



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 CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**CONTROL DE LA TRITURACIÓN DE LOS LADRILLOS
HUECOS EN MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA
SUJETOS A CARGA LATERAL CÍCLICA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presentan los
bachilleres:

Jonathan Gerardo Paredes Castro

David Jesús Caycho Pérez

ASESOR: Ing. Ángel San Bartolomé

Lima, Abril del 2009

RESUMEN

En el Perú el método de construcción más utilizado es a base de muros portantes de albañilería confinada en viviendas y edificios de hasta 5 pisos; pero debido a la informalidad de nuestro medio, la falta de criterio técnico y el bajo costo en comparación con ladrillos sólidos, estos muros son construidos generalmente con ladrillos de arcilla que tienen más de 30% de área de huecos, lo que está prohibido por la Norma Técnica E.070, debido a su mal desempeño ante los sismos.

El objetivo del presente proyecto de investigación es controlar la trituración de los ladrillos de arcilla que presentan más del 30% de área de huecos, colocándoles un refuerzo horizontal en una cuantía mínima de 0.001, esperando que este refuerzo atenúe el grosor de las grietas en los muros y así se evite la pérdida de la resistencia y rigidez de los mismos cuando están sujetos a cargas laterales cíclicas.

Para la realización del mencionado proyecto, se construyeron dos muros a escala natural, uno de manera tradicional (M1) y otro con el refuerzo horizontal propuesto (M2). Ambos muros fueron sometidos a un ensayo de carga lateral cíclica con desplazamientos controlados, con el objetivo de comparar su comportamiento sísmico.

Al término de los ensayos se pudo observar que la adición de refuerzo horizontal atenúa el grosor de las grietas diagonales, retardando la trituración de las unidades de albañilería huecas, lo que evita la pérdida de resistencia y rigidez en los muros en las etapas tempranas del ensayo.

ÍNDICE:

CAPITULO 1	<u>GENERALIDADES</u>	
	1.1 Descripción del proyecto	6
	1.2 Objetivos del proyecto	7
	1.3 Revisión bibliográfica	7
CAPITULO 2	<u>CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES</u>	
	2.1 Muros	11
	2.1.1 Vigas de cimentación	13
	2.1.2 Columnas de confinamiento	14
	2.1.3 Vigas soleras	15
	2.2 Pilas y Muretes	15
	2.2.1 Pilas	15
	2.2.2 Muretes	16
	2.3 Mano de obra	17
	2.4 Planificación del Trabajo	17
CAPITULO 3	<u>MATERIALES UTILIZADOS</u>	
	3.1 Unidades de albañilería	18
	3.2 Ensayos realizados	18
	3.2.1 Área de Huecos	19
	3.2.2 Variación Dimensional	20
	3.2.3 Alabeo	21
	3.2.4 Humedad Natural	22
	3.2.5 Succión	23
	3.2.6 Densidad	25
	3.2.7 Absorción	26
	3.2.8 Absorción Máxima	27
	3.2.9 Compresión Axial	28
	3.3 Cemento	29
	3.4 Agregados	29
	3.5 Mortero	30
	3.6 Concreto	30
	3.7 Acero	32

CAPITULO 4	<u>CARACTERÍSTICAS DE LA ALBAÑILERÍA</u>	
4.1	Prismas de albañilería	34
4.2	Pilas	35
	4.2.1 Cálculo de la resistencia a compresión axial	36
	4.2.2 Tipos de fallas de las pilas	38
4.3	Muretes	39
	4.3.1 Cálculo a la resistencia al corte puro	40
	4.3.2 Tipos de fallas de los muretes	41
CAPITULO 5	<u>ANÁLISIS TEÓRICO DE LOS MUROS A ESCALA NATURAL</u>	
5.1	Sección transformada	43
5.2	Rigidez lateral	44
5.3	Fisuración en tracción por flexión	44
5.4	Agrietamiento lateral teórico	45
5.5	Resistencia a la falla asociada por flexión	46
5.6	Tipo de falla esperada	46
CAPITULO 6	<u>MUROS</u>	
6.1	Diseño	47
	6.1.1 Diseño de vigas de cimentación y de vigas soleras	47
	6.1.2 Diseño de las columnas	49
	6.1.3 Diseño del refuerzo horizontal continuo de los muros	52
6.2	Construcción de los muros	53
	6.2.1 Características comunes	53
	6.2.2 Proceso constructivo	54
	• Vigas de cimentación	54
	• Unidades de albañilería	55
	• Columnas	57
	• Vigas soleras	58
	6.3.3 Mano de obra	59

CAPITULO 7	<u>ENSAYOS CÍCLICOS DE CARGA LATERAL</u>	
	7.1 Ensayos de desplazamiento	
	incremental cíclico	60
	7.2 Técnica de ensayo	60
	7.3 Fases del ensayo	61
	7.4 Montaje e instrumentación	62
	7.5 Comportamiento de los muros	64
	7.6 Revisión post ensayo de los muros	74
	7.7 Resultados y Procesamiento de Datos	76
	7.7.1 Resultado de los ensayos	76
	7.7.2 Diagrama histeréticos	76
	7.7.3 Envoltente fuerza cortante vs.	
	desplazamiento lateral	77
	7.7.4 Distorsión angular	79
	7.7.5 Degradación de la rigidez	79
	7.7.6 Capacidad de carga máxima	80
	7.7.7 Grosos máximos de grietas	80
	7.7.8 Comportamiento del refuerzo	
	vertical	81
CAPITULO 8	<u>ANÁLISIS DE COSTOS</u>	
	8.1 Materiales	83
	8.2 Mano de obra	84
	8.3 Precios unitario	84
	8.4 Análisis de costos	85
CAPITULO 9	<u>CONCLUSIONES</u>	
	9.1 Conclusiones	86
	9.2 Línea futura de investigación	88
BIBLIOGRAFÍA		93
ANEXOS		

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Los ladrillos de arcilla huecos (con más del 30% del área bruta ocupada por las perforaciones) son mucho más económicos que los ladrillos de arcilla sólidos y además son muy usados en la construcción informal. Esto hace que los ladrillos de arcilla huecos sean comúnmente utilizados en nuestro medio en la construcción de muros portantes de albañilería confinada, pese a que la Norma Técnica E.070 prohíbe su uso.

En ensayos anteriores (ver capítulo 1.3) realizados a muros de albañilería confinada, se presentó la trituración de los ladrillos, en especial en la región central de los muros, generando una gran disminución en la resistencia y rigidez de los mismos en etapas tempranas del ensayo. Esto se debe a las continuas aberturas y cerramientos de las grietas diagonales, siendo el deterioro mayor cuanto más gruesa son esas grietas.

La presente investigación consiste en evaluar una técnica que permita el control de la trituración de ladrillos huecos de arcilla.

Esta técnica consiste en añadir un refuerzo horizontal en una cuantía de 0.001 para disminuir el grosor de grietas diagonales del muro, lo que atenuara en gran medida la trituración de los ladrillos, mejorando el comportamiento sísmico del muro. Además, en zonas críticas del muro, se rellenaron con mortero algunos ladrillos.

Para evaluar el comportamiento citado en el párrafo anterior, se construyeron dos muros a escala natural, uno de ellos con el método constructivo tradicional y el otro con el refuerzo adicional mencionado. Ambos fueron sometidos a ensayos carga lateral cíclica de desplazamiento lateral controlado.

Ambos muros fueron construidos con las mismas características geométricas, los mismos materiales y la misma mano de obra. Los ensayos también fueron

realizados de forma idéntica (mismo número de fases, mismos desplazamientos máximos por fase y mismo número de ciclos).

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

- a) El objetivo principal de este proyecto es analizar experimentalmente si el uso de refuerzo horizontal en muros de albañilería confinada sujetos a cargas laterales cíclicas, permite controlar la trituración de los ladrillos de arcilla que presenten más de 30% de huecos. Cabe indicar que el uso de estos ladrillos huecos para la construcción de muros portantes se encuentra prohibido por la Norma Técnica E.070.
- b) Estudiar si este refuerzo horizontal disminuye la pérdida de resistencia y rigidez en los muros de albañilería confinada.
- c) Evaluar si la presente propuesta de adición del refuerzo horizontal, es constructiva y económicamente factible.
- d) Analizar la efectividad de los ladrillos huecos taponados con mortero, ubicados en las esquinas del muro (una unidad por cada esquina). Debe indicarse que la trituración de estos ladrillos podría causar problemas de columna corta.

1.3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

a) **Comparación del comportamiento sísmico de un muro de albañilería confinada tradicional y otro caravista.**

José Eduardo Ordóñez Zenteno

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil

Copia disponible en Hemeroteca FACI - PUCP

Lima 2005

El objetivo general de esta investigación fue estudiar la resistencia a fuerza cortante en muros construidos con albañilería caravista, con unidades asentadas con mortero de arena fina, bruñadas y con una conexión albañilería-columna al ras con adición de mechas de anclaje. Este muro fue comparado con otro construido

tradicionalmente, con unidades asentadas con mortero de arena gruesa y con una conexión albañilería-columna dentada, para determinar si el uso de muros caravista es viable en la construcción de viviendas que no requieran mucha resistencia ante los sismos.

Los resultados de los ensayos de la presente tesis fueron comparados con los resultados de la tesis de José Ordoñez, dado que ambas tesis presentaban muros con características similares, salvo en las unidades de albañilería (porcentaje de huecos de 45% para el muro MT de José Ordoñez y 50% para el muro M1 de esta tesis). Esta comparación se realiza en el acápite 7.7.9. A continuación se presenta esquemáticamente (figuras 1.1 a 1.6), los resultados de los muros ensayados por José Ordoñez.

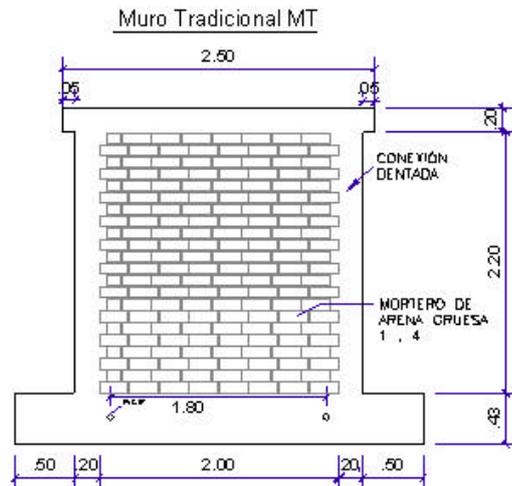


Fig. 1.1 Muro Tradicional

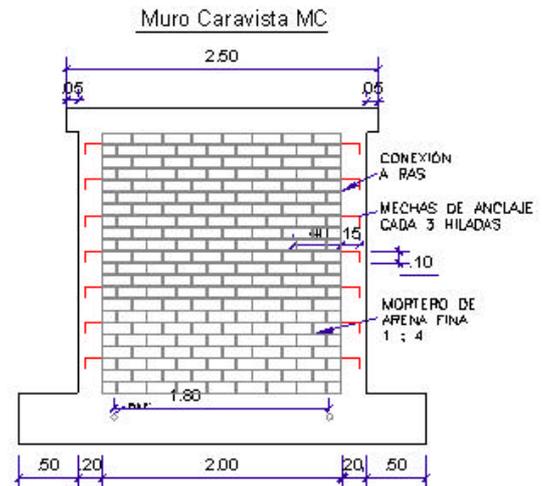


Fig. 1.2 Muro Caravista

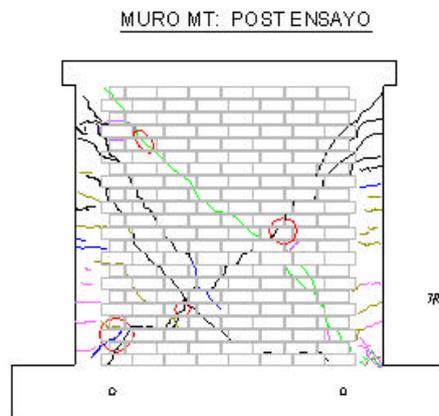


Fig. 1.3 Estado final - Muro

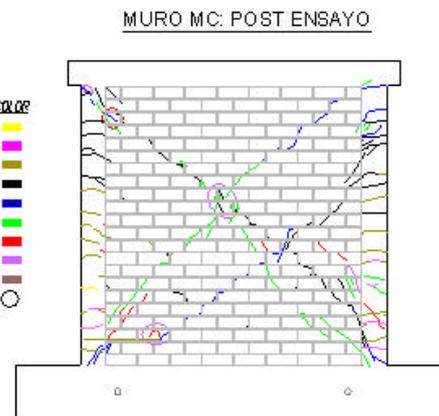


Fig. 1.4 Estado final - Muro

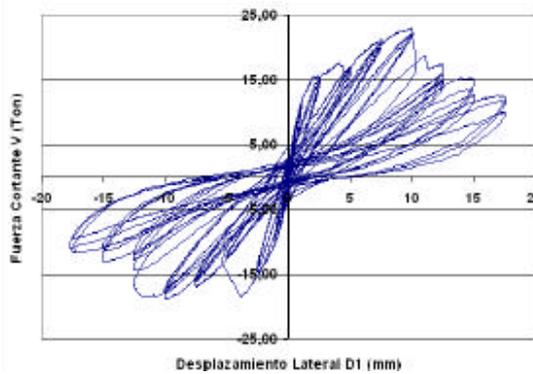


Fig. 1.5 Diagrama Histerético
Muro Tradicional (MT)

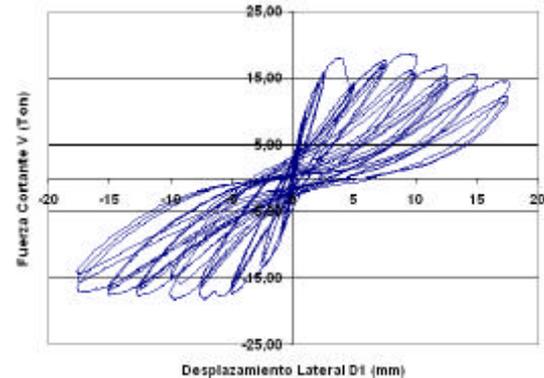


Fig. 1.6 Diagrama Histerético
Muro Caravista (MC)

b) Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla.

Paola Diana Angles Pari

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil

Copia disponible en Hemeroteca FACI - PUCP

Lima 2008

En esta investigación se pretendió comparar las propiedades físicas y mecánicas de dos tipos de ladrillos, los ladrillos de arcilla y los ladrillos de concreto vibrado para clasificarlos según la Norma Técnica E.070.

Además se comparó el comportamiento a cargas sísmicas de dos muros, uno construido con unidades de arcilla y otro construido con unidades de concreto vibrado.

c) Efecto de cinco variables sobre la resistencia de la albañilería.

Mirlene del Carmen Castro Feria

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil

Copia disponible en Hemeroteca FACI.

Lima 2001

En esta tesis de investigación se estudió la influencia de cinco variables en la resistencia de la albañilería a compresión axial y a compresión diagonal. Para esto

se construyeron cinco pilas y cinco muretes para cada tipo de parámetro (en total 25 pilas y 25 muretes.)

Las cinco variables en estudio fueron las siguientes:

- El tipo de cemento que se usa en el mortero.
- El tratamiento de la unidad antes del asentado.
- El uso de cal en el mortero.
- El tipo de arena en el mortero.
- El espesor de la junta del mortero.

d) Estudio de la conexión columna albañilería en muros confinados

Italo Gonzáles Galgani

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil

Copia disponible en Hemeroteca FACI - PUCP

Lima 1993

El objetivo de esta tesis de investigación fue estudiar el efecto que tiene la conexión entre las columnas y la albañilería.

Se analizó el comportamiento de dos muros de albañilería confinada sometidos a cargas horizontales y perpendiculares al plano, uno de los muros tuvo una conexión dentada tradicional y el otro una conexión al ras con mechas de anclaje.

COMENTARIOS

Las reseñas bibliográficas de ensayos anteriores, nos sirven de guías para la selección, preparación y construcción de los diferentes especímenes que presentaremos (muros, pilas, muretes, unidades de albañilería, etc.), así como de los diferentes ensayos a los que los someteremos. Pero lo más importante es que nos podemos dar una idea del comportamiento de los muros de albañilería confinada que son sometidos a ensayos de carga lateral cíclica, los resultados y tipos de fallas que presentarían los especímenes, además de conocer como influyen los materiales y el proceso constructivo en los resultados de los mismos.

CAPÍTULO 2

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES

Para poder realizar la evaluación del control de trituración ante desplazamientos incrementales cíclicos, se construyeron dos muros de albañilería confinada a escala natural. Uno fue construido con el procedimiento tradicional (M1) y el otro con el refuerzo horizontal longitudinal adicional, agregando ladrillos totalmente taponados con mortero en los puntos más críticos del muro (M2). Además se construyeron cuatro muretes y cuatro pilas de albañilería como especímenes de control.

2.1. MUROS

Los muros al ser confinados fueron construidos levantando en primer lugar la albañilería sobre una viga de cimentación, para después vaciar el concreto de las columnas y finalmente la viga solera.

Las características que en común presentaron los muros fueron las siguientes (figuras 2.1 y 2.2):

- Las dimensiones de la albañilería son de 2.30 m de altura, 2.00 m de longitud y 0.13 m de espesor.
- Las unidades de ladrillos utilizados son King Kong de 18 huecos que presentaron un porcentaje de huecos mayor que 30%.
- El asentado de los ladrillos fue en aparejo de sogá, con un traslape de medio ladrillo entre hiladas consecutivas.
- La proporción volumétrica del mortero utilizado en el asentado fue de cemento : arena gruesa 1 : 4.
- Tanto las juntas horizontales como verticales fueron de 1.5 cm de espesor.
- La conexión Columna-Albañilería fue de tipo dentada, con dientes de 5 cm, sin mechas.
- Las columnas fueron de 0.13 x 0.20 m y la viga solera fue de 0.20 x 0.20 m.

La diferencia entre los muros como ya se mencionó, es que a uno de ellos se le colocó un refuerzo horizontal de 6 mm cada dos hiladas, embebidos en las juntas.

Además que los alvéolos de las unidades ubicadas en las esquinas superior e inferior fueron rellenos con mortero en la parte central de los mismos.

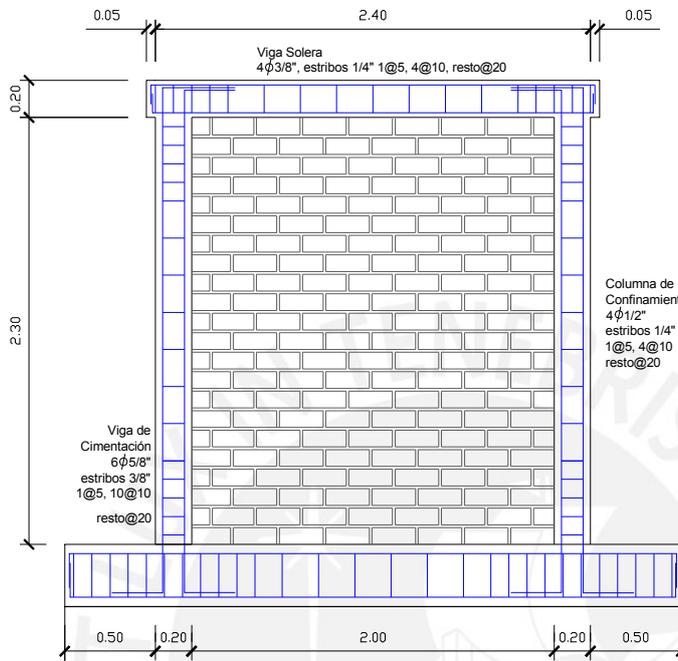


Fig. 2.1 Muro M1

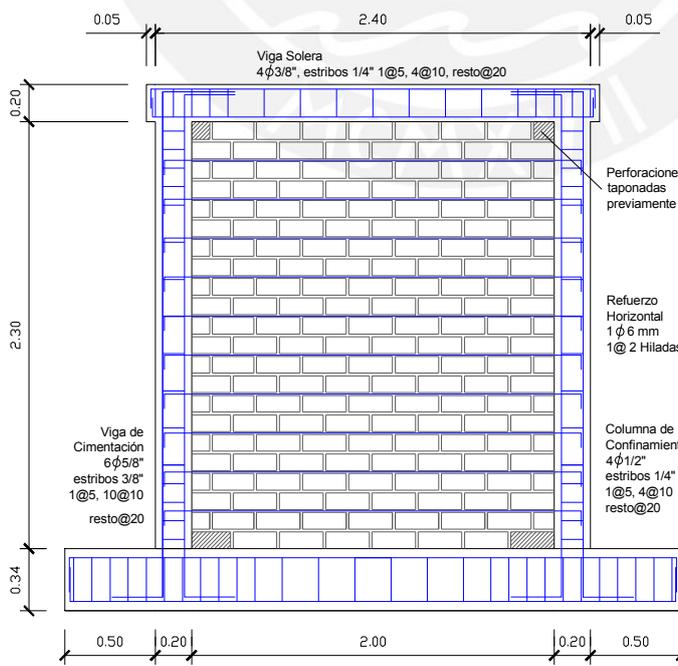


Fig. 2.2 Muro M2

Una vez finalizada la construcción de los muros se procedió al curado de los elementos de concreto.

2.1.1. VIGAS DE CIMENTACIÓN

El diseño de la viga de cimentación de los muros fue de acuerdo a las cargas que estarían actuando: peso propio, esfuerzos producidos durante el izaje, esfuerzos en producidos en el momento del ensayo, etc. Con tales consideraciones, las características de las vigas de cimentación fueron (figura 2.3):

- Dimensiones: 3.40 m de largo, 0.33 m de peralte y 0.30 m de espesor.
- Concreto con una resistencia de 210 kg / cm²
- Refuerzo: 6 Φ 5/8", estribos 3/8" 1@ 5 cm, 10@ 10 cm, resto @ 20 cm.

El tiempo de fragua antes de comenzar con la construcción de los muros fue aproximadamente de un mes por razones ajenas al proyecto, tiempo suficiente para que las vigas adquieran su resistencia máxima. El refuerzo vertical de las columnas fue anclado en la cimentación.

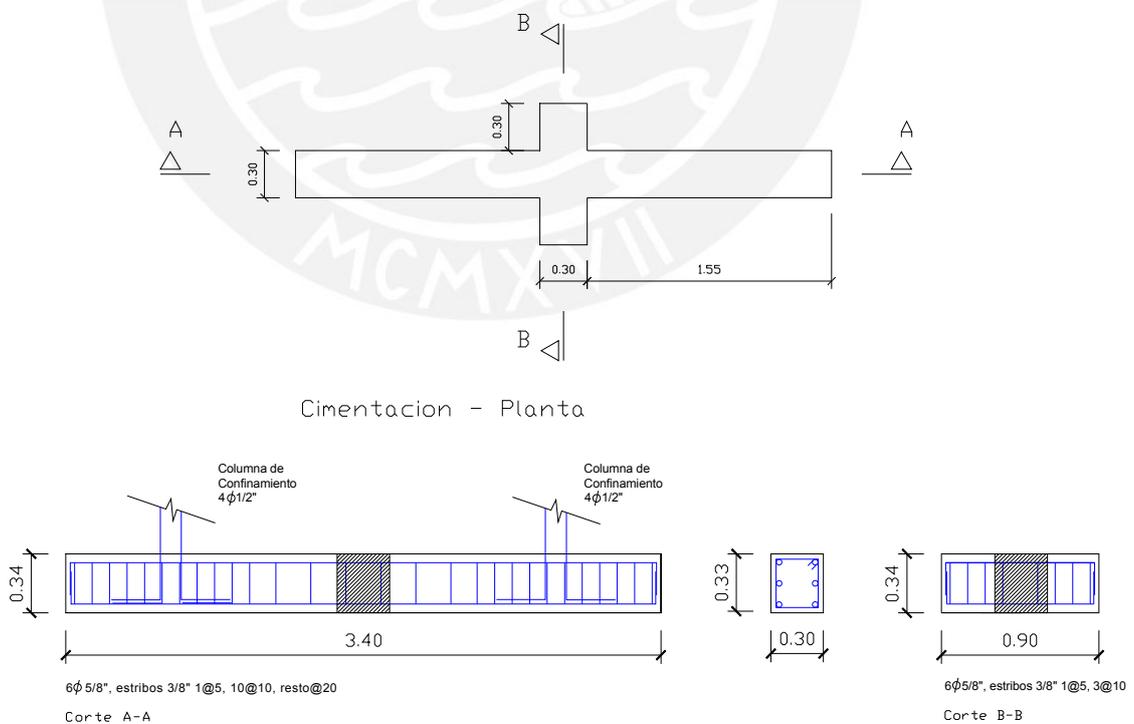


Fig. 2.3 Viga de Cimentación

2.1.2. COLUMNAS DE CONFINAMIENTO

El diseño de las columnas fue calculado para poder soportar la carga del agrietamiento diagonal, según lo especificado en la Norma Técnica E.070, con tales consideraciones las características de las columnas fueron:

- Dimensiones: 0.13 m de ancho, 0.20 m de peralte y 2.30 m de alto.
- Concreto con una resistencia de 175 kg / cm^2
- Refuerzo: $4 \Phi 1/2"$, estribos $1/4"$ $1@ 5 \text{ cm}$, $4@ 10 \text{ cm}$, resto $@ 20 \text{ cm}$.

La conexión columna-viga de cimentación y viga solera fue mediante el anclaje del refuerzo de la columna según se muestra en la figura 2.4

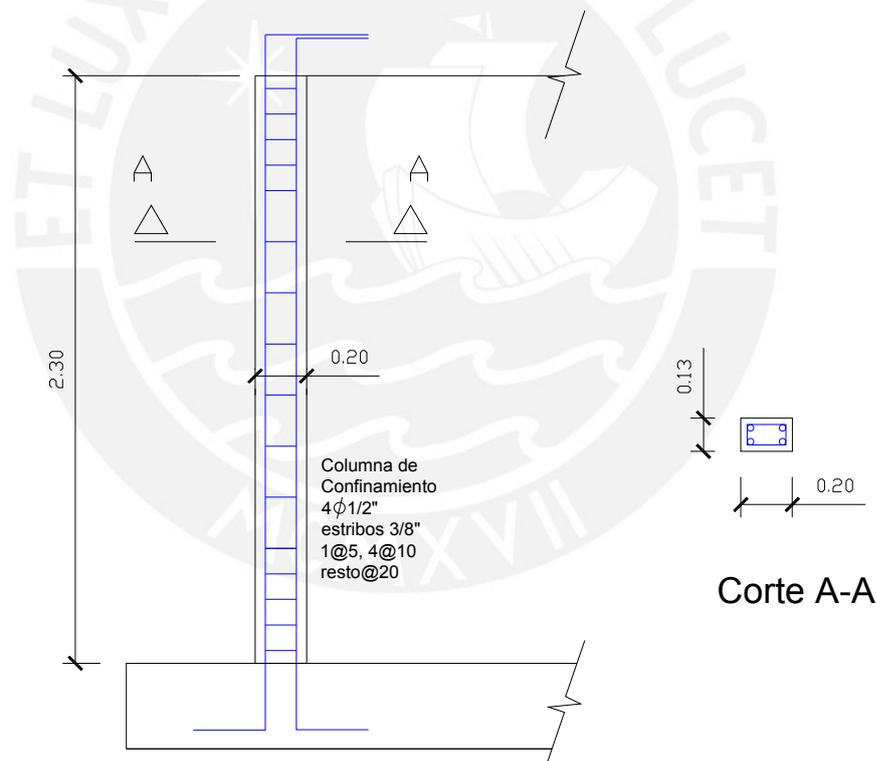


Fig. 2.4 Columnas de Confinamiento

2.1.3. VIGA SOLERA

De la misma manera que las columnas y la viga de cimentación, el diseño se realizó según las consideraciones de la Norma Técnica E.070, siendo sus características las siguientes (figura 2.5):

- Dimensiones: 0.20 m de ancho, 0.20 m de peralte y 2.50 m de largo.
- Concreto con una resistencia de 175 kg / cm^2
- Refuerzo: $4 \Phi 3/8"$, estribos $1/4"$ $1@ 5 \text{ cm}$, $4@ 10 \text{ cm}$, resto $@ 20 \text{ cm}$.

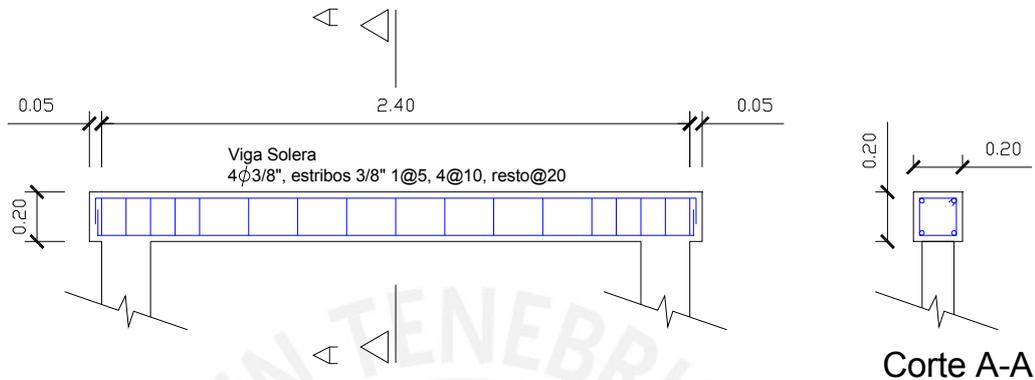


Fig. 2.5 Viga Solera

2.2. PILAS Y MURETES

Con la finalidad de poder determinar las propiedades de la albañilería simple construyeron cuatro muretes y cuatro pilas, para someterlas a compresión axial y diagonal.

2.2.1. PILAS

Las características de las pilas (figura 2.6) fueron:

- Dimensiones: 0.23 m de ancho, 0.13 m de espesor y 0.60 m de alto.
- Las unidades utilizadas fueron las mismas que se utilizaron para la construcción de los muros (ladrillos King Kong 18 huecos con más de 30% de huecos).
- La proporción volumétrica cemento : arena del mortero para el asentado de las unidades fue de 1 : 4, con un espesor de junta de 1.5 cm.
- El tiempo de fraguado antes de ser sometido al ensayo de compresión axial fue de 28 días.

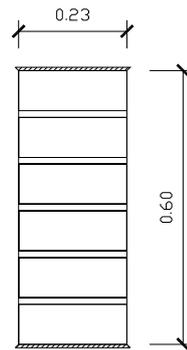


Fig. 2.6 Pila Típica

2.2.2. MURETES

Las características de los muretes (figura 2.7) fueron:

- Dimensiones: 0.60 m de ancho, 0.13 m de espesor y 0.60 m de alto.
- Las unidades utilizadas fueron las mismas que se utilizaron para la construcción de los muros (ladrillos King Kong 18 huecos con más de 30% de huecos).
- La proporción volumétrica cemento : arena del mortero para el asentado de las unidades fue de 1 : 4, con un espesor de junta de 1.5 cm.
- El tiempo de fraguado antes de ser sometido al ensayo de compresión diagonal fue de 28 días.
- Para evitar la falla local por aplastamiento de las unidades ubicadas en los extremos diagonales de los muretes, los cuales se encuentran en contacto directo con los cabezales metálicos del equipo, se llenaron con mortero los alvéolos de dichas unidades.

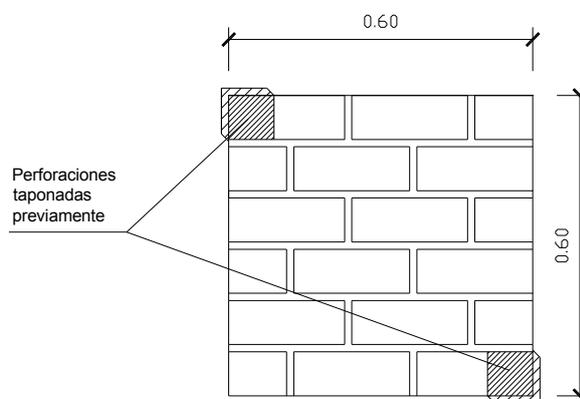


Fig. 2.7 Murete Típico

Murete Típico

2.3. MANO DE OBRA

El personal del Laboratorio de Estructuras de la PUCP estuvo a cargo de la habilitación y construcción de las vigas de cimentación, siendo la construcción de los muros, muretes y pilas responsabilidad de los tesisistas, por lo que se contó con un personal experimentado en el área de la construcción.

2.4. PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO

La investigación parte de la definición de las características principales de los especímenes a construir, tales como muros, muretes y pilas. Por lo cual se realizó el diseño de la albañilería para el caso de los muros y el diseño del concreto armado para las columnas y vigas, continuando con la construcción de los muros de albañilería a escala natural, utilizando un procedimiento constructivo lo más cercano a cómo se construye en nuestro medio.

Posterior a la construcción de los muros mencionados, se prosiguió con la construcción de los muretes y pilas para realizar los ensayos de corte y compresión axial respectivamente. Paralelamente, se realizó ensayos en las unidades utilizadas en la construcción de los especímenes mencionados, para determinar sus propiedades físicas y mecánicas; luego se realizó el ensayo de carga lateral cíclica en los muros.

Una vez realizados todos los ensayos, se continuó con el procesamiento y análisis de los resultados obtenidos, comparándolos con los resultados teóricos para así obtener las conclusiones respectivas.

CAPÍTULO 3

3. MATERIALES UTILIZADOS

3.1. UNIDAD DE ALBAÑILERÍA

Para los propósitos de este proyecto, se necesitaron ladrillos huecos de arcilla King Kong, por lo que se requirió una marca comercial que presente la mayor cantidad de área de huecos. Posterior a diversas comparaciones entre diferentes marcas se optó por utilizar unidades producidas por la ladrillera LARK (figura 3.1).

Estos ladrillos presentan una textura uniforme, lisa en las caras verticales y rugosa en las caras horizontales, esta rugosidad mejora la adherencia ladrillo-mortero.

Especificaciones técnicas del fabricante:

- Tipo King Kong de 18 huecos, tipo IV
- Medidas 9 x 12.5 x 23 cm.
- Peso 2.70 kg.
- Rendimiento 36 und / m²
- Resistencia 132 kg./ cm²
- Absorción 13.50 %



Fig. 3.1 Ladrillo KK
18 Huecos tipo IV

Antes de utilizar estos ladrillos, se realizó una selección de las unidades eliminándose aquellas que se encontraron en mal estado, de esta manera buscamos eliminar la influencia de la calidad sobre el parámetro en análisis.

3.2. ENSAYOS REALIZADOS

De las unidades de albañilería seleccionadas se determinaron sus características geométricas, físicas y mecánicas, de acuerdo a la Norma Técnica E.070, para poder limitar su aplicación en diseños estructurales.

Para realizar el muestreo de las unidades se empleó la Norma ITINTEC 331.019, empleándose la secuencia sugerida para lotes de hasta 50 millares.

3.2.1. Área de Huecos.- El valor del porcentaje del área de huecos de las unidades de albañilería se obtuvo mediante el procedimiento de la Norma ASTM C-67.

Las perforaciones favorecen a la cocción de los ladrillos de arcilla, pero los debilitan ante los esfuerzos de compresión. Por tal razón en la Norma Técnica E.070 se obliga emplear ladrillos con un máximo de hasta 30 % de huecos para la construcción de muros portantes.

Para realizar este cálculo se toman las unidades y se rellenan los alveolos con Arena Ottawa (arena estándar), después se calcula el volumen de la arena con una pipeta graduada y este volumen se compara con el volumen total del ladrillo (figuras 3.2 y 3.3).



Fig. 3.2 Llenado de alveolos con arena Ottawa.



Fig. 3.3 Cálculo del volumen de la arena con la ayuda de una pipeta.

Tabla 3. 1 Dimensionamiento de Unidades – Cálculo del Porcentaje de Huecos

UNIDAD	LARGO (cm)			ANCHO (cm)			ALTO (cm)		
	PROM (cm)	PROM (cm)	PROM (cm)	PROM (cm)	PROM (cm)	PROM (cm)	PROM (cm)	PROM (cm)	
VAC - 1	22,80	22,90	22,85	12,20	12,30	12,25	9,10	9,10	9,10
VAC - 2	22,90	23,00	22,95	12,30	12,20	12,25	9,00	9,00	9,00
VAC - 3	23,00	23,00	23,00	12,20	12,40	12,30	9,30	9,10	9,20
VAC - 4	23,00	22,90	22,95	12,30	12,30	12,30	9,00	9,00	9,00
VAC - 5	23,10	23,20	23,15	12,40	12,30	12,35	9,00	9,20	9,10

Tabla 3. 2 Cálculo del Porcentaje de Huecos

UNIDAD	VOLUMEN BRUTO (cm ³)	VOLUMEN ARENA (lbs)	VOLUMEN ARENA (cm ³)	% Huecos
VAC - 1	2547,20	1,30	1300,00	51,04
VAC - 2	2530,24	1,27	1270,00	50,19
VAC - 3	2602,68	1,29	1290,00	49,56
VAC - 4	2540,57	1,29	1290,00	50,78
VAC - 5	2601,71	1,28	1280,00	49,20

PROM (%) 50.00

El valor obtenido es 50% de área de huecos, la Norma Técnica E.070 las clasifica dentro de unidades albañilería hueca, no apta para ser empleadas en la construcción de muros portantes, pero vuelve a remarcar que estos ladrillos se utilizan en esta investigación, porque se pretende controlar su trituración ante cargas laterales cíclicas.

3.2.2. Variación Dimensional.- De este ensayo depende el espesor de la junta: a mayor variación, mayor espesor de junta y mientras mayor sea el espesor de la junta, menor será la resistencia a compresión y la fuerza cortante del muro de la albañilería.

Este ensayo consiste en tomar milimétricamente las dimensiones en los puntos medios de las aristas que limitan cada cara. Las dimensiones se tomaron como el promedio de 4 medidas (figura 3.4).



Fig. 3.4 Medición de ladrillos milimétricamente

La siguiente fórmula expresa la variabilidad dimensional en porcentaje:

La siguiente fórmula expresa la humedad natural:

Ecuación 3.2

$$W(\%) = \frac{100 \times (\text{PesoNatural} - \text{PesoSeco})}{\text{PesoSeco}}$$

Tabla 3. 6 Cálculo de Humedad Natural

UNIDAD	PESO NATURAL (gr)	PESO SECO (gr)	HUMEDAD NATURAL (%)
HUM - 1	2687,40	2676,50	0,41
HUM - 2	2391,00	2380,90	0,42
HUM - 3	2709,10	2697,70	0,42
HUM - 4	2610,20	2600,20	0,38
HUM - 5	2605,30	2594,70	0,41

PROM (%) 0,41

Los resultados de los ensayos nos dicen que las unidades de albañilería presentan una humedad natural de 0.41%.

3.2.5. Succión.- Es la medida de aidez de la unidad de albañilería y la predisposición a quitarle agua al mortero, lo que ocasiona una adherencia muy débil con la unidad de albañilería. Al debilitar la adherencia mortero-unidad, la succión es determinante en la resistencia a fuerza cortante de la albañilería

La Norma Técnica E.070 recomienda que al instante de asentar las unidades la succión esté comprendida entre 10 a 20 gr / 200 cm² x min, si la succión que presenta es mayor, se debe regar las unidades durante 30 min unas 10 horas antes del asentado.

Para realizar el ensayo se secan las muestras colocándolas en un horno durante 24 horas a una temperatura de 110 °C. Pasado este tiempo se pesan las unidades con una precisión de 0.50 gr.

Se toman medidas con precisión milimétrica del largo y ancho de las caras de las unidades que estarán en contacto con el agua

En una bandeja nivelada con agua se coloca la muestra en unas barras de apoyo y se toma tiempo, la muestra debe estar en contacto con el agua durante 1 min, luego de esto se retira, se seca e inmediatamente se pesa la muestra (figuras 3.7 y 3.8).



Fig. 3.7 Desarrollo del ensayo de succión de los ladrillos

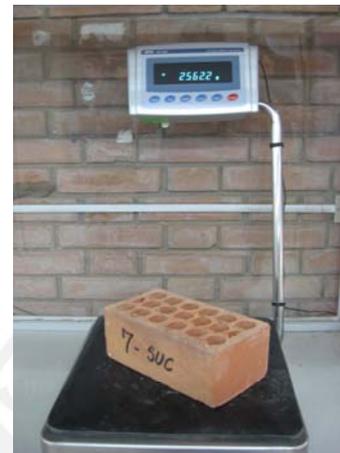


Fig. 3.8 Peso de los ladrillos luego del ensayo

Si el área de contacto de la unidad de albañilería difiere en más de 25% de 200 cm² se corregirá la succión por medio de la siguiente fórmula:

Ecuación 3.3
$$S = \frac{200 \times W}{L \times B}$$

- W = Aumento de peso, en gramos.
- L = Largo promedio de la superficie de contacto, en cm.
- B = Ancho promedio de la superficie de contacto, en cm.
- S = Succión normalizada en 200 cm²

Tabla 3. 7 Ensayo de Succión de las Unidades

UNIDAD	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	PESO SECO (gr)		PROM (gr)	PESO SAT (gr)	SUCCIÓN (gr)
SUC - 1	23,40	12,50	2605,90	2605,80	2605,85	2666,10	41,20
SUC - 2	23,30	12,40	2562,63	2562,30	2562,47	2623,20	42,04
SUC - 3	23,00	12,50	2647,50	2647,30	2647,40	2702,80	38,54
SUC - 4	22,90	12,60	2609,20	2608,80	2609,00	2680,20	49,35
SUC - 5	23,50	12,40	2634,90	2635,00	2634,95	2696,30	42,11

PROM (gr/(200 cm² x min)) 43.00

El valor de la succión obtenida en los ensayos es de 43 gr / (200 cm² x min); se recomienda que la succión antes del asentado de las unidades este en el rango de 10 a 20 gr / (200 cm² x min), por lo que fue necesario regar los ladrillos durante media hora, 10 horas antes de proceder a asentarlos.

3.2.6. Densidad.- De ensayos anteriores realizados se sabe que la densidad de las unidades de albañilería es una de las propiedades más importantes, a mayor densidad, mayor la resistencia de la unidad.

En este ensayo se secan las muestras colocándolas en un horno durante 3 horas a una temperatura de 110 °C, pasado este tiempo se pesan las unidades con una precisión de 0.50 gr.

Luego se colocan las muestras en un recipiente con agua hirviendo y se dejan reposar por 3 horas más (figura 3.9).



Fig. 3.9 Reposo de ladrillos en agua hirviendo

Pasadas las 3 horas, se obtiene el peso de las unidades sumergidas, seguidamente se toma el peso de las unidades sin sumergir.

Para obtener la densidad de las unidades se aplica la siguiente fórmula:

Ecuación 3.4

$$D = \frac{\text{PesoSeco}}{\text{PesoSat} - \text{PesoSum}}$$

D	=	Densidad de las unidades, en gr / cm ³
Peso Sat	=	Peso del espécimen saturado, en gramos
Peso Sum	=	Peso de la muestra saturada sumergida, en gramos
Peso Seco	=	Peso de la muestra seca, en gramos

Tabla 3. 8 Cálculo de la densidad de las Unidades

UNIDAD	PESO SECO (gr)		PROM (gr)	PESO SUM (gr)	PESO SAT (gr)	DENSIDAD (gr / cm ³)
DEN - 1	2734,00	2733,70	2733,85	1731,70	3129,70	1,96
DEN - 2	2638,70	2638,30	2638,50	1668,20	3025,30	1,94
DEN - 3	2672,60	2672,30	2672,45	1684,10	3049,70	1,96
DEN - 4	2661,30	2661,40	2661,35	1681,40	3046,20	1,95
DEN - 5	2683,60	2683,40	2683,50	1694,20	3070,20	1,95

PROM (gr / cm³) 1,95

La densidad de las unidades de albañilería es de 1.95 gr / cm³.

3.2.7. Absorción.- Para obtener la durabilidad de las unidades de albañilería se realizaron ensayos de absorción. Si una unidad tiene un alto índice de absorción quiere decir que será más porosa, por ende menos resistente al intemperismo.

El límite máximo de absorción que especifica la Norma Técnica E.070 para las unidades de arcilla es de 22%.

Las unidades son secadas dentro de un horno (figura 3.10) a una temperatura de 110 °C durante 24 horas, luego se sacan y se pesan. Se dejan enfriar los ladrillos a temperatura ambiente durante 4 horas, luego se introducen en un recipiente con agua destilada a una temperatura entre 15 °C y 30 °C, se dejan reposar completamente sumergidas durante 24 horas (figura 3.11), después de ese tiempo se retiran del recipiente y se pesan.



Fig. 3.10 Secado de los ladrillos durante 24 horas



Fig. 3.11 Reposo de ladrillos en agua fría durante 4 horas

El contenido de agua absorbida se obtiene con la siguiente fórmula:

Ecuación 3.5
$$A = \frac{100 \times (PesoSat - PesoSeco)}{PesoSeco}$$

- A = Contenido de agua absorbida
- Peso Seco = Peso del espécimen seco, en gramos
- Peso Sat. = Peso del espécimen saturado, en gramos

Tabla 3. 9 Cálculo de Absorción de las Unidades

UNIDAD	PESO SECO (gr)		PROM (gr)	PESO SAT (gr)	ABSORCIÓN (%)
ABS - 1	2613,50	2613,30	2613,40	2956,00	13,11
ABS - 2	2578,30	2578,70	2578,50	2915,30	13,06
ABS - 3	2542,90	2543,00	2542,95	2884,60	13,44
ABS - 4	2636,30	2636,30	2636,30	2974,90	12,84
ABS - 5	2601,00	2600,90	2600,95	2937,40	12,94

PROM (%) 13,00

La Norma Técnica E.070 nos señala que para que una unidad sea aceptable su nivel de absorción no será mayor que 22%. Nuestras unidades están dentro de ese límite con un valor para la absorción de 13%.

3.2.8. Absorción Máxima.- La absorción máxima es una medida de la impermeabilidad de las unidades de albañilería, la norma utiliza esta característica para las limitaciones de uso de las unidades.

El primer paso de este ensayo es sumergir las unidades en un recipiente con agua a una temperatura entre los 15 °C y 30 °C (figura 3.12), luego se calienta progresivamente el agua hasta que llegue a su punto de ebullición, se deja hervir durante 5 horas; pasado el tiempo se deja que enfríe el recipiente a una temperatura entre los 15 °C y 30 °C (pérdida de calor natural); al final se sacan las unidades y se pesan.



Fig. 3.12 Ensayo de Absorción Máxima

El contenido de agua absorbida máxima se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\text{Ecuación 3.6} \quad \boxed{ABS_{m\acute{a}x} = \frac{100 \times (PesoSat - PesoSeco)}{PesoSeco}}$$

ABS máx. = Contenido de agua absorbida máxima.

Peso Seco = Peso del espécimen seco, en gramos.

Peso Sat1 = Peso del espécimen saturado a una temperatura entre los 15 °C y 30 °C, en gramos.

Tabla 3. 10 Cálculo de la Absorción Máxima

UNIDAD	PESO SECO (gr)		PROM (gr)	PESO SAT (gr)	ABS máx. (%)
ABS máx. - 1	2708,01	2708,00	2708,01	3114,40	15,01
ABS máx. - 2	2711,30	2711,30	2711,30	3121,70	15,14
ABS máx. - 3	2802,80	2802,60	2802,70	3220,50	14,91
ABS máx. - 4	2732,40	2732,30	2732,35	3142,20	15,00
ABS máx. - 5	2758,20	2758,20	2758,20	3163,80	14,71

PROM (%) 15.00

3.2.9. Compresión Axial.- Esta propiedad nos indica la durabilidad de las unidades, ya que a mayor resistencia a la compresión axial, mayor será su durabilidad. También nos indica la calidad de las unidades de albañilería que empleamos.

Para realizar este ensayo se eligieron al azar 5 unidades y se les colocó un capping de yeso : cemento para tener una superficie de contacto uniforme entre las unidades y el cabezal de la máquina de compresión.

Luego se colocaron las unidades en la máquina de ensayos y se procedió a aplicar la carga a una velocidad de 10.0 ton / min.

La resistencia de las unidades a la compresión axial se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Ecuación 3.7} \quad \boxed{Fb = \frac{P}{A}}$$

- Fb = Resistencia a compresión del ladrillo, en kg / cm²
 P = Carga de rotura, en kg.
 A = Promedio de las áreas brutas superior e inferior, en cm²

Tabla 3. 11 Dimensionamiento de Unidades - Ensayo de Compresión

UNIDAD	LARGO (cm)			ANCHO (cm)			ALTO (cm)		
	PROM (cm)	PROM (cm)	PROM (cm)	PROM (cm)	PROM (cm)	PROM (cm)	PROM (cm)	PROM (cm)	
LAD - 1	23.20	23.00	23.10	12.50	12.40	12.45	0.91	0.91	0.91
LAD - 2	23.20	23.30	23.25	12.40	12.50	12.45	0.93	0.92	0.93
LAD - 3	23.30	22.90	23.10	12.40	12.40	12.40	0.91	0.90	0.91
LAD - 4	23.00	22.70	22.85	12.60	12.50	12.55	0.91	0.90	0.91
LAD - 5	23.20	23.10	23.15	12.30	12.20	12.25	0.81	0.81	0.81

Tabla 3. 12 Cálculo de la Resistencia a la Compresión de las Unidades

UNIDAD	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	AREA (cm ²)	CARGA MAX (kg)	fb (kg /cm ²)
LAD - 1	23.10	12.45	287.60	60178.0	209.25
LAD - 2	23.25	12.45	289.46	47274.0	163.32
LAD - 3	23.10	12.40	286.44	53645.0	187.28
LAD - 4	22.85	12.55	286.77	36272.0	126.49
LAD - 5	23.15	12.25	283.59	54434.0	191.95

PROM (kg /cm²) 175.66
 Desviación estándar 32.01
 f'b (kg /cm²) 144.00

La resistencia característica (f'b) es de 144 kg / cm², por lo que de acuerdo a la Norma Técnica E.070, los ladrillos clasifican como clase IV del tipo hueca (con 50% de huecos)

3.3. CEMENTO

El cemento es un conglomerante hidráulico; al mezclarse con agregados, crea una mezcla uniforme, manejable y plástica, que desarrolla buena resistencia a compresión a temprana edad. Dentro de la mezcla, es componente que proporciona la resistencia.

Para este proyecto se utilizó Cemento Portland Tipo I (Cemento Sol), proveniente de la empresa Cementos Lima S.A.

3.4. AGREGADOS

Son materiales inertes que se prestan a ser ligados por una matriz para conformar una masa aglomerada.

Los agregados finos, consisten en arena natural o piedra triturada siendo el tamaño máximo de sus partículas 5 mm.

El agregado grueso consiste en una grava cuyas partículas son mayores a los 5 mm.

Los agregados ocupan entre el 60 y 70 % del volumen del concreto y sus propiedades influyen en las propiedades del concreto.

En el mortero el agregado fino proporciona estabilidad volumétrica y atenúa la contracción por secado.

Los agregados utilizados fueron embolsados, de la marca FIRTH, provenientes de La Cantera Gloria.

3.5. MORTERO

El mortero es la combinación de aglomerantes (cemento) y aglomerados (agregado fino y agua), cuya función principal es la de unir las unidades de albañilería, absorbiendo las irregularidades que la misma tiene, así como sellar las juntas contra la penetración de aire y humedad.

Los morteros pobres o ásperos son aquellos que tienen poca cantidad de cemento, y por consiguiente resultan muy difíciles de trabajar. Por otro lado, los morteros que tienen gran cantidad de cemento se retraen y producen fisuras, además de ser de mayor costo. Estos factores hacen necesario buscar una dosificación adecuada. En nuestro caso, la proporción volumétrica cemento : arena fue de 1 : 4 (tipo P2 para muros portantes, según la Norma Técnica E.070). La cantidad de agua utilizada fue agregada por el albañil para asegurar su trabajabilidad. Una manera práctica de reconocer la trabajabilidad de la mezcla consiste en coger con el badilejo un poco

de mezcla, sacudirlo verticalmente y girar el badilejo 180°, si la mezcla queda adherida al badilejo unos 15 segundos, la mezcla es trabajable.

3.6. CONCRETO

El concreto es un material capaz de adoptar casi cualquier forma en su estado líquido, siendo un material durable y resistente en su estado sólido. Estas cualidades del concreto lo hacen el material de construcción más popular del mundo.

El concreto es el resultado de la mezcla de cuatro componentes: cemento, agregado, agua y aire, también se puede incorporar un quinto elemento que son los llamados aditivos.

Características del concreto de las vigas de cimentación:

- $f'c$ = 210 kg / cm²
- Slump = 4"
- Tamaño Máximo de Agregado = ½"
- Dosificación en volumen
 - Cemento = 1
 - Arena = 2
 - Piedra = 3
 - Agua = 0.8

Características del concreto de columnas y vigas soleras:

- $f'c$ = 175 kg / cm²
- Slump = 4"
- Tamaño Máximo de Agregado = ½"
- Dosificación en volumen
 - Cemento = 1
 - Arena = 2.5
 - Piedra = 4
 - Agua = 0.8

El concreto se preparó en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP con una mezcladora tipo trompo de 90 litros, con un tiempo de batido de 1.50 minutos.

De cada elemento (vigas de cimentación, columnas y vigas soleras) se fabricaron 4 probetas para ser ensayadas a los 7 y 28 días a compresión axial. Durante el tiempo de espera las probetas estuvieron colocadas en la poza de curado del Laboratorio de Estructuras de la PUCP.

Los resultados de los ensayos de compresión en las probetas son los siguientes:

Tabla 3. 13 Resistencia a Compresión de Probetas de Concreto-Vigas de Cimentación

Probeta	Fecha de vaciado	Edad (días)	Peso (kg)	Diámetro (cm)		Carga Máxima (KN)	Tipo de falla	Esfuerzo (kg / cm ²)
				D1	D2			
VC 1 (M1)	13-feb-08	28	13,875	15,51	15,50	360,00	C	196,33
VC 3 (M2)	13-feb-08	28	13,575	15,24	15,29	420,00	C	236,31
VC 2 (M1)	13-feb-08	28	14,220	15,76	15,69	568,00	B	301,15
VC 4 (M2)	13-feb-08	28	13,170	15,15	15,16	452,00	C	258,02

VELOCIDAD DE ENSAYO 350 KN. M. N

Tabla 3. 14 Resistencia a Compresión de Probetas de Concreto-Columnas

Probeta	Fecha de vaciado	Edad (días)	Peso (kg)	Diámetro (cm)		Carga Máxima (KN)	Tipo de falla	Esfuerzo (kg / cm ²)
				D1	D2			
C 1 (M1)	11-mar-08	7	14,240	15,72	15,76	250,00	C	132,30
C 3 (M2)	11-mar-08	7	13,340	15,31	15,37	232,00	C	129,26
C 2 (M1)	11-mar-08	28	13,345	15,62	15,42	350,00	C	190,50
C 4 (M2)	11-mar-08	28	13,450	15,54	15,34	320,00	C	175,99

VELOCIDAD DE ENSAYO 350 KN. M. N

Tabla 3. 15 Resistencia a Compresión de Probetas de Concreto-Vigas Soleras

Probeta	Fecha de vaciado	Edad (días)	Peso (kg)	Diámetro (cm)		Carga Máxima (KN)	Tipo de falla	Esfuerzo (kg / cm ²)
				D1	D2			
VS 1 (M1)	10-abr-08	7	13,035	15,23	15,25	220,00	C	124,19
VS 3 (M2)	10-abr-08	7	13,550	15,31	15,32	256,00	C	143,10
VS 2 (M1)	10-abr-08	28	13,360	15,28	15,32	332,00	B	185,94
VS 4 (M2)	10-abr-08	28	13,970	15,75	15,74	336,00	C	177,69

VELOCIDAD DE ENSAYO 350 KN. M. N

Las resistencias de las probetas de todos los elementos (vigas de cimentación, columnas y vigas soleras), sobrepasaron la resistencia especificada a los 28 días para cada uno de ellos, por lo tanto se presentó un buen diseño de mezclas.

3.7. ACERO

El acero en barras es usado como refuerzo en elementos de concreto armado, en nuestro caso lo usamos en las vigas de cimentación, columnas, vigas soleras y como refuerzo horizontal en los muros.

En la construcción de los dos muros se utilizó barras de acero corrugado grado 60. Las barras son rectas de sección circular con superficie corrugada para facilitar la adherencia con el concreto.

Las propiedades mecánicas del acero que utilizamos son las siguientes:

- Límite de Fluencia = 4220 – 5710 kg / cm²
- Resistencia máxima a la Tracción = 6330 kg / cm²

Los diámetros que se utilizaron fueron los siguientes:

- Viga de cimentación:
 - Φ 5/8", corridos.
 - Estribos de Φ 3/8"
- Columnas
 - Φ 1/2", corridos.
 - Estribos de Φ 1/4"
- Viga solera
 - Φ 3/8", corridos.
 - Estribos de Φ 1/4"
- Refuerzo horizontal en muros
 - Φ 6 mm

CAPÍTULO 4

4. PROPIEDADES DE LA ALBAÑILERÍA SIMPLE

4.1. PRISMAS DE ALBAÑILERÍA

Para pronosticar el comportamiento que tendrán los muros de albañilería se construyeron varios prismas de albañilería (figura 4.1)

El objetivo de los prismas es que representen a los muros reales de la mejor manera posible, por lo que deben estar expuestos a las mismas condiciones y tener las mismas variables que determinan sus características (humedad, tipo de ladrillos, dosificación del mortero, espesor de las juntas, asentado, mano de obra, etc.), sin dejar de lado que estos prismas además deben ser fáciles de manipular, por lo que sus dimensiones son mínimas.



Fig. 4.1 Pilas y Muretes

Para ambos tipos de prismas se consideró lo siguiente:

- Ubicación de la zona de construcción y fragua.- Se ubicaron en una zona techada del laboratorio, donde no estorbaran el paso y no fueran dañadas durante su proceso de fragua.
- Selección de las unidades de albañilería.- Se seleccionaron separando las unidades dañadas o en mal estado.
- Regado de las unidades de albañilería.- Debido a la alta succión que presentaron las unidades de albañilería, un día antes del asentado se regaron durante media hora.

- Preparación del mortero.- El mortero se dosificó según la Norma Técnica E.070, cemento : arena fue en proporción 1 : 4; el agua fue agregada por el albañil de tal modo de obtener una consistencia trabajable.
- Asentado.- Se construyeron los elementos de manera habitual en nuestro medio (tipo sogá), controlando su verticalidad con la plomada y su altura con un escantillón.
- Fragua.- Se dejó a los prismas fraguar durante 28 días.
- Capping.- Antes de ensayar los prismas se colocó un capping de cemento : yeso de aproximadamente 3 mm de espesor en la parte inferior y superior en el caso de las pilas y en las esquinas opuestas en el caso de los muretes para uniformizar la superficie de contacto de los prismas con el cabezal de ensayo del equipo mecánico.

4.2. PILAS

Para la determinación de la resistencia característica (f_m), la cual viene a ser una de las principales propiedades de la albañilería, se construyeron cuatro pilas considerando las indicaciones mencionados al inicio de este capítulo.

Las características de las pilas son las siguientes (figura 4.2):

- Dimensiones: 0.23 m de ancho, 0.13 m de espesor y 0.60 m de alto.
- Las unidades utilizadas fueron las mismas que se utilizaron para la construcción de los muros (ladrillos King Kong 18 huecos con 50% de huecos).
- La proporción volumétrica del mortero para el asentado de las unidades fue de 1 : 4, con un espesor de 1.5 cm.
- El equipo de carga contó con una gata hidráulica de 200 toneladas y una bomba hidráulica de 600 BAR de capacidad accionada eléctricamente.

El funcionamiento del equipo consiste en convertir la fuerza captada en voltaje mediante una celda de carga hacia una computadora y utilizando el software LabView, nos da un registro de la carga ejercida en toneladas. La velocidad de ensayo fue 10.0 ton / min.



Fig. 4.2 Pilas



Fig. 4.3 Ensayo de Compresión Axial

4.2.1. Cálculo de la resistencia a compresión axial

Para obtener la resistencia a compresión axial de las pilas (f_m) se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 4.1
$$f_m = \frac{P_{m\acute{a}x}}{\text{Área_bruta}}$$

Este valor se corrige según los coeficientes de esbeltez, proporcionado por la Norma Técnica E.070 (tabla 4.1).

Tabla 4. 1 Factor de Corrección f_m por esbeltez (E.070)

Esbeltez	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0
Factor	0.73	0.80	0.91	0.95	0.98	1.00

Características de las pilas:

Tabla 4. 2 Dimensiones de las Pilas

PILA	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Área Bruta (cm ²)	Esbeltez
PILA 1	23,00	12,50	63,50	287,50	4,64
PILA 2	23,00	12,50	63,50	287,50	4,64
PILA 3	23,00	12,50	63,50	287,50	4,64
PILA 4	23,00	12,50	63,50	287,50	4,64

Resultados obtenidos del ensayo:

Tabla 4. 3 Cálculo de la Resistencia a Compresión Axial de las Pilas

PILA	Carga máx. Corregida (ton)	fm (kg / cm ²)	Factor de corrección	fm Corregido (kg / cm ²)
PILA 1	17,28	60,12	1,00	60,31
PILA 2	25,20	87,66	1,00	87,94
PILA 3	18,54	64,48	1,00	64,69
PILA 4	17,48	60,81	1,00	61,01

(*)

(*) Eliminado, por presentar un resultado inconsistente, ya que es mayor según lo esperado por la Norma Técnica E.070.

Obtenemos la desviación estándar (S):

Ecuación 4.2

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n-1}$$

- x_i = variables = (60.31, 64.69, 61.01) kg / cm²
 x = promedio de las variables = 62 kg / cm²
 n = número de variables = 3
 S = **2.35 kg / cm²**

La resistencia característica a compresión axial se obtiene de restar el valor promedio de fm menos una vez una desviación estándar.

Ecuación 4.3

$$f'm = fm - S$$

- f_m = resistencia a la compresión = 62 kg / cm²
 s = desviación estándar = 2.35 kg / cm²
 $f'm$ = **60 kg / cm²**

4.2.2. Tipos de fallas de las Pilas:

En las figuras 4.4 a 4.7 se muestran las fallas que tuvieron las 4 pilas:



Fig. 4.4 Pila 1



Fig. 4.5 Pila 2



Fig. 4.6 Pila 3



Fig. 4.7 Pila 4

Las fallas que presentaron todas las pilas fueron frágiles. Debido a la alta concentración de esfuerzos, las caras laterales de las unidades de albañilería tendieron a deslaminarse (falla común en este tipo de unidades huecas).

4.3. MURETES

Se construyeron cuatro muretes con las mismas condiciones y características mencionadas anteriormente, los cuales ensayados a compresión diagonal, nos permiten calcular la resistencia a fuerza cortante ($V'm$) de la albañilería y predecir

la carga de agrietamiento diagonal de los muros a escala natural, así como su forma de falla.

Las características de los muretes son las siguientes (figura 4.8):

- Dimensiones: 0.60 m de ancho, 0.13 m de espesor y 0.60 m de alto.
- Las unidades utilizadas fueron las mismas que se utilizaron para la construcción de los muros (ladrillos King Kong 18 huecos con 50% de huecos).
- La proporción volumétrica del mortero para el asentado de las unidades fue de 1 : 4. Con un espesor de 1.5 cm.



Fig. 4.8 Muretes



Fig. 4.9 Ensayo de Compresión Diagonal

Para generar la carga se contó con una gata hidráulica de 200 toneladas y una bomba hidráulica de 600 BAR de capacidad.

El funcionamiento del equipo consiste en captar la fuerza ejercida en voltaje mediante una celda de carga hacia una computadora y utilizando el software LabView nos da un registro de la carga ejercida en toneladas. La velocidad de ensayo fue 1.0 ton / min.

4.3.1. Cálculo de la resistencia al Corte Puro

Para obtener la resistencia a corte de los muretes, se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 4.4
$$v_m = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_d}$$

v_m = resistencia al Corte Puro.

P máx. = máxima fuerza que resiste el murete.

A_d = área diagonal del murete

Características de los muretes:

Tabla 4. 4 Dimensionamiento de Muretes

MURETE	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Diagonal Principal (cm)	Área Diagonal (cm ²)
MURETE 1	60,50	12,70	63,00	88,00	1117,60
MURETE 2	61,00	13,00	63,00	88,20	1146,60
MURETE 3	61,00	12,80	63,00	87,60	1121,28
MURETE 4	61,40	12,90	62,80	89,00	1148,10

Resultados obtenidos del ensayo:

Tabla 4.5 Cálculo de la Resistencia al Corte de los Muretes

MURETE	Carga Máx. (KN)	Carga Máx. (Ton)	v_m (kg / cm ²)
MURETE 1	81,59	8,32	7,44
MURETE 2	89,31	9,10	7,94
MURETE 3	108,24	11,03	9,84
MURETE 4	70,52	7,19	6,26

(*)

Descartado, por tener un tipo de falla atípica (deslizamiento, figura 4.13)

Obtenemos la desviación estándar (S):

Ecuación 4.5
$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n - 1}$$

x_i = variables = (7.44, 7.94, 9.84) kg / cm²

x = promedio de las variables = 8.41 kg / cm²

n = número de variables = 3

S = 1.27 kg / cm²

La resistencia característica al corte puro se obtiene de restar el valor promedio de V_m menos una vez la desviación estándar.

Ecuación 4.6 $V'_m = V_m - S$

V_m = resistencia al Corte Puro = 8.41 kg / cm²

s = desviación estándar = 1.27 kg / cm²

V'_m = 7.14 kg / cm²

De acuerdo a la Norma Técnica E.070, para fines de diseño debe aplicarse:

$$V'_m \leq (f'_m)^{1/2} = (60)^{1/2}$$

$$V'_m \leq 7.75 \text{ kg / cm}^2$$

Por lo que se usará:

$$V'_m = 7.14 \text{ kg / cm}^2$$

4.3.2. Tipos de fallas de los Muretes:

En las figuras 4.10 a 4.13 se muestran las fallas que tuvieron los 4 muretes ensayados:



Fig. 4.10 Murete 1



Fig. 4.11 Murete 2



Fig. 4.12 Murete 3



Fig. 4.13 Murete 4

Las fallas que se presentaron en los muretes fueron por tracción diagonal, frágiles, esto se debe a la buena adherencia entre las unidades y el mortero. Pero el último murete tuvo una falla diferente, sufrió una falla por cizalla, es decir la grieta se dio a lo largo de la primera junta horizontal del murete, esto se debe a la poca adherencia entre la unidad y el mortero en esa zona, por lo que este murete fue descartado.

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS TEÓRICO DE LOS MUROS A ESCALA NATURAL

De acuerdo a la Norma Técnica E.070 para muretes y pilas con unidades de albañilería de arcilla King Kong Industrial, construidos con mortero 1 : 4, las resistencias características de la albañilería y los módulos elásticos son los siguientes:

$$f'm = 65 \text{ kg / cm}^2$$

$$V'm = 8.1 \text{ kg / cm}^2$$

$$E_m = 500 f'm = 32500 \text{ kg / cm}^2$$

$$G_m = 0.40 E_m = 13000 \text{ kg / cm}^2$$

5.1. SECCIÓN TRANSFORMADA

Según la Norma Técnica E.070, para obtener las propiedades del muro, como por ejemplo el momento de inercia, tenemos que aplicar el criterio de sección transformada o sección equivalente (figura 5.1), lo que significa tener que convertir los elementos de concreto (las columnas) en elementos equivalentes de albañilería.

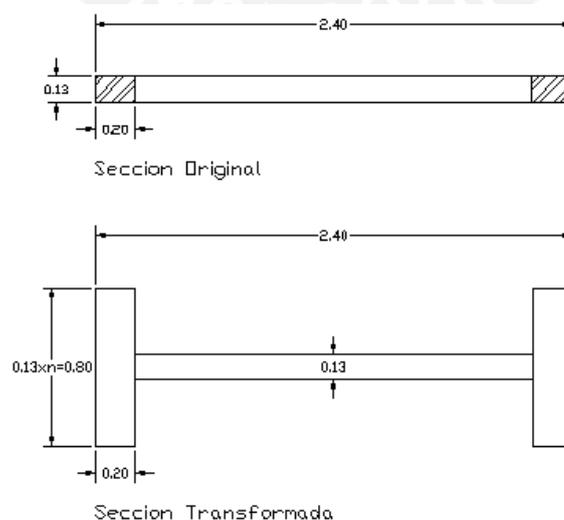


Fig. 5.1 Sección transformada

$$\begin{aligned}
 f'c &= 175 \text{ kg / cm}^2 \\
 E_c &= 15000 \times (f'c)^{1/2} = 198431 \text{ kg / cm}^2 \approx 200000 \text{ kg / cm}^2 \\
 E_m &= 32500 \text{ kg / cm}^2 \\
 n &= E_c / E_m = 6.15 \\
 b &= t \times n = 80 \text{ cm} \\
 I &= [0.80 \times 0.20^3 / 12 + 0.80 \times 0.20 (1.20 - 0.10)^2] + [0.13 \times 2.00^3 / 12] + \\
 & \quad [0.80 \times 0.20^3 / 12 + 0.80 \times 0.20 (2.30 - 1.20)^2] \\
 I &= \mathbf{47493333 \text{ cm}^4}
 \end{aligned}$$

5.2. RIGIDEZ LATERAL

Para el cálculo de la rigidez lateral del muro se asume que se comporta como un elemento en voladizo y se utiliza la siguiente expresión:

Ecuación 5.1

$$K = \frac{E_m}{\frac{h^3}{3I} + f \times h \times \frac{E_m}{G \times A}}$$

$$\begin{aligned}
 K &= \text{rigidez lateral} \\
 E_m &= \text{módulo de elasticidad experimental} = 32500 \text{ kg / cm}^2 \\
 G &= \text{módulo de corte} = 13000 \text{ kg / cm}^2 \\
 h &= \text{altura del muro, desde la base hasta el eje de carga} = 240 \text{ cm} \\
 A &= \text{área de la sección transversal de muro} = 5800 \text{ cm}^2 \\
 f &= \text{factor de forma} = A / A_{\text{alma}} = 1.86 \\
 I &= \text{momento de inercia de la sección transversal transformada} = 47493333 \\
 & \quad \text{cm}^4 \\
 K &= 32500 / [(230^3 / (3 \times 47493333)) + (1.8 \times 240 \times 32500 / 13000 \times 5800)] \\
 K &= \mathbf{119660 \text{ kg / cm}}
 \end{aligned}$$

5.3. FISURACIÓN EN TRACCIÓN POR FLEXIÓN

El esfuerzo de tracción máximo se calculó con la siguiente expresión:

Ecuación 5.2

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

Entonces la capacidad de tracción del concreto:

Ecuación 5.3
$$F = \frac{2\sqrt{f'c} \times I}{n \times h \times y}$$

σ tracción	= Esfuerzo de tracción máximo
F	= Capacidad de tracción del concreto, teóricamente asociada a la primera fisura de tracción por flexión
n	= $E_c / E_m = 6.15$
y	= Dist. del centroide a la fibra más alejada traccionada = 120 cm
M	= F x h
I	= Momento de inercia de la sección transversal transformada
f_t	= Resistencia a tracción por flexión del concreto.
f_t	= 26.50 kg / cm ²
σ tracción	= $2 (175)^{1/2} / 6.15$
σ tracción	= 4.30 kg / cm²
F	= $(2 \times (175)^{1/2} \times 47493333) / (6.15 \times 240 \times 120)$
F	= 7.09 ton

5.4. AGRIETAMIENTO DIAGONAL TEÓRICO

La carga asociada al agrietamiento diagonal se calcula con la siguiente expresión proveniente de la Noma Técnica E.070:

Ecuación 5.4
$$V_m = 0.5 \times V'_m \times \alpha \times t \times L + 0.23 \times P_g$$

V_m	= resistencia teórica al agrietamiento diagonal
V'_m	= resistencia a corte puro de los muretes = 8.1 kg / cm ²
t	= espesor del muro efectivo = 13 cm.
L	= longitud total del muro, incluyendo el peralte de las columnas = 240 cm.
α	= factor de reducción por efecto de la esbeltez = 1
P_g	= fuerza gravitacional de servicio = 0

$$V_m = 0.50 \times 8.1 \times 1 \times 13 \times 240 + 0.23 \times (0)$$

$$V_m = 12.64 \text{ ton}$$

5.5. RESISTENCIA ASOCIADA A LA FALLA POR FLEXIÓN

Ecuación 5.5 $M_n = A_s \times f_y \times d$

M_n = momento flector nominal máximo

A_s = área del refuerzo vertical en el extremo del muro ($4 \Phi \frac{1}{2}$) = 5.16 cm^2

f_y = 4200 kg / cm^2

d = peralte efectivo del muro = $0.80 L = 192 \text{ cm}$.

$$M_n = 5.16 \times 4200 \times 192$$

$$M_n = 41.61 \text{ ton x m}$$

Ecuación 5.6

$$V_f = \frac{M_n}{h}$$

V_f = fuerza cortante

h = altura de la base del muro al eje del actuador = 2.40 m .

$$V_f = 41.61 / 2.40$$

$$V_f = 17.34 \text{ ton}$$

Con lo cual esta carga se incrementa cuando el acero llega a su etapa de endurecimiento.

5.6. TIPO DE FALLA ESPERADA

En estudios hechos a nivel mundial no hay conocimiento de muros confinados que hayan fallado por flexión, en casi todos los casos las fallas producidas en los muros son por corte.

En nuestro caso, si comparamos a la fuerza cortante ($V_f = 17.34 \text{ ton}$) y la resistencia a fuerza cortante ($v_m = 12.64 \text{ ton}$), tenemos V_f es mayor que v_m , lo que

nos indica que el muro va a fallar por corte, presentándose una grieta diagonal, pero antes debe presentarse la fisuración de tracción por flexión, ya que la capacidad de tracción del concreto, teóricamente asociada a la primera fisura de tracción por flexión ($F = 7.09 \text{ ton}$) es menor que la fuerza cortante ($v_m = 12.64 \text{ ton}$).

La razón principal de esta forma de falla podría deberse a que en estos muros predomina la deformación por corte debido a la poca esbeltez que presentan.



CAPÍTULO 6

6. MUROS

Para poder analizar la efectividad del refuerzo horizontal en el control de la trituración de los ladrillos huecos se construyeron dos muros a escala natural, una en forma tradicional (M1) y el otro agregando refuerzo horizontal y unidades sólidas en los puntos críticos (M2).

En este proyecto se intentó reproducir casi en su totalidad el proceso constructivo y los diferentes factores que se presentan en una construcción real.

Los muros presentaron las siguientes características (en ambos casos se usó ladrillos huecos):

- **Muro tradicional.-** Muro portante de albañilería confinada, amarre tipo soga, conexión columna-albañilería dentada, construido de manera tradicional.
- **Muro reforzado.-** Muro portante de albañilería confinada, amarre tipo soga, conexión columna-albañilería dentada, con refuerzo horizontal en una cuantía mínima de 0.001, con los alvéolos de las unidades de albañilería localizadas en las esquinas del muro rellenos previamente con mortero.

6.1. DISEÑO

Los muros se diseñaron a la rotura, asumiendo que existe un comportamiento elástico de los muros ante sismos leves y que existe una falla por fuerza cortante ante sismos severos.

6.1.1. Diseño de vigas de cimentación y de vigas soleras

La viga de cimentación fue diseñada para soportar el peso del muro durante su traslado, los esfuerzos durante el ensayo y la fuerza resultante del anclaje contra la losa del laboratorio.

La viga solera, al igual que las columnas, tiene la importante función de aumentar la ductilidad de los muros y repartir las cargas aplicadas en el muro.

$V'm$ = resistencia a corte puro de los muretes

$V'm$ = 8.1 kg / cm²

Ecuación 6.1
$$V_m = 0.5 \times V'm \times t \times L + 0.23 \times P_g$$

v_m = cortante por agrietamiento

v_m = 0.5 x 81 x 0.13 x 2.40 + 0.23 x 0 = 12.64 ton.

Ecuación 6.2
$$A_s = \frac{0.5 \times v_m}{f_y \times \phi}$$

A_s = área de acero horizontal requerida, $\Phi = 0.9$

A_s = (0.5 x 12640) / (4200 x 0.9) = 1.67 cm²

Ecuación 6.3
$$A_{s_{mín}} = 0.10 \times f'c \times \frac{A_{sol}}{f_y}$$

A_s mín = área de acero horizontal mínima

A_s mín = 0.10 x f'c x A_{sol} / f_y

A_s mín = 0.10 x 175 x 20 x 20 / 4200 = 1.67 cm²

En un caso real, las vigas soleras no se diseñan por fuerza cortante debido a que los pisos superiores proporcionan una gran área de corte vertical, por lo tanto, la colocación de estribos es la mínima: 1@ 5 cm, 4@ 10 cm, resto @ 20 cm.

La carga lateral que aplican los cabezales va directamente sobre la viga solera, por lo tanto, para evitar fallas locales se colocó un refuerzo extra en los extremos de la viga que constó de dos ganchos de 3/8" en cada esquina.

6.1.2. Diseño de las columnas

Las columnas en el instante de agrietamiento diagonal son cuando absorben la carga en su totalidad; la función de las columnas es de aumentar la ductilidad de los muros y repartir las cargas aplicadas en el. En el diseño de estos elementos se desprecia el momento flector ya que se encuentra restringido por la albañilería y solo se diseña para fuerzas cortantes, de tracción y compresión.

- **Diseño a la rotura**

h = altura del muro

h = 2.40 m

v_m = 12.64 ton

$f'c$ = 175 kg / cm²

M_u = momento flector ante sismo severo

M_u = $v_m \times h$

M_u = 12.64 x 2.40 = 30.34

M_u = 30.34 ton x m

L = longitud total del muro incluyendo columnas

L = 2.40 m

L_m = en muros de 1 paño: $L_m = L$

L_m = 2.40 m.

N_c = número de columnas de confinamiento

N_c = 2

V_c = cortante en la columna

V_c = $(1.5 \times v_m \times L_m) / (L \times (N_c + 1))$

V_c = $(1.5 \times 12.64 \times 2.40) / (2.40 \times (2 + 1)) = 6.32$ ton

P_c = carga sobre una columna, despreciable

P_c = 0

$$\begin{aligned} P_t &= \text{carga tributaria proveniente del muro transversal a la columna} \\ P_t &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= \text{momento flector} \\ M &= M_u - v_m \times h / 2 \\ M &= 30.34 - 12.64 \times 2.40 / 2 = 15.17 \text{ ton} \times \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= \text{fuerza axial producida por "M" en una columna} \\ F &= M / L \\ F &= 15.17 / 2.40 = 6.32 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= \text{tracción en una columna} \\ T &= F - P_c - P_t \\ T &= 6.32 - 0 - 0 = 6.32 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \text{compresión en columna} \\ C &= P_c + F \\ C &= 0 + 6.32 = 6.32 \text{ ton} \end{aligned}$$

- **Diseño a corte-fricción**

$$\begin{aligned} A_{cf} &= \text{área de la columna por corte-fricción, } \Phi = 0.85 \\ A_{cf} &= V_c / (0.20 \times \Phi \times f'_c) \\ A_{cf} &= 6320 / (0.20 \times 0.85 \times 175) = 212.4 \text{ cm}^2 = (13 \times 20) \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sf} &= \text{área de acero por corte-fricción, } \Phi = 0.85 \\ A_{sf} &= V_c / (f_y \times u \times \Phi) \\ A_{sf} &= 6320 / (4200 \times 1 \times 0.85) = 1.77 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{st} &= \text{área de acero vertical requerida, } \Phi = 0.85 \\ A_{st} &= T / (\Phi \times f_y) \\ A_{st} &= 6320 / (0.85 \times 4200) = 1.77 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \text{área de acero colocada} \\ A_s &= (T + V_c / u) / (\Phi \times f_y) = A_{sf} + A_{st} \\ A_s &= (6320 + 6320 / 1) / (0.85 \times 4200) = 1.77 + 1.77 = 3.54 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

- **Diseño a compresión**

$$A_n = \text{área del núcleo de concreto, } \Phi = 0.70, \delta = 0.80$$

$$A_n = A_s + (C / \Phi - A_s \times f_y) / (0.85 \times f'_c \times \delta)$$

$$A_n = 3.54 + (6320 / 0.70 - 3.54 \times 4200) / (0.85 \times 175 \times 0.80) = 0 \text{ cm}^2$$

El diseño de los estribos es para controlar la expansión del concreto y por ende evitar su trituración.

- **Diseño de los estribos**

$$A_c = \text{área de concreto de la columna definitiva}$$

$$A_c = 260 \text{ cm}^2$$

$$A_v = \text{área de corte de estribos de } \frac{1}{4}''$$

$$A_v = 0.64 \text{ cm}^2$$

$$t_n = \text{espesor del núcleo confinado}$$

$$t_n = 13 - 4 = 9 \text{ cm}$$

$$A_n = \text{área del núcleo en forma definitiva}$$

$$A_n = 16 \times 9 = 144 \text{ cm}^2$$

$$s_1, s_2, s_3 = \text{(espaciamiento de estribos por compresión)}$$

$$s_1 = (A_v \times f_y) / (0.3 \times t_n \times f'_c \times (A_c / A_n - 1))$$

$$s_1 = (0.64 \times 4200) / (0.3 \times 9 \times 175 \times (260 / 144 - 1)) = 3.12 \text{ cm.}$$

$$s_2 = (A_v \times f_y) / (0.12 \times t_n \times f'_c)$$

$$s_2 = (0.64 \times 4200) / (0.12 \times 9 \times 175) = 14.22 \text{ cm.}$$

$$s_3 = 1/4 \text{ d o } 5 \text{ cm.}, \text{ lo que sea mayor}$$

$$s_4 = 10 \text{ cm (espaciamiento máximo de estribos por compresión)}$$

La distribución de los estribos fue la siguiente: 1@ 5 cm, 4@ 10 cm, resto @ 20 cm.

Por las pequeñas dimensiones de las columnas, en este proyecto se optó por colocar estribos de 1 $\frac{3}{4}$ de vuelta, para así evitar posibles apariciones de cangrejeras

El área de acero mínimo que se exige para las columnas es el siguiente:

Ecuación 6.4
$$A_{st} \geq 0.1 \times f'_c \times \frac{A_c}{f_y}$$

A_{st}	=	Área mínima de refuerzo vertical
f'_c	=	Resistencia a compresión del concreto, 175 kg / cm ²
A_c	=	Área bruta de la sección transversal de la columna
f_y	=	Esfuerzo de fluencia del acero, 4200 kg / cm ²
$A_{smín}$	=	$0.10 \times 175 \times 20 \times 13 / 4200 = 1.08 \text{ cm}^2$

El refuerzo utilizado en los muros fue de 4 de ½", entonces:

$$A_s = 4 \times 1.29 = 5.16 \text{ cm}^2 > A_{smín}$$

La distribución de los estribos fue la siguiente: 1@ 5 cm, 4@ 10 cm, resto @ 20 cm.

Por las pequeñas dimensiones de las columnas, en este proyecto se optó por colocar estribos de 1 ¾ de vuelta (figura 6.1), para así evitar posibles apariciones de cangrejeras



Fig. 6.1 Estribo de Columnas

6.1.3. Refuerzo horizontal continuo de los muros

El refuerzo horizontal continuo colocado en los muros se calculó con las siguientes expresiones:

Ecuación 6.5
$$\rho = \frac{A_s}{s \times t}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \text{cuantía de acero} \\ As &= 0.28 \text{ cm}^2 \text{ (varillas de 6 mm)} \\ t &= 13 \text{ cm} \\ \rho &= 0.28 / (20 \times 13) = 0.001\end{aligned}$$

Ecuación 6.6 $s = \frac{As}{\rho \times t}$

$$\begin{aligned}s &= \text{espaciamiento del refuerzo horizontal} \\ s &= 0.28 / (0.001 \times 13) = 21.54 \text{ cm}\end{aligned}$$

Entonces el espaciamiento de 20 cm cumple (1 fierro 6mm @ 2 hiladas)

El dobléz a 90° del refuerzo horizontal que va dentro de la columna, fue determinado mediante la siguiente expresión:

Ecuación 6.7 $Lt = 12 \times db$

$$Lt = 12 \times 0.80 = 9.60 \text{ cm, se usó 10 cm}$$

6.2. CONTRUCCIÓN DE LOS MUROS

6.2.1. Características comunes de ambos muros

- Muros portantes de albañilería confinada de 2.30 m de altura, 2.00 m de longitud y 0.13 m de espesor.
- Se utilizó los mismos materiales (unidades huecas de albañilería, concreto, acero, mortero, encofrado, etc.).
- Se utilizó las mismas herramientas (escantillón, plomada, cordel, nivel, badilejo, fraguador, etc.) y la misma mano de obra.
- El aparejo de las unidades de albañilería fue del tipo sogá.
- El traslape de las unidades entre hiladas consecutivas fue de ½ ladrillo.
- Juntas horizontales de 1.5 cm de grosor y juntas verticales de 1.5 cm de grosor, solaqueadas.
- La proporción volumétrica cemento : arena del mortero de asentado fue 1 : 4.

- La conexión columna - albañilería fue dentada.
- Las unidades de albañilería fueron regadas durante 30 minutos, 12 horas antes del asentado, para poder alcanzar el valor de succión recomendado.
- El tiempo de fraguado fue de 28 días.



Fig. 6.2 Muros terminados

6.2.2. Proceso Constructivo

Vigas de Cimentación.- construida de concreto armado con una resistencia característica $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$.

La construcción fue la tradicional para ambos muros; primero se procedió a habilitar el encofrado y el acero de refuerzo. Se colocó el encofrado de fondo de viga, posteriormente se colocó el refuerzo de acero de las vigas y el refuerzo vertical de las columnas, luego se colocó las caras laterales del encofrado (figura 6.3) y por último se procedió a vaciar el concreto; para la compactación del concreto se utilizó una vibradora eléctrica.

Después del vaciado se rayó la superficie superior de la viga, con el objeto de dejar rugosa la zona donde posteriormente serían asentadas las unidades de albañilería.

Al día siguiente del vaciado, se procedió a desencofrar las vigas de cimentación y curar con agua. El tiempo de fragua, antes de asentar las unidades de albañilería, fue de cinco días (figura 6.4).



Fig. 6.3 Habilitación del refuerzo y Encofrado de las Vigas de Cimentación



Fig. 6.4 Vigas de Cimentación

- **Unidades de albañilería.-** Unidades huecas de ladrillos de arcilla King Kong industrial marca LARK , regadas durante media hora unas 12 horas antes de asentarlas

Ambos muros fueron construidos en dos etapas, para evitar problemas de aplastamiento del mortero, de línea y de plomo.

- **Muro tradicional.-** Se seleccionaron los ladrillos que no tengan fallas, como rajaduras, quemaduras, etc. Después de preparar los ladrillos para el asentado, se procedió a emplantar la primera hilada.

Luego se asentaron los ladrillos maestros (figura 6.5) que definen el alineamiento longitudinal del muro. Estos ladrillos se asentaron con gran cuidado, controlando la altura de las hiladas con escantillón y su verticalidad con una plomada,



Fig. 6.5 Ladrillos Maestros

Se utilizó mortero 1 : 4 (cemento : arena), arena sin tamizar. La mezcla del mortero fue hecha a mano en seco. El agua fue agregada de acuerdo al criterio del albañil.

Las figuras 6.6 y 6.7 muestran las etapas en que fue construida la albañilería.



Fig. 6.6 Construcción de Muros,
Primera Etapa



Fig. 6.7 Construcción de Muros,
Segunda Etapa

- **Muro reforzado.-** El proceso seguido con la construcción del muro reforzado fue muy similar al explicado anteriormente, con algunas variantes:
 - Cada dos hiladas se colocó refuerzo de acero de 6 mm en toda la longitud del muro. Estas varillas penetraron en las columnas de

confinamiento 12,5 cm y terminaron con gancho a 90° (figura 6.8, 6.9, 6.10).



Fig. 6.8 Colocación Refuerzo Horizontal



Fig. 6.9 Anclaje Refuerzo Horizontal



Fig. 6.10 Conexión Muro Columna dentada

- Los alveolos de las unidades de albañilería localizadas en las esquinas del muro, fueron rellenas en su parte central con mortero para controlar su trituración en el momento del ensayo.



Fig. 6.11 Ladrillos rellenos con mortero

- Este muro también fue construido en dos etapas, pero al terminar la primera etapa no se rellenaron con mortero las juntas verticales de la última hilada, esto fue para evitar problemas de cizallamiento.



Fig. 6.12 Junta vertical sin rellenar

- **Columnas.**- Construidas de concreto armado con un $f'c = 175 \text{ kg / cm}^2$; siendo una de sus funciones, aumentar la ductilidad del muro luego de agrietarse, aumentando su capacidad de deformación.

Las columnas se vaciaron después de construir a la albañilería, siendo el objetivo de que ambos materiales queden integrados mediante la adherencia que se forma entre ellos. La construcción de las columnas en ambos muros fue la tradicional. Con las unidades de albañilería ya asentadas se procedió a colocar los estribos (figura 6.13), encofrar y posteriormente, se vació el concreto compactándolo con un vibrador eléctrico. Al día siguiente se desencofró y se procedió a curar.



Fig. 6.13 Colocación de estribos de las Columnas



Fig. 6.14 Detalle de Final de las columnas

Para evitar falla por cizalle en la conexión columna-viga solera, el refuerzo vertical de la columna penetró en la viga solera (figura 6.14).

- **Vigas soleras.**- Construidas de concreto armado con un $f'c = 175 \text{ kg / cm}^2$; su función, al igual que las columnas, es aumentar la ductilidad de los muros.

Su construcción fue la tradicional en ambos muros. Se procedió a colocar la armadura de acero, los estribos, luego se encofraron las vigas (figura 6.15) y se vació el concreto, utilizando una vibradora eléctrica para compactarlo; al día siguiente se desencofraron y se procedió a curarlas.



Fig. 6.15 Encofrado de Viga Solera

Fig. 6.16 Preparación de
Concreto

6.2.3. Mano De Obra

La mano de obra para construir las vigas de cimentación fue proporcionada por el laboratorio de estructuras antisísmicas de la PUCP. Para los demás elementos: albañilería, columnas y vigas soleras, se contó con personal especializado. Para la habilitación y colocación de encofrados se contó con dos carpinteros (operario y ayudante); para la habilitación del acero se contó con un herrero; para la colocación del acero, asentado de muros y vaciado de los elementos fueron realizados por un albañil y un ayudante, con vasta experiencia en la construcción de albañilería.

CAPÍTULO 7

7. ENSAYOS CÍCLICOS DE CARGA LATERAL

7.1. ENSAYOS DE DESPLAZAMIENTO INCREMENTAL CÍCLICO

En nuestro proyecto, para obtener información sobre el comportamiento de los muros de albañilería ante acciones sísmicas, los dos muros fueron sometidos a un ensayo de carga lateral cíclica controlando el desplazamiento lateral, sin aplicación de carga vertical.

Se colocaron a los muros 4 LVDT (figura 7.1) que permitieron obtener la siguiente información:

- Desplazamientos para los diversos estados de agrietamiento.
- Diagrama histeréticos fuerza cortante vs. desplazamiento lateral.
- La envolvente fuerza cortante vs. desplazamiento lateral.
- El módulo de corte.
- El módulo de rigidez.
- Cargas de agrietamiento en tracción por flexión y por fuerza cortante.
- Degradación de la resistencia.
- La capacidad de carga máxima.
- El instante en que se inició la trituración de los ladrillos huecos.

7.2. TÉCNICA DE ENSAYO

Para cada muro se realizó un ensayo estático de carga lateral cíclica con desplazamiento incremental controlado.

Este ensayo consiste en someter a los muros a un desplazamiento conocido en ambos sentidos, que se va incrementando gradualmente mediante una fuerza aplicada. Este ensayo se realiza en fases, cada fase está conformada por varios ciclos con un desplazamiento máximo constante; al terminar una fase y pasar a una nueva se incrementa el desplazamiento máximo.

Durante el ensayo tomamos los valores del desplazamiento y la fuerza aplicada relacionada con este, con estos valores se construyen las gráficas fuerza vs. desplazamiento, denominada Curva de Capacidad.

Estos tipos de ensayos son la mejor manera de analizar el comportamiento de una estructura ante terremotos fuertes.

7.3. FASES DEL ENSAYO

Para analizar el comportamiento de los muros ante el desplazamiento incremental controlado y para realizar un mejor estudio, el ensayo se dividió en 10 fases; salvo las 2 primeras fases que fueron de 1 ciclo, las demás fueron de 3 ciclos por fase (tabla 7.1).

Para comparar el comportamiento de ambos muros, los ensayos fueron realizados de forma idéntica, con el mismo número de fases, los mismos desplazamientos máximos por fase y el mismo número de ciclos.

Para identificar las grietas que aparecieron en los muros, estas se marcaron y numeraron con tizas de diferentes colores dependiendo de la fase en que se presentaron.

Cada una de las fases presentó los siguientes desplazamientos laterales máximos:

Tabla 7. 1 Características de las Fases del Ensayo Lateral Cíclico

FASE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Desplazamiento (mm)	0,50	1,50	2,50	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00
Número de Ciclos	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3
Color	Amarillo	Rosado	Celeste	Naranja	Verde	Rojo	Marrón	Violeta	Verde Claro	Fucsia

Al final del ensayo de cada muro, se les sometió a un movimiento armónico con frecuencia de 2 Hz y una amplitud de 15 mm, para poder apreciar mejor el tipo de falla y el comportamiento del muro.

7.4. MONTAJE E INSTRUMENTACIÓN

Días antes del ensayo, los muros fueron colocados dentro del laboratorio de estructuras utilizando como medio de transporte el puente grúa del mismo laboratorio; además, se colocó a los muros un capping de yeso en la parte inferior de la viga de cimentación para que se nivele con la losa del laboratorio.

Se colocaron 4 LDVT en cada uno de los muros (figuras 7.1 a 7.5), estos permiten registrar desplazamientos durante todo el ensayo.

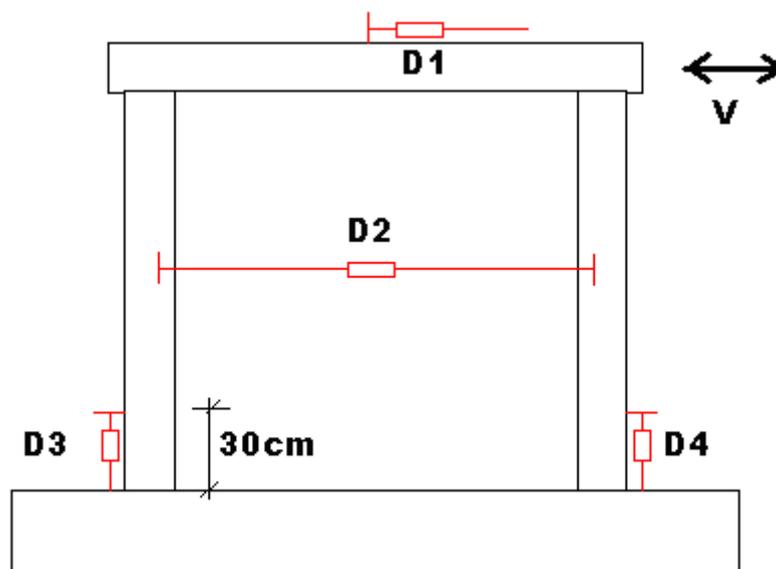


Fig. 7.1 Colocación de LDVTs

Donde cada LDVT se encargaba de medir:

- D1 = desplazamiento lateral.
- D2 = desplazamiento horizontal relativo entre columnas.
- D3 y D4 = desplazamiento vertical de los talones.

Para fijar el muro evitando su desplazamiento y volteo, tres gatas hidráulicas aplicaron cargas a la viga de cimentación: dos fuerzas verticales y una horizontal, todas de 30 ton (figuras 7.6 a 7.9).

Para aplicar la fuerza horizontal a los muros (V), se colocó a la altura del eje de la viga solera un actuador hidráulico con una capacidad de fuerza de 50 ton y para que este actuador pueda aplicar la fuerza horizontal en ambos sentidos, se colocó unos tirantes que se sujetaron al otro extremo de la viga en un cabezal metálico.

Antes del inicio de los ensayos de ambos muros, se aplicó una pre-carga de 300 kg, para ajustar los tirantes; posterior a eso la carga se retiró, en el momento que la carga fue nula se revisó que todos los LVDT no marcaran desplazamiento alguno.



Fig. 7.2 LVDT 1



Fig. 7.3 LVDT 2



Fig. 7.4 LVDT 3
 Fig. 7.5 LVDT 4



Fig. 7.6 Montaje e Instrumentación

Fig. 7.7 Gata Hidráulica
Vertical 1

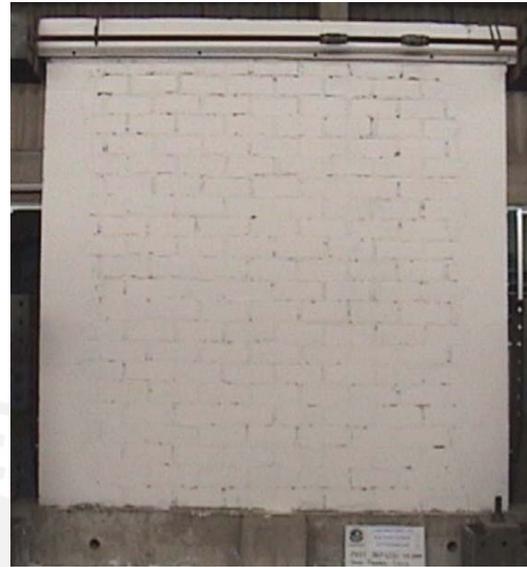
Fig. 7.8 Actuador Hidráulico

Fig. 7.9 Gata Hidráulica
Horizontal y Vertical 2

7.5. COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS

A continuación se detalla de manera comparativa, el comportamiento de los muros para cada una de las fases que forma parte del ensayo de carga lateral cíclica.

Además en el Anexo 2, se puede observar los diagramas de grietas para cada una de las fases.

ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA - FASE 1 (D=0.5 mm)**Fig. 7.10** Muro Tradicional – Fase 1**Fig. 7.11** Muro Reforzado – Fase 1

Ambos muros presentaron un comportamiento elástico, debido a que el desplazamiento aplicado es pequeño. Además no se presentaron fisuras, por tal motivo esta fase constó de un sólo ciclo.

ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA - FASE 2 (D=1.5 mm)**Fig. 7.12** Muro Tradicional – Fase 2**Fig. 7.13** Muro Reforzado – Fase 2

El comportamiento del muro tradicional continuó elástico, sin presentar fisura alguna; a diferencia del muro reforzado que aparecieron las primeras grietas de tracción por flexión, notándose que la mayoría de estas grietas se encontraron a la altura de las juntas que tenían refuerzo horizontal. De la misma manera que la primera fase, esta fase constó de un ciclo.

ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA - FASE 3 (D=2.5 mm)



Fig. 7.14 Muro Tradicional – Fase 3

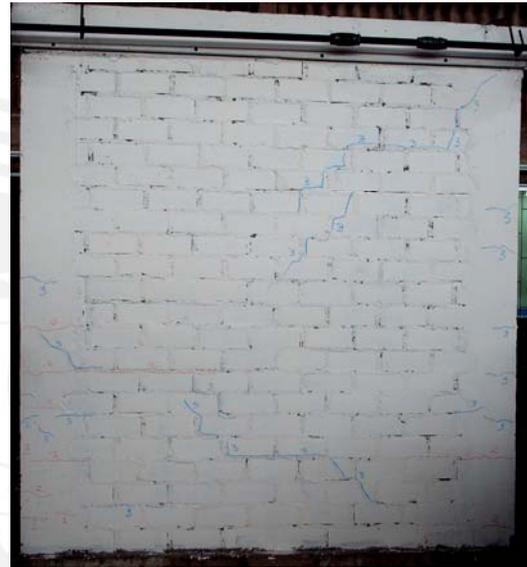


Fig. 7.15 Muro Reforzado – Fase 3

En el muro tradicional aparecieron las primeras grietas de tracción por flexión en el primer ciclo empujando, así como la primera grieta diagonal principal empujando, la cuál abarcó casi la totalidad al muro. En los ciclos posteriores continuaron apareciendo las grietas de tracción por flexión.

Para el caso del muro con refuerzo, en el primer ciclo jalando aparecieron dos grietas diagonales de manera escalonada, a través de la junta de mortero y atravesando algunos ladrillos, ubicadas en la zona superior derecha del muro. Luego apareció en el segundo ciclo empujando otra grieta diagonal en la zona inferior. En los ciclos posteriores continuaron apareciendo grietas de tracción por flexión y las que aparecieron en la fase anterior aumentaron su tamaño.

El grosor máximo de grieta empujando para el caso del muro tradicional fue de 0.5 mm, siendo para el muro con refuerzo igual a 0.3 mm empujando y 0.15 mm jalando. La fase constó de 3 ciclos para ambos muros.

ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA - FASE 4 (D=5 mm)



Fig. 7.16 Muro Tradicional – Fase 4



Fig. 7.17 Muro Reforzado – Fase 4

En el primer ciclo empujando, se completó la grieta diagonal en el muro tradicional empujando. En el primer ciclo jalando apareció la grieta diagonal que abarcó toda la diagonal del muro. En los ciclos posteriores las grietas anteriores aumentaron su tamaño y aparecieron nuevas grietas de tracción por flexión a lo largo de las columnas.

Para el caso del muro reforzado, en el primer ciclo apareció la grieta diagonal principal empujando, que abarcó toda la diagonal. Como se puede apreciar, la tendencia de esta grieta fue escalonada a través de las juntas de mortero y en algunos casos atravesó ladrillos.

De igual forma que en el muro tradicional, en los ciclos posteriores aparecieron nuevas grietas de tracción por flexión en las columnas y las anteriores aumentaron su grosor. El grosor máximo de grieta jalando del muro tradicional fue de 1.5 mm y para el muro reforzado fue de 1.25 mm jalando.

ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA - FASE 5 (D=7.5 mm)



Fig. 7.18 Muro Tradicional – Fase 5

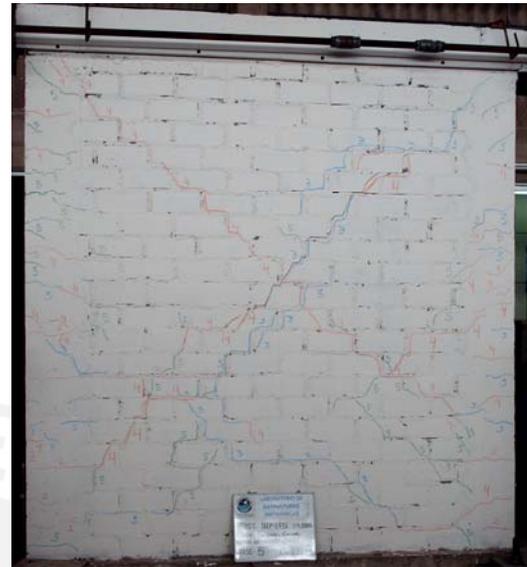


Fig. 7.19 Muro Reforzado – Fase 5

En esta fase, para ambos muros aparecieron nuevas grietas paralelas a las diagonales principales, y en mayor cantidad en el muro reforzado. De igual manera sucedió con las fisuras de tracción por flexión, muy pocas para el muro tradicional, a diferencia del muro reforzado que aumentó la cantidad de estas fisuras a lo largo de toda sus columnas.

En el muro tradicional se observó una grieta horizontal que se extendió por la junta de mortero hasta intersectarse con la grieta diagonal principal. Además en la zona de intersección entre las diagonales principales empujando y jalando se apreció una pequeña trituración de los ladrillos.

El grosor máximo de grieta empujando fue de 4.5 mm y 4 mm jalando para el muro tradicional.

Para el muro reforzado el grosor máximo de grieta empujando fue de 3 mm y 2 mm jalando, es decir, el refuerzo horizontal empezó a controlar el grosor máximo de las grietas diagonales.

ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA - FASE 6 (D=10 mm)

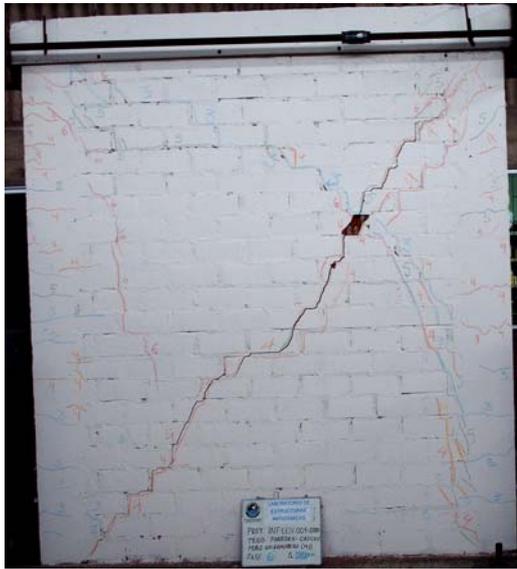


Fig. 7.20 Muro Tradicional – Fase 6

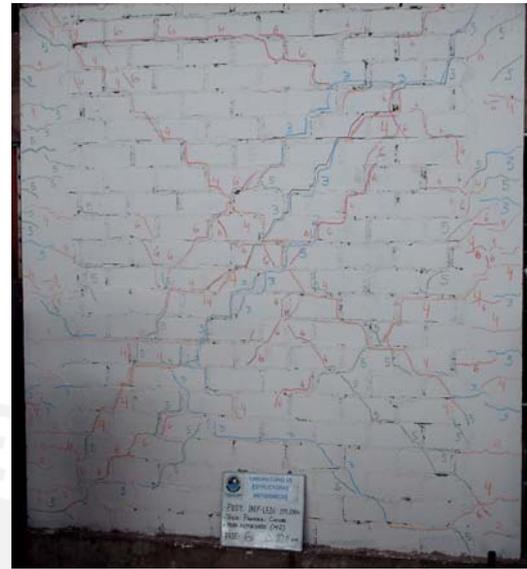


Fig. 7.21 Muro Reforzado – Fase 6

En el primer ciclo empujando y jalando aparecieron grietas diagonales en las esquinas superiores del muro tradicional. No se apreciaron grietas de tracción por flexión en las columnas a lo largo de toda la fase. Además apareció una grieta vertical a la izquierda del muro, la cual aumentó considerablemente su longitud atravesando ladrillos y abarcando menos de la mitad del muro.

El ladrillo ubicado en la zona donde se intersectan las grietas diagonales principales, se desprendió casi en su totalidad.

En el muro reforzado aparecieron grietas diagonales en la parte central e inferior izquierda paralelas a las diagonales principales. Además apareció una grieta horizontal en la parte superior izquierda del muro que recorrió a través de la junta de mortero hasta el centro convirtiéndose allí en una grieta diagonal.

Las grietas diagonales de tracción por flexión aparecieron sólo en la columna derecha del muro.

El grosor máximo de grieta empujando para el muro tradicional fue de 4.5 mm y 4 mm para el muro reforzado. En el caso del grosor máximo de grieta jalando para el muro tradicional fue de 5 mm y 2 mm para el muro reforzado.

ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA - FASE 7 (D=12.5 mm)



Fig. 7.22 Muro Tradicional – Fase 7

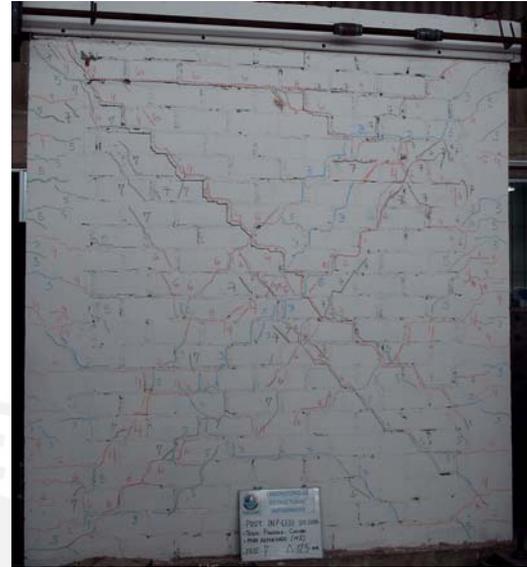


Fig. 7.23 Muro Reforzado – Fase 7

De acuerdo a la Norma Sísmica E.030, esta fase con deriva de 0.005 corresponde al límite de reparación.

Para el caso del muro tradicional, en el primer ciclo empujando se terminó de formar la segunda grieta diagonal principal, la cual aparece desde la parte superior izquierda del muro, cruza la grieta diagonal principal jalando y llega hasta la primera hilada del muro, convirtiéndose en una grieta horizontal que viaja a través del mortero en la parte inferior central del muro. En los demás ciclos el tamaño de las grietas fue aumentando pero no aparecieron más grietas importantes.

En el muro reforzado apareció una grieta horizontal en la parte superior derecha del muro en el primer ciclo empujando, en los ciclos posteriores aparecieron grietas diagonales pequeñas empujando y jalando en la zona central y superior derecha. En el tercer ciclo no aparecieron nuevas grietas diagonales, pero las existentes aumentaron su tamaño.

El grosor máximo de grieta empujando fue de 7 mm para el muro tradicional y 4.5 mm para el muro reforzado.

El grosor máximo de grieta jalando fue de 8 mm para el muro tradicional y 2 mm para el muro reforzado.

Nuevamente se resalta el trabajo del refuerzo horizontal en la disminución del grosor de las grietas diagonales.

ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA - FASE 8 (D=15 mm)



Fig. 7.24 Muro Tradicional – Fase 8

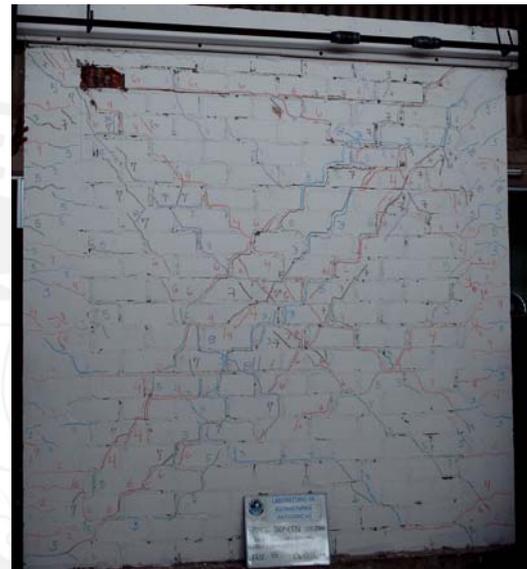


Fig. 7.25 Muro Reforzado – Fase 8

En el primer ciclo empujando aparecieron unas pequeñas grietas diagonales en la parte superior izquierda del muro tradicional, luego en el primer ciclo jalando apareció una grieta significativa, paralela a la grieta diagonal principal, además de otras similares más pequeñas. En los siguientes ciclos la longitud y el tamaño de las grietas aumentaron, pero no aparecieron nuevas grietas significativas.

El grosor máximo de grieta empujando fue de 8 mm y el grosor máximo de grieta jalando fue de 9 mm.

En el caso del muro con refuerzo, en el primer ciclo empujando y jalando no se apreciaron nuevas grietas importantes, sólo algunas pequeñas en las columnas. En el segundo ciclo empujando aparecieron un par de grietas paralelas en la parte central del muro y una grieta diagonal en la parte superior central. En la zona superior izquierda comenzó a desprenderse una unidad de albañilería.

El grosor máximo de grieta empujando fue de 5 mm y el grosor máximo de grieta jalando fue de 2.5 mm. En esta fase, al colocarse la carga en cero, se procedió a medir el grosor de grieta remanente, resultando un valor de 0.5 mm.

ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA - FASE 9 (D=17.50mm)



Fig. 7.26 Muro Tradicional – Fase 9

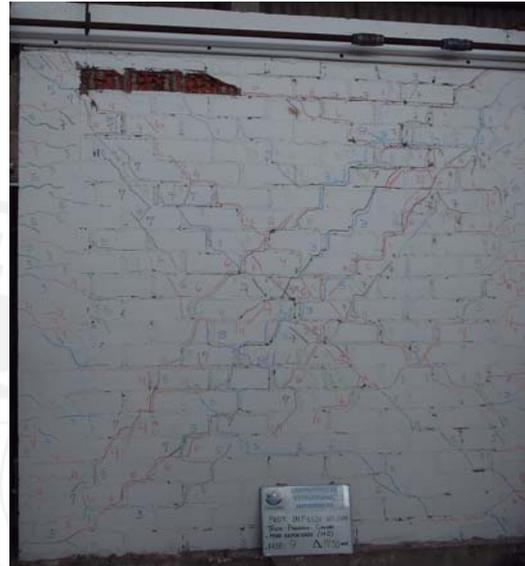


Fig. 7.27 Muro Reforzado – Fase 9

En el muro tradicional aparecieron pocas grietas diagonales y de poco tamaño, ubicadas en las esquinas superiores del muro.

Lo que se pudo notar en esta fase fue el desprendimiento de las unidades de albañilería en ambas caras del muro, en especial las ubicadas en la esquina superior izquierda, así como en la zona del cruce de las diagonales principales.

En el caso del muro reforzado aparecieron en los primeros ciclos grietas diagonales en el centro del muro y las grietas ya existentes aumentaron su tamaño. En el tercer ciclo aparecieron grietas verticales en varias unidades en distintas zonas del muro.

En la zona superior izquierda del muro continuaron desprendiéndose las unidades de albañilería en ambos lados del muro. En el caso del muro reforzado, la trituración de ladrillos se concentró en la penúltima hilada.

El grosor máximo de grieta para el muro tradicional fue de 8 mm empujando y 11 mm jalando. Para el muro reforzado el grosor máximo de grieta empujando fue de 6 mm y 4 mm jalando.

En esta fase para el muro reforzado, al colocarse la carga en cero se procedió a medir el grosor de grieta remanente, resultando un valor de 0.6 mm.

ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA - FASE 10 (D=20 mm)



Fig. 7.28 Muro Tradicional – Fase 10



Fig. 7.29 Muro Reforzado – Fase 10

No se apreciaron nuevas grietas diagonales ni de tracción por flexión en el muro tradicional, a diferencia del muro reforzado donde se apreciaron nuevas grietas diagonales pequeñas paralelas a las principales en varias zonas el muro. El desprendimiento de las unidades continuó aumentándose en ambos muros.

ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA – ARMÓNICO



Fig. 7.30 Muro Tradicional – Armónico



Fig 7.31 Muro Reforzado – Armónico

Luego que los muros fueron sometidos a un movimiento armónico, se puede apreciar su comportamiento ante sismos severos. Las grietas existentes continuaron creciendo, desprendiéndose unidades casi en su totalidad en la mitad superior del muro tradicional.

7.6. REVISIÓN POST ENSAYO DE LOS MUROS

Luego de los ensayos, los muros fueron colocados en el patio del Laboratorio de Estructuras de la PUCP, donde se pudo hacer un análisis post ensayo de ambos muros y se observó lo siguiente:

- No se presentaron trituración en los talones tanto en el muro reforzado horizontalmente como en el muro tradicional (figura 7.32).



Fig. 7.32 Estado final del talón

- En ambos muros se procedió a picar con mucho cuidado los talones para no dañar el refuerzo existente, y se pudo notar que el refuerzo estaba en perfecto estado sin presentar pandeo alguno (figura 7.33).



Fig. 7.33 Refuerzo en la zona del talón

- En ambos muros se pudo apreciar trituración de las unidades, pero en caso del muro tradicional el daño fue mucho mayor que en el caso del muro reforzado (figuras 7.34, 7.35). Cabe indicar que en el muro reforzado la trituración de ladrillos se localizó en franjas horizontales, haciendo ineficiente el trabajo del refuerzo horizontal en esos sectores, especialmente en la penúltima hilada. Los cuatro ladrillos previamente taponados, ubicados en las esquinas del muro reforzado, no tuvieron problemas de trituración.

En síntesis, la propuesta de reforzar horizontalmente al muro, logró retrasar la trituración de los ladrillos tan sólo en una fase del ensayo. Esto se considera peligroso, en vista que el muro no tuvo carga vertical.



Fig. 7.34 Estado final, Muro Tradicional

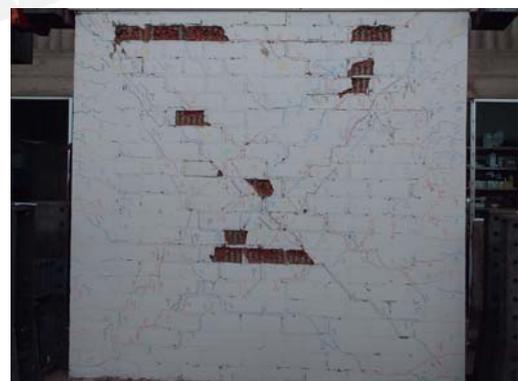


Fig. 7.35 Estado final, Muro Reforzado

- También se presentó trituración de unidades en las zonas centrales de ambos muros, en la intersección de las grietas diagonales.
- Se procedió a picar la parte central del muro reforzado para ver el estado del refuerzo horizontal y se pudo observar que estaba en muy buen estado (figura 7.36).



Fig. 7.36 Estado final del Refuerzo del Muro

7.7. RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE LOS ENSAYOS

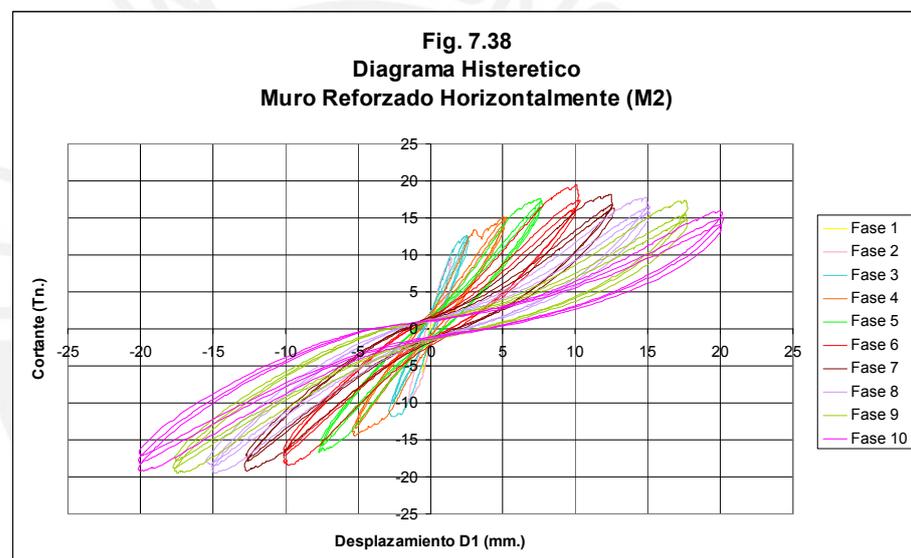
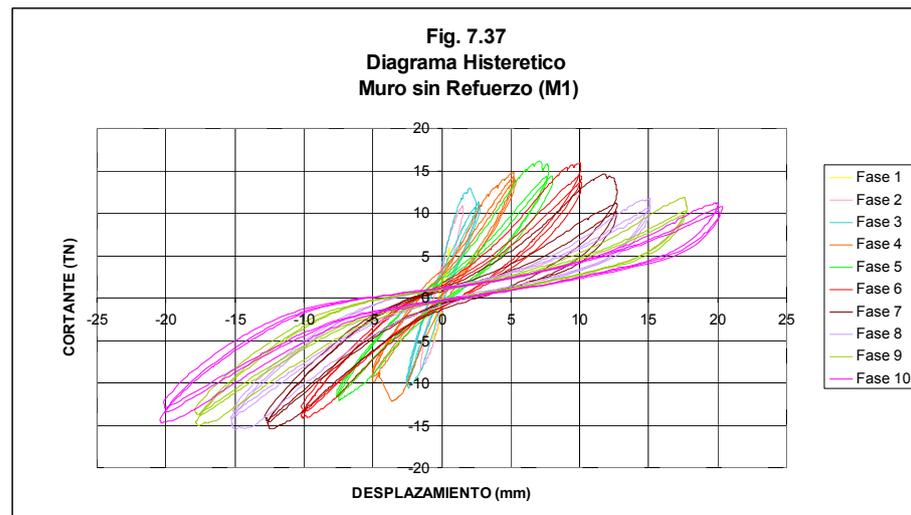
7.7.1. Resultados de los ensayos

La información proporcionada por parte del laboratorio luego de ensayar los muros es la siguiente:

- Desplazamiento de cada uno de los LDVTs colocados.
- Cargas asociadas a los desplazamientos.

7.7.2. Diagrama Histerético, Fuerza Cortante vs. Desplazamiento Lateral

En las figuras 7.37 y 7.38 se muestra los lazos histeréticos cortante - desplazamiento a medida que se iba incrementando el desplazamiento aplicado a los muros.

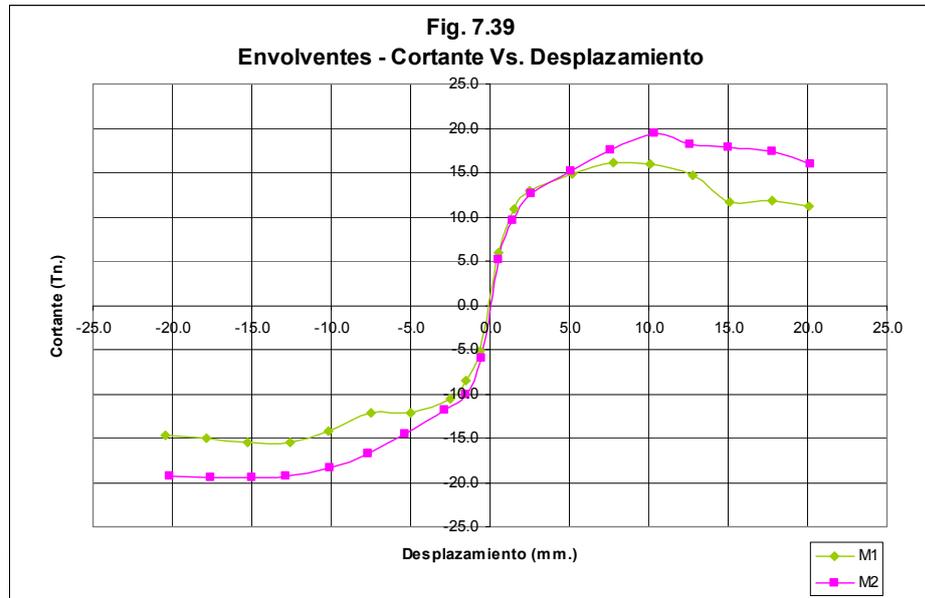


En estos diagramas se aprecia la degradación de la rigidez lateral, manifestada en el cambio de pendiente de los lazos histeréticos. La pérdida de la capacidad de resistencia lateral se observa comparando el lazo asociado a la carga máxima y los lazos posteriores, donde la carga disminuye a medida que el desplazamiento aumenta.

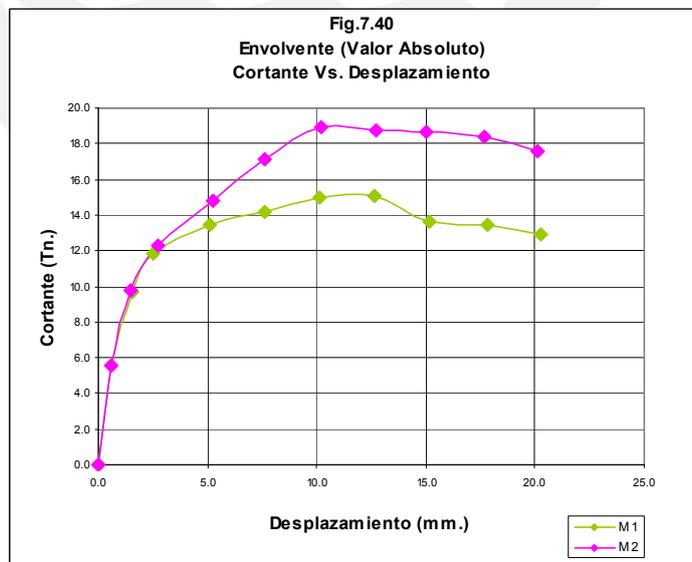
7.7.3. Envoltente fuerza cortante vs. desplazamiento lateral

Para obtener esta curva, denominada también Curva de Capacidad de la estructura, se usa la envoltente de los tramos de desplazamiento inelástico junto a los tramos iniciales en el rango elástico (figura 7.39).

Para elaborar la envolvente de fuerza cortante vs. desplazamiento lateral (figura 7.40) se trabajó con las máximas fuerzas cortantes de los ciclos estables de cada fase (cuando la variación de un ciclo con respecto a uno anterior es mínima).



Envolvente fuerza cortante vs. desplazamiento lateral (valor absoluto):



De acuerdo con la envolvente cortante - desplazamiento (figura 7.39) el muro reforzado presenta en comparación con el muro tradicional el mismo comportamiento en el rango elástico, la diferencia entre ellos surge en el

momento que ambos muros incursionan en el rango inelástico, donde el muro con refuerzo horizontal presenta una mayor resistencia que el muro tradicional.

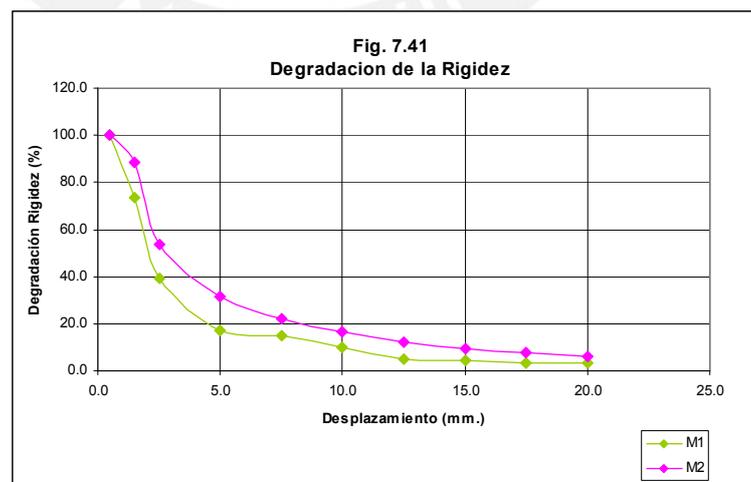
7.7.4. Distorsión Angular

De acuerdo a la Norma Técnica E.030, la máxima distorsión angular permisible en muros de albañilería confinada es de 0.005. En el ensayo esta distorsión corresponde a un desplazamiento lateral de $0.005 \times h = 12.5 \text{ mm}$ asociado a la fase 7, donde $h = 2.50 \text{ m}$ es la altura de los muro.

En los muros no se observaron trituración de los talones ni pandeo del refuerzo vertical durante todo el ensayo, sin presentar pérdidas considerables en la resistencia. Por lo tanto ambos muros pueden ser reparados. (figuras 7.22 y 7.23).

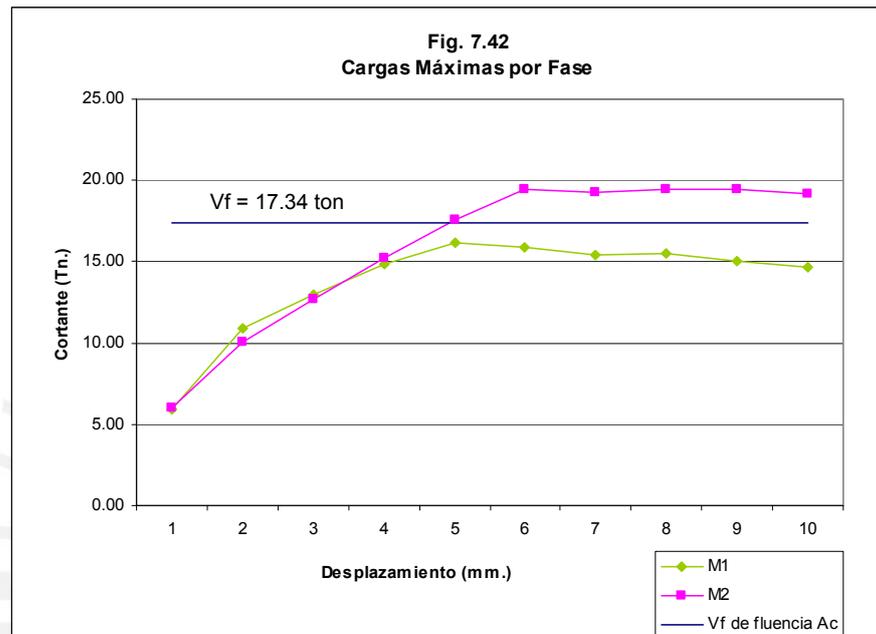
7.7.5. Degradación de rigidez

La rigidez correspondiente a cada fase se determinó como la pendiente promedio en los ciclos estables V-D. La figura 7.41 demuestra que la utilización del refuerzo horizontal atenúa la degradación de la rigidez a medida que se desarrolla el ensayo.



7.7.6. Capacidad de carga máxima

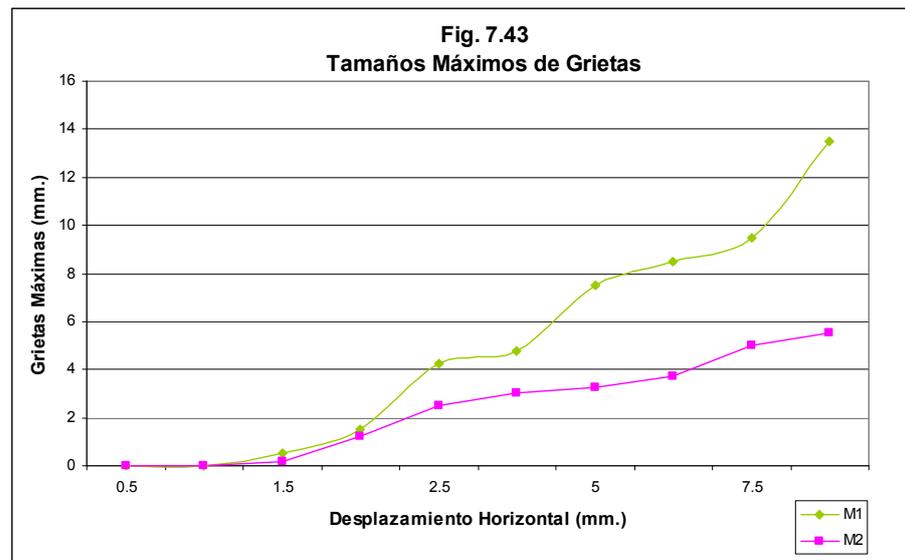
La resistencia máxima experimental para cada fase del ensayo (figura 7.42), se obtuvo de promediar los valores máximos de las ramas (positivas y negativas) del primer ciclo de cada una de las fases.



Podemos observar que los valores de carga máxima fueron similares para ambos muros en las primeras fases, pero en las fases posteriores el muro reforzado sobrepasó la fuerza asociada al momento máximo nominal $V_f = 17.34$ ton lo cual indica que el acero vertical de las columnas ingresó a la etapa de endurecimiento.

7.7.7. Grososres máximos de grieta

En la figura 7.43 se puede apreciar para todas las fases que conforman los ensayos, mucho menor grosor máximo de grieta para el caso del muro reforzado horizontalmente, comprobándose que se logra controlar el grosor de las grietas con el refuerzo planteado en esta investigación, pero no de las unidades huecas.



7.7.8. Comportamiento del refuerzo vertical

Las máximas fuerzas horizontales fueron 16.17 ton para el caso del muro tradicional y 19.49 ton para el muro reforzado, lo cual indica que el refuerzo vertical del muro reforzado horizontalmente ingresó a la etapa de endurecimiento, ya que el muro sobrepasó la máxima fuerza horizontal $V_f = 17.34$ ton.

Con los datos de los LDVT D3 y D4 (figura 7.1) ubicados en los talones de los muros se determinó la deformación unitaria vertical.

Ecuación 7.1

$$\varepsilon = \frac{D}{L}$$

ε = deformación unitaria

D = valor promedio absoluto del máximo desplazamiento LDVT D3 y D4

L = distancia entre las bases de los sensores

Los resultados aparecen en las figuras 7.44 y 7.45.

• Muro tradicional

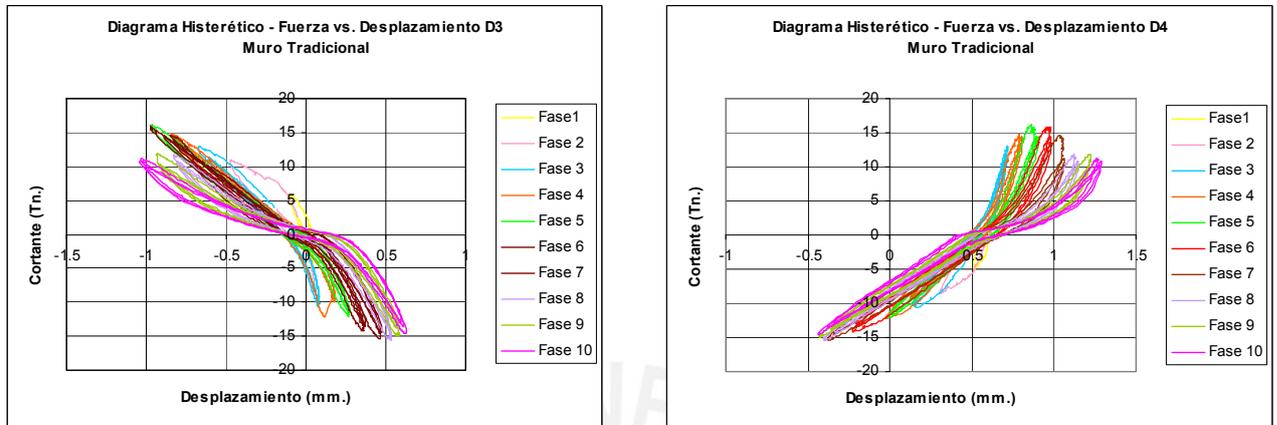


Fig. 7.44 Variación del desplazamiento vertical en los talones del muro tradicional

$$\epsilon = 1.042 / 300 = 0.0035$$

$$\epsilon = 1.291 / 300 = 0.0043$$

• Muro reforzado horizontalmente

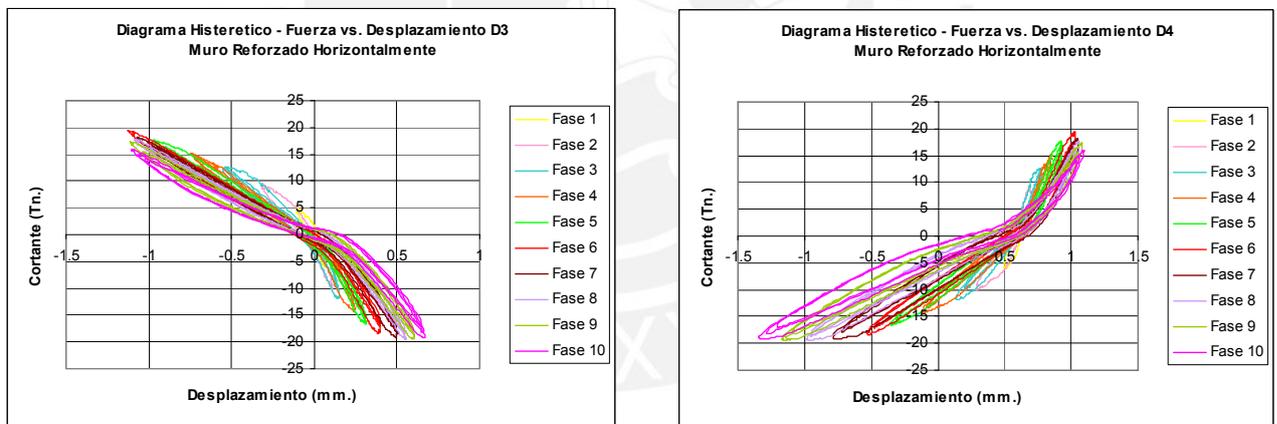


Fig. 7.45 Variación del desplazamiento vertical en los talones del muro reforzado horizontalmente

$$\epsilon = 1.126 / 300 = 0.0037$$

$$\epsilon = 1.348 / 300 = 0.0045$$

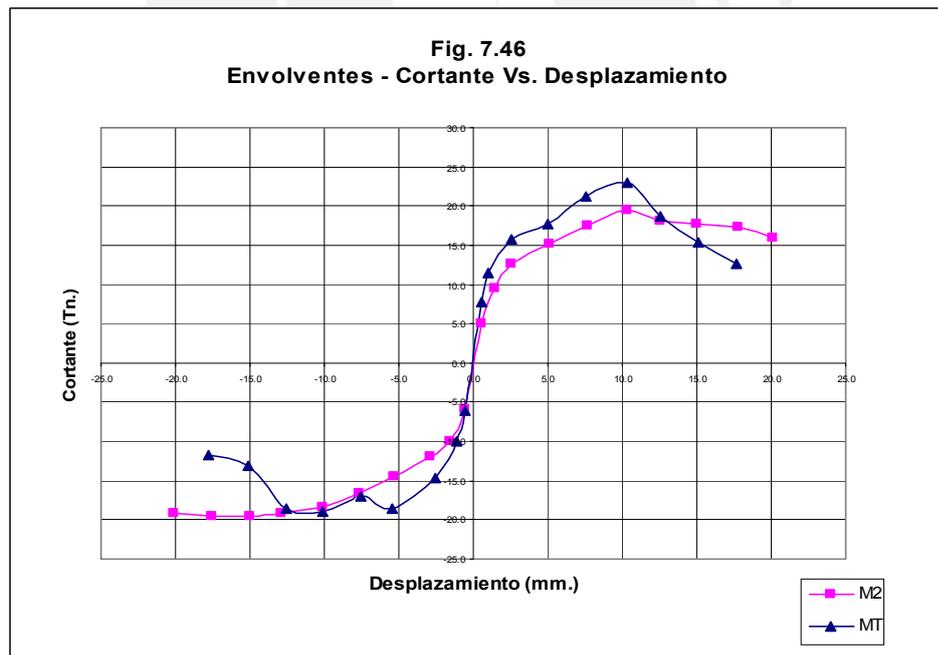
De acuerdo con los resultados obtenidos, la deformación unitaria (ϵ) en ambos muros excedió la deformación unitaria del acero en fluencia ($f_y / E_s = 4200 / 2100000 = 0.002$) con lo que se demuestra que el acero efectivamente fluyó.

7.7.9. Comparación de resultados con ensayos anteriores

De acuerdo a los resultados obtenidos, el muro tradicional (M1) presentó una respuesta atípica, ya que no hubo un encuentro directo de las grietas diagonales principales durante el ensayo (fase 6). Esto ocasionó que el centro del muro M1 no presente mayor daño en los ladrillos. Por lo tanto, se va realizar una comparación con el muro tradicional (MT) de la tesis de José Ordoñez Zenteno que se lista en la Revisión Bibliográfica (Capítulo1) con el Muro Reforzado (M2) de la presente investigación, donde ocurrió la trituración de los ladrillos huecos en la parte central del muro.

Como se indica en el acápite 1.3, el porcentaje de huecos de los ladrillos del muro MT es de 45% y de los ladrillos del muro M1 es de 50%.

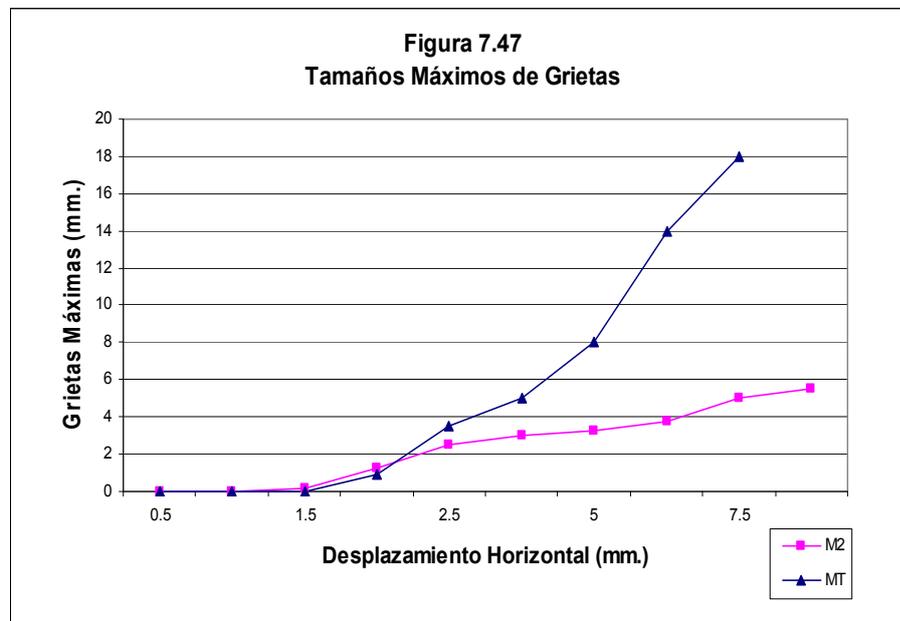
Los resultados de la comparación aparecen en las figuras 7.46 y 7.47.



De acuerdo con la figura 7.46, la carga máxima soportada por el muro MT fue de 22.90 ton (Fase 6) y 19.43 ton para el caso del muro M2 (Fase 6). Esto se debe a que las resistencias en la albañilería del muro MT fueron mayores a las del muro M2:

$f'm$ (MT)	$= 83.0 \text{ kg / cm}^2$,	$f'm$ (M2)	$= 60.0 \text{ kg / cm}^2$
$v'm$ (MT)	$= 11.6 \text{ kg / cm}^2$,	$v'm$ (M2)	$= 7.14 \text{ kg / cm}^2$

Sin embargo, en la figura 7.46 se observa una fuerte degradación de resistencia en el muro MT en relación al muro M2, debido a que en M2 la trituración de los ladrillos fue controlada por el refuerzo horizontal, que no existió en MT.



De acuerdo al acápite 7.7.7 y la figura 7.47, el grosor de las grietas para el caso del muro M2 es mucho menor que el caso del muro MT, comprobándose nuevamente que el refuerzo adicional propuesto llega a controlar el grosor de las grietas durante el ensayo.

El muro MT en la fase 7 del ensayo de carga a lateral cíclica con un desplazamiento de 11.6 mm, comenzó a presentar trituración de las unidades de albañilería, mientras que en el muro M2 esta trituración se inició en la fase 8 con un desplazamiento de 13.1 mm.

Con lo indicado en los párrafos anteriores se puede comprobar que el refuerzo horizontal aumenta la capacidad de deformación inelástica del muro (13%) debido a que logró retardar la trituración de las unidades de albañilería.

CAPÍTULO 8

8. ANÁLISIS DE COSTOS

Para la construcción de muros portantes, la Norma Técnica E.070 nos exige la utilización de unidades de albañilería con un porcentaje de área huecos menor al 30%; pero debido a que los ladrillos de arcilla que presentan más de 30% de área de huecos son menos costosos que los ladrillos de arcilla sólidos, son comúnmente usados en la construcción de muros portantes en nuestro país.

Por lo tanto la solución que se propone para darle una mayor seguridad a las edificaciones utilizando estos ladrillos tiene que ser una alternativa económica.

Por eso se realiza este análisis de costos y como ambos muros tienen en común los elementos de concreto, el análisis de costos solo abarcó los precios de los ladrillos, el mortero y el refuerzo horizontal.

8.1. MATERIALES

Para el análisis de precios unitarios, se calculó la cantidad de materiales que hay por partida:

LADRILLOS

Longitud del ladrillo (m)	0,230
Altura del ladrillo (m)	0,125
Espesor de la junta Horizontal (m)	0,010
Espesor de la junta Vertical (m)	0,015

Ladrillos (unid / m²) 30,234

MORTERO

Volumen del muro / m ² (m ³ / m ²)	0,1300
Número de ladrillos / m ²	30,234
Volumen del ladrillo (m ³)	0,0025

Mortero (m³ / m²) 0,0544

Para preparar 1 m³ de mortero con relación volumétrica cemento : arena de 1 : 4, se necesita 8.9 bolsas de cemento y 1 m³ de arena gruesa. Entonces la cantidad de cemento y arena que se necesitó fue la siguiente:

Cemento (bls / m ²)	0,48
Arena (m ³ / m ²)	0,05

8.2. MANO DE OBRA

Se tomó el tiempo empleado para la construcción de los muros y con esos datos para cada tipo de muro se calculó los rendimientos, que fueron los siguientes:

RENDIMIENTOS

Muro Tradicional (m ² / día)	12,27
Muro Reforzado (m ² / día)	9,60

Como muestra la tabla, el rendimiento del muro reforzado horizontalmente es menor que el del muro tradicional.

Estos rendimientos son obtenidos sólo para el asentado de las unidades de albañilería y la colocación del refuerzo horizontal (en el caso del muro reforzado), no se tomó en cuenta la habilitación del acero de refuerzo horizontal.

8.3. PRECIOS UNITARIOS

MURO DE LADRILLOS KK - TRADICIONAL					
RENDIMIENTO (m ² / día) 12			COSTO POR m ² (S./) 38.50		
DESCRIPCION	UN	Cantidad	P.U.	Parcial	TOTAL
MANO DE OBRA					
OPERARIO	HH	0.65	12.23	7.95	11.23
PEON	HH	0.33	9.95	3.28	
EQUIPO					
HERRAMIENTAS MENORES	% HH	5.00	11.23	0.56	0.56
MATERIALES					
CEMENTO PORTLAN TIPO I	bls	0.48	14.45	6.94	26.71
ARENA GRUESA	m ³	0.05	29.41	1.47	
LADRILLOS KK 18 HUECOS	und	30.00	0.61	18.30	

MURO DE LADRILLOS KK - REFORZADO HORIZONTALMENTE					
RENDIMIENTO (m ² / día) 9.6			COSTO POR m ² (S./) 42.38		
DESCRIPCION	UN	Cantidad	P.U.	Parcial	TOTAL
MANO DE OBRA					
OPERARIO	HH	0.76	12.23	9.30	9.85
PEON	HH	0.06	9.85	0.55	
EQUIPO					
HERRAMIENTAS MENORES	% HH	5.00	9.85	0.49	0.49
MATERIALES					
CEMENTO PORTLAN TIPO I	bls	0.48	14.45	6.94	32.04
ARENA GRUESA	m ³	0.05	29.41	1.47	
LADRILLOS KK 18 HUECOS	und	30.00	0.61	18.30	
ACERO Φ 6 mm	kg	2.14	2.49	5.33	

Referencia:

CONSTRUCTIVO

Revista al servicio y promoción de la construcción.

Diciembre 2007 – Enero 2008

ANÁLISIS DE COSTOS

Después de hacer el análisis de precios unitarios, el costo por m^2 de construcción del muro con refuerzo horizontal es 10 % mayor que la construcción del muro tradicional.

Además de ser poca la diferencia entre los precios de cada opción, la máxima resistencia del muro reforzado horizontalmente aumentó en un 21% con respecto al muro tradicional y la trituración de las unidades huecas se retardó.



CAPÍTULO 9

9.1. CONCLUSIONES

- a) De acuerdo a los resultados obtenidos, la carga lateral aumenta a medida que los muros se encuentran dentro del comportamiento elástico, esto sucede mientras no se fisuren o no superen la resistencia de tracción por flexión, asociada a la primera fisura visible en los ensayos. Para el muro tradicional, esta se presentó en la tercera fase y para el muro reforzado en la segunda fase. A partir de este momento la carga lateral aumenta hasta alcanzar la resistencia máxima y a partir de ese punto decrece. Al mismo tiempo se aprecia que luego de la fisuración de los muros, la degradación de la rigidez es considerable, siendo en el caso del muro reforzado menor el porcentaje de degradación en comparación con el muro tradicional. Por lo tanto, en esta primera comparación, el refuerzo resultó ser una buena alternativa para controlar la degradación de rigidez y resistencia.

De la misma manera se aprecia que la carga máxima soportada por el muro con refuerzo horizontal es mayor en 21% en comparación con la carga soportada por el muro tradicional, con lo se puede asegurar una mayor resistencia de estos muros.

- b) De acuerdo al comportamiento de los muros durante los ensayos, el muro tradicional comenzó a presentar trituración de sus unidades antes de la fase 7, en la intersección de las diagonales, ubicado en la zona superior derecha de dicho muro, extendiéndose a los extremos e incrementándose el grado de trituración en la zona del cruce mencionado. Por otro lado, el muro reforzado comenzó a presentar trituración de unidades en la fase 8, no en el cruce de las diagonales, sino mas bien en el extremo superior izquierdo de la penúltima hilada, extendiéndose sólo a unas pocas unidades en el cruce mencionado y a dos unidades en el extremo superior derecho del muro. Esto comprueba que el refuerzo realmente participó durante el ensayo, proporcionando ductilidad al muro, y así disminuyó la cantidad y el grado de trituración de las unidades de albañilería del muro.

Si bien con el uso de refuerzo horizontal se logró retardar la trituración de los ladrillos (lo que implicó un incremento de la capacidad de deformación inelástica de 55%), esta trituración se produjo en la fase 9 del experimento en varios ladrillos de la penúltima hilada, haciendo ineficiente el efecto del refuerzo horizontal. Este problema debe ser más crítico de haber existido carga vertical, puesto que el muro correría el riesgo de quedar sin sección transversal en la penúltima hilada.

Una manera de poder comprobar que se pudo controlar la trituración de las unidades, a pesar que ambos muros presentan una gran cantidad de fisuras (siendo mayor la cantidad de grietas en el muro reforzado), es que el grosor máximo de grieta en el muro reforzado fue mucho menor que en el caso del muro tradicional.

Si bien las unidades de albañilería utilizadas presentan un porcentaje de huecos que superan lo especificado por la Norma Técnica E.070, y no pueden ser utilizadas en muros portantes, por presentar un tipo de falla frágil. Este inconveniente fue contrarrestado en cierto modo por el refuerzo horizontal utilizado y los ladrillos previamente taponados que se utilizaron en los extremos del muro.

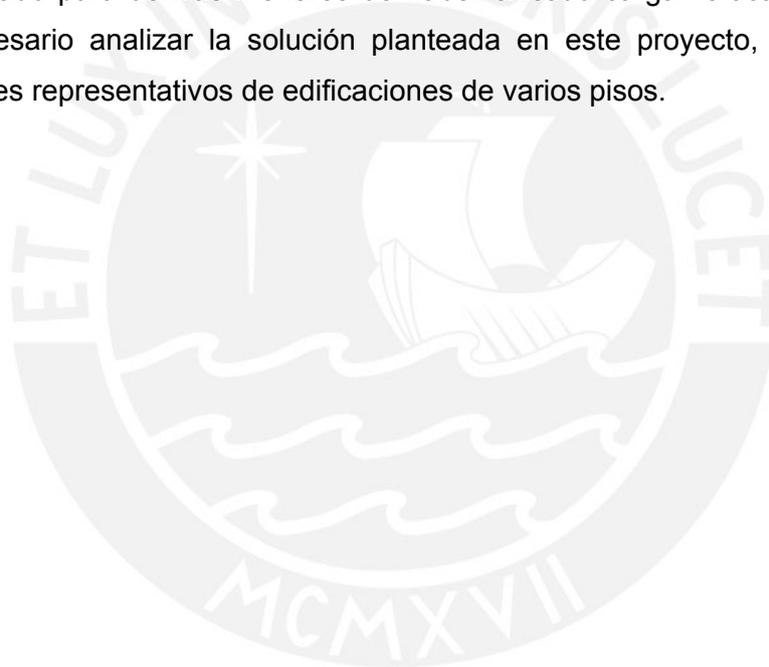
- c) El costo del muro reforzado fue aproximadamente 10% mayor que el muro tradicional, siendo la diferencia resultado no sólo del refuerzo adicional que se está colocando, sino que implica además tiempo en la colocación de los mismos, generando que el rendimiento de la construcción del muro disminuya en un 15% aproximadamente. Esta diferencia en costo es contrarrestado por el mayor beneficio que se tiene en el incremento de la resistencia máxima y de la capacidad de deformación inelástica. Al utilizar ladrillos sólidos con un porcentaje de huecos menor de 30%, haría que el costo se incremente 42%, con lo cual, la opción propuesta sigue siendo económicamente factible.

Por lo tanto, se comprueba que la adición de ladrillos taponados en zonas críticas del muro y el refuerzo horizontal atenúan el grosor de las grietas diagonales, controlando en cierta forma la trituración de las unidades huecas

de albañilería, lo que mitiga la pérdida de resistencia y rigidez en los muros a un precio económicamente dentro de lo aceptable.

9.2. LINEA FUTURA DE INVESTIGACIÓN

La adición de ladrillos previamente taponados ubicados en las esquinas del muro y el uso del refuerzo horizontal continuo, mejoró tanto la resistencia lateral como la capacidad de deformación inelástica en relación a la obtenida en el muro construido con unidades huecas. Sin embargo, este refuerzo horizontal resultó ineficaz como para controlar la trituración de ladrillos huecos ubicados en una hilada determinada, algo que se presentó en la fase 9 de este proyecto y que posiblemente se hubiese presentado para derivas menores de haber existido carga vertical. Por esta razón es necesario analizar la solución planteada en este proyecto, pero con cargas verticales representativas de edificaciones de varios pisos.



BIBLIOGRAFÍA

- 1. Construcciones de Albañilería, Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural.**
Angel San Bartolomé.
Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
Lima 1998
- 2. Norma Técnica de Edificaciones E.070 Albañilería.**
Ministerio de Vivienda
Lima 2006
- 3. Norma Técnica de Edificaciones E.030 Diseño Sismoresistente**
Ministerio de Vivienda
Lima 2006
- 4. Comparación del comportamiento sísmico de un muro de albañilería confinada tradicional y otro caravista.**
José Eduardo Ordóñez Zenteno
Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil
Copia disponible en Hemeroteca FACI - PUCP
Lima 2005
- 5. Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla.**
Paola Diana Angles Pari
Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil
Copia disponible en Hemeroteca FACI - PUCP
Lima 2008
- 6. Efecto de cinco variables sobre la resistencia de la albañilería.**
Mirlene del Carmen Castro Feria
Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil
Copia disponible en Hemeroteca FACI.
Lima 2001
- 7. Estudio de la conexión columna albañilería en muros confinados**
Italo Gonzáles Galgani
Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil
Copia disponible en Hemeroteca FACI - PUCP
Lima 1993

ANEXOS

Anexo1: CARACTERISTICAS DE LOS MUROS

- LAMINA 1: Muro Tradicional
- LÁMINA 2: Muro Reforzado
- LÁMINA 3: Viga Solera y Columna típica
- LÁMINA 4: Viga de Cimentación

Anexo2: DIAGRAMAS DE GRIETAS EN CADA FASE





Anexo 1

CARACTERÍSTICAS DE LOS MUROS

