez reparado, reforzado con malla electrosoldada y tarrajado con mortero, el muro fue transportado por un puente grúa adaptado en las instalaciones del laboratorio de Estructuras del Cismid (Figura 3.32). Posteriormente se niveló la base de la cimentación a la losa de reacción y mediante barras de conexión se anclaron (Figura 3.33).



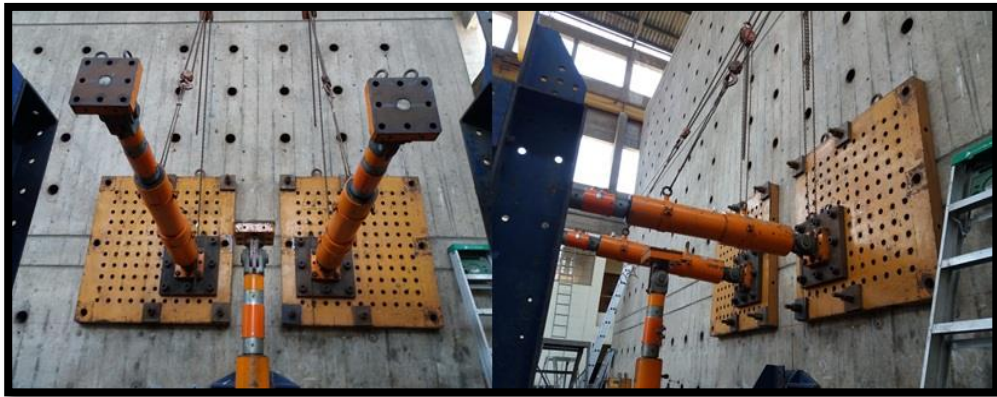
**Figura 3.32.** Puente Grúa para Transporte del Espécimen Ensayado (izquierda).

Fuente: Propia

**Figura 3.33.** Espécimen anclado a la losa de reacción (derecha).

Fuente: Propia

Una vez anclado el espécimen, se procede a la colocación de las gatas hidráulicas. Primero se coloca los dos actuadores hidráulicos que ejercerán fuerza horizontal apoyada sobre el muro de reacción (Figura 3.34). Luego se ensamblan los actuadores hidráulicos que ejercen fuerzas verticales, estas apoyadas a la losa de Reacción (Figura 3.35).



**Figura 3.34.** Actuador Hidráulico Horizontal.

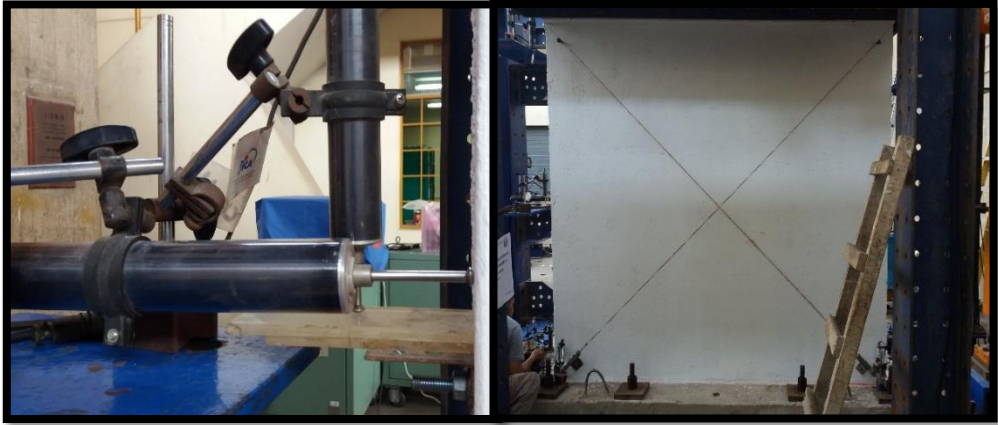
Fuente: Propia



**Figura 3.35.** Actuador Hidráulico Vertical.

Fuente: Propia

Posteriormente se verificó la calibración de los transductores LVDTs (Linear variable differential transformer o Transformador diferencial de variación lineal) colocados adecuadamente para no obtener valores incorrectos a la hora del ensayo (Figura 3.36, figura 3.37 y Figura 3.38).



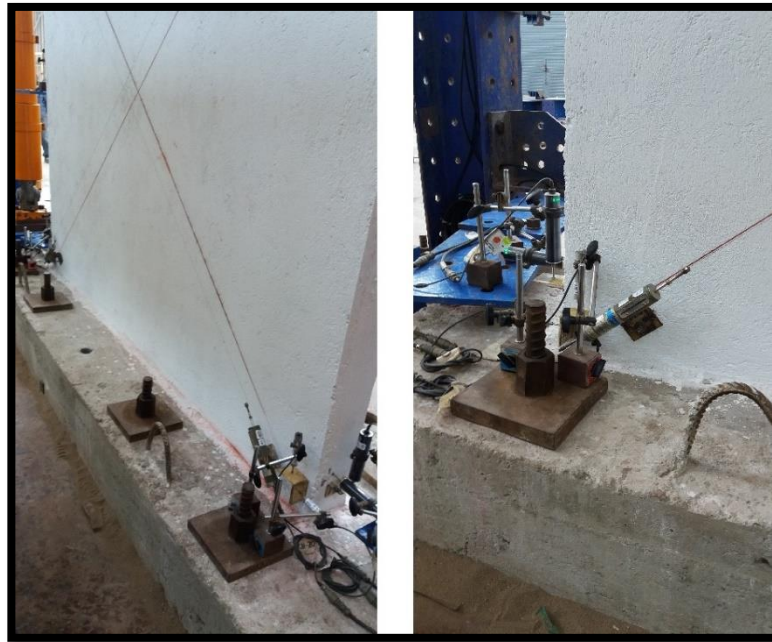
**Figura 3.36.** Colocación de los Lvds (transformador diferencial de variación lineal) en los extremos del espécimen.

Fuente: Propia



**Figura 3.37.** Colocación de los LVDTs (Transformador diferencial de variación lineal) en los extremos del espécimen.

Fuente: Propia



**Figura 3.38.** Colocación de los lvdts (transformador diferencial de variación lineal) en la base del espécimen.

Fuente: Propia

Los Actuadores están conectados a un Sistema Hidráulico que transforma el Sistema eléctrico a digital mediante una computadora recibiendo impulsos (Fuerzas) a través de mangueras y cables (Figura 3.40). La recepción de las mediciones de desplazamientos y cargas, (respuesta del espécimen) fueron hechas por un Sistema de recepción de Datos, el cual transmite las lecturas hacia la computadora, donde a través de un programa se van formando las gráficas de Curva de Capacidad y Lazos Histeréticos y son traducidas a un archivo de Texto (Figuras 3.39, 3.40 y 3.41).



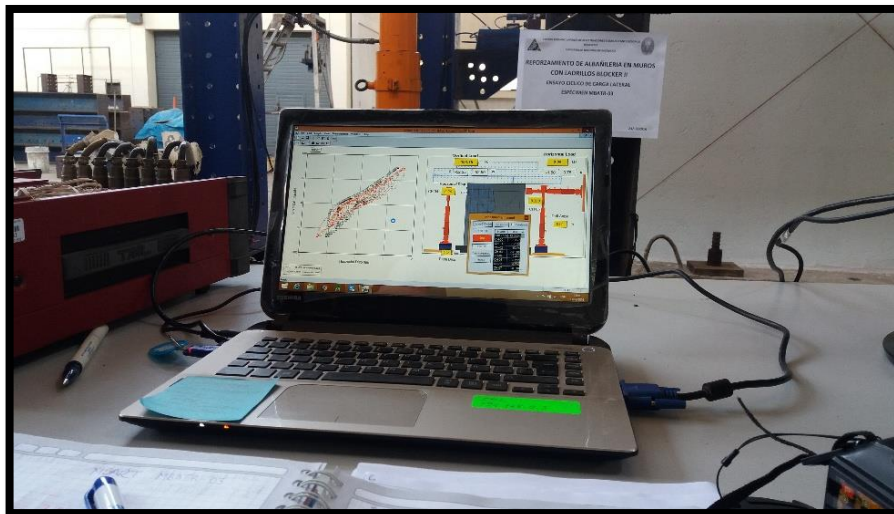
**Figura 3.39.** Sistema hidráulico y actuadores horizontales conectados a través de mangueras y cables.

Fuente: Propia



**Figura 3.40.** Sistema de recepción de datos de los 22 canales.

Fuente: Propia



**Figura 3.41.** Programa de recopilación de datos,

Fuente: Propia

Una vez instalado y adecuado el sistema de instrumentación (ver Figura 3.33) se procedió a comenzar con el ensayo.

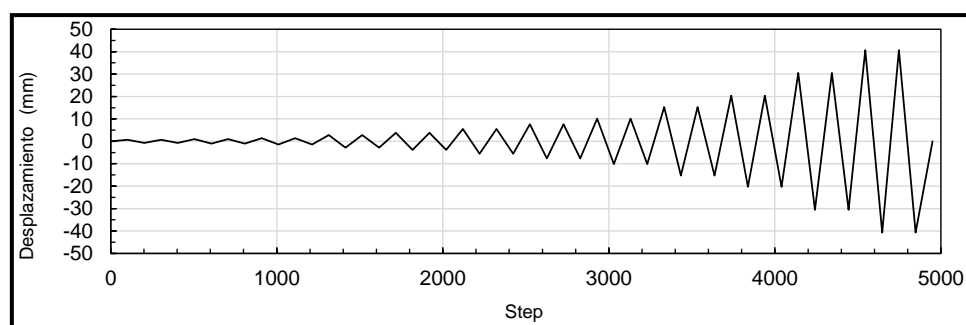




**Figura 3.42.** Sistema de instrumentación instalado.

Fuente: Propia

**PROTOCOLO DE DESPLAZAMIENTOS:** La carga horizontal es aplicada por medio de dos gatas hidráulicas, bajo el control de desplazamiento del monitor, acorde al protocolo de desplazamiento, mostrada. En la Figura 3.43, se muestra la representación del protocolo de desplazamiento objetivo durante el ensayo.



**Figura 3.43.** Protocolo de desplazamiento objetivo

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016). *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.

La Tabla 3.7 indica el desplazamiento objetivo para el control de desplazamiento por ciclo. Con la finalidad de tener una curva de histéresis más estable, la amplitud objetivo es aplicada en dos ciclos consecutivos. En la presente investigación, el ciclo donde se alcanza por primera vez el desplazamiento objetivo se denomina primer ciclo, mientras que a su repetición se denomina segundo ciclo.

**Tabla 3.7**

*Distorsiones objetivo para el control de desplazamiento por ciclo*

Ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Distorsión objetivo	1/4200	1/3000	1/2150	1/1100	1/800	1/550	1/400	1/300	1/200	1/150	1/100	1/75

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016) *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.

## Capítulo 4:

# RESULTADOS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS

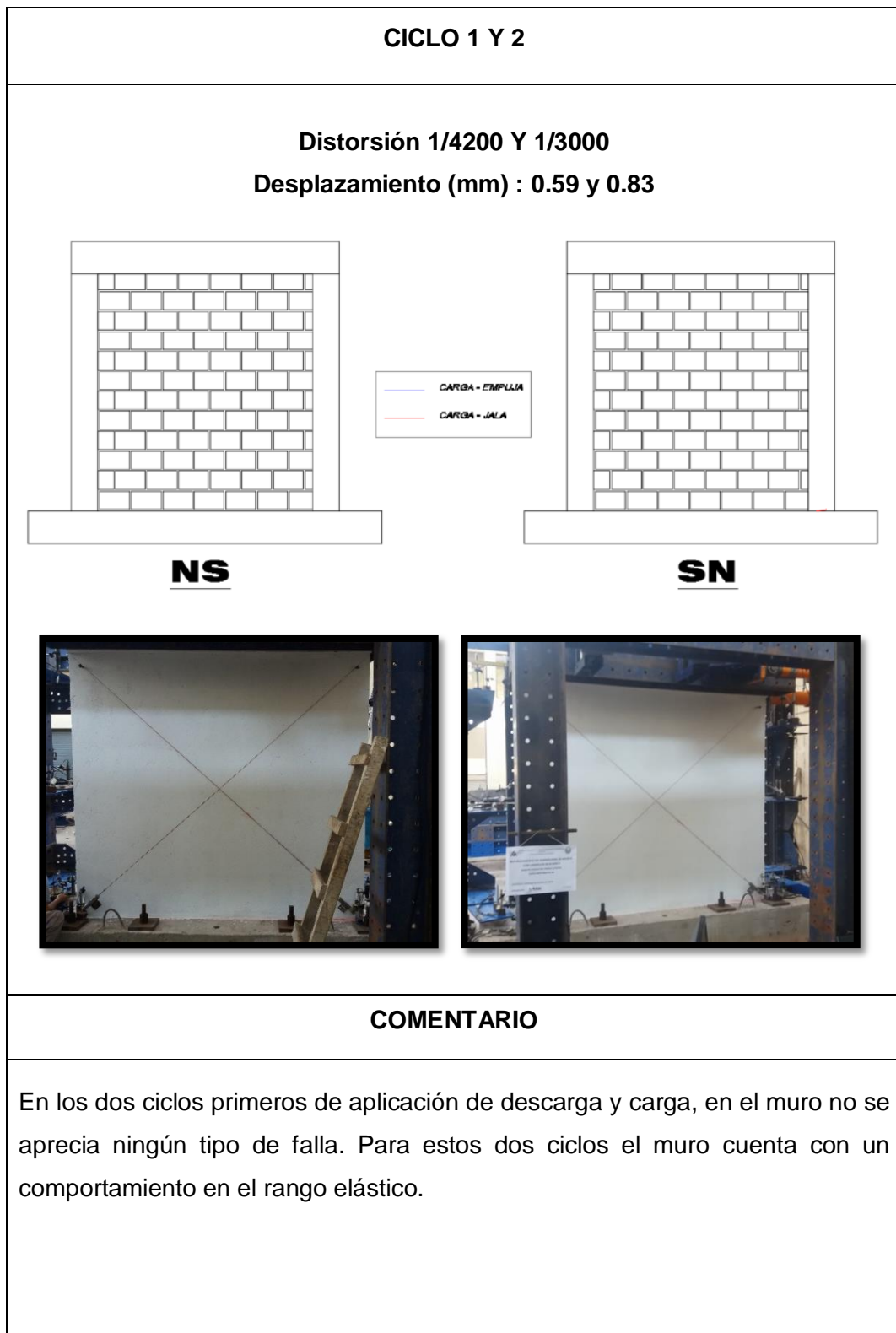
**Muro MBAT-3.** Este espécimen se ensayó hasta una distorsión que asegure una condición de reparación que ocurre a una distorsión de 1/550. Valor asumido de acuerdo a los resultados de los ensayos anteriores obtenidos de la tesis “LÍMITE DE REPARACIÓN DE 3 MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CONSTRUIDOS CON BLOCKER II”

**Muro MBATR-3:** De acuerdo al protocolo de desplazamiento, indicado en la tabla 3.7, se realizó el ensayo estático cíclico.

#### 4.1. RESULTADOS

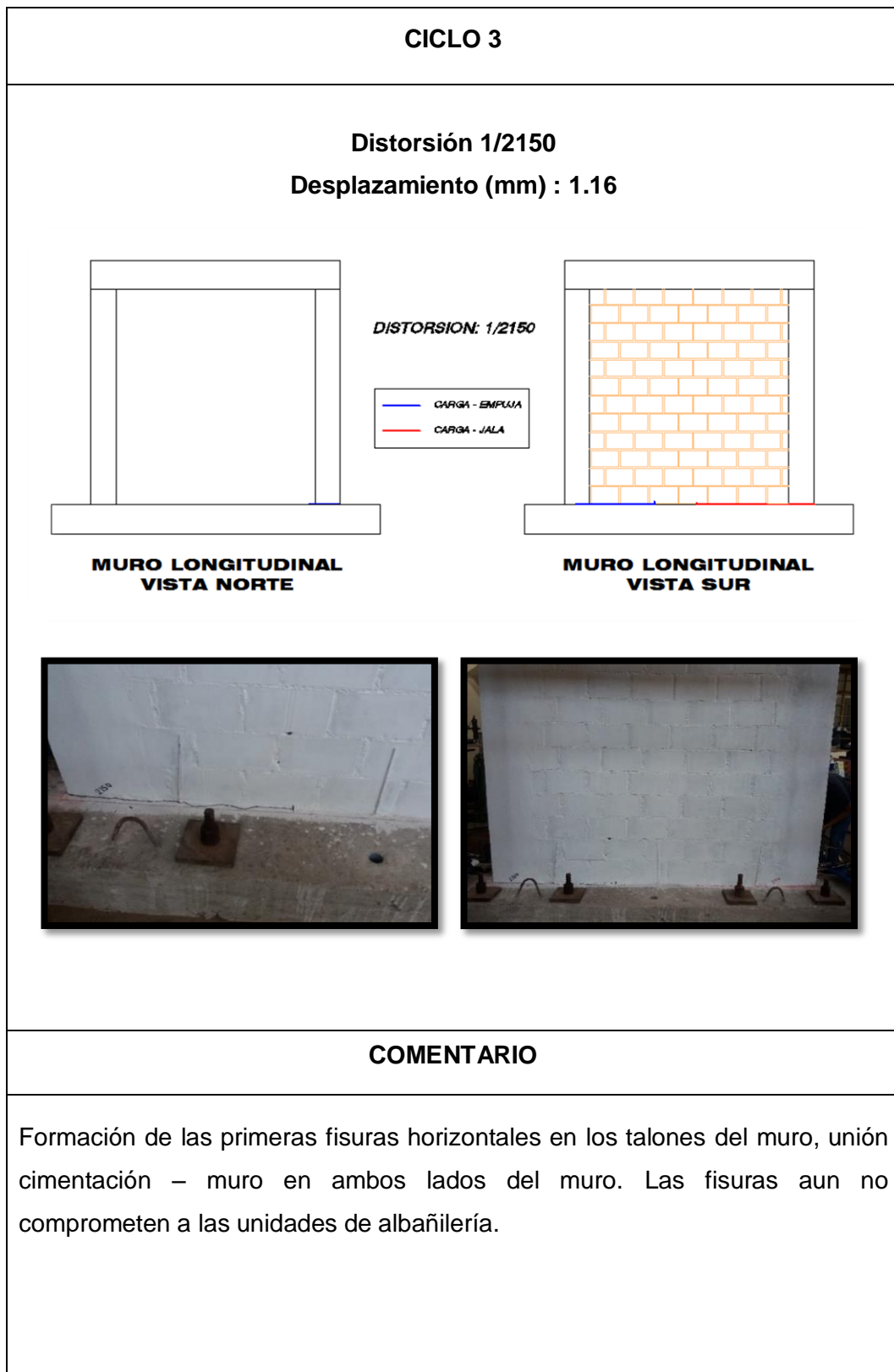
#### **4.1.1. ANÁLISIS GRÁFICO DE RESULTADOS**

A continuación, se muestra el Análisis Gráfico de Resultados del comportamiento del Muro MBATR-3 Según el Ciclo y su Distorsión.



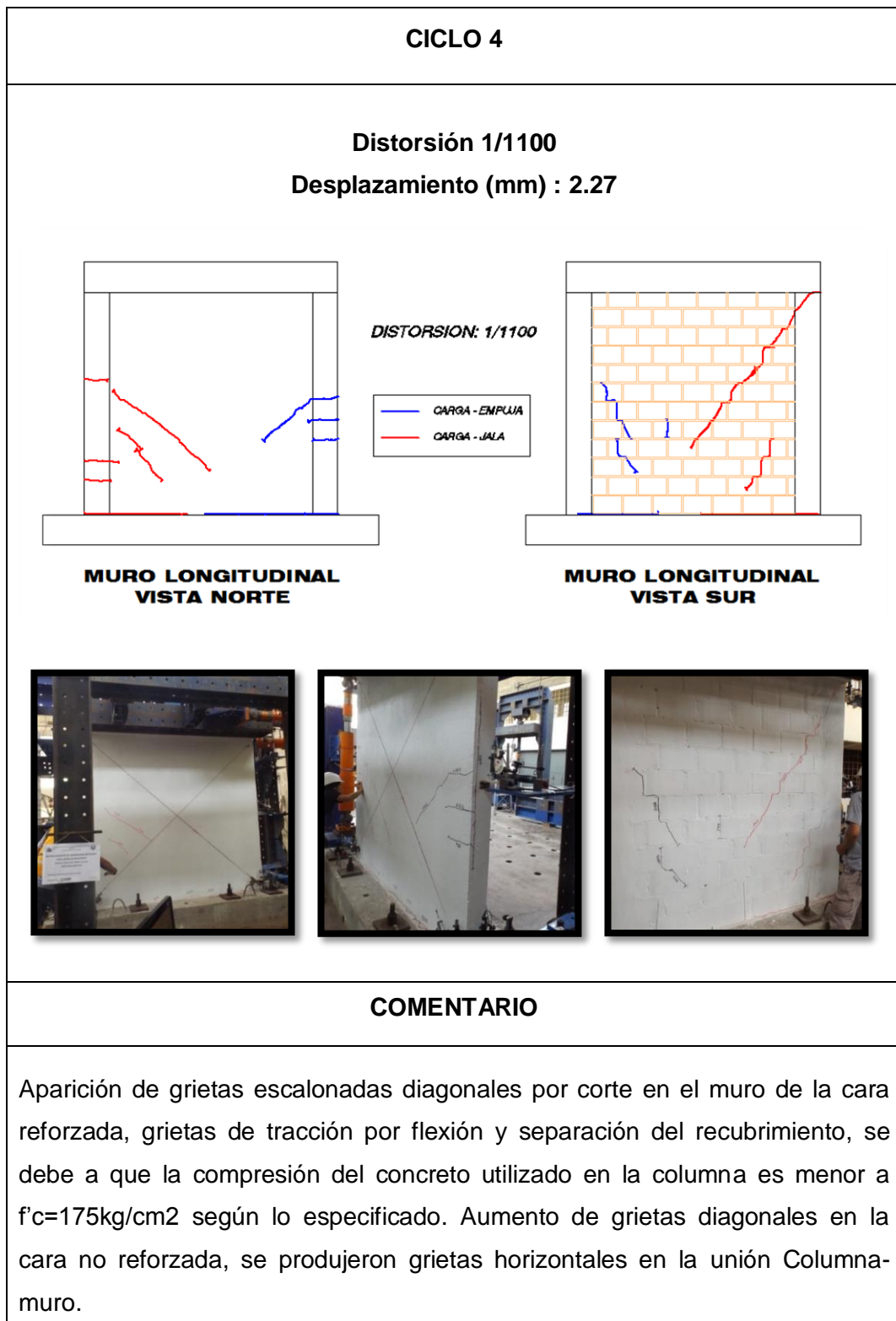
**Figura 4.1.** Comportamiento del ciclo 1 y 2 del muro

Fuente: Elaboración propia



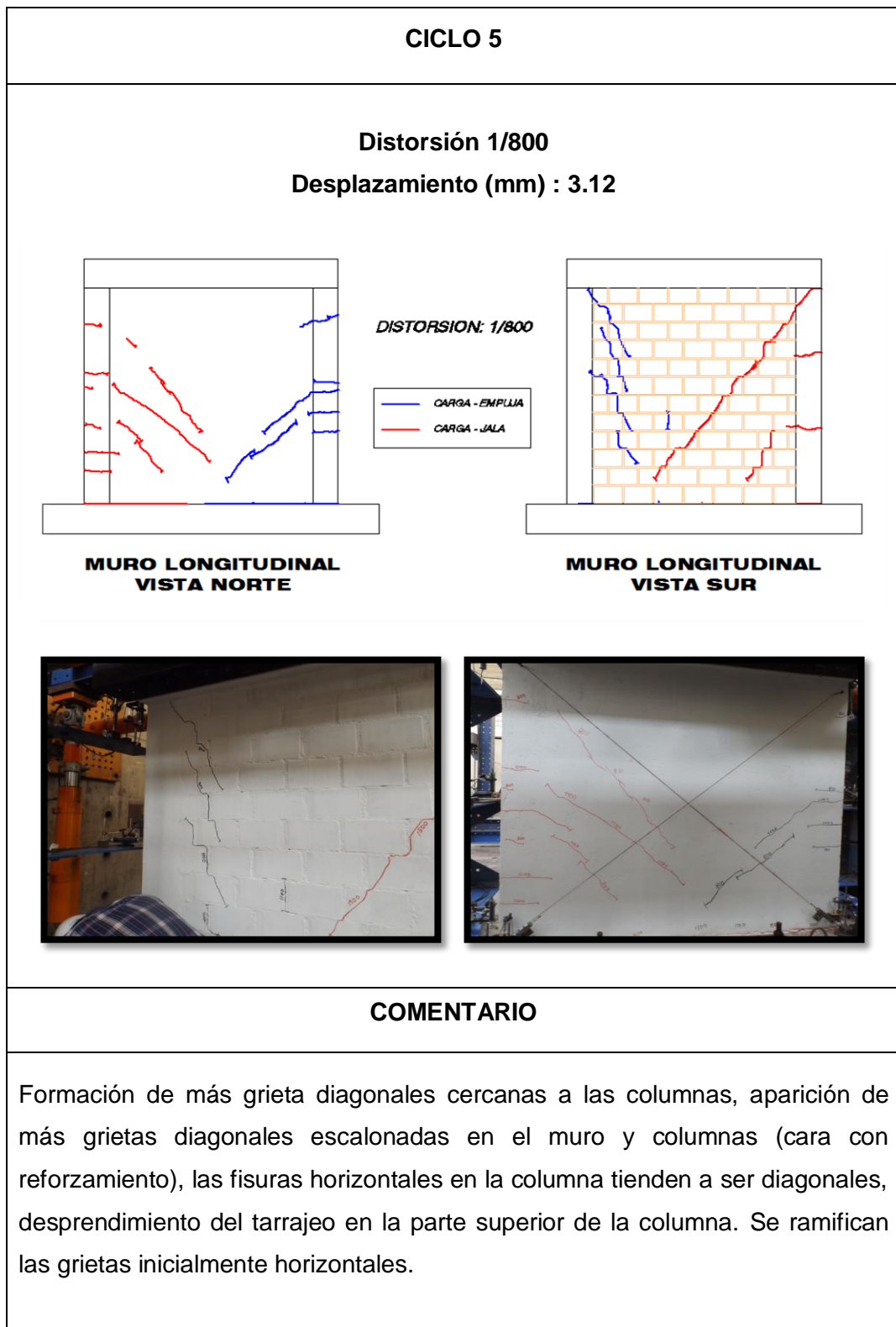
**Figura 4.2.** Comportamiento del muro para el ciclo 3

Fuente: Elaboración propia



**Figura 4.3.** Comportamiento del muro para el ciclo 4

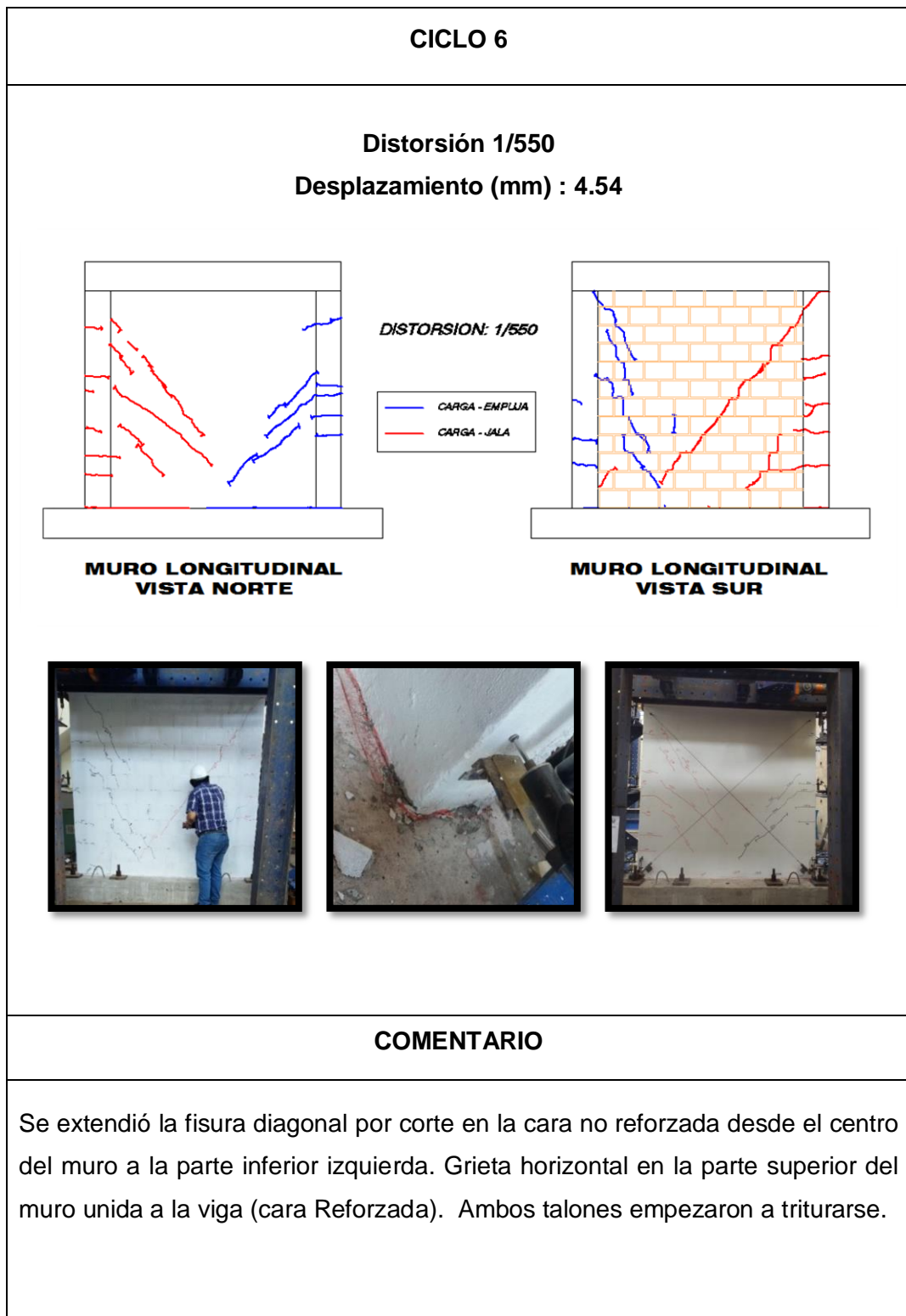
Fuente: Elaboración propia



**Figura 4.4.** Comportamiento del muro para el ciclo 5

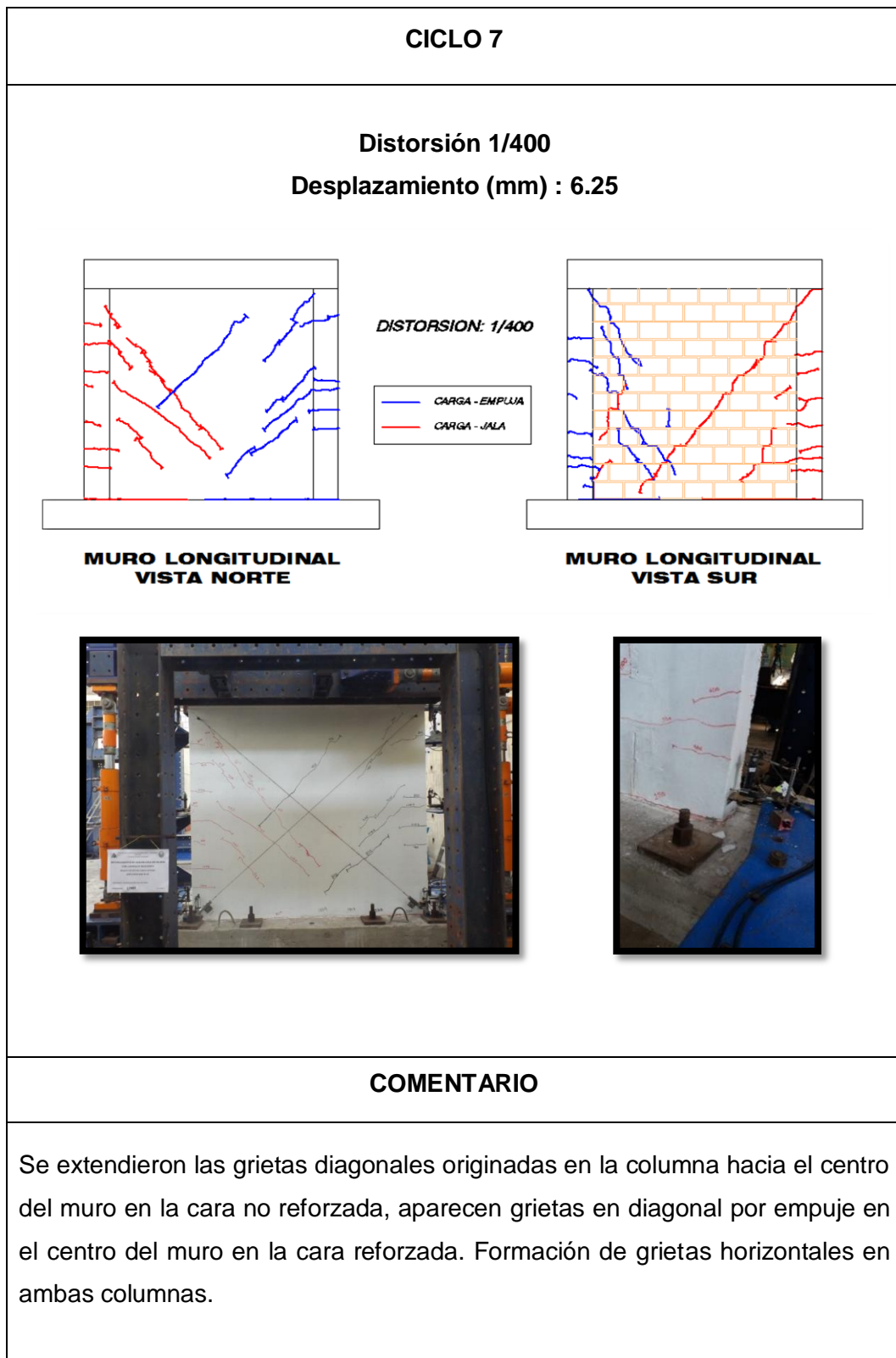
Fuente: Elaboración propia





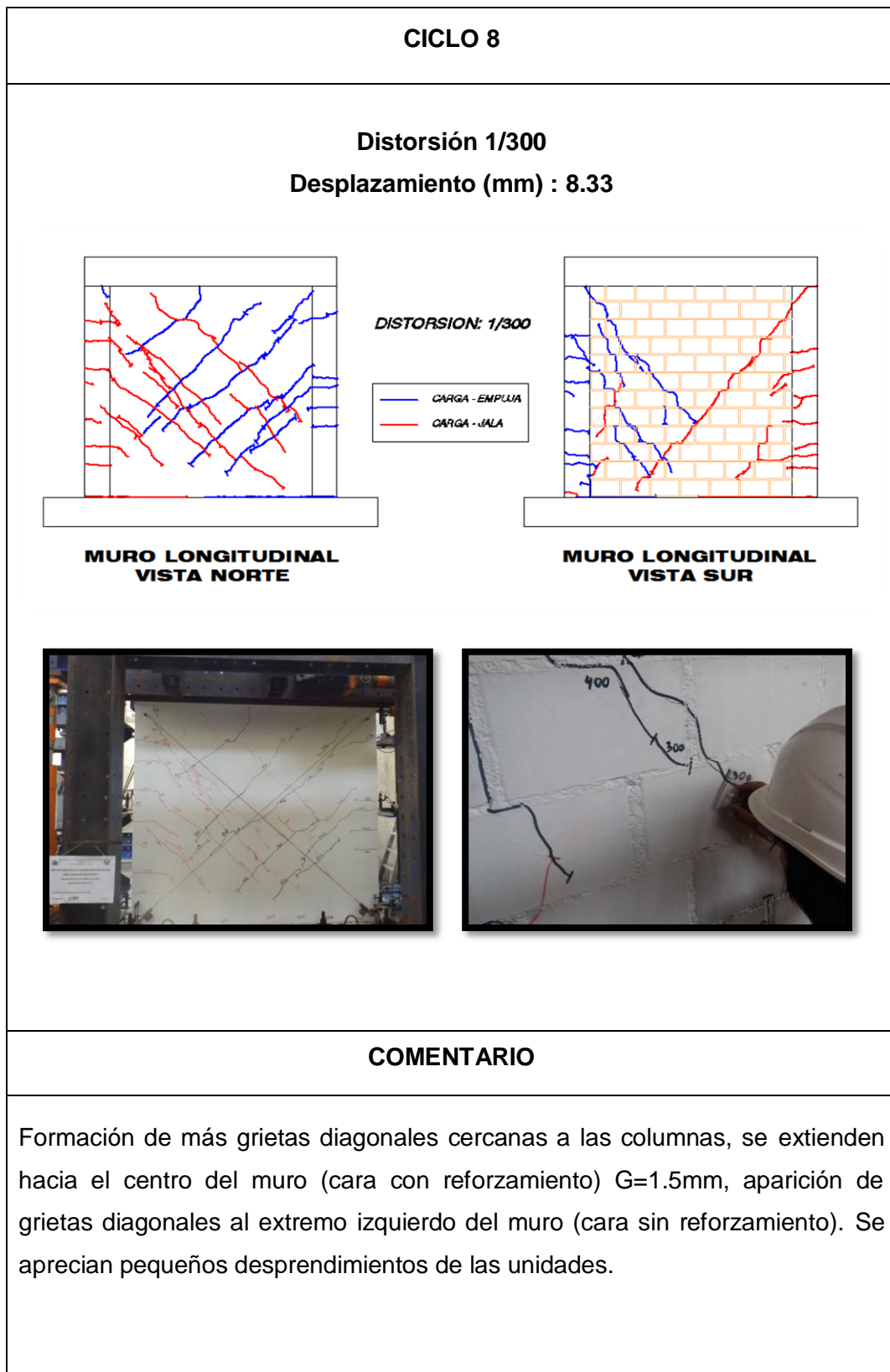
**Figura 4.5.** Comportamiento del muro para el ciclo 6

Fuente: Elaboración propia



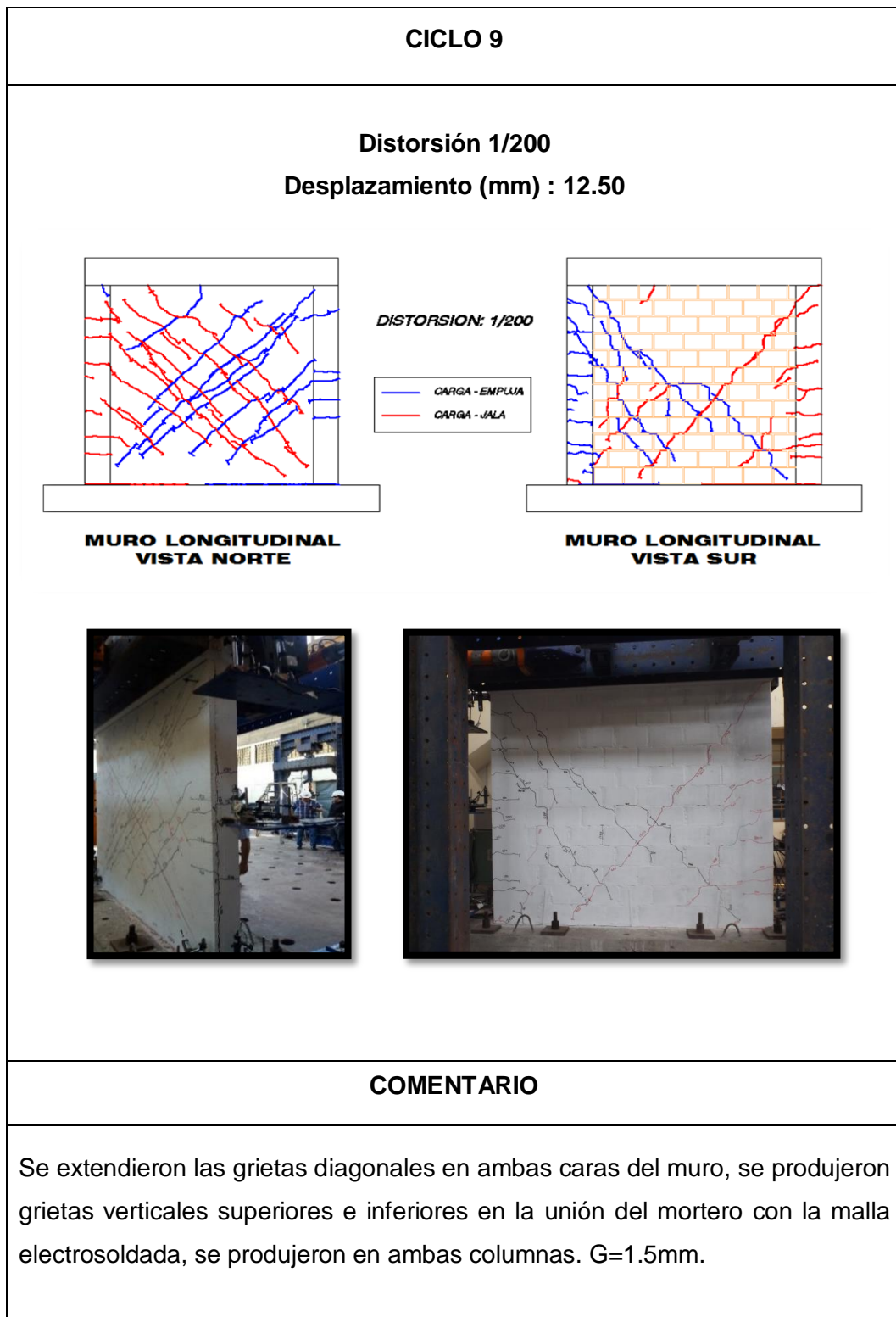
**Figura 4.6.** Comportamiento del muro para el ciclo 7

Fuente: Elaboración propia



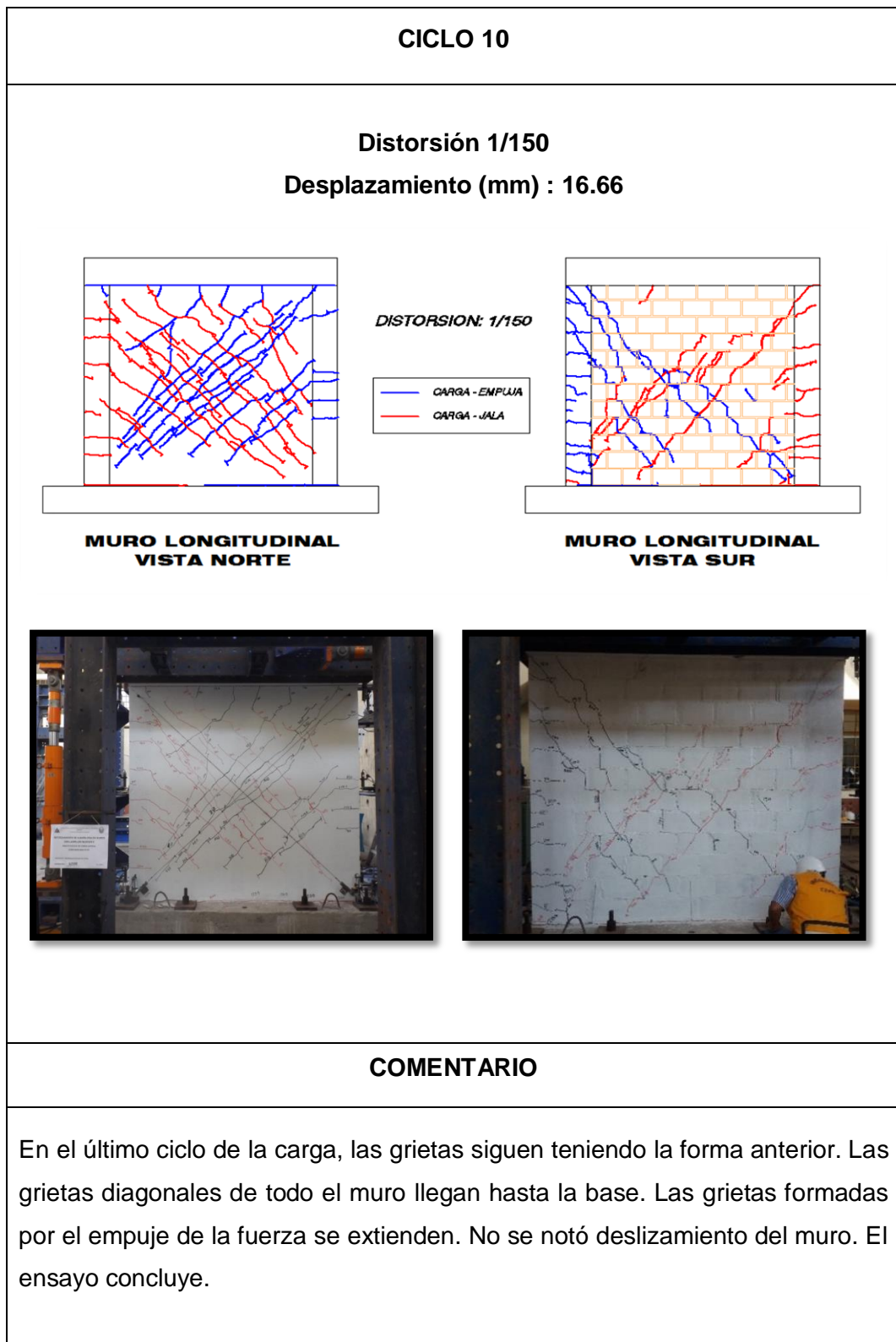
**Figura 4.7.** Comportamiento del muro para el ciclo 8

Fuente: Elaboración propia



**Figura 4.8.** Comportamiento del muro para el ciclo 9

Fuente: Elaboración propia

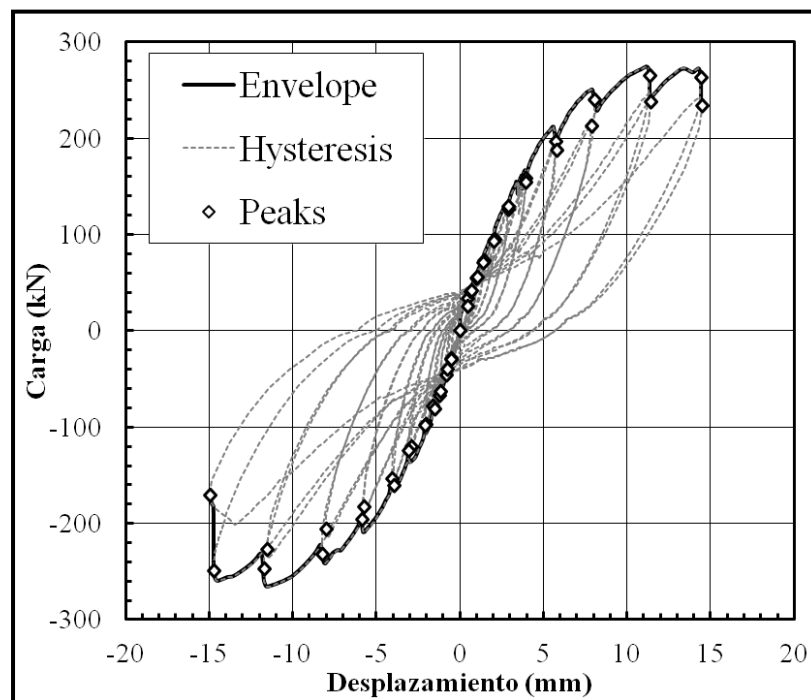


**Figura 4.9.** Comportamiento del muro para el ciclo 10

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2. CURVA HISTERÉTICA DEL ESPÉCIMEN MBATR-3

Conforme al protocolo de desplazamiento, indicado anteriormente, se realizó el ensayo estático cíclico. La figura 4.10, muestra la relación entre el desplazamiento y la carga aplicada, mediante la curva de histéresis, del espécimen MBATR-3.



**Figura 4.10.** Curva histerética del espécimen MBATR-3

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016) *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.

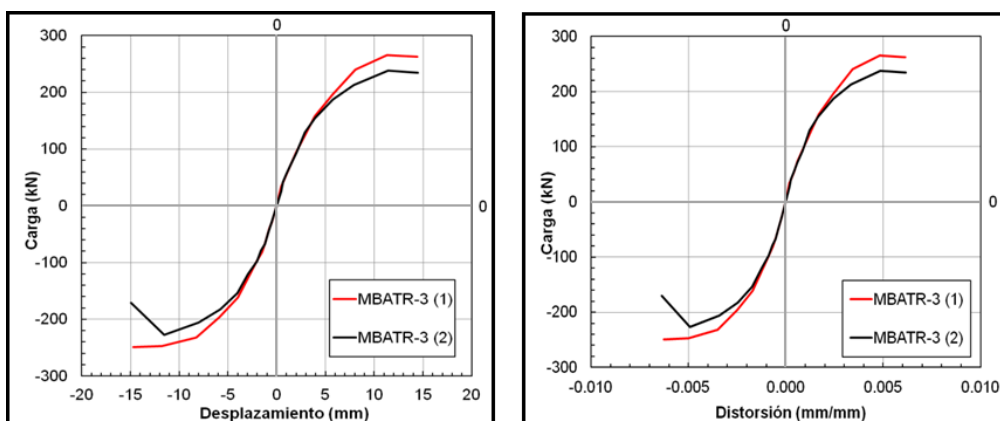
El espécimen MBATR-3 fue ensayado hasta su última condición (desplazamiento donde la carga sea menos que el 80% de la máxima carga aplicada).

De la figura 4.10 se observó que en la carga máxima alrededor de 260 kN, se tienen desplazamientos de 11.5 mm, en los rangos positivos, y en los rangos negativos se tienen que cerca de la carga máxima de 250 kN hay desplazamientos de 15mm.

Para cada fase de desplazamiento horizontal se aplican ciclos de carga y descarga hasta estabilizar el lazo histerético.

#### 4.1.3. CURVA DE CAPACIDAD DEL ESPÉCIMEN MBATR-3

En la figura 4.11 muestra vinculación en la amplitud para cada ciclo y la carga que corresponde del espécimen MBATR-3, se expresa en términos de desplazamiento y distorsión. La curva representa la capacidad del elemento.



**Figura 4.11.** Curva de capacidad del espécimen MBATR-3(1) y MBATR-3(2)

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016) *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.

Se tienen dos gráficos para cada curva de capacidad, siendo MBATR-3 (1), los valores de fuerza para la distorsión objetivo en la primera aplicación y MBATR-3 (2), los valores de fuerza para la distorsión objetivo en la segunda aplicación. Ambas curvas son semejantes (1) y (2), no presentan considerables variaciones.

La aplicación de carga para cada ciclo, se tiene la distorsión objetivo, teniendo en cuenta que la altura del muro es **2.20m**, es posible hallar desplazamientos.

$$\text{Distorsión} \times \text{Altura de entre piso (mm)} = \text{Desplazamiento (mm)}$$

Tabla 4.1

D

e

s

p

l

a

z

a

m

i

e

n

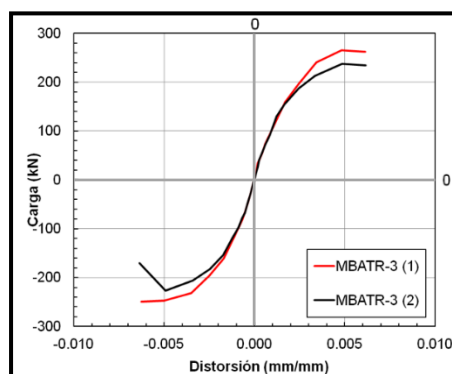
t

os para distorsiones objetivo, espécimen MBATR-3

Fuente: Elaboración propia

A comparación del espécimen MBAT-3 que alcanzó una distorsión 1/550 ó 0.0018 (límite de reparación), el espécimen MBATR-3 reparado y reforzado se ensayó hasta una distorsión de 1/150 y de acuerdo a estos resultados elevó su capacidad resistente y su rigidez lateral.

A continuación, con los valores de desplazamiento de la Figura 4.12 podemos calcular tabulando las cargas para cada desplazamiento y cada distorsión. Ver Tabla 4.2.





**Figura 4.12.** Curva de capacidad del espécimen MBATR-3(2)

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016) *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.

**Tabla 4.2**

*Valores de Fuerza para cada distorsione objetivo, espécimen MBATR-3*

<b>Ciclo</b>	<b>Distorsión</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Fuerza (KN)</b>	<b>Fuerza (ton)</b>	
1	1/4200	0.0002	0.52	35	3.569
2	1/3000	0.0003	0.73	45	4.589
3	1/2150	0.0005	1.02	60	6.118
4	1/1100	0.0009	2.00	96	9.789
5	1/800	0.0013	2.75	130	13.256
6	1/550	0.0018	4.00	145	14.786
7	1/400	0.0025	5.50	185	18.865
8	1/300	0.0033	7.33	190	19.375
9	1/200	0.0050	11.00	265	27.023
10	1/150	0.0067	14.67	260	26.513

Fuente: Elaboración propia

**4.2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS**

Anterior a este muro se ensayó 3 muros de albañilería sin reforzamiento en el cual el tercero se ensayó hasta un nivel donde se pueda reparar en otras palabras hasta una distorsión 1/550. El muro fue reforzado con malla electrosoldada en una sola cara para su posterior ensayo.

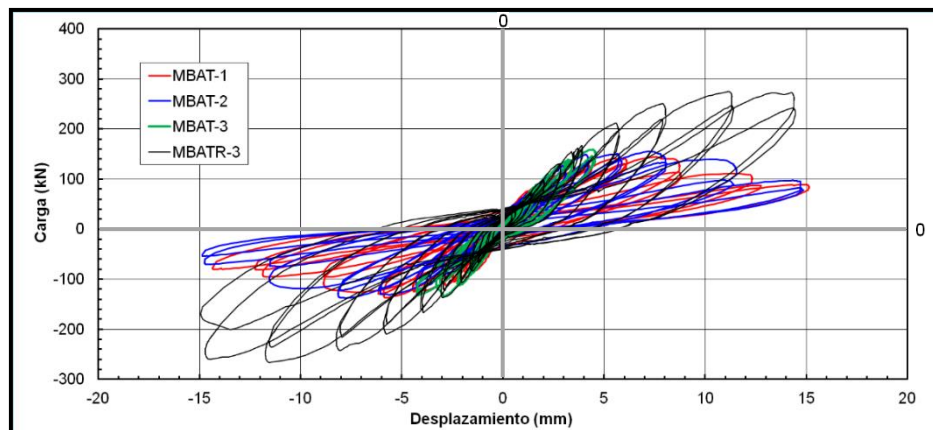
El presente informe muestra los resultados experimentales correspondientes al ensayo cíclico del muro reforzado MBATR-3 y la comparación del mismo con otros tres muros sin reforzamiento ambos de unidades de albañilería tipo blocker II obtenidos de los ensayos.

En este capítulo desarrollaremos la comparación entre los muros de albañilería sin reforzamiento y muros de albañilería con reforzamiento, aquí podremos ver de forma más analítica los resultados.

En estos ensayos no se aplicó carga vertical, la cual hubiese originado mayores daños sobre los muros, reduciendo su ductilidad.

#### 4.2.1. COMPARACIÓN DE CURVAS HISTERÉTICAS

La Figura 4.13 muestra la comparación de las curvas histeréticas de los tres especímenes ensayados.

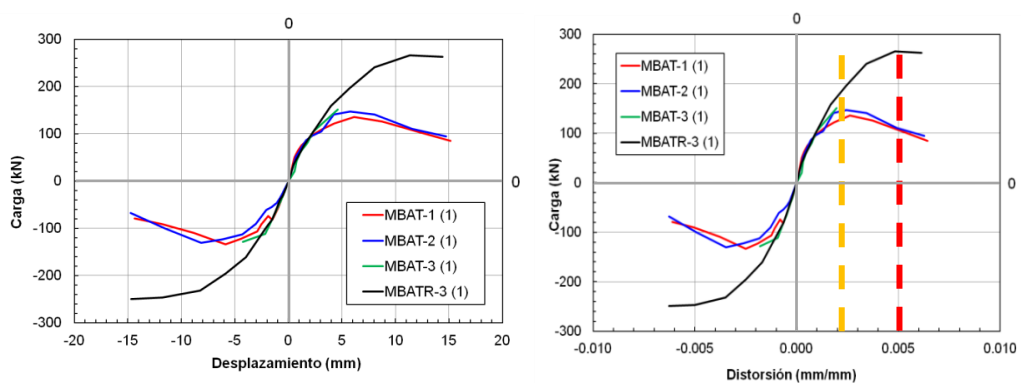


**Figura 4.13.** Comparación de las curvas histeréticas de los especímenes ensayados.

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016) *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.

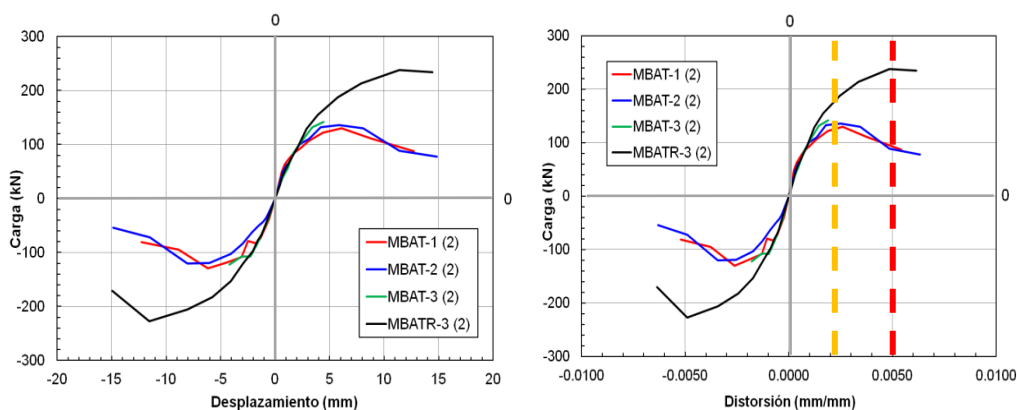
Observamos que el espécimen supero la capacidad máxima de los tres muros ensayados anteriormente, llegando a una carga máxima de 270 kN aproximadamente.

#### 4.2.2. COMPARACIÓN DE CURVAS DE CAPACIDAD



**Figura 4.14.** Comparación de la curva de capacidad de los especímenes ensayados para la primera aplicación de la distorsión objetivo (0.005)

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016) *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.



**Figura 4.15.** Comparación de la curva de capacidad de los especímenes ensayados para la segunda aplicación (repetición) de la distorsión objetivo (0.005).

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016) *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.

Haciendo la comparación de resultados del Tercer espécimen con reforzamiento y sin reforzamiento, observamos que el espécimen MBATR-3 tiene mayor capacidad resistente a mayor distorsión y/o desplazamiento que el espécimen MBAT-3.

Los valores de la fuerza aplicada para cada distorsión, se muestran en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3**

*Comparación de valores de fuerza para distorsiones objetivo del tercer espécimen reforzado.*

Ciclo MBAT-3	Ciclo MBATR-3	Distorsión	Desplazamiento (mm)	MBAT-3	MBATR-3
				Fuerza (kN)	Fuerza (kN)
1	1	0.0002	0.52	20	35
2	2	0.0003	0.73	41	45
3	3	0.0005	1.02	51	60
4	-	0.0007	1.47	75	-
5	4	0.0009	2.00	93	93
6	5	0.0013	2.75	114	130
7	6	0.0018	4.00	138	145
-	7	0.0025	5.50	-	185
-	8	0.0033	7.33	-	190
-	9	0.0050	11.00	-	265
-	10	0.0067	14.67	-	260

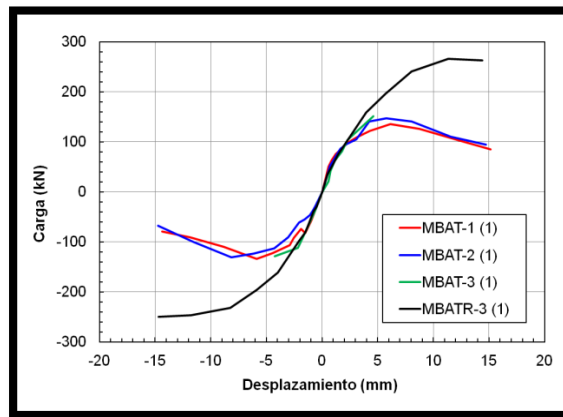
Fuente: Elaboración propia

De la tabla 4.3 se puede visualizar que de acuerdo al protocolo de desplazamiento el espécimen MBAT-3 realizó 7 ciclos llegando a una distorsión 1/550 (0.0018-límite de reparación), por otro lado, el espécimen MBATR-3 realizó 10 ciclos, sin embargo, se despreció la distorsión 1/1500 ya que los valores obtenidos eran aproximados a la distorsión anterior.

Como vemos el muro reparado y reforzado (MBATR-3) obtiene mayor capacidad resistente hasta la distorsión 1/1100 (0.0009), que se igualan las capacidades al igual que los tres especímenes ensayados en la tesis "*Ensayo de Carga Cíclica de Tres Muros a Escala Natural con Especímenes de Albañilería Blocker II*". Los valores de la capacidad de MBATR-3 son referenciales basándonos en las proyecciones de la comparación de curvas de capacidad.

A partir de la distorsión 0.0013 las capacidades resistentes y rigidez lateral del muro MBATR-3 siguen aumentando. El muro MBAT-3 es ensayado hasta un ciclo anterior, para poder visualizar el límite de reparación con exactitud. Así mismo se pudo haber asumido según las curvas de capacidad que el límite de reparación se da a una distorsión de 0.0025, por ser la distorsión donde se tiene mayor capacidad de resistencia, pero físicamente los especímenes estaban siendo ya muy dañados y presentaban fallas por tracción diagonal considerables; es por ello que se toma un valor anterior,

que es el de 0.0018, valor conservador, donde los muros ya han sufrido daños, pero visualmente aún quedan reparables.

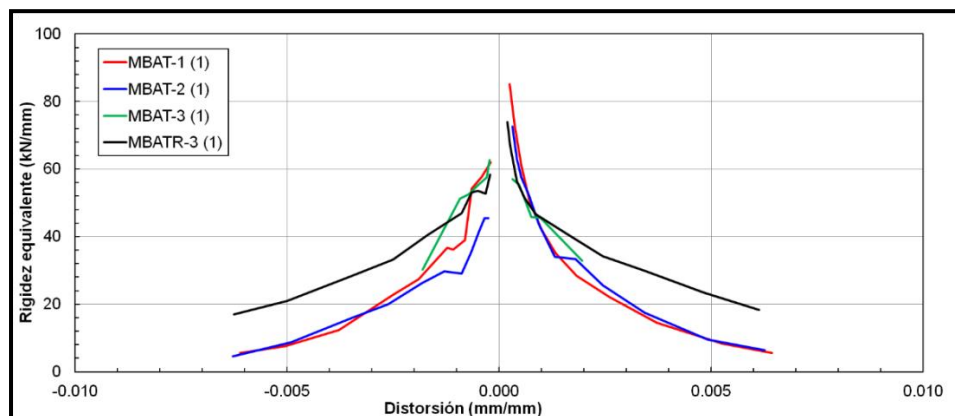


**Figura 4.16.** Estado de agrietamiento final del muro para una distorsión 1/150.

Fuente: Propia

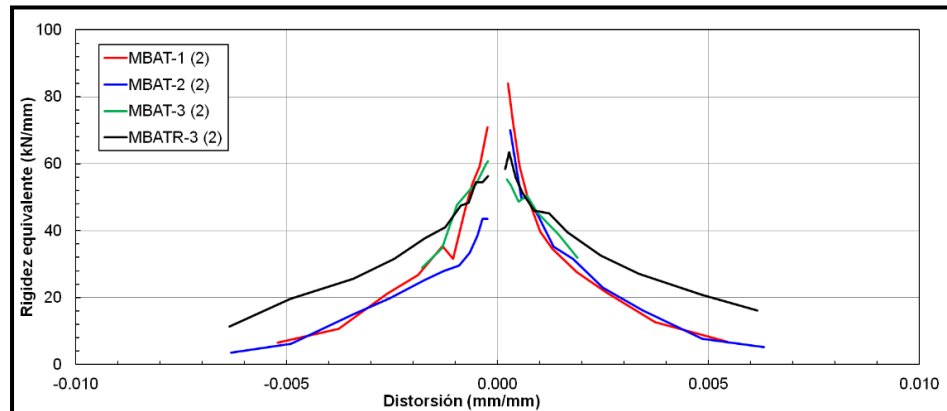
#### 4.2.3. COMPARACIÓN DE DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ

La Figura 4.17 y Figura 4.18 muestran la relación de la rigidez equivalente y distorsión máxima alcanzada en cada ciclo histerético para la primera (1) y segunda (2) aplicación de la distorsión objetivo señaladas en el protocolo de desplazamiento.



**Figura 4.17.** Comparación de degradación de la rigidez equivalente de los especímenes ensayados para la primera aplicación de la distorsión objetivo.

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016) *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.



**Figura 4.18.** Comparación de degradación de la rigidez equivalente de los especímenes ensayados para la segunda aplicación de la distorsión objetivo.

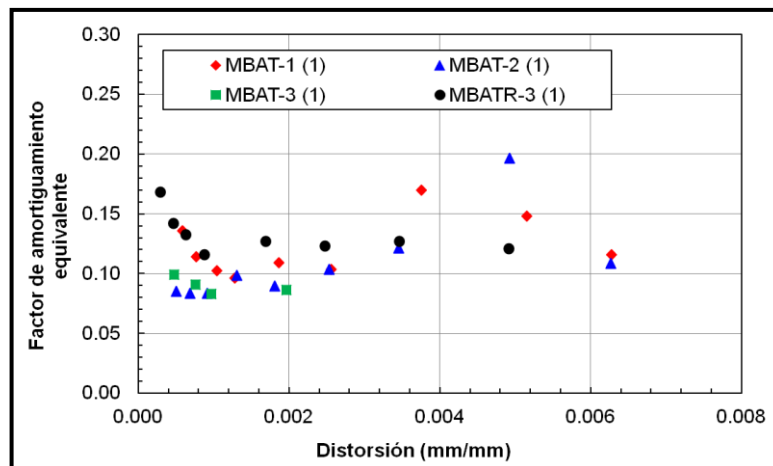
Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016) *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.

Como se observa en las figuras 4.17 y figura 4.18 el espécimen MBATR-3 obtiene menor degradación de rigidez con respecto a los desplazamientos dados, como teníamos pensado en un inicio el reforzamiento del muro con malla electrosoldada de 6 mm. con cocada de 15 cm. en solo una cara aportó mayor rigidez al espécimen MBAT-3 el cual ya estaba dañado.

Los resultados del espécimen MBATR-3 supero sus capacidades resistentes y amortiguo la degradación de rigidez superando el límite de reparación y demás resultados del espécimen MBAT-3.

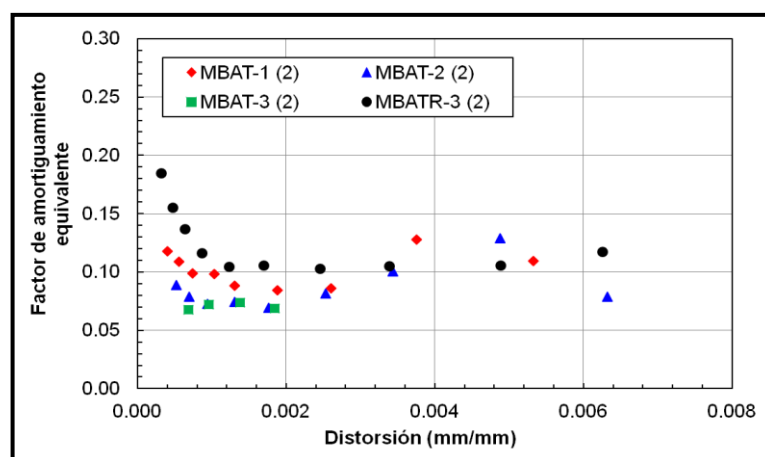
#### 4.2.4. COMPARACIÓN DE AMORTIGUAMIENTO HISTERÉTICO

La Figura 4.19 y la Figura 4.20 muestran la relación del factor de amortiguamiento y distorsión alcanzada en cada ciclo histerético para la primera (1) y segunda (2) aplicación de la distorsión objetivo señaladas en el protocolo de desplazamiento.



**Figura 4.19.** Comparación del factor de amortiguamiento de los especímenes ensayados para la primera aplicación de la distorsión objetivo.

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016) *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.



**Figura 4.20.** Comparación del factor de amortiguamiento de los especímenes ensayados para la segunda aplicación (repetición) de la distorsión objetivo.

Fuente: Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016) *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.

El factor de amortiguamiento equivalente es más estable durante los ciclos donde la distorsión objetivo es repetida (2). Es por ello, que se considera como niveles de resistencias las cargas máximas obtenidas en la repetición de la distorsión objetivo.

# **Capítulo 5: DISCUSIÓN**



## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN

Como hipótesis general, se ha considerado la siguiente:

**“La Técnica de Reforzamiento con Malla electrosoldada incrementará las capacidades resistentes y cumplirá con los Parámetros de rigidez en un muro de Albañilería Portante.”.**

Al respecto debemos mencionar lo siguiente:

- Con la finalidad de determinar el verdadero comportamiento de un muro de albañilería confinada construido con Blocker II reparado y reforzado con malla electrosoldada es necesario realizar el ensayo cíclico de carga lateral. En la actualidad existen una serie de ensayos de muros hechos con Blocker II que nos permiten determinar sus diferentes capacidades de resistencia y rigidez.
- Casi en su totalidad en la ciudad de Tacna se emplea la unidad de albañilería Blocker II sin ningún criterio estructural por falta de asesoramiento, sin saber que dicha unidad de albañilería no se recomienda para muros portantes según sus características físicas, esto origina los distintos tipos de fallas frente a un evento sísmico considerable.
- Durante nuestra investigación hemos podido observar que existen tesis realizadas por alumnos de la Universidad Privada de Tacna donde se investigaron diferentes proyectos referidos a la construcción de viviendas informales con unidades Blocker II que nos ayudaron a comprender y analizar parámetros obtenidos de estas.
- En la tesis “Límite de reparación de 3 muros de albañilería confinada construidos con blocker II” se determinó hasta qué punto un muro de albañilería confinada que sufrió daños, puede ser reparado. Del cual partimos para comprobar si nuestro espécimen denominado MBATR-3 al ser reparado y reforzado, puede recuperar o en el mejor de los casos

superar sus propiedades resistentes siempre y cuando esté dentro de una distorsión de 0.0018 mm. En nuestra investigación se encamisó el muro dañado con malla electrosoldada en una sola cara cumpliéndose así satisfactoriamente el reforzamiento del muro y superando todas nuestras expectativas.

- Sin embargo, cabe recalcar que esta es una medida de emergencia frente a una eventualidad sísmica, no intentamos popularizar el uso del blocker II para muros de albañilería confinada que estén sometidos a esfuerzos portantes ya que es solo una unidad para tabiquería.

Como hipótesis 1, se ha considerado la siguiente:

**“El Muro de Albañilería Confinada construido con Blocker II al ser Sometido a cargas cíclicas nos dará a Conocer sus Propiedades Resistentes”.**

Al respecto debemos mencionar lo siguiente:

- De la tesis “límite de reparación de 3 muros de albañilería confinada construidos con Blocker II”, Donde se ensayaron 3 muros entre ellos nuestro espécimen MBAT-3 que posteriormente fue reparado y reforzado para nuestra investigación, podemos determinar que las curvas de capacidad ( fuerza-desplazamiento ) son finas y pasan por el origen del sistema de referencia, esto es usual en sistemas que disipan poca energía y degradan rigidez lateral, obteniendo del ensayo una carga máxima de 138KN aproximadamente, con un desplazamiento de 4mm, donde el espécimen entro en rango inelástico y fue perdiendo rigidez lateral.
- Se comparó los resultados obtenido en los especímenes MBAT-1 y MBAT-2, los cuales se llevaron hasta su condición ultima (desplazamientos donde la carga es menor que el 80% de la carga máxima aplicada) con nuestro muro, el espécimen MBAT-3. Obteniéndose así la deriva máxima de 0.0018mm/mm a una distorsión 1/550 que es básicamente el límite de reparación de un muro de albañilería confinada construida con unidades Blocker II, determinando así sus propiedades resistentes.

Como hipótesis 2, se ha considerado la siguiente:

**“El Muro de Albañilería Confinada construido con Blocker II al Ser Reparado y Reforzado Sometido a cargas cíclicas nos dará a Conocer sus Propiedades Resistentes.”**

- Al analizar el comportamiento del muro construido con unidades Blocker II reparado y reforzado con malla electrosoldada (MBATR-3) sometido al ensayo de carga lateral cíclica, el espécimen supera la distorsión límite de 1/550 que se da en un muro de albañilería confinada sin reforzamiento, como vemos las propiedades del espécimen elevaron considerablemente su capacidad resistente y su rigidez.
- El valor de desplazamiento para distorsiones objetivo (1/150 o 0.0067) del espécimen MBATR-3 fue 14.67 a 260KN, a este ensayo no se aplicó carga vertical ya que hubiese originado mayores daños sobre los muros, reduciendo su ductilidad.

Como hipótesis 3, se han considerado la siguiente:

**“Se hará una comparación de las capacidades de Resistencia y Rigidez de un muro de Albañilería Confinada basándonos en los Límites Dispuestos en la Norma Técnica E.070.”**

- En la tesis “Límite de reparación de 3 muros de albañilería confinada construidos con blocker II”. Se concluyó que la deriva máxima de un muro construido con Blocker II sometido al ensayo de carga lateral cíclica, se da en una distorsión de 1/550 o 0.0018 mm/mm, para desplazamientos de 4 mm. Los parámetros establecidos para estructuras de albañilería confinada establecidas por la Norma E.030 “Diseño Sismoresistente”, son para estructuras construidas con unidades de albañilería sólida Norma E.070 “Albañilería”, soportando un promedio de 86 kN
- Para un muro reforzado en una sola cara con malla electrosoldada ¼” MBATR-3 se obtiene una carga promedio de 252 kN en una distorsión de

1/200. De acuerdo a la máxima carga, un muro reforzado en una cara resiste hasta un 45% más que los muros sin reforzamientos.

- El muro MBATR-3 Está construido con Blocker II (unidad hueca) y reforzado con malla electrosoldada de  $\frac{1}{4}$ ", Según los ensayos realizados en el CISMID obtiene capacidades resistentes superiores a los establecidos en la norma E. 030 "Diseño sísmoresistente" y E. 070 "Albañilería".
- Si comparamos la resistencia del espécimen MBATR-3 con el MBAT-3 en la distorsión 0.0018 en la que MBAT-3 llega a su límite de reparación al soportar 138KN notamos la mejora de la técnica de reforzamiento con malla electrosoldada al incrementar la resistencia a 145KN, notablemente considerado.



## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados del ensayo se verificó la efectividad de la técnica de reparación y reforzamiento de un Muro construido con Blocker II, utilizando una malla electrosoldada de 6mm al incrementar satisfactoriamente hasta en un 45% la capacidad de resistencia y rigidez del muro sometido a carga máxima, Con esta investigación demostramos que dicho muro, luego de ser afectado por un evento sísmico y presentar ciertos daños, puede ser reparado y reforzado, con la condición que las fallas estén dentro del límite de reparación a una distorsión de 1/550 o (0.0018). Esta práctica recupera y mejora sus capacidades resistentes, de rigidez y de amortiguamiento.

Se concluye que la deriva máxima de un muro construido con Blocker II sometido al ensayo de carga lateral cíclica, es dado a una distorsión de 1/550 o 0.0018 mm/mm, para desplazamientos de 4 mm. El espécimen MBAT-3 se ensayó hasta su límite de reparación en el ciclo 7, con una fuerza de 138KN. Deduciendo que MBAT-3 tiene mayor capacidad resistente a mayor distorsión y/o desplazamiento.

De acuerdo a los resultados el muro construido con Blocker II que fue reparado y reforzado con malla electrosoldada de 6mm (MBATR-3), se ensayó hasta la distorsión de 1/150 o 0.0067 mm/mm para desplazamientos de 14.67mm; esto indica que elevó satisfactoriamente su capacidad resistente y la rigidez lateral presentando un comportamiento elástico en el primer ciclo, por otro lado el factor de amortiguamiento equivalente es más estable durante los ciclos donde la distorsión objetivo es repetida (2). Es por ello, que se considera como niveles de resistencias las cargas máximas obtenidas en la repetición de la distorsión objetivo.

El espécimen MBATR-3 se ensayó hasta su última condición (desplazamientos donde la carga sea menor que el 80% de la carga máxima aplicada). La carga máxima promedio para muros sin reforzamiento es de 140 kN (0.43 N/mm<sup>2</sup>), que sucede a un nivel de distorsión de 0.0025 (1/400) y para un muro reforzado con malla electrosoldada de 6 mm. con cocada de 15cm. la

fuerza que resiste es de 252 kN (0.65 N/mm<sup>2</sup>), que sucede a un nivel de distorsión de 0.005 (1/200) aproximadamente, superando todas las capacidades obtenidas con los especímenes MBAT-1, MBAT-2 y MBAT-3.

Debemos de tener en cuenta que el comportamiento del muro reforzado es similar a los muros sin reforzar hasta una distorsión 1/1000. Sin embargo, esta resistencia se incrementará en el muro reforzado con malla electrosoldada a un nivel de distorsión de 1/200 (0.005).

## RECOMENDACIONES

### PRIMERA RECOMENDACIÓN

Se recomienda realizar otro ensayo cíclico de carga lateral a un construido con Blocker II encamisando ambas caras con malla electrosoldada y analizando las curvas de Histéresis y capacidad para entender su desempeño frente a sus capacidades resistentes de rigidez y amortiguamiento.

### SEGUNDA RECOMENDACIÓN

Se recomienda a los pobladores de la ciudad de Tacna contratar mano de obra calificada para la construcción de sus viviendas o diversas edificaciones informales, ya que el mal asesoramiento de utilizar la unidad de albañilería blocker II en un muro portante a la hora de una eventualidad sísmica puede traer considerables daños según la magnitud del sismo. Es recomendable utilizar una unidad de albañilería con un porcentaje de huecos no mayor al (>30%)

### TERCERA RECOMENDACIÓN

Sugerir a las autoridades competentes supervisar las viviendas en construcción donde se hace un mal uso de la unidad de albañilería Blocker II, así mismo compartir esta información y técnica de reforzamiento para preparar a la población en caso de un evento sísmico perjudicial para viviendas construidas con Blocker II, ya que esta es la primera vez que se comprueba en un laboratorio la eficacia de la reparación y reforzamiento de un muro construido con estas unidades.

### CUARTA RECOMENDACIÓN

Se recomienda seguir estudiando el reforzamiento de muros construidos con Blocker II, para seguir evaluando su comportamiento y su factibilidad económica y reducir la vulnerabilidad sísmica de la mayoría de viviendas construidas con blocker II de la ciudad de Tacna.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Libros:

Alfárez, K. y Quinto, D. (2005). *Reforzamiento estructural de muros de albañilería de bloques artesanales de concreto PUCP.*

De la Torre, O. y Miranda, E. (2003). *Edificaciones de mampostería para vivienda. Fundación ICA, A.C.*

Medrano, A. y San Bartolomé. (2010). *Construcciones de Albañilería. PUCP.*

Páez, M.; Parra, R. y Montaña C. (2009). *Alternativa estructural de refuerzo horizontal en muros de Mampostería. Revista Ingenierías Universidad de Medellín.*

Pérez, J. y Manzano, A. (2013) *Efecto del momento flexionante en la fuerza cortante que produce el agrietamiento por tensión diagonal en muros de mampostería confinada. Revista de Ingeniería sísmica.*

Vásquez, K. y Manzano, A. (2012) *Muro de corte o Placas. Repositorio académico UNI*

Reglamento Nacional de Edificaciones (2016): *Norma Técnica E.030 "Diseño Sismoresistente", Lima, Perú.*

Reglamento Nacional de Edificaciones (2006). *Norma Técnica E.070 "Diseño Sismoresistente". Lima, Perú.*

San Bartolomé, A., Barr, K. y Pineda, C. (2011). *Control de la trituración de los ladrillos huecos mediante malla de refuerzo en muros de albañilería confinada sujetos a carga lateral cíclica. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.*

San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva, D. (2011). *Diseño y Construcción de Estructuras Sismoresistente de Albañilería*. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.

Zúñiga, O. Terán, A. (2008). *Evaluación basada en desplazamientos de edificaciones de mampostería confinada*. Universidad Autónoma Metropolitana

**Tesis:**

Ángles, P. (2008). *Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Calderon, L. y Maque, M. (2017). *Límite de reparación de 3 muros de albañilería confinada construida con blocker II*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Conde, D. y Chambí, R. (2017). *Ensayo a carga lateral cíclica lateral de un muro de albañilería confinada construida con Blocker II*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Cotrado, D. y Acero, J. (2016). *Propuesta de fórmula para la determinación de la densidad de muros construidos con Blocker II*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.

Iparraguirre, Y. (2014). *Comportamiento sísmico de muros de Albañilería confinada tipo Haití, ensayo de carga lateral y vertical*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Zavala, C., Díaz, M. y Escalante, D. (2016). *Ensayo de carga cíclica de tres muros a escala natural. Especímenes de albañilería blocker II*. Universidad Nacional de Ingeniería, CISMID, Lima.

**Páginas web:**

CISMID (2018). *Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres*. Recuperado de: <http://www.cismid.uni.edu.pe/>

PRODAC (2017). *Malla electrosoldada. tecnología en soluciones avanzadas basadas en la transformación y recubrimiento del alambre de acero*. Recuperado de: <https://prodac.bekaert.com>

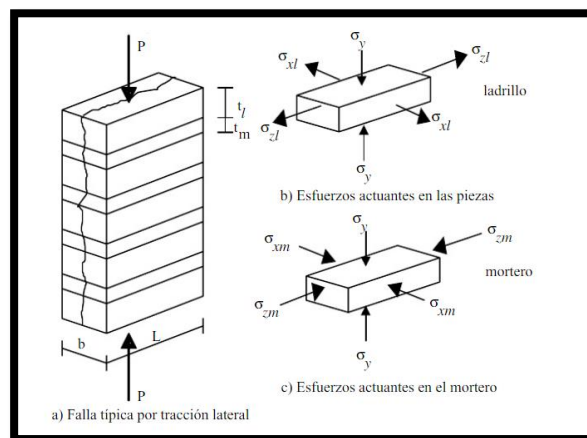
# **ANEXOS**

## BASES TEORICAS

### COMPORTAMIENTO DE LA ALBAÑILERÍA BAJO RESISTENCIA A COMPRESIÓN (De la Torre, O y Miranda, E. 2003)

El ensayo de pila o prisma se utiliza para obtener un índice de resistencia a compresión en unidades de albañilería y para estudiar la relación esfuerzo-deformación. Consiste en construir pilas de 3 a 5 piezas sobrepuestas.

El comportamiento y los modos de falla de la mampostería ante cargas axiales dependen en forma importante de la interacción de piezas y mortero; ésta puede interpretarse en la forma siguiente: las piezas y el mortero tienen características esfuerzo-deformación diferentes; por tanto, al ser sometidos a un mismo esfuerzo se produce una interacción entre ambos que consiste en que el material menos deformable, restringe las deformaciones transversales del material más deformable, introduciendo en él esfuerzos de compresión de dirección transversal (Figura 1). Por lo contrario, en el material menos deformable se introducen esfuerzos transversales de tensión (Figura 1) que disminuyen su resistencia respecto a la que se obtiene del ensayo de compresión simple del material aislado.



**Figura 1.** Mecánica atípica de falla de la mampostería a la compresión

Fuente: De la Torre, O. y Miranda, E. (2003). *Edificaciones de mampostería para vivienda*. Fundación ICA, A.C.

La falla por tracción lateral es el modo de falla más común en este ensayo, se muestran, a través de grietas verticales ubicadas en las piezas, son producidas por deformaciones transversales del mortero en las juntas (Figura 1). Cuando el

agrietamiento vertical se vuelve excesivo, se produce la inestabilidad del elemento y su inmediata falla.

### **COMPORTAMIENTO DE LA ALBAÑILERÍA BAJO TENSIÓN DIAGONAL (De la Torre, O y Miranda, E. 2003)**

El ensayo de compresión diagonal se realiza para estudiar el comportamiento de la albañilería en tensión diagonal. Consiste en aplicar una compresión diagonal a un murete con dimensiones casi cuadradas. Bajo este ensayo, el murete recibe esfuerzos de compresión a lo largo de la diagonal en la cual se aplica la carga, pero al mismo tiempo se produce un estado de esfuerzos de tensión a lo largo de la diagonal perpendicular a la que se produce la compresión.

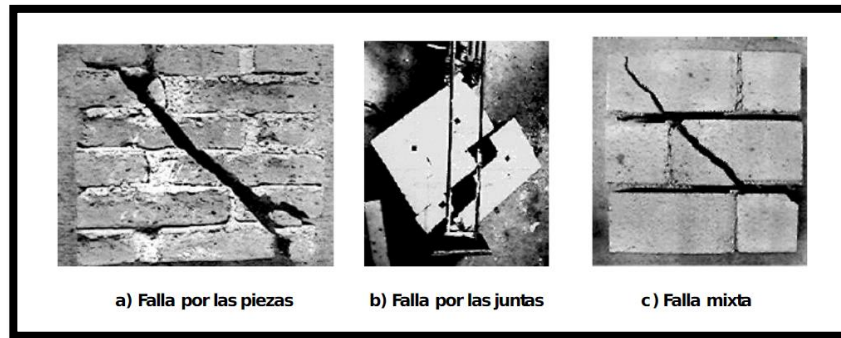
La falla de un muro por efecto de fuerzas cortantes ocurre generalmente a través de grietas inclinadas debidas a tensiones diagonales. Estas grietas se forman generalmente a lo largo de las juntas, propiciadas por la debilidad de la unión pieza-mortero.

La figura 2. muestra los principales tipos de falla de la albañilería producidos en un ensayo de compresión diagonal.

El primer modo de falla es cuando el agrietamiento diagonal atraviesa las piezas y se da cuando la resistencia a tensión de las piezas es menor en relación con la resistencia de adherencia del mortero con las piezas.

El segundo modo de falla es cuando el agrietamiento se produce en las juntas, se produce cuando la resistencia de las piezas es mayor en relación con la resistencia de adherencia del mortero con las piezas, el agrietamiento ocurre en el elemento débil que en este caso es la junta.

El modo de falla mixto se da cuando el esfuerzo resistente a tensión de las piezas es semejante a la adherencia entre piezas y mortero, el agrietamiento diagonal se da tanto en las piezas como en las juntas.



**Figura 2.** Modos de falla de ensayos de compresión diagonal.

Fuente: De la Torre, O. y Miranda, E. (2003). *Edificaciones de mampostería para vivienda*. Fundación ICA, A.C.

### **ALBANILERÍA CONFINADA.** (Medrano, A. y San Bartolomé. 2010)

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. Generalmente, se emplea una conexión dentada entre la albañilería y las columnas; esta conexión es más bien una tradición peruana, puesto que en Chile se utiliza una conexión prácticamente a ras que tuvo un buen comportamiento en el terremoto de 1985.

El pórtico de concreto armado, que rodea al muro, sirve principalmente para ductilizar al sistema; esto es, para otorgarle capacidad de deformación inelástica, incrementando muy levemente su resistencia, por el hecho de que la viga ("solera", "viga collar", "collarín" o "viga ciega") y las columnas son elementos de dimensiones pequeñas y con escaso refuerzo. Adicionalmente, el pórtico funciona como elemento de arrioste cuando la albañilería se ve sujeta a acciones perpendiculares a su plano.

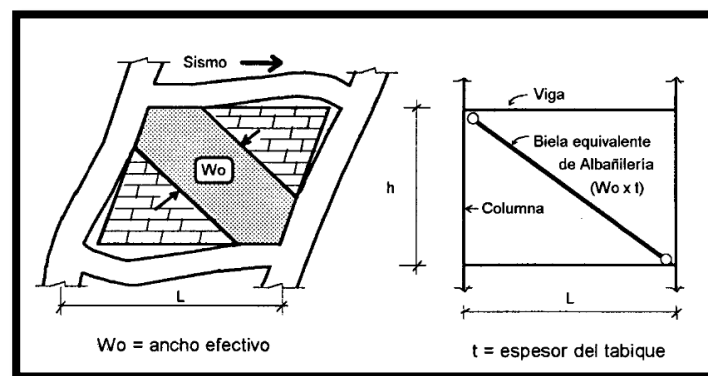
Es destacable señalar que el comportamiento sísmico de un tabique en el interior de un pórtico principal de concreto armado, es totalmente diferente al comportamiento de los muros confinados. La razón fundamental de esa diferencia se debe al procedimiento de construcción, al margen del tipo de unidad o mortero que se emplea en cada caso.

Mientras que en el caso de los tabiques primero se construye la estructura de concreto armado (incluyendo el techo que es sostenido por el pórtico) y finalmente

se levanta el tabique, en el caso de los muros confinados el proceso constructivo es al revés; esto es, primero se construye la albañilería, posteriormente se procede con el vaciado de las Columnas y luego se vacían las soleras en conjunto con la losa del techo. Con lo cual, el muro confinado es capaz de transportar y transmitir cargas verticales, cosas que no lo hacen los tabiques.

La técnica constructiva descrita hace que en los muros confinados se desarrolle una gran adherencia en las zonas de interface columna-muro y solera-muro, integrándose todo el sistema; con lo cual estos elementos trabajan en conjunto, como si fuese una placa de concreto armado sub-reforzada (con refuerzo sólo en los extremos), evidentemente con otras características elásticas y resistentes.

Lo expresado en el párrafo anterior no se produce en los tabiques, ya que la zona de Interconexión concreto-albañilería es débil (la interface pórtico-tabique es usualmente rellena con mortero), lo que hace que incluso ante la acción de sismos leves se separen ambos elementos, trabajando la albañilería como un puntal en compresión (Figura 3); esto se debe a que la zona de interacción (contacto) sólo se presenta en las esquinas, al deformarse el tabique básicamente por corte ("panel de corte"), mientras que el pórtico (más flexible que el tabique) se deforma predominantemente por flexión.



**Figura 3.** Tabique de albañilería frente a sismo.

Fuente: Medrano, A. y San Bartolomé. (2010). *Construcciones de Albañilería*. PUCP.

### **COMPORTAMIENTO DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA ANTE CARGA LATERAL.** (Zúñiga, O. y Terán, A. 2008)

Aunque el daño excesivo observado en estructuras de albañilería después de eventos sísmicos de diferente intensidad ha llegado a ganarle una mala reputación como material sismo resistente, las pruebas experimentales llevadas a cabo en



algunos países de América Latina, Europa y Asia, han dejado claro que con el debido cuidado durante su diseño y detallado, las estructuras de mampostería resultan una buena alternativa para la sismoresistencia. Los resultados experimentales varían notablemente en función de la forma en que se aplican las cargas (cuasi-estáticas o dinámicas) a los especímenes de albañilería.

Si bien el ensayo de compresión diagonal permite obtener índices como son el esfuerzo cortante resistente de la albañilería y el módulo de rigidez a cortante, este tipo de prueba no es totalmente representativa del comportamiento de un muro bajo cargas laterales, ya que en ella no existen deformaciones ni esfuerzos por flexión, como ocurre en muros sometidos a cargas laterales (particularmente si son esbeltos), como las que se producen en edificaciones de albañilería sometidas a sollicitaciones sísmicas, donde se introducen esfuerzos cortantes simultáneamente con esfuerzos de flexión.

En el caso particular de los muros de mampostería confinada, su comportamiento ante cargas laterales es muy semejante al que se tiene en el ensayo de compresión diagonal. Sin embargo, debido a la presencia de flexiones que disminuyen los esfuerzos verticales en un extremo del muro y los incrementan en el otro, la fuerza cortante que produce el agrietamiento es menor cuando el ensayo se realiza en voladizo que cuando se efectúa en compresión diagonal.

En el caso de muros de albañilería confinada su comportamiento hasta el primer agrietamiento diagonal es prácticamente el mismo al de los muros de mampostería no reforzada, lo que implica que la presencia y características de las columnas y vigas de confinamiento no tiene una influencia significativa en el comportamiento de la mampostería antes de que se produzca el primer agrietamiento diagonal.

Después del agrietamiento diagonal existe una importante redistribución de esfuerzos, y el puntal de compresión de la mampostería incrementa significativamente las demandas de flexión, pero principalmente de cortante en los extremos de las columnas de confinamiento. Este incremento en fuerza cortante puede producir la falla en la esquina de la columneta, dando lugar a una reducción drástica de la capacidad resistente del muro. Si la sección y armado de la columna de confinamiento en su parte inferior y superior es capaz de resistir esta fuerza cortante, el muro confinado puede soportar cargas laterales adicionales que provocan generalmente la formación de nuevas grietas con inclinaciones menores que la diagonal. Esto da lugar a un modo de falla, en el cual el sistema puede idealizarse como dos bloques rígidos de muro que actúan sobre dos tramos cortos

de las columnas de confinamiento. En este sistema idealizado, la fuerza lateral se resiste en parte por fricción y anclaje mecánico a lo largo de la grieta y en parte por la resistencia a cortante de las columnas de confinamiento en los extremos de la grieta. La falla puede ocurrir nuevamente por cortante en dichas columnetas, o si estos tienen resistencia suficiente en cortante, existe reserva de carga importante hasta que los dos tramos cortos de la Columna de confinamiento llegan a articularse, y el conjunto es capaz de soportar deformaciones muy grandes.

### **CURVA DE CAPACIDAD A PARTIR DEL ANÁLISIS NO LINEAL DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA CONFINADA. (Zúñiga, O. y Terán, A. 2008)**

La curva de capacidad de una edificación se obtiene a partir de un análisis estático no-lineal bajo desplazamiento lateral monótonamente creciente. Durante este análisis, se aplica un patrón de cargas laterales que, aunque varía en magnitud, mantiene su valor relativo en altura. La magnitud de las fuerzas laterales se va variando hasta que la edificación alcanza el desplazamiento lateral asociado a un estado máximo de utilidad (usualmente asociado a la falla o colapso de la misma). En función de los resultados obtenidos de este análisis, es posible establecer una curva que relaciona el desplazamiento lateral global en la edificación con el cortante basal actuante. Cambios importantes en la curva de capacidad aportan información relevante sobre el comportamiento y nivel de daño en la estructura; es decir, proporciona herramientas para establecer las demandas de desplazamiento asociadas al agrietamiento generalizado de la mampostería, resistencia máxima y colapso de la estructura.

La curva de capacidad de un muro de mampostería que se daña a flexión requiere ser establecida a partir del momento plástico que el muro es capaz de desarrollar. Al respecto, uno de los fenómenos que más preocupan en cuanto al comportamiento no lineal de muros esbeltos de mampostería es la interacción flexión/corte, y el potencial que tiene para reducir o desestabilizar el comportamiento ante cargas laterales. En algunos casos un muro que inicio dañándose a flexión termina fallando a corte o por deslizamiento. Dentro de este contexto, una correcta caracterización de la evolución del daño en el muro requiere de un modelado adecuado de esta interacción.

## ENVOLVENTE DE COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO (Zúñiga, O. y Terán, A. 2008)

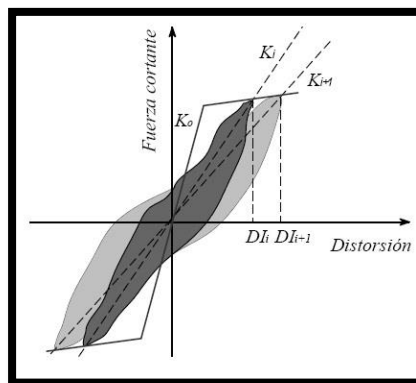
La envolvente de comportamiento histerético aporta información relevante sobre el comportamiento de muros de mampostería sujetos a cargas laterales cíclicas, esta envolvente corresponde a los puntos máximos que están asociados a cada ciclo de carga, que serán aplicados experimentalmente.

La Figura 4. Identifica zonas bien definidas asociadas a la envolvente del comportamiento histerético de muros de mampostería confinada:

a) Comportamiento elástico. A niveles pequeños de desplazamiento y esfuerzo, caracterizados por la presencia de agrietamiento horizontal en las columnas que confinan al muro y de un mínimo agrietamiento en el panel de mampostería, los muros exhiben un comportamiento prácticamente elástico.

b) Degradación de rigidez. Después de que se presenta el agrietamiento diagonal, los muros de mampostería exhiben una pendiente post-elástica positiva que es sustancialmente menor a la rigidez elástica inicial, lo que les permite alcanzar una resistencia máxima mayor que la que corresponde al primer agrietamiento.

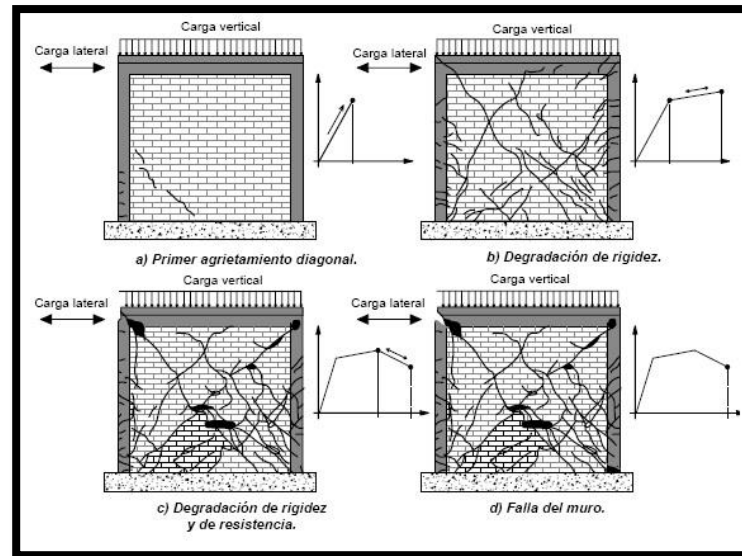
El grado de deterioro que exhibe la rigidez lateral de las estructuras de mampostería puede establecerse mediante el concepto de rigidez de ciclo, que se define como la pendiente de la línea secante que une al origen del sistema coordinado con el punto asociado al cortante máximo/distorsión máxima en cada ciclo de carga. (Figura 5)



**Figura 4.** Cálculo de la rigidez de ciclo.

Fuente: Zúñiga, O. y Terán, A. (2008). *Evaluación basada en desplazamientos de edificaciones de mampostería confinada*. Universidad Autónoma Metropolitana.

c) Degradación de rigidez y resistencia. Una vez que alcanza su resistencia máxima, la mampostería exhibe una pendiente negativa asociada a pérdidas de resistencia y rigidez que evolucionan hasta la falla del muro.



**Figura 5.** Evolución del daño estructural en muros de mampostería confinada.

Fuente: Zúñiga, O. y Terán, A. (2008). *Evaluación basada en desplazamientos de edificaciones de mampostería confinada*. Universidad Autónoma Metropolitana.

### **ENSAYO DE CARGA LATERAL MONOTÓNICAMENTE CRECIENTE, ENSAYO ESTÁTICO. (San Bartolomé, A., Barr, K. y Pineda C. 2011)**

Esta técnica es aplicable para la carga lateral en forma creciente de una cierta velocidad, hasta que alcance una rotura diagonal en el elemento. A continuación, se controla el desplazamiento lateral, también de manera creciente, hasta que alcance la falla total del elemento.

Este ensayo tiene una desventaja que no contempla el mayor menoscabo que produce el desplazamiento lateral sobre la mampostería, que alcanza flexibilidades por arriba de las adquiridas en los ensayos, pese a que la resistencia al corte y la rigidez lateral inicial son iguales. Es mejor no realizar este ensayo, a menos que solo se necesite hallar la resistencia.

**ENSAYO DE SIMULACIÓN SÍSMICA. (San Bartolomé, A., Barr, K. y Pineda C. 2011)**

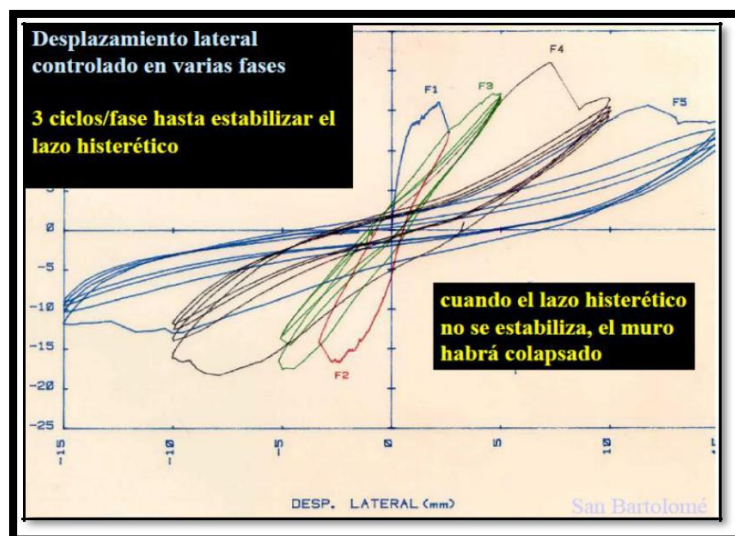
Este ensayo, se realiza en una mesa de vibración, cuesta mucho, por lo que solo es utilizada con el fin de constatar los valores obtenidos en los ensayos de carga lateral cíclica. Primero, se realizan ensayos estáticos que permite hallar la matriz de flexibilidad lateral del elemento, con la que se halla: la matriz de rigidez lateral, períodos y los modos de vibración. También, por medio de ensayos de vibración, se halla el grado de amortiguamiento y el período natural de vibración usando acelerómetros y sismógrafos.

**ENSAYO PSEUDO DINÁMICO. (San Bartolomé, A., Barr, K. y Pineda C. 2011)**

El ensayo PSEUDO DINAMICO se realiza al fijar la base del elemento y sometiendo a fuerzas sísmicas y desplazamientos laterales en cada nivel de la edificación, mediante acatadores dinámicos, que reaccionan contra un muro grande. Empezando de las condiciones iniciales de reposo, se modela mediante un programa di- cómputo los desplazamientos que tendrían cada nivel para una cierta variación de la aceleración sísmica basal. Estos desplazamientos se aplican en el elemento, y se determina así una respuesta real, que constituye las condiciones iniciales para un nuevo aumento de la sollicitación.

**ENSAYO CÍCLICO DE CARGA LATERAL. (San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva D. 2011)**

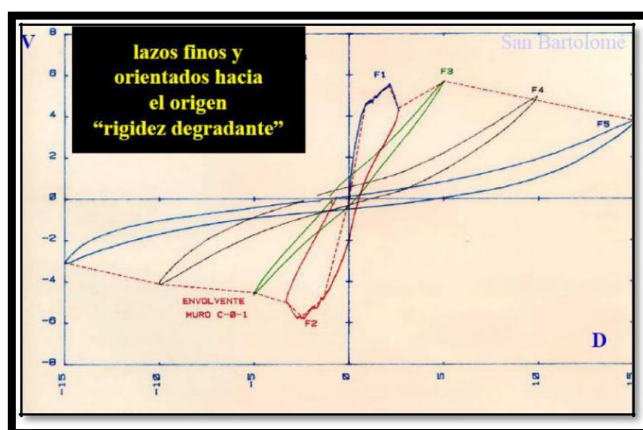
Esta técnica se prefija determinados valores de desplazamiento lateral (D, Figura 6). Que incluye el comportamiento inelástico y elástico del elemento. Luego, por cada desplazamiento se aplica por lo menos tres ciclos de descarga y carga hasta que el lazo histerético V-D se estabilice. Cuando el lazo histerético no se estabiliza, se dice que el espécimen ha fallado totalmente. Luego se selecciona los lazos que corresponden a los ciclos estables. Los valores máximos de carga lateral (V) determinan la envolvente de ciclos estables. La rama negativa en la envolvente se rebosa sobre la positiva. Si han ensayado dos elementos con las mismas características, se obtendrá cuatro curvas, cuyo promedio es conocida como la envolvente promedio V-D de los lazos histeréticos estables. En adelante, esta envolvente promedio se utiliza para comparar los efectos de un parámetro sobre el comportamiento experimental-sísmico de los muros.



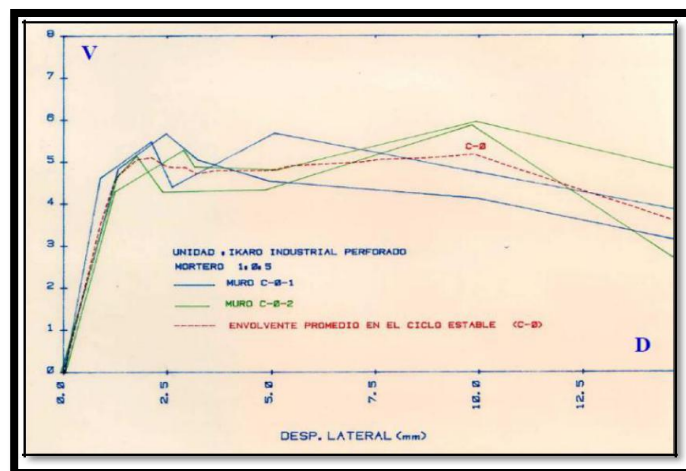
**Figura 6.** Grafica V-D.

Fuente: San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva, D. (2011). *Diseño y Construcción de Estructuras Sismoresistente de Albañilería*. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.

En general, los muros confinados y armados presentan lazos histéricos (VD, Figura 7) muy delgados, propios de sistemas que disipan poca energía sísmica. Asimismo, los lazos histéricos tienden a pasar por el origen del sistema de referencia, lo cual es propio de sistemas que degradan rigidez lateral. Es como si los muros tuvieran un comportamiento elástico para un desplazamiento determinado, pero con una rigidez lateral ( $K$ ) cada vez más bajo, producto del mayor desgaste del muro.



**Figura 7.** Envoltura de Lazos Histeréticos Estables. Fuente: San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva, D. (2011). *Diseño y Construcción de Estructuras Sismoresistente de Albañilería*. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.



**Figura 8.** Envoltorio Promedio-Ciclo Estable (serie C-0)

Fuente: San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva, D. (2011). *Diseño y Construcción de Estructuras Sismoresistente de Albañilería*. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.

**a. FISURA DE TRACCIÓN POR FLEXIÓN. (San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva D. 2011)**

La fisura número uno se forma en la base de los elementos (Figura 9), y se debe a las fuerzas de tracción que son originados por el momento flector. Se ha notado que la resistencia a tracción por flexión de los muros armados es del orden de 10 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que para la mampostería simple es 5 kg/cm<sup>2</sup>. Para el caso de los muros confinados, esta fisura es formada primero en la columna, para después propagarse hacia todo el elemento, venciendo la resistencia a tracción por flexión del concreto (del orden de 20kg/cm<sup>2</sup>). El comportamiento elástico de los elementos confinados supera al armado. La carga asociada a esta fisura (VF, Figura 2.10) es predecible aplicando la fórmula flexión compuesta en la fibra de mayor tracción ( $\sigma = My/IP/A$ ), para después ser igualado el esfuerzo normal actuante a las resistencias unitarias indicadas.



### Figura 9. Punto “VF”

Fuente: San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva, D. (2011). *Diseño y Construcción de Estructuras Sismoresistente de Albañilería*. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.

#### b. ROTURA DIAGONAL. (San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva D. 2011)

Al incrementar la carga lateral, el muro se agrieta diagonalmente (punto “R” en la Figura 10, o punto “m” en la Norma E.070), produciéndose una caída ligera en la resistencia. Esta falla inmediatamente después es contenida por los confinamientos, o por el refuerzo horizontal para el caso de los muros armados. Esta falla se produce para una deriva del orden de  $1/800$ , y si el muro se encuentra reforzado, se le puede aplicar mayores desplazamientos inelásticos.

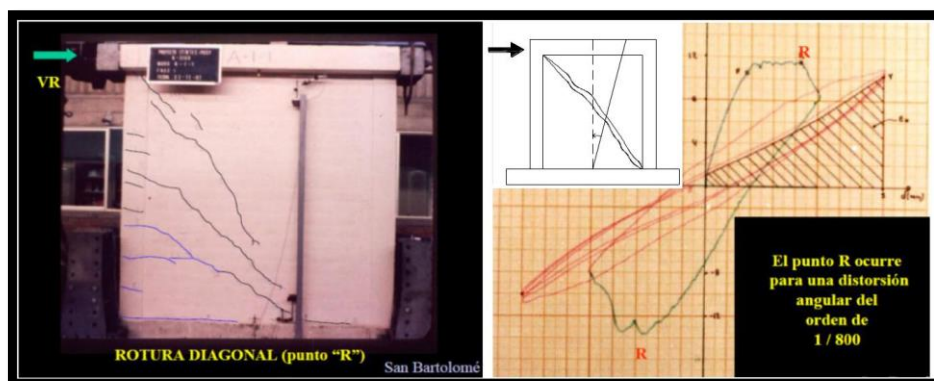


Figura 10. Punto “R” o “m” en la Norma E.070

Fuente: San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva, D. (2011). *Diseño y Construcción de Estructuras Sismoresistente de Albañilería*. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.

#### C. LÍMITE DE REPARACIÓN. (San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva D. 2011)

Al someterse a desplazamientos mayores al muro (confinado) después de la falla diagonal, aparecen otras rigideces y fisuras laterales continuando con la degradación. Llega un momento que también minimiza la resistencia, por la formación de fallas (inicio de la trituración de los talones, inicio de la trituración de las unidades de albañilería, etc.). En este punto, asociado a una deriva de  $1/200 = 0.005$ , se considera que el sistema es económicamente reparable



(Figura 11). Este límite es el especificado como la deriva máxima inelástica por la Norma Sísmica E.030 para las edificaciones de albañilería reforzada.



**Figura 11.** Límite de reparación.

Fuente: San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva, D. (2011). *Diseño y Construcción de Estructuras Sismoresistente de Albañilería*. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.

#### **D. FALLA FINAL (San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva D. 2011)**

Ante desplazamientos laterales por encima del límite de reparación (Figura 12), se presenta la trituración de los talones del muro (sea la falla por flexión o por corte) con el consiguiente pandeo del refuerzo vertical, o la trituración de las unidades de albañilería. Allí se pierde la última línea de defensa, lo que da lugar a una drástica reducción de la resistencia.

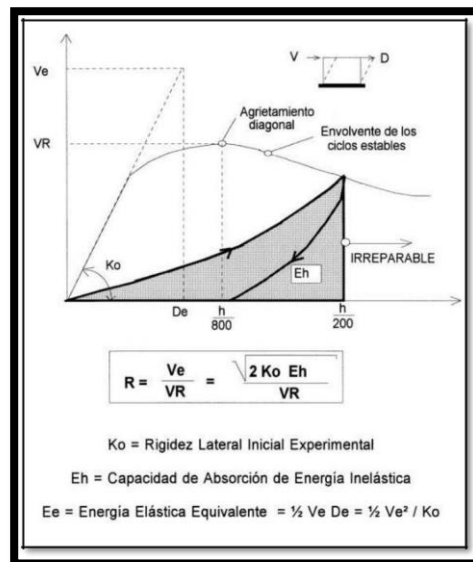


**Figura 12.** Falla final

Fuente: San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva, D. (2011). *Diseño y Construcción de Estructuras Sismoresistente de Albañilería*. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.

## E. EVALUACIÓN DEL FACTOR DE REDUCCIÓN “R” EXPERIMENTALMENTE. (San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva D. 2011)

El factor de reducción de la fuerza sísmica elástica “R” se determina experimentalmente. El criterio que se sigue es igualando la energía elástica equivalente a la inelástica (Figura 13).



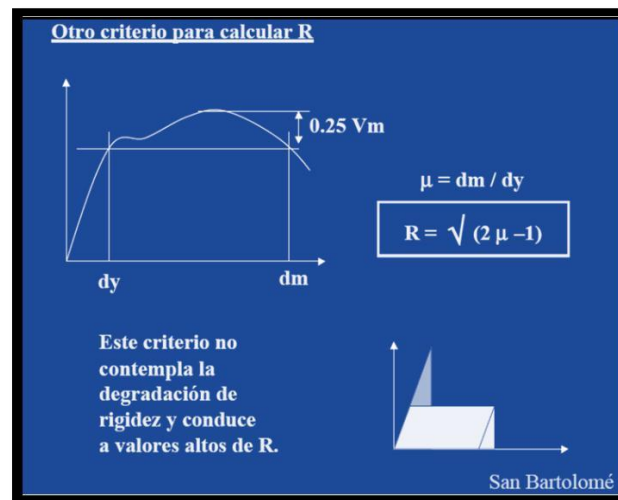
**Figura 13.** Cálculo de “R”.

Fuente: San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva, D. (2011). *Diseño y Construcción de Estructuras Sismoresistente de Albañilería*. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.

Para ello, se usa el desplazamiento máximo que permite la Norma Sísmica E.030 (deriva = 0.005), con la finalidad que el sistema quede en estado de reparabilidad. Para ese nivel de desplazamiento, se calcula la capacidad de absorción de energía inelástica (Eh), que luego se iguala a la energía elástica equivalente (Ee), que supuestamente tendría el muro si se comportara elásticamente.

Este criterio conduce a factores de “R” del orden de 2.5 cuando el muro ha sido diseñado adecuadamente. Sin embargo, contemplándose otros factores como la sobre resistencia del edificio y los defectos en su construcción, en la Norma Sísmica E.030 se Utiliza R = 3, tanto para la albañilería confinada como para la armada.

Otro criterio para calcular “R” experimentalmente se muestra en la (Figura 14), donde se acepta una degradación de 25% en la resistencia máxima. En este criterio se determina la ductilidad de desplazamiento  $\mu$ , que proviene de igualar la energía elástica equivalente ( $E_e$ ) a la energía elastoplástica ideal ( $E_h$ ), para luego evaluar “R” mediante la expresión  $\sqrt{(2\mu - 1)}$ . Puesto que en este criterio no se contempla la degradación de rigidez lateral que tienen los muros en la etapa inelástica, los valores de “R” son demasiado elevados.



**Figura 14.** Otro criterio para hallar “R”.

Fuente: San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva, D. (2011). *Diseño y Construcción de Estructuras Sismoresistente de Albañilería*. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.

## PANEL FOTOGRÁFICO

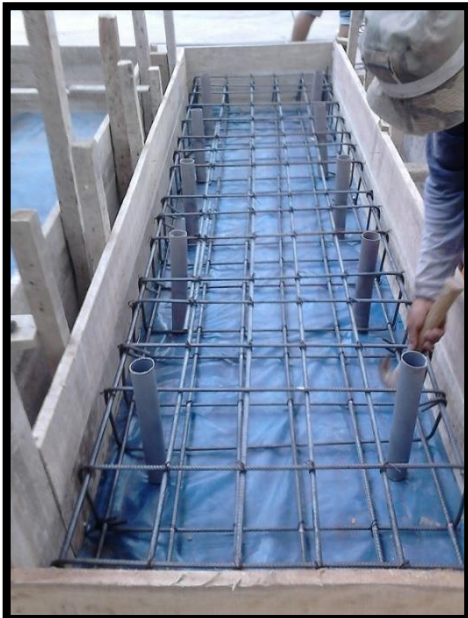
### Construcción de base para cimentación de muro



**Figura 15.** Se empieza con la habilitación del acero para la base de cimentación.



**Figura 16.** Se coloca un plástico y un triplay para evitar la adherencia al suelo de laboratorio, al mismo tiempo se va armando el encofrado de la base.



**Figura 17.** Alineamiento de acero para cimentación



**Figura 18.** Habilidad de acero para columnas de confinamiento anclado a la cimentación



**Figura 19.** Vaciado y vibrado de concreto

## Construcción de muro de albañilería con blocker II



**Figura 20.** Alineación de ladrillo blocker II con plomada



**Figura 21.** Dentado del muro para amarre de columnas de confinamiento

## Construcción de columnas de confinamiento



**Figura 22.** Encofrado de columnas para confinamiento del muro



**Figura 23.** Testigos de concreto de las columnas para verificación de resistencia



**Figura 24.** Vaciado de concreto



**Figura 25.** Vaciado y vibrado de concreto en columnas



**Figura 26.** Desenfofrado de columnas



**Figura 27.** Curado de columnas

### Construcción de viga solera



**Figura 28.** Encofrado para viga solera de muro



**Figura 29.** Se continúa con el encofrado de viga solera para muro



**Figura 30.** Desencofrado de viga solera

### Muro Reparado MBATR-3



**Figura 31.** Muro posterior a ensayo cíclico de carga lateral (izquierda)



**Figura 32.** Limpieza de escombros de muro ensayado (derecha)





**Figura 33.** Apuntalamiento de viga solera y limpieza de escombros (izquierda)



**Figura 34.** Riego de muro para limpieza de escombros (derecha)



**Figura 35.** Limpieza de escombros (izquierda)



**Figura 36.** Limpieza de escombros en vértice de viga (derecha)

## Muro Reforzado MBATR-3



**Figura 37.** Malla electrosoldada de 1/4" para encamisado de muro



**Figura 38.** Limpieza de óxido en malla electrosoldada de 1/4"



**Figura 39.** Reforzamiento de muro con malla electrosoldada de 1/4''



**Figura 40.** Perforación en muro para colocación de aceros de fijación



**Figura 41.** Colocación de aceros en muro para fijación de malla electrosoldada



**Figura 42.** Perforación de muro para aceros de fijación



**Figura 43.** Perforación en la base para anclaje de malla electrosoldada



**Figura 44.** Se perfora cada 70 cm. para anclaje de malla



**Figura 45.** Mezcla epoxica sikadur 32 proporción 1:2 para fijación de anclajes



**Figura 46.** Colocación de mezcla epoxica



**Figura 47.** Colocación de aceros para anclaje de muro



**Figura 48.** Anclajes de acero y fijación de malla electrosoldada



**Figura 49.** Lechada de cemento para relleno de grietas en muro



**Figura 50.** Alineación lateral para tarrajeo de muro



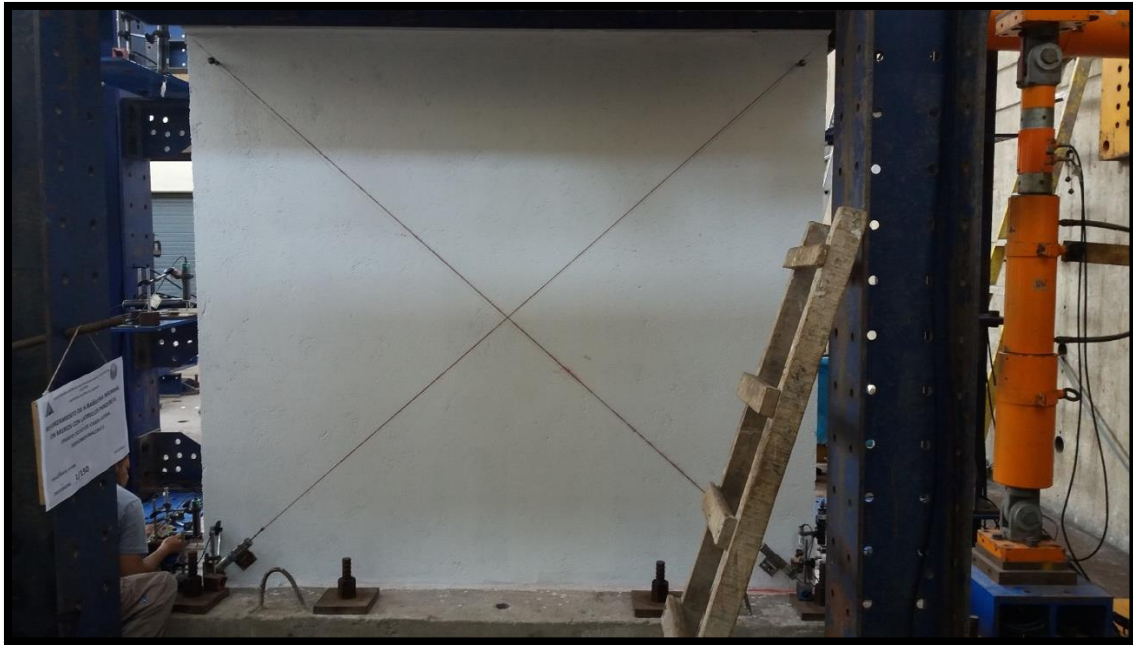


**Figura 51.** Tarrajeo de muro reparado y reforzado

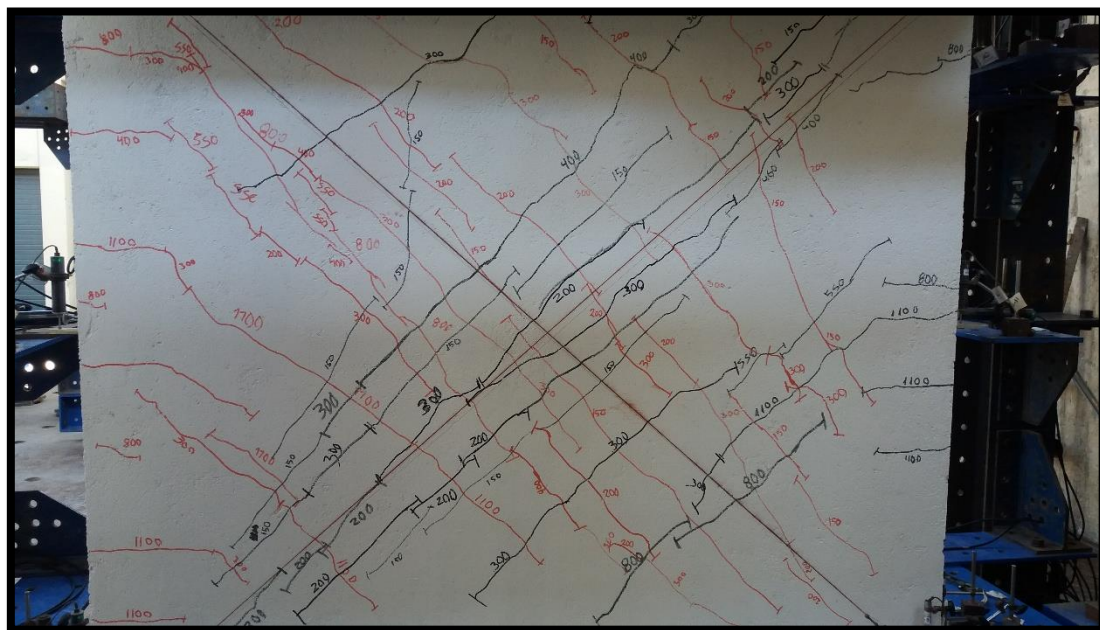


**Figura 52.** Acabado final de tarrajeo de muro

Culminada la reparación y reforzamiento, el muro MBATR-03, se procedió a pintar en una de las caras del muro con yeso blanco. Luego, el muro se transportó a su ubicación para el ensayo de carga cíclica controlada



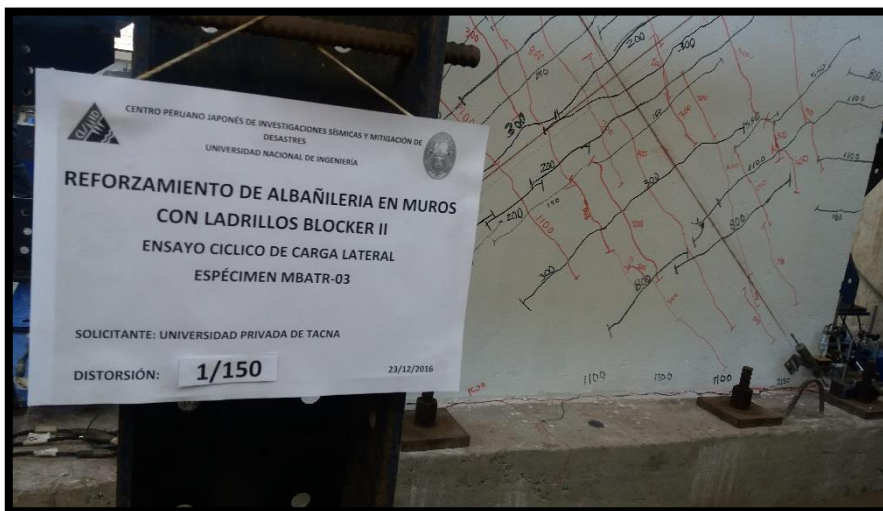
**Figura 53.** Por último el muro se pinta de blanco para facilitar el mapeo de grietas



**Figura 54.** Análisis gráfico de resultado del comportamiento del muro MBATR-3



**Figura 55.** Finalización del ensayo cíclico de carga lateral para MBATR-3



**Figura 56.** Distorsión 1/150 – MBATR-3



Bach.Ing Civil Diego Romero Infante, Bach.Ing Civil Edson Vásquez Aiquipa.

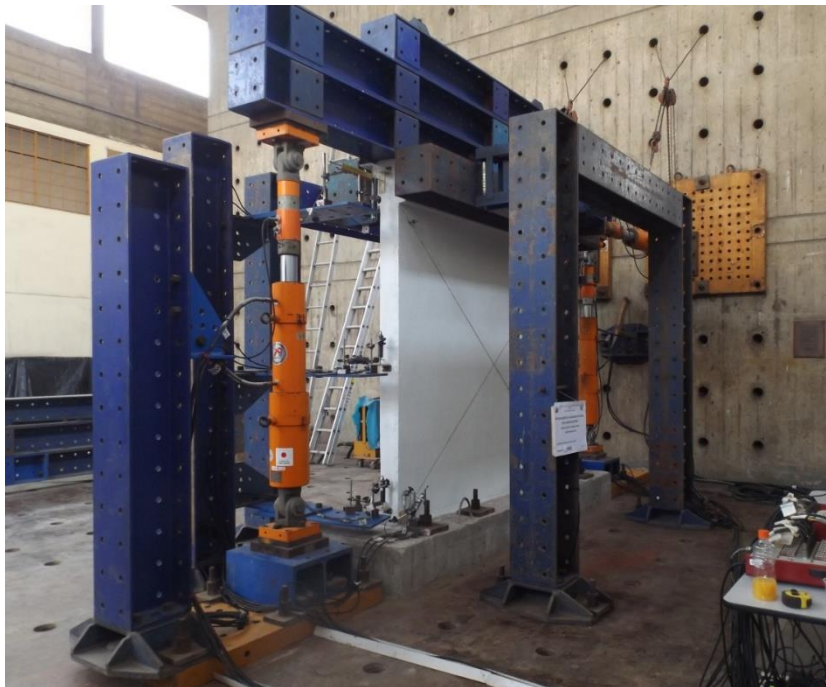


Centro Peruano Japonés de Investigaciones  
Sísmicas y Mitigación de Desastres  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**



## ENSAYO DE CARGA CÍCLICA DE MURO CON REFORZAMIENTO Y SU COMPARACIÓN CON MUROS SIN REFORZAMIENTO A ESCALA NATURAL

### ESPECÍMENES DE ALBAÑILERÍA BLOCKER II



**Elaborado por:**

Laboratorio de Estructuras

**Responsables:**

Dr. Ing. Carlos Alberto Zavala Toledo

Dr. Ing. Miguel Díaz Figueroa

Msc. Ing. Erika Nora Flores Terrenos

Lima – Perú – Enero de 2017





## **ENSAYO DE CARGA CÍCLICA DE TRES MUROS A ESCALA NATURAL**

### **ESPECÍMENES DE ALBAÑILERÍA BLOCKER II**

#### **1. ANTECEDENTES**

A solicitud de la Ingeniera Dina Cotrado, docente de la Universidad Privada de Tacna en la en el mes Octubre del 2016 solicitó el reforzamiento de uno de los muros que iba a hacer ensayado hasta un nivel de reparabilidad. En respuesta a la solicitud, se elaboró una propuesta técnico económica para la realización de ensayo cíclicos del muros de albañilería con unidades blocker II.

Anterior a este muro se ensayó 3 muros de albañilería sin reforzamiento en el cual el tercero se ensayó hasta un nivel donde se pueda reparar en otra palabras hasta una distorsión 1/550. El muro fue reforzado con malla electrosoldada en una sola cara para su posterior ensayo.

El presente informe muestra los resultados experimentales correspondientes al ensayo cíclico de un muro de albañilería reforzado y la comparación del mismo con otros tres muros sin reforzamiento ambos de unidades de albañilería tipo blocker II.

#### **2. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

Este ensayo se realizó para hacer un comparativo entre muros sin reforzamiento y con reforzamiento, para poder observar su comportamiento y su mejora frente a fuerzas sísmicas.

##### **2.1. Protocolo de desplazamientos**

La carga horizontal es aplicada por medio de dos gatas hidráulicas, bajo el control de desplazamiento del monitor, acorde al protocolo de desplazamiento, mostrada. En la siguiente figura, se muestra la representación del protocolo de desplazamiento objetivo durante el ensayo.



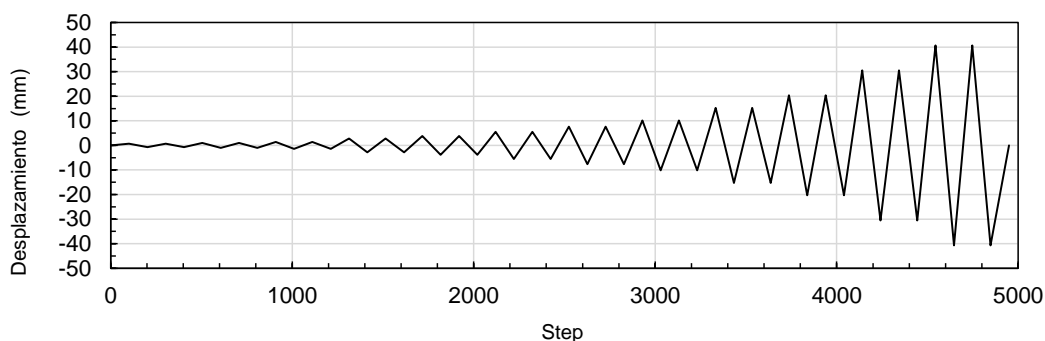


Figura 1. Protocolo de desplazamiento objetivo

La Tabla 1 muestra el desplazamiento objetivo para el control de desplazamiento por ciclo. Con la finalidad de tener una curva de histéresis más estable, la amplitud objetivo es aplicada en dos ciclos consecutivos.

Tabla 1. Distorsiones objetivo para el control de desplazamiento por ciclo

Ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Distorsión objetivo	1/4200	1/3000	1/2150	1/1100	1/800	1/550	1/400	1/300	1/200	1/150	1/100	1/75

### 3. ESPÉCIMEN

El espécimen consiste en un muro de albañilería con unidades tipo blocker II. El espécimen es un muro de 2.50 m de altura, 2.50 m de longitud, el espesor del muro sin reforzar es de 0.13 m. mientras el muro reforzado tiene un espesor de 0.16 m. La base del muro reducido es de 3.30 m de largo, 0.90 m de ancho y 0.30 m de altura.

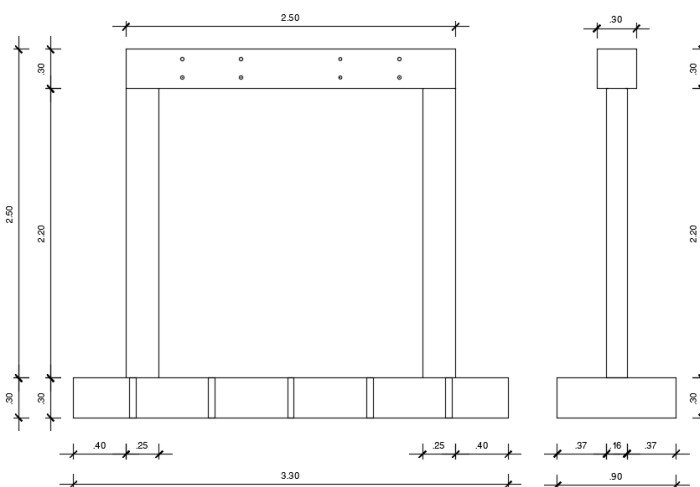


Figura 2. Especimen básico. Unidades: m





#### 4. RESULTADOS DEL ENSAYO DEL MURO REFORZADO

Conforme al protocolo de desplazamiento, indicado anteriormente, se llevó a cabo el ensayo estático cíclico. La figura 3, muestra la relación entre el desplazamiento y la carga aplicada, mediante la curva de histéresis, del espécimen MBATR-3.

Los espécimen MBATR-3 se llevaron hasta su condición última (desplazamientos donde la carga se menor que el 80% de la carga máxima aplicada).

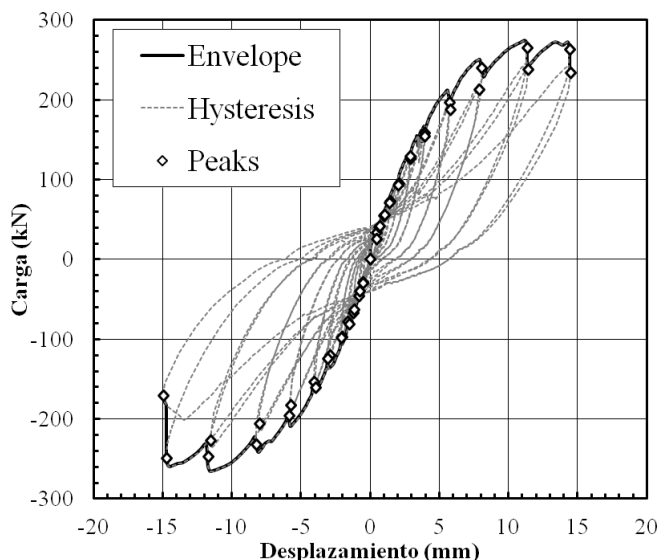


Figura 3. Curva histerética del espécimen MBATR-3

La figura 4 muestra la relación en la amplitud de cada ciclo y la carga correspondiente del espécimen MBATR-3, que se encuentra expresada en términos de desplazamiento y distorsión. Esta curva representa la curva de capacidad del elemento muro.

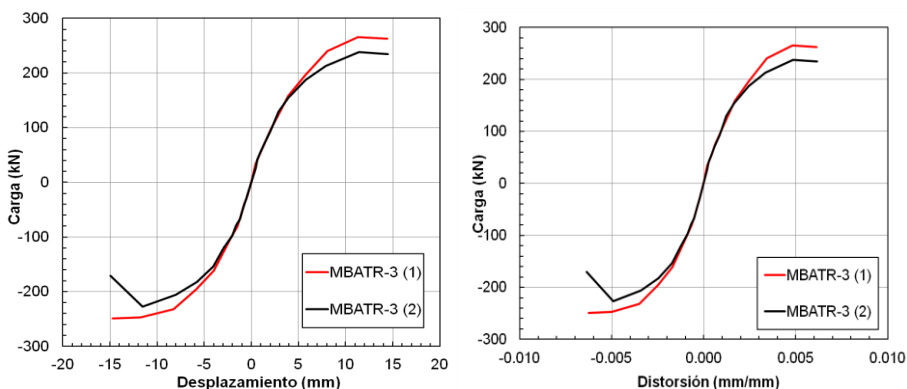


Figura 4. Curva de capacidad del espécimen MBATR-3





## 5. COMPARACION DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

En este capítulo desarrollaremos la comparación entre los muros de albañilería sin reforzamiento y muros de albañilería con reforzamiento, aquí podremos ver de forma más analítica los resultados.

La Figura 5 muestra la comparación de las curvas histeréticas de los tres especímenes ensayados.

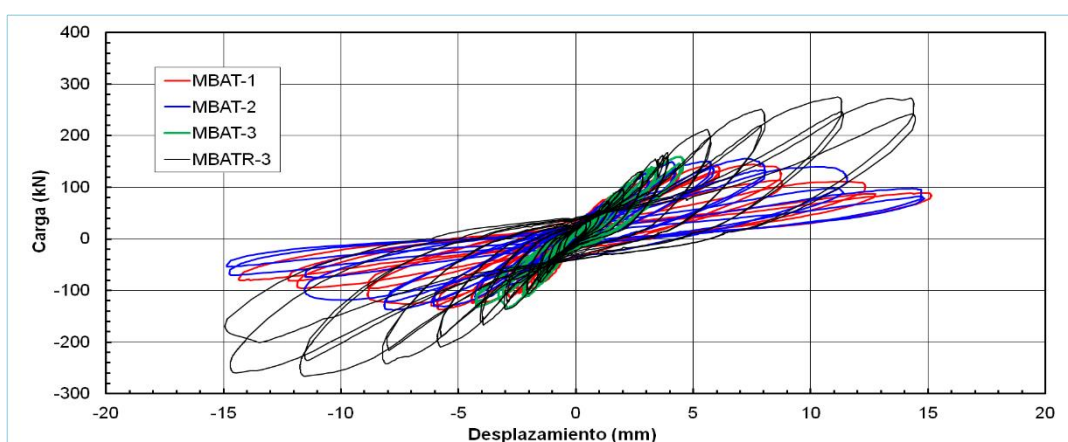


Figura 5. Comparación de las curvas histeréticas de los especímenes ensayados

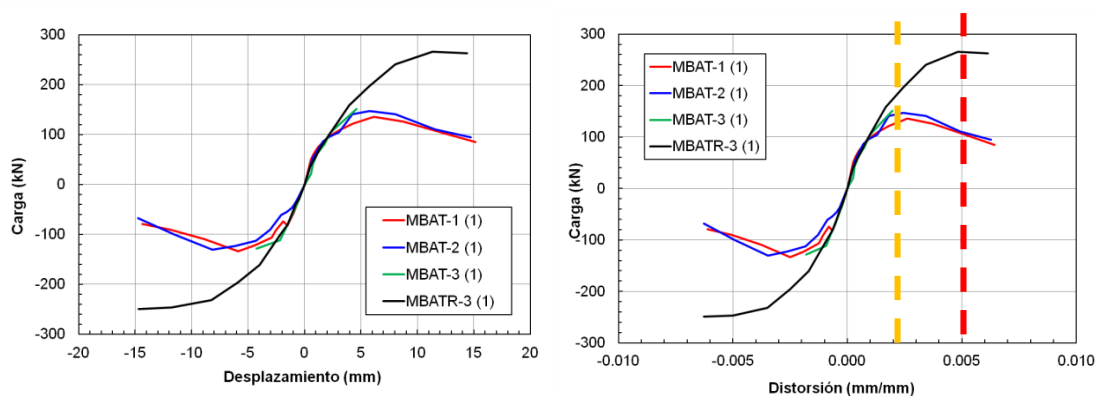


Figura 6. Comparación de la curva de capacidad de los especímenes ensayados para la primera aplicación de la distorsión objetivo





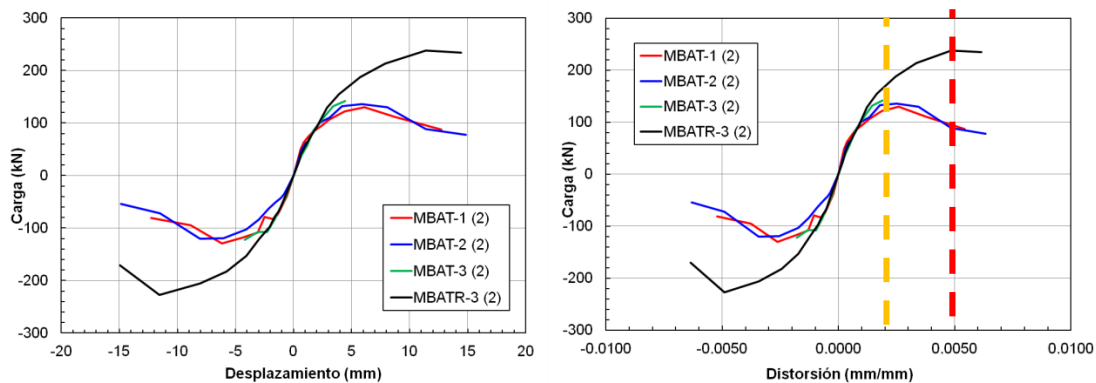


Figura 7. Comparación de la curva de capacidad de los especímenes ensayados para la segunda aplicación (repetición) de la distorsión objetivo

La Figura 8 y Figura 9 muestran la relación de la rigidez equivalente y distorsión máxima alcanzada en cada ciclo histerético para la primera (1) y segunda (2) aplicación de la distorsión objetivo señaladas en el protocolo de desplazamiento.

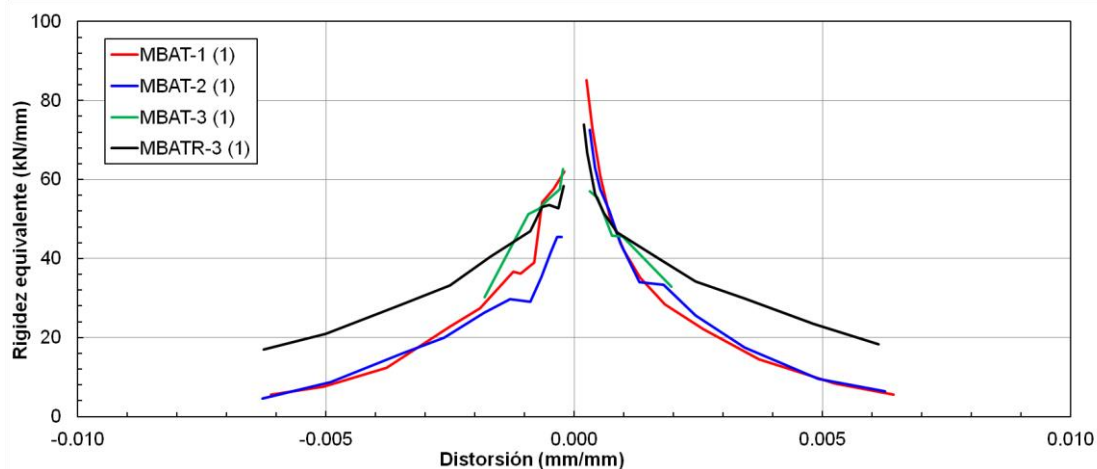


Figura 8. Comparación de degradación de la rigidez equivalente de los especímenes ensayados para la primera aplicación de la distorsión objetivo



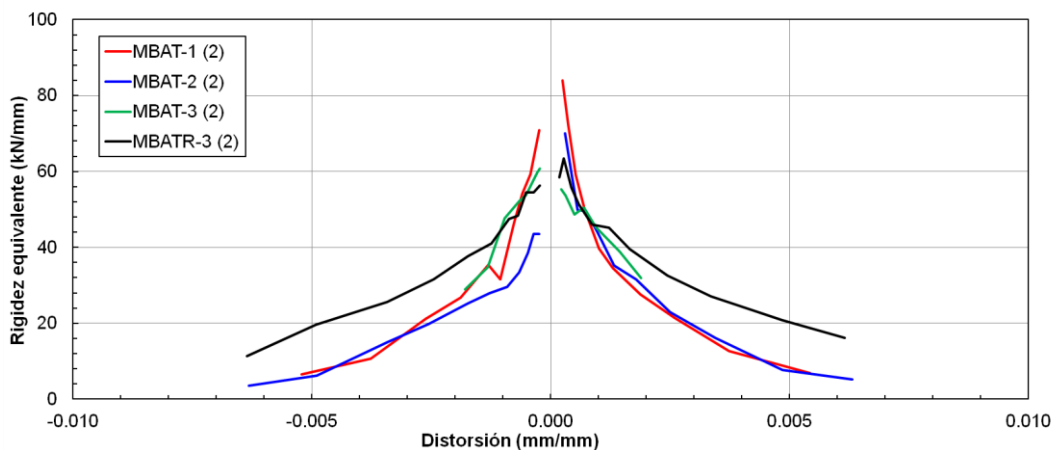


Figura 9. Comparación de degradación de la rigidez equivalente de los especímenes ensayados para la segunda aplicación de la distorsión objetivo

La Figura 10 y Figura 11 muestran la relación del factor de amortiguamiento y distorsión alcanzada en cada ciclo histerético para la primera (1) y segunda (2) aplicación de la distorsión objetivo señaladas en el protocolo de desplazamiento.

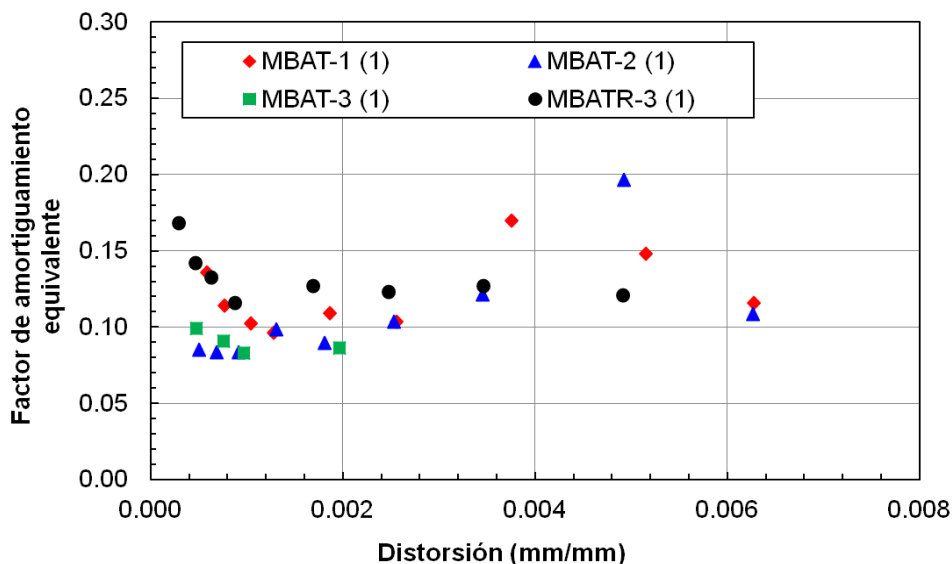


Figura 10. Comparación del factor de amortiguamiento de los especímenes ensayados para la primera aplicación de la distorsión objetivo



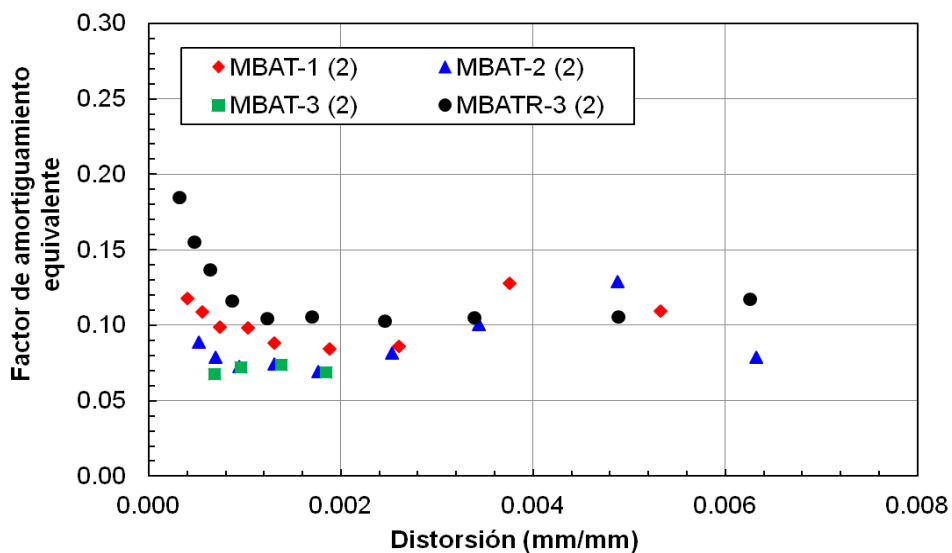
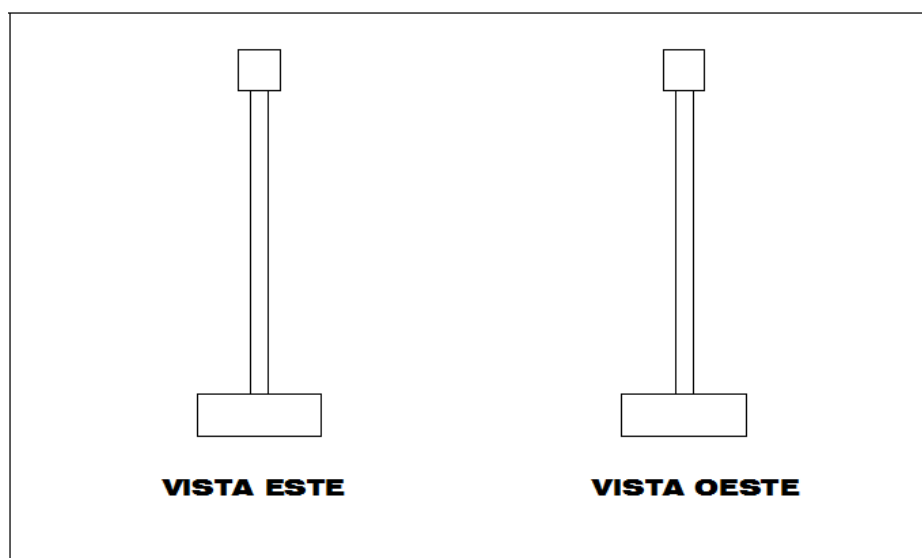
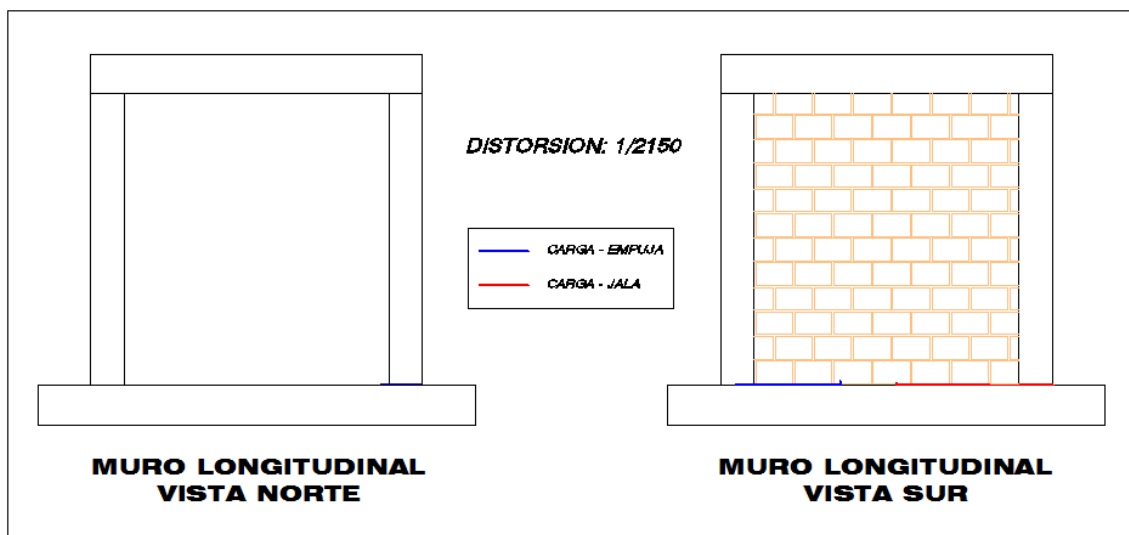


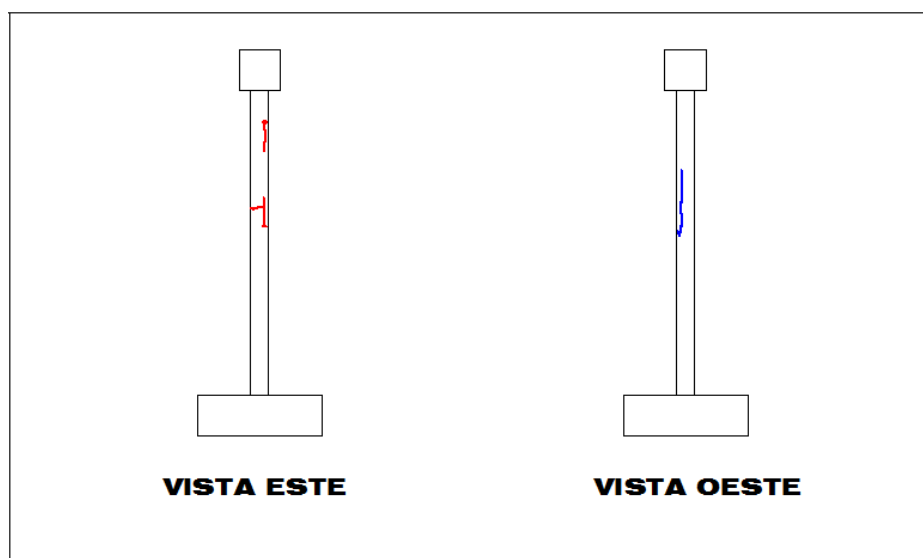
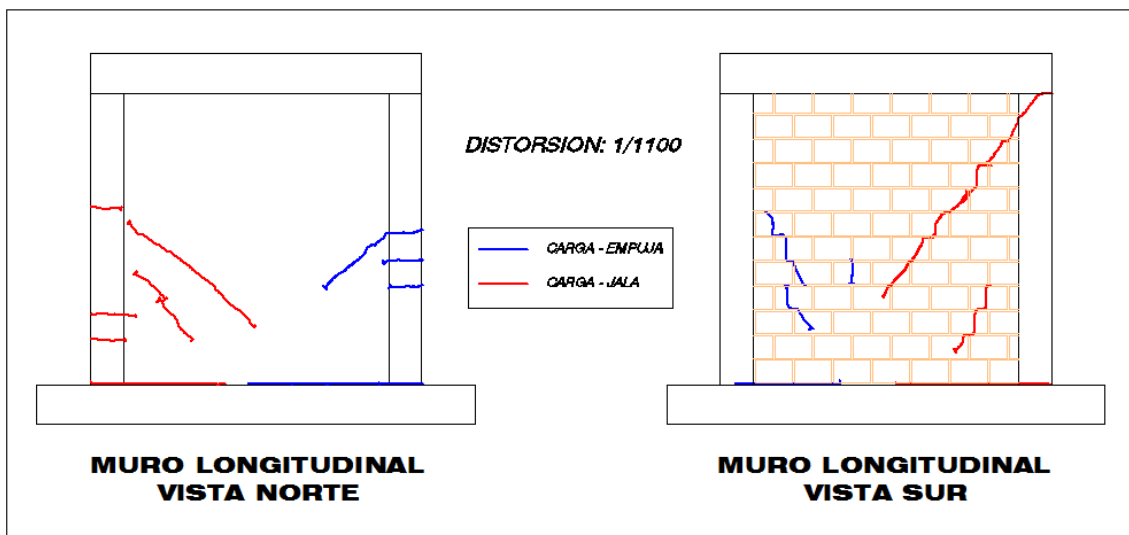
Figura 11. Comparación del factor de amortiguamiento de los especímenes ensayados para la segunda aplicación (repetición) de la distorsión objetivo

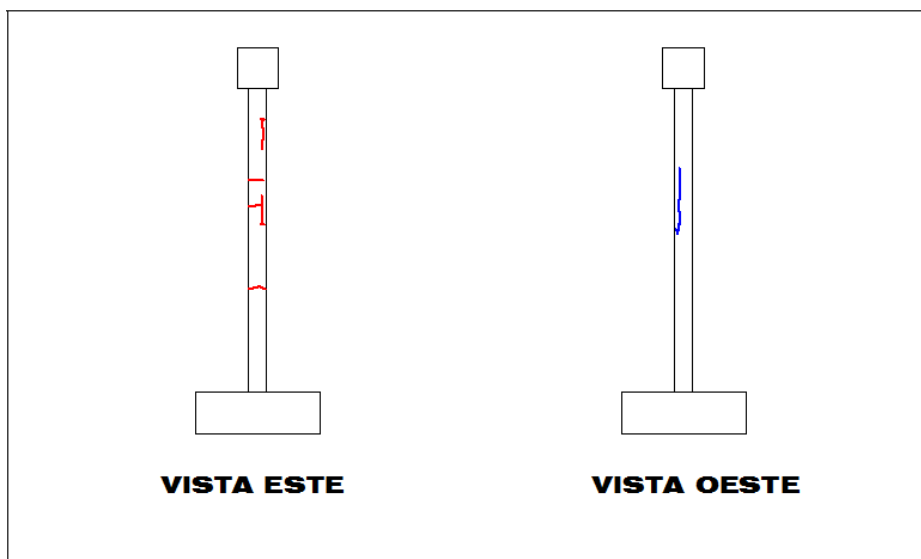
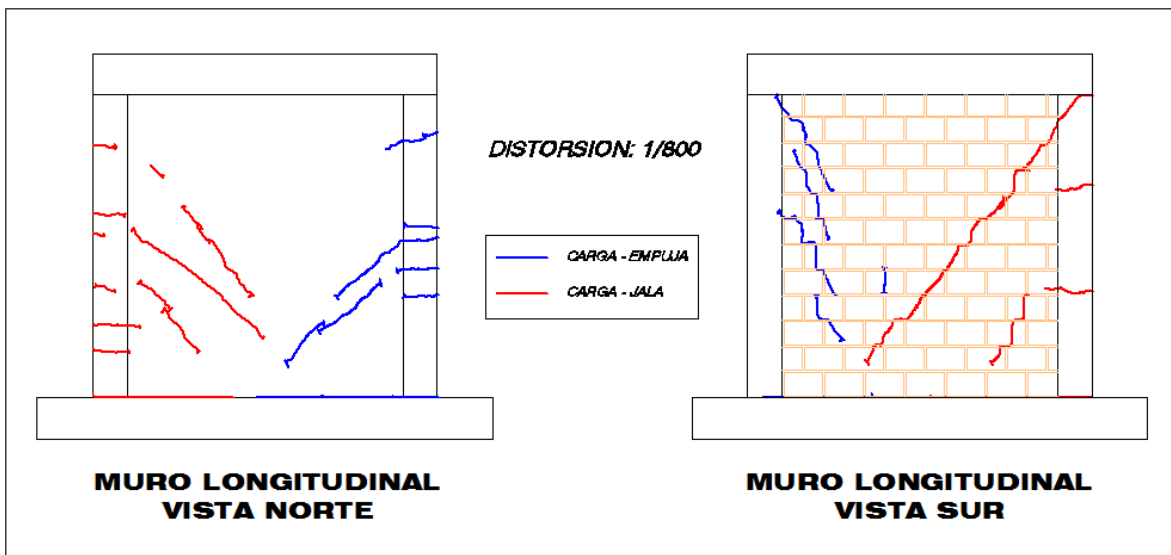


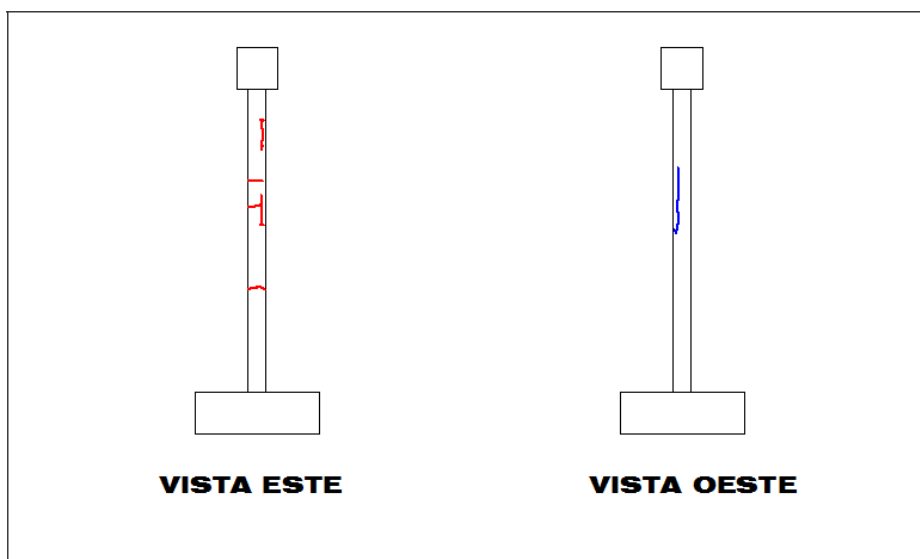
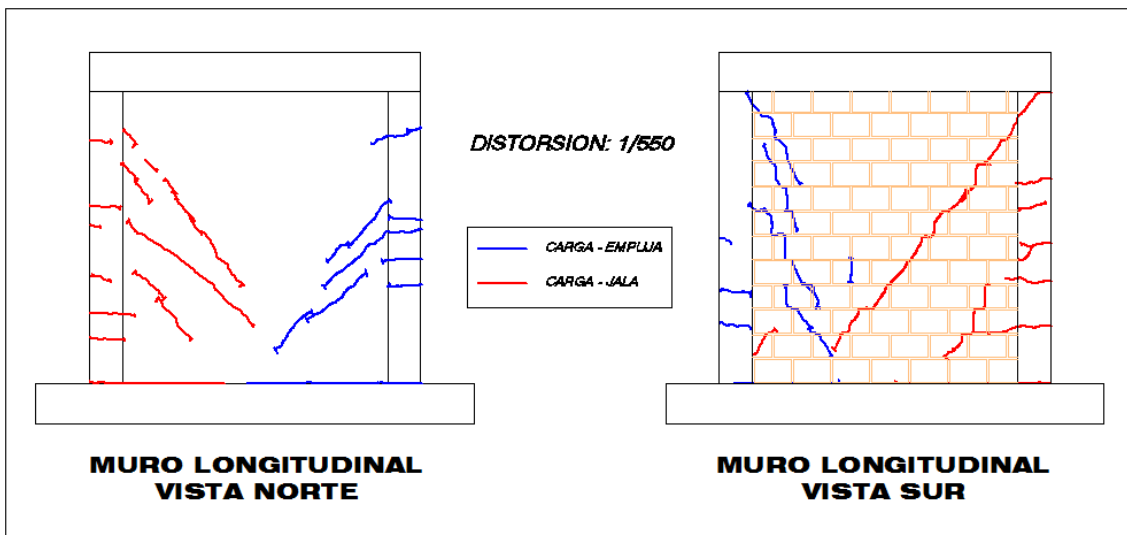


## Mapeo de grietas



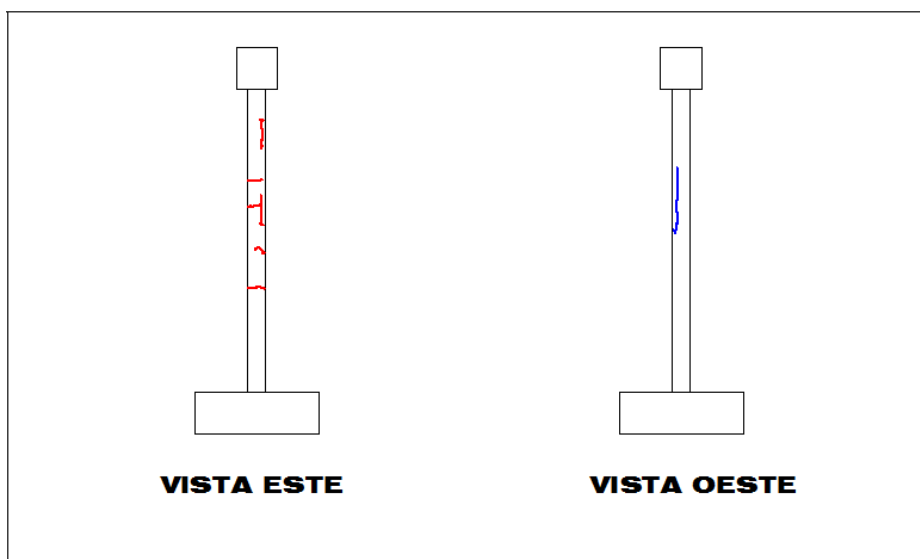
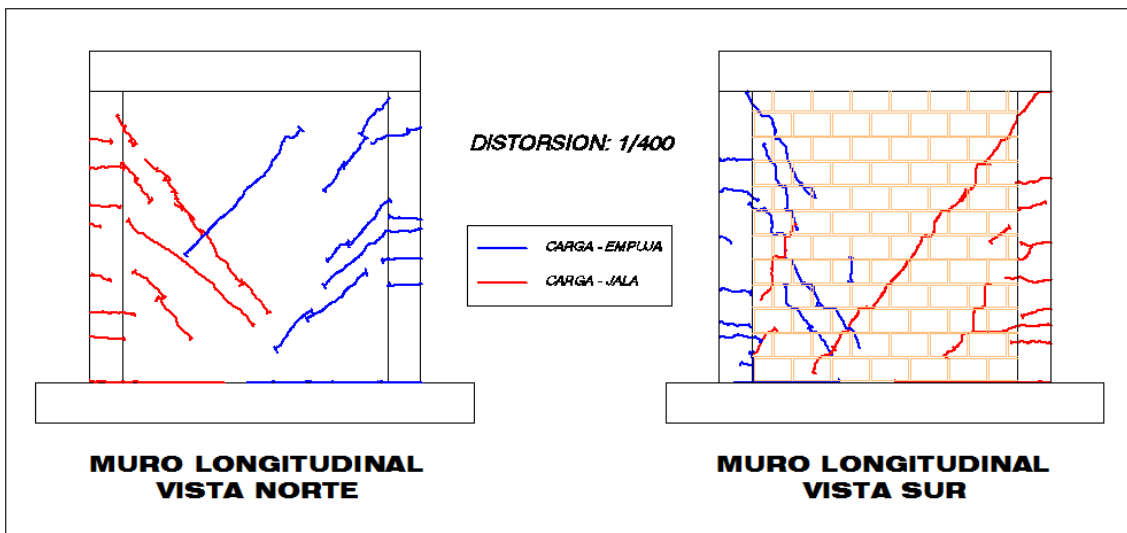








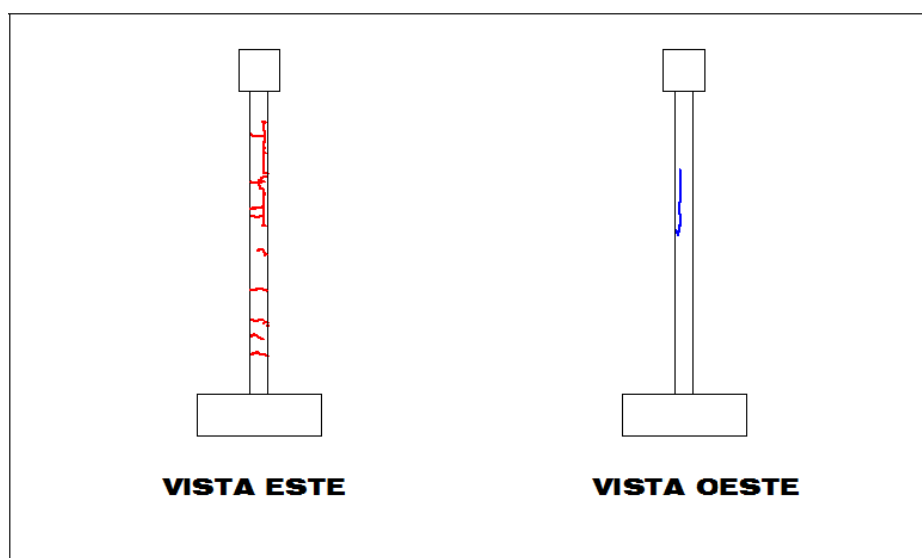
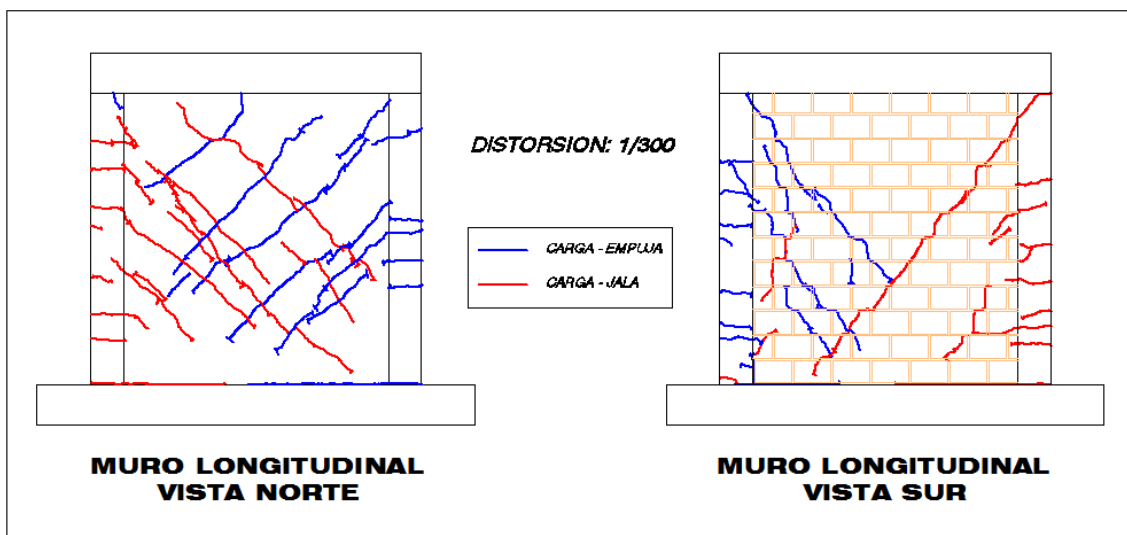
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID





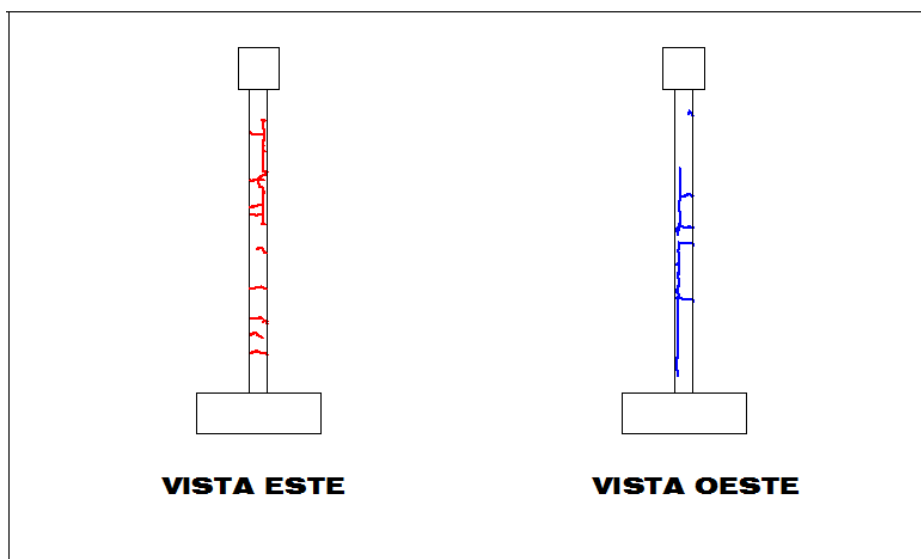
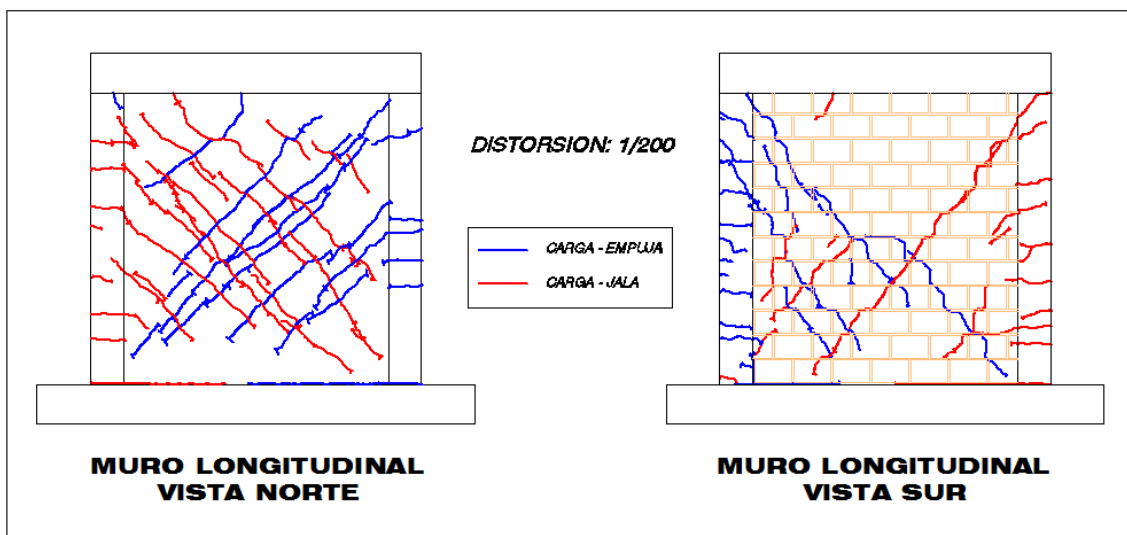


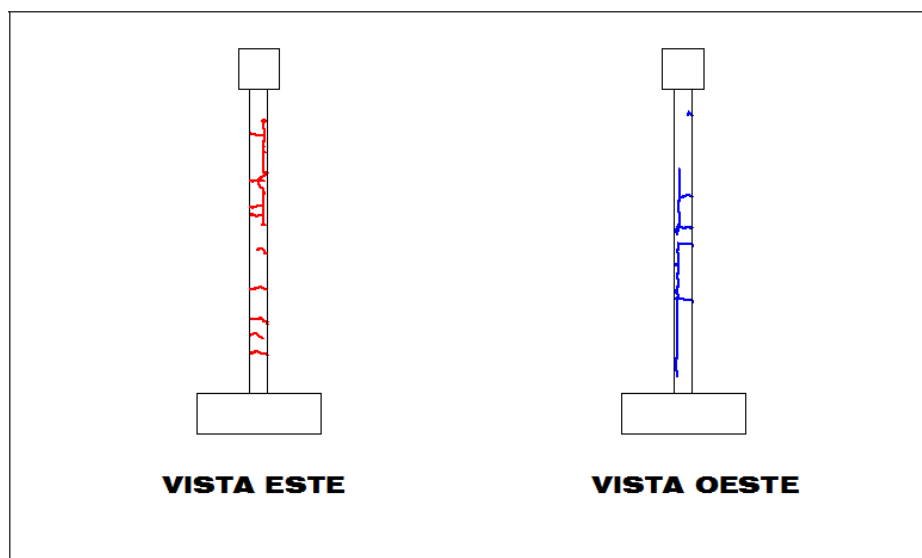
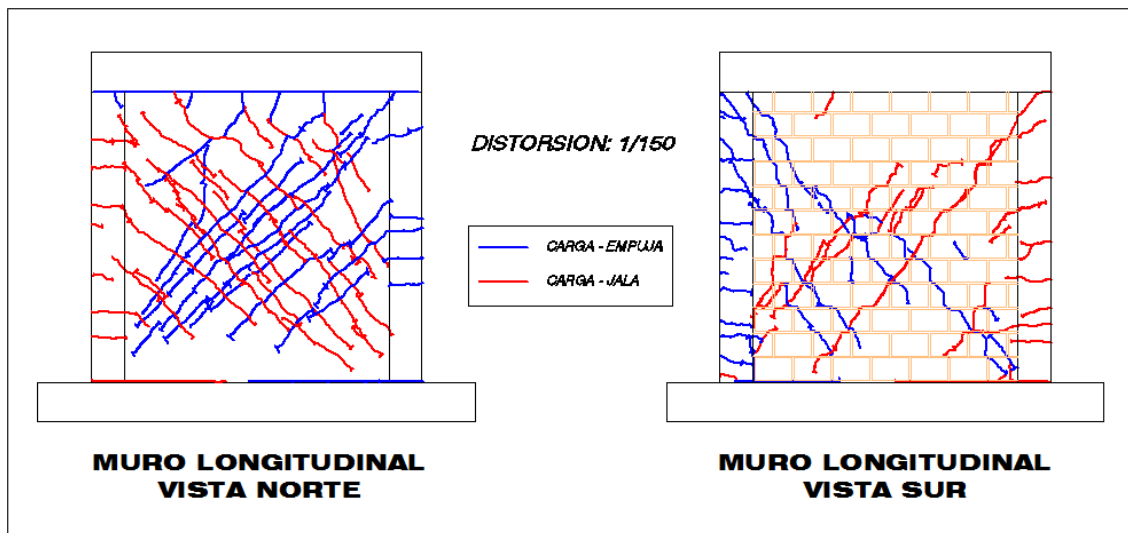
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID







## Panel fotográfico



Foto 1. Formación de las primeras grietas en la base del muro para una distorsión 1/2150.



Foto 2. Grietas diagonal en el centro del muro (cara sur- jalando) para una distorsión 1/1500.



Foto 3. Grietas diagonales en el muro de la cara reforzada para una distorsión 1/1100



Foto 4. Grietas a flexión y separación del recubrimiento para una distorsión 1/1100.



Foto 5. Aumento de grietas diagonales para una distorsión 1/1100.

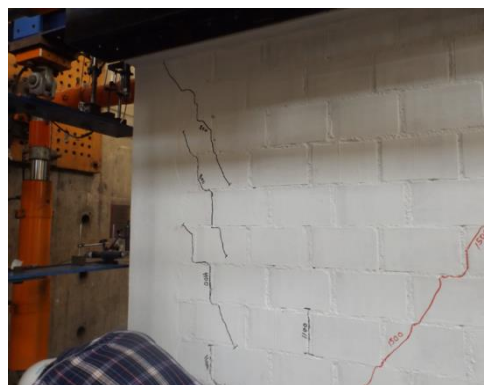


Foto 6. Formación de más grieta diagonales cercanas a las columnas para la distorsión 1/800.





Foto 7. Aparición de más grietas en el muro y columnas (cara con reforzamiento) para la distorsión 1/800.

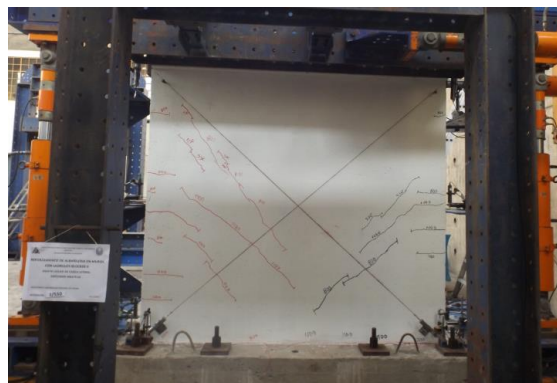


Foto 8. Formación de más grietas diagonales para una distorsión 1/550.

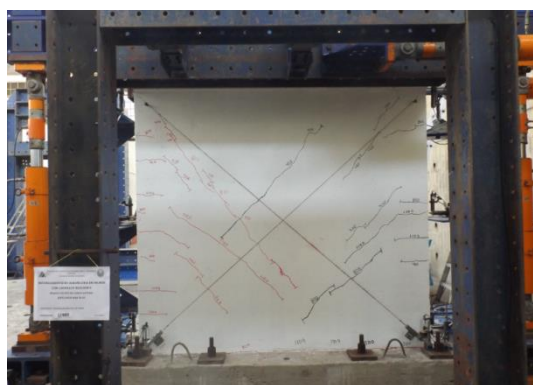


Foto 9. Aumento de grietas diagonales para una distorsión 1/400.



Foto 10. Formación de más grietas diagonales cercanas a las columnas (cara con reforzamiento) para la distorsión 1/300.



Foto 11. Aparición de más grietas diagonales en el muro para la distorsión 1/200.



Foto 12. Estado de agrietamiento final del muro para una distorsión 1/150.

