



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



---

## **PROGRAMA 0068 - REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS POR DESASTRES**

### **PRODUCTO 2 - DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS Y PROTOTIPOS DE EDIFICACIONES SEGURAS**

#### **ESTUDIO - 2**

#### **COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE A CARGAS CÍCLICAS DE MUROS DE ALBAÑILERÍA INFORMAL SIN REFORZAR Y REFORZADA**



---

### **INFORME TÉCNICO**

---

**DICIEMBRE - 2014**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



## ÍNDICE

ÍNDICE .....	1
LISTA DE FIGURAS .....	2
LISTA TABLAS .....	4
1. INTRODUCCIÓN .....	6
1.1. Problemática de las edificaciones en el Perú .....	6
1.2. Características de las viviendas informales .....	7
1.3. Necesidad tecnológica para la mejora de edificaciones .....	9
2. ANTECEDENTES .....	10
2.1. Objetivo del ensayo .....	11
2.2. Descripción del ensayo de carga cíclica .....	11
2.2.1. Sistema de carga.....	11
2.2.2. Sistema de medición .....	12
2.3. Descripción de especímenes .....	13
2.4. Resultados.....	16
2.5. Panel fotográfico.....	25
2.6. Mapeo de grietas .....	38
2.6.1. MART-R .....	38
2.6.2. MTUB-R .....	40
3. CONCLUSIONES.....	42
4. REFERENCIAS.....	44



---

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Viviendas informales o no ingenieriles.....	7
Figura 2. Viviendas informales o no ingenieriles.....	8
Figura 3. Viviendas informales o no ingenieriles.....	9
Figura 4. Protocolo de desplazamientos.....	12
Figura 5. Distribución de sensores (unidades: mm).....	13
Figura 6. Dimensiones del espécimen (unidades: mm) .....	14
Figura 7. Construcción de los especímenes .....	15
Figura 8. Construcción de los especímenes reforzados .....	15
Figura 9. Curva Histerética carga-desplazamiento de los muros sin reforzar .....	16
Figura 10. Curva Histerética carga-desplazamiento de los muros reforzados .....	16
Figura 11. Envoltorio de la curva de carga-desplazamiento.....	21
Figura 12. Envoltorio de la curva de esfuerzo-distorsión.....	21
Figura 13. Curva de rigidez-distorsión .....	22
Figura 14. Comparación de las curvas esfuerzo-distorsión de los especímenes ensayados .....	23
Figura 15. Comparación de la degradación de rigidez de los especímenes ensayados .....	24
Figura 16. Ensayo del muro MTUB.....	25
Figura 17. Inicio del ensayo, distorsión de 1/4167 .....	25
Figura 18. Inicio de las primera grietas en las juntas de albañilería, distorsión 1/1503 .....	26
Figura 19. Grietas diagonales siguiendo el recorrido de las juntas de la albañilería .....	26
Figura 20. Desprendimiento de parte del ladrillo pandereta, falla frágil del ladrillo .....	27
Figura 21. Falla del muro de albañilería .....	27
Figura 22. Grietas de espesor máximo de 8 mm .....	28
Figura 23. Ensayo del muro MART-R.....	28
Figura 24. Inicio del ensayo de MART-R, primera grietas aparecieron con la distorsión de 1/769.....	29
Figura 25. Grietas diagonales.....	29



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Figura 26. Concentración de las grietas cercanas a la base de las columnas de confinamiento.....	30
Figura 27. Grietas dietas diagonales en la cara del muro .....	30
Figura 28. Concentración de grietas en la parte central dela cara del muro .....	31
Figura 29. Aplastamiento en el talón del muro.....	31
Figura 30. Desprendimiento del talón del muro .....	32
Figura 31. Fin del ensayo MART-R .....	32
Figura 32. Inicio del ensayo MTUB-R .....	33
Figura 33. Inicio del agrietamiento diagonal (distorsión = 1/759) MTUB-R .....	33
Figura 34. Agrietamiento diagonal (distorsión = 1/549) MTUB-R .....	34
Figura 35. Agrietamiento diagonal (distorsión = 1/392) MTUB-R .....	34
Figura 36. Agrietamiento diagonal (distorsión = 1/392) MTUB-R .....	35
Figura 37. Agrietamiento diagonal (distorsión = 1/200) MTUB-R .....	35
Figura 38. Fisuración en base (distorsión = 1/200) MTUB-R .....	36
Figura 39. Estado final (distorsión = 1/154) MTUB-R.....	36
Figura 40. Estado final daño del talón (distorsión = 1/154) MTUB-R .....	37
Figura 41. Estado final daño del talón (distorsión = 1/154) MTUB-R .....	37



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



## LISTA TABLAS

Tabla 1. Distorsiones objetivo.....	12
Tabla 2. Características de los especímenes .....	13
Tabla 3. Resultados del ensayo de carga cíclica del espécimen MART .....	17
Tabla 4. Resultados del ensayo de carga cíclica del espécimen MTUB .....	18
Tabla 5. Resultados del ensayo de carga cíclica del espécimen MART-R.....	19
Tabla 6. Resultados del ensayo de carga cíclica del espécimen MTUB-R.....	20



## COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE A CARGAS CÍCLICAS DE MUROS DE ALBAÑILERÍA INFORMAL SIN REFORZAR Y REFORZADA

**Resumen:** En el país existe una normatividad dada por el estado peruano a través del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, que comprende en el caso de las edificaciones, los requerimientos mínimos que deben cumplir las estructuras para dar seguridad a sus ocupantes. Sin embargo, la falta de fiscalización ha hecho que la informalidad en la construcción de las edificaciones llegue al 70%. Por consiguiente, se debe proveer de técnicas de reforzamiento para los sectores menos favorecidos económicamente de alternativas de reforzamiento de bajo costo y fácil construcción, que no requieran de mano de obra calificada y equipos especiales.

En esta investigación, se compara el comportamiento de muros de albañilería sin reforzamiento y con reforzamiento frente a cargas cíclicas que simulan las acciones de carga y descarga de un sismo. La técnica de reforzamiento seleccionada consiste en adherir una capa de mortero de aproximadamente 25 mm a cada lado del muro con una malla electrosoldada como refuerzo, la cual está fijada al muro de albañilería mediante alambre negro.

Con la finalidad de comparar el comportamiento frente a cargas laterales de muros de albañilería confinada, se construyeron especímenes representativos de las calidades de albañilería que actualmente se comercializan en los conos de la ciudad (Este, Norte y Sur) considerando dos condiciones:

- Muros sin reforzamiento, al que se denominarán muros originales. Cada muro se construirá con unidades artesanales sólidas y unidades tubulares (pandereta), siendo un total de dos especímenes.
- Muros con reforzamiento, al que se denominarán muros reforzados. Cada muro se construirá con unidades artesanales sólidas y unidades tubulares (pandereta) y se mejorará con la misma técnica de reforzamiento.

Asimismo se hará uso de la base de datos de ensayos cíclicos de muros de albañilería del laboratorio de estructuras de CISMID, para contrastar resultados con aquellos casos que no fueron incluidos en este ciclo de ensayos.



## **1. INTRODUCCIÓN**

En el Marco del Programa 068, Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres – PREVAED, la Universidad Nacional de Ingeniería, a través de su Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – CISMID de la Facultad de Ingeniería Civil, desarrolla el producto Desarrollo de Tecnologías Constructivas y Prototipos de Edificaciones Seguras, que complementa como contraparte Peruana al Proyecto Fortalecimiento de Tecnologías para Terremoto y Tsunamis – SATREPS, que se viene desarrollando con la cooperación técnica a través de la donación de equipamiento del Gobierno del Japón, a través de nuestra contraparte la Universidad de Chiba. En el marco de esta investigación conjunta, se desarrolla la actividad de Desarrollo de Tecnologías Constructivas y Prototipos de Edificaciones Seguras. El presente informe muestra los informes de las actividades desarrolladas durante el año 2014 en lo referente al estudio de comparación del comportamiento frente a cargas cíclicas de muros de albañilería informal sin reforzar y reforzada.

### **1.1. Problemática de las edificaciones en el Perú**

En las ciudades del país existe la normatividad dada por el estado peruano a través del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, que comprende en el caso de las edificaciones, los requerimientos mínimos que deben cumplir las estructuras para dar seguridad a sus ocupantes. Esta regulación debe ser administrada y fiscalizada por los gobiernos locales (Municipalidades, Gobiernos Regionales) quienes deben hacer cumplir la ley en sus ciudades. Lamentablemente, la falta de gestión y buen manejo de estos últimos, han hecho que la informalidad en la construcción de las edificaciones llegue al 70% de las mismas a las que denominaremos edificaciones informales o edificaciones no ingenieriles, teniéndose únicamente un 30% de edificaciones que podemos catalogar como ingenieriles.

Las edificaciones informales se concentran más en la periferia de las ciudades desarrollando conos de expansión circundantes o a lo largo de las ciudades. Estos conos están poblados por ciudadanos emprendedores que han generado un proceso de migración, en muchos casos del campo a la ciudad, para establecerse en estas áreas periféricas, donde construyen informalmente sin supervisión del gobierno local y sin dirección técnica alguna. Esto se agudiza cuando los asentamientos humanos se ubican en zonas no aptas para construir, como son:

- Torrenteras o causes de huaycos.
- Zonas próximas al océano sobre suelos con alto potencial de licuación.
- Pendientes pronunciadas con materiales arenosos e inestables.



Figura 1. Viviendas informales o no ingenieriles

## 1.2. Características de las viviendas informales

La informalidad en los asentamientos humanos de acuerdo a la experiencia de CISMID en la inspección, evaluación y análisis de edificaciones puede resumirse en cuatro tipologías que van relacionadas con la consolidación del asentamiento:

- a) Viviendas de Madera sobre pircas: edificaciones generalmente habitadas por migrantes que recién se instalan en el asentamiento, generalmente en laderas inestables o sobre cerros.
- b) Viviendas de Mampostería Artesanal con ladrillo tubular sin soleras y techo liviano y taludes inestables: edificaciones que han evolucionado en el tiempo donde los muros se han construido pero aún no se cuenta con un techo y un amarre, utilizándose calaminas o planchas de cubierta como techo.
- c) Viviendas de Mampostería Artesanal con ladrillo tubular y techo aligerado: edificaciones en zonas consolidadas con algunas deficiencias constructivas por carecer de asesoría ingenieril.
- d) Aporticado con muros de relleno y losas aligeradas: sistemas que aparecen en zonas emergentes consolidadas, muchos de ellos destinados a aulas de colegios autoconstruidas por las asociaciones de padres, o centros asistenciales o hostales u restaurantes.

En nuestro estudio tomamos énfasis en las viviendas de mampostería con ladrillo tubular (pandereta) y ladrillo sólido artesanal.

A la izquierda de la Figura 2 se muestran una vivienda construida con dos tipos de ladrillos, en los dos primeros niveles se utilizó ladrillo sólido artesanal, y en el nivel superior ladrillo pandereta. A la derecha de la Figura 2 se muestra una vivienda híbrida, compuesto por un sistema estructural de muros de mampostería con ladrillos sólido artesanal y ladrillos pandereta, y un sistema de pórticos de concreto armado en el nivel intermedio; como puede advertirse en esta vista hay ausencia de alineamiento en los elementos verticales, produciendo una irregularidad en altura que podría resultar en una falla de piso blando.



Figura 2. Viviendas informales o no ingenieriles

En la Figura 3, lado izquierdo, se muestra el fondo de un colegio, cuya estructura ha sido ampliada de un nivel a tres niveles; puede advertirse la discontinuidad de elementos de refuerzo en el vértice formado por ambos muros diagonales; no existiendo elementos de confinamiento continuo por lo que se crea una zona frágil en una estructura esencial. Asimismo, esto empeora cuando se combinan unidades de mampostería como el ladrillo sólido artesanal y el ladrillo pandera.

En la Figura 3, lado derecho, se observa una estructura irregular en planta y altura, construida con ladrillo pandereta en su integridad con muros exteriores sobre losas en voladizo sin confinamiento alguno; lo que podría ocasionar una falla por volteo de los muros y constituir una amenaza para los transeúntes, y sus mismos ocupantes al momento de escape durante un evento sísmico.



Figura 3. Viviendas informales o no ingenieriles

### 1.3. Necesidad tecnológica para la mejora de edificaciones

Presentada la problemática, la mejora de las edificaciones podrá lograrse a través del estudio de la capacidad resistente a sismos de los componentes principales de edificaciones de mampostería. En este caso muros de ladrillos sólidos artesanales y ladrillos pandereta.

La presente investigación plantea un sistema de reforzamiento para muros de mampostería confinada, utilizando unidades sólidas artesanales y tubulares (pandereta). Para esto, se realiza ensayos con el propósito de conocer el comportamiento estructural de los muros con reforzamiento frente a cargas cíclicas que simulan la acción de un sismo.



## **2. ANTECEDENTES**

En el 2009 se desarrolló una investigación con la finalidad de conocer el comportamiento de una vivienda rehabilitada luego de ser afectada por un sismo severo (Zavala et al., 2009). El espécimen ensayado consistió en una vivienda de dos niveles con mampostería confinada, conformada por unidades sólidas artesanales, a la que se le aplicó una carga horizontal cíclica, producto de un ensayo cíclico en el mismo espécimen realizado el 2003, en el cual se alcanzó su máxima capacidad correspondiente a un nivel de distorsión de 1/65 (Zavala et al., 2003).

En el ensayo de la vivienda rehabilitada del 2009, se empleó el mismo componente de reforzamiento aplicado en la presente investigación, el cual consiste en una malla electrosoldada fijada con alambre negro y embebida en un mortero de cemento-arena con una proporción de 1:4. En la investigación de la vivienda rehabilitada se aplicó una técnica distinta, la cual consiste en la reforzar parcialmente el muro en una de las caras del muro a lo largo de la grieta; con lo cual se pudo recuperar la capacidad inicial para un nivel de distorsión mucho menor (Zavala et al., 2009).

En la presente investigación, la técnica de reforzamiento consiste en adherir una capa de mortero de aproximadamente 25 mm a cada lado del muro con una malla electrosoldada como refuerzo, la cual está fijada a todo muro de albañilería incluyendo su confinamiento mediante alambre negro.

En esta investigación, se compara el comportamiento de muros de albañilería sin reforzamiento y con reforzamiento frente a cargas cíclicas que simulan las acciones de carga y descarga de un sismo.

Con la finalidad de comparar el comportamiento frente a cargas laterales de muros de albañilería confinada, se construyeron especímenes representativos de las calidades de albañilería que actualmente se comercializan en los conos de la ciudad (Este, Norte y Sur) considerando dos condiciones:

- Muros sin reforzamiento, al que se denominarán muros originales. Cada muro se construirá con unidades artesanales sólidas y unidades tubulares (pandereta), siendo un total de dos especímenes.
- Muros con reforzamiento, al que se denominarán muros reforzados. Cada muro se construirá con unidades artesanales sólidas y unidades tubulares (pandereta) y se mejorará con la misma técnica de reforzamiento.

Asimismo se hará uso de la base de datos de ensayos cíclicos de muros de albañilería del laboratorio de estructuras de CISMID, para contrastar resultados con aquellos casos que no fueron incluidos en este ciclo de ensayos.



## **2.1. Objetivo del ensayo**

Este ensayo se realiza con el propósito de conocer el comportamiento estructural de los muros de albañilería confinada con unidades sólidas artesanales y tubulares con reforzamiento frente a cargas cíclicas que simulan la acción de un sismo.

## **2.2. Descripción del ensayo de carga cíclica**

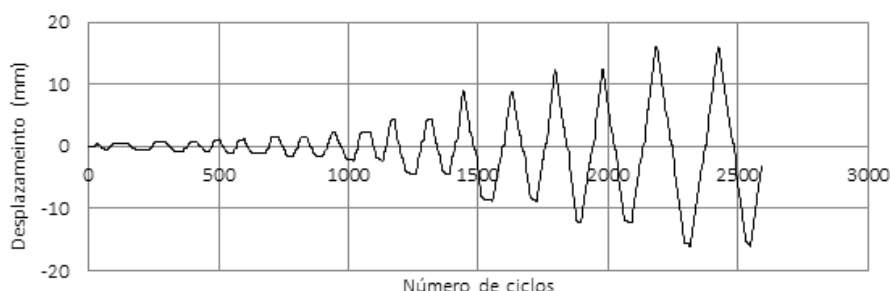
Con la finalidad de conocer el comportamiento que tiene el muro frente a acciones de carga cíclica lateral, debe utilizarse un sistema de carga, un sistema de instrumentación y un pórtico de acero que rodea al espécimen a manera de pórtico de reacción de un actuador vertical que aplica la carga de confinamiento. El muro de reacción servirá como apoyo para el actuador horizontal que aplica la carga cíclica lateral.

### **2.2.1. Sistema de carga**

El sistema de carga consiste en cuatro actuadores estáticos manufacturados por RIKEN; cada actuador tiene una capacidad de aplicación de carga de 50 toneladas con una amplitud del embolo (stroke) de  $\pm 250$  mm. Dos de estos actuadores serán los responsables de la aplicación de la carga cíclica lateral, mientras los otros dos actuadores serán los responsables de mantener una carga axial de 20 toneladas que simule la presencia de cuatro pisos sobre el muro a ensayar. Durante el desarrollo del ensayo, esta carga axial se mantendrá constante.

La carga axial es aplicada con un actuador electrohidráulico, bajo control de carga, usando una carga vertical de 20 toneladas que se distribuye horizontalmente mediante una viga de acero soportada por la viga superior de concreto del espécimen. Confinado el espécimen por la carga axial, se somete al muro a la acción de cargas laterales aplicadas cíclicamente a través de dos actuadores electrohidráulicos de 250mm de carrera y actuando bajo un rango de carga total de 100 toneladas.

La carga horizontal es aplicada mediante un control de desplazamientos que sigue el protocolo de desplazamiento mostrado en la Figura 4.



**Figura 4. Protocolo de desplazamientos**

Las amplitudes de cada ciclo de carga y descarga equivalen a distorsiones objetivo, como se detallada en Tabla 1.

**Tabla 1. Distorsiones objetivo**

Ciclo	Distorsión
1	1/4167
2	1/2941
3	1/2105
4	1/1503
5	1/1075
6	1/549
7	1/280
8	1/200
9	1/154
10	1/118

### **2.2.2. Sistema de medición**

La fuerza, deformaciones unitarias y desplazamientos deben ser medidas durante la ejecución del ensayo. Para medir las demandas producidas por el movimiento, se utilizan sensores tales como celdas de carga, medidores de deformación unitaria (strain gauges), transductores de deformación (LVDT). Los sensores de deformación son ubicados en diversos puntos del muro. Existen sensores que miden deformaciones diagonales, verticales y horizontales, para poder conocer los desplazamientos en varias direcciones. Para medir las deformaciones unitarias en las barras se pegan strain gauges a estas con el fin de monitorear la ocurrencia de la fluencia del refuerzo. Todos estos sensores se conectan a un sistema de escaneo universal Tokyo Sokki TDS 530 data logger.

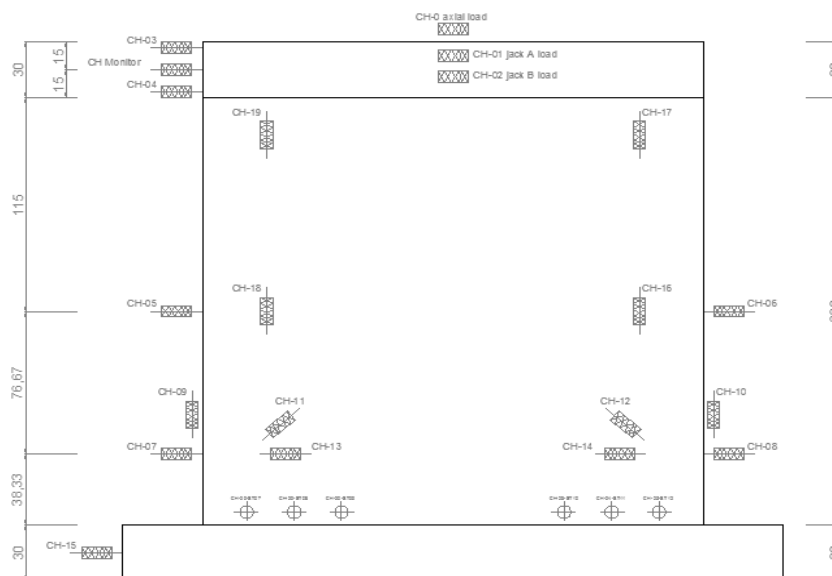


Figura 5. Distribución de sensores (unidades: mm)

El diagrama de sensores es mostrado en la Figura 5, donde se muestran los sensores de desplazamiento y los medidores de deformación unitaria (strain-gauges). Los strain gauges sirven para investigar el nivel de deformación unitaria y la fluencia en el refuerzo en las esquinas de los elementos de confinamiento.

### 2.3. Descripción de especímenes

En la Tabla 2 se muestra los 4 muros de albañilería confinada construidos para ser ensayados.

Tabla 2. Características de los especímenes

Código	Descripción	Dimensiones (mm)
MART	Muro de Ladrillo Artesanal sin reforzamiento	2400x2400x117
MTUB	Muro de Ladrillo Tubular sin reforzamiento	2400x2400x111
MART-R	Muro de Ladrillo Artesanal con reforzamiento	2400x2400x117 (*)
MTUB-R	Muro de Ladrillo Tubular con reforzamiento	2400x2400x111 (*)

(\*) Capa de mortero con malla electrosoldada de 23 mm a cada lado

Todos los especímenes tienen una longitud de 2400 mm, una altura de 2200 mm y un espesor de aproximadamente 120 mm. Sobre el muro se coloca una viga de confinamiento de 300 mm de ancho y 300 mm de alto, cuyo refuerzo longitudinal consiste en 4 varillas #4 y un refuerzo transversal de estribos #2 espaciados cada 250 mm. Los muros se confinaron verticalmente en las esquinas con elementos columna de 200 mm de largo y 120 mm de ancho con un refuerzo longitudinal que consiste en 4 varillas #4 y un refuerzo transversal de estribos #2 espaciados cada 250 mm. En la parte inferior los muros se confinan con un cimiento de 900 mm de ancho y 300 mm de alto, donde se anclan las columnas de confinamiento. La Tabla 2 muestra las características de los especímenes ensayados.

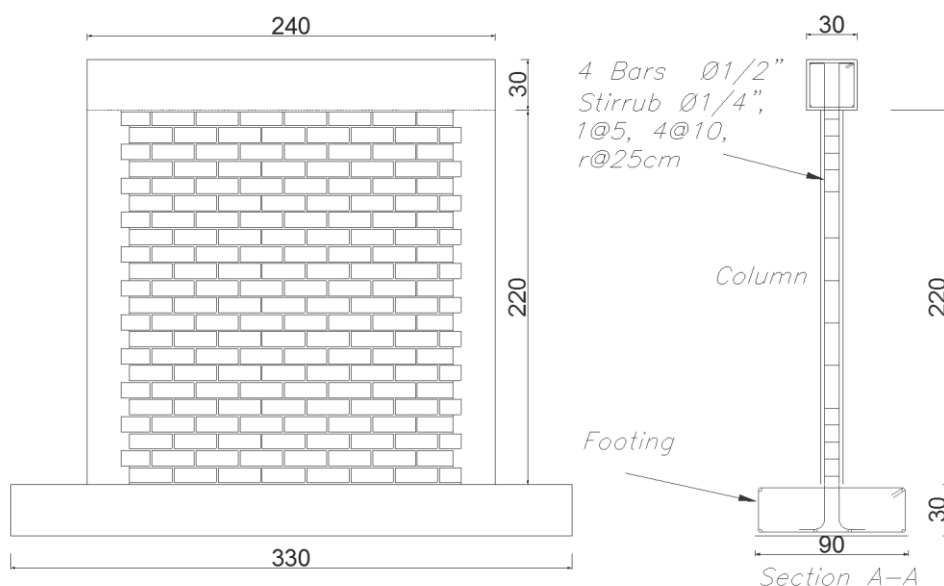


Figura 6. Dimensiones del espécimen (unidades: mm)

La construcción de cada uno de los especímenes se realizó en dos jornadas de trabajo para el asentado del ladrillo, utilizándose un mortero con relación cemento – arena de 1:4. En el primer día se construye hasta la mitad de la altura del muro y el segundo día se complementa la altura restante. Posteriormente se realiza el vaciado de las columnas y finalmente el vaciado de la viga. En la Figura 7 se muestra el proceso constructivo de los muros.



Figura 7. Construcción de los especímenes



Figura 8. Construcción de los especímenes reforzados

El proceso de reforzamiento es ilustrado en la Figura 8, donde al muro construido se le hacen perforaciones con taladro de una profundidad de 10 cm, en la cimentación y en la viga de confinamiento, con la finalidad de colocar bastones de transferencia con varillas grado 60 de 6 mm sobresaliendo 15 cm, que son ancladas utilizando una resina epóxica (SoudaFix-31 plus). Asimismo, en el muro se hicieron perforaciones cada 20 cm. en ambas direcciones a fin de pasar alambre No.16 de lado a lado y

atortolar un panel de malla electrosoldada 10 cm. x 10 cm. de cocada y 4.2 mm de diámetro de nombre comercial Q-139, cubriendo la totalidad del muro incluidos las caras de los elementos en el plano del muro.

## 2.4. Resultados

A continuación se muestra la curva de carga-desplazamiento del ensayo cíclico para cada espécimen. En la Figura 9 y Figura 10 se muestran las curvas histeréticas de carga-desplazamiento de los muros sin reforzar y reforzados, respectivamente.

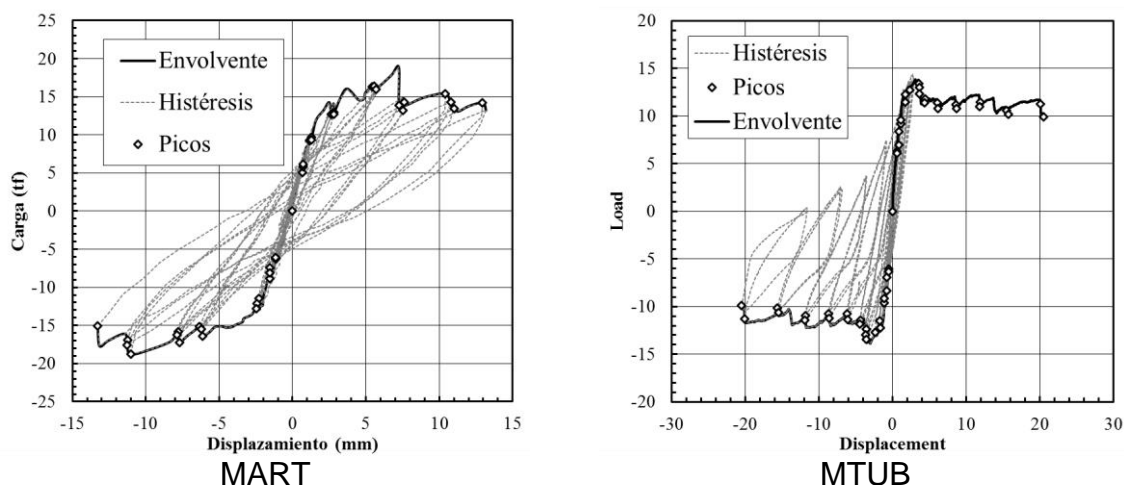


Figura 9. Curva histerética carga-desplazamiento de los muros sin reforzar

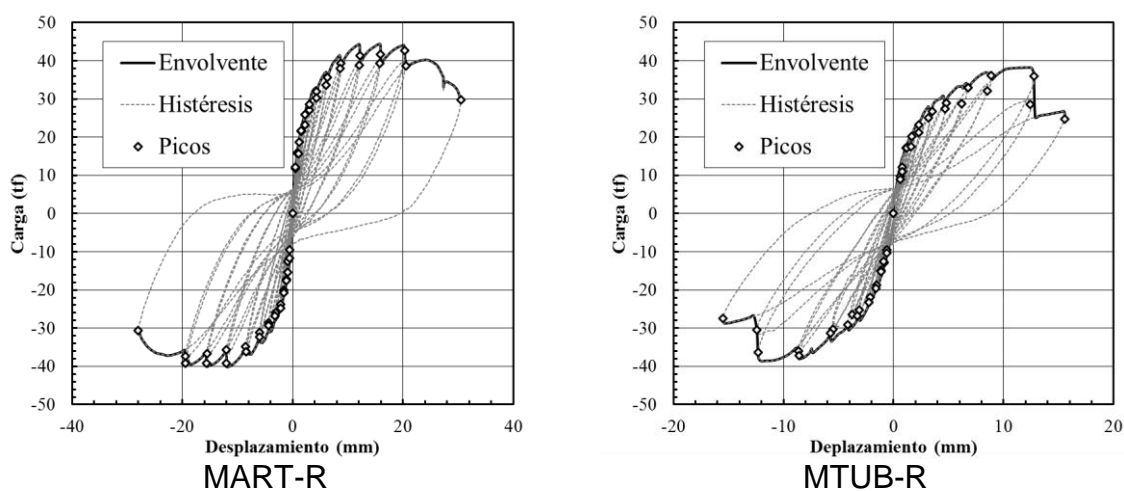


Figura 10. Curva Histerética carga-desplazamiento de los muros reforzados



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



En la Tabla 3 se muestran los puntos máximos para cada ciclo, en carga y descarga, del ensayo cíclico del muro de albañilería con unidades sólidas artesanales sin reforzamiento (MART).

Tabla 3. Resultados del ensayo de carga cíclica del espécimen MART

Ciclo	Desplazamiento	Carga (jalando)	Desplazamiento	Carga (empujando)
	mm	tf	mm	tf
1	-1.138	-6.069	0.656	5.029
2	-1.157	-6.271	0.723	5.830
3	-1.126	-6.183	0.699	6.153
4	-1.547	-8.112	1.273	9.703
5	-1.541	-8.851	1.163	9.281
6	-1.541	-7.417	1.297	9.384
7	-2.451	-12.819	2.658	12.669
8	-2.408	-12.112	2.829	12.933
9	-2.274	-11.460	2.798	12.741
10	-6.119	-16.389	5.411	16.337
11	-6.210	-15.495	5.582	16.373
12	-6.339	-15.141	5.673	15.960
13	-7.706	-17.226	7.248	13.889
14	-7.864	-16.223	7.541	13.232
15	-7.791	-15.806	7.626	14.294
16	-11.020	-18.796	10.422	15.413
17	-11.295	-17.596	10.788	14.294
18	-11.234	-16.877	10.995	13.483
19	-13.272	-15.040	12.955	14.214

En la Tabla 4 se muestran los puntos máximos para cada ciclo, en carga y descarga, del ensayo cíclico del muro de albañilería con unidades tubulares (pandereta) sin reforzamiento (MTUB).



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



Tabla 4. Resultados del ensayo de carga cíclica del espécimen MTUB

Ciclo	Desplazamiento	Carga (jalando)	Desplazamiento	Carga (empujando)
	mm	tf	mm	tf
1	-0.570	-6.297	0.570	4.614
2	-0.570	-6.067	0.570	6.985
3	-0.830	-8.361	0.820	7.367
4	-0.820	-6.934	0.800	8.820
5	-1.140	-9.152	1.120	9.661
6	-1.130	-9.610	1.110	11.038
7	-1.700	-12.236	1.630	12.389
8	-1.710	-11.471	1.600	12.160
9	-2.340	-12.721	2.220	13.179
10	-3.560	-13.409	3.560	13.409
11	-3.660	-12.975	3.660	12.975
12	-3.610	-12.338	3.610	12.338
13	-4.400	-11.828	4.400	11.828
14	-4.340	-11.420	4.340	11.420
15	-6.110	-11.369	6.110	11.369
16	-6.180	-10.783	6.180	10.783
17	-8.590	-11.216	8.590	11.216
18	-8.660	-10.783	8.660	10.783
19	-11.940	-11.446	11.940	11.446
20	-11.860	-10.962	11.860	10.962
21	-15.450	-10.605	15.450	10.605
22	-15.690	-10.171	15.690	10.171
23	-20.110	-11.267	20.110	11.267
24	-20.520	-9.891	20.520	9.891

En la Tabla 5 se muestran los puntos máximos para cada ciclo, en carga y descarga, del ensayo cíclico del muro de albañilería con unidades sólidas artesanales con reforzamiento (MART-R).



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**

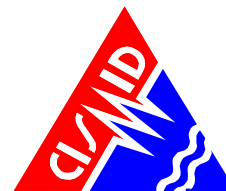


Tabla 5. Resultados del ensayo de carga cíclica del espécimen MART-R

Ciclo	Desplazamiento	Carga (jalando)	Desplazamiento	Carga (empujando)
	mm	tf	mm	tf
1	-0.580	-11.650	0.550	11.752
2	-0.580	-9.483	0.550	12.083
3	-0.870	-15.397	0.810	15.882
4	-0.840	-12.593	0.820	15.907
5	-1.120	-17.488	1.160	18.711
6	-1.130	-17.182	1.130	15.678
7	-1.580	-20.750	1.540	21.541
8	-1.570	-20.113	1.570	21.668
9	-2.220	-24.702	2.200	25.976
10	-2.210	-23.733	2.210	23.223
11	-3.160	-26.741	3.040	27.098
12	-3.100	-25.900	3.070	28.577
13	-4.360	-29.214	4.330	31.992
14	-4.350	-28.551	4.320	30.284
15	-6.020	-32.349	6.290	35.689
16	-5.990	-31.075	6.110	33.675
17	-8.440	-36.173	8.710	39.334
18	-8.500	-34.746	8.670	37.932
19	-11.960	-39.156	12.190	41.348
20	-11.990	-35.689	12.130	38.875
21	-15.580	-39.130	15.970	41.705
22	-15.450	-36.657	15.800	39.360
23	-19.440	-39.232	20.290	42.699
24	-19.470	-37.320	20.540	38.595
25	-28.050	-30.692	30.510	29.698

En la Tabla 6 se muestran los puntos máximos para cada ciclo, en carga y descarga, del ensayo cíclico del muro de albañilería con unidades tubulares (pandereta) con reforzamiento (MTUB-R).



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

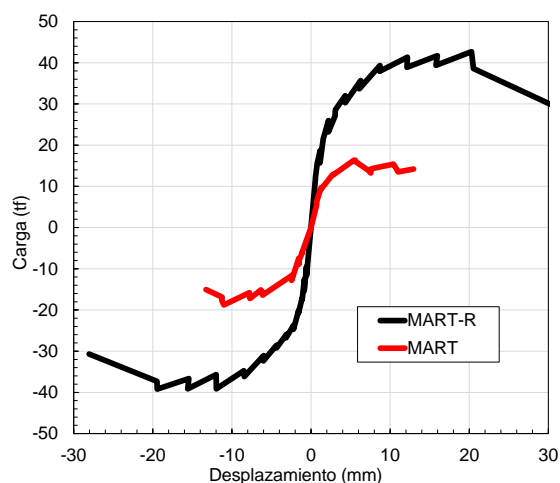
**CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



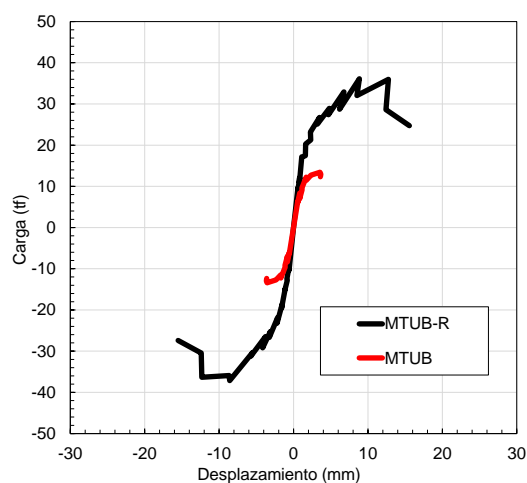
Tabla 6. Resultados del ensayo de carga cíclica del espécimen MTUB-R

Ciclo	Desplazamiento	Carga (jalando)	Desplazamiento	Carga (empujando)
	mm	tf	mm	tf
1	-0.600	-10.401	0.600	9.738
2	-0.600	-9.559	0.590	8.897
3	-0.890	-12.466	0.810	12.083
4	-0.830	-12.771	0.800	10.911
5	-1.160	-15.193	1.110	17.156
6	-1.120	-14.913	1.200	17.182
7	-1.610	-19.552	1.600	17.462
8	-1.540	-18.660	1.640	20.266
9	-2.220	-23.198	2.310	21.260
10	-2.130	-21.847	2.280	23.172
11	-3.260	-26.690	3.500	26.716
12	-3.130	-25.263	3.200	25.110
13	-4.150	-29.188	4.810	28.933
14	-3.770	-26.461	4.690	27.404
15	-5.740	-31.228	6.780	32.936
16	-5.510	-30.361	6.190	28.729
17	-8.590	-37.142	8.850	36.122
18	-8.660	-35.918	8.520	32.043
19	-12.330	-36.352	12.750	35.969
20	-12.410	-30.463	12.430	28.628
21	-15.520	-27.404	15.580	24.727

En la Figura 11 y Figura 12 se muestra la envolvente de las curvas histeréticas obtenidas durante el ensayo de cargas cíclicas en términos de la carga-desplazamiento y el esfuerzo-distorsión, respectivamente.

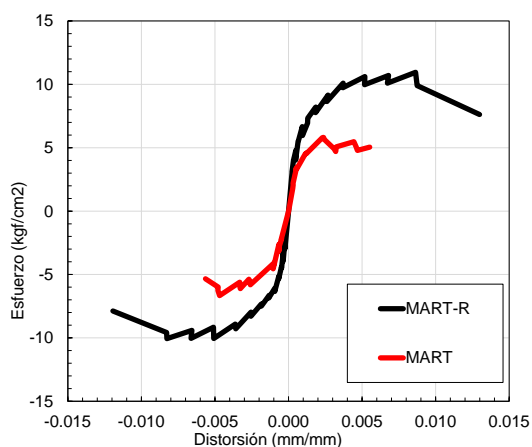


a) Sólido artesanal

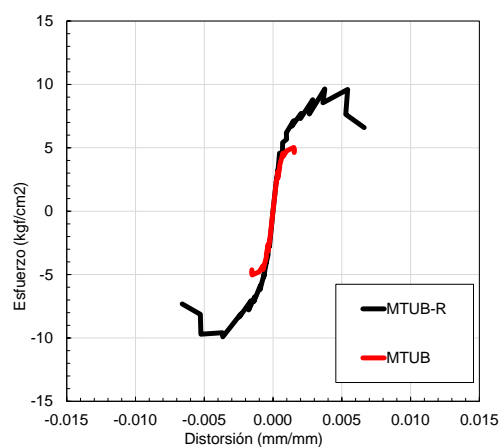


b) Tubular (pandereta)

Figura 11. Envolvente de la curva de carga-desplazamiento



a) Sólido artesanal



b) Tubular (pandereta)

Figura 12. Envolvente de la curva de esfuerzo-distorsión

El desplazamiento positivo significa la carga del espécimen (empujando), mientras que el desplazamiento negativo significa la descarga (jalando). El esfuerzo es la relación entre la carga y el área de la sección bruta, y la distorsión es la relación entre el desplazamiento superior al nivel del eje de la viga de confinamiento y la altura del muro.

En la Figura 12 se observa que el esfuerzo máximo para el muro con unidades sólidas artesanales (MART) y unidades tubulares (MTUB) es 6.7 kgf/cm<sup>2</sup> y 5.3 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Cuando los muros son reforzados con la técnica propuesta la resistencia se incrementa en 10.9 kgf/cm<sup>2</sup> y 10.3 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Esto

representa un incremento del 60% y 90% cuando los muros de albañilería confinada con unidades sólidas artesanales y unidades tubulares son reforzados con la técnica propuesta, respectivamente.

A medida que el espécimen comienza a agrietarse durante los ciclos de carga y descarga, pierde rigidez (capacidad), esta disminución de la capacidad se puede cuantificar mediante la curva de degradación de rigidez (curva de rigidez-distorsión), la cual se muestra en las siguientes figuras:

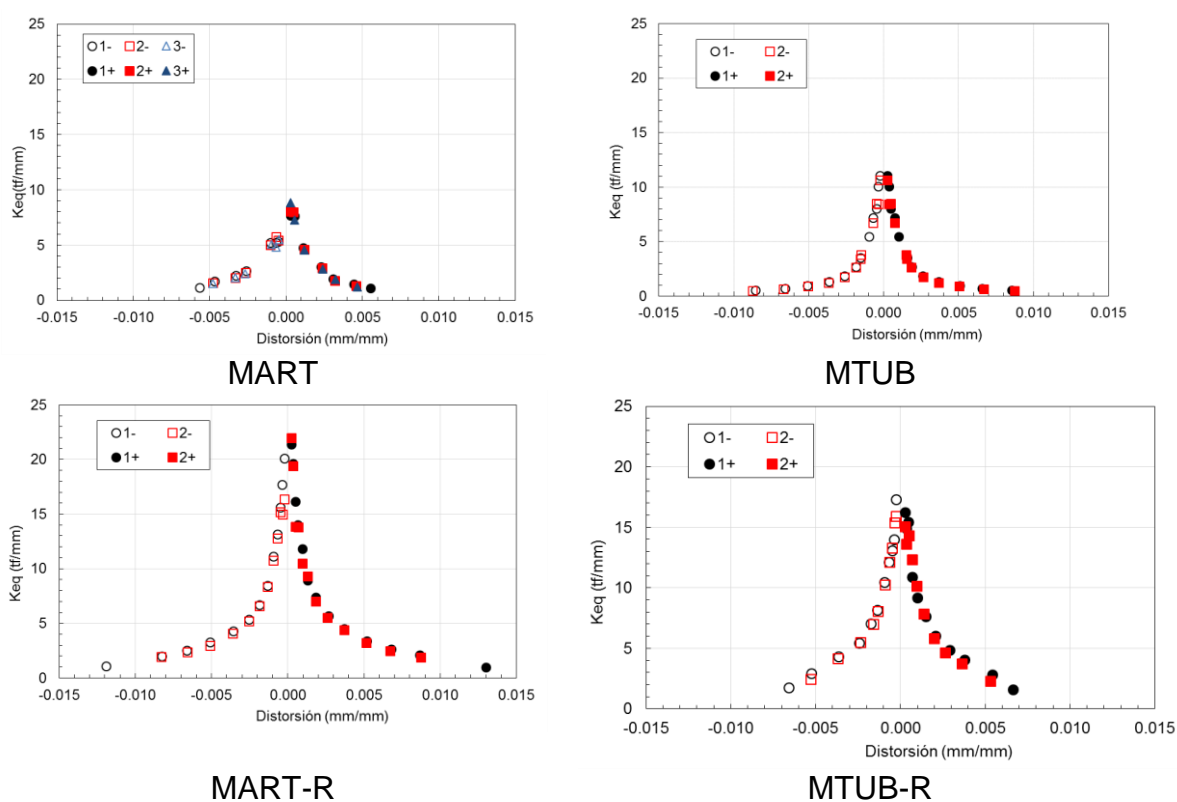


Figura 13. Curva de rigidez-distorsión

En la Figura 14 se presenta la comparación entre los muros sin reforzamiento y los muros con reforzamiento. Puede apreciarse que inicialmente los muros con unidades sólidas artesanales sin reforzamiento (MART) poseen una mayor ductilidad que los muros con unidades tubulares sin reforzamiento (MTUB), debido a que la falla de estos últimos es frágil, que ocurre aproximadamente a un nivel de distorsión de 0.0016, aproximadamente, en contra del muro MART que supera el valor límite establecido por la N.T.E. E.030, de 0.005.

En el caso de los muros con reforzamiento, puede apreciarse que la incursión en el rango inelástico es similar para ambos muros, MART-R y MTUB-R; debido a que el componente estructural predominante son las capas de mortero reforzado con la malla electrosoldada en ambos lados de los muros. Sin embargo, más allá de un nivel de distorsión cercana al 0.005, la diferencia de esfuerzo cortante en los muro MART-R y MTUB-R se acentúa marcadamente, siendo la diferencia cercana a 3.4 kgf/cm<sup>2</sup>, que representa un 50%, en promedio, de incremento cuando se utiliza unidades sólidas artesanales en lugar de unidades tubulares.

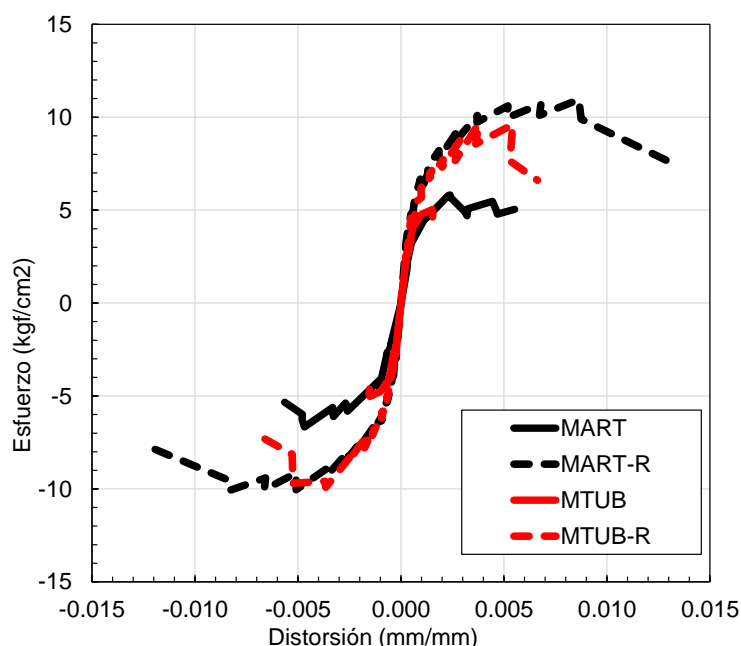


Figura 14. Comparación de las curvas esfuerzo-distorsión de los especímenes ensayados

La evolución de la rigidez en los muros con unidades sólidas artesanales y los muros con unidades tubulares son presentadas en la Figura 15. Puede apreciarse que la rigidez inicial en el muro MART-R es mayor en un 23% a la del muro MTUB-R. Posterior a un nivel distorsión de 0.0005 (1/2000) la rigidez equivalente de ambos muros se equipara hasta aproximadamente un nivel de distorsión de 0.003 (1/333), debido a que el componente estructural predominante son las capas de mortero reforzado con la malla electrosoldada en ambos lados de los muros. Posterior, al nivel de distorsión del 0.003, la degradación de la rigidez se acentúa más rápidamente en los muros con unidades tubulares (MTUB-R).

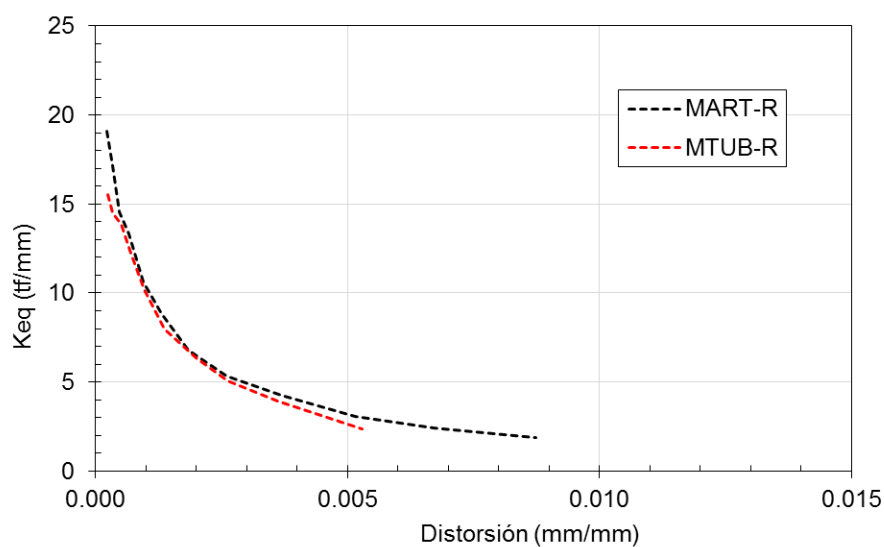


Figura 15. Comparación de la degradación de rigidez de los especímenes ensayados

## 2.5. Panel fotográfico



Figura 16. Ensayo del muro MTUB



Figura 17. Inicio del ensayo, distorsión de 1/4167



Figura 18. Inicio de las primera grietas en las juntas de albañilería, distorsión 1/1503

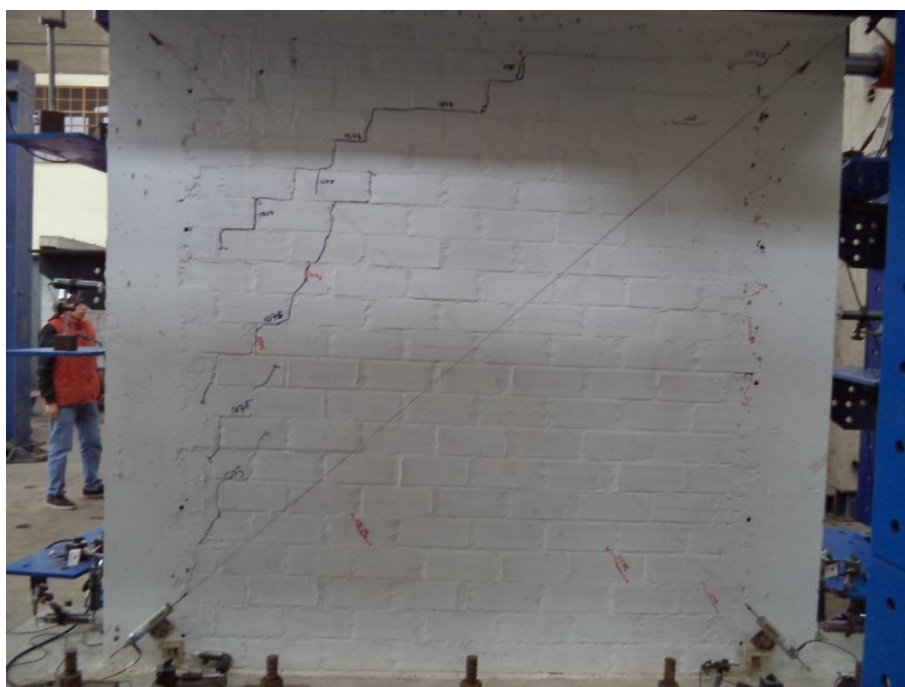


Figura 19. Grietas diagonales siguiendo el recorrido de las juntas de la albañilería



Figura 20. Desprendimiento de parte del ladrillo pandereta, falla frágil del ladrillo

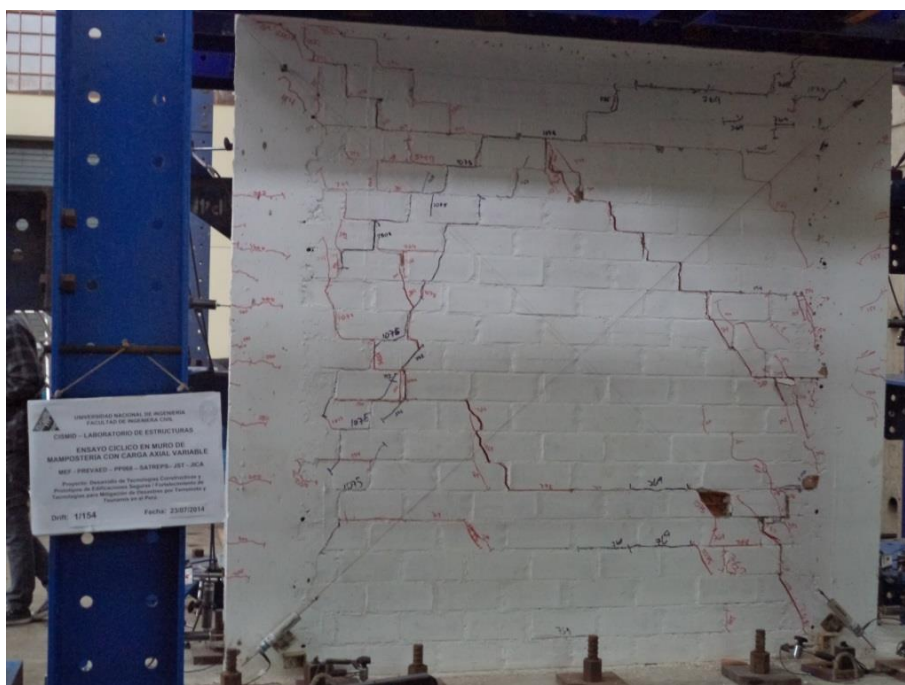


Figura 21. Falla del muro de albañilería



Figura 22. Grietas de espesor máximo de 8 mm



Figura 23. Ensayo del muro MART-R

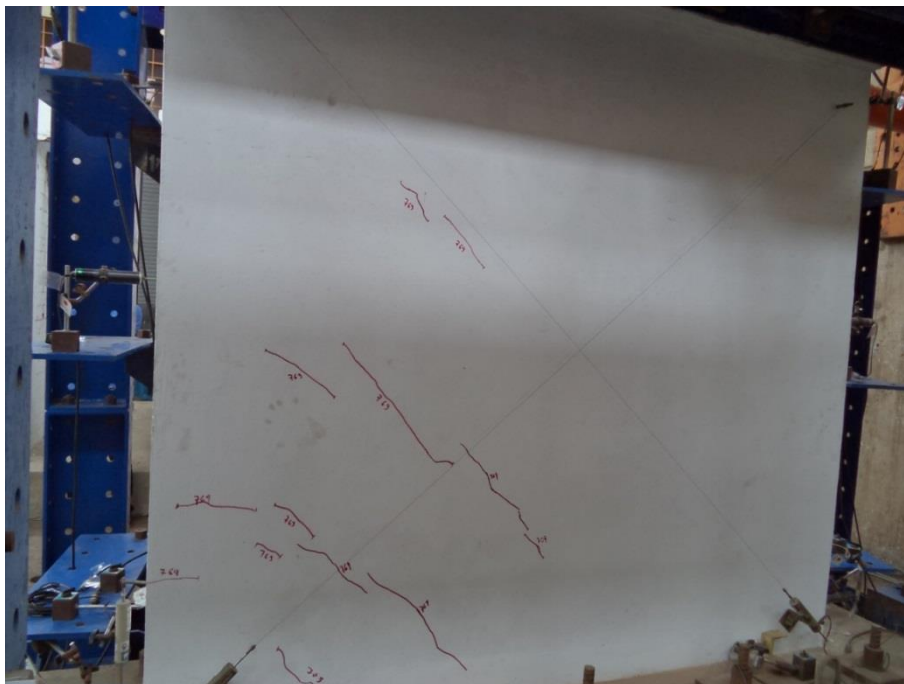


Figura 24. Inicio del ensayo de MART-R, primera grietas aparecieron con la distorsión de 1/769

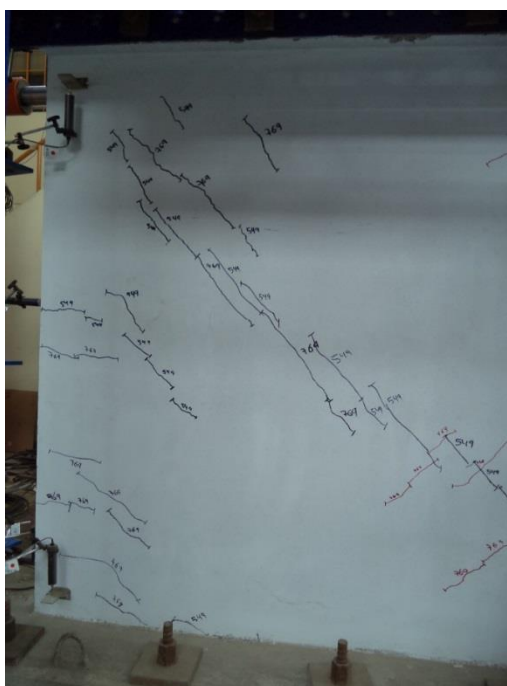


Figura 25. Grietas diagonales

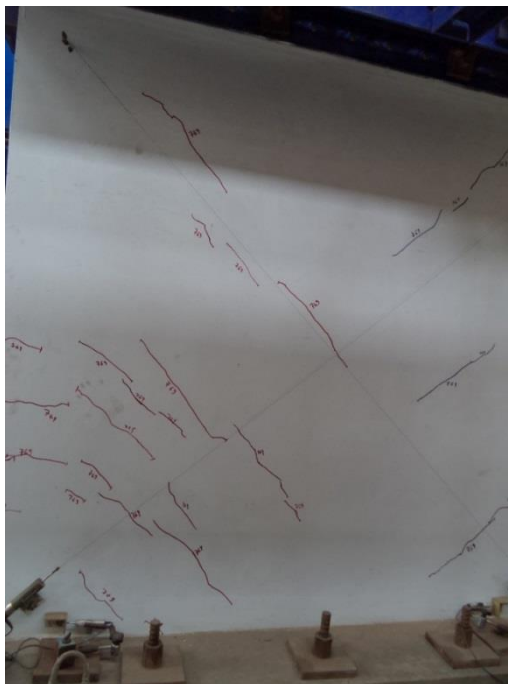


Figura 26. Concentración de las grietas cercanas a la base de las columnas de confinamiento

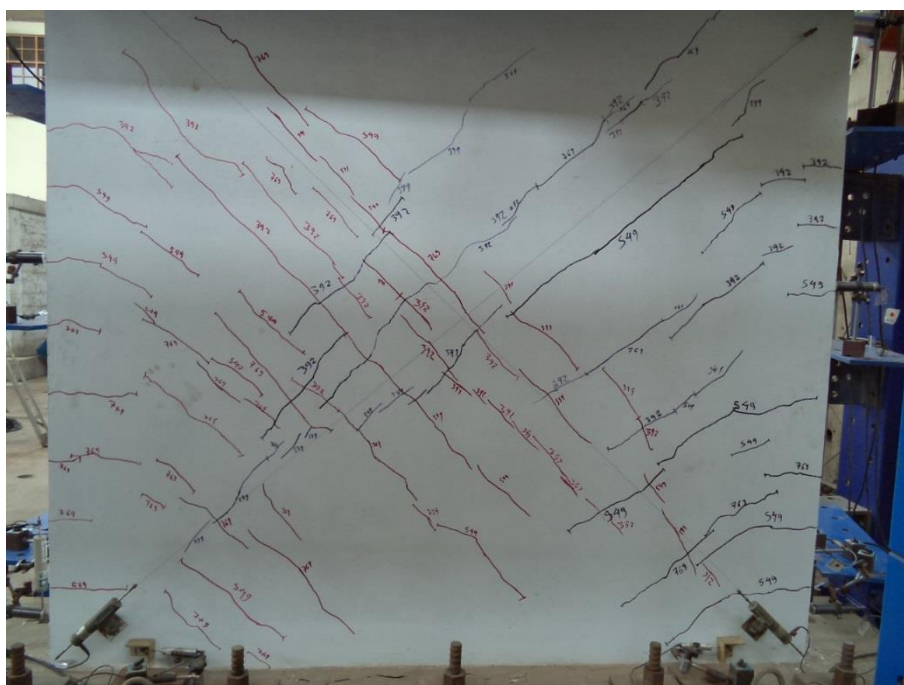


Figura 27. Grietas dietas diagonales en la cara del muro

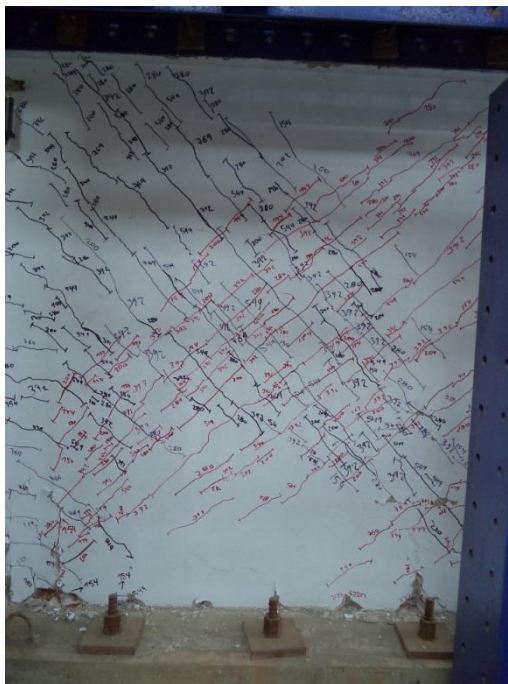


Figura 28. Concentración de grietas en la parte central dela cara del muro



Figura 29. Aplastamiento en el talón del muro



Figura 30. Desprendimiento del talón del muro

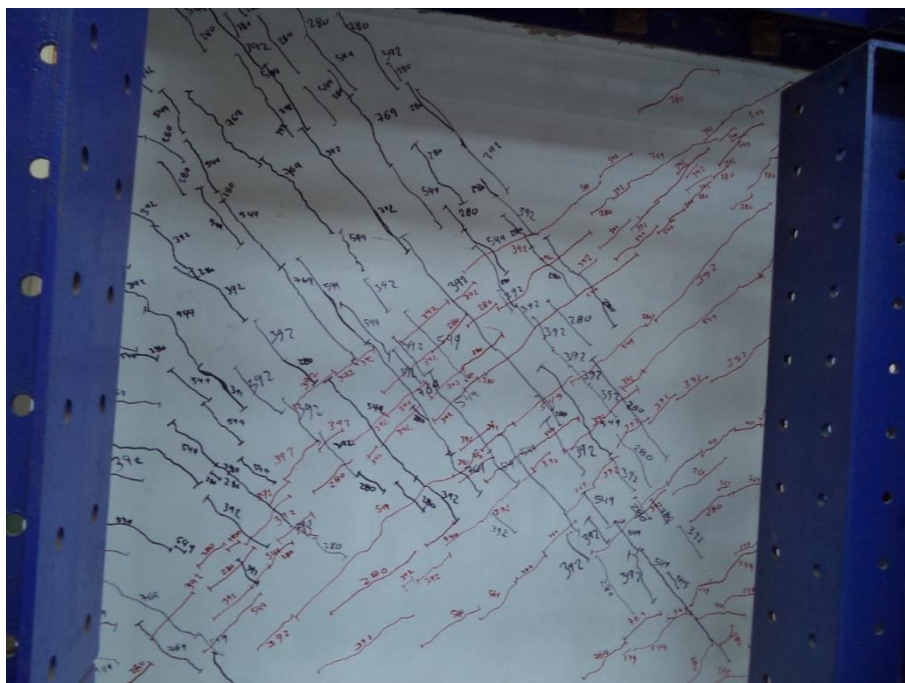


Figura 31. Fin del ensayo MART-R

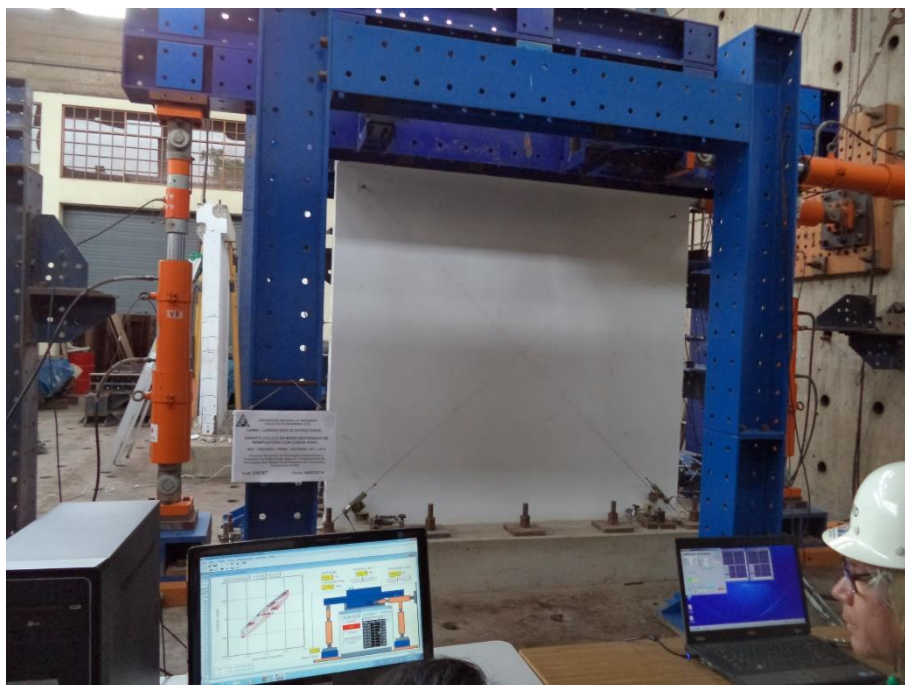


Figura 32. Inicio del ensayo MTUB-R



Figura 33. Inicio del agrietamiento diagonal (distorsión = 1/759) MTUB-R

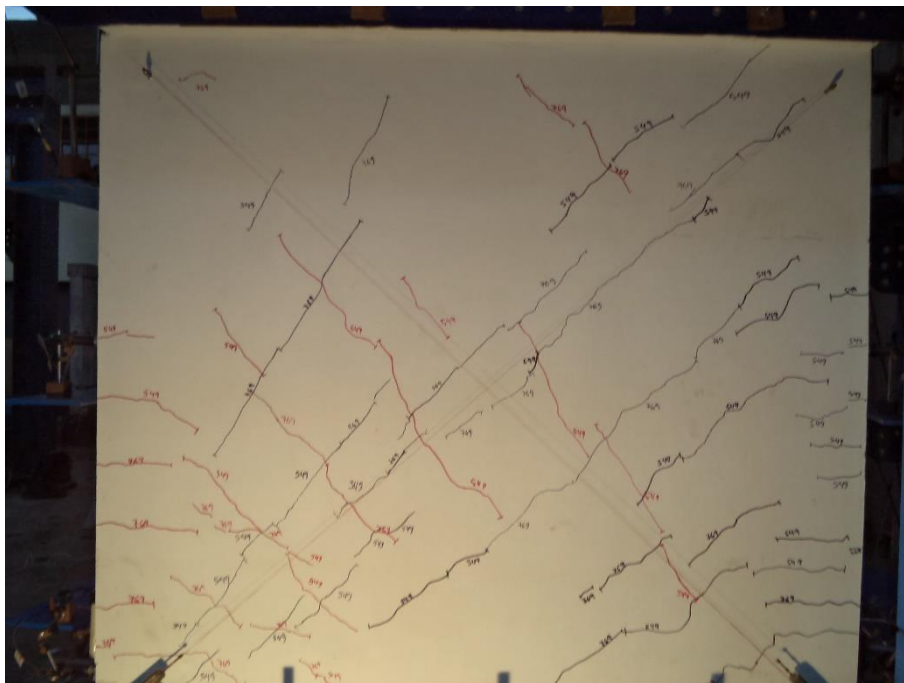


Figura 34. Agrietamiento diagonal (distorsión =  $1/549$ ) MTUB-R

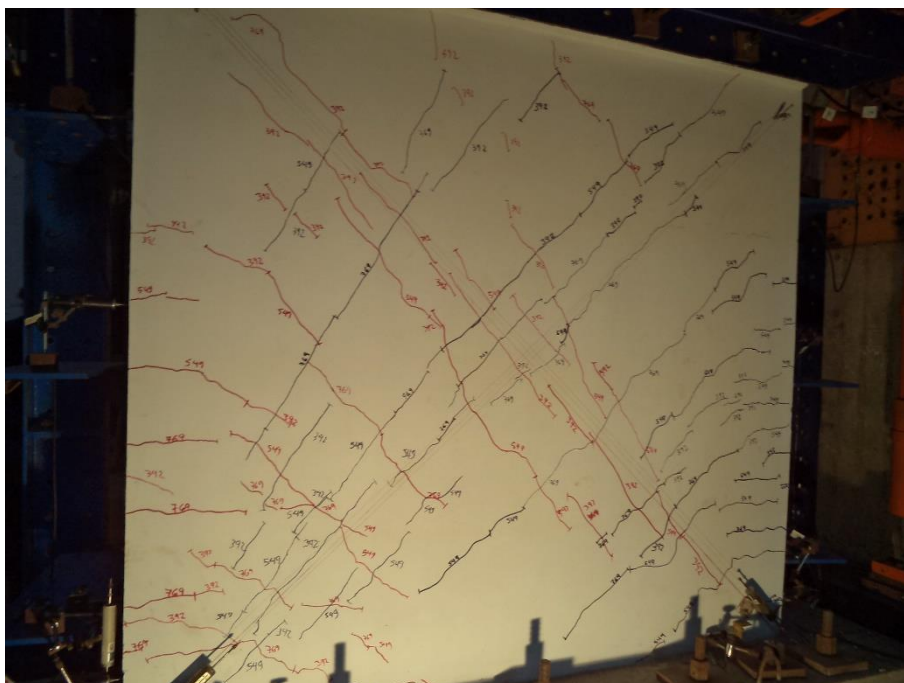


Figura 35. Agrietamiento diagonal (distorsión =  $1/392$ ) MTUB-R

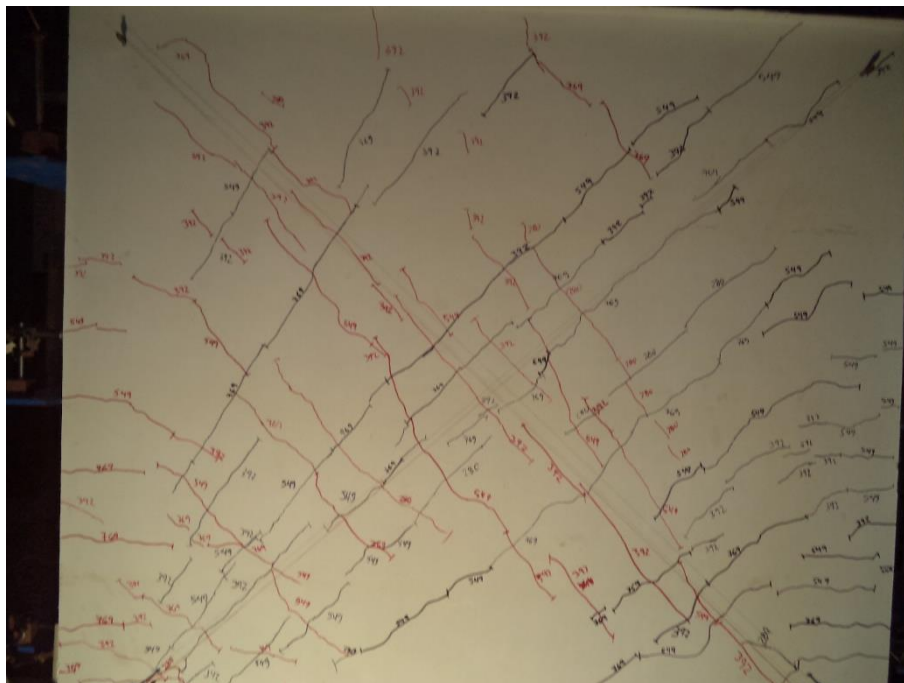


Figura 36. Agrietamiento diagonal (distorsión =  $1/392$ ) MTUB-R

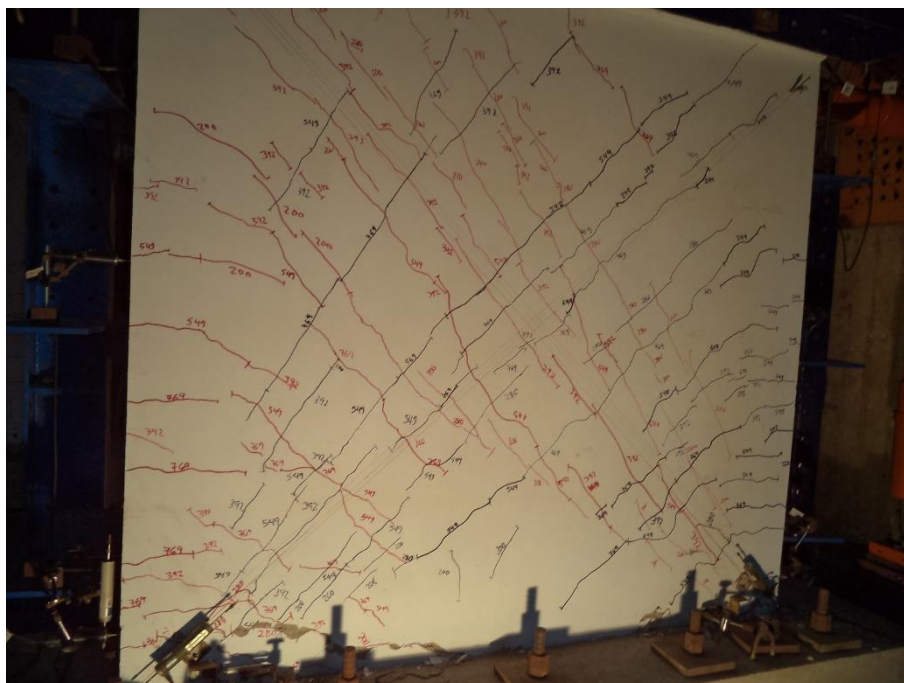


Figura 37. Agrietamiento diagonal (distorsión =  $1/200$ ) MTUB-R



Figura 38. Figuración en base (distorsión = 1/200) MTUB-R



Figura 39. Estado final (distorsión = 1/154) MTUB-R



Figura 40. Estado final daño del talón (distorsión = 1/154) MTUB-R

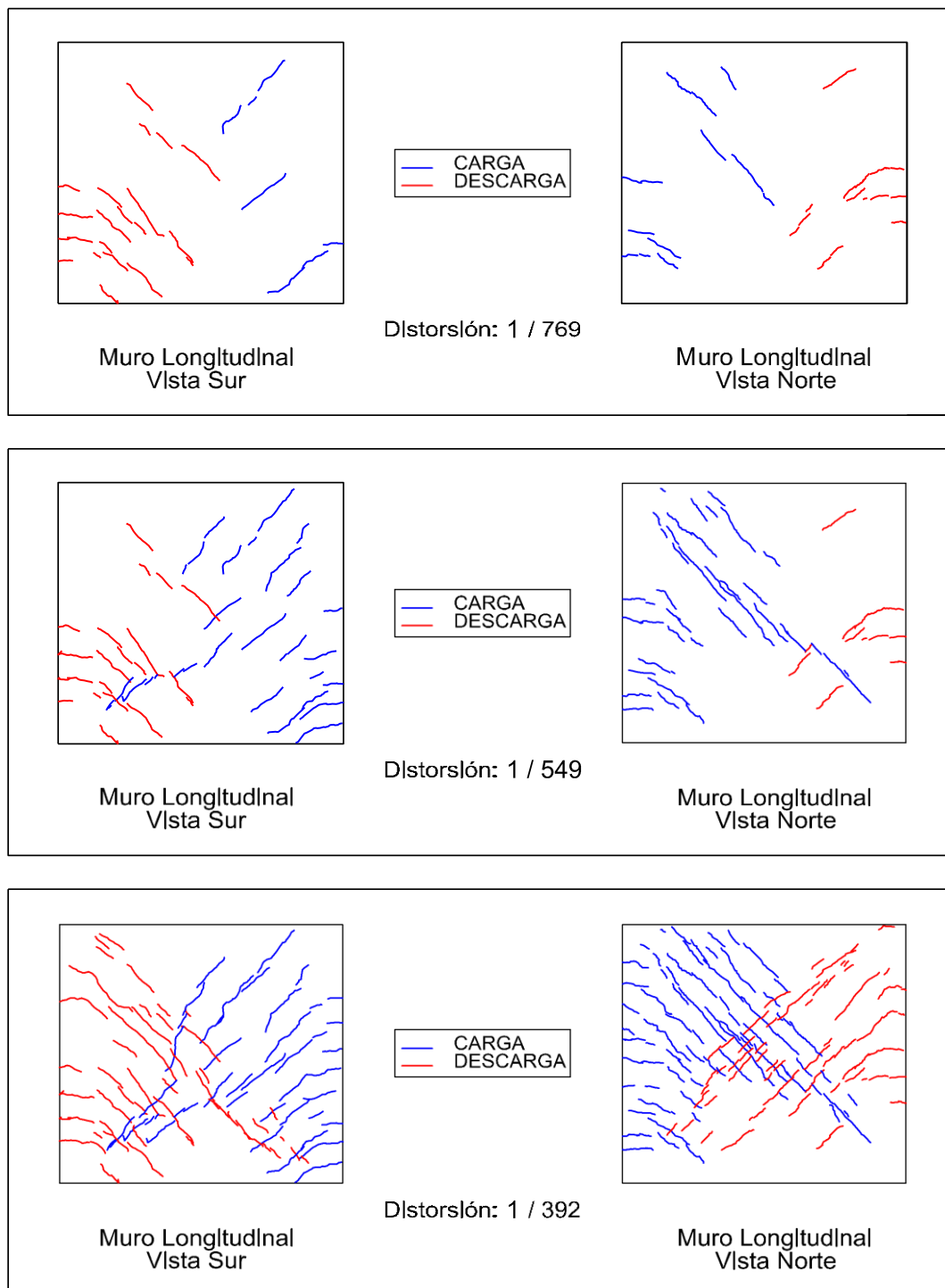


Figura 41. Estado final daño del talón (distorsión = 1/154) MTUB-R

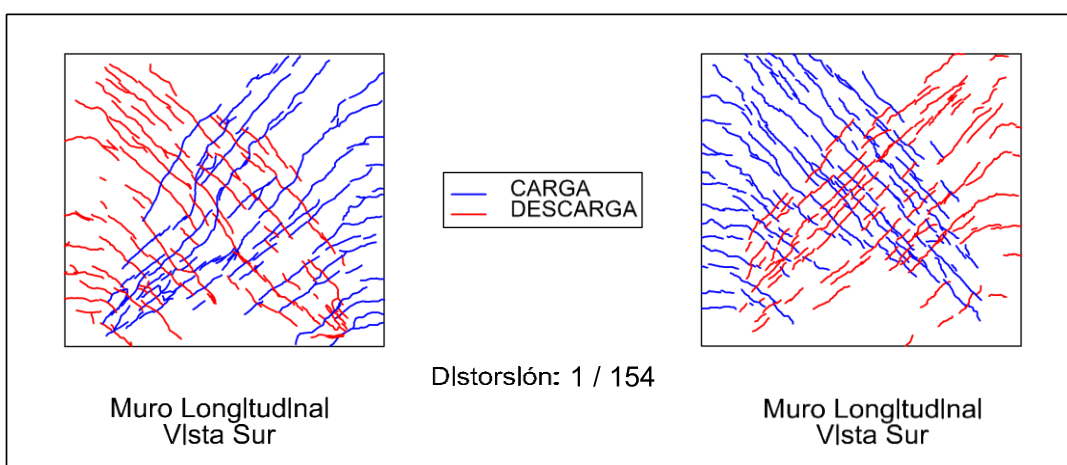
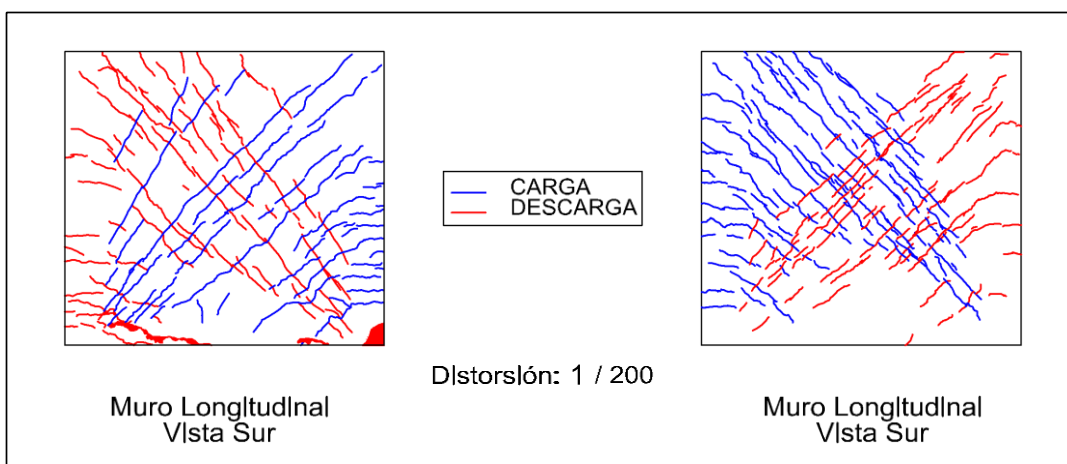
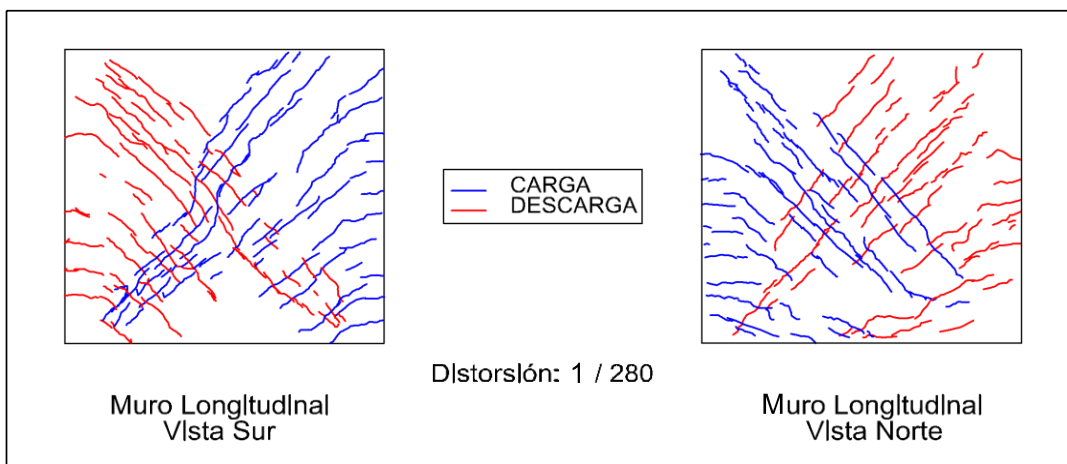
## 2.6. Mapeo de grietas

### 2.6.1. MART-R

#### Ensayo Cíclico de Carga Lateral

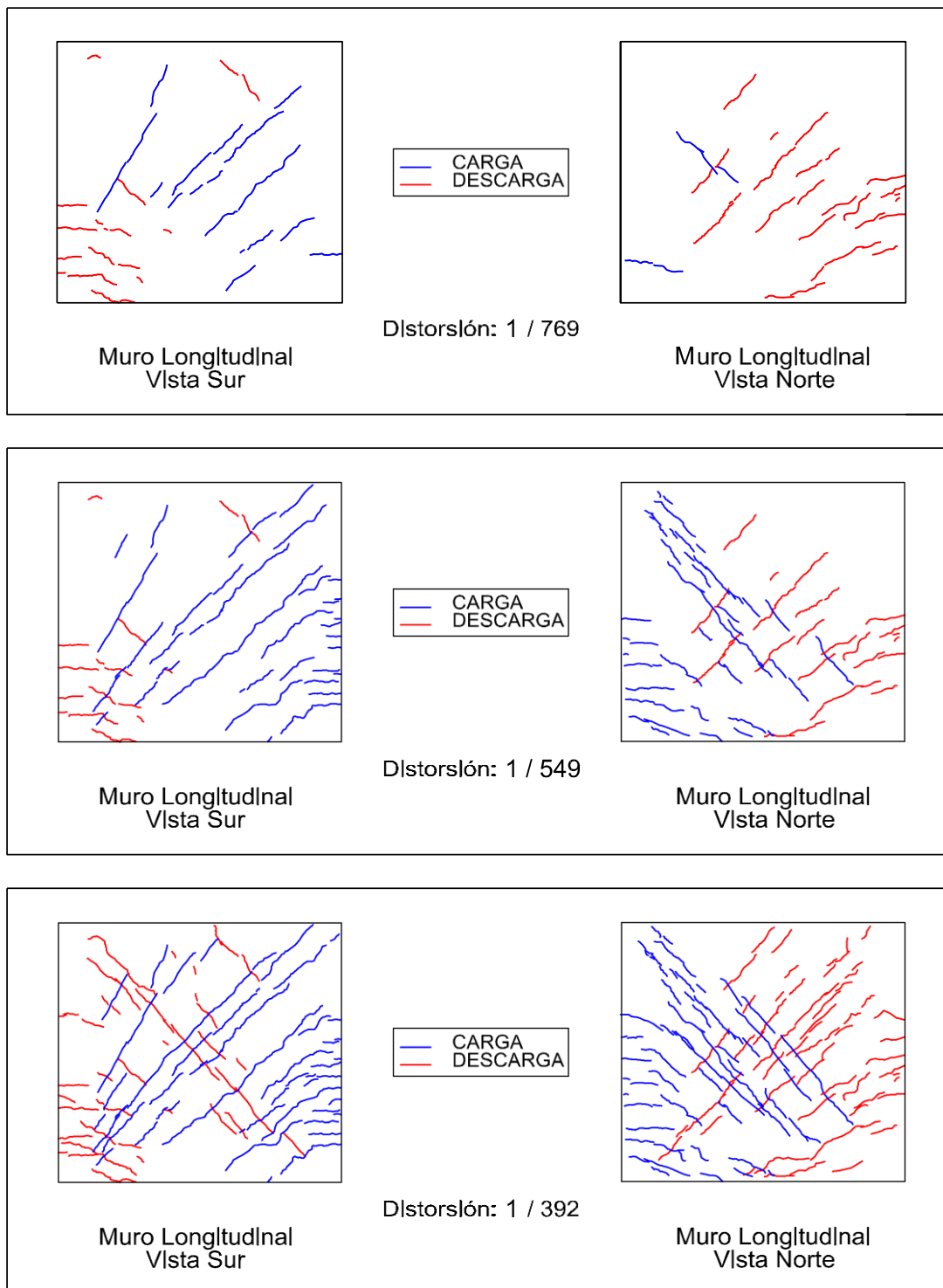


Ensayo Cíclico de Carga Lateral

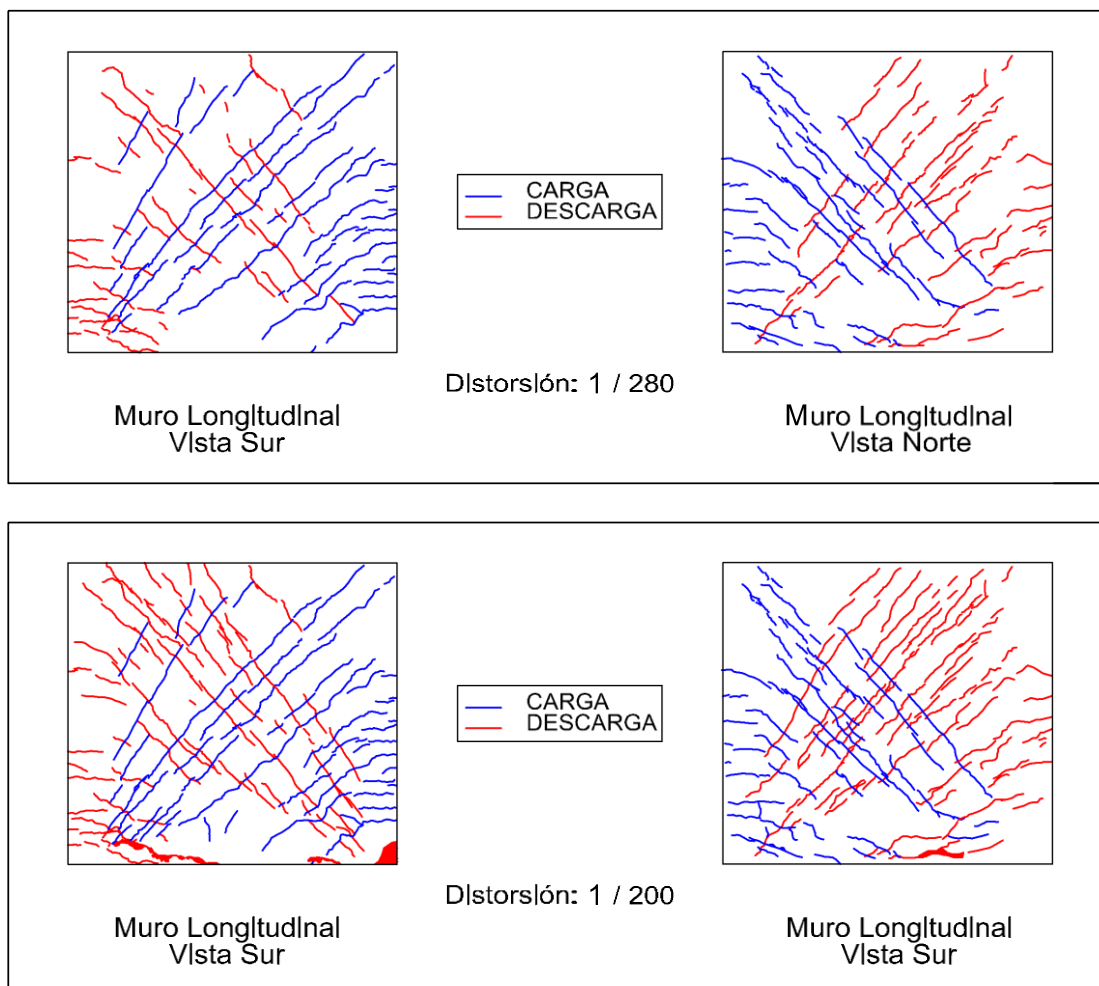


## 2.6.2.MTUB-R

### Ensayo Cíclico de Carga Lateral



Ensayo Cíclico de Carga Lateral





### **3. Conclusiones**

Los estudios de microzonificación sísmica, vulnerabilidad y riesgo de viviendas en zonas urbanas desarrollados en los distritos de Lima por CISMID-FIC-UNI (con PP068, Convenios con MVCyS, CENEPRED) han demostrado que gran parte de la población en zonas emergentes construye con ladrillo tubular, con y sin elementos de confinamiento (columnas y vigas de confinamiento). Esto muestra un escenario donde, independiente de la calidad del suelo, las viviendas poseen una vulnerabilidad entre alta y media, donde sus ocupantes se encuentran en riesgo. La mala práctica constructiva, la falta de control de parte de los Municipios incrementa el riesgo en estas edificaciones.

Las irregularidades estructurales producidas por los propietarios al construir sus viviendas con una pluralidad de defectos generarían que durante un evento sísmico severo la respuesta sísmica se amplificaría con respecto a la respuesta de una estructura regular de naturaleza ingenieril. Así las estructuras con muros irregulares estarían sometidas a superposiciones de esfuerzos concentradas en los lugares débiles, donde se espera daño estructural.

Los daños estructurales serán mayores en las estructuras que utilizan muros con unidades tubulares sin reforzamiento (MTUB), al tener unidades tubulares con superficies muy delgadas (5 a 6 mm) estas superficies son afectadas como un plato de losa al caer. Es decir al fallar colapsan totalmente, lo que determina una imposibilidad de ser reforzado post sismo, lo que representa una pérdida de inversión por parte del propietario y complica cualquier proceso de reforzamiento.

Por lo expuesto las viviendas de ladrillo tubular resisten menos que las viviendas con ladrillo artesanal hecho que es demostrado al comparar el comportamiento entre los muros con unidades sólidos artesanales sin reforzamiento (MART) y los muros con unidades tubulares sin reforzamiento (MTUB), presentado en la Figura 14.

La mejora del comportamiento de los muros con unidades tubulares sin reforzamiento (MTUB) se plantea a través de un reforzamiento cuya premisa es que debería ejecutarse antes de la ocurrencia de un sismo, a fin de evitar la pérdida de inversión, utilizando el procedimiento descrito en la Figura 8, donde el uso de la malla electro soldada representa un incremento en resistencia.

En la Figura 14 se presenta la comparación entre los muros sin reforzamiento y los muros con reforzamiento. Puede apreciarse que inicialmente los muros con unidades sólidos artesanales sin reforzamiento (MART) poseen una mayor ductilidad que los muros con unidades tubulares sin reforzamiento (MTUB), debido a que la falla de estos últimos es frágil, que ocurre aproximadamente a un nivel de distorsión de 0.0016,



aproximadamente, en contra del muro MART que supera el valor límite establecido por la N.T.E. E.030, de 0.005.

En el caso de los muros con reforzamiento, puede apreciarse que la incursión en el rango inelástico es similar para ambos muros, MART-R y MTUB-R; debido a que el componente estructural predominante son las capas de mortero reforzado con la malla electrosoldada en ambos lados de los muros. Sin embargo, más allá de un nivel de distorsión cercana al 0.005, la diferencia de esfuerzo cortante en los muro MART-R y MTUB-R se acentúa marcadamente, siendo la diferencia cercana a 3.4 kgf/cm<sup>2</sup>, que representa un 50%, en promedio, de incremento cuando se utiliza unidades sólidas artesanales en lugar de unidades tubulares.

La evolución de la rigidez en los muros con unidades sólidas artesanales y los muros con unidades tubulares es presentada en la Figura 15. Puede apreciarse que la rigidez inicial en el muro MART-R es mayor en un 23% a la del muro MTUB-R. Posterior a un nivel distorsión de 0.0005 (1/2000) la rigidez equivalente de ambos muros se equipara hasta aproximadamente un nivel de distorsión de 0.003 (1/333), debido a que el componente estructural predominante son las capas de mortero reforzado con la malla electrosoldada en ambos lados de los muros. Posterior, al nivel de distorsión del 0.003, la degradación de la rigidez se acentúa más rápidamente en los muros con unidades tubulares (MTUB-R).



#### 4. REFERENCIAS

- [1]. CISMID Report. Experimental test on walls to investigated lateral load Behavior AGV System CISMID/FIC/UNI, 1998 (in Spanish).
- [2]. Zavala C. ,et al. Behavior under lateral load of low concrete strength walls with electro welded wire mesh reinforcement. – Material Bank of Peru – AGV & Association – CISMID Report. 1999 – 2000.
- [3]. G. Medina – Study of the behavior of low ductility and one story scale model reinforce with electrowelded wire mesh – Graduate Thesis FIC/UNI – Research supported by UNICON-FORSA – PRODAC- CISMID/FIC/UNI 2004-2005.
- [4]. Approximate Lateral Drift Demands in Multistory Buildings with Non uniform Stiffness - Eduardo Miranda and Carlos J. Reyes Journal of Structural Engineering ASCE / July 2002.
- [5]. Approximate lateral deformation demands in multistory buildings - Miranda, E. (1999). Journal of Structural Engineering ASCE. /1999.
- [6]. Efectos del Terremoto de Managua en los efectos de agua y alcantarillado - Ing. E. Pallawlecial IX Seminario Centroamericano de Ingenieros Sanitarios Panamá /Septiembre 1973.
- [7]. Post Quake Microzoning Study On Pisco and Tambo De Mora Due To August 15th 2007 Pisco Quake – C. Zavala, Z. Aguilar, and M. Estrada– Joint Conference Proceedings 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUEE) /March 2010.