



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA**



TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

“COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN MURO CONFINADO CON  
INSTALACIÓN SANITARIA EN SU INTERIOR”

PRESENTADA POR:

CRISTHIAN ROBERTO CHUQUÍN MONTOYA  
JORGE ENRIQUE PAREDES SALAZAR

LIMA-PERU  
2006

Para mis padres Gloria y Roberto, mi hermano Frank, y a mi abuela Eumelia, por todos estos años de inacabable paciencia y apoyo.

Y para ti nuevamente, Rosario del Valle, por tu amor que nos enseñó a navegar por estos mares de Lima, de Virginia y de la vida.

Cristhian.

A mis padres, Jorge y María del Carmen, mis hermanos Franz y Marisol, mi tío Manuel Castillo Bardales por haberme brindado su valioso apoyo durante todo este tiempo y a Sofía por ser parte de mi vida.

Jorge.

También al Ing. Ángel San Bartolomé y todo el personal del Laboratorio de Estructuras de la universidad, quienes con su dirección hicieron posible la culminación de este trabajo.

Cristhian y Jorge.

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación es comparar la influencia del procedimiento constructivo seguido para la instalación de tuberías en muros de albañilería confinada en su comportamiento sísmico.

Para ello se construyeron y ensayaron a carga lateral cíclica, tres muros a escala natural con las mismas características geométricas. El primero, adoptado como patrón de comparación, no presentó ninguna tubería (M1), el segundo se construyó siguiendo la técnica constructiva tradicional (M2), consistente en picar la albañilería para después instalar la tubería y aplicar un mortero de resane, y el tercero presentó una falsa columna de concreto simple que alojaba a la tubería (M3).

Adicionalmente, se construyeron cuatro pilas y cuatro muretes de albañilería como especímenes de control.

De los ensayos realizados se pudo determinar que el procedimiento de instalación de tuberías mediante el picado y resane de la albañilería hizo que el muro (M2) se comporte como si estuviese compuesto por dos muros, uno a cada lado de la tubería instalada. Mientras que la construcción de una falsa columna no reforzada, pero con mechas de anclaje, dentro de la cual se aloja la tubería sanitaria (M3), permite al muro tener una falla por corte muy similar a la de un muro que no presenta instalación sanitaria (M1).

Puesto que en el muro M3, tanto la rigidez lateral, como la carga de agrietamiento de tracción por flexión, la resistencia al agrietamiento diagonal y la carga máxima fueron superiores a las del muro M2 (en 56%, 44%, 85% y 74%, respectivamente), se puede concluir que el empleo de una falsa columna con la adición de mechas que permiten integrar las partes divididas del muro, es la solución más idónea para alojar tuberías sanitarias en los muros portantes en vez de picar el muro, instalar la tubería y luego resanarlo.

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1: GENERALIDADES</b>	<b>5</b>
1.1 Introducción.	6
1.2 Objetivos del proyecto.	7
1.3 Revisión bibliográfica.	7
1.4 Planificación del trabajo.	9
<b>CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS MUROS</b>	<b>11</b>
2.1 Características comunes de los muros.	12
2.1.1 Albañilería.	12
2.1.2 Viga de cimentación.	13
2.1.3 Columnas de confinamiento.	13
2.1.4 Viga solera.	13
2.2 Características particulares de los muros.	14
2.2.1 Instalación tradicional de la tubería en M2.	14
2.2.2 Tubería en falsa columna en M3.	15
2.3 Planos de los muros.	16
<b>CAPÍTULO 3: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS</b>	<b>20</b>
3.1 Ladrillos de arcilla.	21
3.1.1 Especificaciones técnicas de los ladrillos.	21
3.1.2 Ensayos realizados.	21
3.1.2.1 Variabilidad dimensional.	21
3.1.2.2 Alabeo.	22
3.1.2.3 Área bruta y área de vacíos.	23
3.1.2.4 Absorción.	24
3.1.2.5 Humedad natural.	24

3.1.2.6	Succión.	25
3.1.2.7	Compresión.	26
3.1.3	Selección y recorte de ladrillos.	27
3.2	Mortero.	28
3.2.1	Granulometría de la arena gruesa.	28
3.2.2	Ensayos de compresión del mortero.	29
3.2.3	Mortero de resane en M2.	31
3.3	Concreto.	31
3.3.1	Ensayos de control del concreto.	32
3.3.1.1	Viga de cimentación.	32
3.3.1.2	Columnas.	33
3.3.1.3	Vigas soleras.	33
3.3.1.4	Falsa columna en M3.	33
3.4	Acero de refuerzo.	34
3.5	Evaluación de los materiales.	34
<b>CAPÍTULO 4: CARACTERÍSTICAS DE LA ALBAÑILERÍA SIMPLE</b>		<b>36</b>
4.1	Descripción de los prismas.	37
4.2	Pilas	41
4.2.1	Ensayo de compresión axial.	41
4.2.2	Evaluación de resultados.	41
4.3	Muretes.	44
4.3.1	Ensayo de compresión diagonal.	44
4.3.2	Evaluación de resultados.	45
<b>CAPÍTULO 5: ANÁLISIS TEÓRICO DE LOS MUROS</b>		<b>48</b>
5.1	Refuerzo de los muros.	49

5.1.1 Verificación del refuerzo mínimo en columnas y solera.	49
5.1.2 Estribos.	50
5.2 Análisis teórico.	50
5.2.1 Módulo de corte y módulo de elasticidad.	50
5.2.2 Rigidez lateral.	51
5.2.3 Fisuración en tracción por flexión.	54
5.2.4 Agrietamiento diagonal.	54
5.2.5 Momento flector nominal máximo.	55
5.2.6 Tipo de falla esperada.	56
<b>CAPÍTULO 6: CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS</b>	<b>57</b>
6.1 Construcción de las vigas de cimentación.	58
6.2 Pasos previos a la construcción de la albañilería.	60
6.3 Pasos comunes en la construcción de los muros de albañilería.	60
6.4 Construcción de las columnas.	63
6.5 Construcción de las vigas soleras.	64
<b>CAPÍTULO 7: ENSAYOS DE CARGA LATERAL CÍCLICA</b>	<b>65</b>
7.1 Descripción del ensayo.	66
7.2 Montaje e instrumentación.	68
7.3 Ensayo del muro M1: Descripción del comportamiento.	69
7.4 Ensayo del muro M2: Descripción del comportamiento.	73
7.5 Ensayo del muro M3: Descripción del comportamiento.	78
7.6 Gráficos de resultados	83
7.6.1 Lazo histerético cortante-desplazamiento.	83
7.6.2 Envolverte cortante-desplazamiento.	86
7.7 Plano de instrumentación de muros.	89
<b>CAPÍTULO 8: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>91</b>
8.1 Determinación de parámetros experimentales y comparación con parámetros teóricos.	92

8.1.1 Rigidez lateral.	92
8.1.2. Agrietamiento de tracción por flexión.	92
8.1.3 Rotura diagonal.	93
8.1.4 Carga máxima soportada.	94
8.1.5 Límites de reparación.	94
8.1.6 Resumen de comparaciones.	95
8.2 Comparación de resultados experimentales entre los muros.	96
8.2.1 Resumen de comparaciones.	97
<b>CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES Y LÍNEA FUTURA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>98</b>
9.1 Conclusiones.	99
9.2 Línea futura de investigación.	102
<b>CAPÍTULO 10: REFERENCIAS</b>	<b>103</b>
10.1 Referencias.	104





## Capítulo 1 GENERALIDADES

---

### 1.1 INTRODUCCIÓN.

Se trata de analizar la influencia de una tubería de desagüe instalada en el interior de un muro de albañilería confinada sobre su comportamiento sísmico. Para ello se construyeron y ensayaron a carga lateral cíclica, tres muros a escala natural con las mismas características geométricas. El primero, adoptado como patrón de comparación, no presentó ninguna tubería, el segundo se construyó siguiendo la técnica constructiva tradicional, consistente en picar la albañilería para después instalar la tubería y aplicar un mortero de resane; y el tercero presentó una falsa columna que alojaba a la tubería. De este modo, se deseó cuantificar el posible aumento de resistencia a fuerza cortante del muro que contiene a la tubería en una falsa columna comparado con el muro que fue picado.

Con fines comparativos, los tres muros tuvieron características geométricas idénticas, la misma cantidad de refuerzo en los elementos de borde de concreto, se emplearon los mismos materiales y la misma mano de obra.

Cabe indicar que en la norma técnica de edificación E.070 “Albañilería” (Referencia 1) se especifica que las tuberías sanitarias y tubos de diámetros mayores que 55 mm, tendrán recorridos fuera de los muros portantes o en falsas columnas y se alojarán en ductos especiales o en muros no portantes. Esta especificación usualmente no es contemplada por los constructores (fotos 1.1 y 1.2)



Foto 1.1

Incumplimiento de la Norma E-070



Foto 1.2

Cumplimiento de la Norma E-070

## 1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos que se desean alcanzar en el presente trabajo, son:

- Investigar experimentalmente el aumento de resistencia a fuerza cortante que podría presentarse en el muro de albañilería confinada, que presenta una falsa columna, la cual aloja a la tubería de desagüe (M3), en comparación con el muro de albañilería confinada, que fue picado y resanado para la instalación de la tubería (M2).
- Comparar el comportamiento sísmico en el rango elástico e inelástico de los tres muros: sin tubería, con tubería alojada en zona picada, con tubería alojada en una falsa columna.
- Integrar al muro dividido por la tubería en dos partes mediante una falsa columna.

## 1.3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.3.1 CONSTRUCCIONES DE ALBAÑILERÍA, ANGEL SAN BARTOLOME, FONDO EDITORIAL PUCP, 2001. Referencia 2.

Los muros de albañilería se clasifican en Portantes y No Portantes. Los Muros Portantes son los que se emplean como elementos estructurales de un edificio. Estos muros están sujetos a todo tipo de sollicitación, tanto contenida en su plano como perpendicular a su

plano, tanto vertical como lateral y tanto permanente como eventual. Mientras que los Muros No Portantes son los que no reciben carga vertical: cercos, parapetos y los tabiques. Por tanto, los muros portantes no deberían ser picados para instalar conductos, pues ellos debilitarían su función estructural. En caso sea necesario alojar alguna tubería en un muro portante, ellas deberían estar alojadas en falsas columnas y de preferencia en tabiques.

### 1.3.2 EFECTOS DEL NUMERO DE PAÑOS EN MUROS CONFINADOS A ESCALA 1: 2.5. F. LAMAS, 1992. Referencia 6.

Se construyeron tres muros a escala 1 : 2.5, el primero de un solo paño (1.00 x 1.20 x 0.07 m), empleando unidades macizas de arcilla. El segundo muro estuvo compuesto de dos paños y el tercero de tres paños.

Como resultado se obtuvo que la resistencia unitaria al primer agrietamiento diagonal ( $v_R$ ) era prácticamente similar en los tres muros (esbeltez  $H/L \leq 1$ ), con un ligero incremento de  $v_R$  conforme aumentaba el número de columnas. Por otro lado, el tipo de falla, correspondiente al muro de tres paños, no era diagonal en cada tramo, sino que podía abarcar más tramos cortando la zona intermedia de las columnas interiores. De este modo se espera que la falsa columna a usar en el muro M3, integre a la albañilería circundante, pudiendo ser atravesada por la grieta diagonal.

### 1.3.3 EFECTOS DEL REFUERZO EN MUROS CONFINADOS, A. PASTORUTTI. 1985. Referencia 7.

Utilizando ladrillos KK industrial ( $f^*b = 100 \text{ Kg./cm}^2$ ) y mortero 1:1:5, se construyeron cinco muros confinados (2.40 x 2.40 x 0.135 m) los que fueron ensayados a carga lateral cíclica. El estribaje se mantuvo constante y consistió de  $\emptyset \frac{1}{4}$ ", 1 @ 5, 4 @ 10, r @ 25 cm. en tanto que el refuerzo vertical y horizontal variaron de la siguiente manera:

- Muro MR1, refuerzo vertical 4  $\emptyset \frac{1}{2}$ ", sin refuerzo horizontal.
- Muro MR2, refuerzo vertical 4  $\emptyset \frac{1}{2}$ ", solera intermedia (13.5 x 10 cm. + 2  $\emptyset \frac{1}{2}$ " )
- Muro MR3, refuerzo vertical 4  $\emptyset \frac{3}{8}$ ", refuerzo horizontal 2  $\emptyset \frac{1}{4}$ " @ 3 hiladas (cuantía 0.16%)

- Muro MR4, refuerzo vertical 4 Ø ½”, refuerzo horizontal 2 Ø ¼” @ 3 hiladas (cuantía 0.16%)
- Muro MR5, refuerzo vertical 4 Ø ½”, refuerzo horizontal 2 Ø ¼” @ 6 hiladas (cuantía 0.08%)

Entre las varias conclusiones a las que se llegaron después del análisis de los ensayos, se tiene:

El refuerzo horizontal elevó considerablemente la capacidad de deformación inelástica, atenuando el deterioro en los extremos de las columnas y en la albañilería; sin embargo, no elevó la resistencia. Puesto que el muro MR1 tuvo hasta los 15 mm de desplazamiento (mayor a su condición de reparabilidad) igual comportamiento que los muros MR4 y MR5, se considera innecesario adicionar refuerzo horizontal en los muros confinados que tienen poca carga vertical. Por otro lado, debe destacarse que cuanto mayor fue el refuerzo horizontal, las fisuras fueron más finas, lo que indica que ese refuerzo trabajó en menor grado; por esto, en los casos que sea necesario añadir dicho refuerzo, se considera suficiente emplear una cuantía mínima de 0.1%.

Como corolario de este proyecto, se añadirán mechas de 98 cm de largo que atravesarán la falsa columna del muro M3, que permitirán controlar el tamaño de las grietas diagonales, así como integrar las porciones de la albañilería divididas por la tubería.

#### 1.4 PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO

Los ensayos de carga lateral cíclica sobre los tres muros formaron la parte central del proyecto. Previamente se definieron los parámetros de diseño de la albañilería utilizada en la construcción de todos los elementos. Para ello, se realizaron ensayos a los ladrillos de arcilla para determinar sus características, físicas y mecánicas; también se construyeron cuatro pilas y cuatro muretes para conocer la resistencia característica a compresión y al corte, así como también el módulo de elasticidad y el módulo de corte de la albañilería. Una vez finalizados los ensayos de los especímenes, se estudió la información obtenida para extraer las conclusiones. La secuencia de actividades aparece en la tabla 1.1.

**Tabla 1.1. Actividades y resultados esperados**

ACTIVIDAD	RESULTADOS ESPERADOS
Ensayos en ladrillos	Características, físicas y mecánicas de las unidades de albañilería.
Construcción y ensayo de pilas	Resistencia característica $f'_m$ y módulo de elasticidad de la albañilería.
Construcción y ensayo de muretes	Resistencia característica $v'_m$ y módulo de corte de la albañilería.
Construcción de los muros	Comparación entre los procesos constructivos utilizados.
Ensayos de carga lateral cíclica sobre los muros	Resultados experimentales del ensayo de los muros, tipo de falla, análisis gráfico, etc.





## Capítulo 2 *CARACTERÍSTICAS DE LOS MUROS*

---

Para evaluar comparativamente el efecto del procedimiento constructivo sobre el comportamiento sísmico entre un muro de albañilería confinada con instalación de tubería de desagüe de 4", mediante el picado y resane del muro (M2), y otro que presenta una falsa columna en cuyo interior se aloja la tubería (M3), se construyeron tres muros: Uno que no cuenta con instalación sanitaria alguna (M1), otro que sí lleva tubería (M2), y el tercero que presenta la falsa columna (M3).

### 2.1 CARACTERÍSTICAS COMUNES DE LOS MUROS

#### 2.1.1 ALBAÑILERÍA

En cuanto a la albañilería los tres muros presentaron las siguientes características comunes:

- Tuvieron 220 cm de altura, 200 cm de longitud y 13 cm de espesor (Lámina 1, ver sección 2.3.).
- Fueron construidos utilizando el mismo tipo de unidad de albañilería (ladrillos KK-18 huecos, industrial, ladrillera Italcerámica.).
- En el mortero para el asentado se usó arena gruesa en proporción volumétrica 1 : 4 (cemento : arena).
- Las juntas verticales fueron de 1.0 cm de espesor, mientras que las juntas horizontales tuvieron 1.4 cm de espesor, debido a la variación dimensional de los ladrillos empleados.
- Las unidades fueron asentadas en aparejo de sogá.
- El asentado entre unidades de hiladas consecutivas tuvo un traslape de 1/2 ladrillo equivalente a 12.0 cm, un diente de conexión con las columnas de 4.0 cm, asimismo los cortes realizados para obtener los ladrillos maestros de 8.0 cm fueron hechos con máquina.

El asentado de estos ladrillos maestros se realizó tratando que la cara donde se hizo el corte vaya hacia dentro de la albañilería.

- La conexión albañilería–columna fue dentada.
- Los muros fueron construidos sobre una viga de cimentación, llevaron dos columnas y una viga solera en la parte superior para confinar a la albañilería. Las



características de los elementos de confinamiento ( $f'_c$  del concreto,  $f_y$  del acero) para los tres muros, fueron las mismas.

- Luego de concluida la construcción de las vigas soleras se dejaron fraguar los muros por 28 días como mínimo. El curado de los elementos de concreto se realizó durante tres días después del vaciado de cada uno de ellos, a razón de una vez por día.

### 2.1.2 VIGA DE CIMENTACIÓN

Esta viga tuvo 340 cm de longitud, 35 cm de alto y 30 cm de espesor, y el refuerzo fue de  $4 \phi 3/4''$  con estribos de  $3/8''$  espaciados  $1@5$ ,  $10@10$  y el resto a 20 cm (Lámina 1, sección 2.3.). La viga de cimentación tuvo un tiempo de fraguado y curado de tres días, antes de que se proceda a construir sobre ella el muro respectivo y su superficie superior fue rayada en la zona ocupada por el muro.

### 2.1.3 COLUMNAS DE CONFINAMIENTO

Las columnas tuvieron un peralte de 20 cm, un ancho igual al espesor del muro (13 cm) y una altura igual a la altura del muro (220 cm). El refuerzo fue  $4 \phi 1/2''$  con estribos de  $\phi 1/4''$  espaciados  $1@5$ ,  $4@10$  y el resto a 20 cm, los estribos utilizados tuvieron  $1 \frac{3}{4}$  de vuelta para disminuir así la probable formación de cangrejeras en la columna causada por los ganchos a  $135^\circ$  (Lámina 1, sección 2.3). Antes de vaciar la viga de cimentación se colocó el refuerzo de las columnas, el vaciado de las columnas se hizo después de haberse construido la albañilería.

### 2.1.4 VIGA SOLERA

Los tres muros tuvieron vigas soleras de concreto armado construidas luego de haber sido vaciadas las columnas de confinamiento; sus dimensiones fueron de 250 cm de longitud, 20 cm de peralte y 20 cm de base. El refuerzo de la viga solera fue de  $4 \phi 3/8''$  con estribo de  $\phi 1/4''$  espaciados  $1@5$ ,  $4@10$  y el resto a 20 cm (Lámina 1). Tuvo un tiempo de fragua de 21 días como mínimo antes de que al muro se someta al ensayo.

Todos los elementos de concreto armado fueron curados con agua inmediatamente después de haber sido desencofrados para poder desarrollar las propiedades deseables de resistencia y durabilidad.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LOS MUROS

### 2.2.1 INSTALACIÓN TRADICIONAL DE LA TUBERÍA EN M2

- Previamente al vaciado de la viga de cimentación se colocó un suple de PVC de 4" de diámetro para después poder instalar el tubo de 4" de diámetro insertándolo a una profundidad de 7 cm. El suple se fijó en la cimentación de tal manera que quede al ras de la parte superior de la misma (Foto 2.1). El suple fue enrollado en alambre # 16 para que tenga mejor adherencia con el concreto. Se colocaron 2 estribos en la viga de cimentación con una separación de 5 cm a cada extremo del suple.
- El mismo procedimiento se repitió en la colocación del suple en la viga solera con la diferencia que primero se picó el muro (Foto 2.2), seguidamente se instaló la tubería con el suple superior. Tanto el tubo como el suple estuvieron enrollados con alambre # 16, para desarrollar una mejor adherencia con el mortero de resane y el concreto. Después se realizó el resane con mortero cemento : arena – 1 : 5 (foto 2.3) y por último se procedió al vaciado de la viga solera.
- El picado se hizo 04 días después del vaciado de las columnas, asimismo, el picado del muro se realizó de tal manera que se trate de mantener una de las caras del muro intacta, permitiendo la colocación de la tubería sin ningún problema.(Lámina 2, sección 2.3.)



Foto 2.1.  
Colocación del suple en la viga de  
cimentación del muro M2.



Foto 2.2.

Picado del muro M2.



Foto 2.3.

Muro M2 con la tubería instalada y resane con mortero.

### 2.2.2 TUBERÍA EN FALSA COLUMNA EN M3

- La instalación de la tubería en M3, se inició con la colocación del suple de 4" en la viga de cimentación, la instalación de dicho suple fue similar a las del muro M2.
- Se instaló la tubería previamente al asentado de los ladrillos, para ello en la parte superior del tubo se colocó el suple que entraría en la viga solera. Dicho suple quedaría unos 5 cm por debajo de la parte superior de la viga solera. Tanto la tubería como el suple, estuvieron enrollados con alambre # 16.
- En la zona central del muro, donde se hizo la falsa columna, se utilizaron ladrillos cortados en las medidas de 20 cm y 12 cm para lograr la conexión dentada con la falsa columna. La falsa columna fue de 13 x 24 cm y no llevó refuerzo vertical en su interior. Para integrar las dos mitades del muro se usaron mechas de 6mm de diámetro por 98 cm de longitud. Estas mechas se colocaron en las juntas horizontales durante el proceso de asentado de ladrillos, intercalándolas en ambos bordes del muro, a fin de evitar posibles cangrejeras (Foto 2.4).
- Una vez concluido el levantamiento de la albañilería, se procedió al vaciado de la falsa columna, utilizando un grout de 10" de slump con la siguiente dosificación: cemento - arena - confitillo = 1 : 2 ½ : 1 ½, para obtener una resistencia de 175 kg/cm<sup>2</sup>. En seguida se vació el concreto de las columnas (Foto 2.5).
- Finalmente se procedió con la construcción de la viga solera (Lámina 3, sección 2.3)

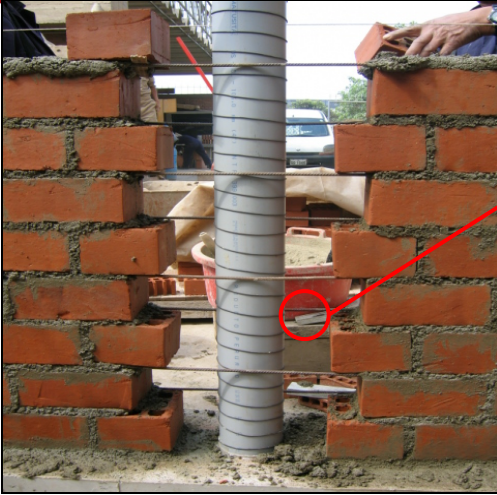


Foto 2.4.  
Mechas de  $\varnothing$  6mm y de 98 cm  
de longitud ubicadas en juntas  
horizontales.

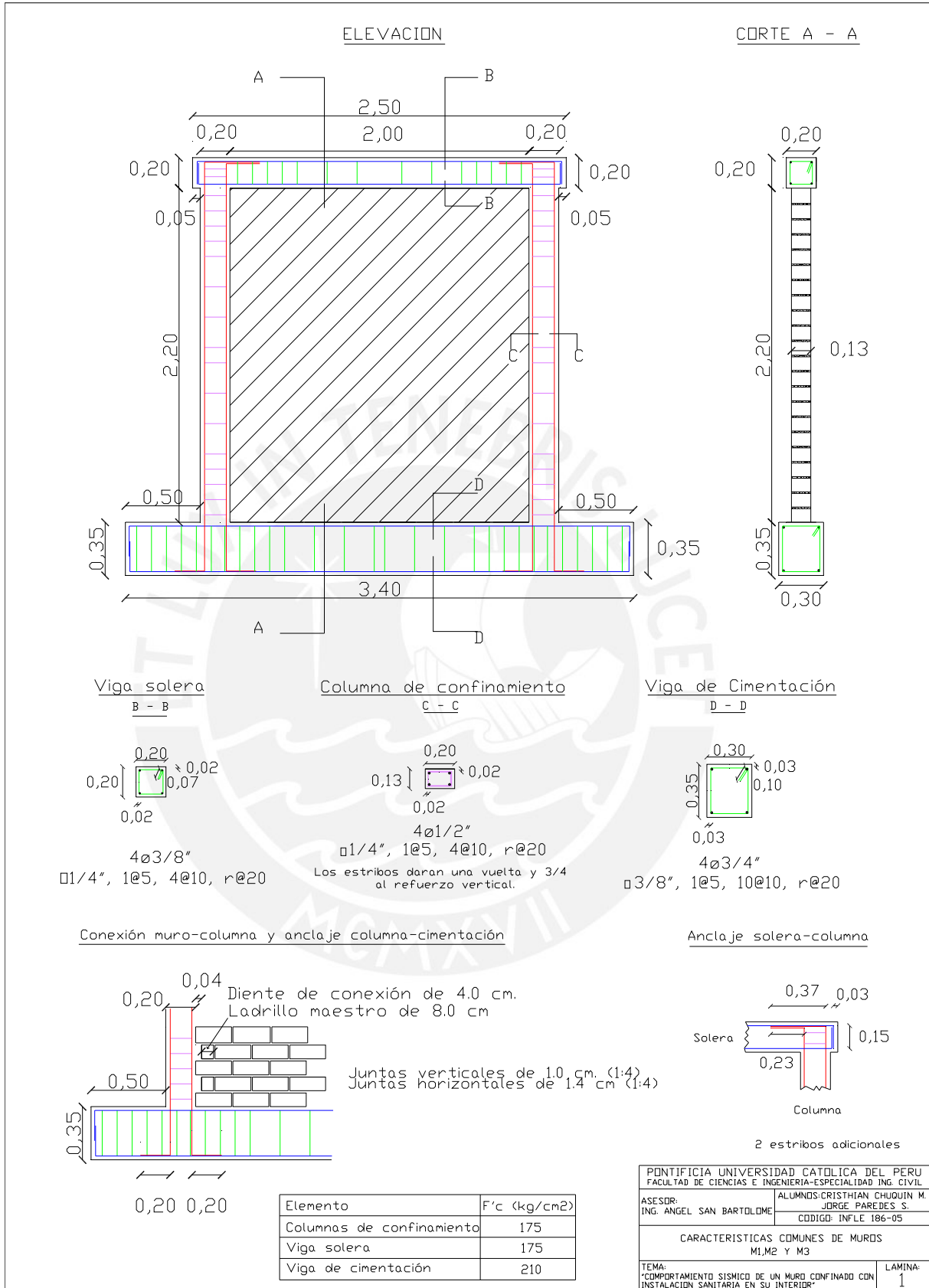


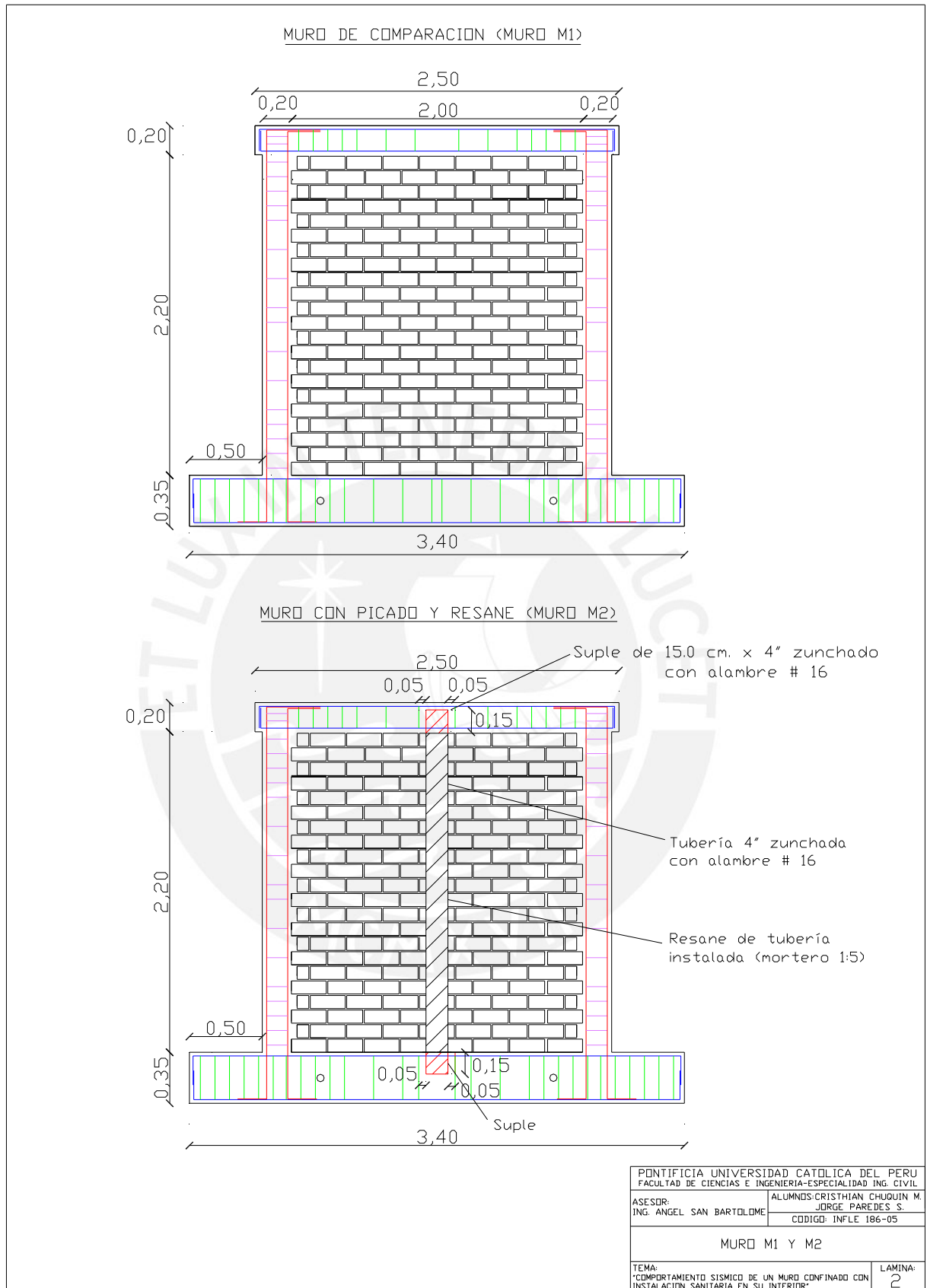
Foto 2.5.  
Muro M3, después del vaciado  
de las columnas y la falsa  
columna.

### 2.3 PLANOS DE LOS MUROS.

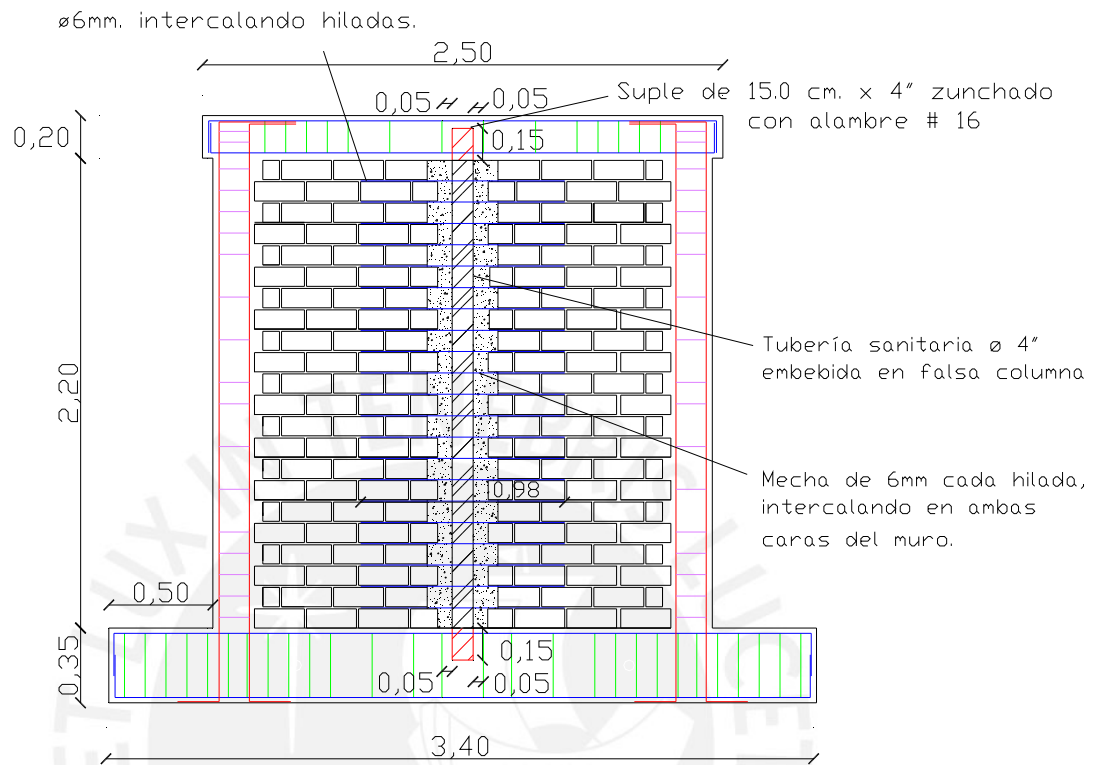
A continuación se presentan los planos de los muros.

- Lámina 1: Características comunes de los muros M1, M2 y M3.
- Lámina 2: Muro M1 y M2.
- Lámina 3: Muro M3.

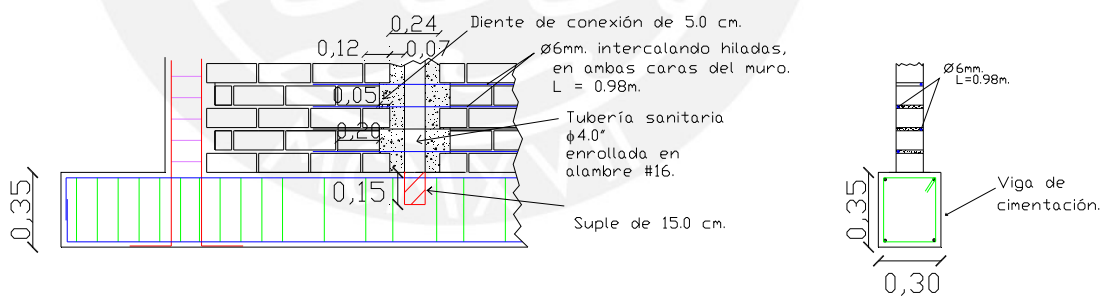




MURO CON FALSA COLUMNA (MURO M3)



DETALLE DE CONEXION MURO-FALSA COLUMNA



Nota:  
Concreto falsa columna : 175 kg/cm<sup>2</sup>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA-ESPECIALIDAD ING. CIVIL	
ASESOR: ING. ANGEL SAN BARTOLOME	ALUMNOS: CRISTHIAN CHUQUIN M. JORGE PAREDES S. CODIGO: INFLE 186-05
MURO M3	
TEMA: COMPORTAMIENTO SISMICO DE UN MURO CONFINADO CON INSTALACION SANITARIA EN SU INTERIOR*	LAMINA: 3



***CAPÍTULO 3***  
***CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS***



## Capítulo 3 *CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS*

### 3.1 LADRILLOS DE ARCILLA

#### 3.1.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS LADRILLOS

Las unidades de albañilería de arcilla fueron ladrillos king kong de 18 huecos producidos industrialmente por la fábrica “Italcerámica”. Se optó por utilizar unidades de esta procedencia porque son de uso frecuente en el mercado de la construcción. Las especificaciones técnicas de los ladrillos indicadas por el fabricante se detallan en la tabla 3.1.

*Tabla 3.1. Especificaciones técnicas de la unidad según el fabricante*

Característica	Valor
Tipo	King Kong de 18 huecos
% de Vacíos	No indica
Dimensiones	24 x 13 x 9 cm
Peso	3,0 kg
Resistencia a la Compresión	126 kg/cm <sup>2</sup>
Rendimiento	36 Unid/m <sup>2</sup>

#### 3.1.2 ENSAYOS REALIZADOS

Se realizaron ensayos en las unidades para determinar las características, físicas y mecánicas. Los ensayos se realizaron siguiendo los procedimientos indicados en la NTP 399.613 (Referencia 5). En principio se hizo una selección de las mejores unidades disponibles.

##### 3.1.2.1 *Variabilidad Dimensional*

Las dimensiones nominales de las unidades son de 24 cm de largo, 13 cm de ancho y 9 cm de altura. La dimensión de cada arista del espécimen, se toma como el promedio de 4 medidas (en mm) en la parte media de cada cara, se tomaron medidas a un total de 10 unidades para luego promediarlas y realizar los cálculos de variabilidad cuyos resultados se muestran en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2. Variabilidad Dimensional**

UNIDAD	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ALTO (mm)
1	240	129	88
2	242	130	86
3	243	130	85
4	242	130	88
5	242	125	85
6	240	130	88
7	240	129	86
8	240	129	90
9	240	129	84
10	242	129	86
<b>PROMEDIO</b>	<b>241</b>	<b>129</b>	<b>86</b>
DESV. EST.	1.17	1.36	1.97
<b>Variabilidad %</b>	<b>0.48</b>	<b>1.06</b>	<b>1.97</b>
MAXIMO REF. 1	2%	3%	4%

Se observa en la tabla 3.2 que el largo promedio se encuentra en 24.1 cm siendo 1 mm mayor que el valor nominal, esta diferencia no afectó sustancialmente al diseño del muro, ya que se había previsto usar juntas verticales de 1 cm de espesor.

De acuerdo a la referencia 1, las unidades son aceptables porque presentan una menor variabilidad dimensional porcentual que la indicada como máxima en dicha referencia.

### 3.1.2.2 *Alabeo*

Mediante este ensayo se mide la mayor o menor concavidad o convexidad de la cara de asentado de las unidades. Una variación importante de estos parámetros o valores excesivos de los mismos determinan un mayor espesor de junta y mayor cantidad de mortero para tratar de nivelar estas irregularidades, como también contribuyen a la formación de vacíos en las zonas más alabeadas y, por lo tanto, zonas más débiles en los muros. La muestra de ladrillos fue la misma, 10 unidades escogidas al azar. De cada unidad se consideró sólo el mayor alabeo. El resultado será el promedio de la muestra en mm. Los resultados aparecen en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3. Ensayo de alabeo**

UNIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
mm	1.5	1	1.5	1	0.5	1.5	1	0.5	0.5	0.5	<b>1.0</b>

El alabeo encontrado tiene un valor promedio de 1 mm, encontrándose dentro del límite máximo permitido (4 mm) para unidades de albañilería tipo IV según las referencia 1.

### 3.1.2.3 *Área bruta y Área de vacíos*

El área bruta de la unidad se considera como el producto del largo por el ancho:

$$\text{Área Bruta} = 24.1 \times 12.9 = 310.9 \text{ cm}^2$$

Para obtener el valor del porcentaje de área de vacío de la unidad se siguió el procedimiento del ASTM C-67 (acápite 16), que consistió en determinar el volumen de las perforaciones llenando éstas con arena estándar (de Ottawa) y luego midiendo el volumen de arena de reemplazo en una pipeta graduada.

$$\% \text{ Área de Vacíos} = \frac{V_{\text{ARENA}}}{V_{\text{UNIDAD}}} \times 100$$

Donde:

- $V_{\text{ARENA}}$  = Volumen de la arena medida en una pipeta graduada.
- $V_{\text{UNIDAD}}$  = largo x ancho x altura de la unidad.

Los resultados se aprecian en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. *Porcentaje de área de vacíos de las unidades*

Unidad	Vol. Arena (cm <sup>3</sup> )	Alt. Prom. (cm.)	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Vol. Unidad (cm <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	% Vacíos
1	1250	8.6	310.9	2673.7	46.8
2	1250	8.6	310.9	2673.7	46.8
3	1300	8.6	310.9	2673.7	48.6
4	1270	8.6	310.9	2673.7	47.5
5	1300	8.6	310.9	2673.7	48.6
<b>PROMEDIO</b>					47.7

$$\% \text{ de área de vacíos} = 47.7 \%$$

Según el valor de porcentaje de área de vacíos, la unidad debe ser considerada como unidad de albañilería hueca (referencia 1, mayor que el 30% de vacíos) y no debería emplearse en la construcción de muros portantes en las zonas sísmicas 2 y 3, sin embargo, estas unidades fueron empleadas en este proyecto por ser de uso común en Lima.

### 3.1.2.4 *Absorción*

La absorción es una propiedad que esta relacionada con la durabilidad de la albañilería y el valor máximo de absorción es considerada como una medida de la impermeabilidad de la unidad.

El ensayo se hizo sumergiendo mitades de unidades en agua durante 24 horas (previamente dichos especímenes fueron secados en el horno), para luego pesarlas y calcular, en porcentaje del peso, la cantidad de agua absorbida con la expresión:

$$\text{Absorción} = \frac{W_{\text{Saturado}} - W_{\text{Seco}}}{W_{\text{Seco}}} \times 100$$

Los resultados aparecen en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5. Absorción de las unidades**

UNIDAD	W <sub>Seco</sub> (gr)	W <sub>Saturada</sub> (gr)	Absorción (%)
1	1422	1582	11.25
2	1383.5	1553.3	12.27
3	1375.1	1522.1	10.69
4	1393.4	1529.8	9.79
5	1373.3	1535.3	11.80
6	1404.9	1564.6	11.37
7	1391.7	1550.6	11.42
8	1468.8	1634.7	11.29
9	1346.4	1492.9	10.88
10	1412.1	1573.5	11.43
<b>Promedio</b>			<b>11.22</b>
<b>Desv. Est.</b>			<b>0.67</b>

En la tabla 3.5 se observa que el valor promedio de absorción es inferior a 22%, valor máximo establecido en la referencia 2 para unidades de arcilla.

### 3.1.2.5 *Humedad Natural*

La humedad natural es el porcentaje de agua que posee la unidad en su estado natural con respecto al peso seco. Utilizando la información presentada en la tabla 3.6, es posible obtener la humedad natural de la unidad con la expresión:

$$\text{Humedad} = \frac{W_{\text{Natural}} - W_{\text{Seco}}}{W_{\text{Seco}}} \times 100$$

Los resultados aparecen en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6. Humedad natural**

UNIDAD	W <sub>Natural</sub> (gr)	W <sub>Seco</sub> (gr)	Humedad (%)
1	1469.5	1422.0	3.3
2	1399.9	1383.5	1.2
3	1387.1	1375.1	0.9
4	1410.2	1393.4	1.2
5	1394.2	1373.3	1.5
6	1426.7	1404.9	1.6
7	1415.9	1391.7	1.7
8	1506.8	1468.8	2.6
9	1367.7	1346.4	1.6
10	1438.6	1412.1	1.9
<b>Promedio</b>			<b>1.75</b>
<b>Desv. Est.</b>			<b>0.69</b>

El valor promedio de la humedad natural de las unidades de albañilería es de 1.75%

### 3.1.2.6 *Succión*

La succión es una medida normalizada de la velocidad inicial de absorción de agua. Esta propiedad es un índice de la avidez de agua que tiene la unidad y de su tendencia a quitársela al mortero de asentado. El procedimiento de ensayo consiste en determinar el peso seco de las unidades, sumergir una cara en una película delgada de agua de 3 mm de profundidad durante un minuto, luego retirar la unidad y pesarla.

La succión normalizada a un área de 200 cm<sup>2</sup>, se calcula con la expresión siguiente:

$$\text{Succión} = \frac{200 \times (P_{suc} - P_{seco})}{\text{Área neta.}}$$

Donde:

$P_{suc}$  = Peso (gr) de la unidad luego de haber sumergido la cara de asiento en una película delgada de 3 mm durante un minuto.

$P_{seco}$  = Peso (gr) de la unidad secada al horno a 110 °C

$$\text{Area neta} = (1-0.477) \times 310.9 = 162.6 \text{ cm}^2$$

**Tabla 3.7. Succión**

BLOQUE	W seco	W succión	Area Base	Succión
1	2958.2	3030.4	162.6	88.81
2	2950.7	3022.4	162.6	88.19
3	2975.7	3044.0	162.6	84.01
4	2929.1	3006.7	162.6	95.45
5	3026.4	3094.1	162.6	83.27
6	2925.4	3000.7	162.6	92.62
7	2911.0	2975.1	162.6	78.84
8	3064.2	3134.8	162.6	86.84
9	2927.2	2988.5	162.6	75.40
10	2863.7	2930.2	162.6	81.80
<b>Promedio</b>				<b>85.52</b>
<b>Desv. Estánd.</b>				<b>6.12</b>

La referencia 2, recomienda que el valor de la succión de las unidades no supere los 20 gr/200 cm<sup>2</sup>-min antes de ser asentadas, según la tabla 3.7 el valor de succión es demasiado elevado, por lo que se optó por regar las unidades durante 30 minutos, quince horas antes del asentado de los ladrillos. Según la referencia 1, se recomienda regar durante media hora entre 10 y 15 horas antes de asentarlas.

### 3.1.2.7 *Compresión Simple*

Esta propiedad expresa la calidad de la unidad empleada, a mayor resistencia se obtendrá mayor durabilidad.

El ensayo se realizó en mitades de unidades (Foto 3.1.) y se colocó un "capping" de yeso cemento sobre las unidades antes de ser ensayadas, el ensayo se realizó a una velocidad de 1.2 mm/min



Foto 3.1  
Medias unidades de albañilería después de haber sido ensayadas.

Los resultados del ensayo y el cálculo de la resistencia a compresión de la unidad ( $f'b$ ) se muestran en la tabla 3.8.

Tabla 3.8. *Compresión simple*

UNIDAD	CARGA (kg)	AREA BRUTA (cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )
1	19187	155.45	123.4
2	24165	155.45	155.5
3	18879	155.45	121.4
4	23904	155.45	153.8
5	26938	155.45	173.3
6	17339	155.45	111.5
7	24679	155.45	158.8
8	21855	155.45	140.6
9	22317	155.45	143.6
10	18160	155.45	116.8
		PROMEDIO	139.9
		DESV. EST.	20.7
		<b><math>f'b</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>119</b>

Según la referencia 1, la unidad califica como tipo III (95 kg/cm<sup>2</sup> como mínimo). Así pues, el uso de estas unidades es limitado por sus características, al ser éstos de mediana resistencia y durabilidad, aptos para emplearse en construcciones sujetas a condiciones de bajo intemperismo (Referencia 2).

### 3.1.3 SELECCIÓN Y RECORTE DE LADRILLOS

De todas las unidades se realizó una primera selección, para utilizar las mejores descartándose aquellas con resquebrajaduras, fracturas, grietas, unidades incompletas, demasiado quemadas, etc.

Para poder determinar la longitud de las unidades a recortar se procedió a elaborar un emplantillado tanto de los muretes como de los muros, con la recomendación de no recortar ninguna unidad en una longitud menor a  $L/3$ , es decir menos de 8 cm

### 3.2 MORTERO

El mortero tiene como finalidad adherir las unidades, absorbiendo todas las irregularidades de éstas, así como sellar las juntas contra la penetración del aire y de la humedad.

Para asentar las unidades de las pilas, muretes y de los muros, se utilizó mortero en proporción volumétrica cemento - arena 1 : 4. Mientras que para el resane del muro M2, luego de la instalación de la tubería sanitaria, se utilizó mortero en proporción volumétrica 1:5.

Al momento de construir los especímenes y preparar el mortero, el albañil agregó el agua necesaria hasta obtener una consistencia trabajable permitiéndose el retemplado de la mezcla. Este procedimiento refleja las condiciones reales de asentado de los ladrillos de arcilla en nuestro medio, en el cual se mide la trabajabilidad de la mezcla de acuerdo a la cualidad del mortero de poder ser manipulado con el badilejo, de ser esparcido con facilidad sobre las superficies de las unidades, de adherirse a superficies verticales de las unidades, y de lograr contacto completo con las irregularidades de éstas.

#### 3.2.1 GRANULOMETRÍA DE LA ARENA GRUESA

La arena gruesa utilizada se utilizó para el asentado de los ladrillos en la construcción de los especímenes de control, así como también para el asentado de los muros y en los elementos de concreto armado. En la tabla 3.9 se muestra la granulometría obtenida y en el anexo B-2 el gráfico correspondiente.

**Tabla 3.9. Granulometría de la arena gruesa**

Malla ASTM	% Pasa	% Límites (Ref. 1)
N° 4 (4.75mm)	97	100
N° 8 (2.36 mm)	85	95 - 100
N° 16 (1.18 mm)	65	70 - 100
N° 30 (0.60 mm)	44	40 - 75
N° 50 (0.30 mm)	28	10 - 35
N° 100 (0.15 mm)	16	2 - 15
N° 200 (0.075 mm)	6.7	Menos de 2

Módulo de Fineza = 2.66



La granulometría realizada a la arena gruesa mostró que no cumple en su totalidad con la recomendación dada por la referencia 1, asimismo, el valor del módulo de fineza fue ligeramente mayor que el recomendado por la referencia 1 ( $MF = 1.6$  a  $2.5$ ).

### 3.2.2 ENSAYOS DE COMPRESIÓN DEL MORTERO

Se realizaron ensayos de compresión según el procedimiento del ASTM C-109 (Referencia 5), en probetas cúbicas de mortero de 2" de arista, vaciados sobre moldes metálicos de aluminio, para de esta forma controlar la calidad del mortero. Dichas probetas fueron curadas durante 28 días y ensayadas a compresión axial a una velocidad de 80 KN/min en la máquina universal de ensayos (foto 3.2).



Foto 3.2.  
Vista global de la máquina  
universal de ensayos.

Es recomendable que el mortero tenga una resistencia a compresión semejante al de la unidad, a fin de evitar su falla por aplastamiento y tratar de dar homogeneidad a la albañilería. Los resultados de los ensayos de las probetas con mortero de arena gruesa se pueden ver en la tabla 3.10.

**Tabla 3.10. Ensayo de compresión de cubos de mortero.**

	PROBETA	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )	DESVIACION ESTANDAR
PILAS	Pila 1	183.9	185.3	8.4
	Pila 2	178.1		
	Pila 3	181.6		
	Pila 4	197.4		
MURETES	Murete 1	146.2	194.4	25.6
	Murete 1	157.0		
	Murete 1	178.1		
	Murete 2	180.6		
	Murete 2	210.5		
	Murete 2	182.6		
	Murete 3	195.3		
	Murete 3	214.6		
	Murete 3	212.6		
	Murete 4	222.7		
	Murete 4	207.5		
	Murete 4	224.7		
MURO M1	Muestra 1	188.1	149.6	24.0
	Muestra 2	169.0		
	Muestra 3	172.7		
	Muestra 4	190.3		
	Muestra 5	143.1		
	Muestra 6	142.7		
	Muestra 7	126.8		
	Muestra 8	140.1		
	Muestra 9	122.3		
	Muestra 10	137.0		
	Muestra 11	134.9		
	Muestra 12	128.1		
MURO M2	Muestra 1	148.8	142.1	23.4
	Muestra 2	107.4		
	Muestra 3	154.9		
	Muestra 4	157.4		
MURO M3	Muestra 1	349.7	266.5	38.5
	Muestra 2	243.3		
	Muestra 3	239.2		
	Muestra 4	258.6		
	Muestra 5	287.5		
	Muestra 6	226.2		
	Muestra 7	264.6		
	Muestra 8	262.6		

Al comparar la resistencia promedio del mortero utilizado con la resistencia de la unidad de albañilería ( ver tabla 3.8) se puede suponer que al momento de ensayar las pilas a compresión axial, éstas fallarán por aplastamiento o trituración de los ladrillos o sino por tracción en la dirección ortogonal a la carga aplicada.

### 3.2.3 MORTERO DE RESANE EN M2

Como ya se indicó, el mortero utilizado para el resane del muro M2, una vez picada la albañilería y colocada la tubería sanitaria, tuvo la siguiente composición volumétrica: cemento - arena: 1:5. Los resultados de compresión de los cubos de mortero se muestran en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Ensayo de compresión de cubos de mortero de resane de muro M2

PROBETA	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )		Desviación Estandar	
	Especimen	Promedio		
RESANE MURO M2	Muestra 1	132.3	129.9	16.4
	Muestra 2	158.7		
	Muestra 3	128.3		
	Muestra 4	140.9		
	Muestra 5	100.3		
	Muestra 6	124.8		
	Muestra 7	126.6		
	Muestra 8	127.1		

Con respecto al tipo de falla, los cubos presentaron casos de desprendimientos de las caras laterales (Foto 3.3)



Foto 3.3.  
Cubos de mortero después de haber sido ensayados.

### 3.3 CONCRETO

Para construir las vigas de cimentación se utilizó concreto con una resistencia nominal de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que para las vigas soleras y las columnas de los tres muros se utilizó concreto con una resistencia nominal  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ . El agregado grueso (piedra chancada) para estos dos tipos de concreto tuvo un tamaño máximo de

1/2" y un slump de 4". Para la falsa columna del muro M3 se utilizó grout con una resistencia nominal  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  con agregado grueso (piedra chancada) de tamaño máximo de 3/8" y un slump de 10".

Siguiendo los pasos del diseño de mezclas dadas por el ACI (referencia 4) se determinó las proporciones en volumen necesarias para las mezclas (anexo B-1). Para batir se usó una mezcladora tipo trompo (90 litros) y el tiempo de batido fue de un minuto y medio. Ya que el método ACI, presenta cierta tendencia a producir concretos pedregosos y puesto que se necesitaba un concreto bastante trabajable (slump = 10") para la falsa columna, se prefirió utilizar una relación volumétrica cemento: arena:confitillo = 1 : 2 ½ : 1 ½, con la cantidad de agua necesaria para poder obtener el slump deseado.

### 3.3.1 ENSAYOS DE CONTROL DEL CONCRETO

De todos los elementos de concreto se tomaron muestras para la fabricación de probetas, las cuales estuvieron sometidas a un periodo de curado de 28 días antes de ser ensayadas a compresión axial siguiendo el procedimiento indicado por la NTP 339.034 (Referencia 5).

#### 3.3.1.1 *Vigas de Cimentación*

La construcción se inició con la construcción de las vigas de cimentación; durante esta etapa se fabricaron tres probetas estándar. Los resultados se muestran en la tabla 3.12.

Tabla 3.12. Probetas de la viga de cimentación M1, M2 y M3

Procedencia	Edad (días)	Nro.	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Esfuerzo ( $\text{kg/cm}^2$ )
Viga cimentación	28	1	15.21	55841.2	307.3
Viga cimentación	28	2	15.74	49931.0	256.6
Viga cimentación	28	3	15.73	51153.8	263.2
<b>PROMEDIO</b>					276
<b>DESV. EST.</b>					27.6

El promedio de las resistencias de las probetas se encontró en un orden superior de 31 %, con respecto a la resistencia especificada ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ) lo que comprueba que el diseño realizado con el método del ACI es un diseño seguro.

### 3.3.1.2 *Columnas*

Durante la etapa de construcción de las columnas, con la finalidad de evaluar su resistencia, se fabricaron un total de cuatro probetas estándar de concreto, tres pertenecientes a las columnas de los muros M1 y M2, una correspondiente al muro M3. Los resultados se muestran en la tabla 3.13.

*Tabla 3.13. Ensayos en probetas de la columna del muro M1, M2 y M3*

Procedencia	Edad (días)	Nro.	Diámetro (cm.)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Columnas M1 y M2	35	1	15.73	45039.8	231.8
Columnas M1 y M2	35	2	15.37	41982.8	226.3
Columnas M1 y M2	35	3	15.29	39537.2	215.3
Columnas M3	32	4	15.47	34238.4	182.2
<b>PROMEDIO</b>					<b>214</b>
<b>DESV. EST.</b>					<b>22.2</b>

Se obtuvieron en todos los casos resistencias mayores a la especificada (175 kg/cm<sup>2</sup>).

### 3.3.1.3 *Vigas Soleras*

Al igual que en los casos anteriores, para las vigas solera también se elaboraron probetas estándar para evaluar la resistencia a compresión axial. Los resultados se muestran en la tabla 3.14.

*Tabla 3.14. Ensayos en probetas de la solera del muro M1, M2 y M3*

Procedencia	Edad (días)	Nro.	Diámetro (cm.)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Viga solera M1 y M2	28	1	15.2	35053.6	193.2
Viga solera M3	28	2	15.16	26901.6	149.0
<b>PROMEDIO</b>					<b>171</b>
<b>DESV. EST.</b>					<b>31.2</b>

### 3.3.1.4 *Falsa columna*

Asimismo, se obtuvieron probetas de concreto durante la construcción de la falsa columna del muro M3, el resultado de la resistencia a compresión axial se muestra en la tabla 3.15.

Tabla 3.15. Ensayos en probetas de la falsa columna del muro M3

Procedencia	Edad (días)	Nro.	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Falsa columna M3	34	1	15.34	40352.4	218.3
Falsa columna M3	34	2	15.73	45855	236.0
<b>PROMEDIO</b>					<b>227</b>
<b>DESV. EST.</b>					<b>12.5</b>

### 3.4 ACERO DE REFUERZO

Para la construcción de los especímenes se utilizó acero corrugado de grado 60 proveniente de la fábrica Aceros Arequipa, en varillas de 3/4", 3/8" y 1/2", éstas se usaron como refuerzo principal en las vigas de cimentación, en las vigas soleras y en las columnas de los muros. Para los estribos de la cimentación se utilizó varillas de 3/8", y para las columnas y vigas soleras se utilizó refuerzo de 1/4". Para amarrar el encofrado se usó alambre # 16. En la máquina universal de ensayos se realizaron ensayos de tracción, siguiendo el procedimiento del ASTM-A370 (Referencia 5), los resultados se muestran en la tabla 3.16.

Tabla 3.16. Ensayo de tracción en acero de refuerzo.

Diámetro (db)	Longitud (mm)	Peso (gr)	Esfuerzo de fluencia f 'y (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo máximo (kg/cm <sup>2</sup> )	Alargamiento (%)
1/4 "	1000	206	4450	6241	10.8
3/8 "	1000	537	4733	6601	12.8
1/2 "	1000	978	4973	6826	17.8

### 3.5 EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES

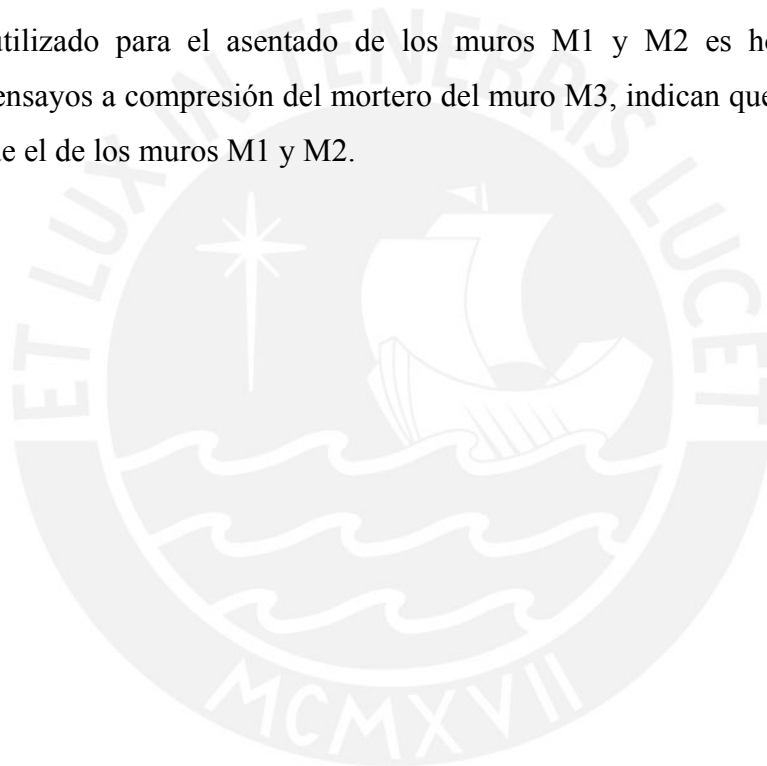
Los ensayos de control efectuados en los materiales empleados en el proyecto mostraron que sus características no cumplían plenamente con las especificaciones de la Norma de Albañilería (referencia 1).

Según la referencia 1, la unidad clasifica como Tipo III y se descarta su uso en la construcción de muros portantes en la zonas sísmicas 2 y 3 por calificar como hueca, pero también establece que dicha restricción puede ser exceptuada con el respaldo de un informe y memoria de cálculo sustentada por un ingeniero civil.

La arena no cumplió totalmente con la graduación establecida en la referencia 1, sin embargo, si las resistencias obtenidas en los ensayos de las pilas, muretes y muros con este material, son adecuados, este material podría ser considerado como una alternativa de construcción para muros de albañilería.

La resistencia a compresión del concreto de los elementos de confinamiento cumplieron en exceso con la resistencia especificada en el proyecto, salvo la viga solera del muro M3, cuya resistencia a compresión dio un valor de  $149 \text{ kg/cm}^2$ , esto no es grave ya que durante el ensayo la viga solera estará sometida a compresiones pequeñas.

El mortero utilizado para el asentado de los muros M1 y M2 es homogéneo, sin embargo los ensayos a compresión del mortero del muro M3, indican que éste es mayor en un 75% que el de los muros M1 y M2.





***CAPÍTULO 4***  
***CARACTERÍSTICA DE LA ALBAÑILERÍA SIMPLE***



## Capítulo 4 CARACTERÍSTICA DE LA ALBAÑILERÍA SIMPLE

### 4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PRISMAS

Con el fin de determinar la resistencia a compresión axial y la resistencia a compresión diagonal de la albañilería ( $f'_m$  y  $v'_m$ ) se construyeron y ensayaron dos tipos de especímenes: pilas y muretes (se construyeron cuatro unidades por espécimen, foto 4.1)

La construcción tanto de las pilas como de los muretes de albañilería se realizó de acuerdo al procedimiento estándar, controlando el alineamiento horizontal mediante el cordel, la altura con el escantillón y la verticalidad con un nivel y plomada. Debido a la variación dimensional de los ladrillos en cuanto a su altura, las juntas horizontales fueron de 1.4 cm mientras que las juntas verticales fueron de 1.0 cm.



Foto 4.1.

Vista global de las cuatro pilas y los cuatro muretes construidos.

Las dimensiones reales en centímetros, así como la notación empleada para las pilas y los muretes, se muestran en las tablas 4.1. y 4.2. respectivamente.

*Tabla 4.1. Dimensiones reales de pilas de albañilería.*

<b>PILA</b>	<b>ALTO (cm)</b>	<b>LARGO (cm)</b>	<b>ESPESOR (cm.)</b>
P1	48.8	24.0	12.9
P2	49.0	24.1	12.9
P3	48.9	24.1	12.9
P4	50.0	24.1	12.9
<b>Prom.</b>	49.2	24.0	12.9

*Tabla 4.2. Dimensiones reales de muretes*

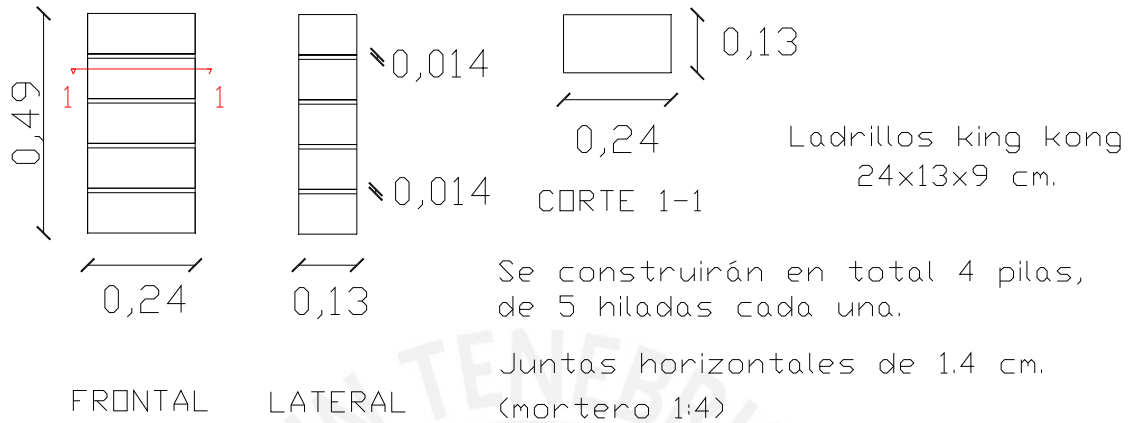
<b>MURETE</b>	<b>LARGO (cm)</b>	<b>ANCHO (cm)</b>	<b>ALTO (cm)</b>	<b>DIAGONAL (cm)</b>
MT 1	62	12.9	58.6	85.3
MT 2	62.2	12.9	59	85.7
MT 3	62	12.9	60	86.3
MT 4	62	12.9	59	85.6

Los especímenes se dejaron fraguar por 28 días sin ningún tratamiento de curado.

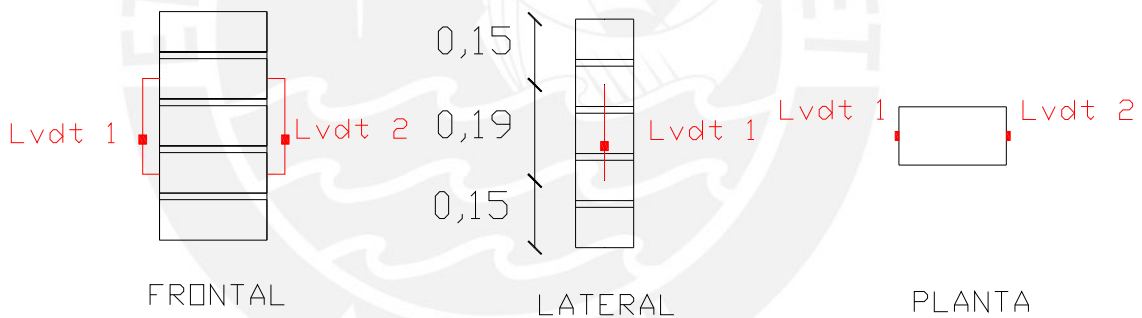
A continuación se presentan los planos de las pilas y los muretes.

- Lámina 4: Pilas y disposición de LVDT.
- Lámina 5: Muretes y disposición de LVDT.

### PILAS



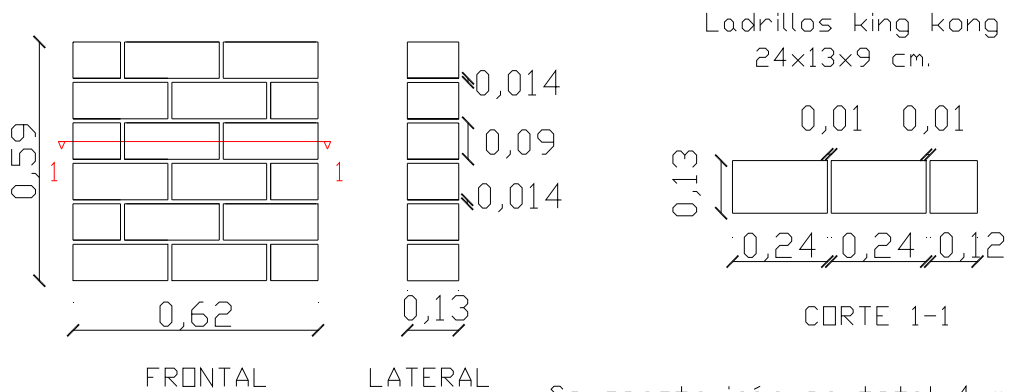
### INSTRUMENTACION PARA EL ENSAYO DE PILAS DE ALBAÑILERIA



Instrumento	Máxima medición
Lvdt 1	20 mm
Lvdt 2	20 mm

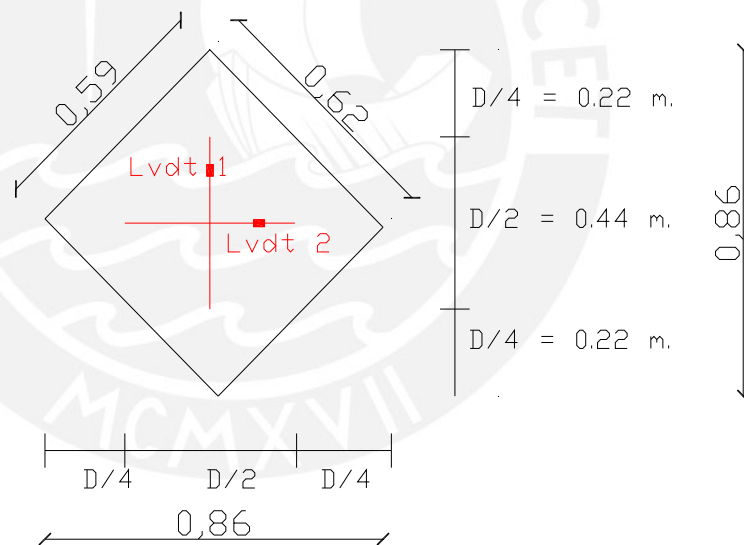
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA-ESPECIALIDAD ING. CIVIL	
ASESOR: ING. ANGEL SAN BARTOLOME	ALUMNOS: CRISTHIAN CHUQUIN M. JORGE PAREDES S. CODIGO: INFLE 186-05
PILAS Y DISPOSICION DE LVDT EN PILAS	
TEMA: "COMPORTAMIENTO SISMICO DE UN MURO CONFINADO CON INSTALACION SANITARIA EN SU INTERIOR"	LAMINA: 4

### MURETES



Se construirán en total 4 muretes.  
Juntas verticales de 1.0 cm.  
Juntas horizontales de 1.4 cm.  
(mortero 1:4)

### INSTRUMENTACION PARA EL ENSAYO DE MURETES DE ALBAÑILERIA



Instrumento	Máxima medición
Lvdt 1, Lvdt 2	20 mm

Nota:  
Colocar capping en esquinas en contacto con cabezales de máquina de ensayos.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA-ESPECIALIDAD ING. CIVIL	
ASESOR: ING. ANGEL SAN BARTOLOME	ALUMNOS: CRISTHIAN CHUQUIN M. JORGE PAREDES S. CODIGO: INFLE 186-05
MURETES Y DISPOSICION DE LVDT EN MURETES	
TEMA: "COMPORTAMIENTO SISMICO DE UN MURO CONFINADO CON INSTALACION SANITARIA EN SU INTERIOR"	LAMINA: 5

## 4.2 PILAS

### 4.2.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL.

El ensayo siguió el procedimiento de la NTP 399.605 (Referencia 5), antes de ensayar los especímenes se les colocó un capping de cemento : yeso. Las cuatro pilas se ensayaron registrando el desplazamiento axial mediante sensores (LVDT de 20 mm) en puntos equidistantes de los extremos en el 2do y 4to ladrillo, la disposición de los LVDT se puede apreciar en la lámina 4.



Foto 4.2.

Vista frontal y lateral de pila antes de ser ensayada.

Para evitar daños a los instrumentos, estos fueron retirados cuando la carga aplicada era aproximadamente el 80% del valor máximo esperado, una vez retirados los sensores se prosiguió con el ensayo hasta llegar a la rotura.

### 4.2.2 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Las pilas presentaron un tipo de falla frágil, concentrándose los esfuerzos en las caras frontales de las pilas, fallando éstas de manera repentina (foto 4.3). Este tipo de falla es característica de las unidades huecas (tabla 3.4), además, como se supuso desde antes, al tener el mortero una mayor resistencia a la compresión (tabla 3.10) que las unidades de albañilería (tabla 3.8), las fallas se presentaron en los ladrillos por aplastamiento y trituración.



Foto 4.3.

Vista frontal y lateral de la falla típica en la pila.

La resistencia a compresión de cada pila se obtuvo dividiendo la carga de rotura entre el área bruta, luego este valor fue corregido por el factor de esbeltez (dicho factor varía según la referencia que se utilice). Finalmente, la resistencia característica a compresión  $f'_m$  fue hallada restando una desviación estándar al valor promedio, los resultados se aprecian en la tabla 4.3.

$$f'_m = \text{Promedio} \left( \frac{\text{Fuerza Aplicada}}{\text{Área Bruta}} \right) - \text{Desv. estándar}$$

Tabla 4.3. Ensayo de pilas de albañilería

PILA	Carga (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )	ALTURA (cm)	ESPESOR (cm)	Esbeltez h/e	Factor (Ref. 1 y 2)	ESFUERZO CORREGIDO
P1	20693.1	310.9	66.6	48.8	12.9	3.8	0.94	62.6
P2	22778.8	310.9	73.3	49.0	12.9	3.8	0.94	68.9
P3	24854.2	310.9	79.9	48.9	12.9	3.8	0.94	75.1
P4	27233.4	310.9	87.6	50.0	12.9	3.9	0.95	83.2
PROMEDIO								72.4
DESV. EST								8.8
VARIAB. %								12.2
<b>f'<sub>m</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>								<b>64</b>

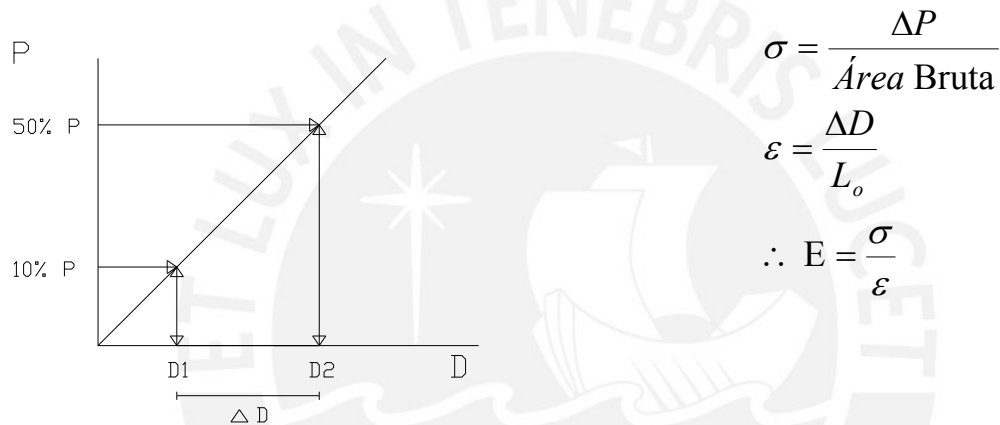
Según la referencia 1, para ladrillos king kong industrial con  $f'_b = 145 \text{ kg/cm}^2$  si es que no se realizan ensayos sobre pilas de albañilería, está permitido tomar como

resistencia característica a compresión de la albañilería al valor  $f'm = 65 \text{ kg/cm}^2$ , según el ensayo realizado, el valor experimental viene a ser 97.8% del valor teórico.

Los sensores de desplazamiento permitieron obtener el módulo de elasticidad ( $E_m$ ) de la albañilería, como la pendiente del gráfico esfuerzo - deformación.

A continuación se indica el procedimiento utilizado para el cálculo del módulo de elasticidad experimental de la albañilería, a partir de ensayos de pilas.

Gráfico Fuerza vs. Desplaz.  
Obtenido del Ensayo



Donde:

$L_0$  = Es la distancia calibrada entre las bases del sensor utilizado.

$\Delta P$  =  $(0.50 P - 0.10 P)$  Ton, donde P es la carga máxima obtenida del ensayo.

$\Delta D$  =  $(D_2 - D_1)$  en mm, donde  $D_1$  es el desplazamiento correspondiente a  $0.10P$  y  $D_2$  es el desplazamiento correspondiente a  $0.50 P$ .

Área Bruta =  $12.9 \times 24.1 = 310.9 \text{ cm}^2$

El módulo de elasticidad experimental de la albañilería es el valor promedio de las muestras ensayadas menos una desviación estándar (Referencia 1). En la tabla 4.4. se muestran los cálculos para la obtención de  $E_m$ .

Tabla 4.4. Módulo de Elasticidad “Em”

PILA	P	50 % P	D2	10 % P	D1	Area	L0	ΔP	Δe	σ	ε	E
	KN	KN	mm	KN	mm	cm2	mm	Ton.	mm	Ton/ m <sup>2</sup>	x10-4	Kg./cm <sup>2</sup>
P1	203.0	101.5	0.19	20.3	0.019	310.9	193.5	8.3	0.166	266.2	8.6	31035.6
P2	223.5	111.7	0.19	22.3	0.03	310.9	200.0	9.1	0.155	293.1	7.8	37815.4
P3	243.8	121.9	0.22	24.3	0.04	310.9	202.5	9.9	0.175	319.8	8.6	37002.1
P4	267.2	133.6	0.27	26.7	0.05	310.9	205.0	10.9	0.220	350.4	10.7	32649.2
											PROMEDIO	34625.6
											DESV. EST.	3297.3
											<b>Em</b>	<b>31328</b>

El valor teórico se calcula mediante la expresión  $E = 500 f'm = 31800 \text{ kg/cm}^2$  (Referencia 1), mientras que el valor experimental resultó ser  $31328 \text{ kg/cm}^2$  con una diferencia de 1.5%.

### 4.3 MURETES

#### 4.3.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL

El ensayo siguió el procedimiento de la NPT 399.621 (Referencia 5), los muretes se ensayaron luego de 28 días de fragua, para ello fue necesario rellenar con mortero las perforaciones de las unidades de las esquinas a comprimirse (que estarían en contacto con los cabezales de la máquina de ensayos), esto se hizo con el fin de evitar las fallas locales en el murete luego se les colocó capping de yeso : cemento. Seguidamente se trasladaron los muretes desde su ubicación inicial a la zona de ensayo. Una vez colocado el murete en la máquina de ensayo se procedió a la colocación de los sensores de control (foto 4.4). La distribución de los sensores sobre los muretes se indica en la lámina 5.



Foto 4.4.  
Vista global de murete antes de ser ensayado.



La carga se aplicó a una velocidad de 1 Ton/min en forma lenta y continua, hasta llegar al 80% de la carga de rotura estimada, en dicho instante se procedió a retirar los sensores para evitar posibles daños a los mismos. Luego, se continuó aplicando la carga hasta llegar a la rotura.

#### 4.3.2 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Se pudieron identificar varios tipos de falla. El murete número 1 presentó falla por tracción diagonal, es decir, los que fallaron fueron los ladrillos, ya que la grieta se extendió partiéndolos, éste tipo de falla indica que se desarrolló una buena adherencia mortero-ladrillo (foto 4.5). El murete número 2, presentó una falla por cizalle, es decir, la grieta se dio a lo largo de la primera junta horizontal, esto evidencia una pobre adherencia entre el mortero y la unidad en esa zona (Foto 4.6). El murete número 3, tuvo una falla del tipo mixta, ya que se presentó una falla por tracción diagonal con cierta tendencia a propagarse por las juntas (Foto 4.7). El murete número 4, al igual que el murete número 1, tuvo una falla por tracción diagonal.

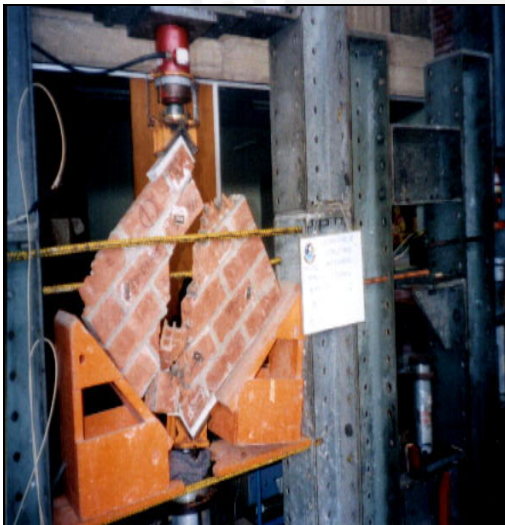


Foto 4.5.  
Falla por tracción diagonal en muretes  
1 y 4.



Foto 4.6.

Murete 2, falla por cizalle.

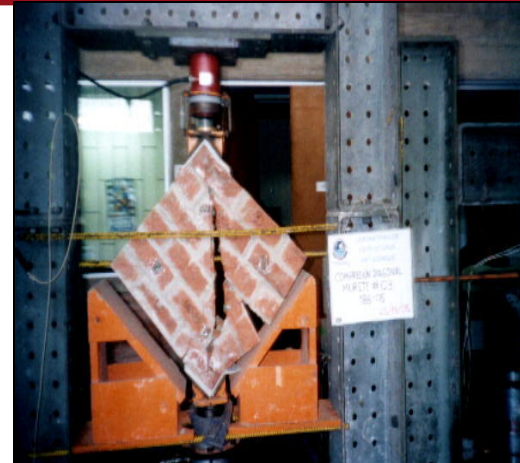


Foto 4.7.

Murete 3, falla mixta.

La carga máxima soportada por cada murete permite calcular la resistencia característica a fuerza cortante de la albañilería ( $v'm$ ) con la expresión:

$$V'm = \text{Promedio } (P / Ad) - \text{Desv. Estánd.}$$

Donde :

P = Carga aplicada.

Ad = Área de la diagonal comprimida.

Desv. Estánd. = Desviación estándar.

Los resultados se aprecian en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Ensayo de muretes.

Murete	Alto	Largo	Espesor	Diagonal	Carga (kg)	Área diagonal. (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg./cm <sup>2</sup> )
Murete 1	58.6	62	12.9	85.3	9645	1101	8.8
Murete 2	59	62.2	12.9	85.7	10195	1106	9.2
Murete 3	60	62	12.9	86.3	11416	1113	10.3
Murete 4	59	62	12.9	85.6	11074	1104	10.0
PROMEDIO							9.6
DESV. EST.							0.70
<b><math>v'm</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>							<b>8.87</b>

Según la referencia 1 para unidades de arcilla con ladrillo king kong industrial se sugiere usar el valor  $v'm = 8.1 \text{ kg/cm}^2$  cuando no se realicen ensayos de muretes. En la tabla 4.5 se observa que el valor obtenido para los especímenes es 9.5% mayor que el de la referencia 1.

Los sensores colocados en los muretes permiten determinar el módulo de corte de la albañilería (G), la tabla 4.6 muestra los cálculos realizados.

Tabla 4.6. Módulo de corte de albañilería (Gm)

MURETE	P (KN)	$\Delta P$	$\Delta D$ Vert.	$\Delta D$ Horiz.	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\tau$	G
		(Kg.)	(mm.)	(mm.)	Vert. (x10-4)	Horiz. (x10-4)	(kg/ cm <sup>2</sup> )	(kg/ cm <sup>2</sup> )
M1	94.62	2890.6	0.090	0.045	2.07	1.07	2.61	8336.0
M2	100.01	3055.3	0.094	0.042	2.15	0.93	2.78	9005.2
M3	111.31	3400.4	0.115	0.033	2.67	0.76	3.06	8901.7
M4	108.91	3327.2	0.100	0.044	2.27	0.99	3.01	9240.4
<b>PROMEDIO</b>								<b>8870.8</b>
<b>DESV.EST.</b>								<b>383.7</b>
<b>Gm</b>								<b>8487</b>

Donde:

P = Carga diagonal de rotura.

$\Delta P$  = Carga diagonal comprendida entre el 10% y el 40% de la carga de rotura.

$\Delta D$  = Desplazamiento registrado por los LVDT, asociado a  $\Delta P$ .

$\epsilon_1, \epsilon_2$  = Deformación unitaria en cada diagonal, asociada a la carga  $\Delta P$ .

$\tau$  = Esfuerzo de corte =  $(\Delta P / Ad)$

Ad = Área de la diagonal cargada.


G = Módulo de corte =  $\tau / (\epsilon_1 + \epsilon_2)$

La referencia 1, indica que si no se realiza ningún tipo de ensayos en muretes para determinar teóricamente el valor de Gm de la albañilería, se puede emplear la expresión:

$$Gm = 0.4 \times Em.$$

Lo cual proporciona  $Gm \text{ teórico} = 0.4 \times 31328 = 12531 \text{ kg/cm}^2$

El valor experimental del módulo de corte ( $8487 \text{ kg/cm}^2$ ) representó el 67.7% del valor teórico especificado por la referencia 1.



***CAPÍTULO 5***  
***ANÁLISIS TEÓRICO DE LOS MUROS A ESCALA***  
***NATURAL***

## Capítulo 5 ANÁLISIS TEÓRICO DE LOS MUROS A ESCALA NATURAL

Con los resultados obtenidos de los ensayos efectuados a las pilas y muretes (capítulo 4), se trató de predecir los resultados que se obtendrían cuando los muros se ensayen a carga lateral.

### 5.1 REFUERZO DE LOS MUROS

Aplicando la nueva teoría de diseño a la rotura que especifica la referencia 2, se verificó la cantidad de refuerzo que deben llevar todos los elementos del muro.

#### 5.1.1 VERIFICACIÓN DEL REFUERZO MÍNIMO EN COLUMNAS Y SOLERA

El refuerzo vertical continuo que llevan las columnas ( $4 \phi 1/2''$ ) cumple con la expresión dada en la referencia 2:

$$A_{st} \geq \frac{0.1 \times f'c \times A_c}{f_y} \text{ ó mín } 4 \phi 8 \text{ mm}$$

$$A_{st} = 5.16 \text{ cm}^2 \geq \frac{0.1 \times 175 \times 260}{4200} = 1.083 \text{ cm}^2$$

donde:

- $A_{st}$  = Área mínima de refuerzo vertical.
- $f'c$  = Resistencia a compresión del concreto:  $175 \text{ kg/cm}^2$
- $A_c$  = Área bruta de la sección transversal de la columna:  $13 \times 20 = 260 \text{ cm}^2$
- $f_y$  = Esfuerzo de fluencia del acero:  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

El refuerzo utilizado en la solera ( $4 \phi 3/8''$ ) cumple con el valor mínimo especificado por la referencia 2.

$$A_s \geq \frac{0.1 \times f'c \times A_{.sol}}{f_y} \text{ ó mín. } 4 \phi 8 \text{ mm}$$

$$A_s = 2.84 \text{ cm}^2 \geq \frac{0.1 \times 175 \times 400}{4200} = 1.67 \text{ cm}^2$$

donde:

- $A_s$  = Área del acero longitudinal.  
 $f'_c$  = Resistencia a compresión del concreto: 175 Kg./cm<sup>2</sup>  
 $A_{sol}$  = Área de la sección transversal de la solera: 20 x 20 = 400 cm<sup>2</sup>  
 $f_y$  = Esfuerzo de fluencia del acero: 4200 kg/cm<sup>2</sup>

### 5.1.2 ESTRIBOS CERRADOS DE CONFINAMIENTO.

El estribaje de las columnas fue de  $\phi$  1/4", 1@5, 4@10, r@20cm adicionando 2 estribos en los nudos solera–columna, se utilizó estribos de 1 3/4 de vuelta en vez de los estribos con doblez a 135°, debido a la pequeña dimensión de la columna (13 x 20 cm). Dichos estribos cumplen con el mínimo estribaje estipulado por la referencia 1.



Foto 5.1

Estribos de 1 3/4 de vuelta, utilizados en las columnas.

Asimismo, las soleras presentaron estribos de  $\phi$  1/4" 1@5, 4@10, r@20 cm cumpliendo con lo indicado en la referencia 1, en lo concerniente al estribaje mínimo de las vigas soleras.

## 5.2 ANÁLISIS TEÓRICO

### 5.2.1 MÓDULO DE CORTE Y MÓDULO DE ELASTICIDAD

De los ensayos realizados a las pilas y muretes de albañilería, se obtuvieron los valores experimentales del módulo de elasticidad ( $E_m$ ) y módulo de corte de la albañilería ( $G_m$ ).

En la tabla 5.1 se muestran los valores del módulo de elasticidad y del módulo de corte tanto teórico como experimental.

Tabla 5.1. Módulo de Elasticidad “Em” y Módulo de Corte “Gm”

Parámetro	Teórico	Experimental
<b>Módulo de elasticidad (Em) (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	31800	31328
<b>Módulo de corte (Gm) (kg./cm<sup>2</sup>)</b>	12531	8487

### 5.2.2 RIGIDEZ LATERAL

Para los tres muros se puede obtener la rigidez lateral, teniendo en cuenta que los muros actúan en voladizo. La Rigidez Lateral teórica se obtiene con la expresión (referencia 2):

$$K = \frac{E}{\left[ \frac{h^3}{3 I} + \frac{f h E}{G A} \right]}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad de la albañilería.

G = Módulo de corte (0.4 x Em)

h = Altura del muro, desde la base hasta el eje de carga (2.30 m)

A = Área de la sección transversal del muro.

f = Factor de forma.

I = Momento de Inercia de la sección transversal transformada.

Debido a la presencia de las columnas de confinamiento, se trabajará con el criterio de la sección transformada no agrietada hasta el instante en que se forme la primera fisura por flexión.

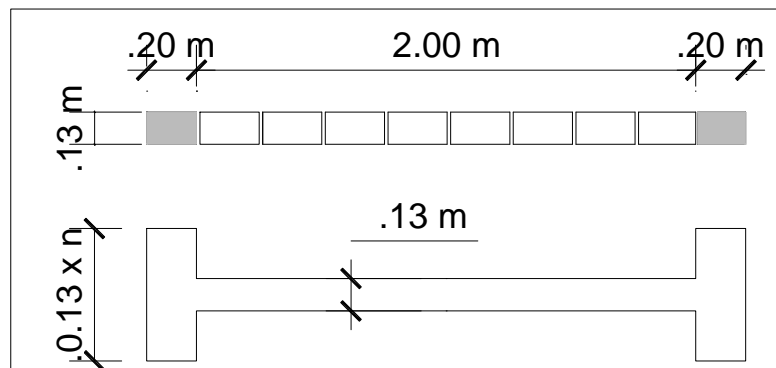
Para el caso del muro 1, esta sección puede apreciarse en el gráfico 5.1, de esta manera se obtiene el valor del momento de inercia de la sección transformada, así como el factor de forma.

Según el criterio de la sección transformada, se considera el factor de conversión como la relación de módulos de elasticidad del concreto (Ec) y la albañilería (Em):

$$\eta = E_c / E_m \quad \text{donde: } E_c = 15,000 \sqrt{f'c} \quad (\text{según La Norma E-060}).$$

Para nuestro caso, las columnas de confinamiento tienen una resistencia a compresión de diseño de  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

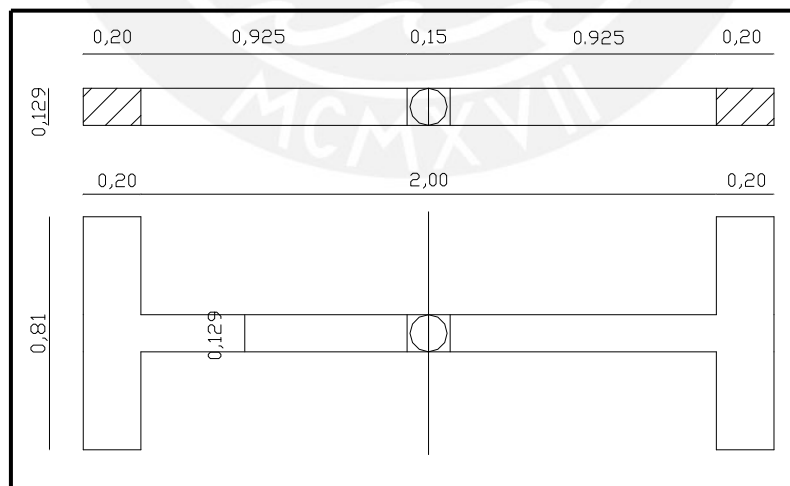
*Grafico 5.1. Sección transformada de muro M1*



$$I_{(M1)} = 12.9 \times (200)^3 / 12 + 2 \times \{81 \times (20)^3 / 12 + 81 \times 20 \times 110^2\} = 47'912,000 \text{ cm}^4$$

Mientras que para el muro M2, admitiéndose que el muro trabaja como una sola unidad, la sección trasformada aparece en el gráfico 5.2.

*Grafico 5.2. Sección Transformada muro M2*

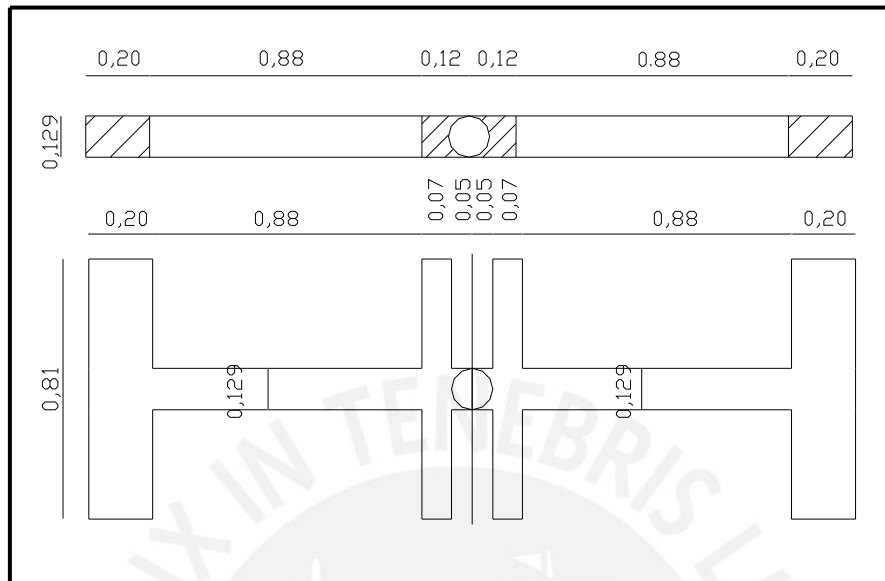


$$I_{(M2)} = 2 \times [12.9 \times (92.5)^3 / 12 + 92.5 \times 12.9 \times (53.75)^2 + 81 \times (20)^3 / 12 + 81 \times 20 \times 110^2] = 47'908,371 \text{ cm}^4$$



Para el muro M3, admitiéndose que el muro trabaja como una sola unidad se tiene:

Grafico 5.3. Sección Transformada muro M3



$$I_{(M3)} = 2 \times [81 \times (20)^3 / 12 + 81 \times 20 \times (110)^2 + 12.9 \times (88)^3 / 12 + 88 \times 12.9 \times 56^2 + 81 \times (7)^3 / 12 + 81 \times 7 \times (8.5)^2] = 47'983,701 \text{ cm}^4$$

Los cálculos efectuados para la obtención de la rigidez lateral de cada muro, se muestran en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Rigidez Lateral

PROPIEDAD	M1	M2	M3
Módulo de elasticidad del concreto (Ec), kg./cm <sup>2</sup>	198431	198431	198431
Módulo de elasticidad de la albañilería (Em), kg./cm <sup>2</sup>	31328	31328	31328
Factor de conversión (n)	6.3	6.3	6.3
Ancho de columna transformada (12.9 x n), cm	81	81	81
Altura del muro (h), cm	230	230	230
Área transformada, cm <sup>2</sup>	5820	5627	6644
Inercia, cm <sup>4</sup>	47912000	47908371	47983701
Factor de forma (f)	1.9	2.1	2.2
Rigidez lateral (K), kg/ cm	115021	104682	113957
<b>K (Ton/m)</b>	<b>11502</b>	<b>10468</b>	<b>11396</b>

### 5.2.3 FISURACIÓN EN TRACCIÓN POR FLEXIÓN

Teóricamente la carga (F) asociada a la primera fisura visible de tracción por flexión se puede determinar mediante la expresión:

$$\sigma_{\text{tracción}} = \frac{M y}{I} = \frac{f't}{n} = \frac{2 \sqrt{f'c}}{n}$$

donde:

$$n = E_c / E_m \text{ (ver acápite 5.2.2).}$$

$$y = 1.2 \text{ m (distancia desde el centroide a la fibra extrema traccionada).}$$

$$M = F \times h$$

$$h = 2.30 \text{ m (altura desde la base del muro hasta el eje de la carga).}$$

$$I = \text{Momento de inercia de la sección transformada (ver acápite 5.2.2)}$$

$$f't = \text{Resistencia a tracción por flexión del concreto} = 2 \sqrt{f'c}$$

Con lo cual resulta: 
$$F = \frac{(2\sqrt{f'c}) \times I}{h \times y \times n}$$

Entonces:

Para el muro M1:

$$F_{M1} = \frac{2\sqrt{175} \times 47912000}{230 \times 120 \times 6.3} = 7290 \text{ kg}$$

Para el muro M2:

$$F_{M2} = \frac{2\sqrt{175} \times 47908372}{230 \times 120 \times 6.3} = 7289 \text{ kg}$$

Para el muro M3

$$F_{M3} = \frac{2\sqrt{175} \times 47983701}{230 \times 120 \times 6.3} = 7301 \text{ kg}$$

### 5.2.4 AGRIETAMIENTO DIAGONAL TEÓRICO

La resistencia teórica al agrietamiento diagonal ( $V_m$ ) se determina con la siguiente expresión (referencia 1):

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

Donde:

- $v'm$  = Resistencia al corte de la albañilería (de ensayos de compresión diagonal)
- $t$  = Espeso efectivo del muro.
- $L$  = Longitud total del muro (si fuese confinado, se incluye el peralte de columnas de confinamiento).
- $\alpha$  = Factor de reducción por esbeltez =  $V L / M$  ( $1/3 \leq \alpha \leq 1.0$ )
- $P_g$  = Fuerza gravitacional de servicio, en nuestro caso  $P_g = 0$
- $M$  =  $V h$
- $h$  = 2.3

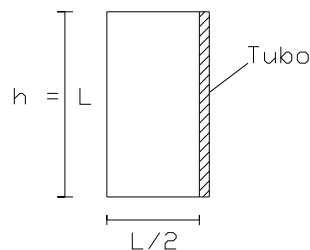
En la Tabla 5.3, se detallan los resultados obtenidos para la resistencia al corte de la albañilería.

Tabla 5.3. Resistencia al corte.

Muro	$v'm$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\alpha$	$t$ (cm)	$L$ (cm)	$V_m$ teórico (Ton)
M1	8.87	1.0	12.9	240	13.7
M2 (x 2)	8.87	0.5	12.9	112.5	6.44
M3	8.87	1.0	12.9	240	13.7

Cabe indicar que los muros M1 y M3 fueron analizados como si fuesen una sola unidad mientras que el muro M2 fue particionado en dos partes iguales ya que se esperaba la formación de una grieta vertical en la zona del tubo, antes que se forme la grieta diagonal.

A continuación se detalla el cálculo del factor de reducción por esbeltez ( $\alpha$ ) para el muro M2.



$$\alpha = \frac{V L/2}{V h} = \frac{V L/2}{V L} = 0.5$$

### 5.2.5 MOMENTO FLECTOR NOMINAL MÁXIMO

Para los muros, el momento flector nominal máximo para muros de sección rectangular sin carga vertical, se calcula con la siguiente expresión (referencia 1):

$$Mn = As \times fy \times D$$

Donde:

$As = \text{Área del refuerzo vertical en el extremo del muro } (4\phi 1/2'' = 4 \times 1.29 = 5.16 \text{ cm}^2)$

$fy = 4200 \text{ kg/cm}^2 = 4.2 \text{ Ton/m}^2$

$D = \text{Peralte efectivo del muro} = 0.8 \text{ L}$

Entonces, para M1 y M3, admitiéndose que ambos muros trabajan como una sola unidad.

$$Mn = 5.16 \times 4.2 \times (0.8 \times 2.4) = 41.61 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

La fuerza cortante asociada será:  $V_f = \frac{Mn}{h}$

Donde  $h = 2.30 \text{ m}$  (altura del muro al eje del actuador)

$$V_f = \frac{41.61}{2.30} = 18.09 \text{ Ton}$$

Mientras que para el muro M2, puesto que sólo trabajará medio muro, se tiene:

$$Mn = 5.16 \times 4.2 \times (0.8 \times 1.12) = 19.5 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$V_f = \frac{19.5}{2.30} = 8.5 \text{ Ton}$$

Los tres muros deben alcanzar este valor de fuerza cortante cuando el refuerzo colocado alcance el esfuerzo de fluencia, pudiendo incrementarse si el refuerzo entra en su zona de endurecimiento.

#### 5.2.6 TIPO DE FALLA ESPERADA

Se concluye que los muros fallarán por corte, puesto que la resistencia teórica al corte ( $V_m$ ) resulta menor que la resistencia asociada al mecanismo de falla por flexión ( $V_f$ ), teniendo en cuenta que  $V_f$  puede incrementarse en 50% si el refuerzo entra en su zona de endurecimiento.



## ***Capítulo 6 CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS***

Una de las etapas mas importantes del presente trabajo de investigación, es la construcción de los muros, porque de ella depende el comportamiento que tengan los muros al momento del ensayo, por lo que se tiene que cumplir con todos los requerimientos que se planteó al inicio del proyecto.

Los tres (03) muros fueron construidos con el sistema tradicional. Se construyeron simultáneamente y en la medida de lo posible, se trató de que todas las etapas previas y posteriores a la construcción fuesen similares. De manera que el procedimiento constructivo de los especímenes consistió de los siguientes pasos:

- Construcción de las vigas de cimentación.
- Construcción de la albañilería. A su vez esta etapa se divide en dos jornadas:
  - a. Primera jornada, asentado de las primeras 11 hiladas de los muros.
  - b. Segunda jornada, asentado de las unidades hasta completar la altura total de los muros.
- Construcción de las columnas.
- Construcción de las vigas soleras.

### **6.1 CONSTRUCCIÓN DE LAS VIGAS DE CIMENTACIÓN**

Esta etapa empezó con la habilitación simultánea del encofrado necesario para las vigas de cimentación de los tres muros. Luego se habilitó el acero en las dimensiones y diámetros especificados y se verificó su colocación, este refuerzo incluye la colocación de la armadura vertical de las columnas de confinamiento, que debía ir anclado en la viga de cimentación (foto 6.1.).

El refuerzo colocado en la viga de cimentación fue  $4 \phi \frac{3}{4}$ " con estribos de  $\frac{3}{8}$ " : 1 @ 5, 10 @ 10, r @ 20 cm. Para los tres muros el refuerzo vertical colocado en las columnas fue  $4 \phi \frac{1}{2}$ " con estribos de  $\phi \frac{1}{4}$ " : 1 @ 5, 4 @ 10, r @ 20. (Lámina 1).

Una vez que el encofrado y el refuerzo estuvieron colocados correctamente, se procedió a vaciar el concreto, empleándose concreto con una resistencia nominal a la compresión

de  $210 \text{ kg/cm}^2$ . (Foto 6.2). El diseño de la mezcla se realizó mediante el método del ACI, la dosificación final para un volumen de  $0.050 \text{ m}^3$  se muestra en la tabla 6.1.

*Tabla 6.1. Dosificación de mezcla de concreto para un volumen de  $0.05 \text{ m}^3$*

Elemento	Peso (kg)
Agua	7.8
Cemento	16.05
Piedra	46.05
Arena gruesa	44.55

La mano de obra empleada para el vaciado consistió de 2 operarios y 1 ayudante, los testistas se encargaron del control de la calidad de la mezcla y de la fabricación de 3 testigos en probetas estándar para ser ensayadas a los 28 días (ver los resultados en el acápite 3.3.1.1).

Al término del vaciado, la zona ocupada por el muro fue rayada. Al día siguiente se procedió a retirar el encofrado y a realizar el procedimiento de curado con agua. Ver las fotos 6.1 a 6.3.



Foto 6.1.  
Encofrado de cimentación y colocación de refuerzo de columnas.



Foto 6.2.

Vaciado de concreto de vigas de cimentación.



Foto 6.3.

Curado de vigas de cimentación.

## 6.2 PASOS PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN DE LA ALBAÑILERÍA

Se realizó un emplantillado para poder determinar la longitud de las unidades a ser recortadas, teniendo en cuenta que en el sistema utilizado el amarre de las unidades es a  $L/2$  y con una longitud de diente en la conexión albañilería-columna de 4.0 cm. Luego se seleccionaron las unidades a utilizar en la primera y segunda jornada de trabajo.

Las unidades utilizadas para la construcción de los muros fueron regadas con agua durante 30 minutos, 15 horas antes del asentado, para poder alcanzar el valor de succión recomendada por la referencia 1.

## 6.3 PASOS COMUNES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS M1, M2 Y M3

- PRIMERA JORNADA

La jornada se inició con el transporte, desde el lugar de regado, de 180 unidades completas y 30 unidades recortadas, necesarias para levantar 11 hiladas del muro M1 y M2 (medio muro). También se dispusieron los materiales necesarios para la construcción: cemento, arena, agua y a continuación se trasladaron todas las herramientas a utilizar como: cordel, escantillón, nivel de burbuja, badilejos, batea, balde, brochas, etc. Los pasos que se siguieron en esta jornada fueron:



1. Se preparó el escantillón fijando la altura de hilada en 10 cm, con 8.6 cm de altura de la unidad y 1.4 cm de junta horizontal de mortero.
2. Se preparó el mortero cemento : arena en proporción volumétrica 1 : 4 con la ayuda de un balde para poder determinar el volumen. La mezcla se preparó en seco y el albañil le añadió agua de acuerdo al avance del asentado, manteniendo el mortero en una consistencia trabajable, es decir, con la cualidad del mortero de poder ser manipulado con el badilejo, de ser esparcido con facilidad sobre las superficies de las unidades y de lograr un contacto íntimo y completo con éstas.
3. En la viga de cimentación se emplantilló la ubicación exacta del muro para determinar el valor real de la junta vertical.
4. Se limpió y humedeció la superficie de la viga de cimentación en la zona emplantillada que previamente había sido rayada.
5. Empleando el escantillón y la plomada, se asentaron las unidades ubicados en los extremos del muro (ladrillos maestros).
6. Se corrió un cordel horizontal entre los ladrillos maestros para verificar el alineamiento y nivelación de los ladrillos interiores.
7. En el asentado la junta vertical tuvo un espesor de 1.0 cm. Para evitar que se caiga el mortero colocado, el albañil se ayudaba con el badilejo y un trozo de madera (fraguador).
8. Para el asentado de las siguientes hiladas que completaban la mitad de la altura del muro (1.10 m de alto), se repitieron los pasos del 5 al 8. Al término de la jornada de trabajo, se eliminó los desperdicios de mortero que cayeron en el proceso de asentado.
9. En la tercera y en la novena hilada se tomaron muestras del mortero de cada hilada para ser ensayados a compresión (ver resultados en el acápite 3.2.2).
10. Una vez terminado el levantamiento de la primera mitad de los muros M1 y M2, se inició el levantamiento de la primera mitad del muro M3, con los misma técnica utilizada para el levantamiento de los dos primeros muros, salvo el procedimiento de instalación de la tubería sanitaria en la falsa columna (ver acápite 2.2.2).

- SEGUNDA JORNADA

Luego de terminar la primera jornada se procedió a llevar las unidades restantes a la zona de regado, para ser humedecidos con agua 15 horas antes del asentado un tiempo de 30 minutos.

Al día siguiente, al igual que en la primera jornada, se llevaron unidades completas y unidades recortadas a la zona de construcción, así como los demás materiales y herramientas. El proceso constructivo no tuvo mayor variación que acondicionar unos andamios para facilitar la construcción de las últimas hiladas. Los pasos que se siguieron fueron:

1. Se limpió y humedeció la superficie del muro correspondiente a la última hilada de la primera jornada.
2. Para completar la altura total del muro se siguieron los pasos 5 al 8 de la primera jornada.
3. Se colocaron los andamios para poder terminar el asentado de las últimas hiladas.
4. En la decimocuarta y decimonovena hilada se tomaron muestras del mortero para ser ensayados a compresión (ver resultados en el acápite 3.2.2).
5. Al terminar el asentado se procedió a limpiar el mortero caído en el momento del asentado (Foto 6.4 y 6.5).



Foto 6.4.

Muro M1, después del asentado de las unidades de albañilería.



Foto 6.5.

Muro M3, después de concluido el levantamiento del muro.

## 6.4 CONSTRUCCIÓN DE LAS COLUMNAS

Luego de la construcción de la albañilería se procedió a encofrar las columnas en los extremos.

El proceso constructivo se detalla a continuación:

1. Se verificó que las varillas verticales de refuerzo de ambos muros que habían sido instaladas antes de vaciar las vigas de cimentación, estuviesen alineadas y con los estribos debidamente espaciados.
2. Se preparó un encofrado adecuado previamente impregnado con un desmoldante, se limpió y humedeció la zona de la albañilería contra la cual se iba a vaciar.  
A continuación se preparó la mezcla de concreto  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  además se le adicionó 1 litro de agua para hacerla mas trabajable y evitar cangrejeras. El diseño se realizó teniendo como referencia el método del ACI y la dosificación final para un volumen de  $0.050 \text{ m}^3$  se muestra en la tabla 6.2.

*Tabla 6.2. Dosificación de mezcla de concreto para un volumen de  $0.05 \text{ m}^3$*

Elemento	Peso (kg)
Agua	7.7
Cemento	14.65
Piedra	46.05
Arena gruesa	45.09

3. Se llenaron las columnas con el concreto, compactándolo con una varilla lisa y se tomaron 4 probetas en total de las columnas de los Muros 1, 2 y 3, para ser ensayadas a compresión (ver resultados en el acápite 3.3.1.2).
4. Al día siguiente del vaciado se procedió a desencofrar las columnas y a realizar el proceso de curado con agua.
5. Al desencofrar las columnas, se pudo apreciar que los muros no presentaron cangrejeras (foto 6.6).



Foto 6.6.

No se presentaron cangrejeras en las columnas de los muros.

## 6.5 CONSTRUCCIÓN DE LAS VIGAS SOLERAS

Luego de desencofrar las columnas en los extremos del muro, se procedió a terminar la construcción del muro con el vaciado de las vigas soleras.

El proceso constructivo se detalla a continuación:

1. Se realizó el armado del refuerzo de la viga solera de acuerdo a la lámina B-1 y se verificó que las varillas y el espaciamiento entre estribos sean los indicados en los planos del proyecto.
2. Se verificó que el centro de la sección de la viga solera coincida con la altura del eje del actuador dinámico para evitar problemas de excentricidad de carga.
3. Se preparó un encofrado adecuado, se limpió y humedeció la zona de la albañilería contra la cual se iba a vaciar.
4. A continuación se preparó la mezcla de concreto con el mismo diseño utilizado para las columnas.
5. Se llenaron las vigas con concreto, compactándolo con un vibrador y se tomaron dos probetas de cada elemento, para ensayarlas a compresión (ver resultados en el acápite 3.3.1.3).



## Capítulo 7 ENSAYOS DE CARGA LATERAL CÍCLICA

---

### 7.1 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Para poder determinar el comportamiento sísmico que presentan los muros de albañilería teniendo en cuenta las diferencias en los procesos constructivos utilizados a consecuencia de la tubería sanitaria instalada, estos fueron sometidos a ensayos de carga lateral cíclica, sin carga vertical, de manera que los resultados del ensayo servirán para obtener información de una serie de parámetros, entre los que tenemos:

- Los diagramas histeréticos cortante – desplazamiento.
- La envolvente fuerza cortante – desplazamiento lateral.
- Cargas de agrietamiento en tracción por flexión y por fuerza cortante.
- La rigidez lateral.
- La capacidad de carga máxima del muro.
- La distorsión angular asociada a la fractura diagonal y al límite de reparación.
- La degradación de resistencia.

Como ya se indicó, el ensayo escogido es el de carga lateral cíclica con desplazamientos controlados en 10 fases. Estos desplazamientos son aplicados, sobre la viga solera, por un actuador dinámico montado en un marco de reacción. Para llevar el control de los desplazamientos se utiliza un sensor (LVDT) colocado sobre la solera del muro.

Los elementos necesarios para montar el dispositivo de ensayo (Foto 7.1): actuador dinámico, marcos de reacción, gatas para fijar la viga de cimentación contra la losa de ensayo, soportes y agarraderas, además de los sensores de desplazamiento (LVDT), el sistema de adquisición de datos y la computadora para coleccionar los datos los provee el Laboratorio de Estructuras del Departamento de Ingeniería (LEDI).



Foto 7.1.

Vista global del dispositivo mecánico, se aprecia el marco de reacción y el actuador dinámico.

Las 10 fases a las cuales estarán sometidos los muros consisten de un incremento de desplazamiento progresivo y controlado para evaluar distintas etapas del comportamiento de los muros.

El desplazamiento y el número de ciclos (aplicados hasta que el lazo histerético se estabilice) asociado a cada fase, se muestran en la tabla 7.1.

*Tabla 7.1. Fases y ciclos de ensayo*

Fase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Desplaz. (mm)	0.5	1.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
N° de ciclos	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3

El ensayo de los tres muros tuvo las mismas características, es decir, se ensayaron con el mismo número de fases y ciclos. Al finalizar la fase 10 se aplicaron desplazamientos armónicos con una frecuencia de 2 Hz y 15 mm de amplitud, para observar el tipo de falla predominante en el muro, que no es notorio en un ensayo estático.

Para que las grietas fueran visibles al momento del ensayo, se pintó una de las caras de cada muro de color blanco, mediante la aplicación de dos manos de cal. A medida que se iba sucediendo el ensayo, se marcaron las grietas, identificando cada fase con un determinado color, se anotaron los instantes en que ocurrían las fallas más importantes y se tomaron fotografías.

## 7.2 MONTAJE E INSTRUMENTACIÓN

Para el transporte se utilizó el puente grúa que permitió trasladar a los muros desde el patio de construcción hasta la zona de ensayos. A continuación, el muro fue fijado contra la losa de ensayos y se niveló la viga de cimentación con un capping de yeso en su base, luego, para fijar el muro, se aplicó tres cargas en la viga de cimentación: dos cargas verticales de 30 ton cada una en cada extremo de la cimentación y una carga horizontal de 30 ton en el sentido opuesto a la acción del actuador y ubicada en el extremo de la cimentación.

Seguidamente se colocaron los 7 sensores de desplazamiento, dispuestos como se ve en la Lámina 6 ( ver sección 7.7) donde D1 es el de control. Posteriormente, se aplicó una precarga lateral de 300 kg con la finalidad de ajustar los tirantes (elementos que permitían jalar al muro), se regresó a carga nula y todos los LVDT fueron puestos en cero.

Las funciones de los siete sensores (LVDT) colocados fueron:

- D1 y D2: midieron el desplazamiento lateral (controlado) del muro, en sus 2 mitades divididas por la tubería.
- D3 y D4: midieron la deformación horizontal entre las 2 mitades del muro, causadas por una posible grieta vertical en la zona de la tubería.
- D5 : midió el desplazamiento horizontal intermedio relativo de columna a columna.
- D6 y D7: registran las fisuras de tracción por flexión y el comportamiento de los talones.



Foto 7.2.

Vista global de la instrumentación utilizada, se aprecian los sensores (LVDT).



### 7.3 ENSAYO DEL MURO M1: DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO

A continuación se indica la secuencia de fallas del muro M1 (sin instalación de tubería sanitaria en su interior) en las distintas fases del ensayo.

- En la fase 1 y 2, el muro se comportó elásticamente y no se detectaron fisuras.
- En la fase 3, aparecieron las primeras fisuras por flexión en ambas columnas, ninguna de éstas ingresó a la albañilería.

En esta fase también se inició la rotura diagonal, además se registraron fisuras horizontales, localizadas en la junta de construcción entre jornadas de trabajo (de hasta 1 m de longitud) y en la quinta hilada superior del muro (Foto 7.3 y 7.4).

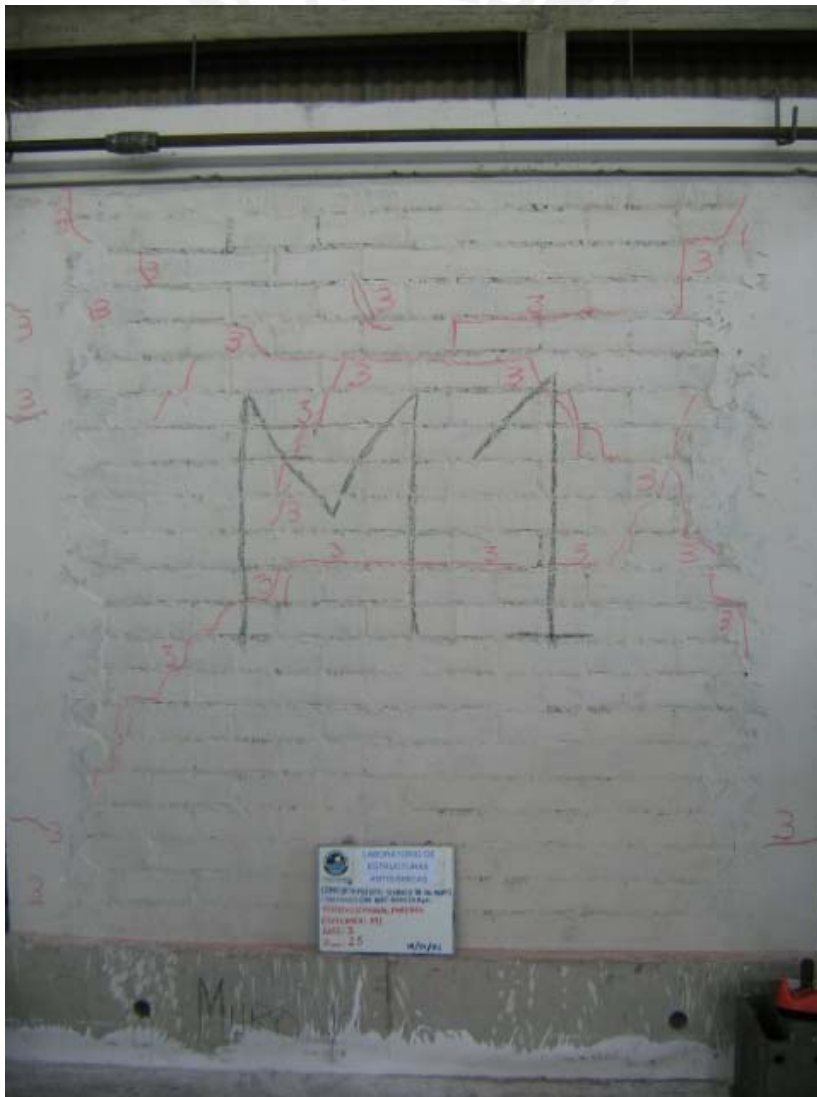


Foto 7.3.

Fisuras originadas en la fase 3.

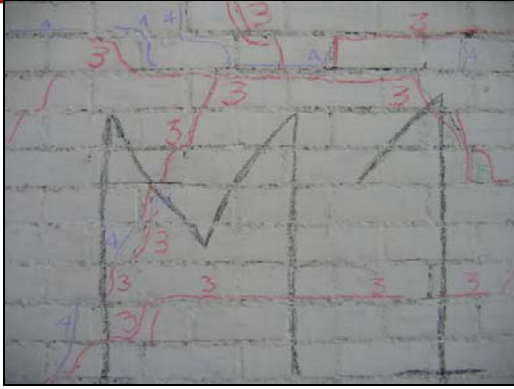


Foto 7.4.

Toma de parte central del muro, se distinguen las fisuras horizontales.

- En la fase 4 las grietas por corte alcanzaron una abertura de 3 mm.
- En la fase 6 se registró desprendimiento de pequeños pedazos de albañilería (Foto 7.5 y 7.6)

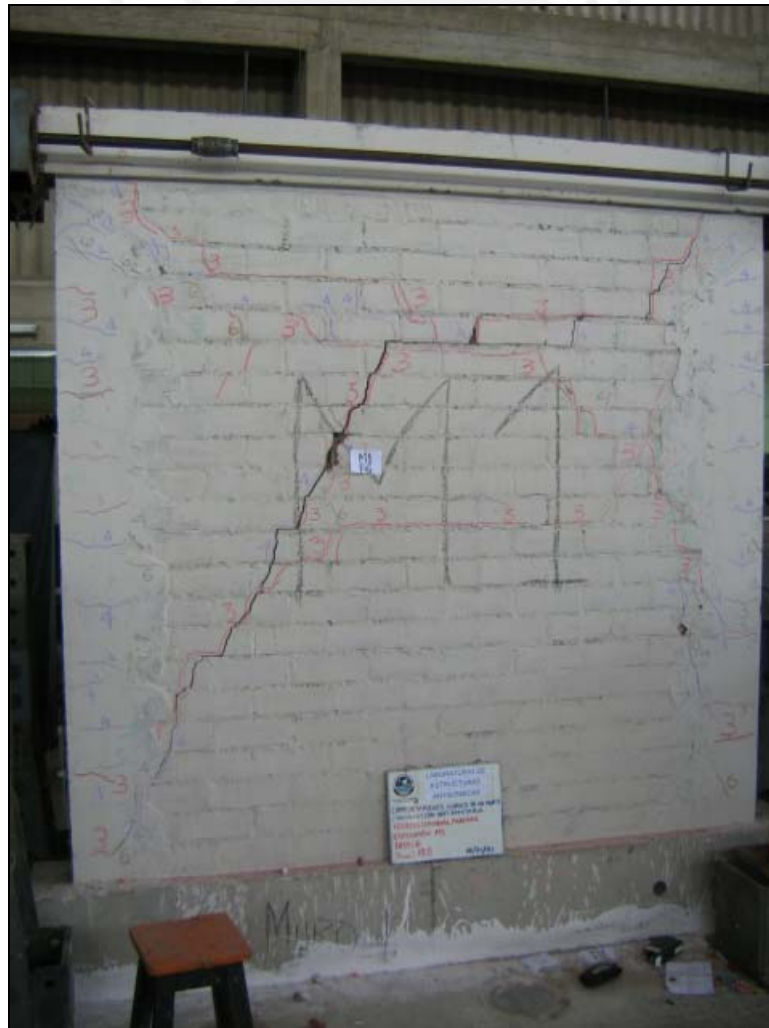


Foto 7.5.

Toma del muro una vez culminada la fase 6.



Foto 7.6.

Fase 6, desprendimiento de pedazos de albañilería.

- En la fase 7 se registró la aparición de dos grietas por corte importantes, ubicadas en la parte central y en la mitad inferior del muro (Foto 7.8).
- En la fase 8 se extendieron las grietas originadas en la fase 7 (Foto 7.7 y 7.8).



Foto 7.7.

Toma global del muro una vez culminada la fase 8.

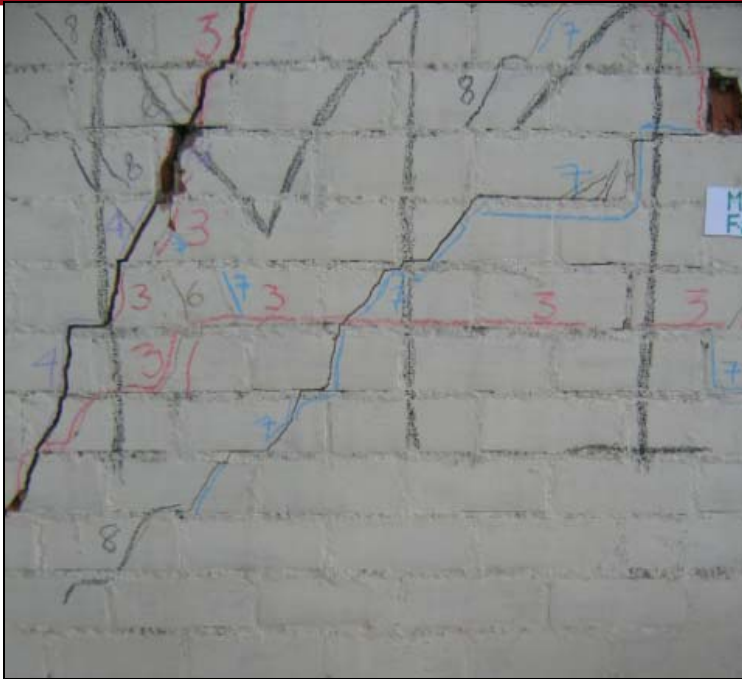


Foto 7.8.  
Fisuras originadas  
en la fase 7 y 8.

- En la fase 9, las grietas por corte se extendieron hacia los nudos superiores y al talón izquierdo del muro. Algunas grietas diagonales alcanzaron aberturas de hasta 10.0 mm.
- En la fase 10, eran muy notorias las grietas diagonales principales en ambos sentidos sobre el muro (Foto 7.9). Dichas grietas registraron espesores de hasta 12.0 mm.

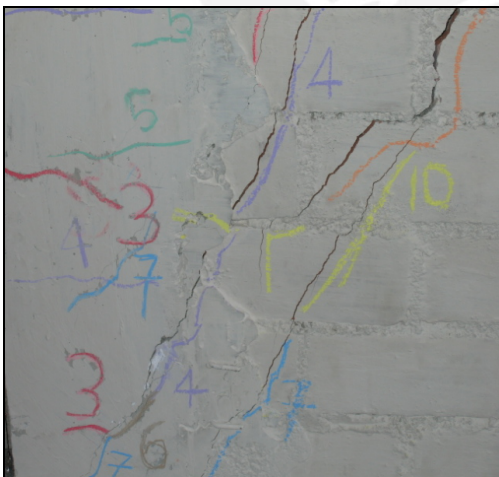


Foto 7.9.  
Toma cercana al talón izquierdo, la fase 10, terminó por unir las grietas diagonales aparecidas en las fases anteriores.

Al final de la fase diez se realizó un ensayo armónico de amplitud de 15.0 mm y 2 Hz de frecuencia para apreciar mejor la falla por corte diagonal (Foto 7.10).

El ensayo armónico permitió observar la falla predominante del muro, la cual fue por corte diagonal, nótese en la Foto 7.10 la formación del aspa compuesta por dos grietas importantes, una que une el nudo superior izquierdo con el talón derecho y la otra que une el nudo superior derecho con el talón izquierdo.



Foto 7.10. Muro M1 durante el ensayo armónico

#### 7.4 ENSAYO DEL MURO M2: DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO

A continuación se indica la secuencia de fallas del muro M2 (con instalación de tubería sanitaria mediante proceso constructivo tradicional: picado y resane de la albañilería).

- En la fase 1, el muro se comportó elásticamente, no se originó ninguna fisura.
- En la fase 2, empezaron a aparecer las primeras fisuras verticales por tracción, éstas aparecieron únicamente en la zona donde se instaló la tubería, es decir, estas grietas se presentaron en la cara frontal del muro (cara no picada) y también sobre el mortero de resane (Foto 7.11). Estas grietas alcanzaron espesores máximos de hasta 0.5 mm.



Foto 7.11.

Primeras fisuras verticales por tracción, originadas en la fase 2 en la zona donde estaba el tubo.

- En la fase 3, empezaron a aparecer fisuras por flexión en las columnas, éstas estuvieron ubicadas principalmente en la mitad inferior de las columnas. Asimismo, se inició el agrietamiento diagonal, con la aparición de cuatro grietas importantes originadas en los nudos y talones del muro. (Foto 7.12). Finalmente, en esta fase también se apreció el desprendimiento de pequeños pedazos del mortero de resane de la tubería. (Foto 7.13).

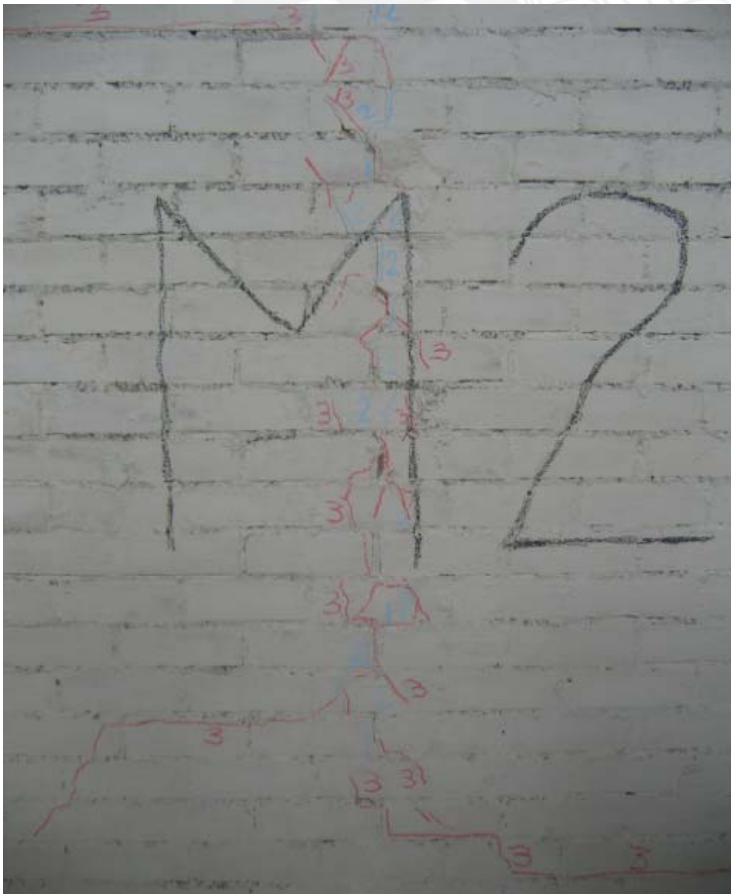


Foto 7.12.

Agrietamiento diagonal en la fase 3.



Foto 7.13.

Desprendimiento del mortero de resane de la tubería.

- En la fase 4, se inició el desprendimiento de pedazos de unidades de albañilería en la cara no picada, en la zona de la tubería (Foto 7.14)



Foto 7.14.

Fase 4, desprendimiento de pedazos de albañilería en la cara no picada, zona de la tubería.

- En la fase 5, se originan dos tipos de grietas por flexión importantes. La primera se originan a media altura del muro, naciendo desde la columna izquierda e ingresando a la albañilería desviándose diagonalmente hacia abajo, cortando ladrillos y a través de las juntas, esta fisura atravesó cinco hiladas.

La otra fisura se originó a media altura del muro, naciendo en la columna derecha e ingresando a la albañilería diagonalmente hacia abajo, cortando ladrillos y a través de las juntas.

- En la fase 6, aparecieron más fisuras por corte. Estas fisuras empezaron muy cerca de los nudos y atravesaron el muro diagonalmente cortando ladrillos hasta llegar a la parte inferior de la tubería. El grosor máximo de las grietas diagonales fue 5.0 mm. (Foto 7.15 y 7.16).



Foto 7.15.

Toma global de muro, una vez culminada la fase 6.



Foto 7.16.

Grietas de la fase 6, recorren diagonalmente las zonas derecha e izquierda del muro de arriba hacia abajo, encontrándose en la parte inferior-central del muro.



- En la fase 7, al finalizar la fase 7, estaban claramente definidas dos grietas diagonales principales en el muro, una a cada lado de la tubería, ambas nacían en la parte alta de las columnas y recorrían diagonalmente la albañilería hasta encontrarse en la parte baja de la tubería, ambas dibujaban una especie de letra “V”. Como si el muro se comportase como dos mitades independientes conectadas por la solera. El grosor máximo de grietas diagonales fue 6.0 mm.
- En la fase 8, se inicia la trituración y el desprendimiento de pedazos de unidades de ladrillo en zonas alejadas de la tubería (Foto 7.17 y 7.18)



Foto 7.17.

Fin de fase 8.



Foto 7.18.

Desprendimiento de pedazos de ladrillo, cerca al nudo izquierdo.

- En la fase 9, algunas grietas por corte alcanzaron un grosor de 9.0 mm.
- En la fase 10, el grosor máximo de las grietas diagonales fue 10.0 mm.

Al finalizar la fase diez se realizó el ensayo armónico (Foto 7.19).



Foto 7.20.

Dos instantes del ensayo armónico, carga positiva y negativa.

En el ensayo armónico, se apreciaron las grietas principales, dos diagonales (una a cada lado de la tubería), y dos grietas horizontales ubicadas en la parte alta del muro (una a cada lado de la tubería). Se aprecia que no se llegó a formar el aspa, sino más bien una especie de “V”, así pues, el muro M2 se comportó como si estuviese compuesto por dos muros, uno a cada lado de la tubería.

## 7.5 ENSAYO DEL MURO M3: DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO

- Durante las fases 1 y 2 el muro se comportó elásticamente.
- En la fase 3, aparecieron las primeras fisuras por tracción, éstas se dieron en la zona de la falsa columna a todo lo largo de su altura. También se encontraron fisuras por flexión en la mitad inferior de ambas columnas de confinamiento, tres de éstas ingresaron a la albañilería, dos de las cuales llegaron hasta la falsa columna, el grosor máximo de estas fisuras fue 0.3 mm (Foto 7.21).
- En la fase 4, aparecieron gran cantidad de grietas por tracción en la parte alta de ambas columnas.

Asimismo, se dio inicio a la aparición de fisuras por corte, éstas se originaron en su gran mayoría en la mitad superior del muro y fueron bajando diagonalmente sin llegar a ingresar a la falsa columna (Foto 7.21 y 7.22). El grosor máximo de las grietas diagonales fue: 1.5 mm.



Foto 7.21.

Formación de fisuras en las fases 3 y 4.

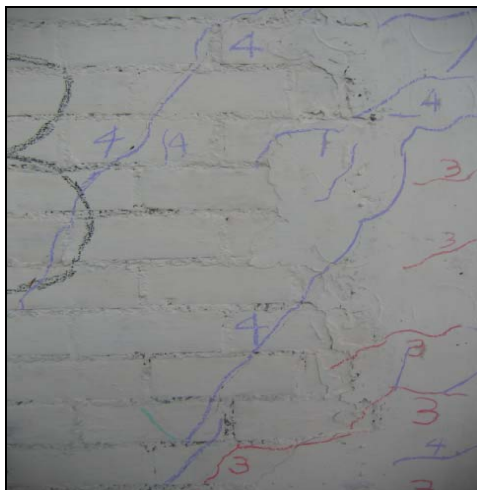


Foto 7.22.

Las grietas por corte recorren diagonalmente la mitad superior del muro, sin llegar a la falsa columna.

- La fase 5, se caracterizó básicamente por presentar la formación de grietas por corte que fueron la prolongación de las grietas surgidas en la fase 4; ingresando en este caso por la mitad de la altura de la falsa columna (Foto 7.24). También se observó la aparición de dos grietas en la parte alta del muro (cercanas a los nudos) éstas tuvieron un recorrido diagonal, pero no ingresaron a la falsa columna. Asimismo, aparecieron dos grietas que se originaron cerca al talón izquierdo, teniendo un recorrido diagonal hacia arriba, sin llegar a la falsa columna. El grosor máximo de las grietas diagonales fue 4.0 mm.
- En la fase 6, se forman grietas diagonales a media altura de la falsa columna, dichas grietas la cruzan de extremo a extremo e ingresan a la albañilería (Foto 7.23 y 7.24). El grosor máximo de las grietas diagonales fue 7.0 mm.

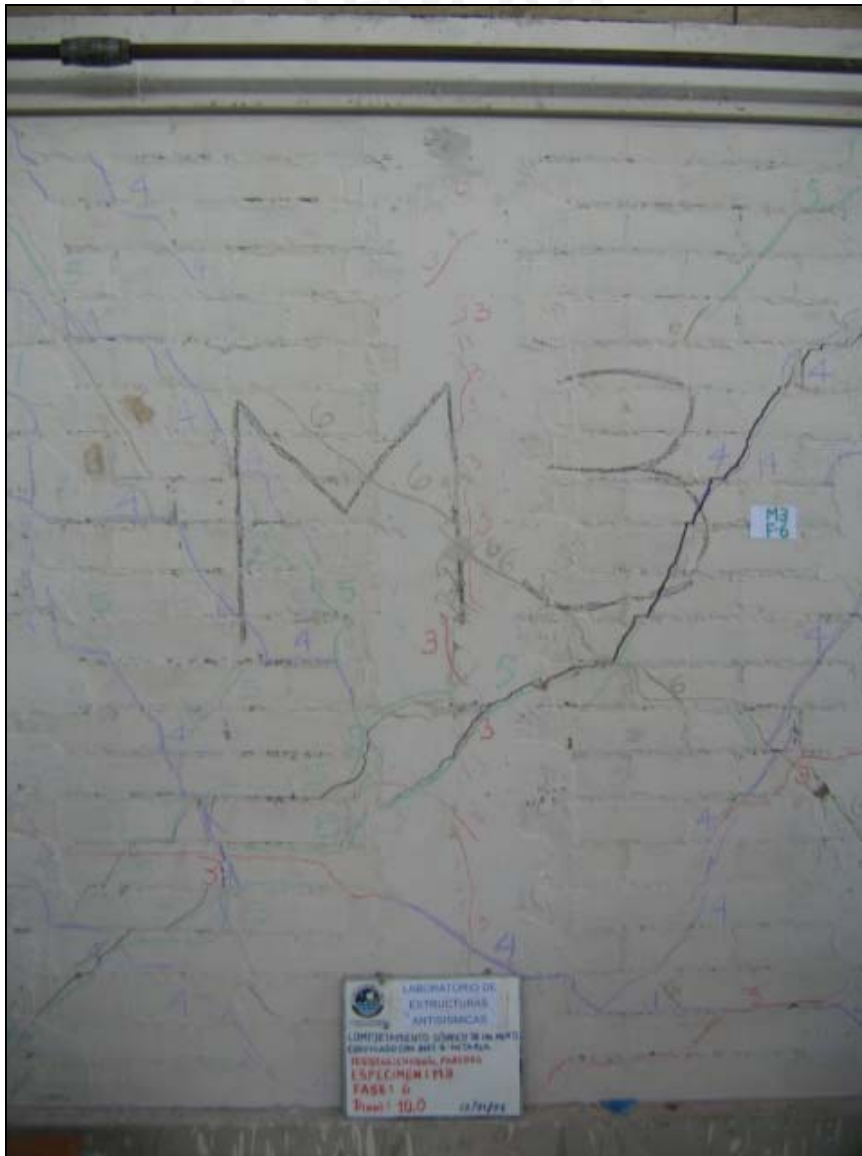


Foto 7.23. Toma del muro después de la fase 6.

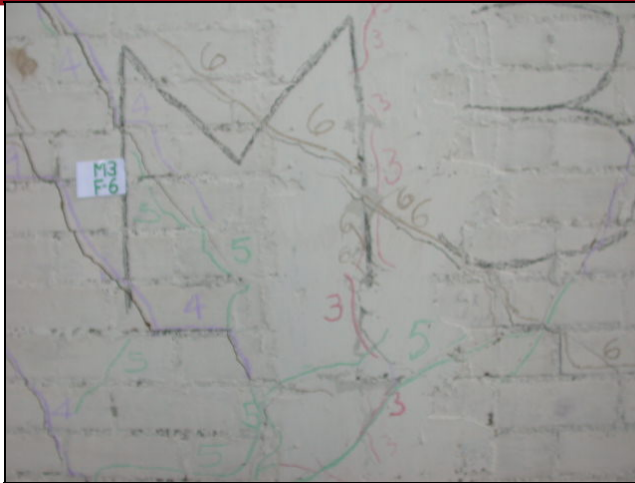


Foto 7.24.

Toma a la parte central del muro, se aprecian las grietas de las fases 5 y 6.

- En la fase 7, se registró el desprendimiento de pedazos de ladrillos (Foto 7.25). La grieta principal que aparece en esta fase es una que nace en la quinta hilada superior del muro (zona derecha del muro) y recorre diagonalmente de arriba hacia abajo y de derecha a izquierda un total de 11 hiladas, atravesando la falsa columna. Finalmente, se observó el desprendimiento de concreto de la falsa columna, esto se dio a media altura de la falsa columna, las mechas de refuerzo horizontal en la falsa columna empezaron a pandearse ligeramente (Foto 7.26).



Foto 7.25.

Desprendimiento de pedazos de albañilería en zona cercana al nudo superior izquierdo.

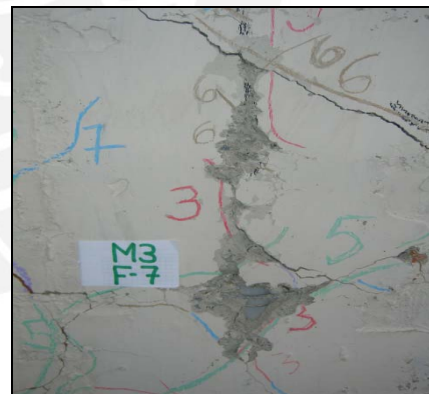


Foto 7.26.

Zona central de la falsa columna, desprendimiento de concreto y pandeo del refuerzo horizontal.

- La fase 8, se caracterizó porque casi todas las grietas surgidas en esta fase, se dieron a media altura de la falsa. El grosor máximo de las grietas por corte fue: 10.0 mm.

- En la fase 9, se observó que el tubo expuesto en la zona central de la falsa columna empezó a comprimirse (aplastamiento) y las mechas de refuerzo horizontal que atravesaban la falsa columna, presentaron un mayor pandeo que el ocurrido en la fase 7, asimismo, los ladrillos cercanos a la zona empezaron a desprenderse en mayor medida. (Foto 7.27 y 7.28).



Foto 7.27. Muro M3 una vez culminada la fase 9.



Foto 7.28.

Toma a media altura de la falsa columna, aplastamiento de la tubería, pandeo de las mechas horizontales de refuerzo y trituración de ladrillos aledaños a la zona.

- Durante la fase 10, prácticamente no aparecieron nuevas grietas. Lo que sí fue notorio, fue el aumento de la trituración de los ladrillos cercanos a la zona de desprendimiento del concreto, asimismo continuó el desprendimiento de concreto en esa zona, el pandeo del refuerzo horizontal y aplastamiento del tubo. Las fisuras por corte alcanzaron a medir 15.0 mm de espesor.

Al finalizar la fase diez se realizó el ensayo armónico, notándose un predominio de la falla por corte, comportándose el muro como una sola unidad, a diferencia de M2 (Fotos 7.29 y 7.30)



Foto 7.29 y 7.30.

Se observan distintos instantes de la falla del muro, se distingue la falla por corte, la formación del aspa.

## 7.6 GRÁFICOS DE RESULTADOS

### 7.6.1 LAZO HISTERÉTICO CORTANTE - DESPLAZAMIENTO

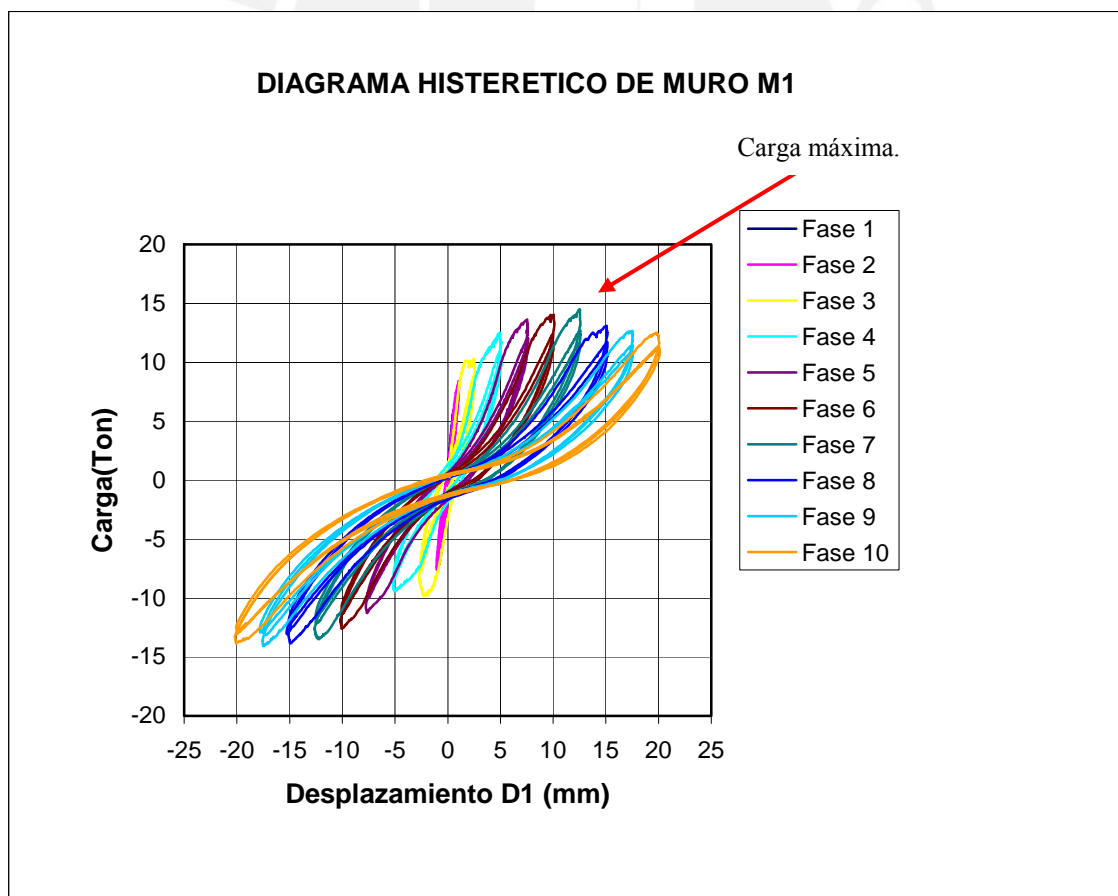
Los gráficos 7.1, 7.2 y 7.3 muestran los lazos histeréticos del desplazamiento del sensor D1 versus la fuerza lateral, para los muros M1, M2 y M3, respectivamente. Para poder

diferenciar en el diagrama a cada fase del ensayo, ella fue dibujada con un color diferente.

Para los tres casos pudo observarse que los lazos histeréticos eran finos con la tendencia a pasar por el origen del sistema de referencia, propios de sistemas que disipan poca energía y que tienen rigidez lateral degradante.

En el gráfico 7.1 se puede observar que en la fase 1 y 2 el muro M1 se comporta en forma elástica, esto es, a medida que aumentan los desplazamientos la fuerza también aumenta linealmente. En la fase 7 se produjo la máxima carga soportada por el muro (14.49 Ton), a partir de esta etapa se puede observar una disminución de la carga a medida que aumenta el desplazamiento indicando que el muro pierde considerablemente su capacidad de resistencia.

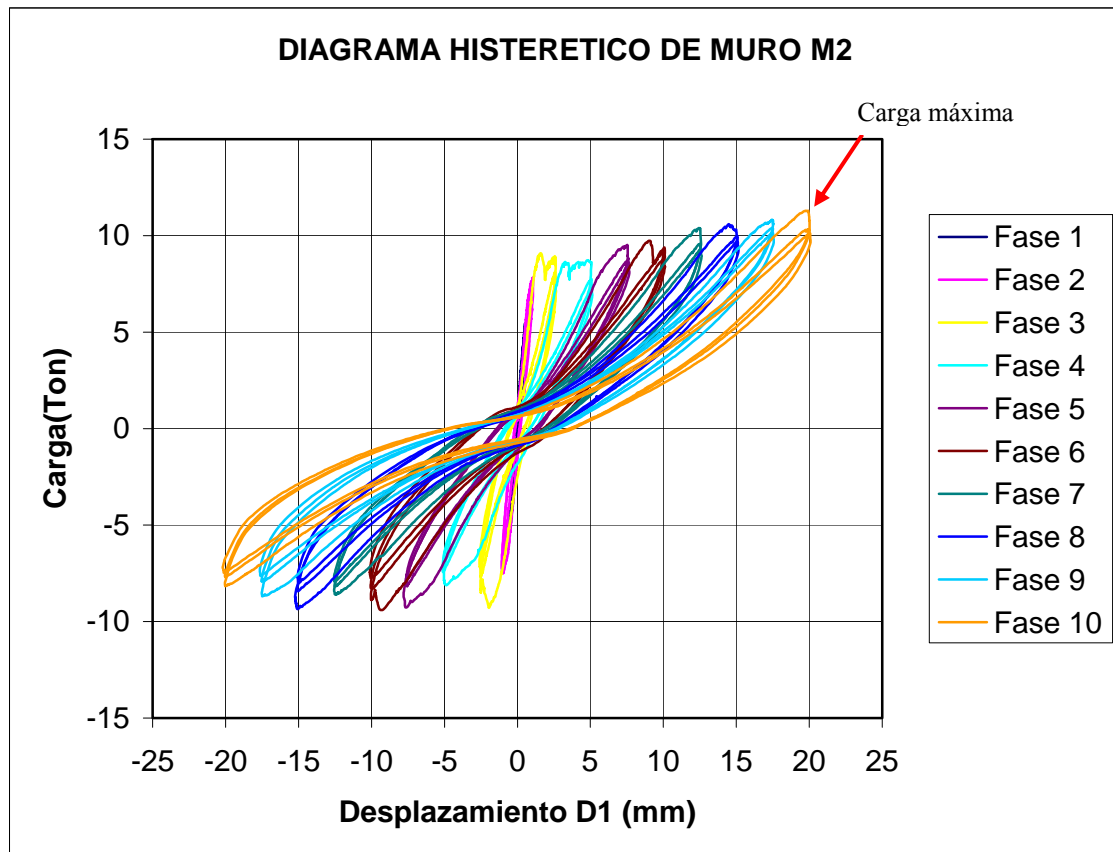
Gráfico 7.1.





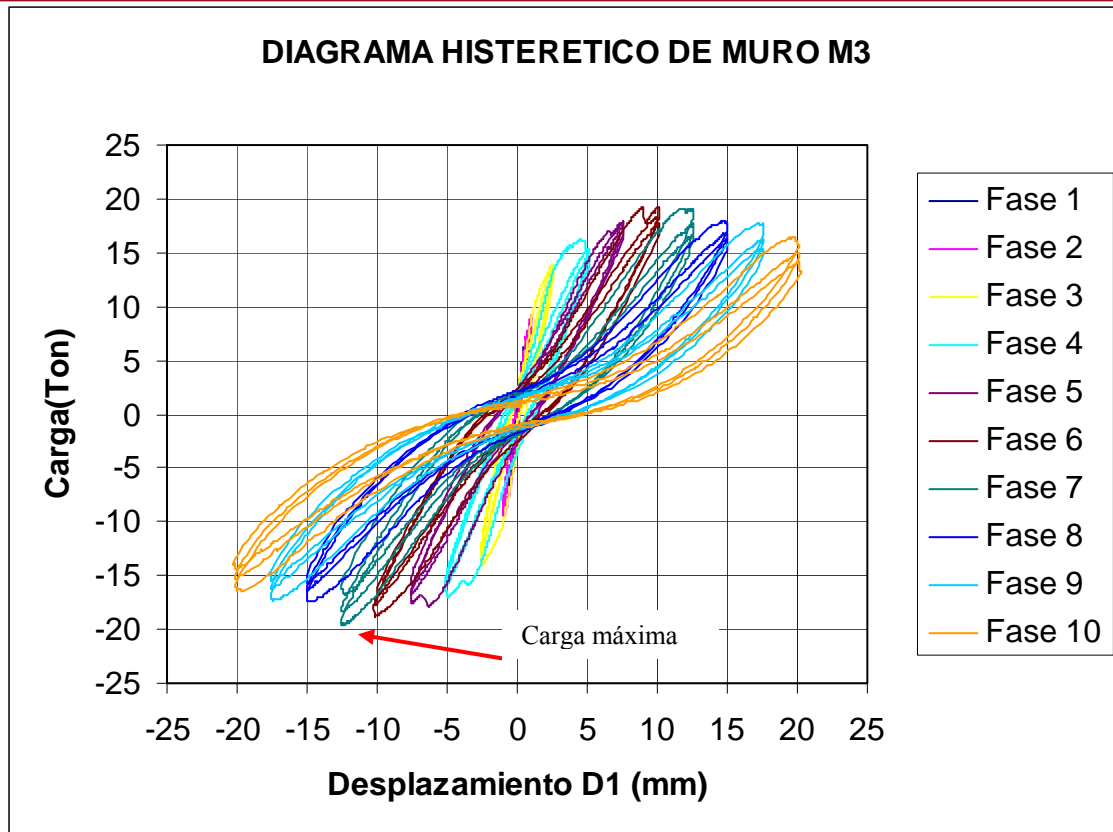
En la gráfica 7.2, se puede observar que en la fase 1 el muro M2 se comporta en forma elástica. Asimismo, se puede observar que a partir de la fase 2 hasta el final del ensayo, el incremento de la carga sobre el muro es muy poco a medida que va aumentando el desplazamiento, hasta que al llegar a la fase 10 se registra la mayor carga aplicada (11.29 Ton).

Gráfico 7.2.



En el gráfico 7.3 se puede observar que en la fase 1 y 2 el muro M3 se comporta en forma elástica. En la fase 7 se produjo la máxima carga soportada por el muro (19.69 Ton), a partir de esta etapa el muro pierde capacidad de resistencia, ya que la carga disminuye a medida que aumentan los desplazamientos.

Gráfico 7.3.



#### 7.6.2 ENVOLVENTE CORTANTE - DESPLAZAMIENTO

Es posible obtener la envolvente cortante-desplazamiento con los valores máximos del primer ciclo de cada fase. Para cada fase existen dos valores de desplazamiento y fuerza, uno de ellos cuando se empuja y el otro cuando se jala al muro. En la tabla 7.2, 7.3 y 7.4 se muestran los valores máximos alcanzados por los sensores en cada fase del ensayo (ver la instrumentación en la lámina 6).

Tabla 7.2. Envolvente del muro M1

FASE	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	D4(mm)	D5(mm)	D6(mm)	D7(mm)	V(Ton)
1	0.5357	0.5581	0.0177	0.0000	0.0145	0.0684	-0.1082	5.8033
1	-0.5162	-0.4946	0.0105	-0.0007	0.0139	-0.0495	0.0506	-5.1133

2	1.0497	1.0663	0.0220	-0.0007	0.0147	0.1067	-0.2044	8.4027
2	-1.0152	-1.0003	-0.0157	0.0000	-0.0059	-0.2420	0.0895	-7.5863
3	2.5998	2.8173	0.0857	-0.0166	-0.2840	0.2362	-0.3005	10.3041
3	-2.7008	-2.5915	-0.4857	-0.0162	-0.5733	-0.5312	0.1712	-9.8357
4	5.0402	5.4463	0.1302	-0.0112	-1.4631	0.3721	-0.4021	12.4102
4	-5.1756	-4.8725	-3.0470	0.0237	-2.5699	-1.2107	0.3215	-9.4212
5	7.5715	8.1189	0.1764	0.0426	-3.4995	0.2336	-0.4998	13.5905
5	-7.7764	-7.1167	-5.4795	0.0858	-4.5013	-1.1414	0.4457	-11.2735
6	10.1090	11.0053	0.2017	0.0454	-5.2593	0.3811	-0.5492	14.0458
6	-10.1693	-9.0797	-7.7231	0.0910	-6.1430	-1.4388	0.5556	-12.6075
7	12.5711	13.7588	0.1849	0.0616	-7.1602	0.3464	-0.5830	14.4913
7	-12.6260	-11.1252	-9.7596	-0.1667	-7.9559	-2.6526	0.6754	-13.5006
8	15.0944	16.5016	0.0255	0.0179	-9.0756	0.7800	-0.5974	13.0426
8	-15.1392	-13.1808	-11.0167	-1.5340	-9.8391	-0.6496	0.8062	-13.8526
9	17.5489	19.1772	-0.7209	-0.1107	-10.7920	1.2810	-0.6361	12.6568
9	-17.5610	-15.0718	-11.9233	-2.7864	-11.3094	-0.2072	0.9183	-14.0678
10	20.0577	21.9862	-1.3921	-0.6709	-12.5363	1.5044	-0.6788	12.5075
10	-20.1774	-17.0376	-11.5582	-7.0948	-13.0448	-0.1947	1.0345	-13.8451

Tabla 7.3. Envoltente del muro M2

FASE	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	D4(mm)	D5(mm)	D6(mm)	D7(mm)	V(Ton)
1	0.5426	0.5515	0.0160	0.0006	0.0141	0.0645	-0.1067	5.4108
1	-0.5142	-0.5356	0.0152	0.0004	0.0309	-0.1144	0.0417	-5.2110
2	1.0567	1.0475	0.0155	-0.0164	0.0319	0.0978	-0.2254	7.8208
2	-1.0830	-1.1500	-0.0090	-0.0584	0.0225	-0.2303	0.0765	-7.5056
3	2.6242	2.8485	-0.5012	-0.4399	-0.3830	0.1761	-0.3702	8.8966
3	-2.5314	-2.4546	-0.3499	-0.4110	-0.3524	-0.3540	0.1533	-9.2947
4	5.0749	5.9569	-1.2111	-1.0222	-0.9433	0.2544	-0.6213	8.7324
4	-5.0424	-4.4885	-0.8949	-0.9199	-0.8274	-0.5457	0.2025	-8.1125
5	7.5678	9.1248	-1.6448	-1.2790	-1.3365	0.3296	-0.8233	9.5192
5	-7.8034	-6.8044	-1.1302	-1.0674	-1.2243	-0.7098	0.2807	-9.2647
6	10.1028	12.3662	-1.2304	-0.5858	-2.5887	0.4235	-0.8836	9.3893
6	-10.0375	-8.5754	-0.6498	-0.4370	-2.2488	-0.7612	0.3724	-9.3745
7	12.5736	15.5881	-0.5205	0.6256	-3.9877	0.5421	-0.9465	10.3973
7	-12.5548	-10.7284	0.1164	0.4948	-3.6490	-0.6560	0.4672	-8.6013
8	15.0617	18.6977	-0.3964	1.1952	-4.8692	0.6375	-1.0367	10.5886
8	-15.2268	-12.9939	0.3694	1.1205	-4.7167	-0.7353	0.5679	-9.3548
9	17.5228	21.7071	0.2025	1.5133	-5.6802	0.7284	-1.1580	10.8259
9	-17.5088	-14.8798	0.6403	1.8221	-5.6339	-0.7187	0.6368	-8.6860
10	20.0274	24.8240	0.9117	1.9300	-6.6750	0.8179	-1.2771	11.2861
10	-20.0390	-16.9039	1.1125	2.2934	-6.6009	-0.7182	0.7014	-8.1623

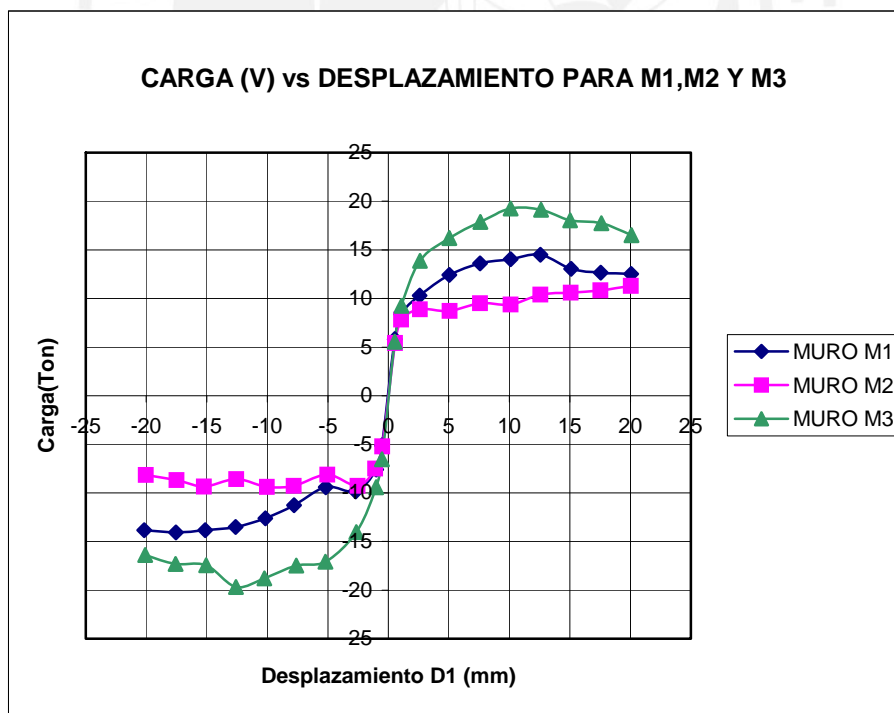
Tabla 7.4. Envoltente del muro M3

FASE	D1(mm)	D2(mm)	D3(mm)	D4(mm)	D5(mm)	D6(mm)	D7(mm)	V(Ton)
1	0.5209	0.5035	0.0175	-0.0016	0.0142	0.0552	-0.1068	5.5577

1	-0.5351	-0.5770	0.0126	-0.0025	0.0179	-0.1286	0.0528	-6.5485
2	1.0697	1.0360	0.0145	-0.0081	0.0044	0.1018	-0.2702	9.2327
2	-1.0139	-1.1064	0.0041	-0.0106	-0.0001	-0.2380	0.0715	-9.4051
3	2.6161	2.5902	-0.0225	-0.0606	-0.0645	0.2025	-0.5755	13.8581
3	-2.6390	-2.8316	-0.0457	-0.0682	-0.0818	-0.6060	0.1460	-14.0208
4	5.0338	5.1719	-0.0175	-0.0540	-0.7514	0.3431	-0.8177	16.2158
4	-5.1953	-5.4260	-0.0354	-0.0655	-1.3292	-0.8128	0.2746	-17.0613
5	7.5951	7.8855	0.0424	-0.0457	-2.6882	0.4946	-0.9048	17.8619
5	-7.6141	-7.7489	-0.0094	-0.0507	-3.0644	-0.9486	0.4260	-17.4743
6	10.1169	10.7090	0.0725	-0.7319	-5.1557	0.6809	-0.9848	19.2551
6	-10.2483	-10.2653	-0.0032	-0.0825	-5.7558	-0.9968	0.6253	-18.7930
7	12.6071	13.4364	0.1084	-1.7561	-7.8246	0.9206	-0.9944	19.1375
7	-12.5841	-12.6084	-0.0336	-0.2317	-7.8555	-1.0389	0.7872	-19.6866
8	15.0126	15.9501	0.1415	-1.8379	-10.7104	1.1284	-0.9608	18.0225
8	-15.0402	-14.7014	0.1613	-1.2110	-10.3901	-0.8879	0.9349	-17.4464
9	17.6097	18.6798	0.1803	-1.4812	-13.4267	1.3241	-0.9616	17.7403
9	-17.5787	-17.0477	0.2155	-1.5349	-12.7108	-0.9154	1.0820	-17.3046
10	20.0797	21.2093	0.1816	-0.8798	-15.7505	1.4529	-0.9689	16.5209
10	-20.0857	-19.3103	0.2479	-1.5598	-15.4585	-0.9151	1.2264	-16.3864

El gráfico 7.4 muestra la envolvente carga-desplazamiento del sensor D1 de los tres muros.

Gráfico 7.4

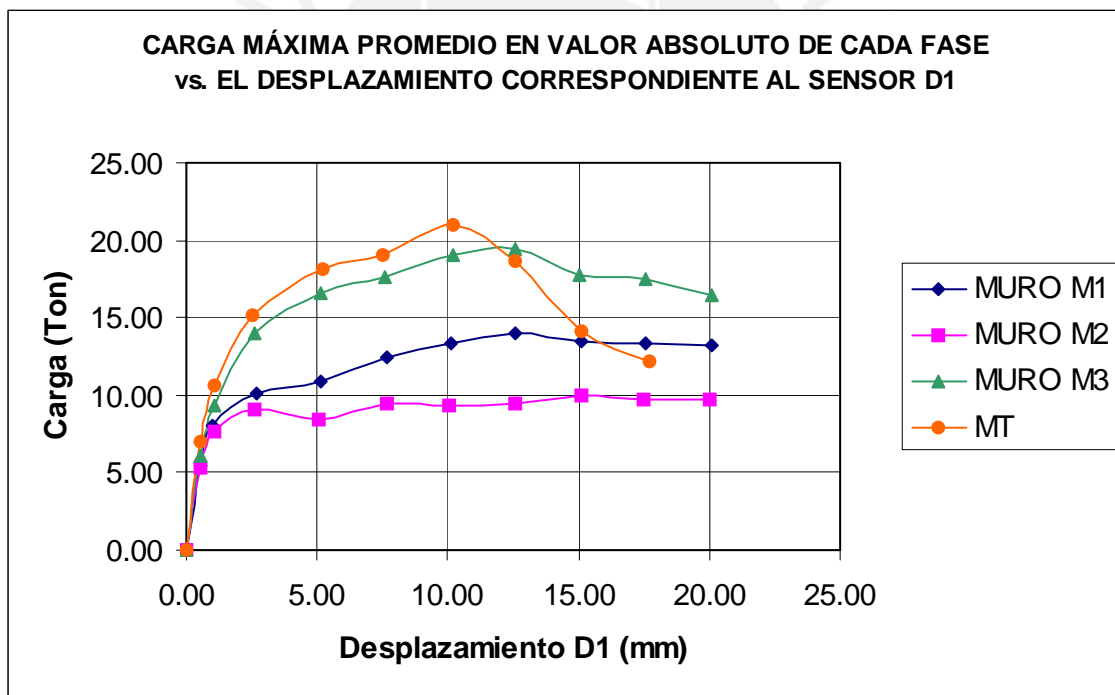


En el gráfico 7.5 se ha considerado el promedio en valor absoluto del desplazamiento del sensor D1 y la fuerza cortante de las ramas positivas y negativas correspondientes al gráfico 7.4. Se observó que al inicio del ensayo los tres muros se comportan de manera similar, luego de la fase 2 ( $\Delta=1.0$  mm) el muro M3 presenta un comportamiento

superior a los muro M1 y M2, para luego tener una caída de resistencia a partir de la fase 7 ( $\Delta=12.5$  mm), el muro M1 describe una curva similar a la del muro M3 pero no logra igualar la carga máxima de dicho muro, mientras que se puede observar en el gráfico que el muro M2 guarda un comportamiento uniforme a partir de la fase 2.

Se ha graficado adicionalmente una cuarta curva correspondiente a un muro tradicional de albañilería confinada (MT), que tiene las mismas características físicas y geométricas del muro M1 del presente proyecto (Referencia 8). La curva descrita por el muro M1 debió ser similar a la del muro MT, esto no ocurrió debido a la formación de fisuras horizontales a media altura del muro M1, de hasta 1m de longitud, la cual causó su baja resistencia.

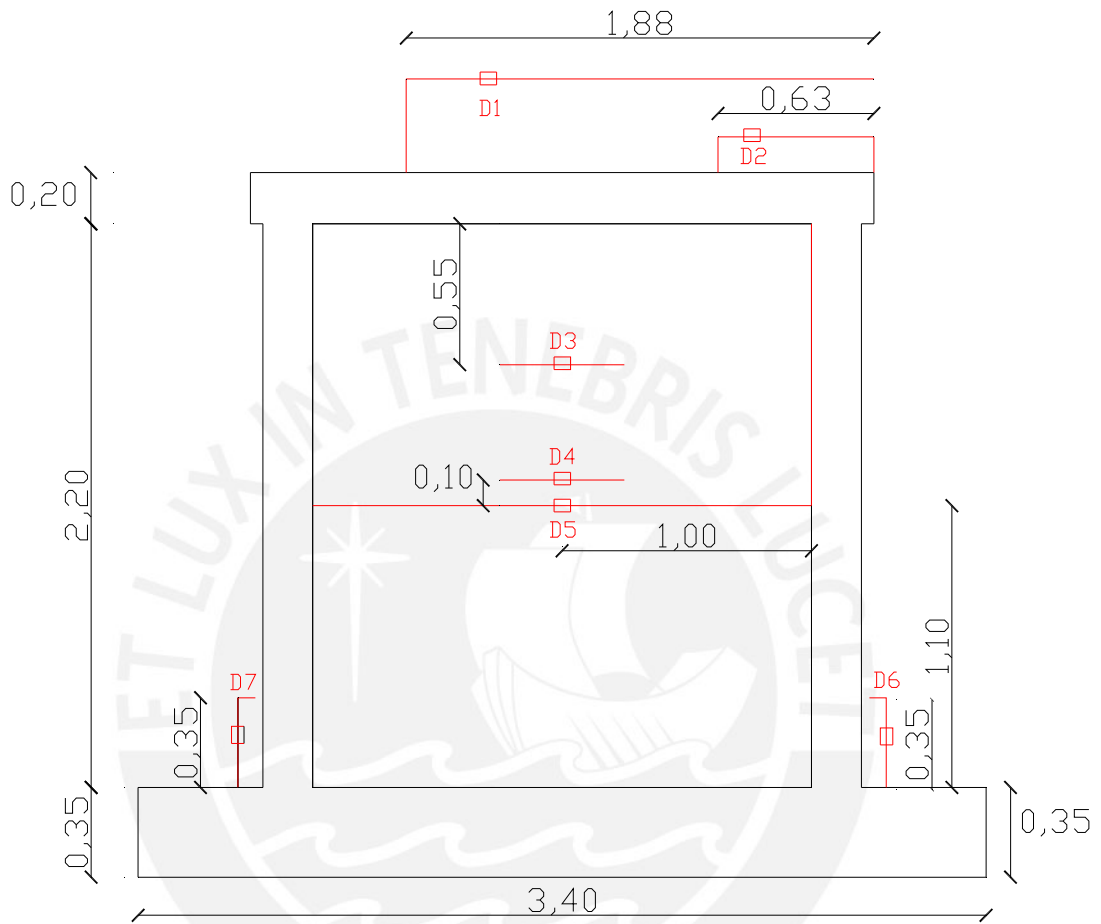
Gráfico 7.5



### 7.7 PLANO DE INSTRUMENTACIÓN DE MUROS

En la siguiente lámina se muestra la disposición sobre el muro de los dispositivos de control (LVDT)

DISTRIBUCION DE LVDTs PARA ENSAYO SISMICO LATERAL



NOTA:

TODOS LOS LVDT SERAN DE 50mm

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA-ESPECIALIDAD ING. CIVIL	
ASESOR: ING. ANGEL SAN BARTOLOME	ALUMNOS: CRISTHIAN CHUQUIN M. JORGE PAREDES S. CODIGO: INFLE 186-05
DISPOSICION DE LVDT EN LOS MURDS	
TEMA: "COMPORTAMIENTO SISMICO DE UN MURO CONFINADO CON INSTALACION SANITARIA EN SU INTERIOR"	LAMINA: 6



***CAPÍTULO 8***  
***INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS***

## Capítulo 8 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 8.1 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS EXPERIMENTALES Y COMPARACIÓN CON PARÁMETROS TEÓRICOS

#### 8.1.1 RIGIDEZ LATERAL

Es posible calcular la rigidez lateral experimental en la etapa elástica de cada muro a partir de los desplazamientos medidos por el sensor D1 y con la fuerza asociada (etapa elástica). Con la expresión siguiente se obtienen los valores de la tabla 8.1.

$$K = \frac{\Delta F}{\Delta D_{\text{Lateral}}}$$

Donde:

$\Delta F = (0.50 F - 0.10 F)$  Ton, donde F es la fuerza máxima asociada en la etapa elástica.

$\Delta D_{\text{lateral}} = (D2 - D1)$  mm, donde D1 es el desplazamiento correspondiente a 0.10 F y

D2 es el desplazamiento correspondiente a 0.50P.

Tabla 8.1. Rigidez lateral experimental y teórica

MURO	DESPLAZ. mm	FUERZA Ton	$\Delta F$ Ton	$\Delta D$ mm	K experim. Ton/m	K teórico Ton/m
M1	1.035	8.40	3.23	0.3405	9495	11502
M2	0.543	5.41	2.16	0.1889	11408	10468
M3	1.014	9.41	3.73	0.2100	17746	11396

La rigidez lateral teórica (ver acápite 5.2.2) para el muro M1 fue mayor que la obtenida experimentalmente en 21%, mientras que para los otros dos muros, la rigidez experimental superó a la teórica en 9% y en 56% para los muros M2 y M3 respectivamente.

#### 8.1.2 AGRIETAMIENTO DE TRACCIÓN POR FLEXIÓN

El agrietamiento de tracción por flexión ocurrió para los tres muros en la fase 3, en el caso de M1 cuando el muro soportaba una carga lateral de 9.66 ton. mientras que para el muro M2 se dio para una carga de 8.39 ton. y para el muro M3 para una carga de 12.04 ton. Los resultados teóricos y experimentales se muestran en la tabla 8.2.



Tabla 8.2. Carga de Agrietamiento de Tracción por Flexión

Muro	F <sub>experimental</sub> (ton)	F <sub>teórica</sub> (ton)
M1	9.66	7.29
M2	8.39	7.28
M3	12.04	7.30

En los tres casos se observa que la resistencia experimental supera al valor teórico, lo cual puede deberse a que la resistencia del concreto de las columnas fue mayor que su valor nominal de diseño ( $214 \text{ kg/cm}^2$  versus  $175 \text{ kg/cm}^2$ , ver la tabla 3.13).

### 8.1.3 ROTURA DIAGONAL

La aparición de las primeras fisuras diagonales ocurrió en el primer ciclo de la fase 3 para los muros M1 y M2 en la etapa “jalando”, mientras que para el muro M3 se dio en la fase 4. Las fuerzas cortantes y los desplazamientos (experimentales y teóricas) asociados a estos puntos se muestran en la tabla 8.3.

Tabla 8.3. Rotura Diagonal

MURO	V <sub>m</sub> (experimental) Ton	DESPLAZAMIENTO (mm) <sup>1</sup>	V <sub>m</sub> (teórico) Ton
M1	9.54	1.8165 (1/1267)	13.7
M2	8.59	2.2133 (1/1039)	6.44
M3	15.9	3.5746 (1/643)	13.7

<sup>1</sup> El desplazamiento corresponde al sensor D1 y la cantidad entre paréntesis es la distorsión angular correspondiente ( $D1 / h$ )

La resistencia al agrietamiento diagonal teórico ( $V_m$ ) se calculó con la expresión  $V_m = 0.5 v' m_x \alpha_x t_x L$  (ver acápite 5.2.4). El valor experimental llegó a alcanzar 70% del valor teórico para el caso de M1, mientras que para M2 y M3 el valor experimental superó al teórico en 33% y en 16% respectivamente. La baja resistencia que tuvo el muro M1 se debió a la aparición de la fisura horizontal en la junta de construcción entre jornadas de trabajo, que abarcó una longitud de 100 cm.

#### 8.1.4 CARGA MÁXIMA SOPORTADA

La resistencia máxima alcanzada en el muro M1 fue 14.49 ton (en la fase 7), mientras que el muro M2 alcanzó 11.29 ton en la fase 10, y el muro M3 tuvo una resistencia máxima de 19.69 ton ocurrida durante la fase 7. La resistencia de M3 fue 36% mayor que la resistencia del muro M1, y 75% mayor que la resistencia del muro M2 (ver tabla 8.4).

*Tabla 8.4. Fuerza máxima alcanzada*

Muro	Fuerza (VR) ton (experimental)	Desplazamiento (mm) <sup>1</sup>	Fuerza (VR) ton (teórica)
M1	14.49	12.57	18.09
M2	11.29	11.28	8.5
M3	19.69	12.58	18.09

<sup>1</sup> El desplazamiento corresponde al sensor D1

Los muros M2 y M3 superaron a la carga asociada al momento flector nominal máximo al instante de fluencia del refuerzo vertical, en 33% para M2 y en 9%, por lo que se presume que el refuerzo vertical ingresó a su zona de endurecimiento. Mientras que M1 no logró superar la carga asociada al momento flector nominal máximo.

#### 8.1.5 LÍMITE DE REPARACIÓN

En este proyecto se utilizaron ladrillos huecos. La trituración de estos ladrillos indica el límite para el cual estos muros son reparables, ya que desplazamientos mayores a este límite implican una pérdida considerable de la sección transversal, mas aún para casos reales, donde los muros se ven sujetos a mayores esfuerzos de compresión por carga axial y momento flector que los producidos en este proyecto, donde los muros fueron de un piso y carecieron de carga vertical.

En el caso del muro M1 la trituración de los ladrillos, se inició en la fase 6 ( $\Delta=10.0$  mm), mientras que lo propio ocurrió durante la fase 4 ( $\Delta=5.0$  mm) para M2, y para M3 se dio en la fase 7 ( $\Delta=12.5$  mm). El límite de reparación especificado por la referencia 1 ( $D = h / 200 = 2300 / 200 = 11.5$  mm) indica que M1 y M3 presentaron una distorsión angular aceptable, mientras que en el muro M2 la trituración de ladrillos empezó demasiado pronto.

8.1.6 RESUMEN DE COMPARACIONES

En la tabla 8.5 se muestra la comparación de resultados teóricos y experimentales así como el factor de relación entre el valor experimental (E) y el valor teórico (T) de los principales parámetros de la albañilería.

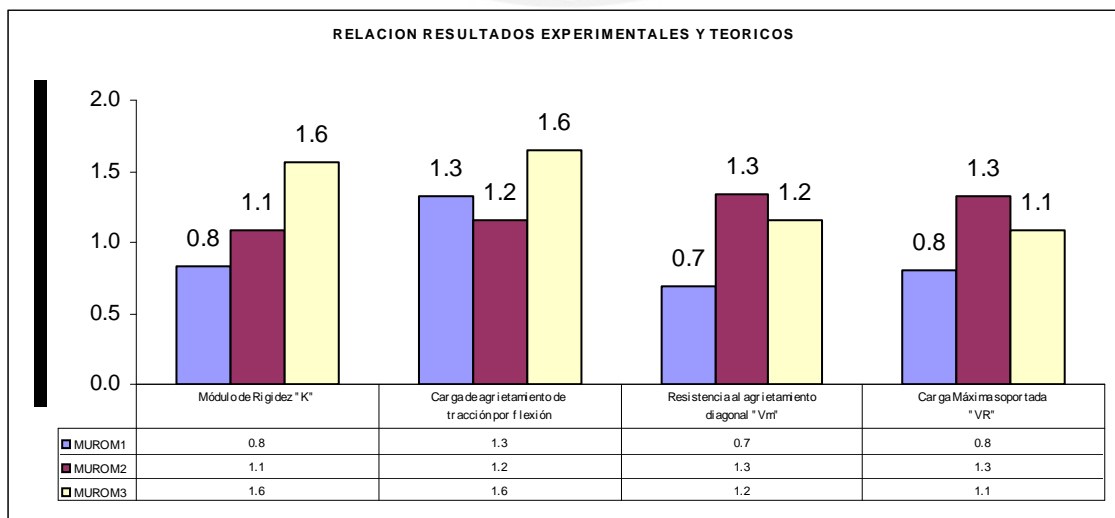
Tabla 8.5. Comparación de resultados teóricos y experimentales

Descripción	Muro M1		Factor (E/T)	Muro M2		Factor (E/T)	Muro M3		Factor (E/T)
	Exp.(E)	Teor.(T)		Exp.(E)	Teor.(T)		Exp.(E)	Teor.(T)	
Módulo de Rigidez "K" (ton/m)	9495	11502	0.8	11408	10468.0	1.1	17746	11396	1.6
Carga de agrietamiento de tracción por flexión "F" (Ton)	9.66	7.29	1.3	8.39	7.28	1.2	12.04	7.3	1.6
Resistencia al agrietamiento diagonal "Vm" (Ton)	9.54	13.7	0.7	8.59	6.44	1.3	15.9	13.7	1.2
Carga Máxima soportada "VR" (Ton)	14.49	18.05	0.8	11.29	8.5	1.3	19.69	18.09	1.1

Cuando el factor E/T (valor experimental entre valor teórico) es cercano a la unidad, existe una buena concordancia entre el resultado experimental y el teórico, mientras que cuando el factor E/T supera a la unidad, quiere decir que se está trabajando en forma conservadora.

En el gráfico 8.1 se aprecia que el factor E/T para el caso del muro M1, en el caso de la rigidez lateral "K", la resistencia al agrietamiento diagonal "Vm" y la carga máxima soportada "VR", resultan menor que la unidad, lo cual significa que no se presentó el comportamiento predicho por la teoría.

Gráfico 8.1.



## 8.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES ENTRE LOS MUROS

A continuación se efectúa una comparación de los resultados obtenidos en los experimentos de los muros M1, M2 y M3.

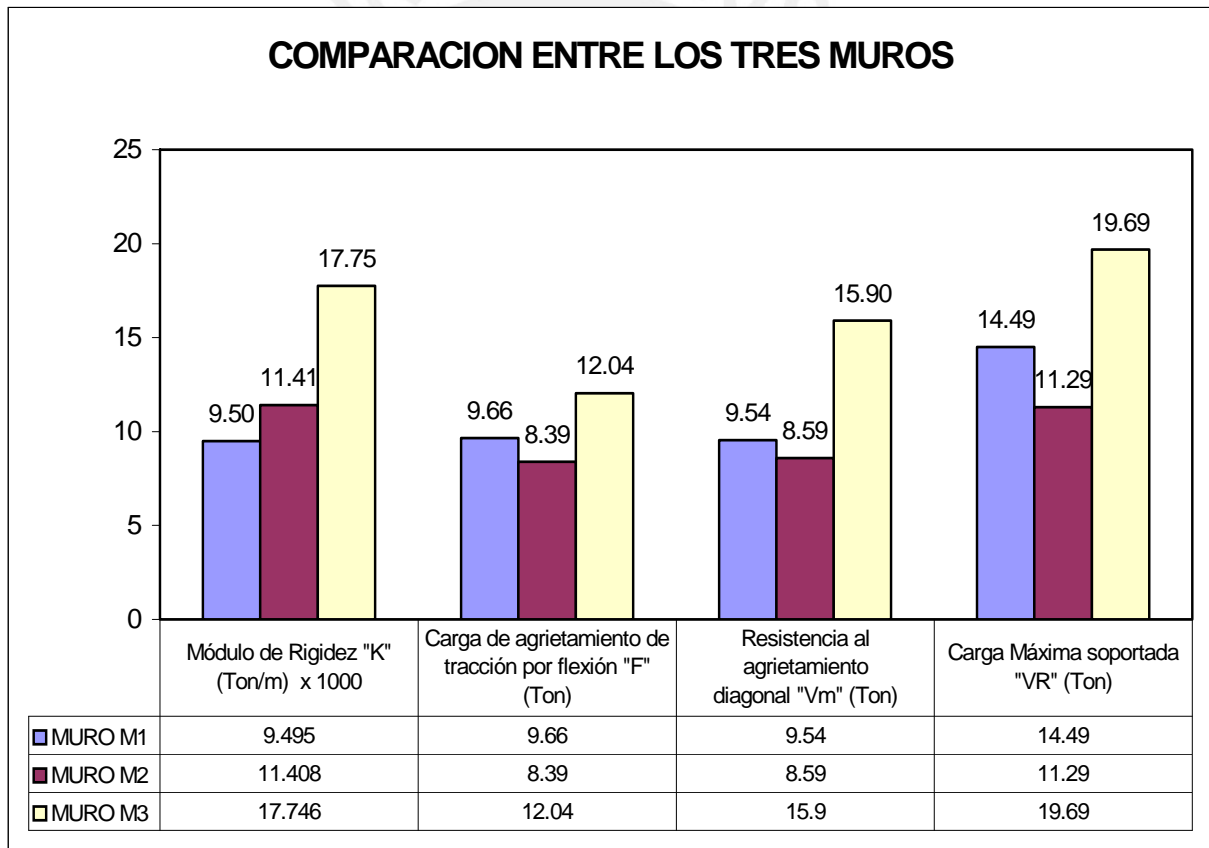
- La falla predominante de los tres muros fue por fuerza cortante.
- La resistencia máxima alcanzada en el caso del muro M1 fue 14.49 ton alcanzada en la fase 7, mientras que el muro M2 alcanzó las 11.29 ton en la fase 10, y el muro M3 tuvo una resistencia máxima de 19.69 ton ocurrida durante la fase 7. La resistencia de M3 fue 36% mayor que la resistencia del muro M1, y 75% mayor que la resistencia del muro M2.
- Los muros M1 y M3 tuvieron comportamiento elástico en las fases 1 y 2, mientras que el muro M2 sólo lo tuvo en la fase 1.
- Para los tres muros, las grietas de tracción por flexión en las columnas de confinamiento aparecieron en la fase 3. Las cargas correspondientes fueron 9.66 ton (ocurrida en el primer ciclo “empujando”) para M1, 8.39 ton para M2 y 12.04 ton para M3. Pero cabe indicar que para el muro M2 durante la fase 2 ( 7.36 ton etapa “jalando” ), se presentaron fisuras por tracción en la zona central del muro a lo largo de la tubería, tanto en la cara no picada como en la cara donde se hizo el resane con mortero; la aparición de estas grietas, se debe a que toda esa parte del muro es muy débil, puesto que el recubrimiento con mortero de resane tuvo apenas un espesor aproximado de 1.0 cm, mientras que del otro lado se tuvo sólo la cara lateral del ladrillo. Estas fisuras también se presentaron en la falsa columna del muro M3, pero en la fase 3 (12.04 ton) y abarcaron una pequeña altura en la zona central del muro.
- Tanto para M1 y M2 las grietas de tracción diagonal se iniciaron en la fase 3, y en la fase 4 para M3, para cargas de 9.54 ton, 8.59 ton y 15.9 ton respectivamente.
- En el caso del muro M1 la trituración de los ladrillos se inició en la fase 6, mientras que en el muro M2 se inició en la fase 4 (en la zona donde se instaló la tubería sanitaria, cara no picada) y para M3 en la fase 7.
- Para el muro M2, en la fase 3 se inició el desprendimiento del mortero utilizado para resanar el muro, mientras que en el muro M3 durante la fase 7 se inició el desprendimiento del concreto de la falsa columna, en ambos casos la tubería quedó expuesta.
- En los tres muros se pudo observar el desprendimiento de las caras laterales de algunas unidades de albañilería que se ubicaban en el paso de las grietas principales.

- Se pudo apreciar que el muro M2, se comportó como si estuviese compuesto por dos muros, uno a cada lado de la tubería, no registrándose así las dos grietas diagonales que forman una especie de “X” sobre la superficie de todo el muro tal como ocurrió en M3, sino más bien una especie de letra “V” cuyo vértice se ubicó en la parte baja de la tubería.

### 8.2.1 RESUMEN DE COMPARACIONES

Los ensayos de carga lateral cíclica permitieron determinar y comparar las características de los muros, así como las distintas cargas que producen determinado tipo de grietas. Dichas comparaciones se muestran en el gráfico 8.2.

Gráfico 8.2.



Puesto que la rigidez lateral, la carga de agrietamiento de tracción por flexión, la resistencia al agrietamiento diagonal, y la carga máxima soportada por M3 son superiores a las de M1 y M2, se concluye que la construcción de una falsa columna es la solución más idónea, para alojar tuberías sanitarias en los muros portantes.



***CAPÍTULO 9***  
***CONCLUSIONES Y COMENTARIOS***

## Capítulo 9 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

---

### 9.1 CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de la presente investigación son:

- La referencia 1 clasifica a la unidad empleada en este proyecto como tipo III y descarta su uso en la construcción de muros portantes en las zonas sísmicas 2 y 3 por calificar como hueca (unidades que presentan un alto porcentaje de perforaciones mayor que 30%). Esta restricción se debe a que estas unidades terminan triturándose ante los sismos, lo que provoca una disminución de la resistencia a corte de los muros, lo cual se pudo verificar en este proyecto.
- La granulometría de la arena utilizada en este proyecto no cumplió con los límites que determina la referencia 1, sin embargo, la misma referencia indica que se aceptarán otras granulometrías siempre que los ensayos de pilas y muretes proporcionen las resistencias especificadas en los planos. Según dicha referencia, para unidades similares a la de este proyecto, si no se realizan ensayos a pilas y muretes se podrán tomar  $f'm = 65 \text{ kg/cm}^2$  y  $v'm = 8.1 \text{ kg/cm}^2$  (pilas y muretes con mortero 1:4). Dichos valores son muy próximos a los resultados obtenidos experimentalmente de compresión axial de pilas ( $f'm = 64 \text{ kg/cm}^2$ ) y de compresión diagonal de muretes ( $v'm = 8.87 \text{ kg/cm}^2$ ). Por lo tanto, la arena utilizada en el proyecto es aceptable.
- En el muro M1 se registraron en la fase 3 desviaciones de la fisura diagonal en forma horizontal, una de ellas se dio a la mitad de la altura del muro, y abarcó casi 100 cm, probablemente ésta ocurrió porque al momento de asentar los ladrillos se extendió el mortero a todo lo largo del muro (Foto 9.1), incumpliendo lo especificado por la Norma E-070, donde se indica que la máxima extensión del mortero debe ser 80 cm, porque sino se endurece y difícilmente los ladrillos superiores podrán adherirse (Foto 9.1). En M2 no se presentó este problema porque antes se produjo la falla vertical a lo largo de la tubería y en M3 tampoco se presenta el problema porque fue construido en dos partes. Se presume que por este motivo el muro M1 tuvo una baja resistencia al

corte. En otros ensayos de carga lateral cíclica realizados a muros confinados con las mismas características del muro M1 (MT, Foto 9.2, Ref.8) se registró una resistencia al agrietamiento diagonal  $V_m = 18.6$  ton y una resistencia máxima  $V_R = 23$  ton, dichos valores superan a los resultados obtenidos en el presente proyecto en 95% y 59% respectivamente.



Foto 9.1.  
Mortero extendido a todo lo largo del muro M1.



Foto 9.2

Grietas al finalizar el ensayo del muro M1 (izq.) y muro MT (derecha, Ref.8).

- En el muro M3 la tubería quedó embebida en una falsa columna y puesto que su rigidez lateral, carga de agrietamiento de tracción por flexión, resistencia al agrietamiento diagonal, y la carga máxima fueron superiores a las del muro M2 en (56%,44%,85%,74% respectivamente), se puede concluir que el empleo de una falsa columna con la adición de mechas que permiten integrar las partes divididas del muro es la solución más idónea para alojar tuberías sanitarias en



los muros portantes en vez de picar el muro, instalar la tubería y luego resanarlo (M2).

- El procedimiento de instalación de tuberías mediante el picado y resane de la albañilería hizo que el muro M2 se comporte como si estuviese compuesto por dos muros, uno a cada lado de la tubería instalada, ya que no se presentó la formación de dos grandes grietas, formando una especie de “X”, sino más bien se presentaron dos grietas, en forma de “V” con el vértice en la base de la tubería. El comportamiento como dos sub-muros fue evidente durante el ensayo armónico, ya que se pudo observar que mientras se empujaba y jalaba el muro lateralmente, una parte del muro se desplazaba verticalmente hacia arriba a lo largo de la tubería mientras que la otra parte del muro se desplazaba hacia abajo (Figura 9.1).



Fig. 9.1. Muro M2, comportamiento ante carga positiva y negativa.

- La construcción de una falsa columna no reforzada pero con mechas de anclaje, dentro de la cual se aloja la tubería sanitaria, permite al muro tener una falla por corte muy similar a la de un muro que no presenta instalación sanitaria, ya que se registra la formación de dos grandes grietas, describiendo una especie de letra “X” sobre el muro, con la consecuente trituración de la región central de la albañilería, el pandeo de las mechas y el aplastamiento de la tubería cuando se supera la distorsión máxima permitida por la referencia 1 (0.005).

## 9.2 LÍNEA FUTURA DE INVESTIGACIÓN

- Los ladrillos king kong de 18 huecos usados comúnmente para la construcción en nuestro medio, no permiten colocar las instalaciones sanitarias en el interior del muro, y el hecho de picar el muro para poder realizar estas instalaciones no hace otra cosa que debilitar al muro. El presente proyecto confirmó que la construcción de una falsa columna es una mejor alternativa para la instalación de tuberías, sin embargo, se podrían probar otras alternativas, tal como el uso de ladrillos de arcilla con celdas que permitan el paso de las tuberías, o en todo caso el uso de ladrillos comunes debidamente recortados para formar las celdas (Figura 9.2).

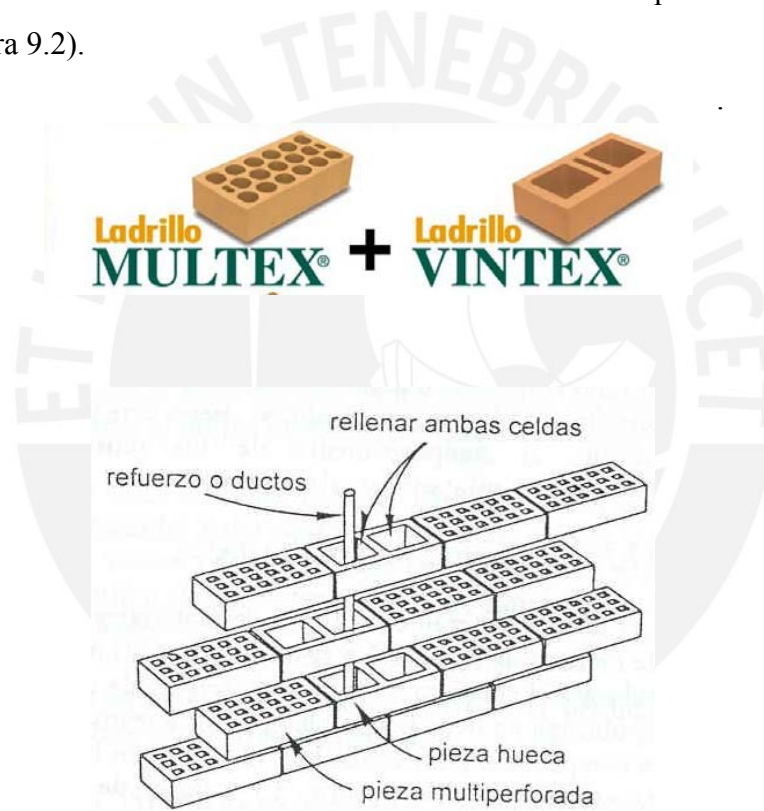


Fig. 9.2.

Ladrillos mexicanos con celdas para instalación de tuberías en muros portantes

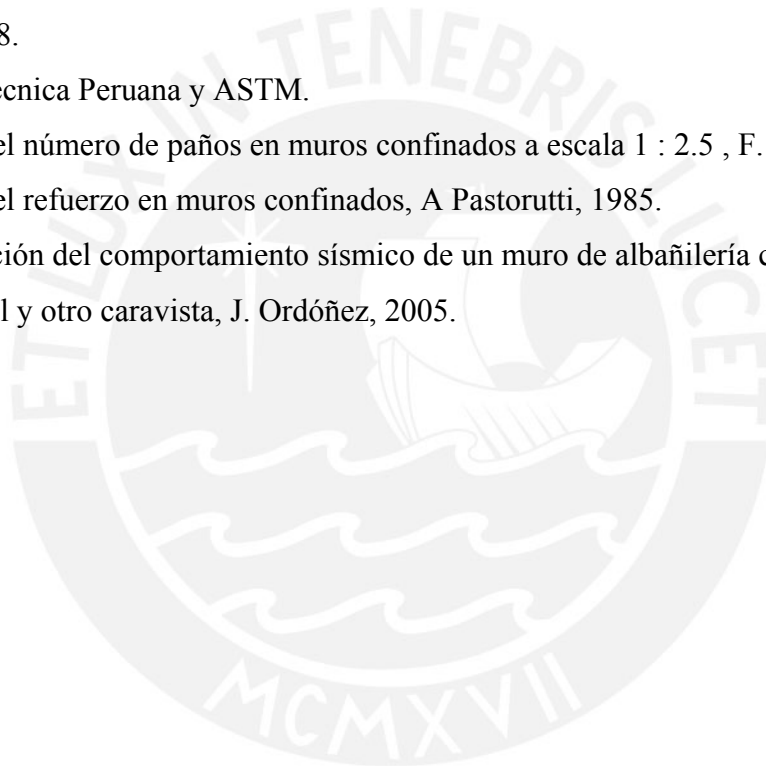


## Capítulo 10 REFERENCIAS

---

### 10.1 REFERENCIAS

1. Norma Técnica de Edificación E-070 “Albañilería”, elaborado por el Comité Especializado de la NTE E.070. Mayo 2004.
2. Construcciones de Albañilería, Ángel San Bartolomé, Fondo Editorial PUCP, 2001.
3. Norma Técnicas de Edificación E – 030 Diseño Sismorresistente, ININVI, 1997.
4. Tecnología del Concreto, Comité del American Concrete Institute, ACI-PERU, Lima,1998.
5. Norma Técnica Peruana y ASTM.
6. Efectos del número de paños en muros confinados a escala 1 : 2.5 , F. Lamas, 1992.
7. Efectos del refuerzo en muros confinados, A Pastorutti, 1985.
8. Comparación del comportamiento sísmico de un muro de albañilería confinada tradicional y otro caravista, J. Ordóñez, 2005.



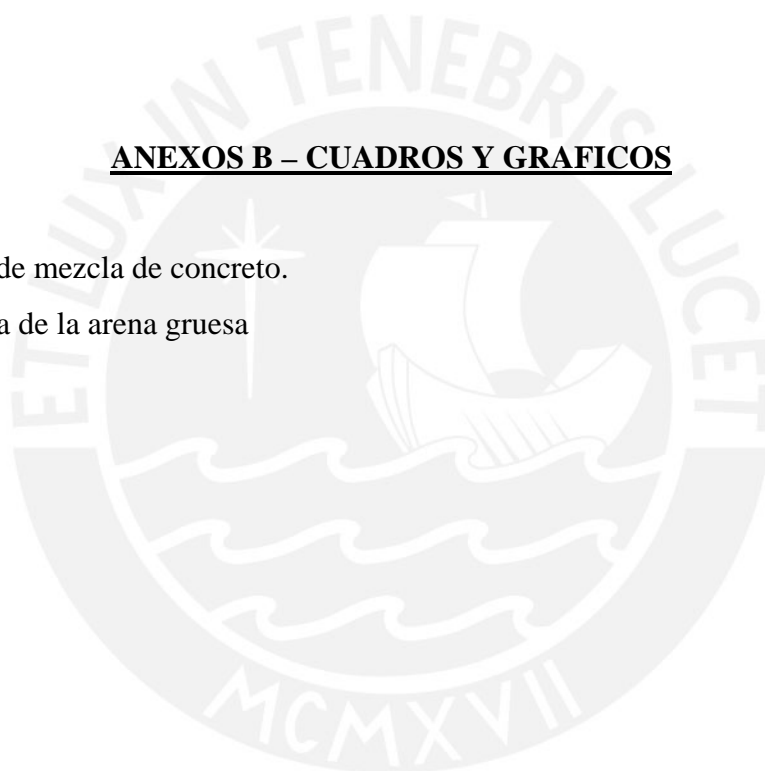
## ANEXOS

### ANEXOS A - LAMINAS

Muro M1 después del ensayo.	Lámina 7
Muro M2 después del ensayo.	Lámina 8
Muro M3 después del ensayo.	Lámina 9

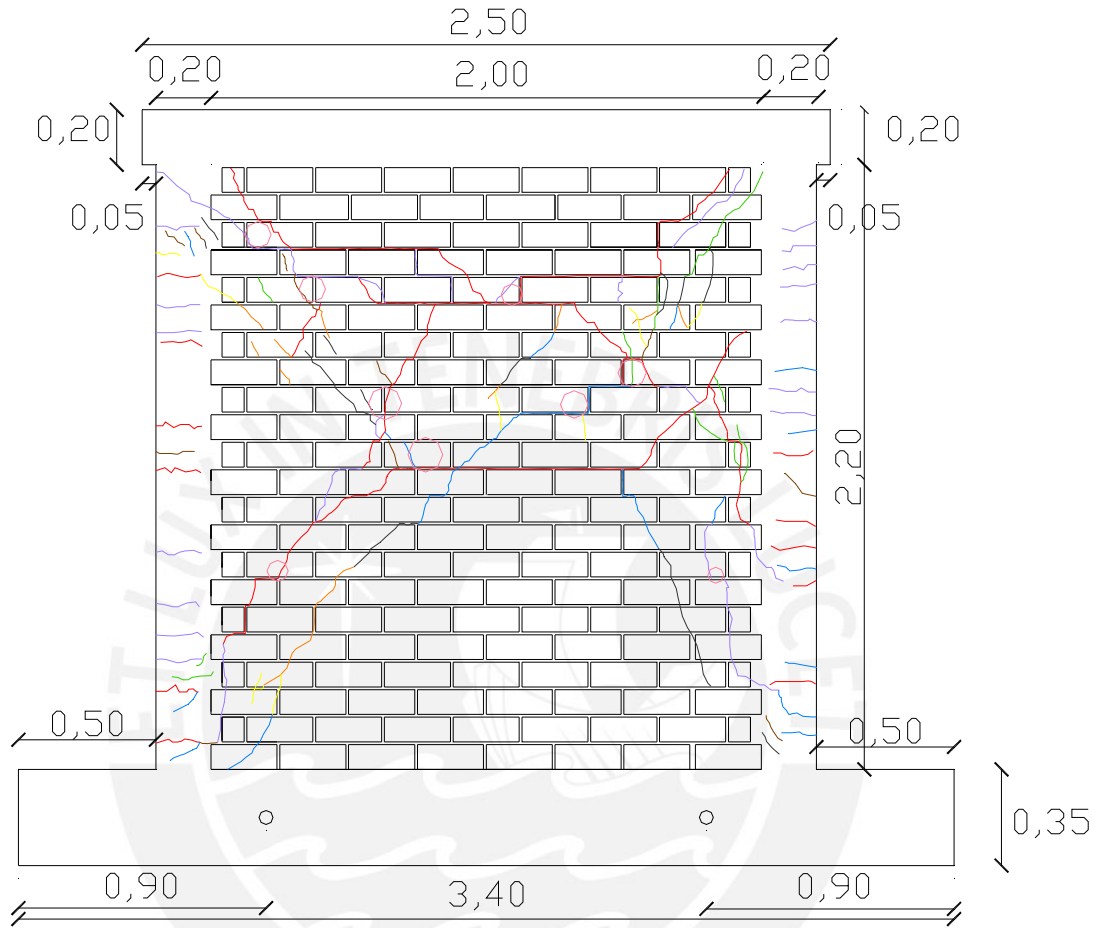
### ANEXOS B – CUADROS Y GRAFICOS

Dosificación de mezcla de concreto.	Anexo B - 1
Granulometría de la arena gruesa	Anexo B - 2





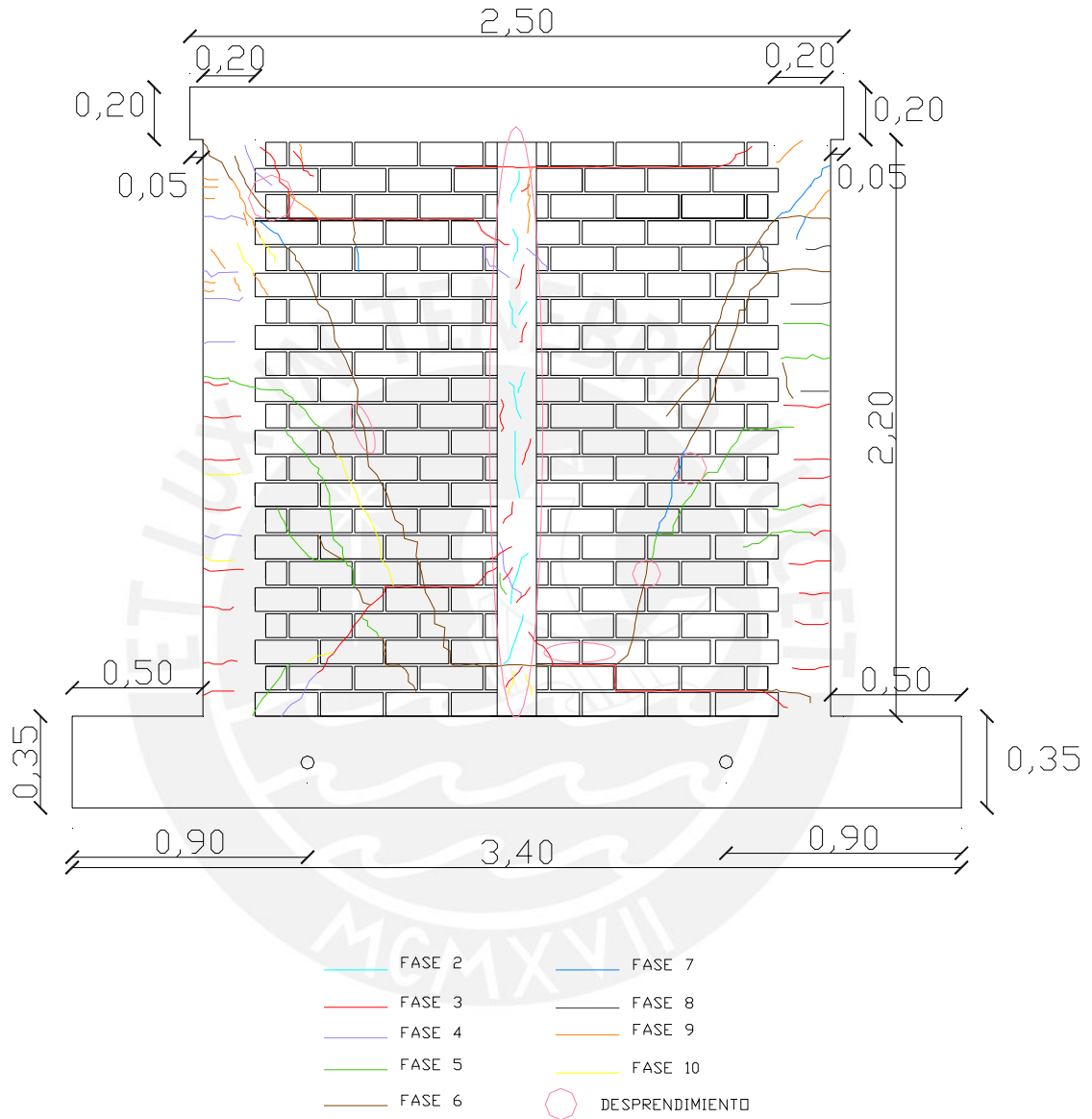
MURO M1 POST ENSAYO



- FASE 2
- FASE 3
- FASE 4
- FASE 5
- FASE 6
- FASE 7
- FASE 8
- FASE 9
- FASE 10
- DESPRENDIMIENTO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA-ESPECIALIDAD ING. CIVIL	
ASESOR: ING. ANGEL SAN BARTOLOME	ALUMNOS: CRISTHIAN CHUQUIN M. JORGE PAREDES S. CODIGO: INFLE 186-05
MURO M1 DESPUES DEL ENSAYO	
TEMA: "COMPORTAMIENTO SISMICO DE UN MURO CONFINADO CON INSTALACION SANITARIA EN SU INTERIOR"	LAMINA: 7

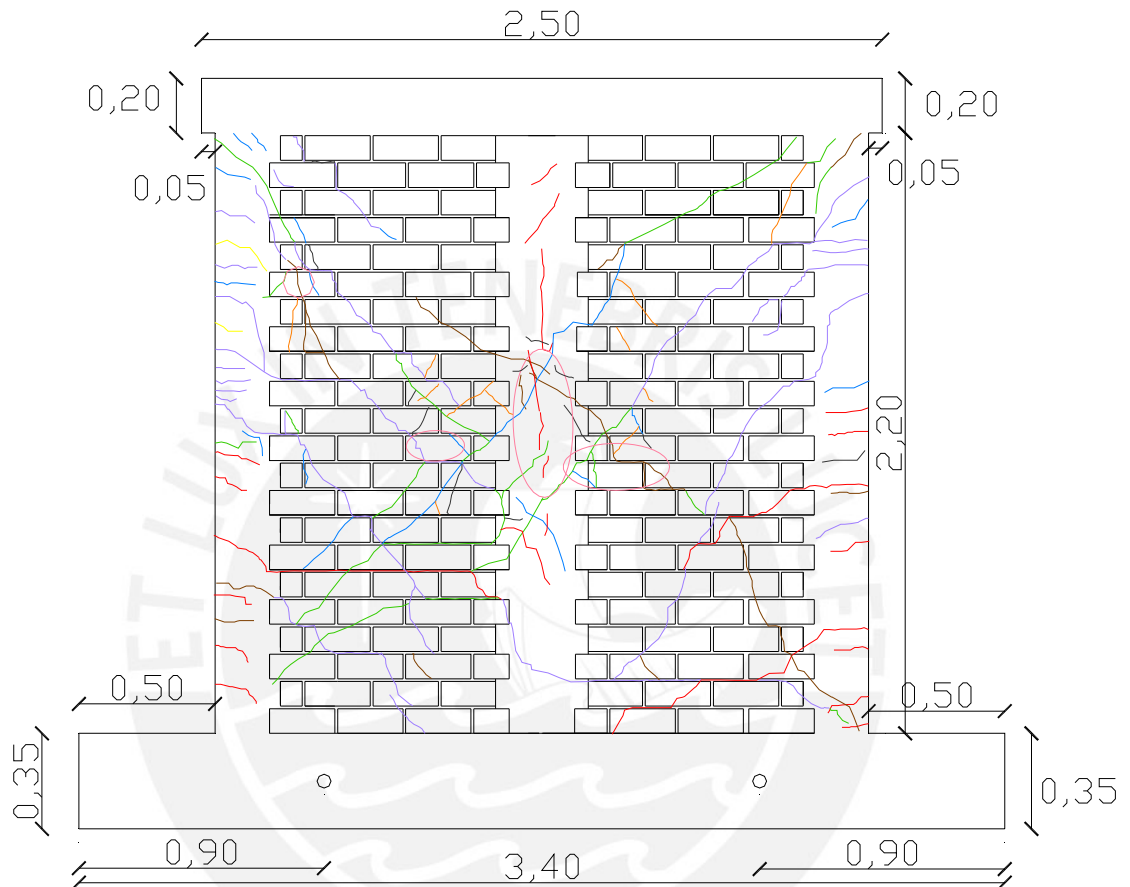
MURO M2 POST ENSAYO



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA-ESPECIALIDAD ING. CIVIL	
ASESOR: ING. ANGEL SAN BARTOLOME	ALUMNOS: CRISTHIAN CHUQUIN M. JORGE PAREDES S. CODIGO: INFLE 186-05
MURO M2 DESPUES DEL ENSAYO	
TEMA: *COMPORTAMIENTO SISMICO DE UN MURO CONFINADO CON INSTALACION SANITARIA EN SU INTERIOR*	LAMINA: 8



MURO M3 POST ENSAYO



- FASE 2
- FASE 3
- FASE 4
- FASE 5
- FASE 6
- FASE 7
- FASE 8
- FASE 9
- FASE 10
- DESPRENDIMIENTO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA-ESPECIALIDAD ING. CIVIL	
ASESOR: ING. ANGEL SAN BARTOLOME	ALUMNOS: CRISTHIAN CHUQUIN M. JORGE PAREDES S. CODIGO: INFLE 186-05
MURO M3 DESPUES DEL ENSAYO	
TEMA: "COMPORTAMIENTO SISMICO DE UN MURO CONFINADO CON INSTALACION SANITARIA EN SU INTERIOR"	LAMINA: 9



ANEXO B-1

**DOSIFICACION DE MEZCLAS DE CONCRETO (METODO ACI)**

**CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES Y DE LA MEZCLA**

	Marca	Tipo	P.E. (kg/m3)
CEMENTO	Sol	I	3120

AGREGADOS		
Propiedad	Arena	Piedra
T.M.	-	1/2"
M.F.	2.66	-
Peso específico seco(kg/m3)	2640	2680
Peso unitario compact.(kg/m3)	-	1600
Absorción (%)	0.7	0.5
Humedad (%)	6	2

**DISEÑO DE LAS MEZCLAS**

Elemento	<b>f'c = 210 kg./cm<sup>2</sup></b>		<b>f'c = 175 kg./ cm<sup>2</sup></b>	
	<b>Slump = 4"</b>		<b>Slump = 4"</b>	
	A/C		A/C	
		0.674		0.74
	m3	Kg.	m3	Kg.
Agua	0.216	216	0.216	216
Cemento	0.103	321	0.094	293
Piedra	0.337	903	0.337	903
Arena	0.319	841	0.328	866
Aire	0.025	-----	0.025	-----
<b>Total</b>	<b>1.000</b>	<b>2281</b>	<b>1.000</b>	<b>2278</b>

Efectuando las correcciones por humedad y absorción, se obtienen los diseños finales.

Elemento	<b>DISEÑOS FINALES DE MEZCLAS</b>			
	<b>(1.0 m3)</b>		<b>(0.5 m3)</b>	
	<b>f'c = 210 Kg/cm2</b>	<b>f'c = 175 Kg/cm2</b>	<b>f'c = 210 Kg/cm2</b>	<b>f'c = 175 Kg/cm2</b>
	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.
Agua	156	154	7.8	7.7
Cemento	321	293	16.05	14.65
Piedra	921	921	46.05	46.05
Arena	891	918	44.55	45.9
Aire	-----	-----	-----	-----
<b>Total</b>	<b>2289</b>	<b>2286</b>	<b>114.45</b>	<b>114.3</b>

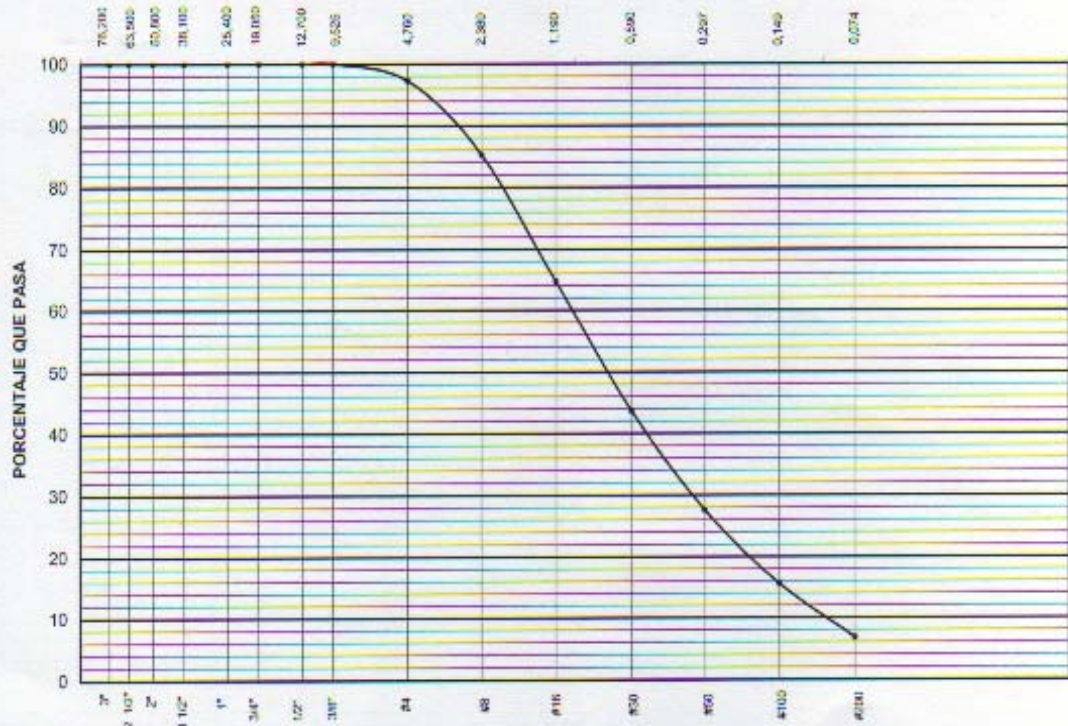
ANEXO B-2



Pontificia Universidad Católica del Perú  
*Laboratorio de Mecánica de Suelos*

**PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS  
ASTM C-136**

Solicitante :	CRISTHIAN ROBERTO CHUQUÍN MONTOYA - JORGE ENRIQUE PAREDES SALAZAR	Expediente :	05-226
Proyecto :	TESIS DE INVESTIGACIÓN "COMPORTAMIENTO SISMICO DE UN MURO CONFINADO CON INSTALACIÓN SANITARIA EN SU INTERIOR"	Fecha :	07-Sep-2005
Muestra :	ARENA GRUESA		



Huso ASTM N° (para agregados gruesos) :	-----	Peso Especifico de la Masa (Bulk) :	-----
Tamaño Máximo :	9,53 mm	Peso Bulk Superficialmente Seco :	-----
Tamaño Máximo Nominal :	-----	Peso Especifico Aparente :	-----
Módulo de Fineza :	2,66	Humedad de Absorción :	-----
Peso Unitario Compactado :	-----	Humedad Natural :	-----
Peso Unitario Suelto :	-----		
Tamiz ASTM	Porcentaje que pasa	Tamiz ASTM	Porcentaje que pasa
3"	100	#4	97
2 1/2"	100	#8	85
2"	100	#16	65
1 1/2"	100	#30	44
1"	100	#50	28
3/4"	100	#100	16
1/2"	100	#200	6,7
3/8"	100	-----	-----

MANUEL A. OLCESE FRANZERO  
Ingeniero Civil CIP 12969  
Jefe del Laboratorio