

**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 DE**  
**EDIFICACIONES RESISTENTES A SISMOS Y TSUNAMIS**

**DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES RESISTENTES**

**Y**

**DIVULGACIÓN Y DIFUSIÓN DE AVANCES EN EL DISEÑO DE**  
**EDIFICACIONES RESISTENTES A SISMOS Y TSUNAMIS**



**LIMA – DICIEMBRE 2013**



## ÍNDICE

ÍNDICE .....	1
LISTA DE FIGURAS.....	3
LISTA TABLAS.....	5
1. INTRODUCCIÓN .....	6
1.1. Problemática de las Edificaciones en el Perú .....	6
1.2. Caracterización de Viviendas en Asentamientos Humanos .....	7
1.3. Necesidad Tecnológica para la mejora de edificaciones .....	8
2. ESTUDIO DE MATERIALES UTILIZADO EN LOS CONOS DE LA CIUDAD DE LIMA .....	8
2.1. Acerca de la muestra estudiada .....	9
2.2. Ensayos de material desarrollados .....	12
2.2.1. Ensayos en unidades .....	12
2.2.2. Propiedades mecánicas de las unidades .....	14
2.2.3. Propiedades mecánicas del mortero .....	16
2.2.4. Propiedades mecánicas de prismas.....	17
2.2.5. Ensayo de tracción diagonal .....	20
2.2.6. Conclusiones .....	22
2.3. Ensayos de muros.....	23
2.3.1. Objetivo del ensayo .....	23
2.3.2. Descripción del ensayo de carga cíclica .....	23



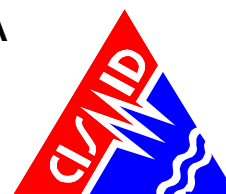
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

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



---

2.3.3.	Descripción de especímenes .....	24
2.3.4.	Resultados.....	25
2.3.5.	Conclusiones .....	33
2.3.6.	Mapeo de grietas .....	34
3.	REFERENCIAS .....	38



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipificación de Viviendas en asentamientos humanos.....	8
Figura 2. Viviendas de albañilería en Lima.....	9
Figura 3. Puntos de producción de unidades artesanales .....	11
Figura 4. Unidades de diferente procedencia .....	11
Figura 5. Ensayos de propiedades físicas de las unidades .....	13
Figura 6. Ensayo de unidades.....	14
Figura 7. Granulometría de la arena.....	15
Figura 8. Ensayo de resistencia a la compresión en cubos de mortero .....	16
Figura 9 Curvas esfuerzo deformación de morteros .....	17
Figura 10. Equipo de ensayo.....	18
Figura 11. Resultados de ensayos de $f'_m$ del total de especímenes.....	19
Figura 12. Tipos de fallas en prismas.....	19
Figura 13. Ensayo de tracción diagonal.....	20
Figura 14. Fallas en muretes.....	21
Figura 11. Ensayo de carga cíclica en muros H (vista en planta) .....	24
Figura 12. Dimensiones del espécimen (Muro H), vista en planta. Unidades cm.....	25
Figura 13. Curva Histerética carga-desplazamiento del Muro H.....	26
Figura 14. Envoltorio de la curva de carga-desplazamiento para el primer ciclo y su repetición.....	27
Figura 15. Curva de rigidez-distorsión .....	28
Figura 16. Envoltorio carga-desplazamiento.....	29
Figura 17. Software para la adquisición de datos .....	30
Figura 18. Aplicación de carga mediante gatos hidráulicos .....	30
Figura 19. Vista del muro longitudinal (Norte).....	31
Figura 20. Vista exterior del muro transversal (Este).....	31



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

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



---

Figura 21. Agrietamiento de muro en descarga .....	32
Figura 22. Agrietamiento de muro en carga.....	32



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

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



**LISTA TABLAS**

Tabla 1. Uso de la albañilería en Lima (CISMID –MVCyS) .....	10
Tabla 2. Identificación de las unidades según su procedencia. ....	10
Tabla 3. Propiedades físicas de unidades. ....	13
Tabla 4. Resultados de ensayos de compresión en unidades .....	14
Tabla 5. Propiedades Físicas de la Arena usada en el Mortero.....	16
Tabla 6. Resultados de ensayos de compresión de morteros.....	17
Tabla 7. Resultados de ensayos de tracción diagonal.....	21
Tabla 8. Resumen de ensayos de propiedades mecánicas.....	22
Tabla 7. Distorsiones objetivo.....	24
Tabla 8. Resultados del ensayo de carga cíclica del muro H (1er ciclo) .....	26
Tabla 9. Resultados del ensayo de carga cíclica del muro H (repetición) .....	27



## **DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES RESISTENTES A SISMOS Y TSUNAMIS**

### **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 de Edificaciones Resistentes a Sismos y Tsunamis, 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 Diseño Estructural de Edificaciones Resistentes a Sismos y Tsunamis. El presente informe muestra los productos generados por las actividades desarrolladas durante el año 2013.

#### **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 compendia en el caso de las edificaciones, los requerimientos mínimos que deben cumplir las edificaciones 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 localidades. 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, 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 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.
- Pircas de piedra inestables o muros de llantas improvisados.

## **1.2. Caracterización de Viviendas en Asentamientos Humanos**

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

- T1: Viviendas de Madera sobre pircas: edificaciones generalmente habitadas por migrantes que recién se instalan en el asentamiento, generalmente en laderas inestables o sobre cerros.
- T2: 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.
- T3: Viviendas de Mampostería Artesanal con ladrillo tubular y techo aligerado: edificaciones en zonas consolidadas con algunas deficiencias constructivas por carecer de asesoría ingenieril.
- T4: 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.





T1: Viviendas de Madera sobre pircas y taludes inestables



T2: Viviendas de Mampostería Artesanal con ladrillo tubular sin soleras y techo liviano



T3: Viviendas de Mampostería Artesanal con ladrillo tubular y techo aligerado



T4: Aporticado con muros de relleno y Losas aligeradas

Figura 1. Tipificación de Viviendas en asentamientos humanos

### 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 y tsunamis de los componentes principales de este tipo de edificación, en este caso muros de albañilería (mampostería) de arcilla, que resista la demanda de un sismo y el empuje de un tsunami.

La presente investigación desarrolla dos aspectos en lo referente al estudio de edificaciones de albañilería: estudio de materiales utilizado en los conos de la ciudad de Lima y estudio del comportamiento de muros considerando el efecto de muros perpendiculares.

## 2. ESTUDIO DE MATERIALES UTILIZADO EN LOS CONOS DE LA CIUDAD DE LIMA

Las edificaciones de mampostería se utilizan en todas las ciudades del país con ciertas variables, como el tipo de ladrillo, el endentado entre muro – confinamiento y la mampostería en conjunto. La albañilería es un material de bajo costo, tiene buenas propiedades de aislamiento acústico y térmico, de fácil disponibilidad, y hay mano de obra disponible en cada lugar.

El desarrollo modelos matemáticos de estructuras con muros de mampostería para el diseño estructural requiere de las propiedades del material y relaciones constitutivas de la mampostería y los elementos que lo conforman, es decir, ladrillos y mortero, que no son fácilmente disponibles.

En esta sección se muestran ensayos de unidades y de especímenes de albañilería, mediante los cuales se determinan propiedades mecánicas básicas que permiten definir el comportamiento de la mampostería usada en la ciudad de Lima.

### 2.1. Acerca de la muestra estudiada

En la ciudad de Lima, la albañilería es un material muy usado en edificaciones de vivienda como se aprecia en la Foto 1. Aquí puede apreciarse que la albañilería es utilizada en bloques solidos así como en bloques tubulares o huecos. Esta mampostería informal, muchas veces por la configuración de la estructura adicionalmente a la variable material, posee problemas de irregularidad en planta y elevación.

La muestra contiene ladrillos artesanales e industriales que se venden en el cono norte y cono este de la ciudad. En cuanto a los industriales se eligieron tres fábricas y en cuanto a los artesanales se eligieron ladrillos de dos fábricas de la zona de Puente Piedra y una de Huachipa como se muestra en la Tabla 2. Estas ladrilleras fueron seleccionadas contemplando su productividad.

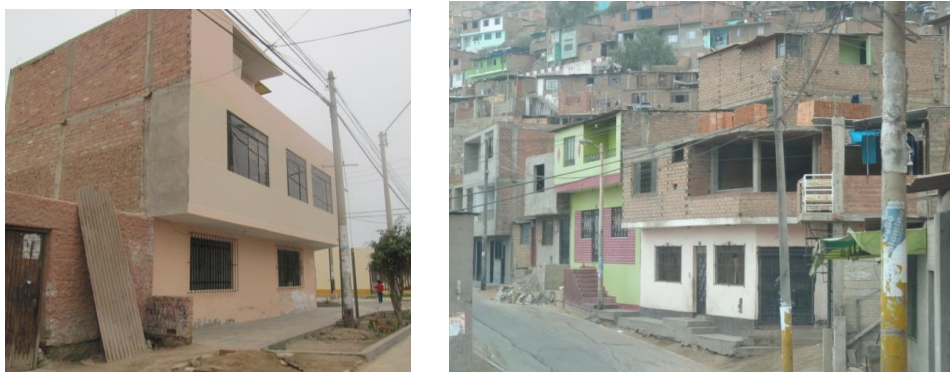
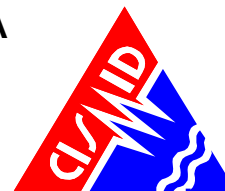


Figura 2. Viviendas de albañilería en Lima



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

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



De acuerdo a los estudios realizados por convenios entre CISMID y el MVCyS ha sido posible conocer los porcentajes de edificaciones que utilizan la mampostería como material predominante en el sistema soporte estructural. Los datos recopilados son presentados en la Tabla 1, donde puede apreciarse que la mampostería representa en promedio el 81.4% de las viviendas en Lima.

Tabla 1. Uso de la albañilería en Lima (CISMID –MVCyS)

<b>Distrito</b>	<b>% viviendas de albañilería</b>
La Molina	95%
Chorrillos	90%
Villa El Salvador	89%
Comas	91%
Puente Piedra	80%
San Juan de Lurigancho	95%
Cercado de Lima	75%
Ventanilla	50%
Breña	68%

Tabla 2. Identificación de las unidades según su procedencia.

<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>FABRICACIÓN-PROCEDENCIA</b>
IND -01	Industrial
IND -02	Industrial
IND- 03	Industrial
ART -01	Artesanal-Lurigancho
ART -02	Artesanal-Puente Piedra Comas
ART -03	Artesanal-Puente Piedra Comas

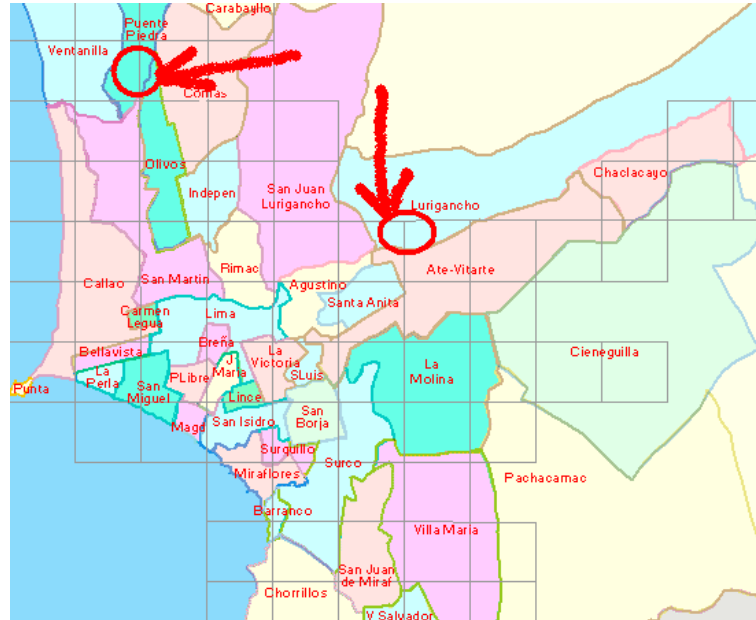


Figura 3. Puntos de producción de unidades artesanales

La Figura 4 presenta las unidades de diversa procedencia, donde se puede apreciar que existen unidades solidas de color blanquecino, así como unidades huecas donde se observa que los orificios ocupan gran parte del área bruta de asentamiento, lo que hace que este tipo de unidad se espera una menor resistencia en los ensayos.



Figura 4. Unidades de diferente procedencia



## 2.2. Ensayos de material desarrollados

### 2.2.1. Ensayos en unidades

Se seleccionaron las unidades de la muestra, eliminando aquellas que presentaban deterioros, para así evitar la distorsión de resultados por este parámetro. En cuanto a las unidades artesanales se ha notado variaciones en el color lo cual muestra que la cocción no es uniforme.

Considerando las propiedades físicas de las unidades, se realizaron ensayos de succión, porcentaje de vacíos y densidad de acuerdo a la normas ASTM y las normas NTP.

#### **Ensayo de Succión**

La succión está relacionado con la adherencia de la unión del mortero-ladrillo, pues con una succión excesiva no se logra una unión adecuada, esto debido a que el ladrillo absorbe de manera rápida el agua del mortero, endureciendo y deformando a este mismo, obteniendo uniones de baja resistencia y permeables al agua.

#### **Ensayo de Porcentaje de vacíos**

La prueba característica para distinguir el área efectiva existente en una unidad, es mediante la determinación del porcentaje de vacíos existente.

Una resistencia característica mayor se obtiene con un porcentaje de vacíos menor, pues el área neta (de contacto) es mayor que otra unidad con mayor porcentaje de vacíos.

#### **Ensayo de Absorción**

Es una forma de medir la impermeabilidad que la unidad de albañilería posee, en la norma se especifican los valores máximos a usarse en condiciones de uso que se utilice el ladrillo bajo constante contacto con agua o terrenos sin recubrimiento (cisternas, jardineras y zonas lluviosas).

#### **Ensayo de Densidad**

Existe una relación entre las propiedades de los ladrillos y la densidad que estos tienen; se sabe que a mayor densidad, mayores son las propiedades de resistencia y perfección geométrica de los ladrillos.



Secado de unidades al horno



Ensayo de succión

Figura 5. Ensayos de propiedades físicas de las unidades

Tabla 3. Propiedades físicas de unidades.

<b>TIPO DE LADRILLO</b>	<b>SUCCIÓN (g/200cm<sup>2</sup>)</b>	<b>ABSORCIÓN (%)</b>	<b>PESO ESPECIFICO</b>
<b>IND-01</b>	40.56	13.41	2.096
<b>IND-02</b>	46.75	13.20	1.973
<b>IND-03</b>	42.69	12.10	1.834
<b>ART-01</b>	80.70	15.48	1.859
<b>ART-02</b>	36.76	13.71	1.750
<b>ART-03</b>	99.39	15.27	1.742

La Tabla 3 presenta los resultados de los ensayos de unidades mostrando sus propiedades físicas. Debe notarse que los valores de los ensayos muestran mayor dispersión en las muestras de unidades artesanales que en el caso de ladrillos industriales.

## 2.2.2. Propiedades mecánicas de las unidades

### Ensayos de Compresión en unidades:

En este estudio se han usado unidades de arcilla cocida. Por cada tipo de ladrillo se realizaron ensayos de compresión en diez unidades para determinar la resistencia a la compresión  $f'_b$ , para el cálculo de la resistencia se ha considerado el área bruta de la unidad. Se obtuvieron valores entre 57 kg/cm<sup>2</sup> y 138 kg/cm<sup>2</sup> tal como se ve en la Tabla 4. Las unidades con mayor peso específico presentan mayor resistencia a la compresión.



Refrendado de unidades para ensayo de compresión



Ensayo de compresión de unidades

Figura 6. Ensayo de unidades

Tabla 4. Resultados de ensayos de compresión en unidades

IDENTIFICACIÓN	$f'_b$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
IND-01	123
IND-02	113
IND-03	138
ART-01	57
ART-02	93
ART-03	116

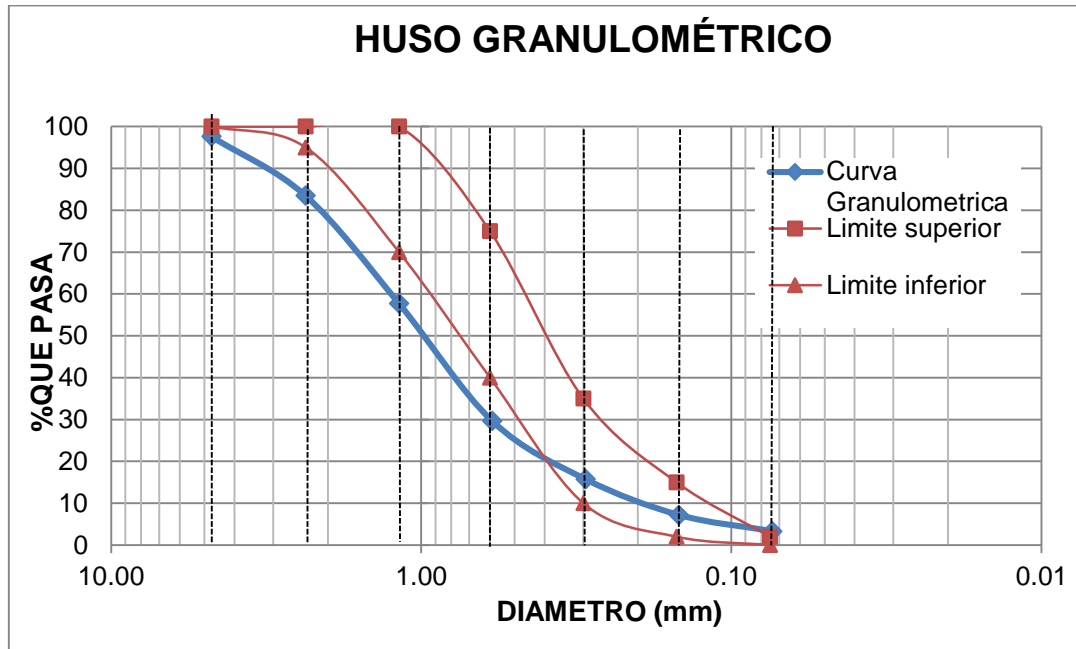


Figura 7. Granulometría de la arena.

### Ensayos de Compresión en Mortero

El mortero está formado por una mezcla de aglomerante y agregado fino a la cual se le añade suficiente agua para que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado.

En todos los casos el cemento utilizado fue Portland tipo I y agregado fino. Mientras se construían los prismas y muretes, se fabricaron probetas por cada tipo de mortero. Estas probetas fueron curadas en agua y después de cumplir 28 días de edad fueron ensayadas a compresión axial.

Se obtuvo la arena de una cantera de la zona de Puente Piedra la cual abastece a la zona del cono norte de Lima, la granulometría de este agregado fino es variada pero no cae dentro del huso granulométrico indicado por la norma para morteros, no se hizo correcciones para representar condiciones reales de construcción ver Tabla 5 y Figura 7.

Se utilizaron dos tipos de mortero sin cal y con proporción volumétrica cemento-arena 1:3 y 1:5.



Tabla 5. Propiedades Físicas de la Arena usada en el Mortero

<b>P.E</b>	2.20	
<b>P.U.S</b>	1402.51	kg/m <sup>3</sup>
<b>P.U.C</b>	1560.98	kg/m <sup>3</sup>
<b>M.F</b>	3.09	%
<b>%Hum</b>	1.36	%
<b>%Abs.</b>	2.13	%

### 2.2.3. Propiedades mecánicas del mortero



Especímenes de mortero



Ensayo de compresión en cubos de mortero

Figura 8. Ensayo de resistencia a la compresión en cubos de mortero

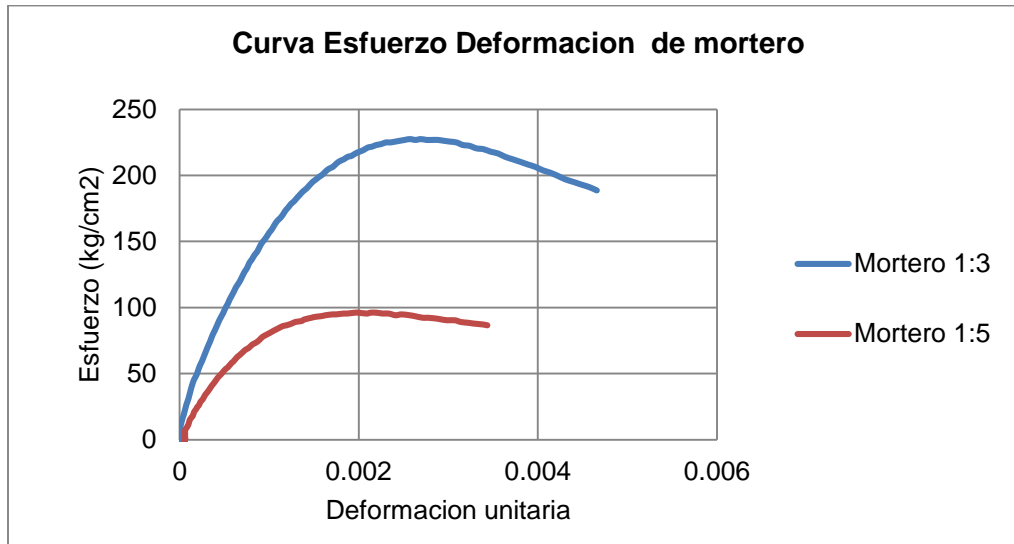


Figura 9 Curvas esfuerzo deformación de morteros

Tabla 6. Resultados de ensayos de compresión de morteros

<b>Tipo de mortero</b>	<b>f'j</b>	<b>E</b>
Mortero 1:3	228	189705
Mortero 1:5	93	140068

#### 2.2.4. Propiedades mecánicas de prismas

El espécimen para determinar la resistencia a la compresión de la albañilería consiste en un prisma formado por unidades asentadas una sobre otras. La esbeltez de los especímenes varía entre 4 y 4.7 y se les hizo la corrección respectiva indicada en la norma.

Antes del asentado, las unidades fueron seleccionadas eliminando aquellas que presentaban fisuras, o estaban mal cocidas, para posteriormente limpiarlas. Las juntas horizontales de mortero tuvieron un grosor nominal de 1 cm. Este grosor fue controlado mediante un escantillón y la verticalidad fue controlada con una plomada. Antes del ensayo se aplicó un refrendado para corregir la irregularidad superficial de la albañilería.

Luego de 28 días de su elaboración se inició los ensayos de resistencia a la compresión, el equipo de ensayo está formado por una máquina de compresión de 300 ton y un sistema de adquisición de datos.



Máquina de compresión



Sistema de adquisición de datos

Figura 10. Equipo de ensayo

Se ha obtenido mediante análisis de regresión una expresión para relacionar el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión de los prismas.

$$E = 439f'm$$

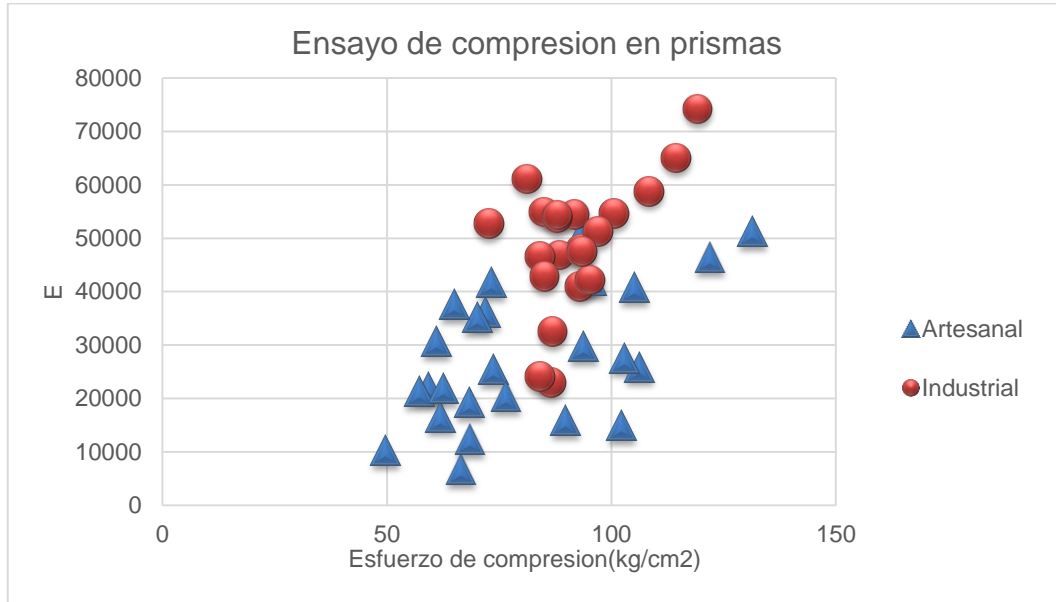


Figura 11. Resultados de ensayos de  $f'_m$  del total de especímenes.



Agrietamiento vertical



Agrietamiento vertical y aplastamiento de las unidades

Figura 12. Tipos de fallas en prismas

### 2.2.5. Ensayo de tracción diagonal

Este ensayo fue desarrollado para medir de una manera más precisa la tensión diagonal de la albañilería. El espécimen se carga en compresión a lo largo de una de sus diagonales provocando la falla por tensión diagonal en la dirección de aplicación de la carga.

Al igual que en el caso de los ensayos de prismas, se elaboraron especímenes de unidades artesanales e industriales.

De los resultados podemos ver que la resistencia obtenida en muretes es mayor a la indicada por la norma. El valor mínimo obtenido fue de 8.1 kg/cm<sup>2</sup> y el máximo obtenido fue de 39 kg/cm<sup>2</sup>.



Figura 13. Ensayo de tracción diagonal

Se observaron las fallas típicas de los muretes de mampostería sujetos a compresión diagonal: Falla por tensión diagonal en las unidades; falla por tensión diagonal en juntas y falla por deslizamiento.

En los muretes de unidades artesanales fue más común la falla por tensión diagonal en juntas, debido a que no hay buena adherencia entre las unidades y mortero.



(a) por tensión diagonal en las unidades



(b) tensión diagonal en juntas

Figura 14. Fallas en muretes

Tabla 7. Resultados de ensayos de tracción diagonal

TIPO	V promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
ART 1 15	8.1
ART 2 15	18.9
ART 3 15	
ART 1 13	14.6
ART 2 13	21.1
ART 3 13	24.7
IND 1 15	12.1
IND 2 15	9.9
IND 3 15	11.1
IND 1 13	33.6
IND 2 13	39.0
IND 3 13	17.7

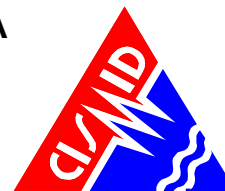


Tabla 8. Resumen de ensayos de propiedades mecánicas.

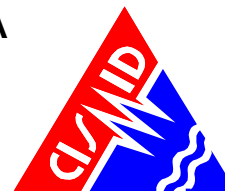
Identificación	Valores promedio			
	f'm (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	V (kg/cm <sup>2</sup> )	f'b(kg/cm <sup>2</sup> )
ART1-15	62.8	22073	8.1	56.6
ART2-15	70.0	25712	18.9	93.2
ART3-15	113.7	45059		115.8
ART1-13	62.3	18424	14.6	56.6
ART2-13	81.4	39788	21.1	93.2
ART3-13	100.4	19236	24.7	115.8
IND1-15	89.6	52736	12.1	123.4
IND2-15	80.7	49766	9.9	113.0
IND3-15	85.8	36246	11.1	137.9
IND1-13	108.9	59743	33.6	123.4
IND2-13	91.0	44335	39.0	113.0
IND3-13	91.9	50487	17.7	137.9

### 2.2.6. Conclusiones

Se ha obtenido un valor de 439 para la relación entre  $f'm$  y el módulo de elasticidad  $E$  para los ladrillos industriales y artesanales procedentes de ladrilleras con más demanda en la ciudad de Lima.

Los valores de resistencia a la compresión en prismas y tracción diagonal en muretes obtenida en los ensayos cumplen con la norma de albañilería E070.

Los ladrillos artesanales presentan alto valor de succión, lo cual debería tenerse en cuenta durante el asentado de unidades en obra para evitar que esto afecte al mortero.



## 2.3. Ensayos de muros

### 2.3.1. Objetivo del ensayo

Este ensayo se realiza con el propósito de conocer el comportamiento estructural de los muros de albañilería confinada frente a cargas cíclicas que simulan la acción de un sismo. En este ensayo se considera los muros transversales, también confinados, pues se ha observado en estructuras reales que durante un evento sísmico, estos muros aportan cierta rigidez la cual se busca cuantificar experimentalmente. Asimismo, se busca conocer la interacción entre ambos muros, longitudinal y transversal.

### 2.3.2. Descripción del ensayo de carga cíclica

Con la finalidad de conocer el comportamiento que tiene el muro frente a acciones de carga lateral, debe utilizarse un mecano de carga e instrumentación. Para lograr este objetivo se armó un pórtico de acero rodeando al espécimen, de manera que sirva de pórtico de reacción a un actuador vertical que aplica la carga de confinamiento. El muro de reacción servirá como apoyo para el Jack (gato electrohidráulico) lateral que aplicará las cargas de este tipo al muro confinado.

La carga axial de confinamiento fue aplicada con un actuador electrohidráulico, bajo control de carga, usando una carga de 20 tnf y aplicada mediante una viga de acero soportada por la viga superior de repartición del espécimen. Confinado el espécimen por la carga axial, se sometió el muro a la acción de cargas laterales aplicadas cíclicamente a través de dos gatos electrohidráulicos (50 tnf de capacidad c/u) de 250mm de carrera y actuando bajo un rango de cargas de 100 tnf (en total).

Con la finalidad de medir los desplazamientos que originan la carga lateral sobre el espécimen utilizando un sistema de medición con sensores, transductores de desplazamiento y strain-gauges, ubicados en puntos críticos para su debida observación. Los ciclos de aplicación de carga se aplicaron tratando de llegar a los siguientes niveles de distorsión angular del muro, mostrados en la Tabla 9. Cada ciclo fue ejecutado dos veces, para obtener valores estables en la curva fuerza deformación, denominados como 1er ciclo y 2do ciclo (repetición) para 10 ciclos (20 en total).



Tabla 9. 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

### 2.3.3. Descripción de especímenes

El espécimen consiste en un muro de albañilería confinada longitudinal de 2600mm de largo, el cual está conectado a muros transversales de albañilería confinada de 2500 mm de largo en cada extremo. El espécimen tiene forma de H cuya altura y espesor es de 2300 mm y 200 mm, respectivamente. Las unidades que lo conforman son de ladrillo artesanal sólido de Huachipa con amarre de cabeza unidos con un mortero de 1.5 cm de espesor cuya mezcla es de 1:5. En la siguiente figura se muestra la disposición del ensayo: sistema de carga y espécimen.

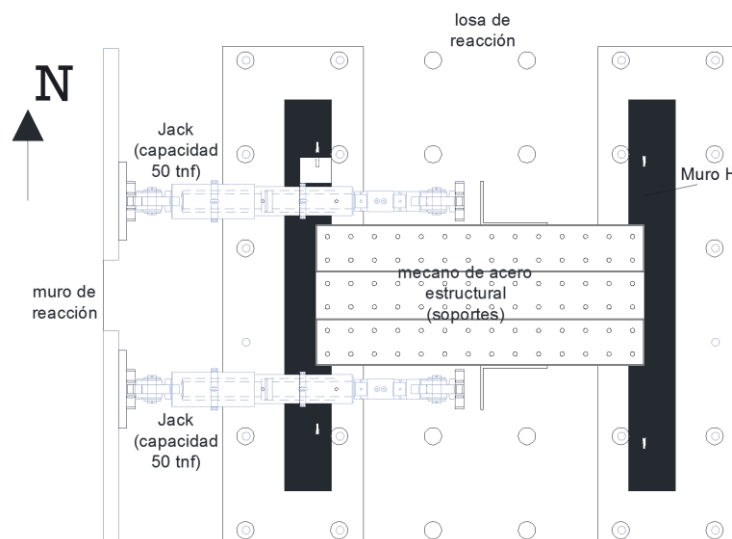
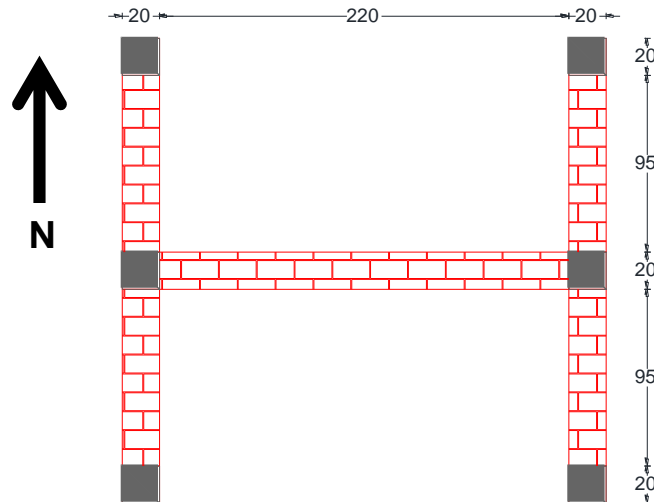


Figura 15. Ensayo de carga cíclica en muros H (vista en planta)

Las dimensiones del espécimen son mostradas en la siguiente figura:



Unidades: cm

Figura 16. Dimensiones del espécimen (Muro H), vista en planta. Unidades cm

### 2.3.4. Resultados

A continuación se muestra la curva de carga-desplazamiento del ensayo cíclico. En esta figura se puede observar diferentes ciclos con diferentes niveles de deformación, como se indica en la Tabla 9. También se muestra en esta figura los puntos máximos por cada ciclo, en carga y descarga, y la curva envolvente que representa la curva de capacidad del muro H en análisis.

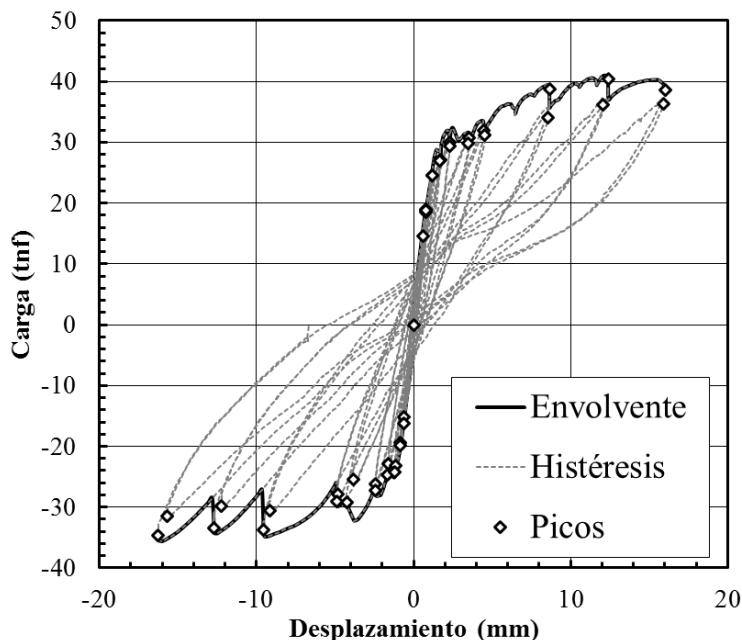


Figura 17. Curva Histerética carga-desplazamiento del Muro H

En la Tabla 10 y Tabla 11 se muestran los resultados del ensayo de carga cíclica del muro H para los primeros ciclos y su repetición, respectivamente.

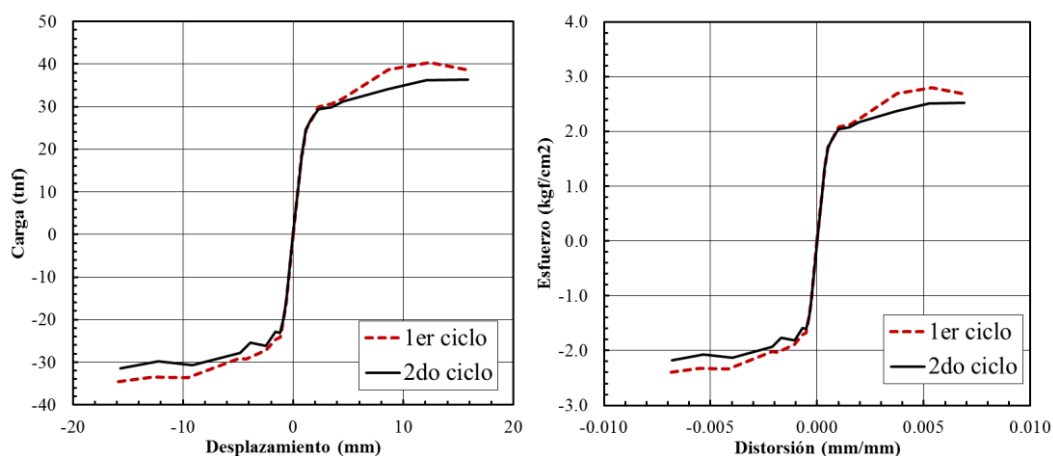
Tabla 10. Resultados del ensayo de carga cíclica del muro H (1er ciclo)

Ciclo	Desplazamiento	Carga (jalando)	Desplazamiento	Carga (empujando)
	mm	tnf	mm	tnf
1	-0.640	-16.182	0.770	18.578
2	-0.860	-19.801	0.800	18.884
3	-1.190	-24.159	1.180	24.592
4	-1.650	-24.720	1.730	27.141
5	-2.450	-27.192	2.300	29.969
6	-4.240	-29.205	3.540	30.683
7	-4.900	-29.077	4.490	31.957
8	-9.560	-33.690	8.650	38.736
9	-12.710	-33.486	12.390	40.341
10	-16.250	-34.709	16.010	38.532

Tabla 11. Resultados del ensayo de carga cíclica del muro H (repetición)

Ciclo	Desplazamiento	Carga (jalando)	Desplazamiento	Carga (empujando)
	mm	tnf	mm	tnf
1	-0.610	-15.138	0.600	14.602
2	-0.840	-19.393	0.800	18.782
3	-1.170	-23.140	1.170	24.618
4	-1.620	-22.859	1.640	27.013
5	-2.450	-26.121	2.290	29.358
6	-3.850	-25.382	3.490	29.893
7	-4.840	-27.854	4.540	31.167
8	-9.160	-30.632	8.560	34.098
9	-12.230	-29.791	12.090	36.137
10	-15.670	-31.422	15.890	36.340

En la siguiente figura se muestra la envolvente de la curva de carga-desplazamiento obtenida durante el ensayo de cargas cíclicas en términos de a) carga-desplazamiento y b) esfuerzo-distorsión. En estos gráficos se observa la envolvente para el 1er ciclo y 2do ciclo (repetición), es decir para un desplazamiento según el nivel de deformación objetivo y su repetición (misma deformación). El desplazamiento positivo significa la carga (empujando) del espécimen, 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 la relación entre el desplazamiento superior y la altura del muro.



a) carga-desplazamiento

b) esfuerzo-distorsión.

Figura 18. Envolvente de la curva de carga-desplazamiento para el primer ciclo y su repetición

En la figura mostrada anteriormente, se puede distinguir que el espécimen deja de comportarse elásticamente para una distorsión de 1/1950 y un esfuerzo de 1.71 kgf/cm<sup>2</sup>, es decir comienza a agrietarse. La fluencia se da para una distorsión de 1/1000 y un esfuerzo de 2.08 kgf/cm<sup>2</sup>. Mientras que la resistencia máxima del espécimen se da para una distorsión de 1/186 y un esfuerzo de 2.80kgf/cm<sup>2</sup>.

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 la siguiente figura:

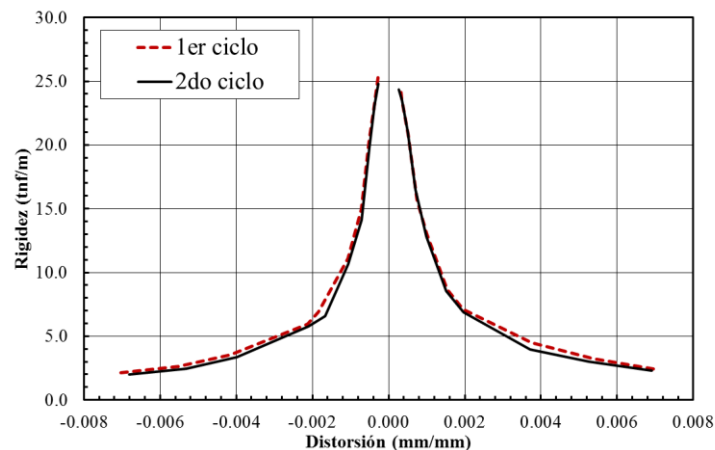


Figura 19. Curva de rigidez-distorsión

En la siguiente figura se muestra la comparación entre el Muro H (longitudinal más transversal en cada extremo) y muros longitudinales ensayados anteriormente en el laboratorio de estructuras (Zavala et al., 2003). Los muros longitudinales tienen distinto de acero de refuerzo: A1-3 y A1-4 son similares con refuerzo de confinamiento de 4Ø1/2", mientras A2-3 y A2-4 son similares con refuerzo de confinamiento de 4Ø3/8". En esta figura se observa que la capacidad se incrementa alrededor del 50% cuando los muros transversales son considerados dentro del análisis, por lo cual deben ser incluidos en el cálculo de la capacidad sismorresistente de las viviendas.

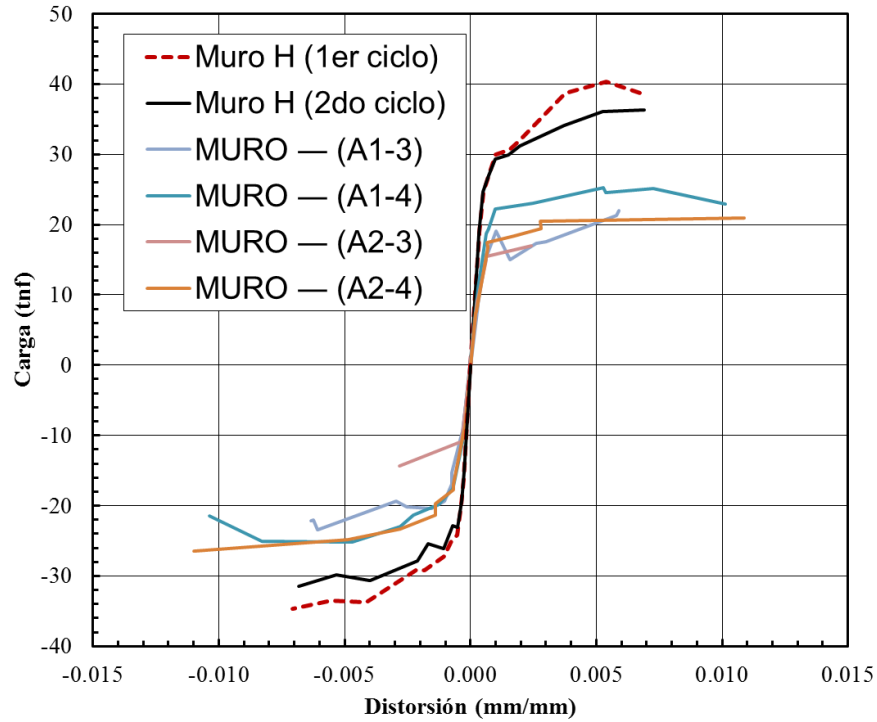


Figura 20. Envoltente carga-desplazamiento

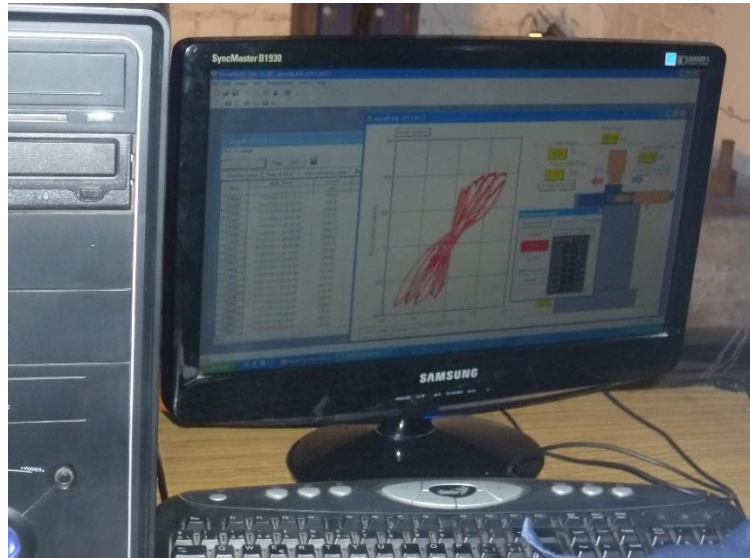


Figura 21. Software para la adquisición de datos



Figura 22. Aplicación de carga mediante gatos hidráulicos



Figura 23. Vista del muro longitudinal (Norte)



Figura 24. Vista exterior del muro transversal (Este)





Figura 25. Agrietamiento de muro en descarga



Figura 26. Agrietamiento de muro en carga

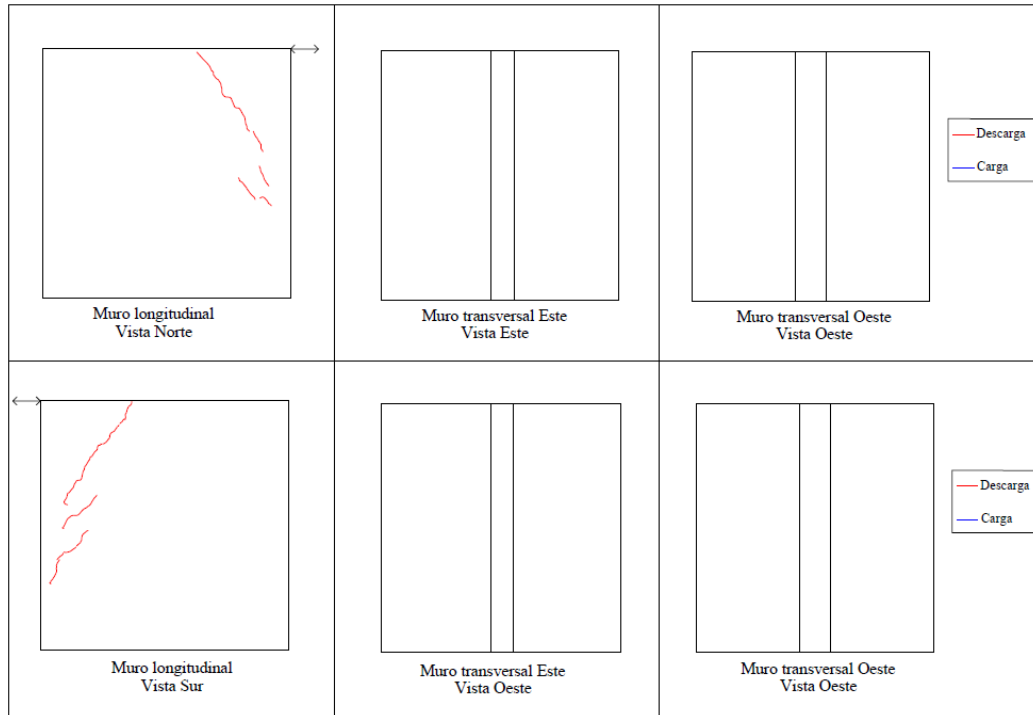


### 2.3.5. Conclusiones

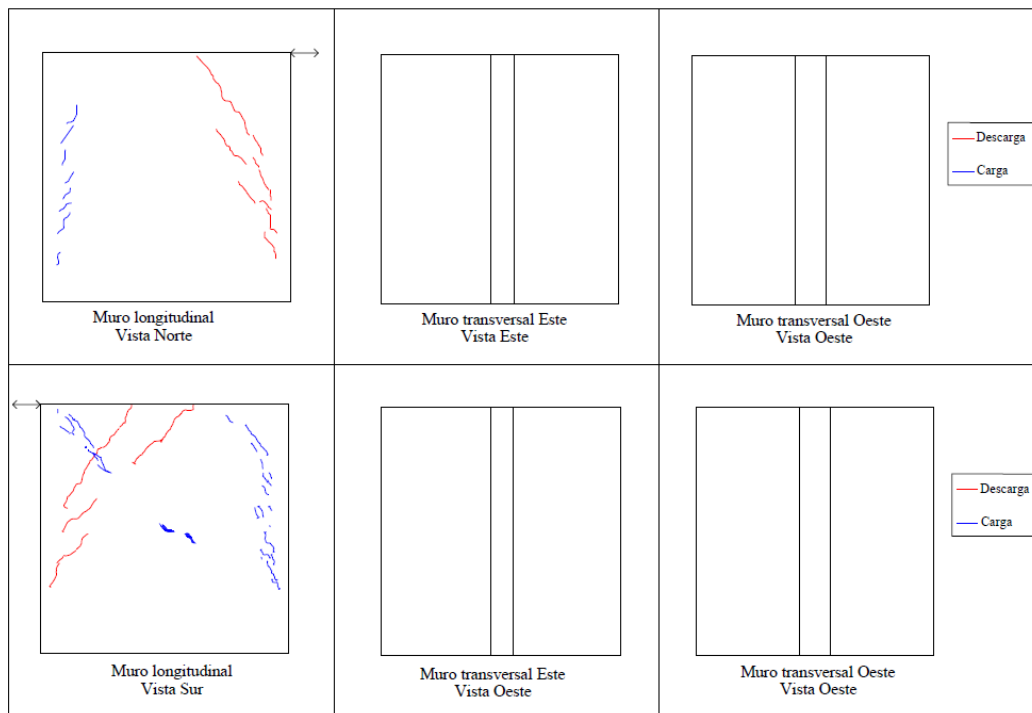
Como se mencionó anteriormente, la fluencia se da para una distorsión de 1/1000, mientras que la distorsión límite en la norma sismorresistente E030 es mayor (1/200). En el caso de la resistencia máxima, esta sucede para una distorsión de 1/186 ligeramente mayor que dicho límite. Se debe notar que la resistencia máxima de este espécimen se da a esta distorsión debido a la configuración del muro (longitudinal más muros transversales en cada extremo), lo que significa que el aporte de los muros transversales son significativos a pesar de que se trata de unidades sólidas artesanales (unidades de baja resistencia). Estos muros son confinados por columnas del mismo ancho que el muro con amarre de cabeza, sin embargo las viviendas no poseen esta configuración por lo cual es necesario extender este ensayo a las diferentes configuraciones encontradas en las viviendas, como por ejemplo, las siguientes variantes, aberturas debido a puertas y ventanas, diferentes espesores de muro, diferente tipo de unidad de albañilería (ladrillo), diferentes tipos de confinamiento, entre otros.

Al comparar especímenes similares sin las componentes transversales se observa que la capacidad se incrementan alrededor del 50% cuando los muros transversales son considerados dentro del análisis, por lo cual deben ser incluidos en el cálculo de la capacidad sismorresistente de las viviendas y estudiadas con las variantes descritas anteriormente.

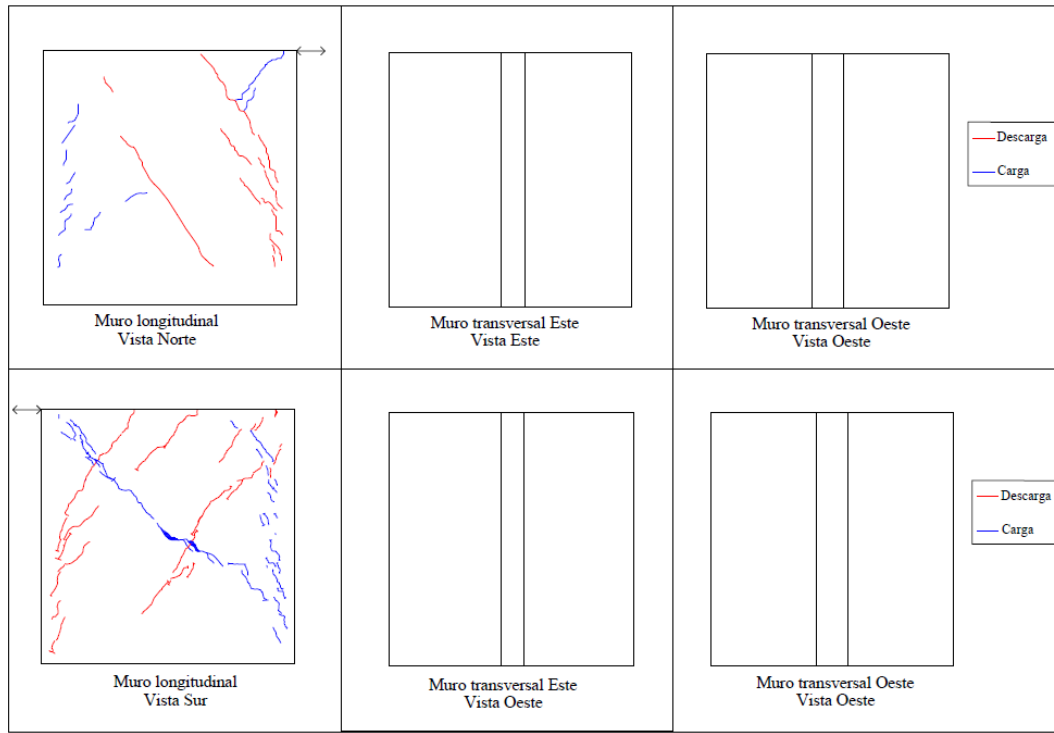
### 2.3.6. Mapeo de grietas



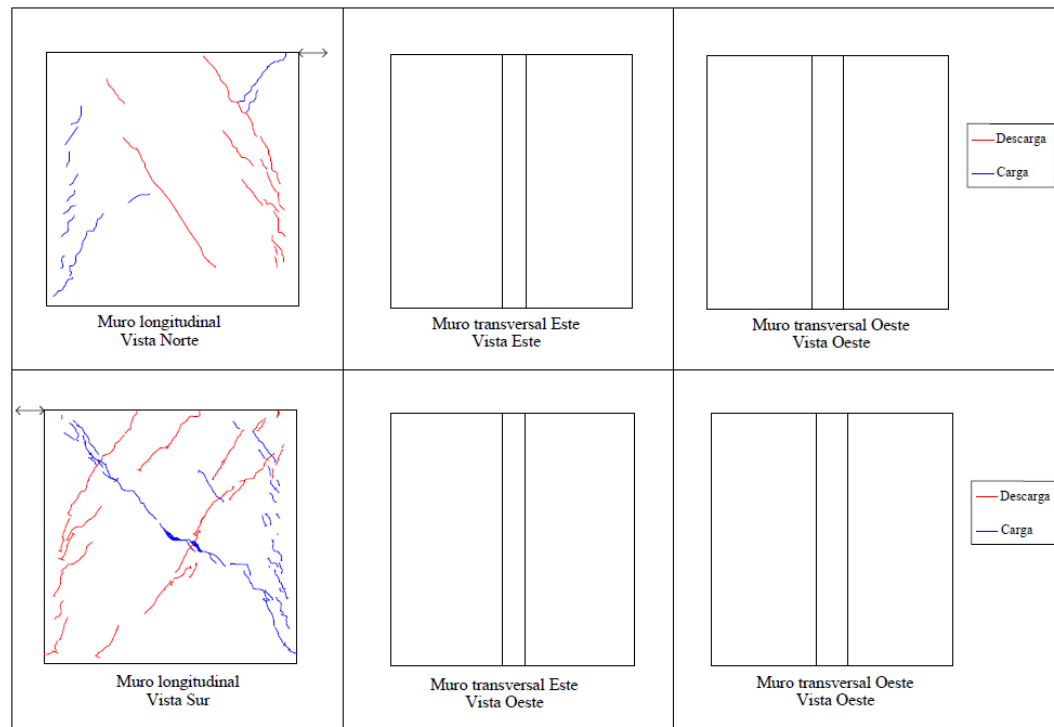
**Distorsión 1/1500**



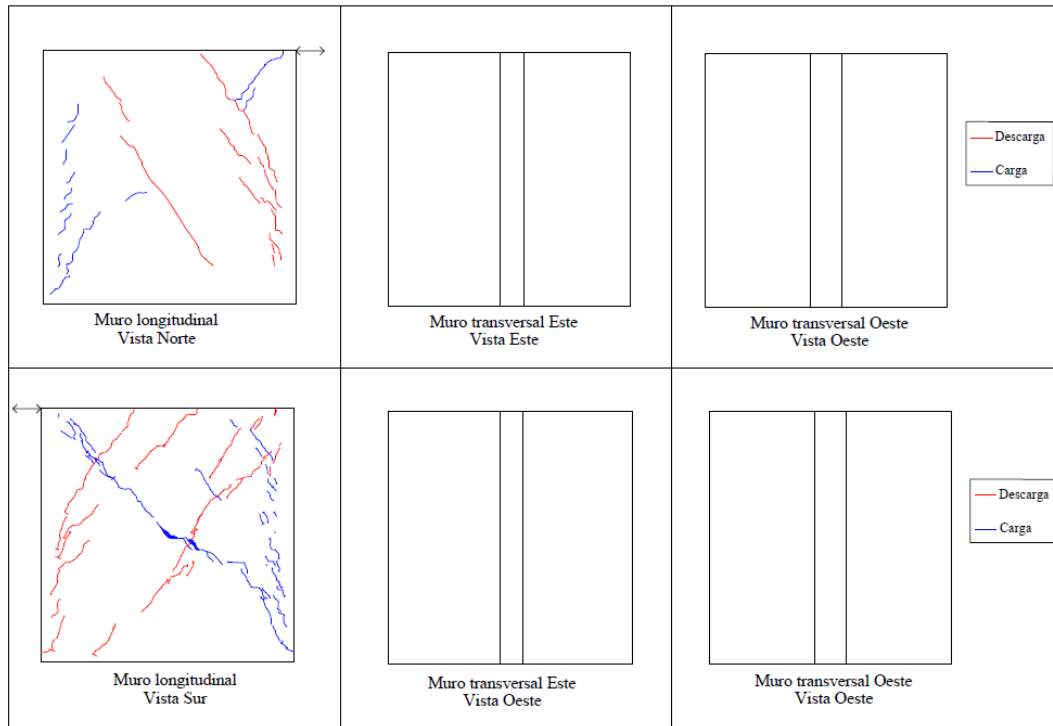
**Distorsión 1/1000**



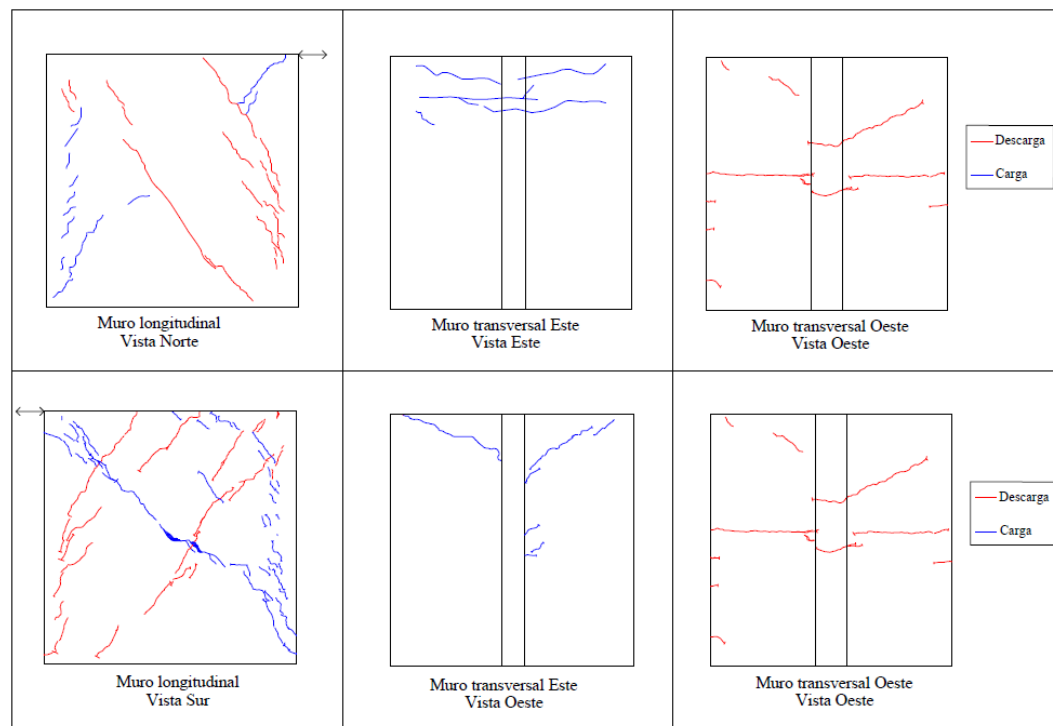
**Distorsión 1/725**



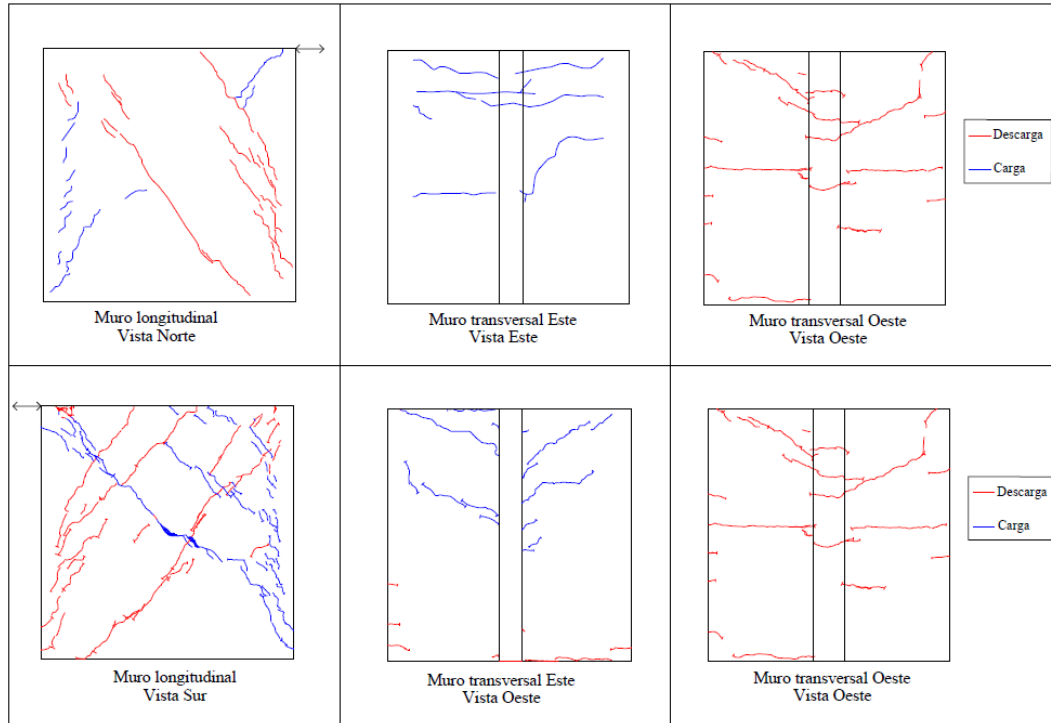
**Distorsión 1/550**



**Distorsión 1/350**



**Distorsión 1/280**



Distorsión 1/200



### 3. 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.