

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Facultad de Ciencias e Ingeniería



**ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA EN  
MUROS PORTANTES PLACA P-14**

Tesis para optar Título de Ingeniero Civil  
ÁREA DE ESTRUCTURAS

Presentado por:

Harold Bolaños Luna  
y Miguel Angel Moreno Alván

Lima, 2007

## Resumen

En esta investigación se estudia el empleo de un nuevo bloque sílico-calcáreo denominado Placa P-14 como una alternativa en la construcción de muros portantes de albañilería con junta seca, donde por su facilidad constructiva al no emplear mortero en las juntas y por las grandes dimensiones del bloque (14x50x24cm), se incrementa el rendimiento en el levantamiento de los muros.

En el proceso de investigación se efectuaron ensayos de carga lateral cíclica en dos muros para lo cual se utilizó el actuador dinámico. Además, se aplicó carga vertical que simulaba la carga existente en un muro del primer piso para un edificio de cinco pisos. El primer muro (M-1) fue de albañilería armada con refuerzo horizontal y vertical. El segundo muro (M-2) tuvo iguales características que el primero, pero además se le reforzó con zunchos en los talones para confinarlos y elevar su ductilidad.

Con los ensayos de los muros se busca conocer su comportamiento sísmico, obteniendo su capacidad de corte, capacidad de deformación y rigidez, además de reconocer el tipo de falla y las zonas más críticas.

Además, se realizó el ensayo de 3 pilas, 3 muretes, 3 unidades P-14, 3 probetas de grout, 2 barras de acero y 3 probetas de concreto de las vigas, para conocer las propiedades físicas de los materiales y de la albañilería.

Finalmente, se realizó un análisis de los puntos más importantes del comportamiento del muro ante los desplazamientos laterales a los que fue sometido, con el fin de comprobar si cumple con los requerimientos para ser un muro portante, además de formular recomendaciones, conclusiones y líneas futuras de investigación.

# Capítulo 1

## Generalidades

---

### 1.1 Introducción

En la actualidad el uso de los bloques sílico-calcáreos está tomando mayor importancia en nuestro medio como alternativa en la construcción de tabiques debido a sus características en estética, facilidad constructiva y menor costo.

Por investigaciones anteriores (Ref. 9 y 11) se conoce que este tipo de unidad sílico-calcárea tiene buena resistencia a la compresión, variabilidad dimensional muy reducida, pero muy poca adherencia con el mortero.

Esta investigación estudia el empleo de un nuevo bloque sílico-calcáreo denominado Placa P-14 como una alternativa en la construcción de muros portantes, donde no se utiliza mortero en las juntas (muros de juntas secas), con lo que aprovechando las características antes mencionadas, además de poseer dimensiones importantes (14x50x24cm), permiten incrementar considerablemente el rendimiento en el levantamiento de los muros.

En el proceso de investigación se efectuaron ensayos de carga lateral cíclica en dos muros utilizando el actuador dinámico. Además se aplicó carga vertical que simulaba la carga existente en un muro del primer piso para un edificio de cinco pisos. El primer muro (M-1) fue de albañilería armada con refuerzo horizontal y vertical. El segundo muro (M-2) tuvo iguales características que el primero, pero además se le reforzó con zunchos en los talones para confinarlo y elevar su ductilidad.

Además se realizó el ensayo de 3 pilas, 3 muretes, 3 unidades P-14, 3 probetas de grout, 2 barras de acero y 3 probetas de concreto de las vigas para conocer las propiedades físicas de los materiales y de la albañilería.

La metodología de trabajo fue la siguiente:

- 1.- Diseño de los muros
- 2.- Construcción de tres pilas y tres muretes
- 3.- Construcción de los muros
  - 3.1.- Construcción de las vigas de cimentación
    - 3.1.1.- Elaboración de probetas de concreto
  - 3.2.- Levantamiento de los muros
    - 3.2.1.- Elaboración de las probetas de grout
  - 3.3.- Construcción de la viga solera
- 4.- Definición de las fases del ensayo así como de la instrumentación.
- 5.- Ensayo de los materiales
  - 5.1.- Ensayo del acero
  - 5.2.- Ensayo de la unidad P-14
    - 5.2.1.- Ensayo de variabilidad dimensional
    - 5.2.2.- Ensayo de succión
    - 5.2.3.- Ensayo de absorción
    - 5.2.4.- Ensayo de compresión
  - 5.3.- Ensayo de probetas
    - 5.3.1.- Ensayo de probetas de grout
    - 5.3.2.- Ensayo de probetas de concreto
- 6.- Ensayos de pilas y muretes
- 7.- Ensayo del muro sin confinamiento (M-1)
- 8.- Ensayo de muro con confinamiento (M-2)
- 9.- Interpretación de resultados
- 10.- Elaboración del informe.

## 1.2 Objetivos

El objetivo principal del proyecto es analizar mediante ensayos de laboratorio, el comportamiento sísmico del sistema constructivo de muros portantes P-14, con y sin el uso de zunchos en los talones del muro, con el objetivo de conocer el comportamiento sismorresistente de muros portantes hechos con placa P-14.

Adicionalmente, como parte del estudio de la placa P-14, se ensayaron pilas y muretes para poder determinar su comportamiento y la resistencia de la albañilería.

También se observaron los tipos de falla que se producen en el muro de tal manera que se puedan evaluar el comportamiento de cada uno de estos componentes y a su vez evaluar y mejorar las técnicas constructivas existentes.

Finalmente esta investigación tiene como objetivo brindar una respuesta sobre la factibilidad de la placa P-14 como alternativa constructiva en nuestro país.

### 1.3 Antecedentes

A diciembre del año 2001, el déficit habitacional ascendía a 1'233,000 viviendas (Ref. 13). Considerándose de prioridad nacional la reducción del déficit habitacional, se ha dado un crecimiento acumulado del sector construcción del 23% al año 2005 y según el plan nacional de vivienda se tiene como meta la construcción de 632 mil viviendas para el periodo 2006-2015. En consecuencia es de gran importancia impulsar la producción habitacional de bajo costo y de óptima calidad.

La propuesta de la placa P-14, que es un muro de albañilería armada con unidades sílico-calcáreo sin mortero en las juntas (junta seca), fue pensada para cumplir estos requerimientos y exigencias de nuestro medio.

Actualmente el sistema constructivo más utilizado para la construcción de edificios habitacionales es el uso de muros de concreto armado, por sus ventajas frente a otros sistemas, principalmente por su velocidad constructiva que afecta directamente al costo final del proyecto, y su buena capacidad resistente y gran aporte de rigidez a la estructura.

Consideramos que el uso de la placa P-14 para edificaciones de vivienda de hasta cinco pisos puede ser una buena alternativa, por sus propiedades y su sistema constructivo innovador, ya que mejora la rapidez constructiva puesto que las unidades van simplemente apiladas sin el uso de mortero en las juntas, además que las unidades tienen dimensiones importantes cubriendo mayor área con pocas unidades. El sistema P-14 no necesita el uso de encofrados puesto que el concreto líquido va en el interior de la unidad, ahorrando el costo del encofrado, así como el costo de su instalación, desinstalación y curado. Además, al carecer de encofrado, facilita el flujo del personal en la zona de trabajo, aumentando el rendimiento de la obra en general. Otra ventaja es que por su buena calidad de acabado, sólo necesita un resane o

empastado de 2 a 3mm de espesor, que también es requerido para los muros de concreto armado.

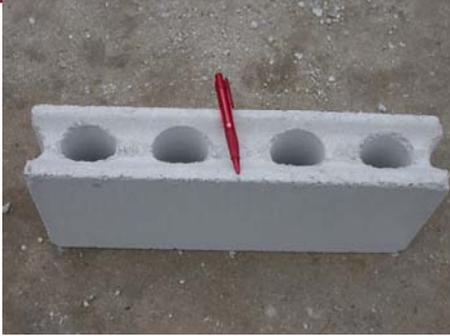
Los ladrillos sílico-calcáreos cada vez han ido tomando mayor importancia en el mercado como una alternativa para tabiquería, por su facilidad constructiva y su menor costo. Su introducción como una alternativa para muros portantes de albañilería armada podría ser una solución conveniente aprovechando la aceptación que tienen los tabiques sílico-calcáreos.

Desde su introducción en el Perú, la albañilería armada para la construcción de edificaciones de vivienda de mediana altura, ha tenido poca aceptación de parte de los constructores por la dificultad constructiva y porque requiere mano de obra calificada para ello. Además se conoce que estos muros tienen una limitada ductilidad trabajando a cargas coplanares. De éste modo, se hacía necesario a partir de los 4 pisos, introducir en la edificación muros de concreto en una edificación de albañilería, como es obvio, esto trae complicaciones constructivas que se reflejan en el tiempo y costo de construcción. Nuevas formas de refuerzo de los muros armados, en particular de los talones, permiten mejorar sustancialmente su comportamiento a cargas horizontales dotándolos de gran ductilidad y capacidad de absorción de energía.

La Placa P-10, utilizada en tabiquería, se ha convertido, además, en una alternativa estructural. En la actualidad ya se está construyendo en Lima con este tipo de sistema.

El edificio San Carlos de 5 pisos, ubicado en Pueblo Libre (foto 1.2), es una clara muestra de ello. En este edificio se ha utilizado la Placa P-10 como sistema estructural, prescindiendo con ello del uso de elementos verticales de concreto armado (como columnas y placas) para aumentar la resistencia y rigidez del edificio (Foto 1.3).

Esta es una muestra clara de la introducción y aceptación de este novedoso sistema constructivo de juntas secas con unidades sílico-calcáreas en nuestro país (Foto 1.2).



**Foto 1.1** Vista de la Placa P-10  
(25x50x10)



**Foto 1.2** Edificio construido con Placa P-10



**Foto 1.3** Unión simple entre muros sin  
el uso de columnas



**Foto 1.4** Instalaciones Sanitarias



**Foto 1.5** Tapado de huecos para evitar  
que el grout se salga



**Foto 1.6** Imperfecciones en la unión  
entre unidades

## 1.4 Investigaciones Realizadas

### 1.4.1 Bloque B-15

Este tipo de bloque es denominado Apilablock B-15 (Ref. 9) y de acuerdo con la Cia. Minera Luren, fabricante del mismo, posee dimensiones de 15cm de ancho por 30cm de largo y 15cm de alto, con lo que se tiene 22 piezas por m<sup>2</sup>. Cada bloque pesa 10.9Kg y tiene dos alvéolos de 7cm de diámetro. Este bloque se puede utilizar en la construcción de viviendas de hasta 5 pisos de albañilería con junta seca.

#### 1.4.1.1 Ensayo de carga lateral cíclica

Con la finalidad de evaluar el comportamiento estructural de muros hechos con bloque B-15, se llevaron a cabo ensayos de carga lateral cíclica con carga vertical constante, que produjo un esfuerzo axial de 8 Kg/cm<sup>2</sup> (8% de  $f'_m = 100 \text{ Kg/cm}^2$ ).

Se construyeron cinco muros en el CISMID (Ref.14). Las dimensiones de los muros fueron de 2250mm de largo, 2400mm de alto y 150mm de ancho con una viga solera de 300mm por lado y una viga de cimentación de 900mm de ancho y 300mm de alto. La cuantía de refuerzo vertical fue de 0.235% y la cuantía de refuerzo horizontal 0.222%. Como refuerzo adicional, tres de los cinco muros llevaron zunchos y planchas metálicas pegadas con epóxico.

Se aplicó una carga vertical de 27Tn al muro, luego se sometió al muro a la acción de cargas laterales aplicadas cíclicamente a través del actuador. Se aplicaron los ciclos de carga tratando de llegar a varios niveles de distorsión angular del muro.

Finalmente, después de realizados los ensayos se pudo concluir que:

- Los refuerzos en los talones, tanto los zunchos como las planchas, mejoran notablemente el comportamiento de los muros, permitiendo con ello tolerar varios ciclos de carga y descarga sin degradación de su resistencia, a pesar de su pérdida de rigidez con cada ciclo de carga.
- Los muros reforzados toleraron desplazamientos mayores de 1/100 quedando en un estado reparable.
- El refuerzo de los muros hace factible el empleo de este material en edificios de hasta 6 pisos sin el uso de muros de concreto complementarios.

#### 1.4.2 Placa P-7

El bloque denominado placa P-7 (Ref. 11) posee dimensiones de 7cm de ancho, 50cm de largo y 24cm de altura. Los 7cm de espesor le da a este bloque una ventaja comparativa con otras unidades, como los ladrillos de arcilla ya que éstos son de 12 o 13cm de ancho, llegando incluso hasta los 16cm con el tarrajeo quitando con ello área útil a la construcción, área que es aprovechada por la placa P-7 hasta en un 8% más. Cabe recalcar que este bloque es usado íntegramente como tabiquería. Cada bloque pesa aproximadamente 14.3Kg y posee alvéolos semicirculares en sus extremos, donde se aloja el refuerzo vertical.

Estos bloques sólo tienen la necesidad de ser empastados directamente dada la poca variabilidad dimensional que poseen las unidades. Al mismo tiempo, no necesita columnetas de arriostamiento ya que en sus extremos presentan alvéolos semicirculares que al juntarlo con otra unidad forman un solo alveolo al que se le coloca un acero vertical de  $\frac{1}{4}$ " rodeado de concreto líquido.

##### 1.4.2.1 Ensayo de Resistencia Transversal al Plano del Tabique

El ensayo, hecho en la Compañía Minera Luren, (Ref. 11) fue de flexión perpendicular al plano de un tabique, apoyado superior e inferiormente. Las medidas del muro fueron 2.50m de ancho por 2.65m de alto, con una armadura de 5 barras (una de  $\frac{3}{8}$ " en el extremo y cuatro de  $\frac{1}{4}$ " en el medio, soldadas con pernos expansivos insertados en el techo y piso.

Se le aplicó una carga transversal al tabique a la mitad de su altura. La carga aplicada alcanzó un valor de 1100Kg (440Kg/m) que equivalió a  $300\text{Kg/m}^2$  con una flecha de 2cm en su centro. Al llegar al límite se descargó el muro regresando casi elásticamente a su posición original, permaneciendo con una flecha casi imperceptible. Finalmente se concluyó que las condiciones estructurales de seguridad de los tabiques con placa P-7 fueron satisfactorias.

##### 1.4.2.2 Ensayo de Compresión en Tabiques Esbeltos

El objetivo de esta prueba fue comprobar la resistencia a compresión del tabique cuando su esbeltez es mayor que 48 (valor aceptado convencionalmente) (Ref. 2). Esto se puede deber a una carga inducida por la deflexión de algún elemento de borde

(viga o losa de techo).

La prueba, hecha en la Compañía Minera Luren, consistió en someter a compresión un tabique de 7cm de espesor, 1.00m de ancho y 3.75m de altura (esbeltez de 54), colocando el muro horizontalmente para la aplicación de la carga. Cuando la carga llegó a los 6500Kg se apreció una pequeña deflexión en el centro del muro, pero la falla por pandeo finalmente ocurrió a los 8000Kg.

Con este ensayo se concluyó que los tabiques hechos con placa P-7 pueden llegar a soportar una carga de 2000Kg/m causada por la deflexión de los elementos horizontales.

#### **1.4.2.3 Ensayo de un Pórtico de Concreto Armado con Tabique de Placa P-7**

El siguiente ensayo que se describe tuvo como objetivo conocer el grado de influencia que tiene un tabique de placa P-7 en un pórtico. A su vez, busca conocer el comportamiento del tabique cuando interacciona con el pórtico ante una sollicitación sísmica y las zonas críticas que se pueden formar en el tabique. Por último se busca conocer el comportamiento del tabique de placa P-7 para verificar si cumple o no con lo que exige la norma E.030. El ensayo se realizó en doce fases aplicando una carga horizontal cíclica y fue realizado en la Universidad Católica (Ref. 11).

Finalmente se concluyó que los tabiques que interactúan con pórticos de concreto armado tienen buen comportamiento ante sismos moderados y severos ya que los desplazamientos cumplieron con lo que especifica la norma E.030.

#### **1.4.3 Placa P-10**

El bloque denominado P-10 posee dimensiones de 50cm de largo, 24cm de alto y 10cm de ancho. La única diferencia con la placa P-7 es precisamente su ancho, por eso su nomenclatura. Este bloque pesa aproximadamente 17.5Kg y se pueden usar hasta 8 piezas por metro cuadrado. Los alvéolos (foto 1.1) son de forma elíptica de ejes 5 por 7 cm.

Este bloque se usaba solo en tabiquería, pero últimamente se ha empezado a usar en forma estructural en algunos edificios (foto 1.2). Lamentablemente, no se ha hecho investigación con esta placa para fines estructurales.

## Capítulo 2

### Características de la Placa P-14

---

#### 2.1 Placa P-14

Los bloques sílico calcáreos se elaboran mediante un proceso industrial, con la utilización de maquinarias tecnificadas. Son unidades fabricadas a partir de una masa formada por la mezcla íntima y húmeda de arenas silíceas naturales o artificiales y una cal aérea como aglomerante. La exposición de las unidades moldeadas a presión y curadas al vapor de agua a alta presión en recipientes herméticos (cámaras auto clave), provoca la reacción de la cal y la sílice formándose el silicato cálcico. Este proceso industrial produce ladrillos de alta resistencia y de aristas y caras bien definidas.

La cal aérea es el producto de la calcinación de una roca compuesta en su mayoría de carbonato de calcio: la caliza. Contiene muy pocas impurezas y cuando se utiliza en mortero, se fragua o carbonata en contacto con el aire en un período prolongado.

En general el ladrillo sílico-calcáreo, debido a que tiene silicatos bicálcicos que son cristales, tiene muy buena resistencia a los sulfatos; el ladrillo producido en general es muy resistente pero esto no implica que éste no se pueda destruir con el ataque de las sales.

#### 2.2 Características de los Bloques Sílico-Calcáreos

##### 2.2.1 Normalización

Las unidades sílico calcáreas son normalizadas, por lo tanto su calidad está garantizada como es el caso del cemento y el acero.

##### 2.2.2 Exactitud Geométrica

Permite un asentado rápido y fácil de los bloques simplemente apilados sin el uso de mortero en las juntas, lo que proporciona una gran productividad en el proceso constructivo de este sistema.

Esta exactitud geométrica permite el ahorro en el revestimiento al necesitar un pequeño resane y revestimiento mínimo por tener un buen acabado.

### 2.2.3 Densidad

La gran densidad que tienen estas unidades otorga:

- Mayor resistencia a la compresión
- Menor permeabilidad, para controlar el paso de la humedad.
- Buen equilibrio térmico.
- Muy buen aislamiento acústico.
- Mayor durabilidad y resistencia al salitre.

## 2.3 Características Físicas de la Placa P-14

La Placa P-14 (Foto 2.1) presenta 4 alvéolos circulares (diámetro = 7cm) donde se aloja el refuerzo vertical y un canal horizontal de 11cm de ancho y 2cm de profundidad donde se aloja el refuerzo horizontal. Las 12 perforaciones (diámetro = 2.5cm) sirven para aligerar el peso de la unidad (21.5Kg). El contenido de huecos, contabilizando las perforaciones es el 30% del área bruta, por lo que la Placa P-14 califica como unidad sólida según la norma E.070.

Cabe indicar que las perforaciones no atraviesan la base del bloque, aunque ello hubiese sido conveniente para que el grout que penetra a través de ellas se adhiera con el bloque inmediato inferior.

### 2.3.1 Variabilidad Dimensional

Las dimensiones nominales de la placa P-14 son: Largo: 500mm, Ancho: 140mm  
Altura: 240mm.

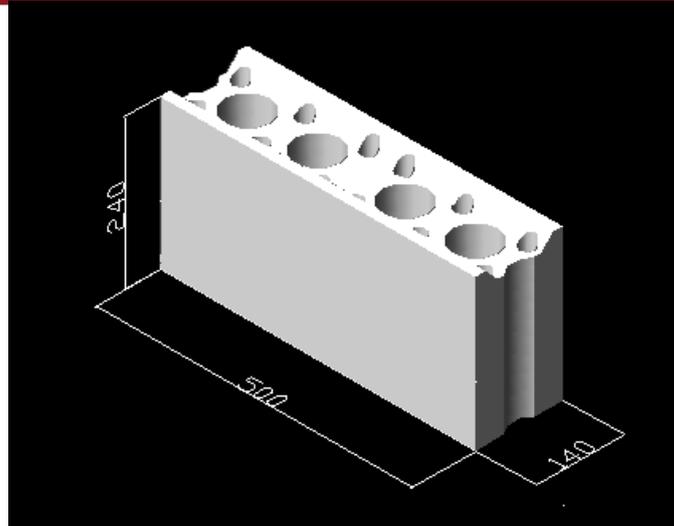


Foto 2.1 Bloque Placa P-14, dimensiones en mm

Se tomó una muestra de cinco especímenes de Placa P-14, y luego de realizar el ensayo de variación dimensional (Foto 2.2) los resultados se muestran en la tabla 2.1

Tabla 2.1 Valores promedio obtenidos de las mediciones de unidades de Placa P-14.

ESPECIMEN N°	LARGO (mm)				ANCHO (mm)				ALTURA (mm)			
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12
1	499.0	498.5	499.5	499.0	138.0	138.5	139.0	138.0	237.0	240.0	238.0	236.0
2	499.0	499.0	500.0	499.0	138.5	139.0	138.5	138.0	239.0	238.5	237.0	238.0
3	499.0	499.5	499.0	499.0	138.0	138.5	139.0	138.0	237.0	238.0	238.0	241.0
4	499.0	499.0	499.5	499.0	138.0	138.0	139.0	138.5	236.5	236.5	236.0	234.0
5	499.0	499.0	499.0	499.0	138.5	138.5	138.5	138.5	237.0	236.0	236.5	238.5
Promedio	499	499	499.4	499	138.2	138.5	138.8	138.2	237.3	237.8	237.1	237.5
Promedio	499.1				138.4				237.4			
Desv. Est.	0.20				0.29				0.30			
Medida Caract.	498.9				138.1				237.1			
Variación (% respecto a medidas nominales)	0.22				1.33				1.20			

Según la Norma E.070, se admiten como valores máximos de las tolerancias en una medida, las indicadas en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2** Tolerancia en las medidas para bloques P y NP

MEDIDA (mm)	TOLERANCIA (máxima en porcentaje)	
	BLOQUE P	BLOQUE NP
Menores de 100	± 4	± 7
De 100 a 150	± 3	± 6
Mayores de 150	± 2	± 4

Las variaciones del largo, ancho y alto de la Placa P-14 se encontraron dentro de los rangos requeridos para bloques tipo P (usado para muros portantes).

**Foto 2.2** Variabilidad dimensional.

### 2.3.2 Succión

La succión es la medida de la avidez de agua del bloque en su cara de asiento. Los bloques de albañilería con excesiva succión, en el momento del asentado, no logran uniones adecuadas con el mortero. Cuando la succión es muy alta, el mortero se deforma y endurece, lo que debilita su unión con la unidad. Se considera que para succiones mayores de 20gr por minuto en un área de 200cm<sup>2</sup> es requisito indispensable que los ladrillos se saturen antes de su uso.

Para el caso de la Placa P-14, por su proceso constructivo, los bloques deben tener una adecuada capacidad de absorción puesto que los bloques deben absorber agua del concreto líquido para que éste quede con una relación agua/cemento aproximada de 0,5 y se obtenga la resistencia requerida de aproximadamente 140 kg/cm<sup>2</sup>, aparte que las únicas unidades que se asientan sobre mortero son las de la primera hilada.

En el ensayo de succión las muestras (medios bloques de Placa P-14) fueron secadas al horno (Foto 2.3) entre 110° y 115°C durante un día y pesadas (Foto 2.4) luego de enfriarlos a temperatura de ambiente. Una vez pesadas, fueron colocadas sobre una

lámina de agua (Foto 2.5) de 3mm durante 1 minuto, finalmente se retiró la muestra secando el agua superficial en su cara de asiento y se pesó nuevamente.

El valor de la succión se obtuvo de la diferencia de pesos (en gramos) entre el peso final y el inicial, extrapoliéndolo a un área de asentado normalizada en 200cm<sup>2</sup>. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3** Resultados de ensayo de succión

ESPECIMEN N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	PESO (gr)		AREA (cm <sup>2</sup> )	SUCCIÓN (gr)
			Inicial	Final		
1	24.7	13.8	10229.1	10333.3	340.86	61.14
2	24.9	13.8	10614.8	10676.0	343.62	35.62
3	24.8	13.9	10526.7	10637.3	344.72	64.17
<b>Succión Promedio (en gr/(200cm<sup>2</sup>))</b>						<b>54</b>



**Foto 2.3** Secado al horno de los bloques.



**Foto 2.4** Peso del bloque seco



**Foto 2.5** Ensayo de succión.

### 2.3.3 Absorción

La absorción es una de las propiedades relacionadas con la durabilidad del bloque en situación de intemperismo.

El ensayo de absorción se realizó con medios bloques de Placa P-14, de la siguiente manera: Los bloques se partieron por la mitad y se secaron al horno durante un día a una temperatura de 100 a 115 °C, luego se dejaron enfriar a temperatura ambiente para poder pesarlos, después se sumergieron en agua (Foto 2.6) durante 24 horas para finalmente volverlos a pesar. Se denomina absorción a la diferencia de peso entre la muestra saturada durante 24 horas y la muestra seca, expresada en porcentaje del peso de la unidad seca. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4** Resultados de ensayo de absorción.

ESPECIMEN N°	PESO (gr)		ABSORCIÓN (%)
	Seco	24h Sumergido	
1	10229.1	11558.7	13.0
2	10614.8	11883.6	12.0
3	10526.7	11777.0	11.9
<b>Absorción Promedio (%)</b>			<b>12.3</b>

Los bloques ensayados por el procedimiento establecido en la Norma Técnica ITINTEC 331.034 tienen una absorción promedio de 12.3%, lo cual está en el límite máximo (12%) aceptado para bloques tipo P (para muros portantes), especificado por la Norma E.070.



**Foto 2.6** Ensayo de absorción.

### 2.3.4 Resistencia a Compresión ( $f'_b$ )

La resistencia a la compresión de la albañilería ( $f'_m$ ) es su propiedad más importante. En términos generales define el nivel de la calidad estructural. Los principales componentes de la resistencia a la compresión de la albañilería son: la resistencia a la compresión de la unidad de albañilería ( $f'_b$ ), la perfección geométrica de la unidad, la calidad del concreto líquido (caso de la Placa P-14) y la calidad de mano de obra empleada.

Para el ensayo de compresión se cortó los bloques a la mitad y se eliminaron las alas de la parte superior del bloque para que este quede con sus superficies planas (Foto 2.7).

Los resultados del ensayo de compresión (Fotos 2.8, 2.9) del bloque de Placa P-14 se muestran en la tabla 2.5.

**Tabla 2.5** Resultados del ensayo de compresión.

ESPECIMEN N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA MÁXIMA		RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm <sup>2</sup> )
				(KN)	(kg)	
1	24.5	13.80	338.10	154.40	15739	46.55 *
2	24.8	13.80	342.24	224.10	22844	66.75
3	24.7	13.75	339.63	295.10	30082	88.57
<b>Resistencia a compresión promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>						<b>78</b>

(\*) No se está considerando el primer bloque porque estaba fisurado antes del ensayo

La resistencia obtenida ( $f'_b = 78 \text{ Kg/cm}^2$ ) no es comparable con la resistencia a la compresión de un ladrillo, dada la esbeltez que tiene la Placa P-14, por ello se le compara con la resistencia que tienen los bloques en la Norma E.070, donde se indica que los bloques tipo P (aptos para usarlos en muros portantes), deben tener  $f'_b > 50 \text{ Kg/cm}^2$ , por lo tanto, la placa P-14 es apta para usarla en la construcción de muros portantes.



**Foto 2.7** Bloque con superficies planas.



**Foto 2.8** Ensayo a compresión del bloque.



**Foto 2.9** Bloque P-14 después del ensayo a compresión.

## Capítulo 3

### Propiedades de los Materiales Adicionales

#### 3.1 Acero de Refuerzo

El ensayo a tracción de las varillas de acero empleadas en la construcción de los muros con Placa P-14, se realizó bajo la norma de ensayo ASTM A-370-03, El equipo utilizado fue una Máquina Universal MTS de 250KN. Las varillas fueron de la fábrica de Aceros Arequipa y de diámetros  $\phi=8\text{mm}$  y  $\phi=12\text{mm}$ . Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.1, donde puede apreciarse que el esfuerzo de fluencia superó al valor nominal de fluencia ( $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ ) y que la relación entre la resistencia máxima y la resistencia a la fluencia es bastante elevada (del orden de 1.5). Ambas varillas tuvieron elongaciones mayores que 9%, por lo cual califican como varilla dúctil.

**Tabla 3.1** Resultados de ensayo a tracción del acero.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y RESISTENTES	ESPECIMEN N°	
	1 ( $\phi=8\text{mm}$ )	2 ( $\phi=12\text{mm}$ )
Díámetro Nominal (mm)	8	12
Area ( $\text{mm}^2$ )	50	113
Carga de Fluencia (KN)	24.69	50.71
Carga Máxima (KN)	35.74	81.39
Carga de Rotura (KN)	32.5	65
Esfuerzo de Fluencia (MPa)	491.1	448.4
Esfuerzo Máximo (MPa)	711	719.6
Esfuerzo de Rotura (MPa)	646.6	574.7
Elongación %respecto de $G=200\text{mm}$	13	15.5

## 3.2 Concreto líquido

### 3.2.1 Generalidades

El American Concrete Institute (ACI) define el término grout como una mezcla de materiales cementicios y agua, con o sin agregados, en proporciones tales que se obtiene una consistencia líquida sin segregación de sus constituyentes.

Grout fue traducido inicialmente al idioma castellano como "lechada de cemento", término que no contempla la posibilidad de que el grout contenga, como es necesario para muchas de sus aplicaciones, agregados finos y gruesos. Posteriormente se llamó al grout, "mortero líquido", equivocadamente porque el término mortero implica adhesión mientras que el grout proporciona resistencia a la compresión y por lo tanto, no es mortero, sino concreto.

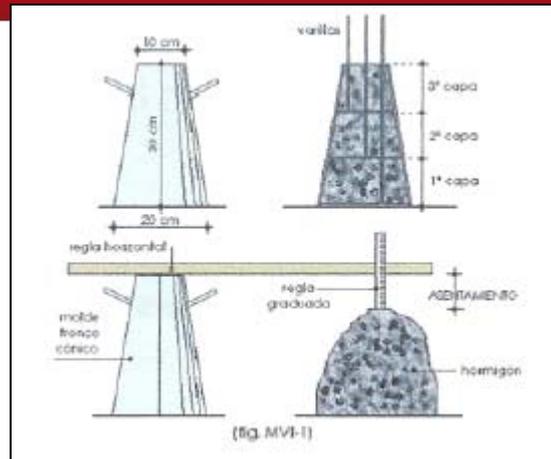
Los términos castellanos que han quedado consagrados desde el punto de vista de la albañilería armada y que expresan con propiedad de que se trata son los siguientes (Norma E.070):

- Grout grueso: Con piedra de  $\frac{1}{4}$ ", utilizado para llenar alvéolos con dimensiones mayores de 6 cm.
- Grout fino: Sin piedra (sólo arena-cemento) utilizado para llenar alvéolos con dimensiones menores de 6 cm, que es el caso de la placa P-14

### 3.2.2 Aplicación

Para lograr la integración de la armadura con la albañilería, los alvéolos de los bloques de albañilería se llenan con grout, el cual, para ser colocado, debe tener una elevada trabajabilidad, es decir, debe ser concreto líquido.

El concreto líquido es producido con los mismos ingredientes usados para producir concreto convencional, con la única diferencia que se necesita una elevada fluidez a nivel de líquido, que se demuestra mediante la prueba de slump con el cono de Abrahms (Foto 3.1) con una medida de asentamiento comprendida entre 8" y 12".



**Foto 3.1** Prueba de medición de slump.

Esta condición demanda contenidos de agua sumamente elevados, con relaciones agua/cemento de entre 0.8 y 1.1, dependiendo del módulo de fineza de la arena. Evidentemente, si esta relación agua-cemento permanece inalterada, el producto final sería un concreto muy poroso y de escasa resistencia. Pero esto no ocurre ya que al colocar el concreto líquido en los alvéolos de las unidades albañilería, éstas absorben parte del exceso de agua dejando al concreto con relación agua/cemento final de aproximadamente 0.6.

Este concreto es adecuado para dar consistencia estructural a la albañilería armada asegurando la adherencia con la armadura vertical y protegiéndola. Al mismo tiempo, debido a la succión de los solubles del cemento en los poros capilares de las unidades de albañilería, se crea una adhesión con el concreto, en base a los cristales de etringtona incrustados en el cuerpo de las unidades de albañilería, que convierte al muro en una sola unidad razonablemente homogénea.

### 3.2.3 Materiales Componentes

Para la elaboración del grout se entiende como materiales cementantes exclusivamente a los cementos Pórtland o a los cementos modificados con puzolanas, como el I-PM.

La cal hidratada no es un componente indispensable (como en los morteros), pero puede ser útil cuando se emplea arenas mal graduadas con módulos de fineza mayores de 3, para mejorar la cohesividad. En este caso la proporción de cal en volumen no debe exceder de 1/10 la del cemento; con proporciones mayores el

concreto se vuelve excesivamente retentivo de agua. Las arenas utilizadas cubren una amplia gama y de acuerdo a la norma ASTM C404, las granulometrías aceptables están indicadas en la tabla 3.2

**Tabla 3.2** *Granulometrías aceptables de arenas.*

GRANULOMETRIA (% QUE PASA)		
Malla ASTM	Tipo 1	Tipo 2
3/8	100	
No. 4	90-100	100
No. A	80-100	95-100
No. 16	50-85	70-100
No. 30	25-60	40-35
No. 50	10-30	10-35
No. 100	2-10	2-15
No. 200	0-5	0.5

Pero son preferibles las de granulometría tipo 1 (con módulos de fineza entre 2.3 y 3.1), debido a que requieren menos cemento y los concretos líquidos producidos con ellas alcanzan mayor resistencia y tienen menos contracción de fragua.

Al igual que en el concreto, tanto los agregados como el agua deberán estar libres de sustancias orgánicas, exceso de sales y otras sustancias deletéreas.

En general el uso de aditivos no es necesario, y los que contienen cloruro de calcio o retardantes no deben utilizarse, los primeros por aumentar el riesgo de corrosión y los segundos por aumentar la retentividad. En ciertos casos, cuando se debe bombear el concreto líquido, se utilizan fluidificantes para facilitar la operación de bombeo.

### 3.2.4 Proporciones

Se debe distinguir dos tipos de concreto líquido; el que tiene agregado grueso y el que no lo tiene. El primero sólo debe ser empleado cuando la menor dimensión del alveolo de la unidad de albañilería es igual o mayor que 60mm.

Para ambos concretos líquidos la cantidad de agua debe estar calibrada para alcanzar un slump de 11" en el cono de Abrahms. Las proporciones se indican en la tabla 3.3

**Tabla 3.3** Proporciones de cemento, arena y piedra para concreto líquido.

Concreto Líquido	MATERIALES COMPONENTES		
	Cemento	Arena	Piedra 3/8
Grout fino	1	3 - 4	
Grout grueso	1	2 - 3	1 - 2

En este proyecto se utilizó grout embolsado proporcionado por la empresa La Casa, estas bolsas contienen una mezcla de cemento y arena gruesa con proporción volumétrica 1:3. La dosificación final fue de 5 partes de mezcla por 1 de agua, lo que proporciona una relación cemento: arena: agua de 1.25:3.75:1, con una relación agua: cemento de 0.8 que genera un slump de 27cm ó 10 5/8".

### 3.2.5 Ensayos y Resistencia a Compresión

El ensayo para el control del concreto líquido es el de compresión. La resistencia a compresión se mide sobre probetas prismáticas con una esbeltez de 2, cuyo molde debe hacerse con los mismos bloques sílico-calcáreos (Foto 3.2) recubierto con un papel filtro (Foto 3.3). Para este proyecto, el prisma fue de 12x12x24cm (Fotos 3.4 y 3.5) y las probetas fueron ensayados a los 28 días de acuerdo a la norma ASTM C1019 "Standard Method of Sampling and Testing Grout"



**Foto 3.2** Fabricación de probetas prismáticas de grout.



**Foto 3.3** Colocación del papel filtro



**Foto 3.4** Probeta prismática de grout con capping



**Foto 3.5** Probetas prismáticas de grout.

Las resistencias características esperables (Fuente Cementos Lima) con los agregados, cementos y unidades de albañilería usados en Lima, basados en ensayos realizados de manera sistemática y consistente son los indicados en la tabla 3.4

**Tabla 3.4** Proporción del concreto líquido sin agregado grueso.

f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Sin cal		Con cal	
	1:3	1:4	1:1/10:3	1:1/1:4
	170	130	150	110

Los resultados del ensayo a compresión (Foto 3.6) de las probetas de concreto líquido con 28 días de edad se muestran en la tabla 3.5. Como resultado se tiene que la resistencia promedio fue de 160 kg/cm<sup>2</sup>, valor que supera a la resistencia mínima especificada por la Norma E.070 (140 Kg/cm<sup>2</sup>).

**Tabla 3.5** Resultado de ensayo a compresión de probetas prismáticas de concreto líquido (grout fino 1:3)

ESPECIMEN N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA MÁXIMA		RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm <sup>2</sup> )
				(KN)	(kg)	
1	12.65	12.90	163.19	243.97	24869.52	152.40
2	12.15	12.25	148.84	243.47	24818.55	166.75
3	12.25	12.00	147.00	230.95	23542.30	160.15
<b>Resistencia a compresión f'c promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>						<b>160</b>



**Foto 3.6** Ensayo de compresión de la probeta de grout.

### 3.3 Placa P-14 Rellena con Grout

Puesto que la Placa P-14 es un sistema que siempre debe ir rellena con grout, se decidió ensayar a compresión a éstas unidades rellenándolas previamente con grout (Foto 3.7), luego de haber transcurrido 28 días desde la fecha de vaciado.

Los resultados del ensayo de compresión de las probetas de bloque P-14 rellena de grout se muestran en la tabla 3.6. Como resultado se tiene que el esfuerzo promedio es de  $88 \text{ kg/cm}^2$ , valor que resulta 13% mayor al obtenido para las unidades vacías ( $78 \text{ kg/cm}^2$ , tabla 2.5), 82% menor que la resistencia del grout ( $160 \text{ kg/cm}^2$ , tabla 3.5) y 120% mayor que la resistencia de la pila ( $40 \text{ kg/cm}^2$ , tabla 4.2)

**Tabla 3.6** Resultado de ensayo a compresión de probetas de bloque P-14 rellenos de concreto líquido (grout)

ESPECIMEN N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA MÁXIMA		RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm <sup>2</sup> )
				(Ton)	(kg)	
1	24.7	13.8	340.86	32.20	32200.00	94.47
2	24.9	13.8	343.62	29.48	29480.00	85.79
3	24.8	13.8	342.24	28.73	28730.00	83.95
<b>Resistencia a compresión promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>						<b>88</b>



**Foto 3.7** Bloques P-14 rellenos de grout.



## Capítulo 4

### Propiedades de la Albañilería Simple

---

Para definir la resistencia de diseño a la compresión de la albañilería ( $f'm$ ) y la resistencia a compresión diagonal o corte puro ( $v'm$ ), lo conveniente es la realización de ensayos de pilas y muretes, respectivamente. A su vez, dichos ensayos también contribuyen a establecer los diferentes tipos de falla, la resistencia y rigidez.

Para tal efecto, se construyeron tres pilas y tres muretes, apilando los bloques P-14 (junta seca) para luego rellenarlos con grout.

Los especímenes no fueron curados y el transporte hacia los dispositivos de ensayo fue realizado con especial cuidado para evitar su deterioro en el manipuleo. Las pilas fueron transportadas con la grúa y luego acomodadas a mano (Foto 4.1) y los muretes fueron transportados con un dispositivo rotatorio que permitía colocar directamente la diagonal vertical de éste con el dispositivo de ensayo (Foto 4.2).



**Foto 4.1** Colocación de la pila para el ensayo

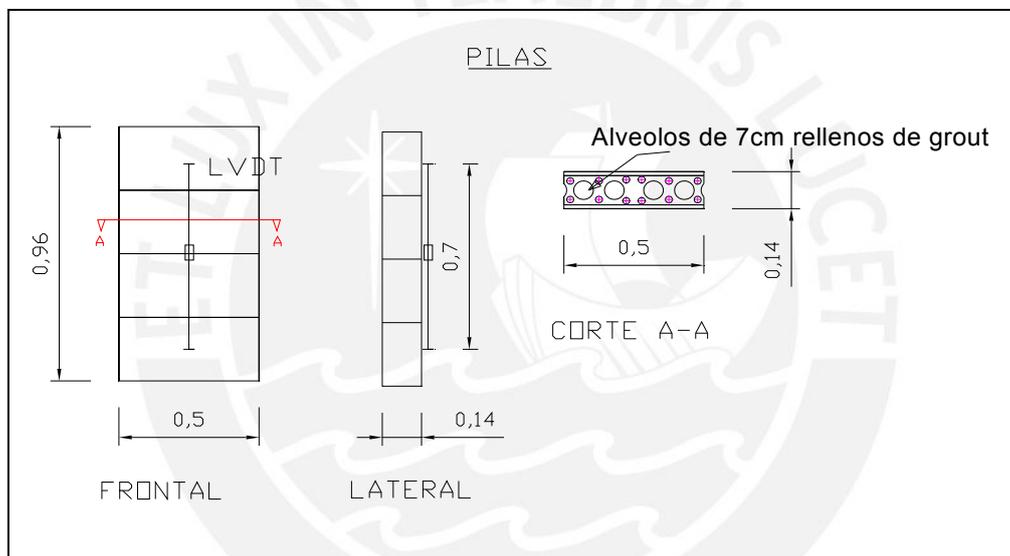


**Foto 4.2** Colocación del murete para el ensayo

## 4.1 Pilas

### 4.1.1 Generalidades

El ensayo de las pilas busca conocer el comportamiento de la albañilería ante fuerzas de compresión axial. Con éste ensayo se puede conocer la resistencia a la compresión de la albañilería ( $f'_m$ ), así como el módulo de elasticidad (E) y el tipo de falla de la pila. Las dimensiones de las pilas, con esbeltez 6.86, se muestra en el plano 4.1. El LVDT que aparece en el Plano 4.1, se utilizó para hallar la deformación axial, para luego determinar el módulo de elasticidad (E).



**Plano 4.1** Características de las Pilas. Dimensiones en metros.

### 4.1.2 Proceso Constructivo

Para ésta investigación se construyeron 3 pilas (Foto 4.3) cuyas medidas se muestran en la tabla 4.1

**Tabla 4.1** Medidas de las pilas

Nº Pila	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Longitud LVDT (cm)
1	50.0	13.9	95.9	72.0
2	49.9	13.9	96.0	70.0
3	49.8	14.0	96.2	70.0



**Foto 4.3** Vista de las tres pilas construidas

La construcción de las pilas se hizo de manera rápida. Se apilaron cuatro placas P-14 una encima de otra, se niveló con una plomada y finalmente se procedió a vaciar el concreto líquido (Foto 4.4). El vaciado se debe hacer a través de uno de los alvéolos (cualquiera de los extremos) y pasar al otro únicamente cuando éste esté lleno (Foto 4.5).



**Foto 4.4** Vaciado a través del alvéolo del extremo



**Foto 4.5** Vista del primer alvéolo lleno del llenado del segundo

Previo a los ensayos se le colocó capping en ambos lados para nivelar sus superficies.



**Foto 4.6** Capping en la superficie de las pilas

#### 4.1.3 Ensayo de las Pilas

El dispositivo de ensayo consistió de una gata hidráulica de 63 toneladas de capacidad y una celda de carga de 100 toneladas conectadas a un marco metálico (Foto 4.7). Los ensayos se realizaron a una velocidad de 5 ton/min y las deformaciones se midieron con dos LVDTs, uno global y otro local colocado en una de las caras de la pila (Fotos 4.8 y 4.9)



**Foto 4.7** Dispositivo de ensayo



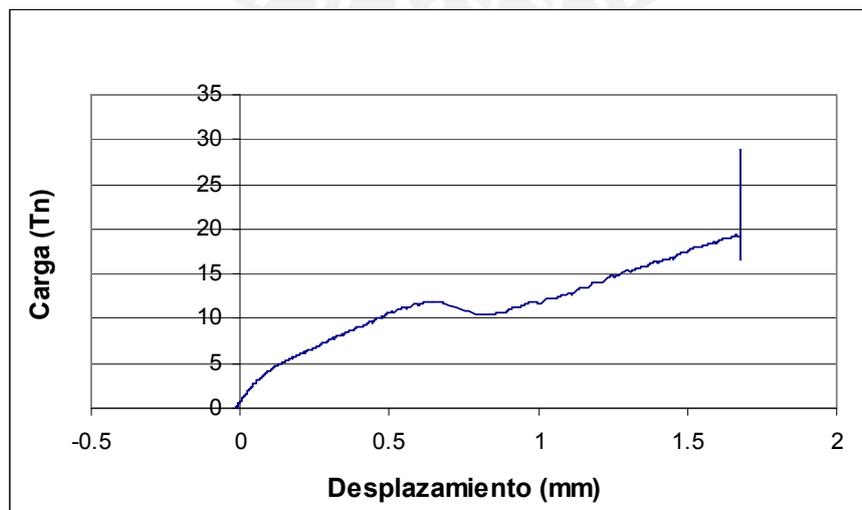
**Foto 4.8** Ubicación del LVDT global



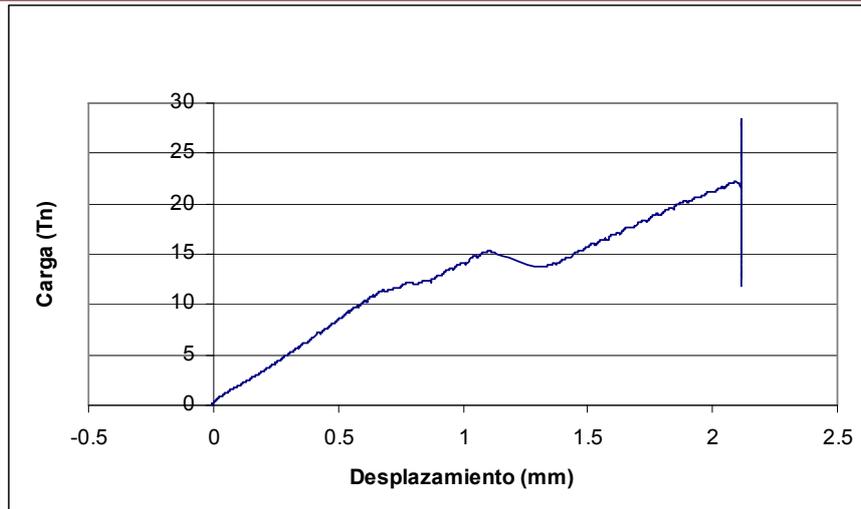
**Foto 4.9** Ubicación del LVDT local

#### 4.1.4 Resultados de los ensayos

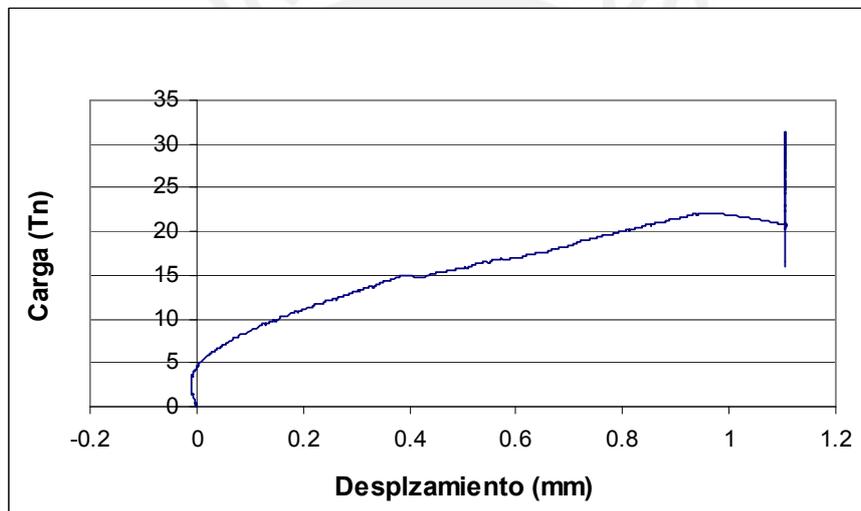
La relación entre la carga y el desplazamiento de las pilas, una vez terminados los ensayos, se muestran a continuación en las gráficas 4.1, 4.2 y 4.3.



**Gráfica 4.1** Carga vs Desplazamiento Pila N° 1



**Gráfica 4.2** Carga vs Desplazamiento Pila N° 2



**Gráfica 4.3** Carga vs Desplazamiento Pila N° 3

#### 4.1.4.1 Cálculo de la resistencia a la compresión ( $f'm$ )

La resistencia a la compresión de las pilas se calculó dividiendo la carga de rotura entre el área bruta y la resistencia característica ( $f'm$ ) se obtuvo restando una desviación estándar a la resistencia promedio (Tabla 4.2). El resultado obtenido fue  $f'm = 40 \text{ Kg/cm}^2$ , valor que resultó bastante bajo posiblemente por la gran esbeltez que tuvo la pila (6.86). Cabe indicar que la máxima esbeltez indicada por la Norma E.070 es 5.

**Tabla 4.2** Cálculo de la resistencia a compresión ( $f'm$ ) de las pilas

Pilas	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (Kg)	$f'm$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	13.9	50.0	695.0	28396	40.86
2	13.9	49.8	692.2	28395	41.02
3	14.0	49.9	698.6	31369	44.90

<b><math>f'm</math> prom</b>	42.26
<b>desv. est.</b>	2.29
<b><math>f'm</math> caract.</b>	40

#### 4.1.4.2 Cálculo del Módulo de Elasticidad (E)

Usando la gráfica Desplazamiento vs Carga de cada pila se buscó un tramo cuya pendiente represente el comportamiento elástico de la pila, por lo tanto, el módulo de elasticidad (E) se obtuvo dividiendo un incremento de esfuerzo axial ( $\Delta\sigma$ ) de dicho tramo entre las deformaciones unitarias correspondientes ( $\Delta\xi$ ). Los resultados aparecen en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3** Cálculo del Módulo de Elasticidad (E) de las pilas

Pilas	L (mm)	Punto 1		Punto 2		$\epsilon$	$\sigma_1$ ton/m <sup>2</sup>	$\sigma_2$ ton/m <sup>2</sup>	E ton/m <sup>2</sup>
		P1 (tn)	D1 (mm)	P2 (tn)	D2 (mm)				
Pila 1	720	5.589	0.172	11.147	0.537	0.00051	79.850	159.241	1.57E+05
Pila 2	700	2.316	0.128	11.367	0.679	0.00079	33.083	162.391	1.65E+05
Pila 3	700	11.007	0.198	21.707	0.918	0.00103	157.244	310.099	1.49E+05

<b>E prom</b>	1.57E+05
<b>desv. est.</b>	7.95E+03
<b>E caract.</b>	<b>1.5E+05</b>

En la tabla 4.3 se puede apreciar que el módulo de elasticidad resultó  $E = 15000$  Kg/cm<sup>2</sup>, que también es un valor muy pequeño.

#### 4.1.4.3 Comportamiento de las Pilas

Para las tres pilas ensayadas el tipo de falla fue el mismo, todas presentaron agrietamiento vertical (Foto 4.10), causado posiblemente por la expansión lateral del grout al ser comprimido, o por concentraciones de esfuerzos en las 12 perforaciones existentes en los bordes de la placa P-14 (Foto 2.1).

Se observó el desprendimiento de las caras de las unidades (Fotos 4.11 y 4.12), así como la casi nula adherencia entre el grout y la Placa P-14 (Foto 4.13). Esta falta de

adherencia puede deberse a la alta contracción de secado del grout o a que la cara de la Placa P-14 es muy lisa, casi impermeable a la penetración del material cementante del grout.

En general, los valores de  $f_m$  y  $E$  resultaron sumamente bajos y podría atribuirse a diversos factores:

- Basta que una unidad presente alguna fisura como para que se altere todo el comportamiento de la pila.
- Basta que una de las perforaciones de la Placa P-14 no se haya llenado con grout como para que por allí se inicien las fisuras verticales.
- Basta que haya espacios vacíos entre las placas P-14 (no se resanaron) como para que los esfuerzos se concentren en ciertos puntos de la pila.

De éste modo el comportamiento de las pilas es muy sensible a los defectos que puedan ocurrir en una de sus unidades, por lo que es mejor obtener el módulo de elasticidad en los muros.

Por otro lado, se obtuvo  $E = 375 f_m$ , ésta expresión también es muy distinta a la especificada en la Norma E.070 para unidades sílico calcáreas ( $E = 600 f_m$ ) asentadas con mortero.



**Foto 4.10** Formación de grietas verticales en la pila



**Foto 4.11** Desprendimiento de las caras del bloque



**Foto 4.12** Cara del bloque desprendida

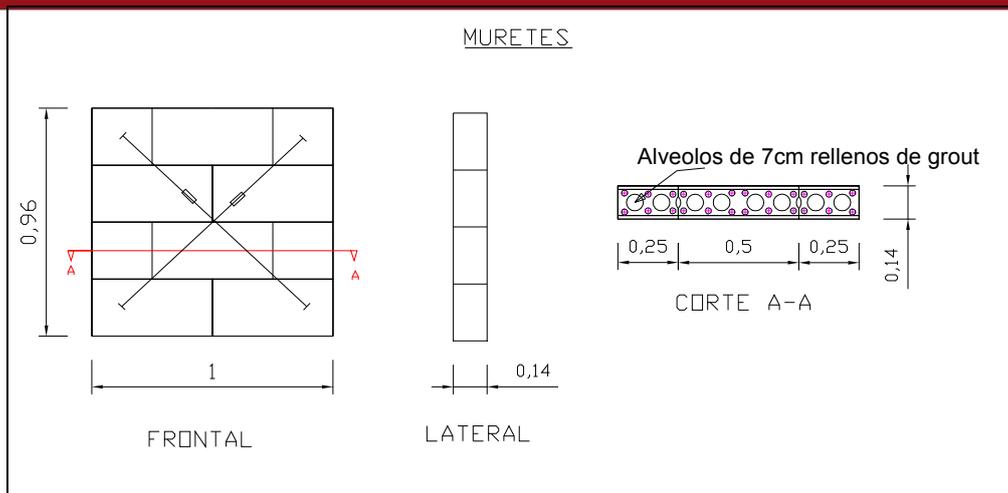


**Foto 4.13** Trozo de grout totalmente desprendido del bloque.

## 4.2 Muretes

### 4.2.1 Generalidades

El ensayo de los muretes a compresión diagonal busca conocer el comportamiento de la albañilería ante un estado de corte puro. Con este ensayo se puede conocer la resistencia al corte de la albañilería ( $v'm$ ), así como el módulo de rigidez ( $G$ ) y el tipo de falla del murete. Las dimensiones de los muretes se muestran en el plano 4.2



**Plano 4.2** Geometría de los Muretes. Dimensiones en metros

#### 4.2.2 Proceso Constructivo

Para esta investigación se construyeron 3 muretes (Foto 4.14) cuyas medidas se muestran en la tabla 4.4. Adicionalmente se tomó el peso de cada murete para hallar su peso volumétrico el cual resultó  $2 \text{ Tn/m}^3$ , 11% mayor al que se utiliza en las construcciones de albañilería convencional ( $1.8 \text{ Tn/m}^3$ )

**Tabla 4.4** Medidas de los muretes y peso volumétrico

Nº Murete	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Longitud LVDT vertical (cm)	Longitud LVDT horizontal (cm)	Peso (Kg)	Peso volumétrico ( $\text{Tn/m}^3$ )
1	99.8	13.9	95.0	107.5	100.5	263.0	2.00
2	99.5	14.0	94.5	108.0	107.7	259.0	1.97
3	99.0	13.9	94.6	107.5	107.7	260.0	2.00
<b>Peso vol. Prom.</b>							2.00



**Foto 4.14** Vista de los tres muretes construidos

La construcción de los muretes se hizo, al igual que las pilas, de manera rápida. Se colocó una primera hilada de 2 Placas P-14 enteras, luego en la segunda hilada se intercalaron las Placas, teniendo mitades en ambos extremos y así sucesivamente hasta completar las cuatro hiladas. Después de apilar las Placas se niveló con una plomada y se procedió a vaciar el grout. El vaciado se hizo a través de un alvéolo extremo y no se pasó al siguiente hasta que el anterior no estuviese lleno.

Previo a los ensayos se le colocó capping únicamente en dos esquinas opuestas para que a la hora de colocarlo en la máquina de ensayos encaje bien (Foto 4.15).



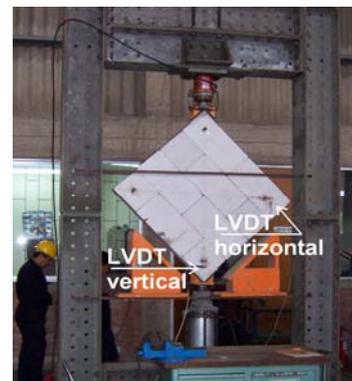
**Foto 4.15** Capping en la esquina del murete

#### 4.2.3 Ensayos de los muretes

El dispositivo de ensayo consistió de una celda de carga y una gata hidráulica que reaccionaban sobre un marco metálico según se detalla en la foto 4.16. Los ensayos se realizaron a una velocidad de 1 ton/min. Las deformaciones se midieron con dos LVDT colocados en las diagonales de los muretes (Foto 4.17).



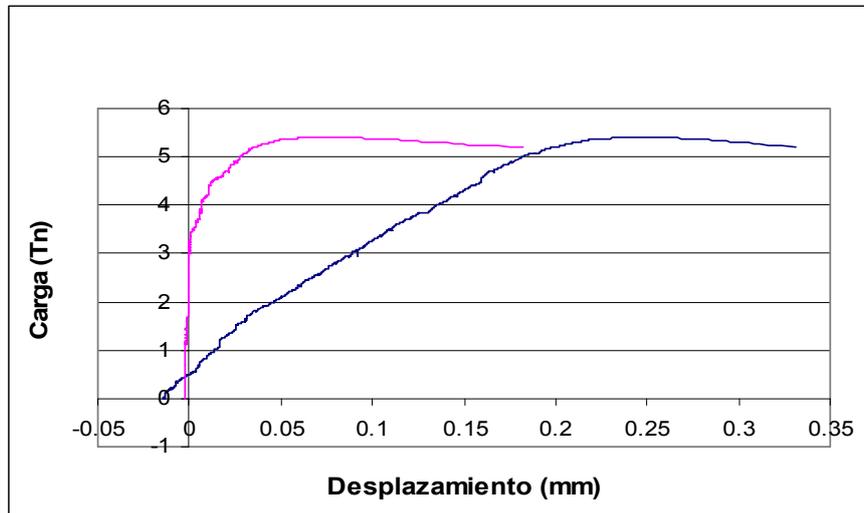
**Foto 4.16** Dispositivo de ensayo



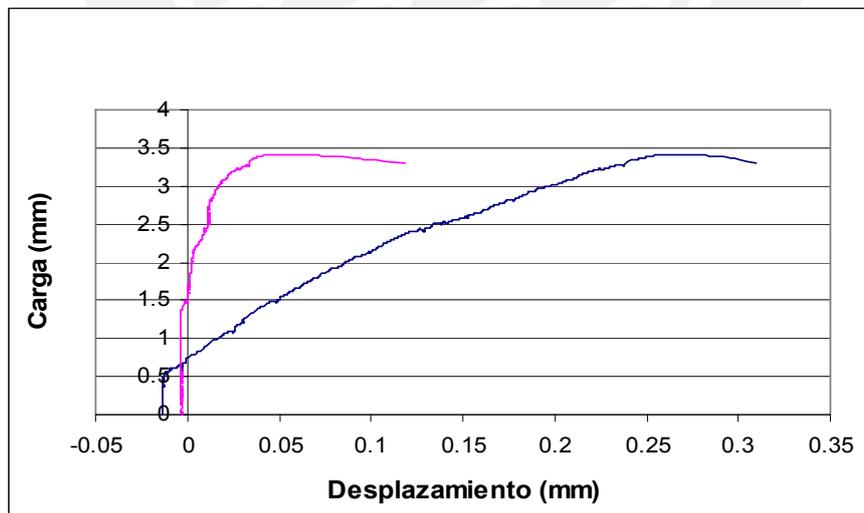
**Foto 4.17** Distribución de LVDT

#### 4.2.4 Resultados de los ensayos

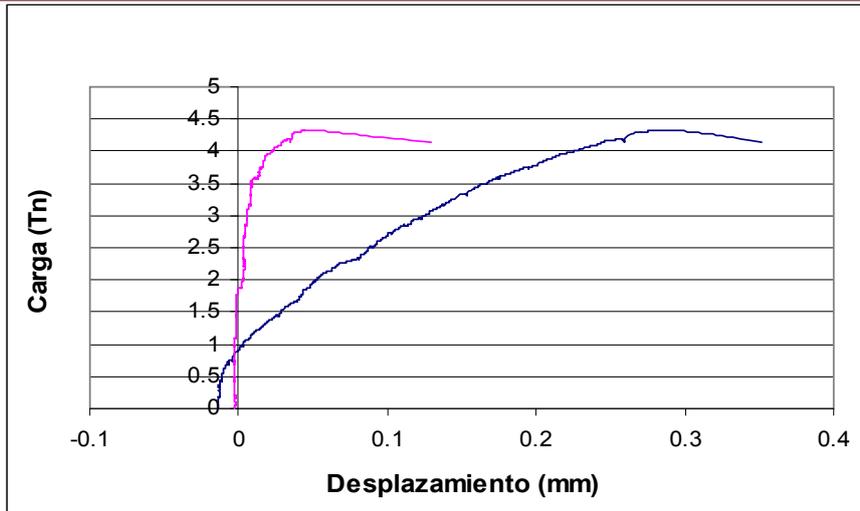
La relación entre la carga y el desplazamiento de los muretes, una vez terminados los ensayos, se muestran a continuación en las gráficas 4.4, 4.5, 4.6.



Gráfica 4.4 Carga vs Desplazamiento Murete N° 1



Gráfica 4.5 Carga vs Desplazamiento Murete N° 2



**Gráfica 4.6** Carga vs Desplazamiento Murete N° 3

#### 4.2.4.1 Cálculo de la resistencia al corte ( $v'm$ )

La resistencia a compresión diagonal se calculó dividiendo la carga de rotura entre el área bruta de la diagonal cargada y la resistencia característica ( $v'm$ ) se obtuvo restando una desviación estándar a la resistencia promedio (tabla 4.5). La resistencia obtenida fue  $v'm = 1.74 \text{ Kg/cm}^2$ , valor que resulta ser muy bajo, posiblemente por la forma de falla que tuvieron los muretes (Foto 4.2).

**Tabla 4.5** Cálculo de la resistencia al corte ( $v'm$ )

Murete	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Diagonal (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (Kg)	$v'm$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	13.8	99.8	95.0	137.8	1901.4	5707.4	3.00
2	13.9	99.0	94.6	136.9	1903.3	3420.0	1.80
3	14.0	99.5	94.5	137.2	1921.1	4334.4	2.26

$v'm$ prom	2.35
desv. est.	0.61
$v'm$ caract.	1.74

#### 4.2.4.2 Cálculo del módulo de corte (G)

Usando la gráfica Desplazamiento vs Carga de cada murete se buscó un tramo cuyas pendientes representen el comportamiento elástico del murete (tabla 4.6). Luego el módulo de corte (G) se obtuvo dividiendo un incremento de esfuerzo cortante ( $\Delta\tau$ ) de dichos tramos entre la deformación angular correspondiente ( $\Delta\gamma$ ), la que se calculó sumando en valor absoluto las deformaciones unitarias obtenidas en las diagonales.

Los resultados aparecen en la tabla 4.6 y 4.7, donde se aprecia que el valor  $G = 4500 \text{ Kg/cm}^2$  resultó muy pequeño.

**Tabla 4.6** Puntos representativos del comportamiento elástico de los muretes

Murete	L (mm)	Punto 1		Punto 2	
		P1 (tn)	D1 (mm)	P2 (tn)	D2 (mm)
Murt 1 hor	1005	4.062	0.139	5.069	0.187
Murt 1 ver	1075	4.062	0.007	5.069	0.031
Murt 2 hor	1077	2.066	0.092	3.031	0.202
Murt 2 ver	1075	2.066	0.003	3.031	0.019
Murt 3 hor	1077	2.562	0.003	3.544	0.009
Murt 3 ver	1080	2.562	0.093	3.544	0.170

**Tabla 4.7** Cálculo del Módulo de corte  $G$  de los muretes

Murete	$\epsilon_h$	$\epsilon_v$	$\frac{\Delta\gamma}{\epsilon_1+\epsilon_2}$	$\tau_1 \text{ ton/m}^2$	$\tau_2 \text{ ton/m}^2$	$\Delta\tau \text{ ton/m}^2$	$G = \frac{\Delta\tau}{\Delta\gamma} \text{ ton/m}^2$
1	0.00005	0.00002	0.00071	21.05	26.26	5.22	7.33E+04
2	0.00010	0.00001	0.00117	10.78	15.81	5.04	4.30E+04
3	0.00001	0.00007	0.00077	13.33	18.45	5.11	6.64E+04

G Prom.	6.09E+04
Desv. Est.	1.59E+04
G caract.	4.50E+04

#### 4.2.4.3 Comportamiento de los Muretes

En los tres muretes ensayados el tipo de falla fue el mismo (Fotos 4.18 y 4.19). La línea de falla sigue el camino más débil, es decir las juntas horizontales y verticales (agrietamiento escalonado) carentes de mortero.

Este tipo de falla es originado por esfuerzos tangenciales a las juntas y por la tracción diagonal a  $90^\circ$  con respecto a la línea de carga. Ya que éste tipo de sistema es de juntas secas, la falta de adherencia entre los bloques hace que la resistencia al corte sólo dependa del concreto líquido.

En este ensayo se obtuvo valores muy bajos de  $v'm$  y  $G$ , los cuales no son representativos para este sistema, siendo mejor analizar el comportamiento del muro a escala natural ya que los muretes carecen de refuerzo, elemento que integra a las placas P-14.

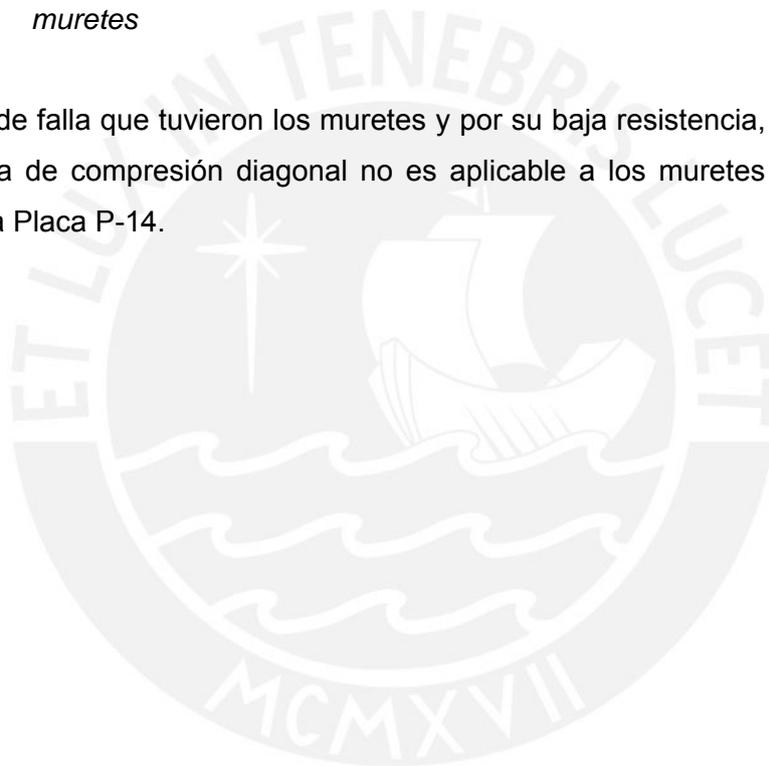


**Foto 4.18** Falla escalonada en muretes



**Foto 4.19** Falla escalonada en murete

Por la forma de falla que tuvieron los muretes y por su baja resistencia, podría decirse que la prueba de compresión diagonal no es aplicable a los muretes no reforzados hechos con la Placa P-14.



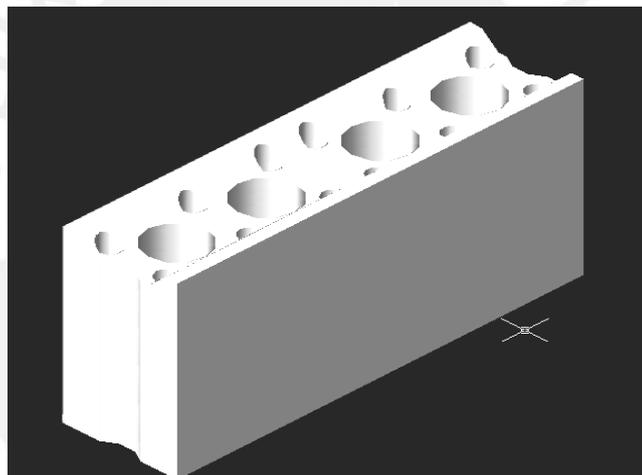
## Capítulo 5

### Construcción de los Muros con Placa P-14

---

#### 5.1 Generalidades

El sistema de albañilería armada con unidades sílico-calcareas Placa P-14 (Foto 5.1) es un nuevo sistema de construcción que se pretende introducir al mercado para su uso en forma estructural en edificios de mediana altura (5 pisos), prescindiendo con ello del uso de elementos verticales de concreto como placas y columnas y de juntas de mortero.



*Foto 5.1 Vista en 3D de la Placa P-14*

Si bien es cierto que los 14cm de espesor hacen que el área útil de los ambientes se reduzcan en comparación con edificios hechos con muros de concreto armado, pero el costo de la obra se reduce ya que se deja de lado el costo por encofrado, desencofrado y curado de muros, a la vez que la obra se realiza en menor tiempo.

## 5.2 Construcción de los Muros

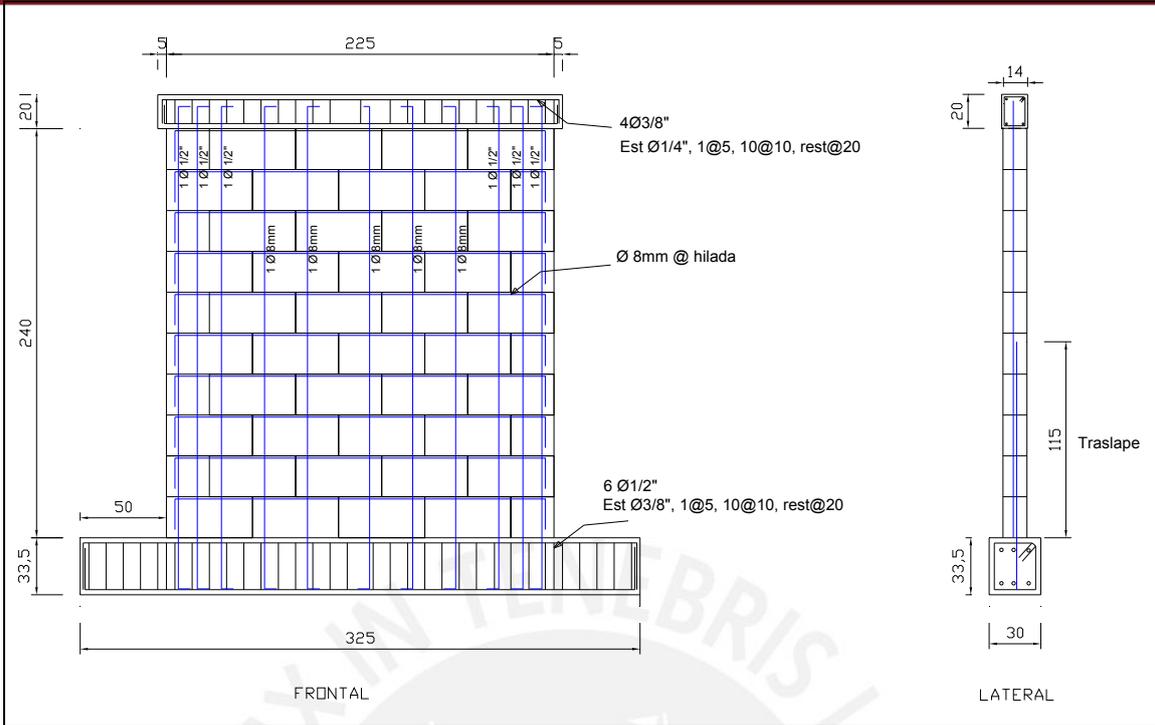
La construcción de los dos muros se hizo de forma simultánea y dividiéndola en 3 partes:

- Construcción de las vigas de cimentación
- Construcción de los muros
- Construcción de las vigas soleras

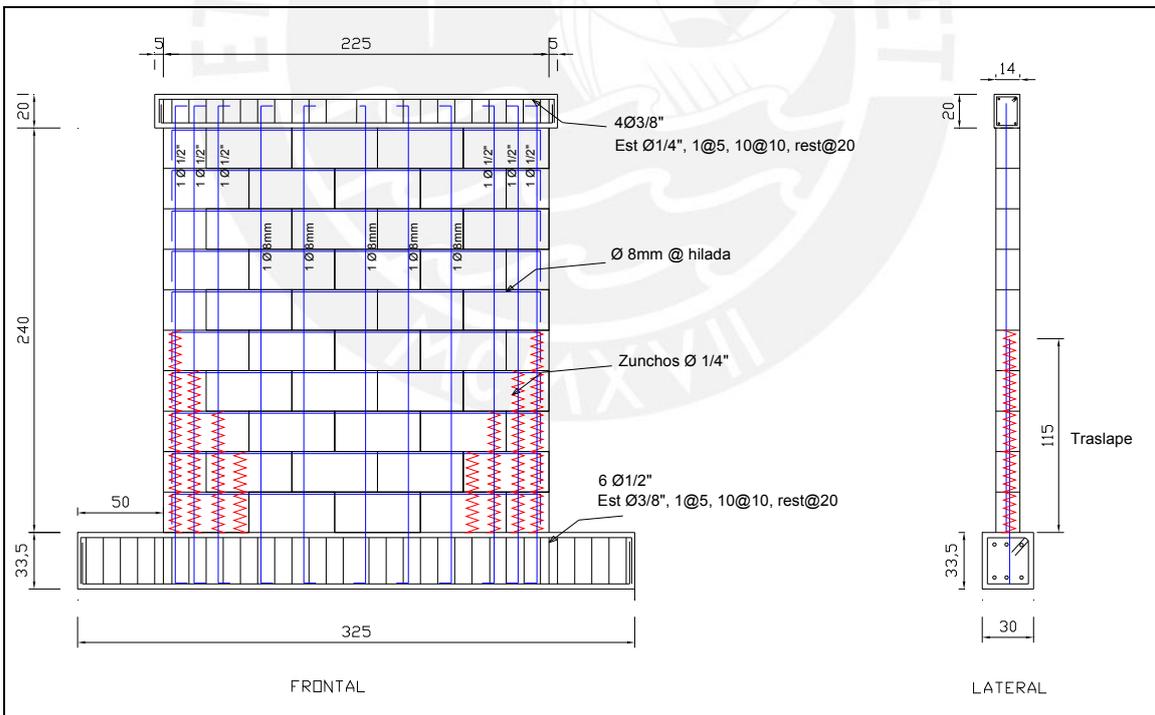
La diferencia entre los muros radica en que el muro M-2 lleva unos zunchos de refuerzo en los talones que sirven de confinamiento del grout. Estos zunchos fueron de  $\frac{1}{4}$ " y se colocaron en el interior de las celdas de cada Placa P-14 (Fotos 5.18 y 5.19).

La construcción de los muros estuvo a cargo de un maestro de obra calificado para este tipo de estructuras.

El diseño de los muros se muestra en los planos 5.1 y 5.2. Cabe destacar que cada Placa P-14 fue atravesada por 2 varillas verticales para integrar el conjunto. Así mismo, siguiendo las indicaciones del fabricante, los traslapes del refuerzo vertical se hicieron en la misma sección transversal y tuvieron la misma longitud (115 cm), pese a que los diámetros de las varillas extremas (12 mm) eran distintas al de las varillas internas (8 mm) y a que en la Norma E.070 se especifica que no debe traslaparse al refuerzo en la misma sección transversal.



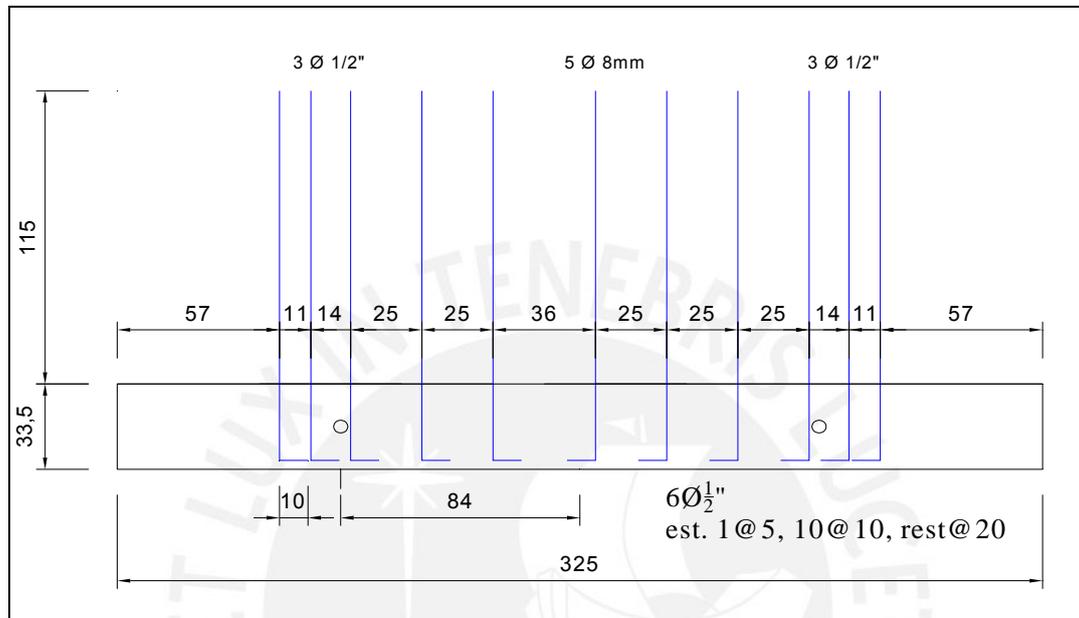
**Plano 5.1** Diseño del muro M-1 sin zunchos



**Plano 5.2** Diseño del muro M-2 con zunchos

### 5.2.1 Construcción de las Vigas de Cimentación

Las vigas de cimentación (Plano 5.3) tuvieron dimensiones de 325cm de largo, 30cm de ancho y 33.5cm de peralte. En estas vigas anclan las espigas que sirvieron para traslapar al refuerzo vertical de los muros.



**Plano 5.3** Diseño de la viga de cimentación

A continuación se indica la secuencia seguida en la construcción.

Se encofró el fondo y los costados (Foto 5.2). Luego se procedió a habilitar el acero de refuerzo (Foto 5.3).



**Foto 5.2** Encofrado de la viga de cimentación



**Foto 5.3** Habilidad del acero

Se hicieron unos "dados" de mortero de dos centímetros de espesor los cuales se colocaron dentro del encofrado para darle el espesor que requería el recubrimiento de la armadura de acero. Luego se continuó con la colocación de las espigas de acero. Estas espigas tuvieron una altura de 115cm sobre la parte superior de la viga. Se tomaron las medidas con la mayor exactitud posible para que en el momento de colocación de las Placas P-14 las espigas coincidieran en los alvéolos (Fotos 5.4 y 5.5)



**Foto 5.4** Emplantillado de las espigas



**Foto 5.5** Armadura con las espigas puestas

Una vez definida la armadura se la colocó dentro del encofrado, encima de los "dados". Luego se procedió a colocar, de manera transversal a la viga, los tubos PVC de 2" a 84cm del eje de la viga, hacia ambos lados (Foto 5.6). La función de éstos tubos es simplemente servir como puntos de fijación para el izaje y traslado del muro (Foto 5.7).



**Foto 5.6** Colocación de los tubos PVC



**Foto 5.7** Izaje de la viga a través de los tubos PVC

Luego de terminar con el armado se procedió a vaciar el concreto (Foto 5.8). Una vez finalizado el vaciado se rayó su superficie (Foto 5.9). Se usó concreto de resistencia  $210 \text{ Kg/cm}^2$  con un slump de 4" (Foto 5.10).



**Foto 5.8** Vaciado de concreto



**Foto 5.9** Viga rayada para el asentado del muro



**Foto 5.10** Medición del slump

Al día siguiente del vaciado se procedió a desencofrar la viga y se le curó por tres días antes de empezar la construcción del muro (Foto 5.11).



**Foto 5.11** Curado de la viga

## 5.2.2 Construcción de los Muros

Antes del levantamiento de los muros se colocó una capa de mortero de 1.5cm para asentar las unidades guías de la primera hilada (Fotos 5.12 y 5.13). Cabe indicar que ésta es la única zona donde se requiere mortero, debido a las irregularidades que presenta la superficie de la cimentación (o losas de techo en casos reales).

Debe también destacarse que los bloques de la primera hilada no requieren ventanas de limpieza a diferencia de la albañilería armada convencional, donde es necesario limpiar los desperdicios de mortero que caen a través de las celdas durante la etapa del asentado.



**Foto 5.12 y 5.13** Mortero en la base del muro para su asentado

Ya que el sistema es de junta seca, no se utilizó mortero entre sus juntas por lo que se procedió a apilar los bloques encajándolos en las primeras cuatro hiladas en las espigas ancladas en la cimentación (Foto 5.14)



**Foto 5.14** Vista de las 4 primeras hiladas encajadas en las espigas

Entre las hiladas se fue colocando el refuerzo horizontal de 8mm de diámetro (Foto 5.15). Después de colocar cada hilada se fue nivelando con una regla y con una plomada (Foto 5.16). Las imperfecciones fueron corregidas insertando chiletas o clavos en las juntas.



**Foto 5.15** Refuerzo Horizontal



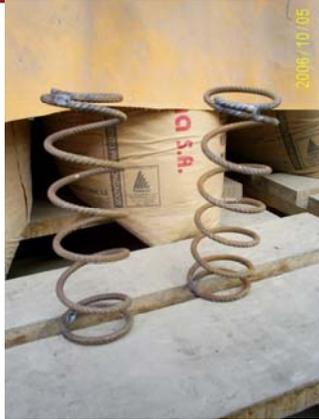
**Foto 5.16** Nivelación del muro

Una vez terminado el muro se colocó el refuerzo vertical con sus respectivos anclajes para la viga solera. Este refuerzo no se amarra con las espigas ni con el refuerzo horizontal, sino que simplemente se coloca dentro del alvéolo.



**Foto 5.17** Vista del refuerzo vertical en los muros terminados

Para el muro M-2 se hizo una variación. Se reforzaron los talones con unos zunchos de acero de 1/4" de diámetro (Foto 5.18) y una altura igual a la altura del bloque menos la profundidad de su canal horizontal. Conforme se levantaba cada hilada se iban colocando los zunchos dentro de los alvéolos según el diseño establecido (plano 5.2).



**Foto 5.18** Vista de los zunchos



**Foto 5.19** Zunchos colocados en las Placas P-14

Previo al vaciado, se taparon todos los huecos por donde pudiera salirse el concreto líquido, como los extremos de cada hilada y los espacios dejados entre las juntas por las imperfecciones de la Placa P-14. Esto se hizo utilizando retazos de las bolsas de grout o de cemento (Fotos 5.20 a 5.23).



**Foto 5.20, 5.21, 5.22 y 5.23** Huecos tapados para evitar que el concreto líquido se salga.



**Foto 5.24** Huecos de los costados del muro tapados

La proporción volumétrica del concreto líquido es cemento:arena 1:3. Esta mezcla viene preparada en seco y embolsada solo para agregarle agua. El agua que se le agregó estuvo en relación de mezcla:agua = 1:5 en peso, dándonos con ello una relación agua/cemento = 0.8 y un slump de 27cm o 10 5/8".

El procedimiento de vaciado fue el siguiente: Se empieza a vaciar por uno de los alvéolos extremos del muro (ver foto 5.25). Cuando se llena el alvéolo de la primera hilada el concreto líquido corre por la canaleta de la placa y llena el segundo alvéolo y así sucesivamente. El vaciado se siguió por el mismo lado hasta que ese alvéolo extremo de la última hilada se llenara completamente, sólo y únicamente en ese caso se pasó a llenar el alvéolo adyacente. Este procedimiento debe hacerse de forma continua y sin alternancias. No se debe pasar al alvéolo que continúa si es que no se ha llenado el anterior. Cabe destacar que en esta operación no se utiliza vibradora.

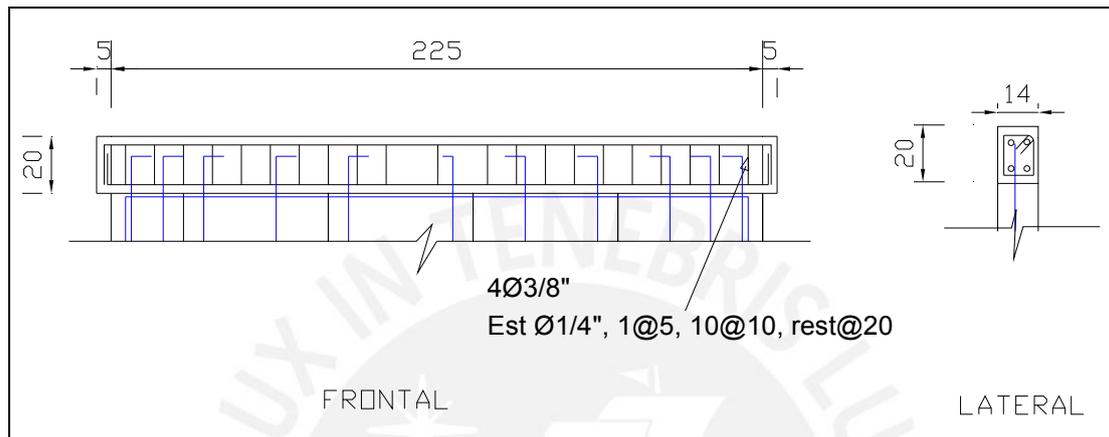
En paralelo al llenado del muro se elaboraron tres probetas de concreto líquido. El procedimiento para elaborar las probetas de grout se especifica en el acápite 3.2.5.



**Foto 5.25** Vaciado del grout

### 5.2.3 Construcción de la Viga Solera

Una vez terminado el levantamiento del muro se empezó con el encofrado de la viga solera Plano 5.4). Esta se hizo con dimensiones de 235cm de largo (dejando 5cm de saliente a cada lado del muro con el objeto de que allí apoyen los cabezales del equipo de ensayo), 14cm de ancho y 20cm de peralte.



**Plano 5.4** Diseño de la Viga Solera



**Foto 5.26** Encofrado de la solera



**Foto 5.27** Comprobación del espesor de la viga

Se procedió a encofrar (Foto 5.26), se hizo el armado del acero, se colocaron los "dados", se colocó la armadura dentro del encofrado (Fotos 5.27 y 5.28) y se vació el concreto de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ . El procedimiento fue similar al de la viga de cimentación salvo por los tubos de PVC que en éste caso no se usaron. Al día siguiente se desencofró y se curó durante 7 días (Foto 5.29).



**Foto 5.28** Estructura de acero dentro del encofrado



**Foto 5.29** Curado de la viga

## Capítulo 6

### Ensayo de los Muros de Placa P-14

---

#### 6.1. Objetivo

El presente ensayo tuvo como objetivo, conocer principalmente el comportamiento sísmico de los muros portantes hechos con Placa P-14 mediante ensayos de carga lateral cíclica con una carga vertical constante de 20 toneladas en cada muro.

Con los resultados obtenidos, se busca obtener las propiedades físicas de este material como muro portante de albañilería, se calculó el módulo de elasticidad (E), la capacidad de corte ( $v_m$ ), la capacidad de deformación lateral, y la rigidez (K) en muros con y sin confinamiento en los talones.

Además se busca conocer el tipo de falla y las zonas más críticas de los muros frente a sollicitaciones de carga gravitacional y de sismo.

Finalmente, se desea conocer si este nuevo sistema cumple las condiciones que exige la Norma Sismorresistente E.030.

#### 6.2 Actividades previas

Concluidos los 28 días de fragua de ambos muros y habiéndose preparado la maquinaria y estructuras necesarias para el ensayo de carga lateral cíclica con carga vertical para los muros, por parte del personal del Laboratorio de Estructuras de la PUCP (Foto 6.1), se transportaron los muros a la zona de ensayo mediante el puente grúa (Foto 6.2). Para nivelar el muro correctamente se aplicó en la base de la viga de cimentación un capping de yeso (Foto 6.3).

En la foto 6.4 puede observarse una vista global de los dispositivos empleados en el ensayo.



**Foto 6.1** Preparación de la estructura para el ensayo.



**Foto 6.2** Izamiento y transporte del muro.



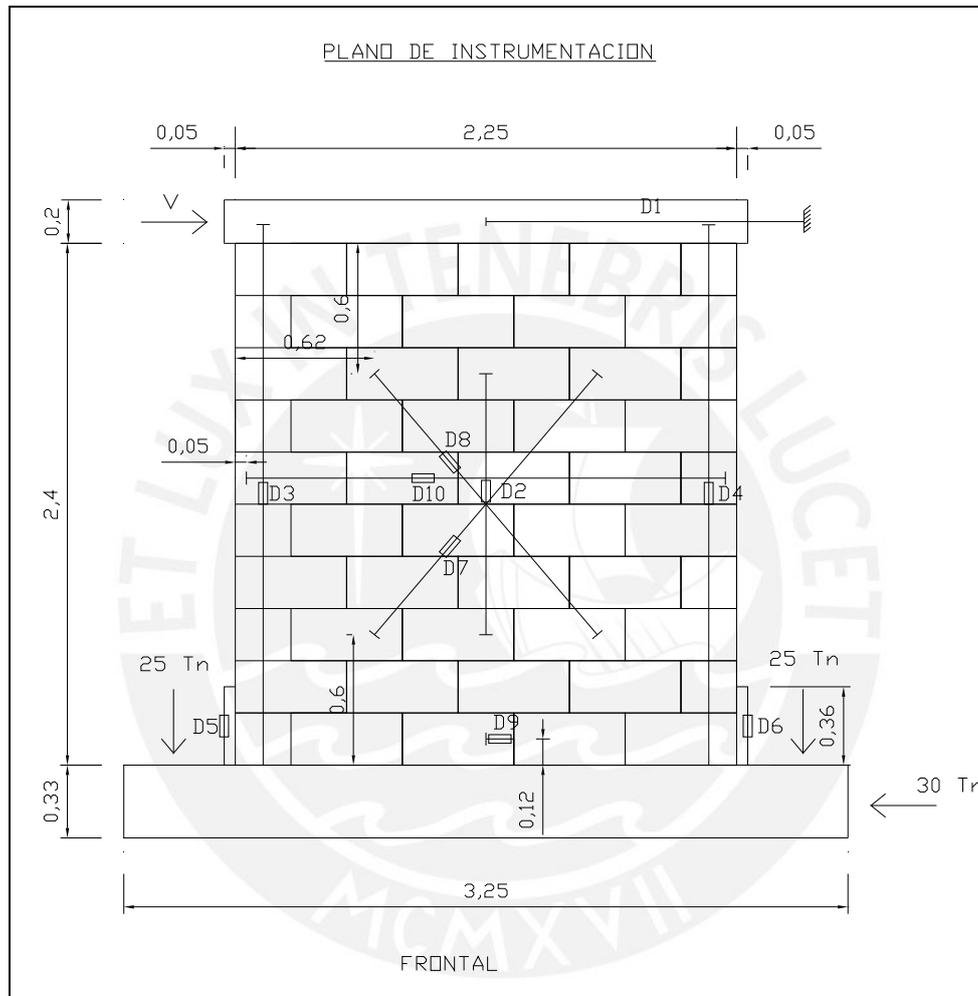
**Foto 6.3** Capping en la base de la cimentación.



**Foto 6.4** Muro listo para ser ensayado

## 6.3 Instrumentación

En esta etapa se definió la ubicación de los 10 LVDT (plano 6.1) utilizado en cada muro, para poder estudiar el comportamiento del muro frente a las cargas aplicadas.



**Plano 6.1** Plano de instrumentación para los ensayos

### 6.3.1 Función e importancia de cada LVDT

**LVDT D1:** Detecta el desplazamiento del muro a la altura de la solera donde se encuentra el actuador que aplica la carga lateral. Mediante este LVDT se controló el desplazamiento especificado en cada fase del ensayo, es importante porque mediante los datos obtenidos por este LVDT se puede calcular la rigidez del muro.

**LVDT D2:** Detecta los desplazamientos verticales del muro en su tramo central, permite estudiar el comportamiento del muro frente a la carga vertical aplicada, por ende, es posible calcular el módulo de elasticidad del muro (E).

**LVDT D3 y D4:** Al igual que el LVDT D2, fueron colocados verticalmente pero en los extremos del muro, por ende, es posible calcular el módulo de elasticidad de igual forma que con el LVDT D2. Además, permite analizar si la hipótesis de Navier se cumple o no tanto para carga vertical como lateral.

**LVDT D5 y D6:** Estos LVDT fueron colocados en los talones de cada lado de los muros, para que detecten los desplazamientos en los talones para medir el nivel de las fisuras en esta zona, como sabemos la parte más esforzada y, por tanto, la falla del muro se presenta por trituración de los talones.

**LVDT D7 y D8:** Estos LVDT fueron colocados en las diagonales del muro. Al igual que en los muretes, detectan los desplazamientos diagonales, por ende, se puede calcular la distorsión angular del muro, y así poder calcular el módulo de corte del muro.

**LVDT D9:** Detecta los desplazamientos horizontales de la parte inferior del muro con respecto a la viga de cimentación, lo que permite apreciar la interacción entre el muro y la cimentación, y observar sus desplazamientos relativos entre estos y, por lo tanto, si existe falla por cizalle del muro.

**LVDT D10:** Detecta los desplazamientos horizontales relativos entre 2 puntos extremos de la parte central del muro. Estos desplazamientos son importantes porque permiten estudiar el nivel de deformación y agrietamiento del muro.

## 6.4 Ensayo

El ensayo se dividió en dos partes, primero la aplicación de la carga vertical y luego la aplicación de la carga lateral cíclica.

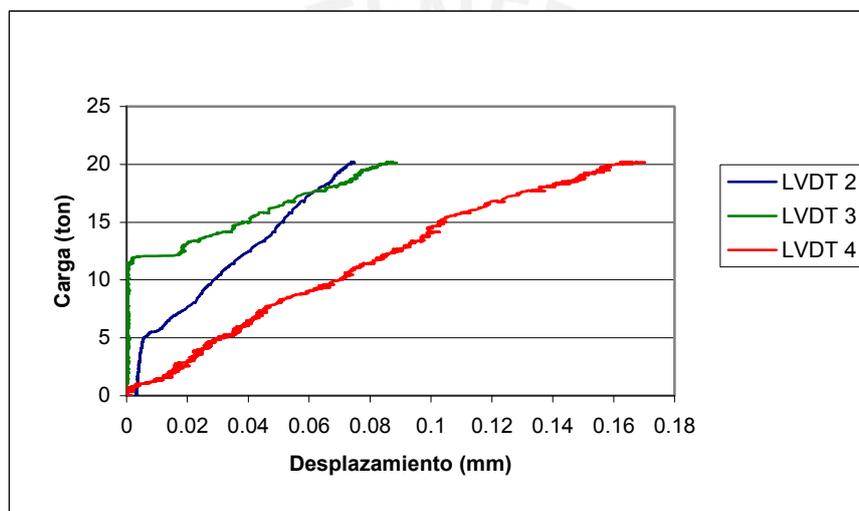
### 6.4.1 Aplicación de la Carga Vertical

Primero se aplicó la carga vertical a una velocidad de tres toneladas por minuto hasta llegar a veinte toneladas. De este ensayo se obtuvo el módulo de elasticidad (E), sin

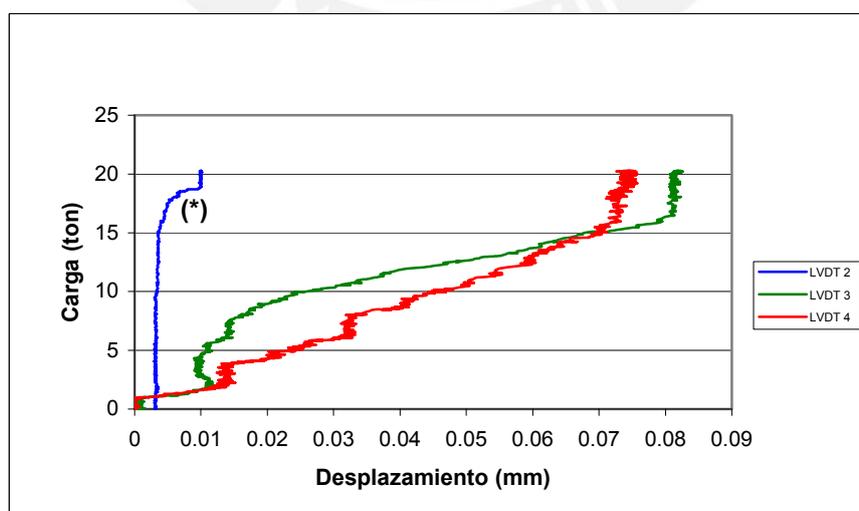
embargo este resultado no fue representativo debido a que el pequeño esfuerzo axial aplicado ( $6.35 \text{ Kg/cm}^2$ ) produjo deformaciones muy reducidas fuera del rango de precisión de los LVDT. La comparación de los módulos de elasticidad calculados se encuentra en el acápite 7.3.

#### 6.4.1.1 Cálculo del Módulo de Elasticidad (E)

De este ensayo se obtuvo la relación entre la carga vertical y el desplazamiento vertical para cada muro, usando las LVDT N° 2, 3 y 4 dado que son los LVDT que registraron los desplazamientos verticales de los muros (gráficas 6.1 y 6.2).



**Gráfica 6.1** Carga vs Desplazamiento M-1, por la carga vertical



**Gráfica 6.2** Carga vs Desplazamiento M-2, por la carga vertical

(\*) Se eliminó la lectura del LVDT 2 por ser extremadamente pequeña

Usando la gráfica Desplazamiento vs Carga de cada muro se buscó un tramo de cada LVDT (2, 3 y 4) cuya pendiente represente el comportamiento elástico del muro, por lo tanto el módulo de elasticidad (E) se obtuvo dividiendo un incremento de esfuerzo axial ( $\Delta\sigma$ ) de dicho tramo entre las deformaciones unitarias correspondientes ( $\Delta\xi$ ), las que fueron calculadas dividiendo el desplazamiento captado por el LVDT entre la distancia existente entre sus bases (L). Los cálculos aparecen en las tablas 6.1 y 6.2.

**Tabla 6.1** Cálculo del módulo de elasticidad del Muro M-1

Muro M-1	L (mm)	Punto 1		Punto 2		$\epsilon$	$\sigma_1$ ton/m <sup>2</sup>	$\sigma_2$ ton/m <sup>2</sup>	E (ton/m <sup>2</sup> )
		P1 (tn)	D1 (mm)	P2 (tn)	D2 (mm)				
LVDT 2	1175	5.475	0.008	19.311	0.070	5.28E-05	17.380	61.305	8.32E+05
LVDT 3	2322	13.359	0.022	19.570	0.079	2.44E-05	42.410	62.128	8.08E+05
LVDT 4	2255	2.998	0.020	19.317	0.153	5.74E-05	9.517	61.323	9.03E+05
<b>E Prom</b>									8.48E+05

**Tabla 6.2** Cálculo del módulo de elasticidad del Muro M-2

Muro M-2	L (mm)	Punto 1		Punto 2		$\epsilon$	$\sigma_1$ ton/m <sup>2</sup>	$\sigma_2$ ton/m <sup>2</sup>	E ton/m <sup>2</sup>
		P1 (tn)	D1 (mm)	P2 (tn)	D2 (mm)				
LVDT 3	2235	7.798	0.016	16.295	0.080	2.868E-05	24.75	51.73	9.41E+05
LVDT 4	2275	0.000	0.000	15.472	0.069	3.049E-05	0.00	49.12	1.61E+06
<b>E Prom</b>									1.28E+06

Los módulos de elasticidad obtenidos para los muros M-1 y M-2 (tabla 6.1 y 6.2) proporcionan hasta 50% de diferencia, por los que se considera que estos resultados son inválidos.

#### 6.4.2 Ensayo de Carga Lateral Cíclica

El ensayo fue de carga lateral cíclica controlando el desplazamiento lateral en 10 fases según se indica en la tabla 6.3.

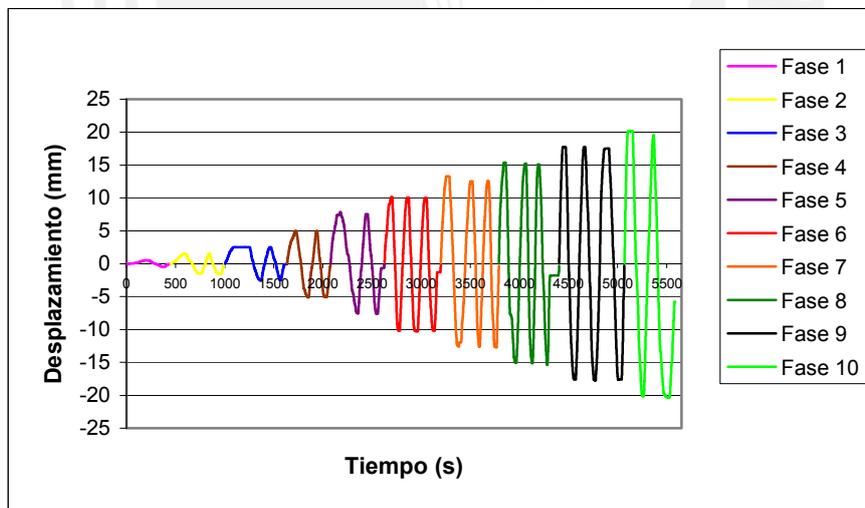
Durante el experimento se mantuvo constante la carga vertical (20 tn) y se aplicó un número variable de ciclos hasta lograr que el lazo histerético se estabilice. El número de ciclos fue el mismo para los muros M-1 y M-2, excepto en la última fase. En los gráficos 6.3 y 6.4 se presenta la historia de desplazamientos aplicados a cada muro,

cabe destacar que los colores con que se marcaron las fisuras fueron cambiando en cada fase.

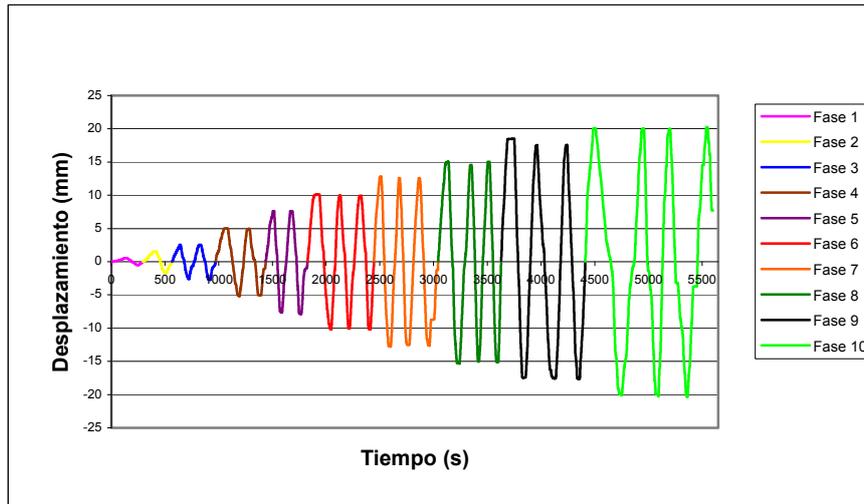
**Tabla 6.3** Desplazamiento lateral máximo en cada fase para ambos muros.

Fases	Nº de ciclos	Desplazamiento Máximo (mm)	Color
1	1	0.5	margenta
2	2	1.5	amarillo
3	2	2.5	azul
4	2	5.0	marrón
5	2	7.5	morado
6	3	10.0	rojo
7	3	12.5	anaranjado
8	3	15.0	verde oscuro
9	3	17.5	negro
10	3 (*)	20.0	verde claro

(\*) En el muro M-1 se aplicó 3 ciclos y en el muro M-2 se aplicó 4 ciclos



**Gráfica 6.3** Desplazamiento vs tiempo del primer muro al aplicar la carga lateral.



**Gráfica 6.4** Desplazamiento vs tiempo del segundo muro al aplicar la carga lateral.

#### 6.4.2.1 Descripción del comportamiento de los muros.

##### Fase 1 ( $D1 = 0.5 \text{ mm}$ )

##### **Muros M-1 y M-2**

No se presentaron fisuras en ningún muro, el comportamiento fue elástico.

##### Fase 2 (Figura 6.1, $D1 = 1.5 \text{ mm}$ )

##### **Muro M-1**

En el segundo ciclo de esta fase apareció una fisura en la unión entre el muro y la viga de cimentación en la esquina izquierda, mientras el actuador se encontraba empujando, la fisura tuvo una longitud de aproximadamente un metro.

##### **Muro M-2**

Las fisuras se formaron en la esquina inferior izquierda entre las juntas de los bloques, mientras el actuador dinámico se encontraba empujando. Además se presentó fisura en la unión entre el muro y la viga de cimentación en la esquina derecha, mientras el actuador se encontraba jalando el muro en el primer ciclo, la fisura tuvo una longitud de aproximadamente medio metro.

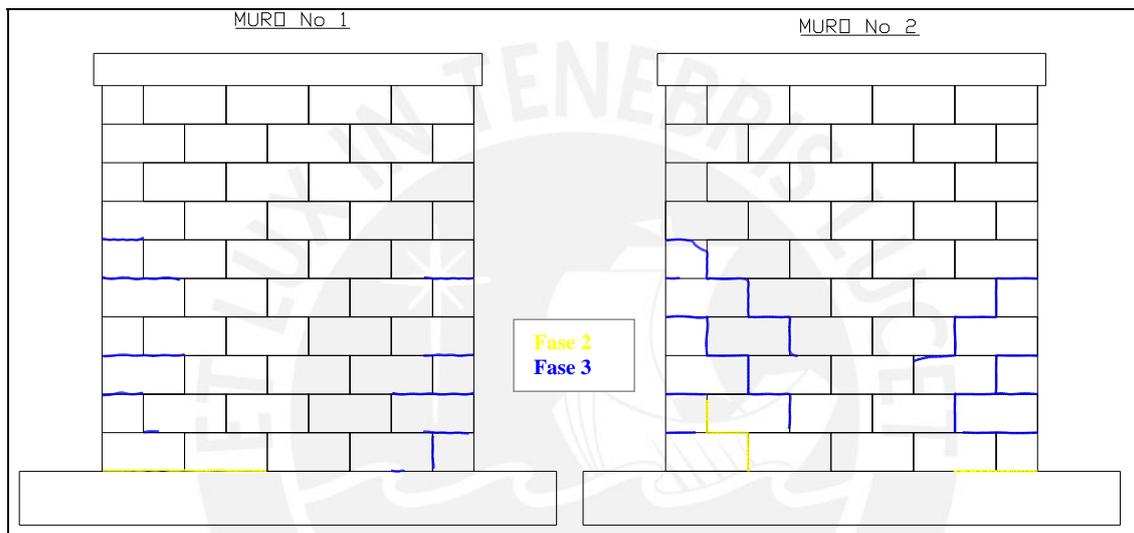
### **Fase 3 (Figura 6.1, D1 = 2.5 mm)**

#### **Muro M-1**

En el primer ciclo de esta fase aparecieron fisuras en los extremos medios e inferiores de ambos lados del muro en las juntas de los bloques, en el segundo ciclo no se presentaron fisuras.

#### **Muro M-2**

Durante el primer y segundo ciclo de ésta fase aparecieron fisuras en los extremos medios e inferiores de ambos lados del muro en las juntas de manera escalonada.



**Figura 6.1 Fisuras en las Fases 2 y 3**

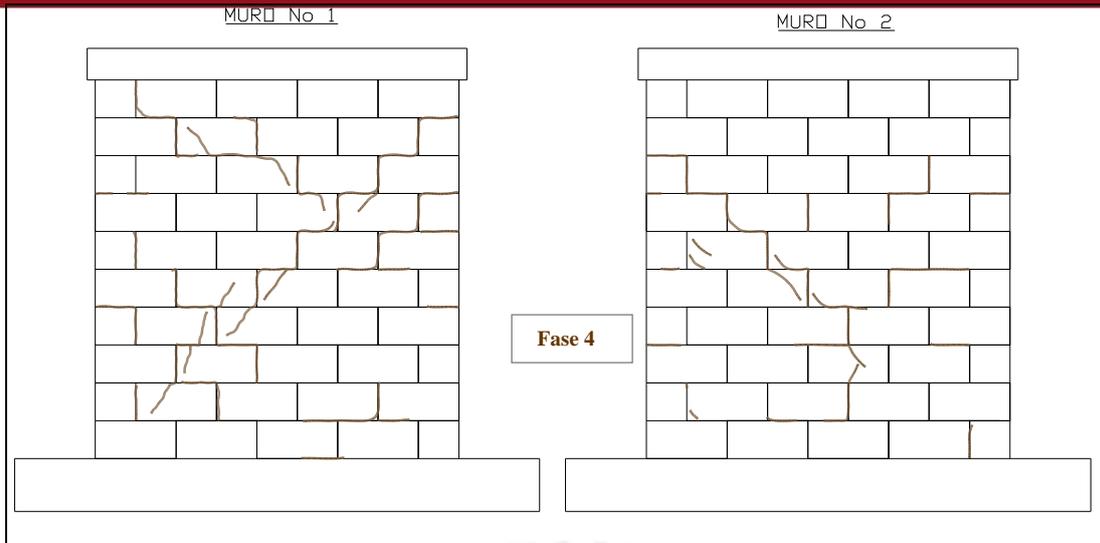
### **Fase 4 (Figura 6.2, D1 = 5.0 mm)**

#### **Muro M-1**

En esta fase se formaron fisuras principalmente en las diagonales del muro, las fisuras fueron sobretodo en las juntas de los bloques, pero, también empezaron a fisurarse los bloques.

#### **Muro M-2**

En M-2 se formaron apreciablemente menor cantidad de fisuras que en el muro M-1, pero de igual manera aparecieron principalmente en las diagonales del muro, cortando también a los bloques.



**Figura 6.2 Fisuras en la Fase 4**

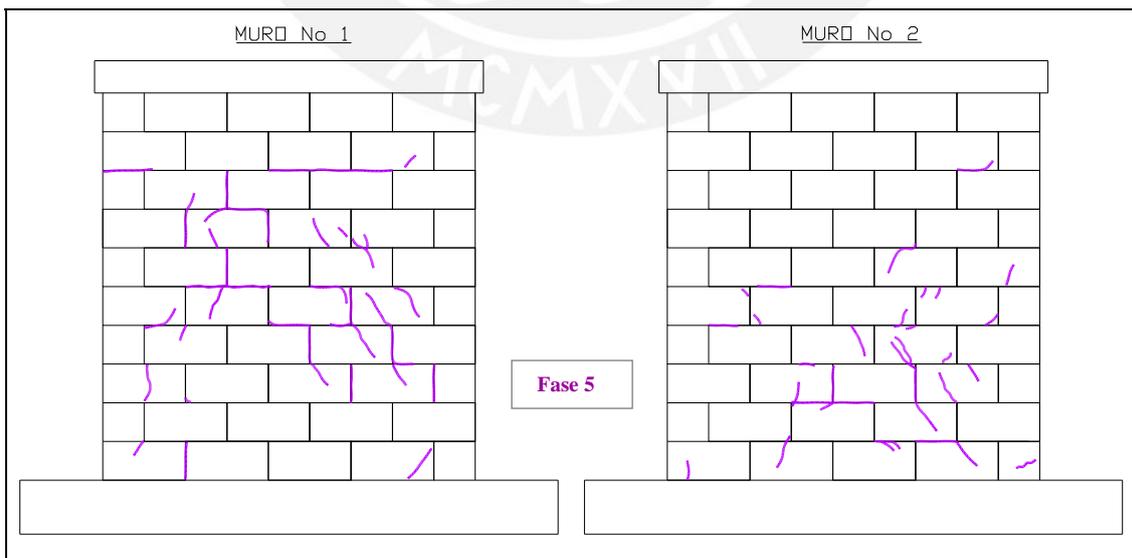
**Fase 5 (Figura 6.3, D1 = 7.5 mm)**

**Muro M-1**

En el segundo ciclo de esta fase se formaron fisuras principalmente en la zona central de muro, tanto en las juntas como en los bloques mismos.

**Muro M-2**

En esta fase aparecieron las primeras fisuras en los talones, también se formaron sobretodo en la parte central – inferior del muro.



**Figura 6.3 Fisuras en la Fase 5**

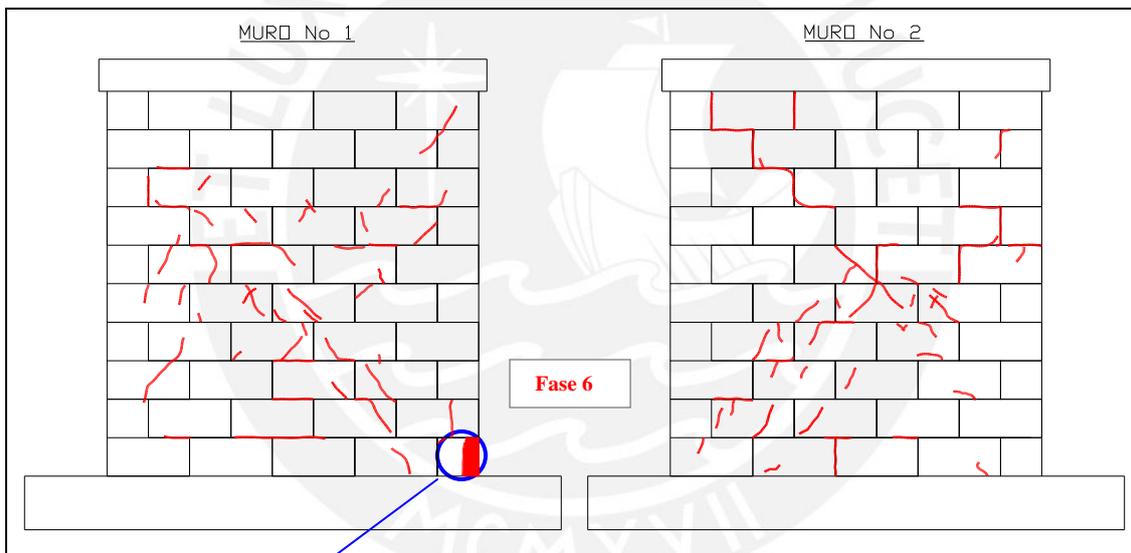
### Fase 6 (Figura 6.4, D1 = 10.0 mm)

#### Muro M-1

En el primer ciclo se presentaron las primeras fisuras en el talón inferior derecho mientras el actuador empujaba el muro, además se formaron numerosas fisuras en las diagonales del muro. En el segundo y tercer ciclo el talón inferior derecho empezó a triturarse (tanto el bloque como el grout interior) desprendiéndose finalmente un cuarto del bloque mientras el actuador empujaba el muro (Foto 6.5).

#### Muro M-2

En esta fase se formaron fisuras principalmente en las diagonales del muro, siendo las más notorias la diagonal de la zona superior izquierda mientras el actuador empujaba el muro, los talones no presentaron mayores fisuras.



**Figura 6.4** Fisuras en la Fase 6



**Foto 6.5** Trituración del talón.

### Fase 7 (Figura 6.5, D1 = 12.5 mm)

#### **Muro M-1**

En el primer ciclo se formaron las principales fisuras de esta fase, además las fisuras existentes se alargaron y ensancharon.

#### **Muro M-2**

En esta fase se formaron fisuras principalmente en la zona inferior derecha del muro y ambos talones presentaron algunas fisuras adicionales, pero no se tritararon.

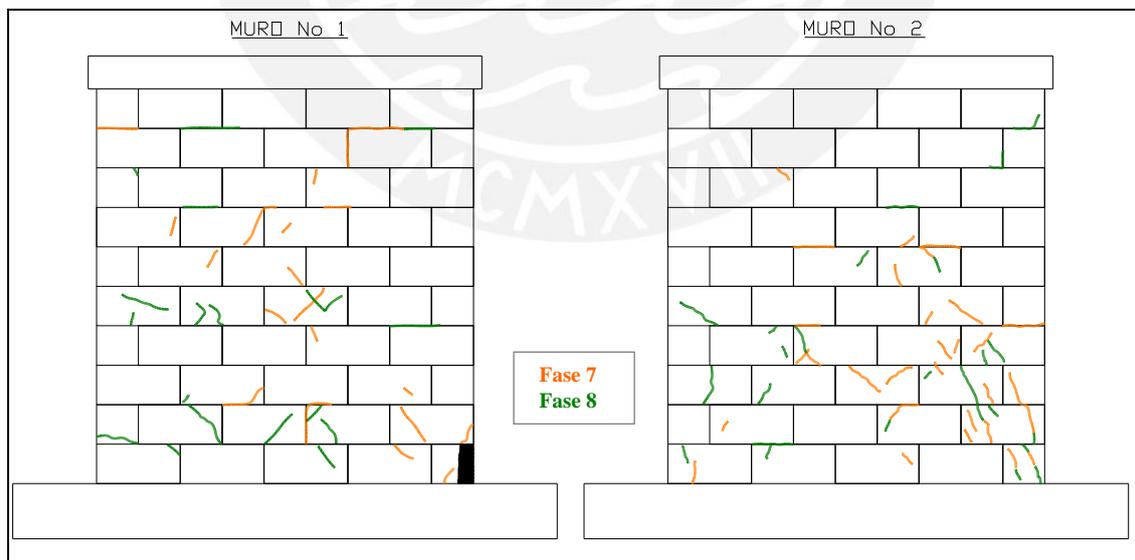
### Fase 8 (Figura 6.5, D1 = 15.0 mm)

#### **Muro M-1**

En esta fase se formaron algunas grietas dispersas en el muro principalmente se prolongaron las fisuras existentes y el muro empezó a perder resistencia apreciablemente.

#### **Muro M-2**

Se presentaron algunas fisuras en forma dispersa en todo el muro siguiendo las fisuras existentes, pero el muro no perdió resistencia.



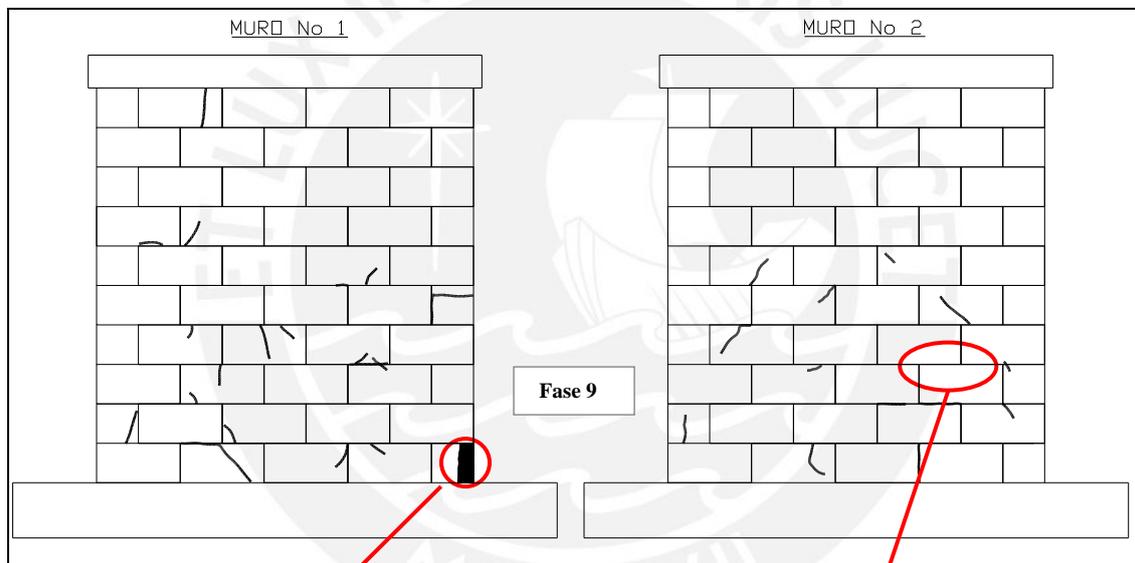
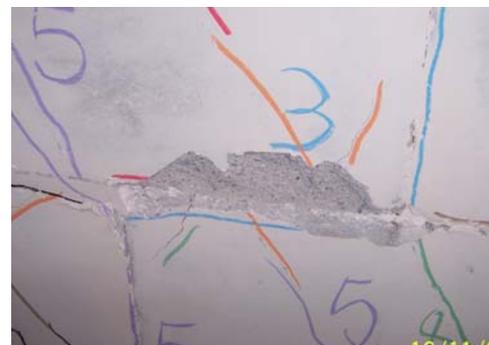
**Figura 6.5** Fisuras en la Fase 7 y 8

**Fase 9 (Figura 6.6, D1 = 17.5 mm)****Muro M-1**

En esta fase las fisuras continuaron alargándose y se ensancharon las fisuras existentes, el talón derecho se trituró más (Foto 6.6) y el grout se desprendió dejando el acero a la vista, además hubo una caída importante de resistencia.

**Muro M-2**

En esta fase las fisuras existentes se alargaron un poco más de manera dispersa en el muro, también se empezaron a despostillar los bordes de los bloques de la tercera hilada (Foto 6.7) del muro por esfuerzos de aplastamiento. Los talones no se trituraron y la carga lateral siguió incrementándose, pero no pronunciadamente.

**Figura 6.6** Fisuras en la Fase 9**Foto 6.6** Trituración del talón.**Foto 6.7** Aplastamiento de los bloques

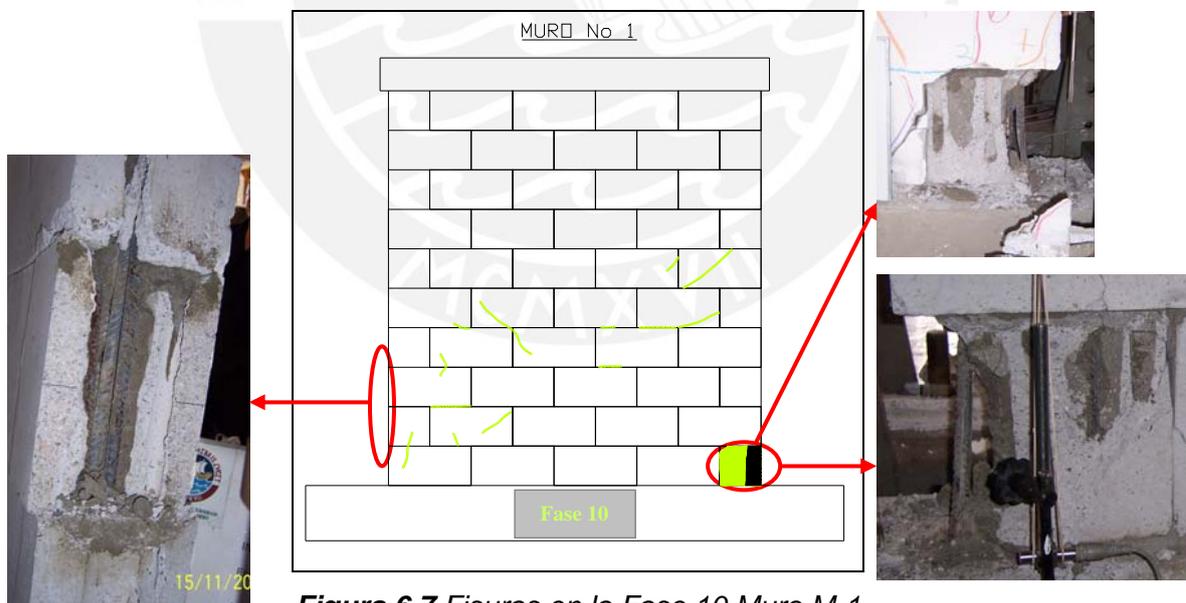
### **Fase 10 (D1 = 20.0 mm)**

#### **Muro M-1 (Figura 6.7 y Foto 6.8)**

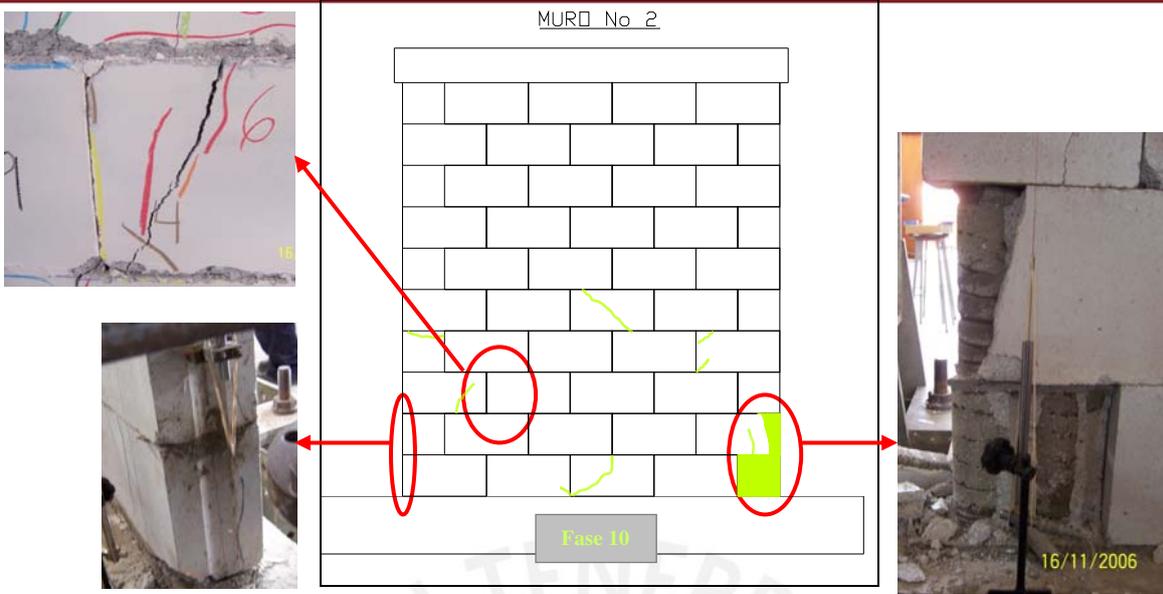
En esta fase el muro presentó una fuerte caída de resistencia. El talón izquierdo presentó agrietamientos en el lado lateral del muro y en el talón derecho el bloque se trituró completamente quedando expuesto el refuerzo.

#### **Muro M-2 (Figura 6.8 y Foto 6.9)**

En el primer ciclo de esta fase recién se presentó el trituramiento del talón derecho sin embargo la trituración ocurrió solo en el bloque mientras que el grout se mantuvo confinado por el zuncho y el refuerzo vertical se mantuvo recubierto. En los bloques de la segunda y tercera hilada del extremo derecho se presentaron grietas de hasta 5mm de grosor, sin embargo, no se trituró el bloque. En el talón izquierdo aparecieron grietas y finalmente en el segundo ciclo, mientras el actuador jalaba el muro, se desprendió un pedazo del bloque en la parte lateral del muro. El muro empezó a perder resistencia a partir del primer ciclo, pero no fue hasta el cuarto ciclo que el muro tuvo una caída seria de resistencia.



**Figura 6.7** Fisuras en la Fase 10 Muro M-1



**Figura 6.8** Fisuras en la Fase 10 Muro M-2



**Foto 6.8** Estado final del muro M-1



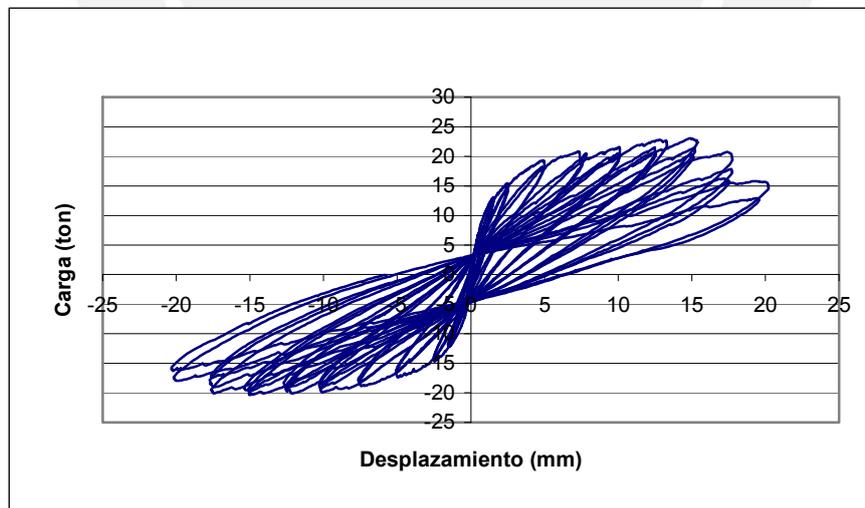
**Foto 6.9** Estado final del muro M-2

## 6.5 Resultados

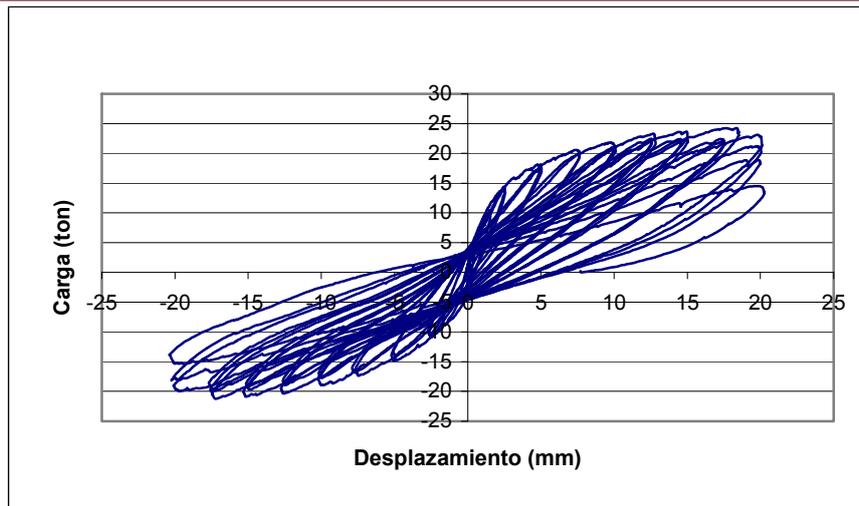
En ésta parte se hace un análisis comparativo entre los resultados de ambos muros de acuerdo a sus gráficas Carga vs Desplazamiento. La disposición de los LVDT aparece en el plano 6.1

### 6.5.1 Comportamiento Histerético

En las gráficas 6.5 y 6.6 se presentan los lazos histeréticos correspondientes a los muros M-1 y M-2, respectivamente. Estos lazos son muy parecidos a los obtenidos en otros sistemas de albañilería armada y confinada. Son delgados y tratan de pasar por el origen del sistema de referencia, lo cual es propio de sistemas que disipan poca energía y degradantes en rigidez. También se aprecia que a medida que avanza el ensayo, el desplazamiento remanente para carga lateral nula, se incrementa debido al constante deterioro del muro. En la gráfica 6.5 (muro M-1) se aprecia una degradación importante de resistencia a partir de la fase 9, mientras que ello recién ocurrió para la fase 10 en el muro M-2 (gráfica 6.6) debido a que los zunchos retardaron la trituration del talón.



**Gráfica 6.5** Carga vs Desplazamiento LVDT D1 Muro M-1



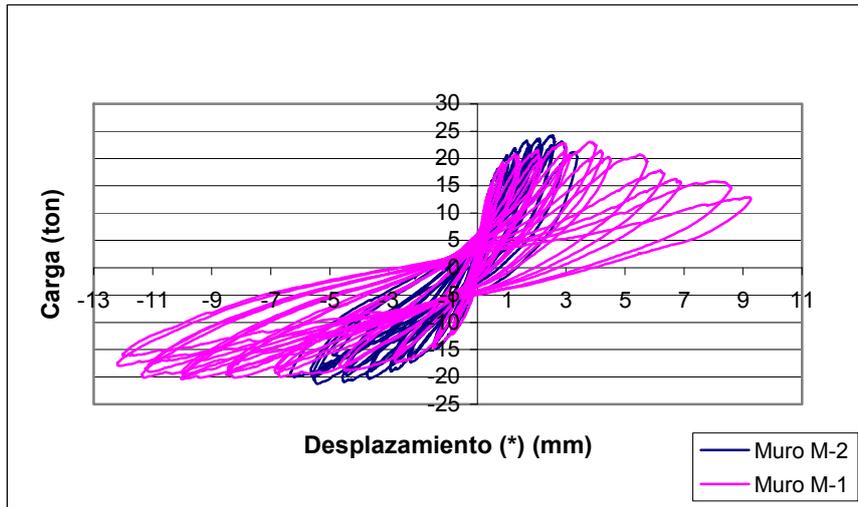
**Gráfica 6.6** Carga vs Desplazamiento LVDT D1 Muro M-2

### 6.5.2 Talón de los Muros

El LVDT D5 estaba ubicado en el talón derecho de los muros (el más dañado) y sirvió para verificar las deformaciones sufridas por dicho talón debido a la tracción y compresión a la que se le iba sometiendo conforme se desarrollaba el ensayo.

En la gráfica 6.7 puede observarse que el muro M-1 sufrió deformaciones de hasta 12mm, mientras que M-2 sólo sufrió deformaciones de 6mm. Así mismo, puede notarse que los lazos histeréticos del muro M-1 fueron cayendo desde la fase 6, donde empezó a triturarse el talón, haciendo con ello que las deformaciones aumentaran y su resistencia disminuyera.

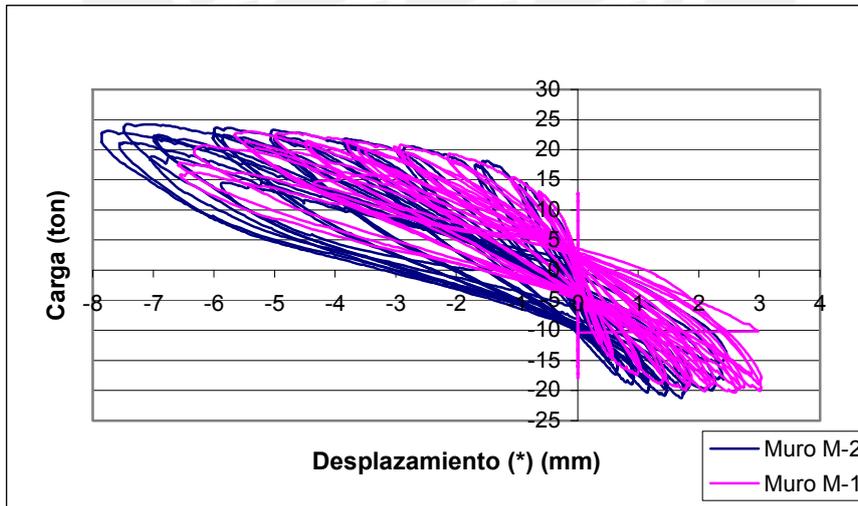
En el caso del muro M-2 vemos que conforme avanzaba el ensayo los lazos histeréticos se mantuvieron y la resistencia disminuyó poco. Esto se debió a que a los talones se les colocaron zunchos de confinamiento para mantener controladas las deformaciones.



**Gráfica 6.7** Carga vs Desplazamiento LVDT D5 muros M-1 y M-2

De la misma manera el LVDT N°6 se ubicó en el talón izquierdo de los muros y tuvo el mismo fin que el LVDT N°5, verificar las deformaciones en el otro talón.

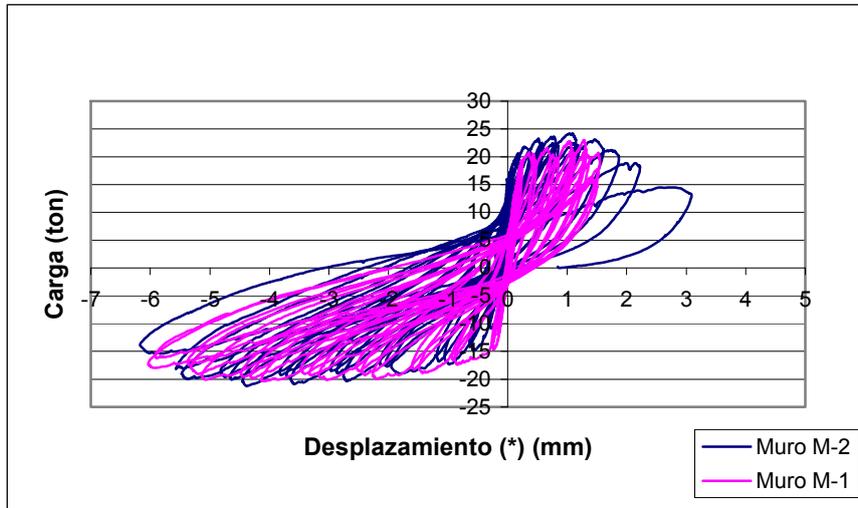
En la gráfica 6.8 podemos apreciar que el muro M-1 tuvo deformaciones menores que en el otro talón pero que al entrar en la Fase 7 su resistencia empezó a disminuir, en cambio el muro M-2 sufrió desplazamientos mayores que el otro talón pero su resistencia se mantuvo.



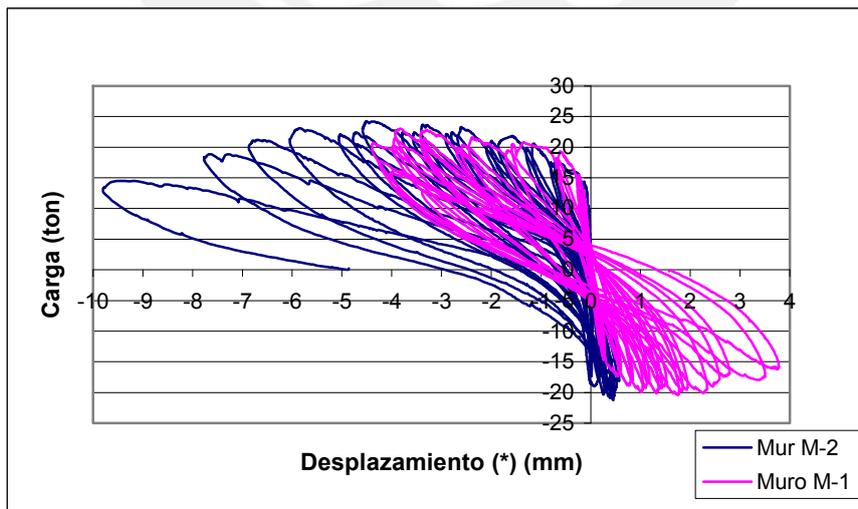
**Gráfica 6.8** Carga vs Desplazamiento LVDT D6 muros M-1 y M-2

### 6.5.3 Agrietamiento en la Zona Central

Los LVDT D7 y D8 fueron ubicadas en las diagonales del muro y sirvieron para medir las fisuras generadas en esa zona. En la gráfica 6.9 vemos que el comportamiento del muro en esa diagonal fue el mismo para ambos muros, mientras que en la gráfica 6.10 vemos que en el muro M-1 las fisuras alcanzaron valores de casi 4mm mientras que en el muro M-2 las fisuras llegaron a los 10mm.

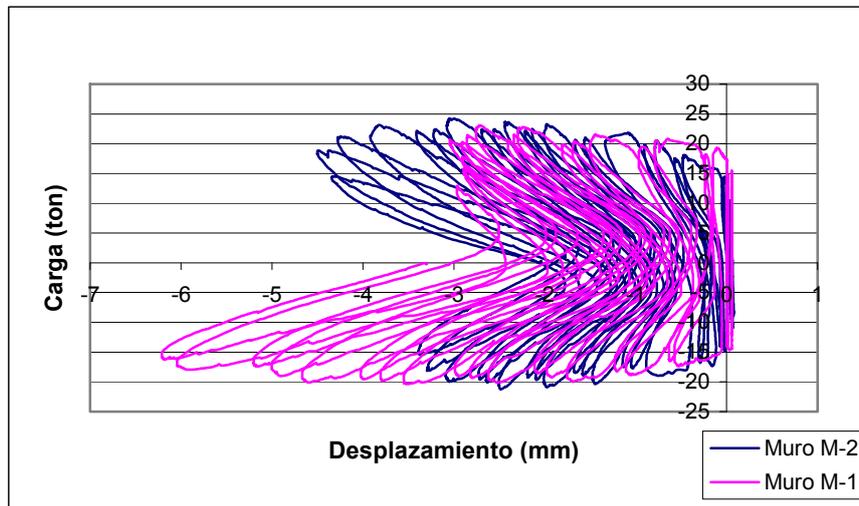


**Gráfica 6.9** Carga vs Desplazamiento LVDT D7 muros M-1 y M-2



**Gráfica 6.10** Carga vs Desplazamiento LVDT D8 muros M-1 y M-2

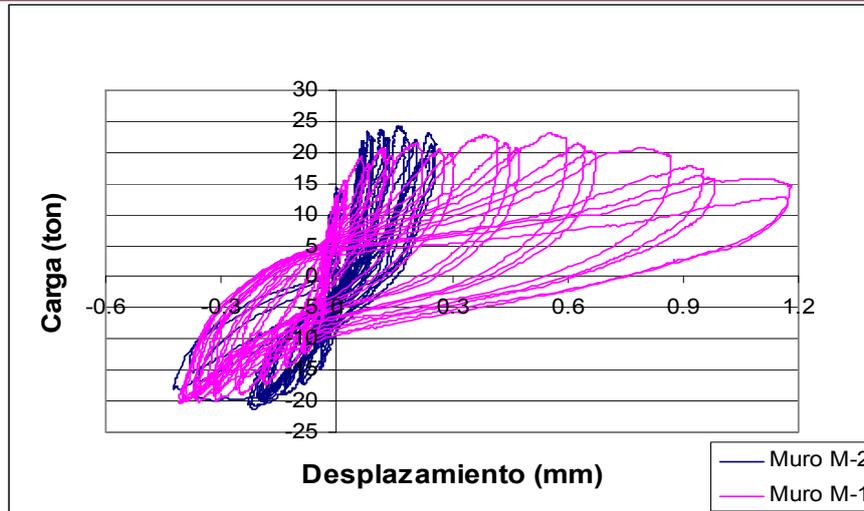
El LVDT D10 se ubicó horizontalmente a lo largo y a la mitad del muro. Este LVDT sirve para medir el desplazamiento relativo entra ambos lados del muro cuando se forman las fisuras en la diagonal. En la gráfica 6.11 se observa que el muro M-1 tuvo un desplazamiento relativo de 6mm mientras que M-2 tuvo un menor grado de agrietamiento (4.5 mm).



**Gráfica 6.11** Carga vs Desplazamiento LVDT D10 muros M-1 y M-2

#### 6.5.4 Deslizamiento

El LVDT D9 se colocó al pie del muro unido a la viga de cimentación para verificar el deslizamiento del muro. En la gráfica 6.12 vemos que el muro M-1 alcanzó desplazamientos de hasta 1.2mm mientras que M-2 se desplazó solamente 0.4mm. Cabe indicar que en ninguno de los dos muros ocurrió falla por deslizamiento y que los valores proporcionados corresponden a los desplazamientos laterales existentes en la primera hilada.



**Gráfica 6.12** Carga vs Desplazamiento LVDT D9 muros M-1 y M-2

**(\*) Los desplazamientos negativos indican tracciones y los desplazamientos positivos compresiones**

#### 6.5.5 Tabulación de Resultados Máximos

En la tabla 6.4 se indican los valores máximos registrados por cada instrumento (plano 6.1) para el primer ciclo de cada fase del ensayo y para el último ciclo de la fase 10 (2do ciclo para M-1, 4to ciclo para M-2), donde ocurrió una gran degradación de resistencia.

Tabla 6.4 Valores Máximos de Fuerzas y Desplazamientos por cada fase.

Muro M-1  
Muro M-2

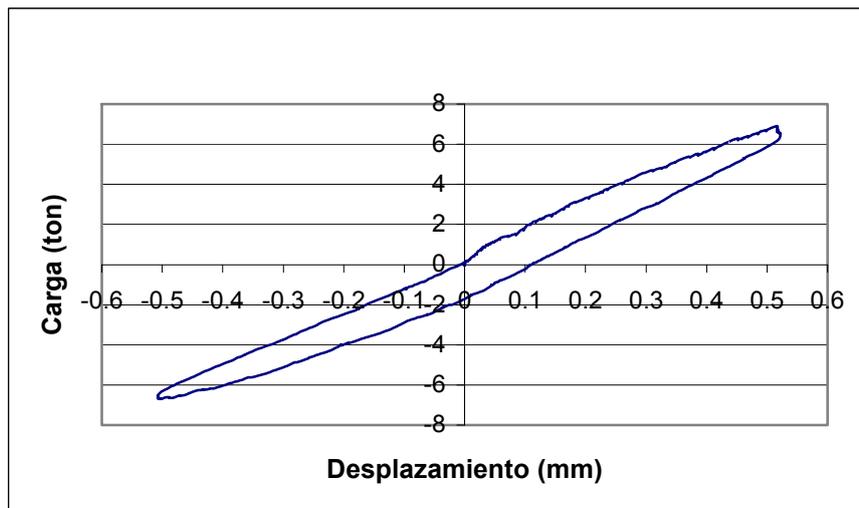
Fase	Desplazamientos Máximo de cada LVDT (mm)										Fuerza Máx (ton)
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	
1	0.522	0.012	0.308	0.156	-0.259	-0.182	-0.073	0.085	-0.039	0.057	6.907
	-0.515	0.006	0.339	-0.125	-0.174	-0.115	-0.073	0.009	-0.032	0.069	4.290
2	-1.552	0.037	0.518	-0.495	-0.898	-0.653	-0.153	0.197	-0.091	0.059	13.035
	-1.695	-0.019	-0.588	-0.656	-0.537	-0.472	-0.159	-0.045	-0.049	0.080	10.446
3	-2.542	0.056	-0.835	-0.854	-1.505	-1.088	-0.262	0.281	-0.148	0.059	15.421
	-2.708	-0.060	-1.023	-1.589	-0.764	-0.967	-0.322	-0.175	-0.059	0.069	14.408
4	5.000	-0.243	0.818	-1.656	-2.813	-2.139	-0.931	-0.697	-0.196	-0.634	19.309
	-5.214	-0.321	-1.906	-2.756	-1.451	-1.697	-0.643	-0.806	0.061	-0.573	18.111
5	7.840	-0.433	-2.785	-2.288	-4.678	-3.030	-1.604	-1.711	-0.265	-1.229	20.814
	-7.753	-0.488	-3.001	-1.494	-2.350	-2.965	-1.186	-1.295	-0.095	-0.903	20.333
6	-10.308	-0.719	-3.801	-2.552	-6.869	-3.813	-2.541	-2.691	-0.322	-2.112	21.569
	-10.214	-0.852	-3.989	-2.182	-2.951	-3.880	-2.144	-2.100	-0.137	-1.667	21.843
7	13.319	-1.043	-4.560	-3.239	-8.505	-4.989	-3.472	-3.422	0.475	-2.989	22.786
	12.834	-1.181	-4.976	-2.826	-3.734	-5.065	-2.975	-2.913	-0.189	-2.216	23.295
8	-15.398	-1.370	-5.260	-8.782	-10.041	-5.662	-4.479	-3.982	0.672	-4.023	23.041
	-15.329	-1.544	-5.978	-3.159	-4.572	-6.019	-3.827	-3.793	-0.221	-2.694	23.648
9	17.756	-1.577	-5.902	-11.017	-11.366	6.582	-5.367	-4.394	0.984	-5.201	20.720
	18.518	-2.130	-6.830	-3.479	-5.640	-7.487	-4.820	-5.059	-0.231	-3.413	24.236
10	20.219	-1.495	-6.396	-5.193	-12.197	-4.355	-6.034	-4.048	1.179	-6.212	-17.959
	-20.361	-3.674	-7.603	-2.977	0.000	-7.857	-6.174	-9.799	-0.423	-4.501	23.108
10 (*)	-20.339	-1.174	-6.187	-4.620	-12.004	0.000	-5.971	-3.387	1.171	-6.212	12.900
	20.274	-3.674	-2.497	-1.397	0.000	-5.884	-1.423	-9.799	0.201	-4.342	14.503

(\*) Último ciclo

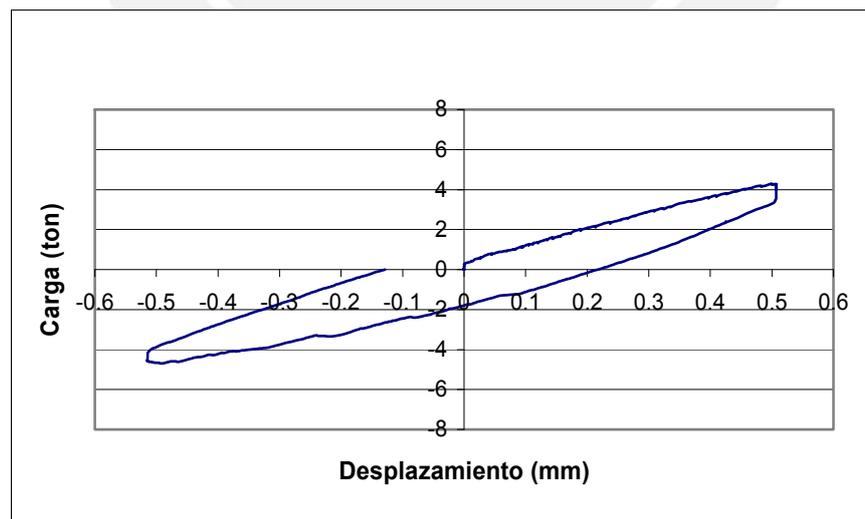
En el último ciclo la resistencia del muro M-1 disminuyó en 44% mientras que en M-2 disminuyó en 38% respecto a la resistencia máxima.

### 6.5.6 Cálculo de la Rigidez Lateral Elástica (K) de los Muros

Para el cálculo de la rigidez lateral se utilizó la grafica Carga Lateral vs Desplazamiento obtenida por el LVDT D1 (graficas 6.13 y 6.14) para cada muro. Para tal efecto se usó un tramo cuya pendiente represente el comportamiento elástico del muro en la Fase 1 (donde no se presentaron fisuras). Los resultados aparecen en las tablas 6.5 y 6.6, donde puede notarse que el muro M-1 fue 44% más rígido que M-2. El promedio de rigideces fue de 10670 Tn/m.



**Grafica 6.13** Lazo histerético fase 1, Muro M-1



**Grafica 6.14** Lazo histerético fase 1, Muro M-2

**Tabla 6.5** Cálculo de Rigidez (K) del Muro M-1

Muro M-1	Punto 1		Punto 2		$\Delta V$ (ton)	$\Delta D$ (mm)	K ton/m
	V1 (tn)	D1 (mm)	V2 (tn)	D2 (mm)			
K1	3.285	0.205	5.470	0.379	2.186	0.174	12600

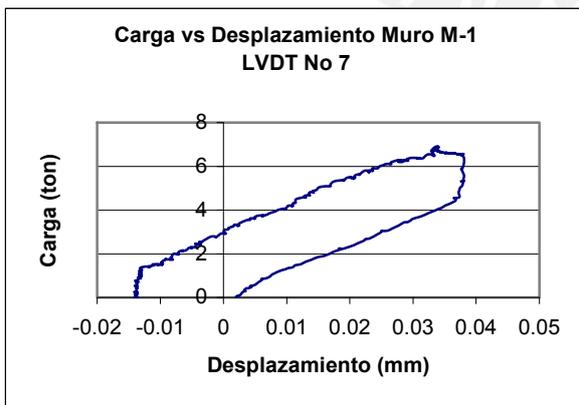
**Tabla 6.6** Cálculo de Rigidez (K) del Muro M-2

Muro M-2	Punto 1		Punto 2		$\Delta V$ (ton)	$\Delta D$ (mm)	K (ton/m)
	V1 (tn)	D1 (mm)	V2 (tn)	D2 (mm)			
K2	1.101	0.095	2.877	0.298	1.777	0.203	8740

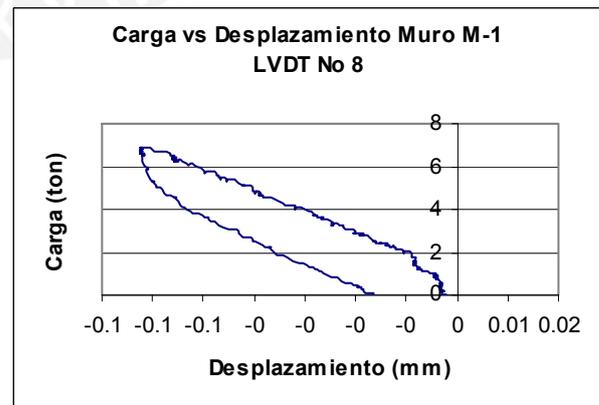
**6.5.7 Cálculo del Módulo de Corte (G)**

El módulo de corte G se determinó como la pendiente de la gráfica esfuerzo cortante ( $\tau = V/A$ ) vs distorsión angular ( $\gamma = \epsilon_1 + \epsilon_2$ ) correspondiente a la fase 1 del ensayo, donde el muro se comportó elásticamente.

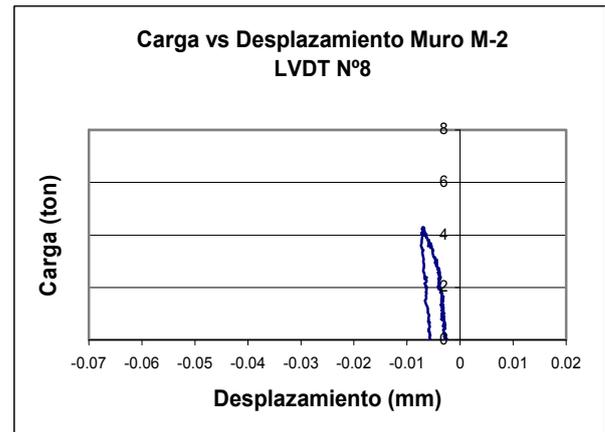
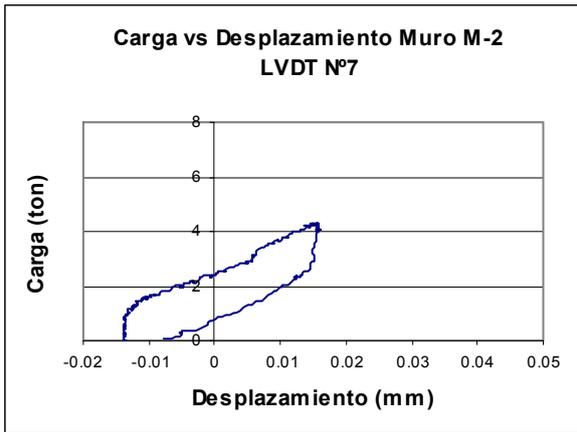
La distorsión angular fue determinada como la suma de las deformaciones unitarias ( $\epsilon$ ), registradas por los LVDT D7 y D8 alojados en las diagonales del muro. Las gráficas cortante vs desplazamiento de los LVDT D7 y D8 para el muro M-1 aparecen en las gráficas 6.15 y 6.16, mientras que los cálculos correspondientes aparecen en la tabla 6.8 donde se observa que  $G (M-1) = 27800 \text{ Kg/cm}^2$ . Las gráficas de los LVDT para M-2 no son óptimas para hallar el valor de G ya que los desplazamientos fueron muy pequeños por lo que sólo se utilizó para los cálculos el valor de G del muro M-1.



**Gráfica 6.15** V vs D7 muro M-1



**Gráfica 6.16** V vs D8 muro M-1



Gráfica 6.17 V vs D7 muro M-2

Gráfica 6.18 V vs D8 muro M-2

Debido a que las gráficas 6.17 y 6.18 no fueron óptimas no se utilizaron en evaluación de G.

Tabla 6.7 Cálculo del Módulo de Corte (G) del Muro M-1

Muro M-1	L (mm)	Punto 1		Punto 2	
		V1 (tn)	D1 (mm)	V2 (tn)	D2 (mm)
LVDT 7	1554	4.010	0.00874	5.986	0.02469
LVDT 8	1550		0.03190		0.05095

LVDT 7 $\epsilon_1=(D2-D1)/L$	LVDT 8 $\epsilon_1=(D2-D1)/L$	$\Delta\gamma=$ $\epsilon_1+\epsilon_2$	$\tau_1$ ton/m <sup>2</sup>	$\tau_2$ ton/m <sup>2</sup>	$\Delta\tau$ ton/m <sup>2</sup>	$G = \Delta\tau/\Delta\gamma$ ton/m <sup>2</sup>
0.00001	0.00001	0.00002	12.73	19.00	6.27	2.78E+05

### 6.5.8 Cálculo del Módulo de Elasticidad (E)

El cálculo del módulo de elasticidad se hizo utilizando la rigidez lateral evaluada experimentalmente en el acápite 6.6 y el módulo de corte hallado experimentalmente en el acápite 6.5.7.

Para un muro en voladizo la rigidez lateral responde a la ecuación 6.1

**Ecuación 6.1**

$$K = \frac{E}{\frac{h^3}{3IE} + \frac{fh\left(\frac{E}{G}\right)}{A}}$$

:

Donde:

E = Módulo de Elasticidad

h = altura del muro = 2.5 m (medido desde la base al eje del actuador)

I = inercia =  $bL^3/12 = (0.14 \times 2.25^3)/12 = 0.1329 \text{ m}^4$ A = area =  $bL = 0.14 \times 2.25 = 0.315 \text{ m}^2$ 

f = factor de forma = 1.2 (sección rectangular)

K = Rigidez Lateral = 10670 Tn/m (ver acápite 6.5.6)

G = Modulo de Corte =  $2.78E+05 \text{ Tn/m}^2$  (ver acápite 6.5.7.)

Con estos datos se obtiene:

$$E = 65900 \text{ Kg/cm}^2$$

Con una relación  $E/G = 65900/27800 = 2.37$ , que define en 5% respecto a la relación  $E/G = 2.5$  especificado por la norma de Albañilería E.070.

Por tanto, se sugiere emplear para el sistema P-14:

$$E = 65,000 \text{ Kg / cm}^2 \text{ con } E/G = 2.5$$

**6.6 Distorsión Máxima y Envolvente V-D**

La Norma E.030 de Diseño Sismorresistente en la parte de "**Desplazamientos Laterales Permisibles**" señala determinados valores máximos para los desplazamientos relativos de entrepiso. Estos valores se muestran en el cuadro 6.10.

**Tabla 6.8** Límites para desplazamientos laterales de entepiso. Norma E.030

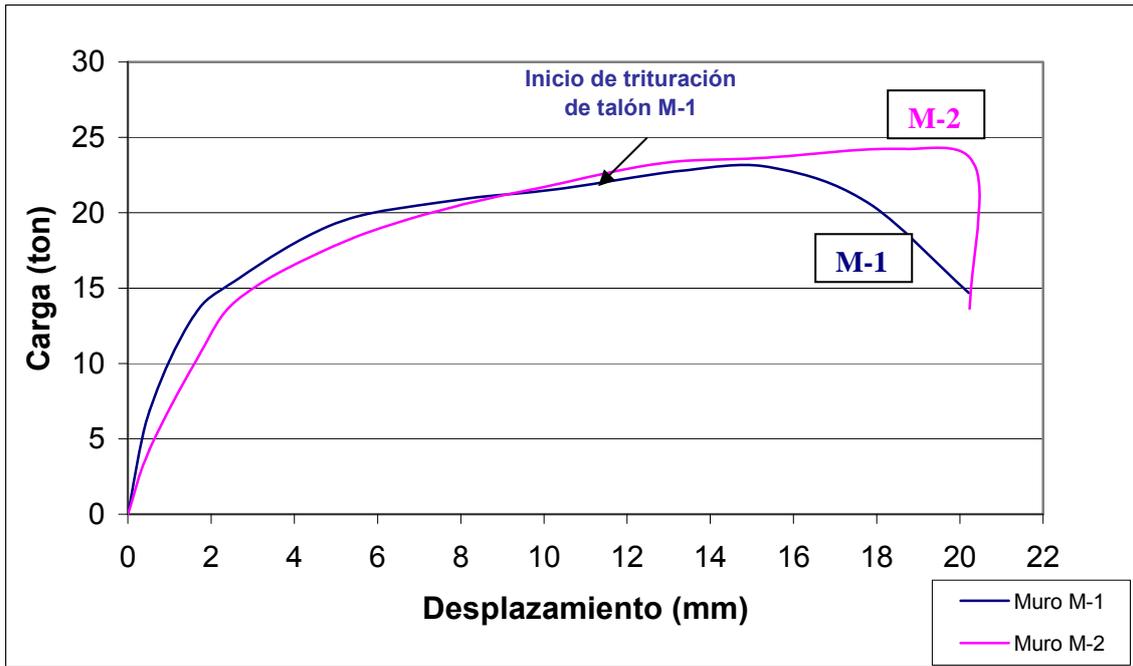
Material Predominante	( $D_i / h_{ei}$ )
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010

El muro con Placa P-14 clasifica como un muro de albañilería armada, por lo tanto, el valor máximo de la distorsión angular es 0.005.

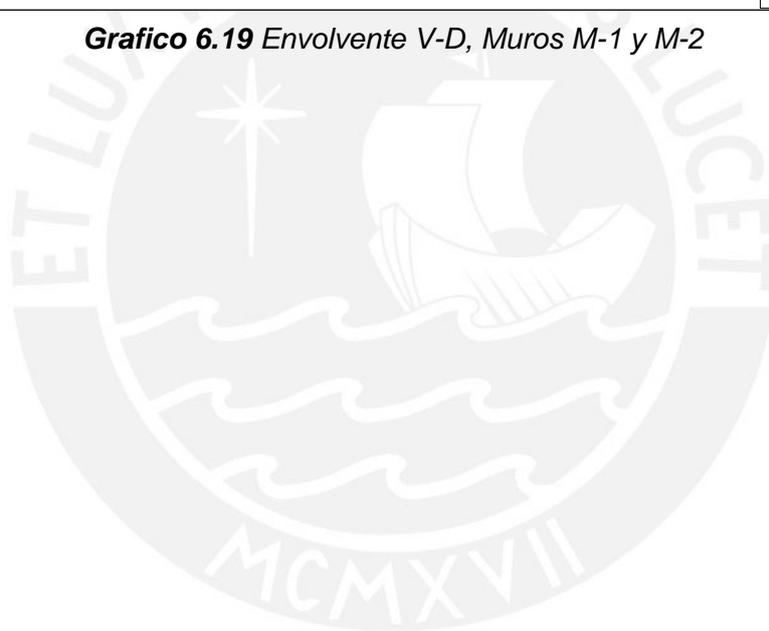
La altura del muro desde su base hasta el eje del actuador es 2,500 mm, por lo tanto, el máximo desplazamiento lateral inelástico reglamentario ante sismos severos sería:  $2500 \times 0.005 = 12.5$  mm. Este desplazamiento lateral corresponde a la fase 7 del ensayo.

Este requerimiento de desplazamientos laterales para sismos severos, fue cumplido largamente por el muro M-2 (con zunchos), donde la degradación de resistencia se presentó en la fase 10 (gráfica 6.19) al triturarse sus talones. En cambio en el muro M-1 (sin zunchos), la trituración del talón se inició en la fase 6 ( $D_1 = 10$ mm, Foto 6.5) y pese a que no degradó resistencia hasta la fase 8 ( $D_1 = 15$ mm), se considera que el comportamiento no fue aceptable, en vista que un sistema real podría provocar un mayor deterioro ya que imprimiría sobre el muro, con gran rapidez, un gran número de ciclos.

En el gráfico 6.19 correspondiente a la envolvente V-D1 puede apreciarse la mayor rigidez elástica que tuvo M-1 sobre M-2, sin embargo, en el rango inelástico el comportamiento de ambos muros fue similar ya que tenían el mismo refuerzo vertical y horizontal, pero a partir de  $D_1 = 15$ mm hasta  $D_1 = 20$ mm, el comportamiento de M-2 superó a M-1 por el confinamiento que proporcionaron los zunchos en los talones de M-2.



**Grafico 6.19** Envolvente V-D, Muros M-1 y M-2



## Capítulo 7

### Interpretación de Resultados

---

#### 7.1 Resistencia a la Compresión ( $f'm$ )

La resistencia característica a compresión axial ( $f'm$ ) resultó ser muy bajo ( $40 \text{ Kg/cm}^2$ , acápite 4.1.4.1) con relación a proyectos anteriores donde se utilizaron unidades sílico-calcareas distintas a la placa P-14, posiblemente una causa de esta baja resistencia haya sido la gran esbeltez que tuvieron las pilas de este proyecto, por lo que es necesario realizar ensayos adicionales.

#### 7.2 Revisión de la necesidad de confinar los talones.

En la Norma de Albañilería E-070 se especifica que los talones de los muros armados, deben confinarse cuando el esfuerzo de flexo compresión ( $\sigma$ ) supera a  $0.3 f'm$ . Revisando esta situación en el muro M-1, se tiene:

**Ecuación 7.1** 
$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo de flexo compresión

P = Carga vertical aplicada = 20 ton

A = Área de la sección transversal I del muro =  $0.14 \times 2.25 = 0.315 \text{ m}^2$

V = Carga lateral que dio inicio a la trituración del talón = 21.57 ton

h = Altura desde la base del muro hasta el eje del actuador = 2.5 m

M = Momento flector originado por "V" ( $V \times h$ ) =  $21.57 \times 2.5 = 53.92 \text{ ton.m}$

y = Distancia desde el eje del muro al borde extremo del talón = 1.125 m

I = Momento de inercia de la sección transversal =  $1/12 \times 0.14 \times 2.25^3 = 0.133 \text{ m}^4$

Resolviendo la ecuación 7.1 tenemos:

$$\sigma = 52 \text{ Kg/cm}^2$$

Para dejar de confinar el talón, se hubiera requerido:

$$f'm > \sigma/0.3 = 0.52/0.3 = 173 \text{ kg/cm}^2$$

Para el caso de la placa P-14, se piensa que alcanzar  $f'm=173.\text{kg}/\text{cm}^2$  es imposible, por lo que el talón requiere confinarse.

Cabe indicar que para unidades “Estándar” Sílico-Calcáreas empleadas en albañilería armada se especifica  $f'm = 110 \text{ kg}/\text{cm}^2$  (Norma E. 070).

Puesto que el talón del muro M-1 (sin zuncho) empezó a triturarse para una distorsión menor a la reglamentaria (0.005), se considera que la disposición de la norma E.070 para verificar la necesidad de confinar los talones es adecuada.

### 7.3 Resistencia al corte ( $v'm$ )

La resistencia característica al corte puro de los muretes ( $v'm$ , acápite 4.2), resultó sumamente baja y dispersa ( $1.74 \text{ kg}/\text{cm}^2$ , con 26% de dispersión) y con una forma de falla (adherencia de los bloques), que no se presentó en los muros (fisura que atraviesa a los bloques).

De este modo, no es posible aplicar la fórmula de la Norma E.070 para determinar “ $V_m$ ”; sin embargo, empleando dicha fórmula, se tratará de evaluar  $v'm$ , considerando que el agrietamiento diagonal de los muros M-1 y M-2 se presentó durante la fase 4 del ensayo para una carga del orden de 18.7 ton (ver tabla 6.5).

**Ecuación 7.2**  $V_m = 0.5 \times v'm * \alpha * t * L + 0.23P$

**Ecuación 7.3**  $\alpha = \frac{VL}{M} = \frac{VL}{Vh} \geq 0.33$

Donde:

$\alpha$  = Coeficiente de reducción de resistencia por esbeltez  $\leq 1.0$

V = Carga lateral

M= Momento flector

h = Altura desde la base del muro hasta el eje del actuador = 2.5 m

L = Longitud del muro = 2.25 m

Resolviendo la ecuación 7.2 tenemos:

$\alpha = 0.9$

$V_m$  = Carga lateral que dio lugar al agrietamiento del muro = 18.7 ton

$v'm$  = Resistencia característica al corte puro en los muretes

P = Carga vertical aplicada = 20 ton

$\alpha$  = Coeficiente de reducción de resistencia por esbeltez = 0.9 (hallado anteriormente)

$t$  = Espesor del muro = 0.14m

$L$  = Longitud del muro = 2.25m

Resolviendo la ecuación 7.1 se obtiene:

$$v'm = 9.9 \text{ kg/cm}^2$$

Este resultado es parecido al que se obtiene en muretes hechos, con unidades “Estándar” Sílico – Calcáreas para albañilería armada (9.2 kg/cm<sup>2</sup>, Norma E.070). De este modo, es necesario continuar la investigación ensayando muretes a compresión diagonal hechos con placa P-14, pero esta vez, reforzándola interiormente, para evitar que se desprendan los bloques durante el ensayo.

## 7.4 Resistencia Máxima

La resistencia máxima (ver tabla 6.5) del muro M-2 (24.2 ton) fue ligeramente mayor (5%) que la del muro M-1 (23 ton), es decir, los zunchos de confinamiento empleado en M-2 no elevaron la capacidad resistente de los muros y solo sirvieron para proporcionar mayor ductilidad.

Esta resistencia máxima (23.6 ton en promedio), fue 26% mayor que la carga de agrietamiento diagonal, lo cual se explica por el trabajo del refuerzo existente, que incluso llegó a incursionar en su zona de endurecimiento, lo cual se demuestra a continuación utilizando los datos captados por los LVDT 5 y 6, cuando trabajan a tracción.

$D = 6.5 \text{ mm}$  = desplazamiento vertical promedio en la base para una carga de 23 ton en la fase 8 (tabla 6.5).

$L = 360 \text{ mm}$  = distancia entre las bases de los LVDT 5 y 6 (plano 6.1).

$\epsilon = 6.5/360 = 0.018$  = deformación unitaria de tracción en la base de los muros.

Esta deformación unitaria (0.018) excede en 9 veces a la deformación unitaria de fluencia correspondiente al refuerzo vertical ( $f_y/E_s = 4200/210000 = 0.002$ ), con lo cual, es de esperarse que la resistencia máxima (23.6 ton) sea mayor que la carga de agrietamiento diagonal  $V_m$  (18.7), con lo cual se diseñan los muros según la Norma E.070.

## 7.5 Módulo de Elasticidad (E) y Módulo de Corte (G)

Como ya se comentó, el módulo de elasticidad hallado en las pilas es un valor que no se considera representativo de esta albañilería.

El módulo de elasticidad hallado en el muro M-2 por carga vertical, salió un valor alto y no congruente con el hallado en el mismo muro por carga lateral, dicho valor se considera no representativo puesto que la gráfica 6.2 no muestra un comportamiento lineal en el muro, probablemente porque el muro presentaba irregularidades y frente a la pequeña carga vertical aplicada, el muro pasó por una etapa de acomodamiento.

Finalmente, se calculó el módulo de elasticidad de los muros por carga lateral, usando los datos de la rigidez lateral (K) y del módulo de corte (G) (acápite 6.5.8), proponiéndose:

$$E = 65,000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E/G = 2.5$$

## Capítulo 8

### Conclusiones y Recomendaciones

---

Las conclusiones presentadas en este estudio hacen referencia tanto a los resultados de los ensayos de los materiales, de la albañilería simple y de los muros, así como al innovador proceso constructivo del sistema Placa P-14.

#### 8.1 Conclusiones

##### 8.1.1 Placa P-14

- La placa P-14 clasificó de acuerdo a la Norma E.070 como un bloque tipo P, apto para ser empleado en la construcción de muros portantes, cumpliendo con todos los requisitos de variación dimensional, absorción y resistencia a la compresión.
- La alta succión que presentó el bloque (54 gr/200cm<sup>2</sup>-min) es correcta puesto que el grout necesita perder agua para lograr una resistencia adecuada y transmitir su material cementante hacia los bloques de tal modo que estos materiales logren integrarse.

##### 8.1.2 Proceso Constructivo

- Al no emplearse mortero en las juntas y ventanas de limpieza, requeridos en la albañilería armada tradicional, la mano de obra se reduce considerablemente, además, al emplearse un proceso de apilamiento de bloques, no se requiere capacitar mayormente a los obreros.
- Debido a que el muro no requiere de tarrajeos, sino tan solo de un empaste, los costos disminuyen significativamente
- La velocidad de construcción es mucho mayor que la correspondiente a los muros de concreto ya que no existen partidas de encofrado, desencofrado y curado de muros. Tampoco se presentan las fisuras que suelen generarse en

los muros de concreto por contracción del secado, ni problema de segregación ya que el sistema P-14 utiliza grout fino (sin piedras).

- El peso volumétrico de la albañilería P-14 fue  $2 \text{ Tn/m}^3$ .
- No se detectaron problemas de cangrejeras, incluso pudo observarse que el grout penetró en el interior de las 12 perforaciones de la placa P-14, por lo que hubiese sido conveniente que estas perforaciones traspasen la base del bloque para lograr una mayor adherencia con el bloque inferior.
- No se presentaron problemas por traslape del refuerzo vertical, pese a que el 100% del traslape se hizo en la misma sección transversal.

### 8.1.3 Comportamiento de la albañilería Simple P-14

- Las pilas ensayadas a compresión presentaron resistencias sumamente bajas ( $f'm = 40 \text{ Kg/cm}^2$ ), posiblemente eso se deba a la gran esbeltez que tuvieron (por encima del valor máximo especificado por la Norma E.070).
- Los muretes ensayados a compresión diagonal presentaron resistencia a corte puro muy bajos ( $\tau'm = 1.74 \text{ Kg/cm}^2$ ) desprendiéndose los bloques. Esta forma de falla no se dio en los muros debido a que los bloques estuvieron conectados por el refuerzo.

### 8.1.4 Módulo de Elasticidad (E) y Módulo de Corte (G)

- El módulo de elasticidad (E) y de corte (G) obtenido en los ensayos de los prismas (pilas y muretes), no fueron representativos, por los problemas indicados en 8.1.3.
- En base a conocer la rigidez lateral de los muros, pudo obtenerse el módulo de elasticidad de la albañilería P-14 proponiéndose adoptar:  
 $E = 65,000 \text{ Kg/cm}^2$ , con  $E/G = 2.5$

### 8.1.5 Comportamiento a Carga Lateral

- El comportamiento a carga lateral cíclica para una falla por corte fue bastante similar a los sistemas convencionales de albañilería armada, confinada y muros de concreto armado, es decir, los lazos histeréticos cortante – desplazamiento fueron finos y degradantes en rigidez lateral, produciéndose la degradación de resistencia solo cuando los talones fallaron por compresión.
- La trituración de los talones para el muro M-1 (sin zunchos) se inició para una distorsión angular de 0.0014, menos que la especificada como límite máximo por la Norma Sísmica E.030 (0.005), por tanto, era necesario confinar al talón.
- Cuando se confinó al talón con zunchos discretos (muro M-2), el comportamiento inelástico mejoró notoriamente llegándose a alcanzar una distorsión de 0.008, 60% mayor al límite máximo de la Norma E.030, luego se produjo una fuerte degradación de resistencia al triturarse el talón. Debe indicarse que estos zunchos son más económicos que el uso de planchas pegadas por epóxico al bloque.
- El tipo de falla obtenido en los muros ensayados fue principalmente por fuerza cortante, por tanto, es necesario analizar el comportamiento de los muros P-14 ante una falla por flexión, que es la adoptada en la Norma de Albañilería E.070, para los sistemas de albañilería armada.
- Al obtenerse resistencia al corte puro ( $v'm = 1.74 \text{ Kg/cm}^2$ ) muy baja en los muretes, no pudo producirse la carga de agrietamiento diagonal de los muros especificados por la Norma E.070 ( $V_m = 0.5 * v'm * \alpha * t * L + 0.23P$ )

### 8.2 Recomendaciones

- Se debe tener mucho cuidado en el vaciado del muro. Este proceso debe hacerse de forma continua ya que el bloque absorbe rápidamente agua del grout, pudiéndose correr el riesgo de formarse cangrejeras.
- Luego de ensayarse el muro se observó que un acero no estaba bien recubierto, encontrándose en proceso de oxidación, por lo que se recomienda

amarrar el refuerzo en cada hilada para asegurar que tanto el acero vertical como el horizontal se encuentren centrados y recubiertos por el grout.

- Por el proceso constructivo los zunchos no están totalmente recubiertos por el grout, quedando en contacto con el bloque y expuestos a los efectos del ambiente. Se recomienda que antes de su colocación en los bloques, tratar a los zunchos para evitar su corrosión.

### 8.3 Línea Futura de Investigación

En líneas generales el proceso constructivo fue óptimo y presenta grandes ventajas sobre los sistemas tradicionales de muros portantes, así mismo, el comportamiento sísmico fue adecuado; sin embargo, quedaron muchas dudas por lo que la investigación debe continuar analizando lo siguiente:

- Deben ensayarse pilas con otras esbelteces para así determinarse la resistencia a compresión  $f_m$ .
- Deben ensayarse muretes a compresión diagonal reforzados internamente, para de este modo proponerse una resistencia a corte puro  $v'm$ .
- Deben ensayarse a carga lateral cíclica a muros con distintos niveles de carga vertical, esbeltez y refuerzo interno, con miras de proponerse una técnica de diseño para el sistema P-14