



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

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

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



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERÚ

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS ANTISÍSMICAS

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

ALUMNO : GONZALO FRANCISCO PERALTA ROZAS 20002298
ASESOR : ING. DANIEL TORREALVA DÁVILA

1 TITULO

“RESISTENCIA A FLEXION DE MUROS DE ADOBE REFORZADOS CON GEOMALLAS-INFLUENCIA DEL TIPO DE TARRAJEO”

2 OBJETIVO

Describir el comportamiento y predecir la conducta de muros de adobe sometido a flexión reforzado con geomallas y tarrajeado con mortero de cemento/arena.

3 METODOLOGÍA A SEGUIR

Se construirán tres muros de adobe de 0.8x1.6 m de superficie y 0.22m de espesor.

Se usaran unidades de ladrillo sin cocer en lugar de adobes propiamente dicho. Las características de los muros y su proceso constructivo será similar al realizado en la investigación precedente (tesis de Cerròn-Espinoza).

El muro se ensayará a carga lateral con desplazamiento controlado en varias fases de carga y descarga hasta un desplazamiento máximo de 50mm, en forma similar al ensayo de la investigación precedente.

La instrumentación consiste en la colocación de 9 LVDTs.

4 ESPECIMEN A REALIZARSE EN EL LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE LA PUCP

Cada muro de adobe estará cimentado sobre una viga de cimentación (existente), sobre el cual se vaciará una viga solera de concreto.

Las dimensiones del muro serán de 22 cm de espesor (26 cm con el tarrajeo), 80 cm de ancho y una altura de 160 cm.

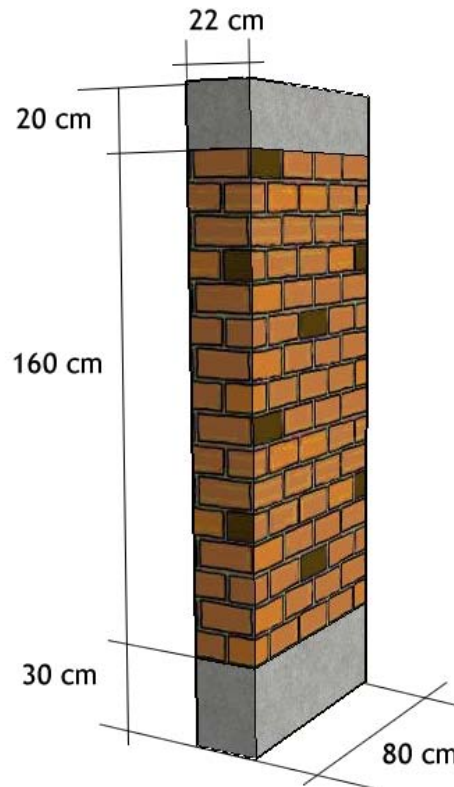


Fig. 1. Dimensiones del espécimen

La viga solera ubicada sobre el muro es de 20 cm de peralte.

El espécimen será transportado a la zona de ensayo mediante el izaje desde la viga de cimentación.

5 ENSAYO A REALIZARSE EN EL LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE LA PUCP

Una vez concluida la construcción del muro se procederá a la instrumentación tentativa mediante LVDTs.

Para la aplicación de la carga se colocará un tubo de metal de 3.5" aproximadamente en las vigas soleras a un lado de los muros.

Adicionalmente se deberán realizar ensayos de control consistentes en cinco unidades a compresión, cinco pilas a compresión axial y tres muretes a compresión diagonal, no será necesario instrumentar los ensayos de control con LVDT's.

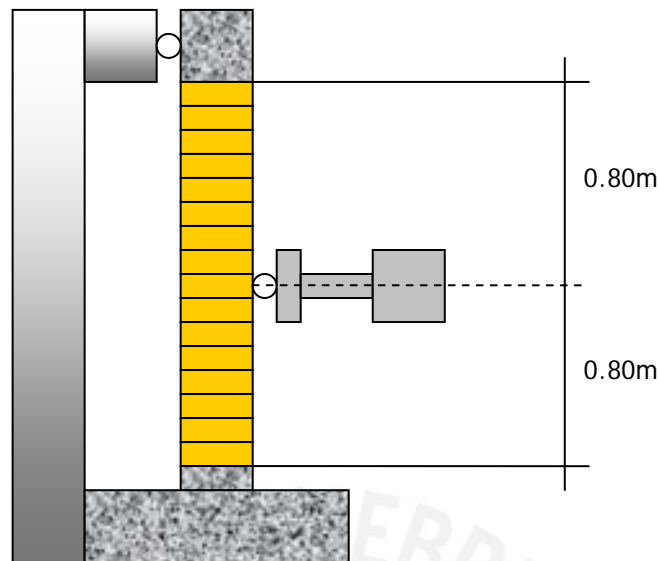


Fig. 2 Configuración del ensayo.

6 METRADO DE MATERIALES NECESARIOS PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Como unidades de adobe se usarán ladrillos sin cocer que tienen características similares al adobe tradicional y son más fáciles de conseguir ya fabricados. Se utilizará tierra para la elaboración del mortero, el tarrajeo será de cemento y arena en proporción de 1 a 5 y se utilizará malla polímero para el refuerzo del muro. La viga de cimentación será de concreto.

Los materiales para la construcción de los muros de adobe serán 1000 unidades de ladrillo sin cocer de 22cmx13cmx7.5cm, 20 m² de malla polímero TENSAR BX 1100 aprox., 04 tablas de madera de 1 ½" de espesor x 60 cm. de alto x 2.50 m de largo.

7 PERSONAL DEL LABORATORIO QUE SE NECESITARÁ

Se necesitará un personal aproximado de 2 trabajadores para las labores de construcción y personal técnico para el ensayo de un muro de adobe con refuerzo y tarrajeo. Se contará con ayuda de mano de obra de alumnos para el asentado de adobes.

8 CRONOGRAMA

1. Estudio Preliminar. Planos de modulos y dispositivos de ensayos: 1 mes
2. Construccion y reforzamiento de muro : 1 mes
3. Instrumentacion de muro : 1 semana
4. Ensayo estatico de muro : 1 mes
5. Interpretacion de resultados : 2 meses
6. Elaboracion de informe parcial: 1 mes
7. Elaboracion de informe final : 1 mes

9 PRESUPUESTO

- Compresión de unidades (5 unidades)
- Pilas a compresión axial (5unidades)
- Muretes a compresión diagonal (3 unidades)
- Muros a flexión transversal (3 unidades)

10 REFERENCIAS

Daniel Torrealva and Alberto Dusi , 2006. Structural Polymer Grid Reinforcement For Brick Masonry Walls - The Ductile Approach

Torrealva D, Acero J. 2005. "Uso de materiales naturales y de polímeros en el refuerzo sísmico de construcciones de adobe del Proyecto Getty Conservation Institute (GCI) y la PUCP". Informe Final. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Blondet M, Madueño I, Torrealva D, Villa Garcia G, Ginocchio F. 2004. "Refuerzo de construcciones de adobe con elementos producidos industrialmente. Estudio preliminar". Reporte técnico. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Julio Vargas Neumann, Daniel Torrealva, Marcial Blondet. 2007 " Construcción de casas saludables y sismorresistentes de ADOBE REFORZADO con geomallas"

RESUMEN

Diferentes eventos sísmicos que se han producido en la historia del Perú generan daños considerables en las viviendas de adobe que aun hoy bordean el 35% del total, mayoritariamente ubicadas en zonas rurales.

Esta Tesis se basa en ensayos realizados en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad utilizando geomallas para el refuerzo de los muros de adobe, buscando así disminuir la vulnerabilidad de estas edificaciones.

Se ensayaron en total 5 unidades de albañilería a compresión, 5 pilas a compresión, 3 muretes a tracción diametral, así como 3 muros a flexión de dimensiones 0.8x1.6m apoyados sobre una viga de cimentación, reforzados con geomalla y por primera vez con un tarrajeo de cemento/arena en relación 1 a 5.

A diferencia de ensayos anteriores realizados en la PUCP, la utilización de cemento en el tarrajeo dota a los muros de una mayor Resistencia Elástica(más del doble), pero a su vez al ser este tarrajeo un elemento frágil, al producirse la primera fisura hay una pérdida drástica de resistencia y la geomalla debe poseer tal característica que pueda resistir este cambio esta caída brusca y después de ello debe comenzar a dotar al muro de resistencia.

Al ser un ensayo a Flexión el proceso es de carga y descarga y las curvas mostradas son las envolventes de las curvas obtenidas y luego de ello se promedian los resultados de los tres muros para obtener envolventes promedio. También se realizan comparativos con una Tesis anterior donde se había ensayado muros reforzados con geomalla pero tarrajeados con mortero de tierra y también un muro sin refuerzo.

Se realiza también distintos modelos que nos ayuda a ver de forma numérica si los resultados obtenidos tienen un fundamento teórico, obteniendo resultados muy similares que nos ayudan a predecir a cierto punto el comportamiento de los ensayos.

A mis Padres por su apoyo durante
toda mi vida universitaria

A Patricia por su apoyo para
la realización de esta Tesis



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA



**“RESISTENCIA A FLEXION DE MUROS DE ADOBE REFORZADOS CON
GEOMALLAS-INFLUENCIA DEL TIPO DE TARRAJEO”**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presenta el bachiller:

Gonzalo Francisco Peralta Rozas

Asesor: Ing. Daniel Torrealva

Lima, Octubre del 2009

INDICE

| | |
|--|--------|
| CAP 1. Introducción..... | pag 3 |
| CAP 2. Materiales | |
| 2.1 Unidades Artesanales..... | pag 5 |
| 2.2 Mortero..... | pag 6 |
| 2.3 Geomalla..... | pag 6 |
| 2.4 Procedimiento Constructivo..... | pag 10 |
| CAP 3. Propiedades de la Albañilería | |
| 3.1 Resistencia a la Compresión de la Unidad..... | pag 12 |
| 3.2 Resistencia a la Compresión de la Albañilería..... | pag 13 |
| 3.3 Resistencia al Corte de la Albañilería..... | pag 14 |
| CAP 4. Metodo de Ensayo | |
| 4.1 Análisis del Comportamiento a Flexión..... | pag 16 |
| 4.2 Procedimiento Experimental..... | pag 18 |
| 4.3 Items de Diagramas..... | pag 20 |
| CAP 5. Ensayo a Flexión | |
| 5.1 Rigidez Inicial Experimental..... | pag 21 |
| 5.2 Envoltentes de Diagramas Fuerza-Desplazamiento..... | pag 22 |
| 5.3 Proceso de Agrietamiento de los Muros..... | pag 28 |
| CAP 6. Comparaciones Tesis Anterior | |
| 6.1 Comparaciones con Muros Tarrajeados con Barro y Sin Refuerzo.... | pag 32 |
| 6.2 Análisis de Energía Absorbida por deformación..... | pag 36 |
| CAP 7 Interpretación de Resultados | |
| 7.1 Estimación de un Modelo de Diseño..... | pag 37 |
| 7.2 Comparación Experimental..... | pag 40 |
| CAP 8 Comentarios y Conclusiones | pag 41 |

INTRODUCCION

El adobe es una masa de tierra, arena, agua y a veces con paja, moldeada en forma de ladrillo y secado al sol, se utiliza para la construcción de paredes y muros de variadas edificaciones.

Ha sido el elemento más utilizado en la construcción desde el inicio de las primeras culturas precolombinas; algunos vestigios de estas ciudades se mantienen hasta nuestros días como la ciudadela de Chan Chan, que es considerada la ciudad de barro más grande de América con 20km² aproximadamente.

Aún hoy, es un elemento muy importante en la construcción en nuestro país, según el último indicador del INEI para el 2007, el adobe representa el 35% de las construcciones en el País, siendo un 22% en la Costa y un 67% en la Sierra, sobre todo en zonas rurales.

Pero también es conocido que el adobe es un material que casi no presenta resistencia a la tracción y posee una alta inestabilidad mecánica, lo que lo hace muy vulnerable ante fenómenos naturales como sismos e inundaciones.

En el marco de este contexto, La Pontificia Universidad Católica del Perú realiza desde la década del 70 un programa experimental de estudio e investigación para reducir la vulnerabilidad sísmica de las construcciones de adobe habiendo obtenido importantes resultados de aplicación en la práctica.

Los últimos estudios realizados comprenden el reforzamiento de muros de adobe con mallas de polímeros o geomallas, donde actúa como un reforzamiento sísmico disminuyendo drásticamente la vulnerabilidad de estos muros.

La casi totalidad de ensayos realizados en el laboratorio con elementos enlucidos, han usado barro como mortero para el tarrajeo. Sin embargo en nuestro medio es habitual tarrajar los muros de adobe con mortero de cemento/arena porque mejora la durabilidad y estética de la pared.

En este proyecto de investigación, se ensayará a flexión fuera del plano 3 muros de adobe reforzados en todas sus caras con Geomalla BX-1100 utilizado un mortero de cemento-arena en relación 1 a 5 para el tarrajeo. De esta forma se analizará la influencia del mortero de tarrajeo en la resistencia a flexión fuera del plano de muros de adobe reforzados con geomallas, comparándola con los ensayos anteriores que han usado mortero de barro.



Materiales

Unidades artesanales:

Las unidades que se han utilizado en este proyecto son provenientes de lotes destinados a la producción de ladrillo artesanal. Son unidades hechas básicamente de tierra fértil arcillosa, agua y en algunas ocasiones se les coloca paja, pequeñas piedras, plástico u otros objetos moldeadas en moldes de madera para luego ser secados al sol.

El procedimiento es muy simple, primero se tamiza la tierra, permitiendo un tamaño máximo promedio de partícula de 1". Luego a este suelo tamizado se le agrega bastante agua dejándolo reposar de un día para otro.

Al día siguiente se recoge el suelo humedecido y se coloca en moldes de madera de los cuales existen diferentes dimensiones dependiendo del tipo de amarre y espesor del muro, se presiona la mezcla y se peina dejándola al ras del molde.

Estas Unidades se denominan secadas al sol debido que no pasan por un proceso de secado en horno industrial, sino que simplemente se colocan al sol hasta que endurezcan.



Debido a la manera artesanal de la fabricación, siempre se obtiene una gran dispersión en sus dimensiones así como un gran alabeo, razón que dificulta el asentado (Fig1)

Fig1. Alabeo en la Unidad Artesanal

Se puede observar por su forma sólida que posee alta densidad; pero al mismo tiempo muestra una baja resistencia. En el acarreo de la cantera al laboratorio se dañaron cerca al 2%, y otro 3% dentro del manipuleo en el laboratorio (Fig 2)



Fig 2: Unidades Dañadas

Mortero

El mortero empleado tiene una proporción de tierra humedecida, arena gruesa y paja 4-1-1. Se preparó en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Católica (LEDi), donde se llevaron procedimientos estandarizados bien controlados para su fabricación.

Se utilizó una mezcladora especial disponible en el LEDi. (Fig 3)



Fig 3: Preparación de Mortero

Geomalla

La Geomalla o malla de refuerzo es un “Material geosintético que consiste de juegos de costillas paralelas conectadas, con aperturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante”⁽¹⁾.

Las Geomallas son de polipropileno y polietileno y para su fabricación parten de una plancha perforada. Estas pueden ser uniaxiales (una dirección) o biaxiales (dos direcciones) que son las utilizadas en este proyecto de investigación.

(1) Apuntes de Clase del Curso Diseño con Geosintéticos

Se utilizan en diferentes tipos de refuerzo como:

- Debajo de capas de agregado en vías no pavimentadas.
- Debajo de relleno de sobrecarga o relleno temporales como plataformas de construcción
- Para reforzar rellenos de terraplenes y presas de tierra.
- Para reparar fallas en taludes y deslizamientos.
- Como refuerzo de fundaciones sobre suelos blandos.
- Como injertos entre geotextiles y/o geomembranas
- Para estabilizar suelos de cobertura sobre geomembranas.

Las Geomallas se fabrican en rollos de 50 metros de longitud por 3 metros de ancho, y posee características de resistencia diferentes en sus dos direcciones principales.

Existen distintos tipos de geomalla, pero la utilizada en este ensayo es el modelo **TENSAR BX-1100**, que posee las siguientes propiedades:

Propiedades Físicas:

- Tamaño de abertura: 25mm y 33mm
- Espesor mínimo de la costilla en ambas direcciones: 0.76mm

Propiedades Mecánicas

- Modulo Inicial Real en Uso: Mínimo: 17.14 lb/ft (250 KN/m)
Máximo: 27.42 lb/ft (400 KN/m)

Se muestra Gráfico Tensión vs. Elongación (Fig 4):

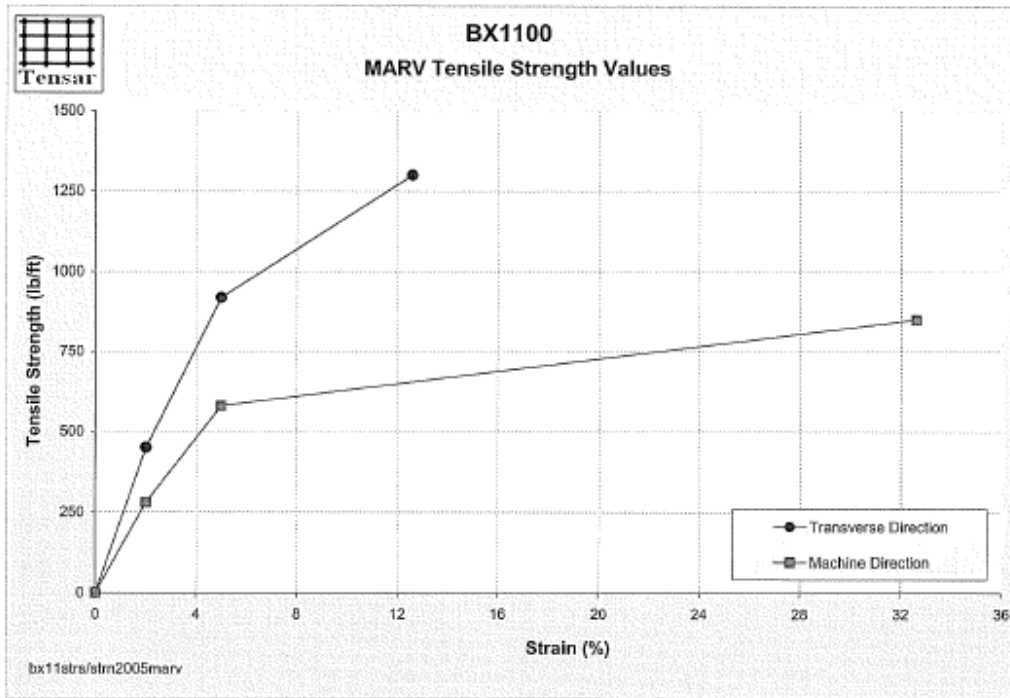


Figura 4: Ing. Augusto Alza

- Capacidad a la Tensión al 2% de Elongación: Mínimo: 280 lb/ft (4.1 KN/m)
Máximo: 450 lb/ft (6.6 KN/m)
- Capacidad a la Tensión al 5% de Elongación: Mínimo: 580 lb/ft (8.5 KN/m)
Máximo: 920 lb/ft (13.4 KN/m)
- Capacidad última de Tensión: Mínimo: 842 lb/ft (12.4 KN/m)
Máximo: 1290 lb/ft (19 KN/m)

Como se puede observar, la Geomalla BX-1100 tiene 50% más de resistencia máxima en una dirección que en la otra, pero puede deformarse 2.5 veces menos.

- Eficiencia de las juntas: 93%
- Rigidez Flexural: 250 g-cm
- Estabilidad de las Aperturas: 3.2 kg-cm/deg

- Resistencia al Daño por instalación: 90 % SC
83% SW
70% GP
- Resistencia a la Degradación a Largo Plazo: 100%
- Resistencia a la Degradación por U.V: 100%

El 26 de marzo del 2008 el comité técnico de la Norma E-080 aprueba el anexo 1 ``Refuerzo de Geomalla en Edificaciones de Adobe`` del Reglamento Nacional de Edificaciones.

El Siguiente es un cuadro comparativo entre la exigencia de dicho anexo a la Norma E-080 y las características de la malla BX-1100

| Exigencia Anexo 1 Norma E-080 | BX-1100 | Resultado |
|--|--|-----------|
| Conformación de retícula rectangular o cuadrada, con abertura máxima de 50mm y nudos integrados | Conformación Rectangular con Abertura Máxima de 33mm y nudos integrados | Aprueba |
| Capacidad mínima de tracción de 3,5 kN/m (350kgf/m), en ambas direcciones, para elongación de 2% | Capacidad Mínima de Tracción de 4.1KN/m para elongación de 2% | Aprueba |
| Flexibilidad y durabilidad para su uso como refuerzo embutido en estructuras de tierra | Resistencia del 100% en degradación a largo Plazo y Alta Resistencia por Instalación | Aprueba |

Como se puede observar, la Geomalla cumple con las características expuestas por la norma para el reforzamiento de elementos de adobe.

Procedimiento Constructivo

Las vigas de cimentación no se diseñaron ni se construyeron dado que fueron proporcionadas por el Laboratorio de Estructuras de la Universidad y ubicadas respectivamente con la grúa pórtico en el lugar de trabajo.

Primero se colocó la primera capa de mortero de barro encima de la viga de cimentación, ahí mismo se colocó también la geomalla para poder envolver al muro y luego la primera hilada. La malla cubre completamente al muro de adobe desde la viga de cimentación hasta la viga solera proporcionando así una interacción directa en todo el elemento.



Fig 5: Hilera no homogénea



Fig 6: Alineamiento horizontal

El procedimiento de construcción de un muro de adobe es más riguroso y tedioso que un muro de albañilería con ladrillos de arcilla dada la poca uniformidad de los elementos de adobe que dificultan el asentado, la nivelación y la homogeneidad del muro (ver fig 5).

También hubo dificultades en el asentado de las unidades debido al alabeo de estas, produciendo zonas donde se concentraba más mortero generando longitudes poco uniformes. Se tuvo que aplomar el muro hacia una misma cara tanto en lo horizontal, como en lo vertical (Figuras 6 y 7).



Fig 7: Alineamiento Vertical

La malla se colocó de manera que para resistir la flexión fuera del plano se utilizara la máxima resistencia a tracción de la malla (Dirección Transversal).

Se utilizó rafia cada dos hiladas y también pequeños ganchos en forma de U para disminuir los bolsones de malla que podrían producirse y con ello obtener un mejor confinamiento del muro.



Fig 8: Viga Solera

El muro llevó una viga solera de concreto de 20cm de peralte (ver fig 8). La dosificación del concreto medida en el laboratorio de Cemento – arena gruesa – piedra de 1-2.5-2.5 y para hacer la mezcla se utilizó la mezcladora del laboratorio.

Como se puede observar en la foto 7, el concreto se vertió sobre la malla que salía de una de las caras, pero que se encontraba amarrada por rafia con las mallas del resto de las caras del muro. Esto generó una correcta interacción entre la viga solera, la malla y el muro.

El tarrajeo de los muros fue de cemento-arena en relación de 1 a 5 con un grosor aproximado de 1.5cm, lo suficiente para poder confinar la malla y posteriormente pueda comportarse como un único elemento durante el ensayo a flexión.

Cabe resaltar que también se tarrajeo la viga solera para conseguir una superficie uniforme (ver figura 9).



Fig 9: Tarrajeo del muro

Resistencia a la Compresión de la Unidad

Para este ensayo primero se seleccionaron aleatoriamente 5 Unidades.



Fig 10: Ensayo Compresión de la Unidad

Luego se les colocó caping un día antes del ensayo en las dos caras adyacentes para uniformizar las superficies en compresión.

La velocidad del ensayo fue de 2KN/min (fig 10), dando los siguientes resultados:

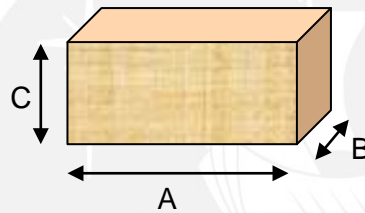


Fig 11: Unidad de Albañilería

| | A(cm) | B(cm) | C(cm) | Carga Máxima(KN) | Esfuerzo (Kg/cm ²) |
|------------------|-------|-------|-------|------------------|--------------------------------|
| Unidad 01 | 21 | 12 | 10 | 34.7 | 14.04 |
| Unidad 02 | 21 | 11.5 | 10 | 46.8 | 19.75 |
| Unidad 03 | 20.5 | 12.5 | 10 | 34.27 | 13.63 |
| Unidad 04 | 21 | 11.5 | 10 | 44.29 | 18.69 |
| Unidad 05 | 21 | 12 | 10 | 47.27 | 19.12 |
| | | | | Promedio | 17.05 |

Observamos que el valor que sobrepasa el 80% de las unidades ensayadas (f_0) es 19.12 kg/cm².

Como referencia se puede mencionar que la Norma E.080 exige como mínimo 12kg/cm².

Resistencia a la Compresión de la Albañilería



Las pilas fueron preparadas 30 días antes del ensayo a razón de 6 unidades por pila, cumpliendo lo que nos indica la norma E.080.

Se ensayaron en total 5 pilas (ver fig 12) a una velocidad de ensayo de 2KN/min de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Fig 12: Pila de Albañilería

| | Ancho(cm) | Largo(cm) | Alto(cm) | Carga Máxima (Kg) | Esbeltez | Esfuerzo(kg/cm ²) |
|---------------|-----------|-----------|----------|-------------------|----------|-------------------------------|
| Pila 1 | 11.5 | 21 | 62 | 1244 | 5.4 | 5.15 |
| Pila 2 | 11.5 | 21 | 62 | 1125 | 5.4 | 4.66 |
| Pila 3 | 11.5 | 20.5 | 62 | 787 | 5.4 | 3.34 |
| Pila 4 | 11.5 | 21 | 62 | 946 | 5.4 | 3.92 |
| Pila 5 | 11.5 | 21 | 62 | 1283 | 5.4 | 5.31 |

La norma define $f'm$ o esfuerzo de compresión ultimo como aquel valor que pasa 2 de ensayos 3 realizados (66%), pero al realizar 5 ensayos, escogemos aquel que pasa 3 de 5 ensayos (60%)

$$f'm = 4.66 \text{ kg/cm}^2$$

Con ello podemos hallar f_m (Esfuerzo Admisible en Compresión del Muro):

$$f_m = 0.25f'm = 1.165 \text{ kg/cm}^2$$

Este valor es inferior a 2kg/cm^2 que indica la norma como valor a tomar si es que no se realizase el ensayo.

La Resistencia a la Compresión por aplastamiento se obtendría $1.25 f_m = 1.456 \text{ kg/cm}^2$

Resistencia al Corte de la Albañilería

Para este ensayo se prepararon 3 especímenes con unidades de cabeza obteniendo una forma cuadrada (60x60cm) con mortero de paja de 1cm de espesor en las juntas.

El ensayo consiste en la aplicación de una carga diagonal al espécimen tal como se puede observar en la figura 13.

ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL

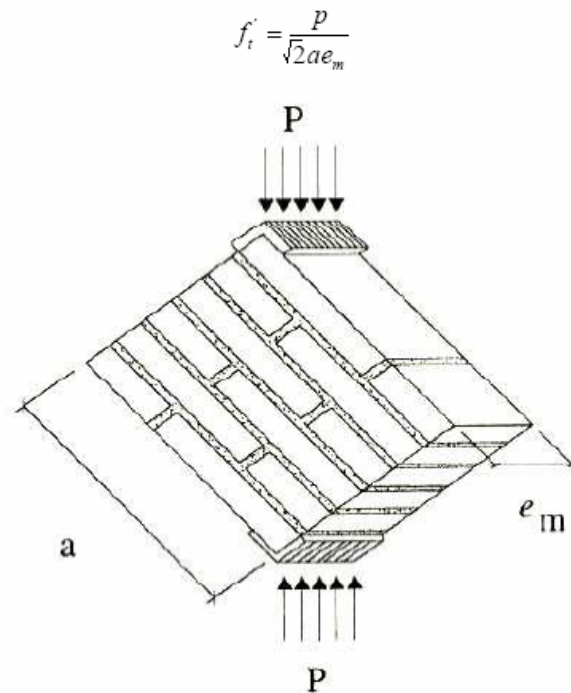


Figura 13: Tomada de la Norma E-080

De Los ensayos se obtuvieron los siguientes resultados:

| | Ancho (cm) | Largo (cm) | Alto (cm) | Área de Corte (cm ²) | Carga Máxima (Kg) | f't = Esfuerzo Máximo con la diagonal (kg/cm ²) |
|-----------------|------------|------------|-----------|----------------------------------|-------------------|---|
| Murete 1 | 21 | 60 | 60 | 1781.91 | 597 | 0.335 |
| Murete 2 | 20.5 | 60 | 60 | 1739.48 | 826 | 0.475 |
| Murete 3 | 20.5 | 60 | 59.5 | 1739.48 | 735 | 0.423 |

El Esfuerzo último del murete de ensayo (f't) es el valor que sobrepasa 2 de 3 valores:

$$f't = 0.423 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_m \text{ (Esfuerzo Admisible al Corte del muro)} = 0.4 f't = 0.169 \text{ kg/cm}^2$$

Este valor es menor a $V_m=0.25 \text{ kg/cm}^2$, valor que sugiere utilizar la Norma E.080 en caso no se realice este ensayo.

Como se puede observar en las figuras 14, 15 y 16 todos los muretes fallaron por las juntas.



Fig. 14,15y16: Fallas por Tracción Diagonal

Análisis Del Comportamiento a Flexión

A continuación se presenta un modelo sencillo para poder estimar la carga máxima que se le podría aplicar al muro antes que llegue al colapso.

Para ello consideramos un muro simplemente apoyado en sus extremos, con una longitud de 1.6m y un ancho promedio de 0.21m como se observa en la figura adjunta:

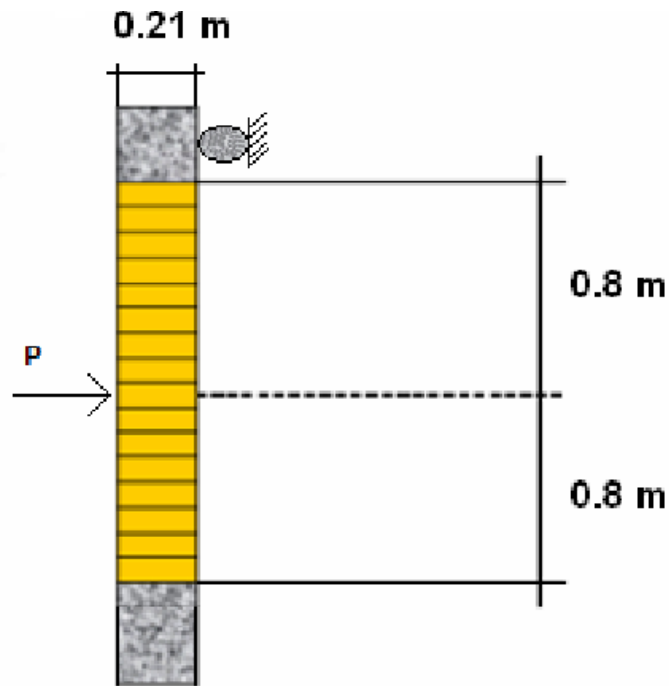
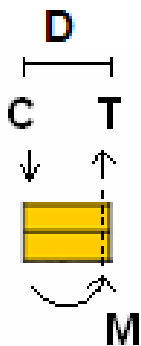


Figura 17: Muro



Ante la aplicación de una carga horizontal P, el adobe va a trabajar a compresión y va a ser la malla la que trabaje a tracción.

Es así como se forma el par de fuerzas C,T que equilibra el Momento M (fig. 18)

Figura 18: Equilibrio

Para idealizar este muro planteamos un análisis de equilibrio con el diagrama de cuerpo libre mostrado en la Figura 19

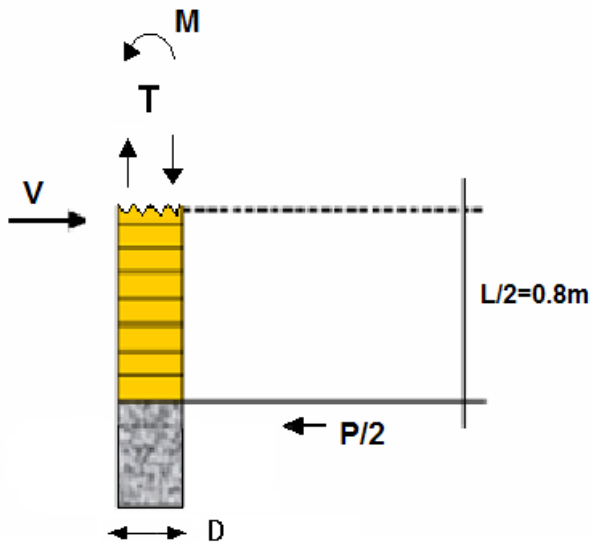


Fig 19: Diagrama de Cuerpo Libre

Por estática inicial a la aplicación de la carga obtenemos:

$M = D \times T$, siendo T la tracción máxima que puede soportar la malla

Debido a un muro simplemente apoyado en los extremos ante un P_{max} :

$$M = (P/2) \times (L/2) = PL/4.$$

Entonces igualando ambas expresiones obtenemos: $D \times T = PL/4$

Por figura 4, obtenemos: $T_{max} = 18.97 \text{ KN/m}$ en la Dirección Transversal ($b = 0.8 \text{ m}$)

$$P_{max} = 4D \times T / L = (4 \times 0.21 \text{ m} \times 18.97 \text{ Kn/m}) / 1.6 \text{ m} \times (0.8 \text{ m}) = 8 \text{ KN}$$

Nota 1: La colocación de la malla fue de tal manera que la dirección de la resistencia mayor (Dirección Transversal) se usó para la flexión.

Nota 2: No se considera el Peso Propio del muro en este análisis simplificado.

Procedimiento Experimental

Para medir las deformaciones en los muros ensayados a Flexión se utilizaron 7 sensores de desplazamiento o LVDT (Linear variable differential transformer) distribuidos según la Figura 20

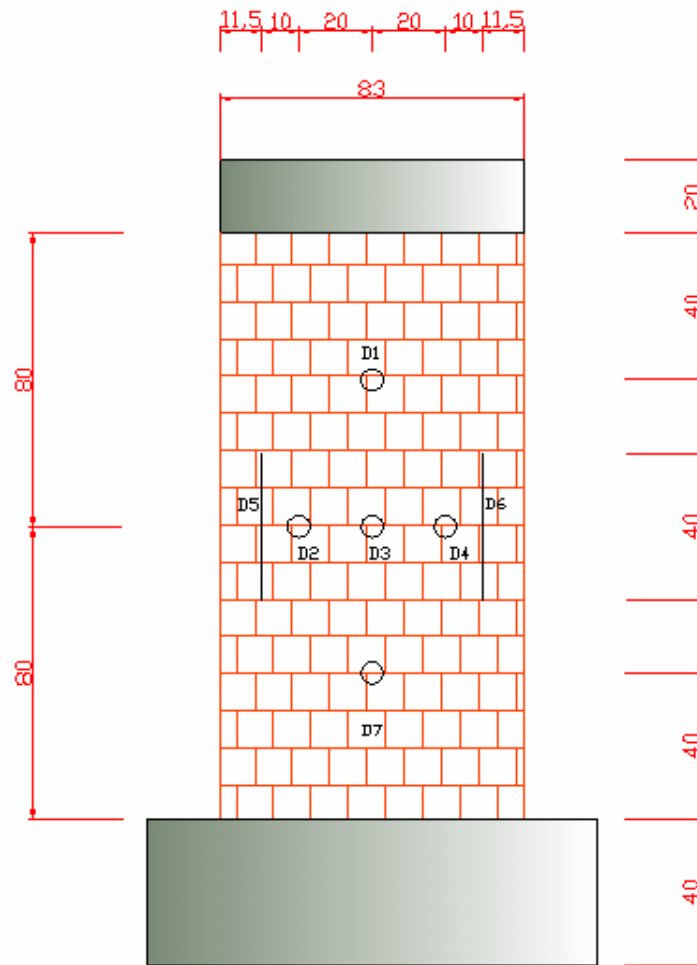


Fig 20: Distribución de LVDTs

Como se puede observar en la figura 20, los puntos D1, D2, D3, D4 y D7 miden desplazamientos perpendiculares a la cara del muro.

Los puntos D5 y D6 que son paralelos a la cara del muro (figura 22), miden desplazamiento lineal entre dos puntos colocados en el tercio central del muro como se muestra en la figura. Es así como se puede medir la curvatura del mismo.

Como cada LVDT mide desplazamientos según una carga aplicada, vamos a obtener distintas curvas de fuerza-desplazamiento. Dichos resultados los iremos comparando posteriormente



Fig 21: LVDTs Perpendiculares



Fig 22: LVDTs Paralelos

Datos del Ensayo:

El ensayo a Flexión consiste en colocar una fuerza a través de una varilla central. Los desplazamientos fueron controlados en 6 fases como se ve en el cuadro.

| Fase | Dmax (mm) | Velocidad (mm/min) |
|------|-----------|--------------------|
| 1 | 2 | 0.4 |
| 2 | 5 | 1 |
| 3 | 10 | 2 |
| 4 | 15 | 3 |
| 5 | 25 | 5 |
| 6 | 50 | 10 |

La Velocidad de muestreo fue a razón de 4 valores/seg.

Ítems de los Diagramas

1. Como se puede mostrar en la figura 23, los Diagramas Fuerza-Desplazamiento obtenidos en los ensayos en Flexión son curvas de carga y descarga. Pero para poder hacer las comparaciones entre las curvas vamos a mostrar solo las envolventes, es decir los valores máximos de todas las curvas.

Diagrama Fuerza Desplazamiento del Muro 1

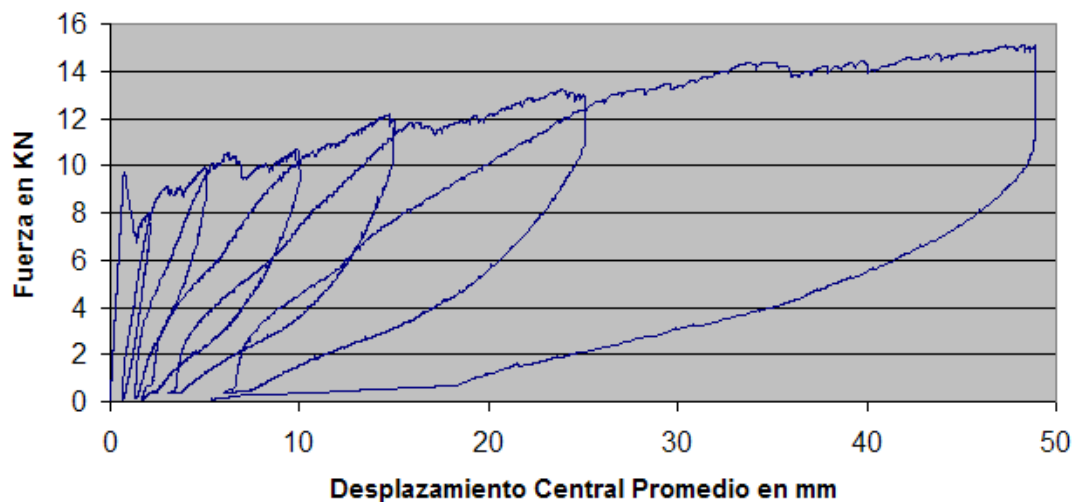


Fig 23: Diagrama Fuerza-Desplazamiento del Muro 1

2. Debido a que cada punto en la curva se encuentra a un intervalo de 0.25 segundos, los valores no son exactamente los mismos en los cruces de curvas de carga y descarga por ello se tiene que colocar valores en los puntos de cruces para obtener una envolvente ideal.
3. Para promediar todas las curvas se tuvo que "alinear" todos los desplazamientos en cada punto (aproximadamente 10 000 puntos en todas las fases) para que a un desplazamiento dado se obtenga una sola Fuerza, y luego de tener todas las curvas "alineadas" se procedió a promediar.
4. El Promedio de las curvas se realizó hasta el punto que se alcanza el valor de rotura de alguna de las curvas, ahí se detiene el promedio y se toman los resultados.

Rigidez Inicial Experimental

Primero hallamos las rigideces de los muros en el rango elástico, para ello obtenemos las curvas promediando los valores de los tres puntos centrales (D2, D3 y D4) hasta el punto donde se produce la primera fisura (ver figura 24).

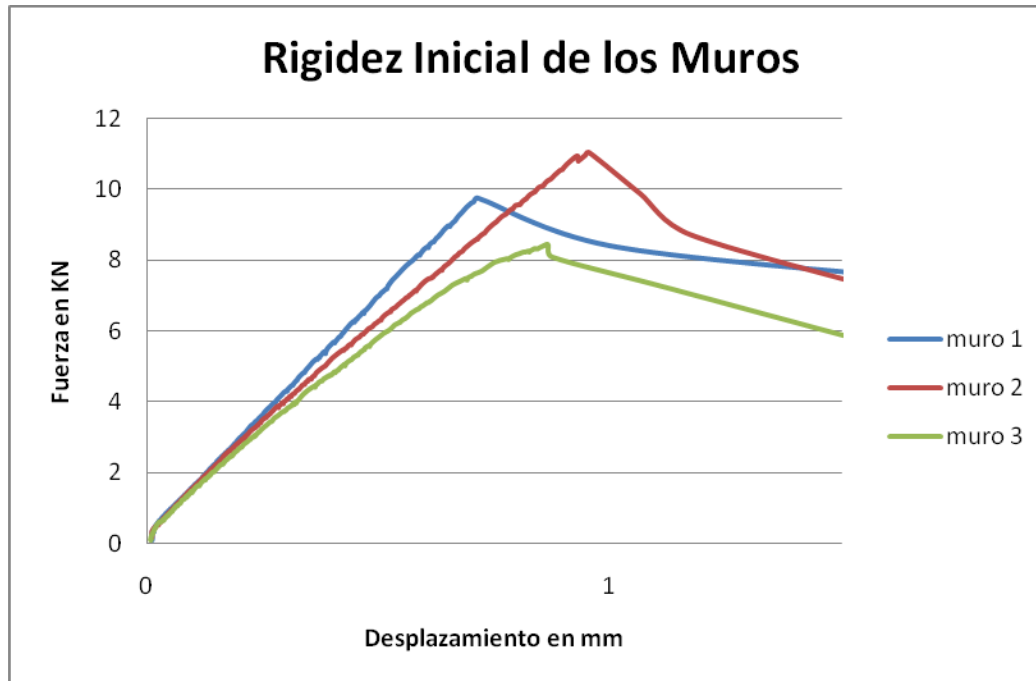


Fig 24: Rigidez Inicial de los tres Muros

Con ello hallamos las rigideces reales de los muros:

$$K1 = 13.63 \text{ KN/mm} = 133.7 \text{ ton/m}$$

$$K2 = 11.55 \text{ KN/mm} = 113.3 \text{ ton/m}$$

$$K3 = 9.25 \text{ KN/mm} = 90.7 \text{ ton/m}$$

Tomando un Promedio, diremos que la rigidez promedio de un muro de adobe reforzado con geomalla y tarrajada con mortero de cemento es de 113 ton/m

Envoltentes de Diagramas Fuerzas-Desplazamiento

Ahora obtenemos las curvas envolventes del promedio de los tres puntos del tramo central de los tres muros y el promedio de estos.(Fig. 25)

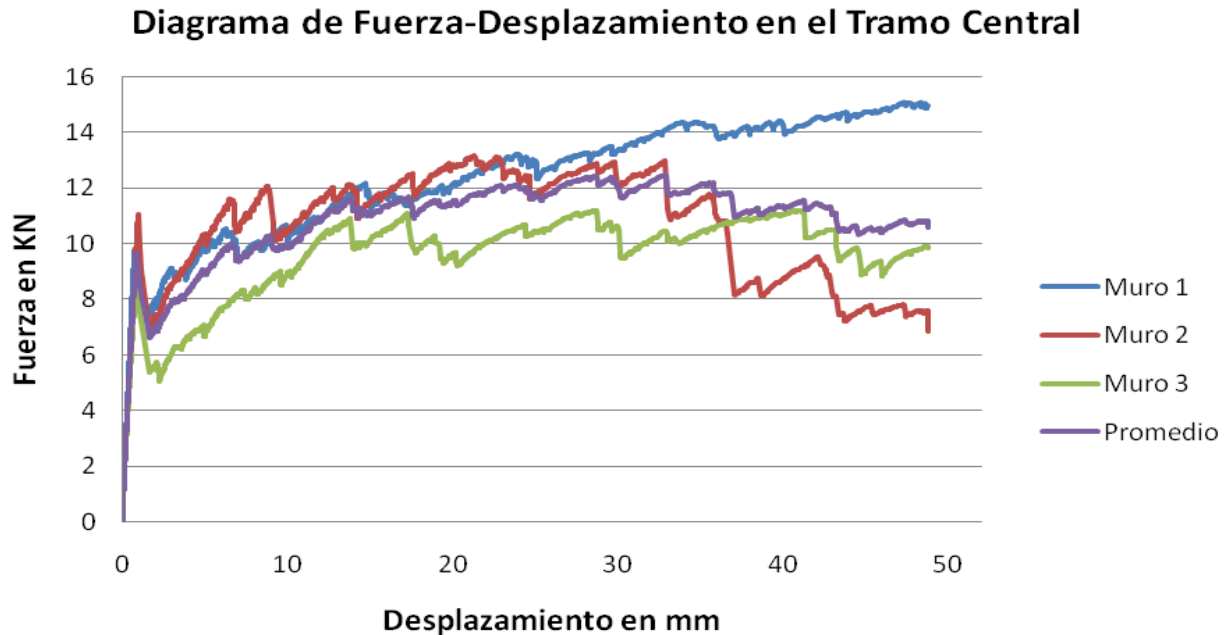


Fig 25: Diagrama Fuerza-Desplazamiento en el Tramo Central

Se puede notar que en los tres muros al producirse la primera fisura se pierde drásticamente resistencia. Esto es debido básicamente al tarrajeo de cemento que es un elemento frágil y es por la primera grieta por donde se va a disipar la energía producida por la fuerza aplicada.

Podemos ver que el Muro 1 tiene una curva creciente hasta el final, es decir que el muro nunca llegó a un valor máximo. El ensayo se detuvo cuando llegó al desplazamiento máximo de 50mm.

Por el contrario el Muro 2 muestra una curva decreciente desde que llega aproximadamente al desplazamiento de 13mm donde comienza a decaer. En ese punto se comenzó a romper la malla. Cabe indicar que todos los muros se llevaron hasta un Desplazamiento Máximo de 50mm.

Para estos resultados de ensayos se ha considerado a la Resistencia como el punto máximo del rango elástico, es decir justo cuando se forma la primera fisura.

La Sobre resistencia se obtiene como el cociente entre la Fuerza máxima obtenida y la Resistencia.

La ductilidad se calculó como el cociente entre el desplazamiento máximo obtenido y el desplazamiento obtenido en el fin del rango elástico.

Del Gráfico con estos conceptos podemos obtener los siguientes resultados:

| Resultado de Ensayos | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------|------------------|--------------------------|-------------------|
| | Resistencia (KN) | Rigidez (KN/mm) | Fmax (KN) | Sobre-resistencia | Ductilidad |
| Muro 1 | 9.75 | 13.6 | 15.1 | 1.55 | 68.2 |
| Muro 2 | 11.03 | 11.6 | 13.2 | 1.19 | 51.1 |
| Muro 3 | 8.1 | 9.3 | 11.2 | 1.36 | 55.7 |
| Promedio | 9.6 | 11.5 | 13.1 | 1.37 | 58.3 |

De la misma manera podemos graficar las envolventes al punto superior D1 (ver punto en la figura 20)

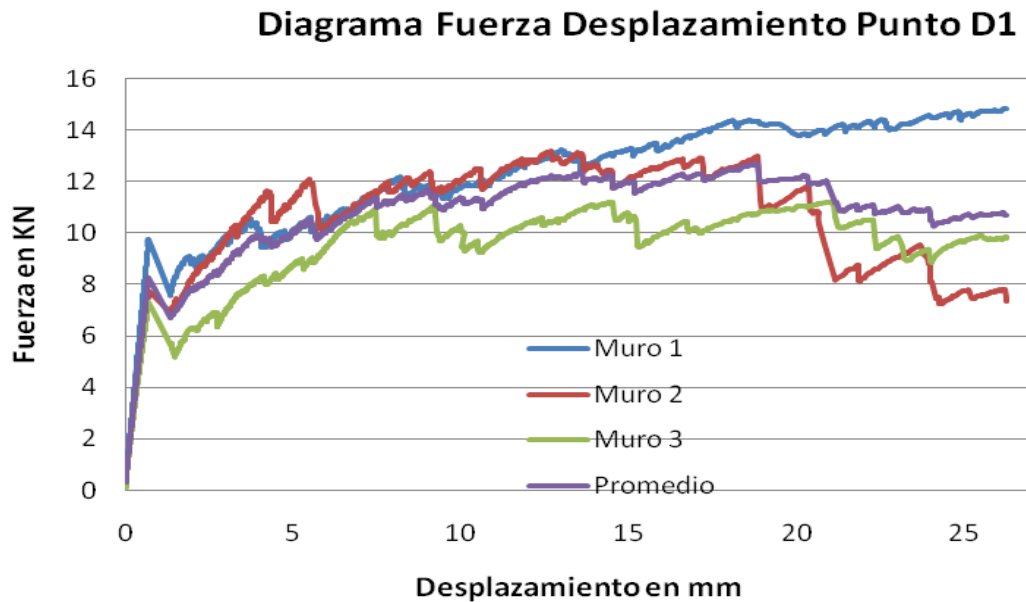


Fig 26: Diagrama Fuerza-Desplazamiento Punto D1

Podemos ver que entre los gráficos de las figuras 25 y 26 hay similitudes de Fuerzas y Desplazamientos. Y a diferencia con los Puntos D2, D3 y D4 del Tramo Central, es que en este punto solamente se llega aproximadamente a la mitad del desplazamiento. Esto ocurre debido a la posición de este punto y donde se aplica la carga.

Ahora obtenemos las curvas del Punto ubicado en el tercio Inferior D7(fig 20)

Envolvente del Diagrama Fuerza-Desplazamiento Punto D7

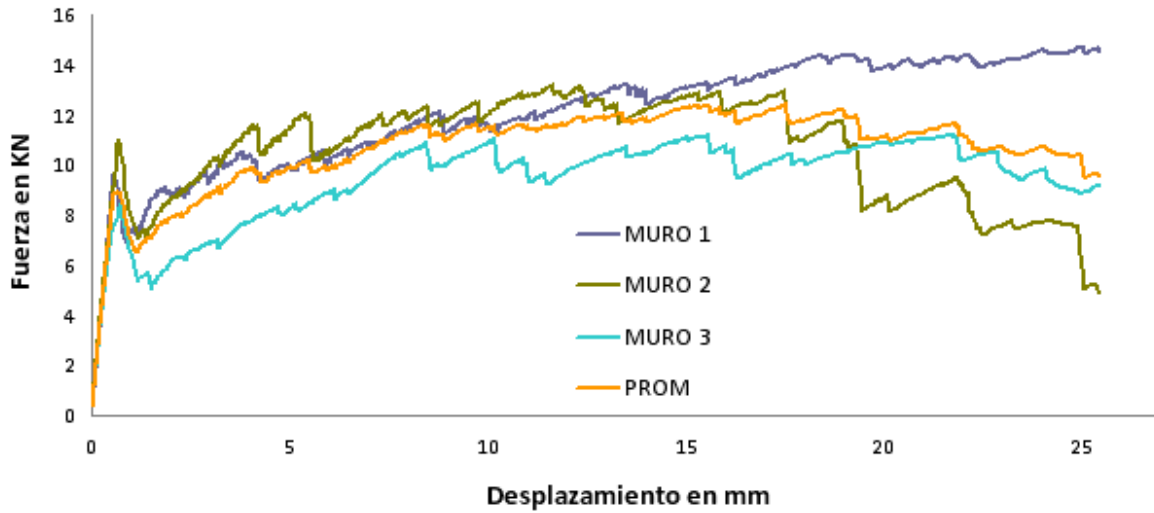


Fig 27: Diagrama Fuerza-Desplazamiento Punto D7

Apreciamos que hay una gran similitud entre este gráfico y el correspondiente a D1. Esto dado a que se encuentran en el mismo eje y a la misma distancia de la vara central del muro.

Ahora observamos el gráfico del LVDt D5 paralelo al muro (fig 20)

Para este gráfico solamente se tomó en cuenta los resultados medidos del muro 2 y del muro 3, debido a que en el Muro 1 hubo posiblemente una falla en el equipo o una calibración que arrojó resultados erróneos.

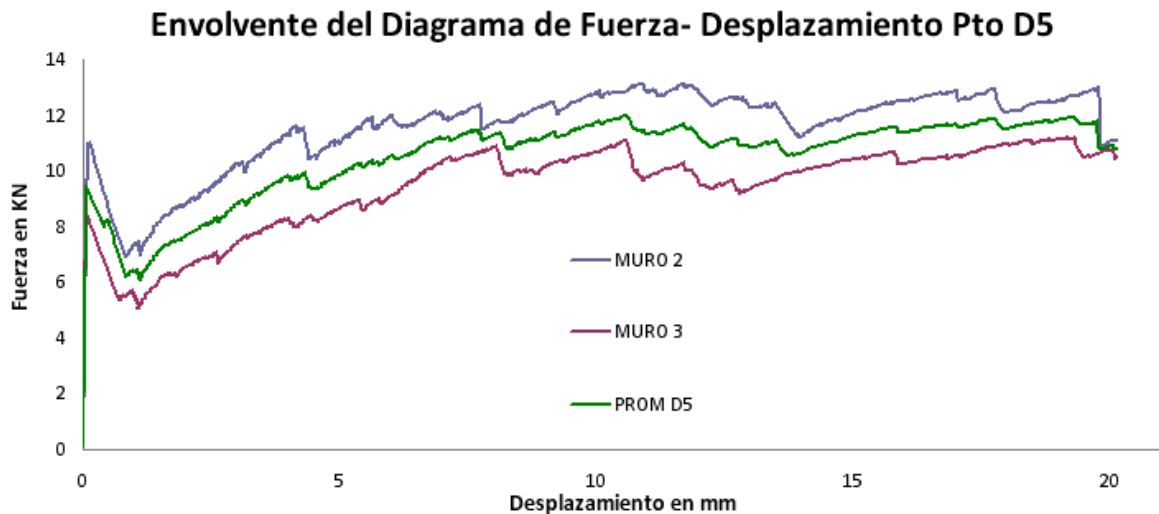


Fig 28: Diagrama Fuerza-Desplazamiento Punto D5

Se puede observar que el desplazamiento fue casi nulo hasta que se forma la primera fisura. Los LVDTs paralelos casi no perciben las deformaciones hasta que los muros comienzan a ondularse en su plano.

Ahora observamos el gráfico del LVDt D6 paralelo al muro (fig 20)

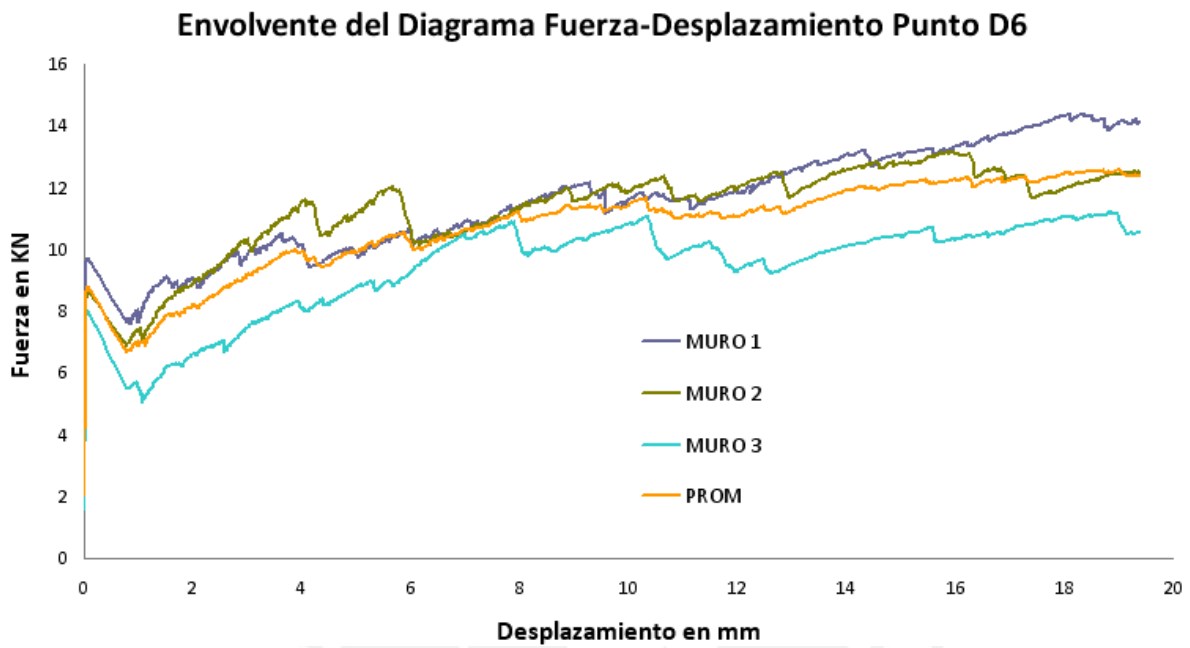


Fig 29: Diagrama Fuerza-Desplazamiento Punto D5

De la misma manera que la figura 28, se observa una similitud entre los resultados de estos LVDTs paralelos al muro.

Proceso de Agrietamiento de los Muros

Durante cada ciclo (carga y descarga) se midió el número de grietas, el espesor y el espaciamiento entre ellas. El siguiente gráfico es el resultado de la envolvente del Muro 1 (fig 30)



Fig 30: Proceso de Agrietamiento en la envolvente del Muro 1



La Figura 30 muestra la curva envolvente del promedio de los puntos D2, D3 y D4 del Muro 1.

La Figura 31 muestra el muro 1 al final del ensayo

-Cada color indica un ciclo.

-Se puede notar que para este muro se produjeron en total 15 grietas con un máximo de 6mm de espesor.

La longitud entre la primera y última grieta fue de 76.5cm

Fig 31: Agrietamiento del muro1 en deformación máxima de 50mm

Proceso de Agrietamiento del muro 2(fig 32):

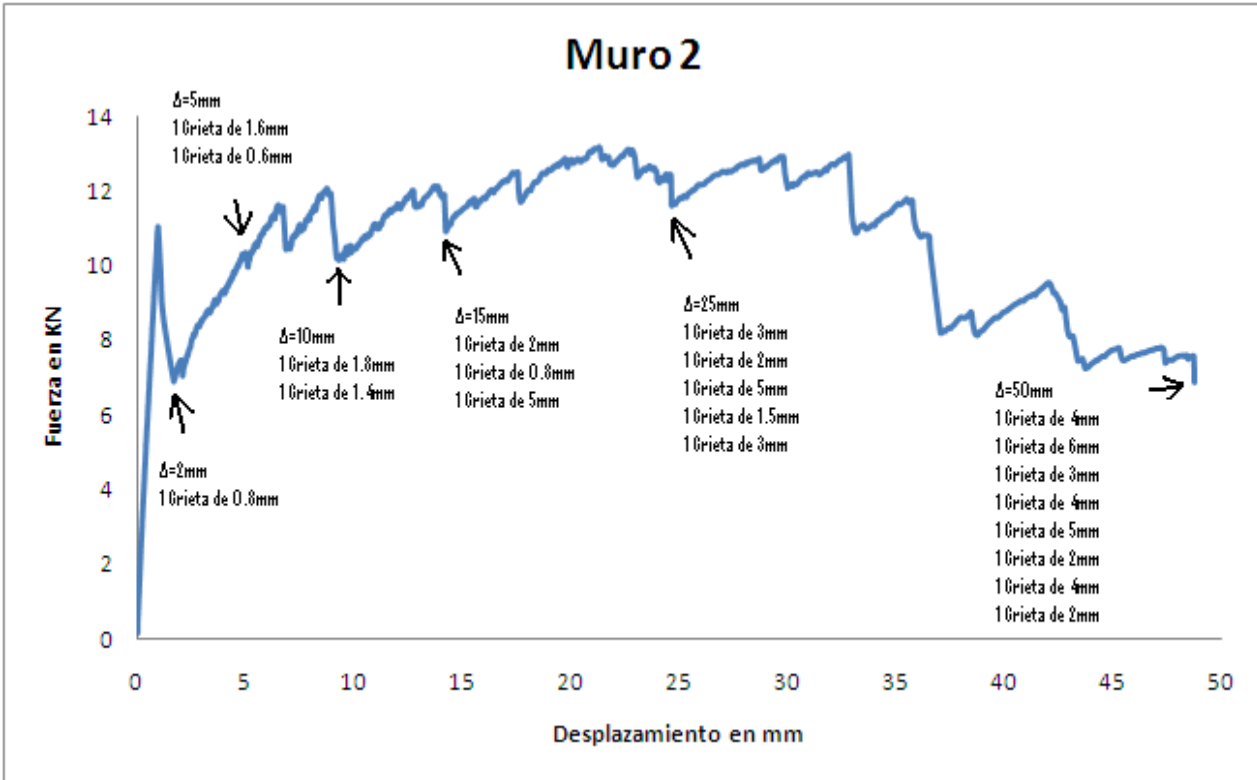
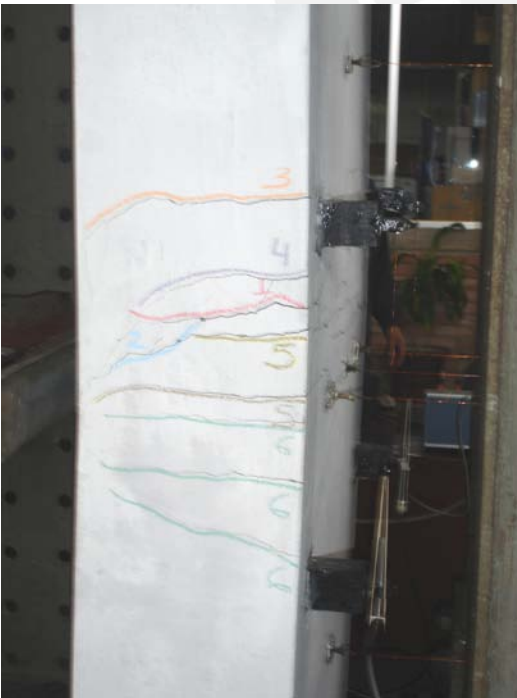


Fig 32: Proceso de Agrietamiento en la envolvente del Muro 2



La Figura 33 muestra que en el muro 2 hay menor cantidad de grietas (8 en total), pero en promedio son de mayor espesor que en el muro 1, esto es debido al rompimiento de la malla que conllevó a una concentración de esfuerzos por una sola grieta.

Fig 33: Agrietamiento final muro 2 luego de la última descarga

Es decir que hubo una disipación de energía por una sola grieta y por ello el agrietamiento del muro no se distribuyó en toda la altura.

De la misma manera la deformada se concentró en un solo punto y es por ello que la malla llegó primero a la rotura.

El espaciamiento entre extremos de grietas fue solo de 37.5cm



Fig 34: Vista Frontal del Muro 2 con desplazamiento máximo de 50mm

En la figura 34 se puede observar una grieta preponderante sobre el resto.

También se puede notar que en el interior solamente se observa las unidades de adobe sin malla, esto significa que al fallar la malla por tensión, ya no llegó a confinar al muro.

Proceso de Agrietamiento del Muro 3(fig 35):



Fig 35: Proceso de Agrietamiento en el Muro 3



En la Figura 36 se puede observar que son 8 grietas en total y el distanciamiento máximo entre grietas es de 37cm.

La envolvente del muro 3 no muestra un rango inelástico creciente como el muro 1, ni decreciente como el muro 2, sino que muestra curvas crecientes y decrecientes.



Cabe Resaltar que este muro es el que presenta menor Resistencia y menor Fuerza Máxima.

Fig 36: Agrietamiento Máximo del Muro 3

Comparaciones Con Muros Tarrajeados Con Barro y Sin Refuerzo

Ahora vamos a comparar los resultados con una tesis pasada (Ivan y Cecilia, PUCP 2007) que había ensayado a flexión un muro de adobe sin refuerzo de malla y dos muros de adobe reforzados con geomalla pero con tarrajeo de barro y paja. Así podremos comparar tanto el beneficio de la malla como la importancia del tipo de tarrajeo.

Primero compararemos los gráficos de fuerza y desplazamiento con el promedio de los tres puntos de la varilla central (Fig 37)

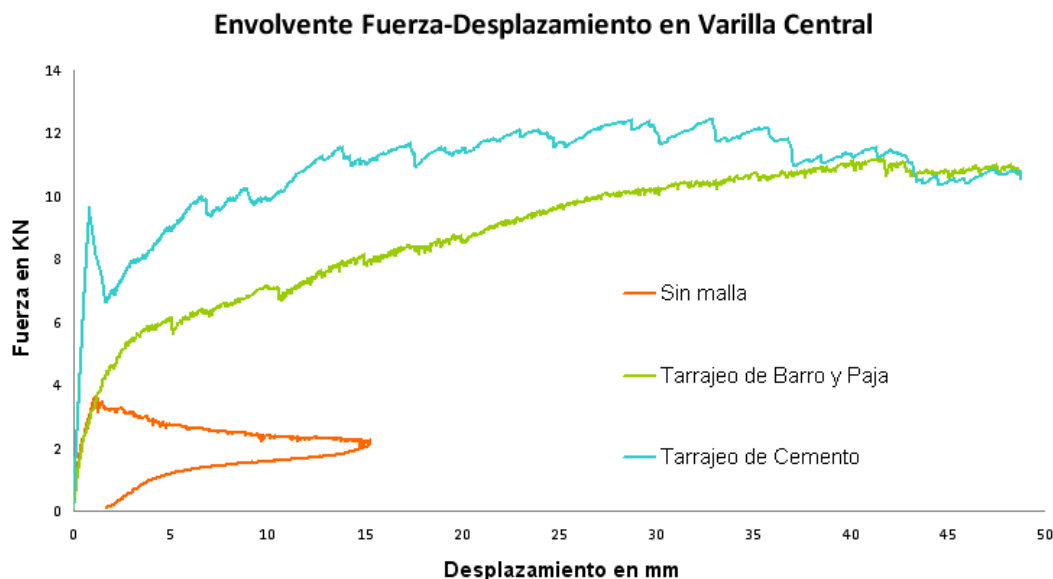


Fig 37: Envoltentes Fuerza- Desplazamiento de las varillas centrales de los tres tipos de muros

Lo primero que resalta es la importancia de la malla en los muros de adobe, dotándolos de una mayor capacidad de deformación inelástica, así como mayor fuerza máxima.

Se observa la misma rigidez inicial tanto en el muro sin malla como en el muro con tarrajeo de barro, esto es debido a que en este tramo solo está trabajando a tracción el muro y todavía no ha entrado a tallar la malla. De otro lado el tarrajeo de cemento dota al muro de una mayor rigidez inicial.

Los resultados se ven a continuación:

| Resultados Comparativos Vara Media | | | | | |
|---|---|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|
| Tipo | Resistencia Máxima Elástica (KN) | Rigidez Inicial(KN/mm) | Fuerza Max(KN) | Sobre-resistencia | Ductilidad |
| Muro Sin Malla | 3.6 | 3.0 | 3.6 | 1 | 13 |
| Muro Tarrajeado Con Barro | 4.6 | 2.5 | 11.2 | 2.5 | 26 |
| Muro Tarrajeado Con Cemento | 9.6 | 11.6 | 12.5 | 1.3 | 59 |

Se puede notar que el cemento dota a la estructura de una mayor resistencia tanto en el rango elástico como en gran parte del desplazamiento inelástico. Este aporte a la resistencia se va perdiendo conforme avanza el agrietamiento del tarrajeo hasta que deja de proporcionar resistencia, entonces es solamente la malla la que absorbe toda la carga; es por ello que se observa similitud en ambas curvas al final del recorrido.

Dado que tenemos Fuerzas Máximas similares tanto en el muro tarrajeado con barro como en el tarrajeado con cemento y una considerablemente mayor Resistencia Máxima Elástica en el muro tarrajeado con cemento, eso hace que el muro tarrajeado con barro posea una mayor sobre-resistencia.

Debido a la fragilidad del cemento, cuando se produce la primera fisura el muro solo se ha desplazado 1.2mm, eso produce una ductilidad muy elevada a pesar que tanto el muro tarrajeado con barro como el tarrajeado con cemento se desplazaron sin colapsar a través de los 50mm del ensayo.

De la misma manera comparamos los gráficos Fuerza vs Desplazamiento para el punto D1, D7, D5 y D6 de las figuras 38, 39, 40 y 41 respectivamente.

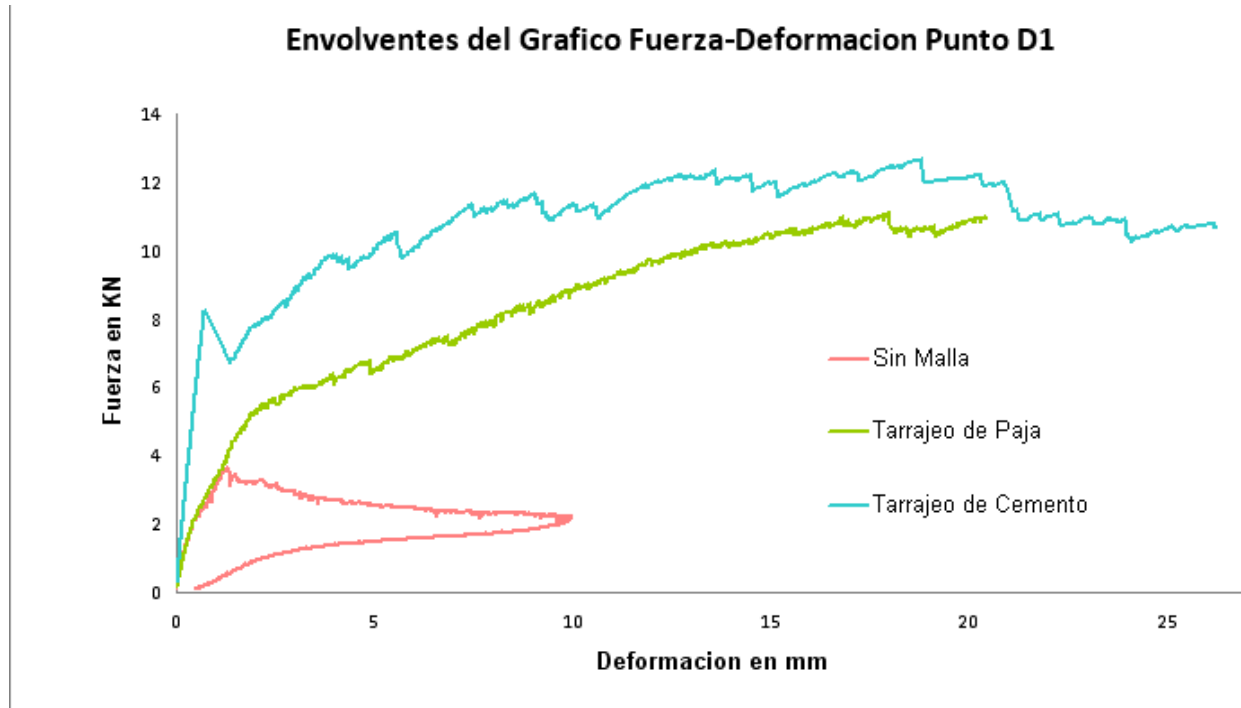


Fig 38: Diagrama Fuerza-Desplazamiento Punto D1

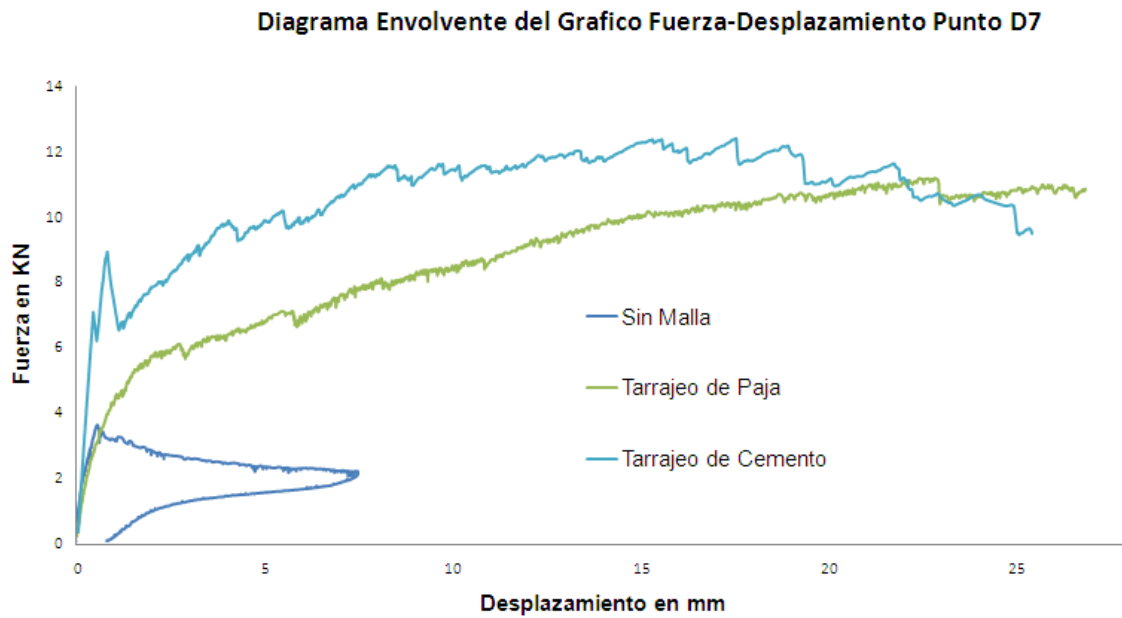


Fig 39: Diagrama Fuerza-Desplazamiento Punto D7

Envolvente del Diagrama Fuerza-Desplazamiento Pto D5

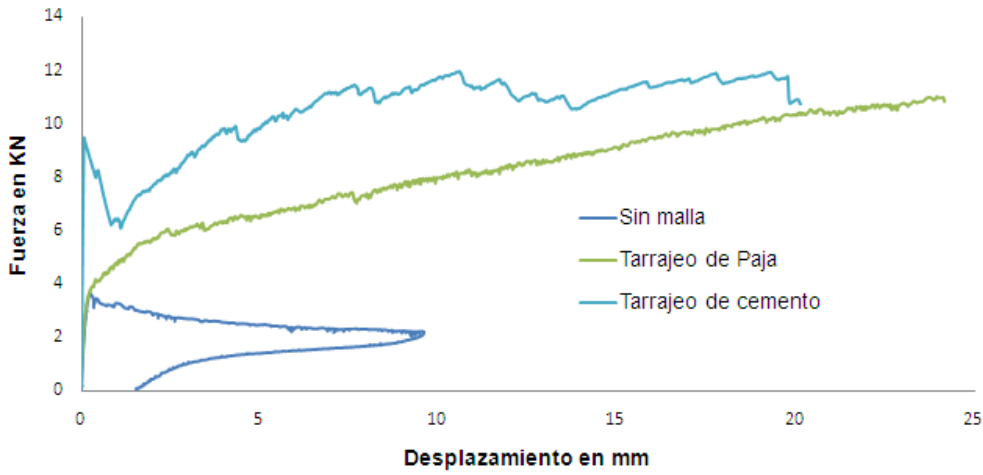


Fig 40: Diagrama Fuerza-Desplazamiento Punto D5

Diagrama Fuerza-Desplazamiento de Pto D6

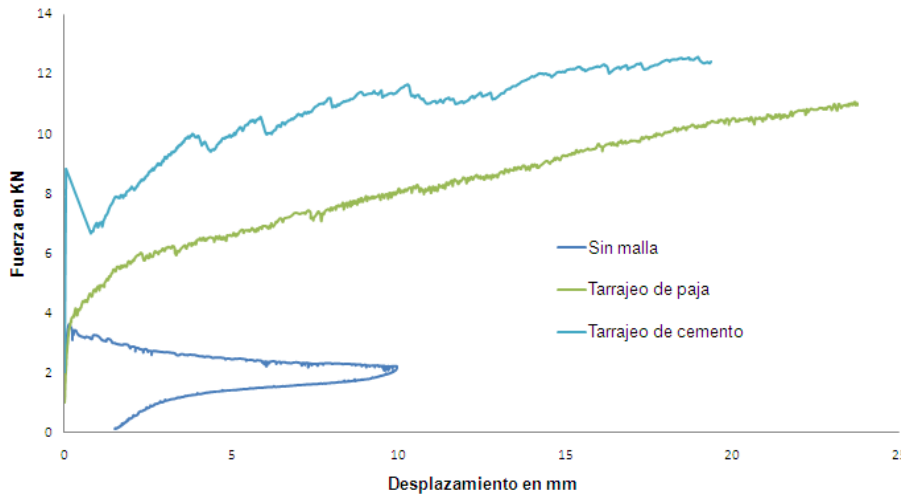


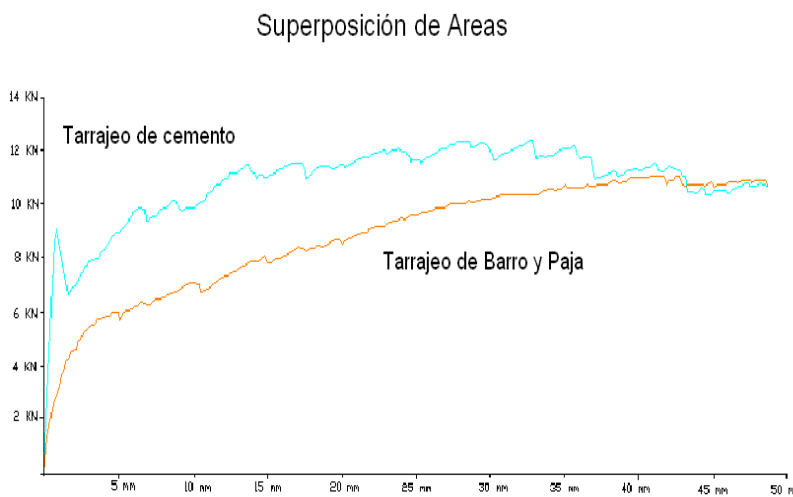
Fig 41: Diagrama Fuerza-Desplazamiento Punto D6

Los gráficos con LVDTs paralelos(D5 y D6), el muro tarrajeado con barro muestra una mayor ductilidad inelástica. Esto implica que el tarrajeo de barro permite una mayor capacidad de curvatura fuera del plano.

Análisis de Energía Absorbida por Deformación

Lo que se busca en este caso es realizar un comparativo entre las envolventes del tarrajeo con cemento y el de barro.

Comparativo entre áreas que representa la energía de deformación: Se realizó un comparativo entre las áreas de dichas curvas. Para ello utilizamos las curvas debido al promedio de los 3 puntos centrales (Vara Media), lo que nos da la figura 42:



Podemos observar que la curva debido al tarrajeo de cemento se encuentra por encima de la curva debido al tarrajeo de barro y paja. Para realizar el comparativo se procede a sacar área de las curvas.

Fig 42: Superposición de áreas

El área bajo la curva nos puede dar un indicativo sobre la diferencia en esfuerzo que pueden resistir ambos muros.

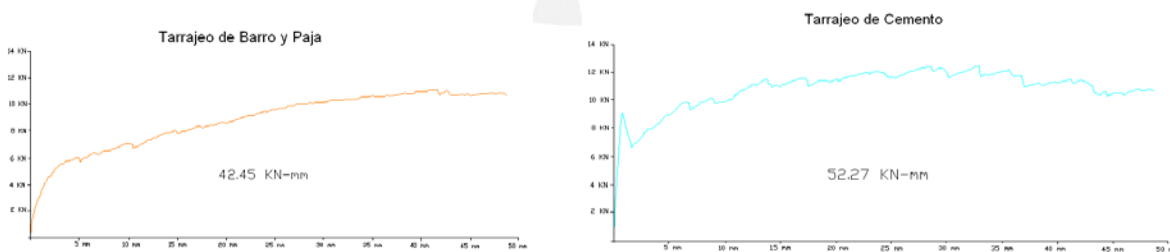
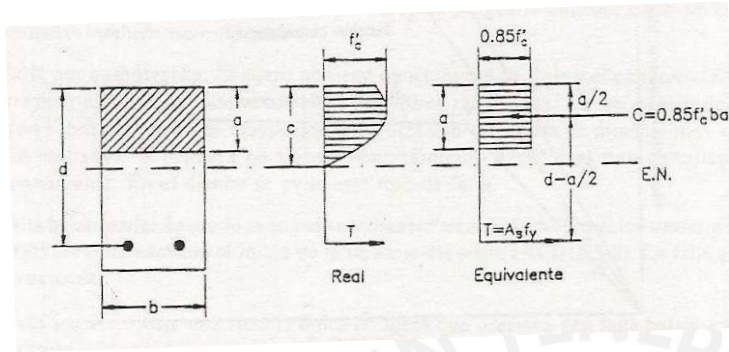


Fig 43 y 44: Áreas bajo las curvas envolventes de los muros tarrajeados con barro y con cemento

Con ello nos damos cuenta que la Curva debida al tarrajeo de cemento da una energía 23% mayor (KN-mm) que la debida al tarrajeo con Barro y Paja.

Estimación de un modelo de Diseño

El análisis de una sección de concreto armado sometido a flexión pura utiliza criterios y procedimientos conocidos (ver fig 45).



Depende de factores como las dimensiones de la sección, el tipo de concreto y la cuantía de acero.

Fig45: Esfuerzo de una sección rectangular con Refuerzo Sometido a Flexión

En el análisis de ensayo a flexión del muro de adobe, la Tracción Máxima de la malla es una constante (no hay una variación de cuantía) y la compresión va a estar en función del ancho de la sección (D).

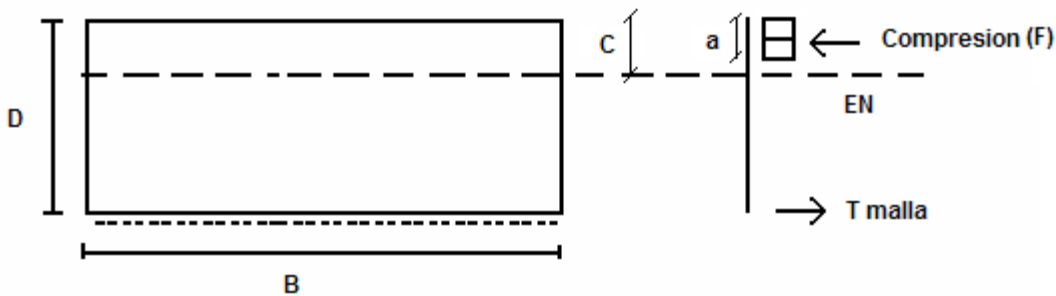


Fig46: Equilibrio de Fuerzas Actuantes (Tracción y Compresión)

Por equilibrio de fuerzas $T=F$; luego por equilibrio de momentos:

$$M_n = F (D-a/2) = T (D-a/2) = 5.24 \text{ KN-m (pág 28)}$$

Sabemos que $T_{\max} = 19 \text{ KN/m}$. Dado $B=0.8\text{m}$, entonces consideramos una tensión Máxima de $T=15.2 \text{ KN}$.

Entonces despejamos la distancia "a" y obtenemos

$$5.24 \text{ KN-m} = 15.2\text{KN} (0.21\text{m}-a/2), \quad a = - 27 \text{ cm}$$

Este resultado demuestra que esta ecuación no satisface el equilibrio del ensayo realizado. En las figuras 31, 33 y 36 observamos las longitudes de las grietas. La longitud de estas fisuras (zona en tracción) nos indica que la sección sometida a compresión debe tener valores entre 1 y 2cm. Por ello de manera inversa calcularemos (Dado que no se realizó un ensayo previo) la tensión máxima de la malla.

Entonces ahora resuelvo para un valor de tensión máxima de la malla $T = 15.2 \text{ KN}$ (Valor del fabricante) y una zona en compresión $a=1.5\text{cm}$ observado de los ensayos.

$$M_n = 15.2 (0.21 - 0.015/2) = 3.08 \text{ KN-m}$$

Es decir que 3.08 KN-m es el momento que puede resistir el muro reforzado con la fuerza de:

$$P = 4xM/L = 4x3.08\text{KN-m}/1.6\text{m} = 7.7 \text{ KN}$$

Este valor se asemeja a los 8.4 KN que hemos obtenido en el ensayo debido a la resistencia que proporciona la malla en el muro.

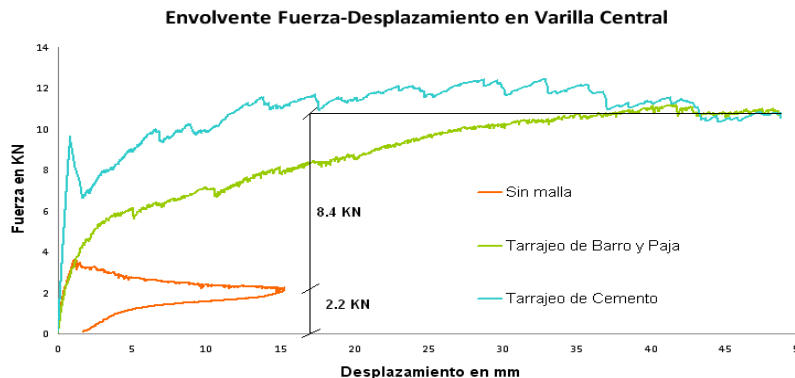


Fig47: Curvas Envolventes Acotadas.

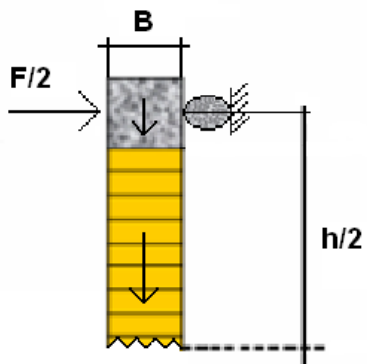
La diferencia del momento puede atribuirse a la proporcionada por el Peso Propio

$$M_{pp} = 5.24 - 3.08 = 2.16 \text{ KN-m}$$

Esto equivale a una fuerza máxima de $P = 4 \times 2.16 / 1.6 = 5.4 \text{ KN}$

Este valor es superior a 2.2 KN que es lo hallado por los ensayos de la tesis anterior (fig 47). Posiblemente el muro ensayado no cumple exactamente las características de un muro simplemente apoyado, donde $M = PL/4$, sino que el muro descansa sobre una viga de cimentación y tiene un apoyo superior.

La Fuerza debida al Peso Propio(W) la hallamos justo cuando el muro sufre una fisura a través de la sección (fig 48); esto debido a que las reacciones verticales se hacen cero y podemos tomar momento en un punto inferior del diagrama, lo que obtenemos:



$$B/2 \times W/2 = F/2 \times h/2$$

$$\text{Entonces } F = W \times B/H$$

Fig48: Diagrama de Cuerpo Libre

Calculamos el Peso Propio(W):

$$W_{\text{muro}} = 1800 \times 0.21 \times 0.8 \times 0.8 = 242 \text{ kg}$$

$$W_{\text{solera}} = 2400 \times 0.2 \times 0.21 \times 0.8 = 80.6 \text{ kg}$$

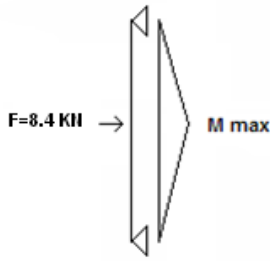
$$W_{\text{tarrajeo}} = 2100 \times 1 \times 2.02 \times 0.015 = 63.6 \text{ kg}$$

$$W_{\text{total}} = 386.2 \text{ kg}$$

$$F = wb/h = 386.2 \times 0.24 / 0.8 = 116 \text{ kg} = 1.14 \text{ KN}$$

Este valor es aun menor a los 2.2 KN obtenidos en el ensayo de la tesis anterior. No se ha realizado un ensayo de muro sin refuerzo con tarrajeo de cemento por lo que este valor podría variar un poco.

Comparación Experimental



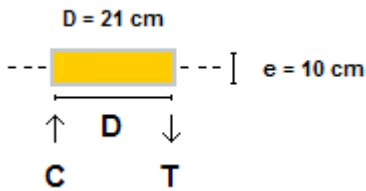
Dado que hemos obtenido la Fuerza Máxima Promedio, podremos comprobar de manera inversa la máxima resistencia que puede proporcionar la geomalla (fig 49).

Fig49: Momento en Flexión

Para ello sabemos que el Momento Máximo es: $(F/2) \cdot (L/2) = F \times L / 4$

Dado que ya conocemos la Fuerza Máxima Promedio, reemplazamos y obtenemos:

$$M \text{ max} = \frac{8.4 \text{ KN} \times 1.6\text{m}}{4} = 3.36 \text{ KN-m}$$



El Momento lo dividimos entre el espesor del muro para ver la tracción a la cual esta sometida la malla (fig 50).

$$T = 3.36 \text{ KN-m} / 0.21\text{m} = 16 \text{ KN}$$

Fig 50: Equilibrio debido al Momento Par

Dividimos luego esta fuerza entre el ancho del muro para hallar la fuerza por unidad de longitud:

$$T = 16 \text{ KN-m} / 0.8\text{m} = 20 \text{ KN/m}$$

$$T = 20 \text{ KN/m} \times 68.5 = 1370 \text{ lb/ft}$$

Vemos que es un valor ligeramente mayor a 1290 lb/ft dado por el fabricante (Gráfico Pág. 8) Dirección Transversal.

Comentarios y Conclusiones

1. La malla utilizada fue la BX-1100 y cumple tanto en sus propiedades físicas como mecánicas con el Anexo 1 de la Norma E-080.
2. Las unidades de albañilería empleadas mostraron una mayor resistencia en compresión a la Unidad (59%) con respecto a los valores de la Norma E-080. Por el contrario, tanto el ensayo en compresión de la Albañilería como en Corte mostraron resultados menores a los adoptados por la Norma E-080 (58 y 32% respectivamente). Teniendo en cuenta que el mortero utilizado para el asentado de unidades fue dosificado y preparado en laboratorio. Esto implicaría una posible revisión de la Norma E-080 para ver si no son valores muy elevados.
3. El modelo empleado para la estimación de fuerza máxima por ensayo a flexión nos dio un resultado de 8KN, pero la fuerza máxima obtenida en el tramo central fue de 13.1KN. Esta diferencia es debido a que no se tomaron en cuenta en los cálculos otros factores como la resistencia a tracción tanto del muro de adobe como la proporcionada por el tarrajeo de cemento.
4. El Tarrajeo de cemento influye significativamente en la Resistencia Máxima Elástica de un muro de adobe (4.6 KN con barro a 9.6 KN con cemento).
5. El Tarrajeo de cemento es un elemento frágil, por lo que al producirse la primera fisura (fin de la etapa elástica) el muro va a tener una pérdida drástica de resistencia.
6. La Resistencia de la geomalla debe ser tal que como mínimo absorba la fuerza de tracción que se transfiere bruscamente al agrietarse el tarrajeo de cemento. De lo contrario al producirse la falla del mortero en tracción se producirá también la falla de la malla.

7. El uso de la geomalla busca disminuir la vulnerabilidad de las edificaciones, para que ante un evento de magnitud moderada el muro pueda generar capacidad de deformación inelástica generando grietas, pero a la vez evitando llegar al colapso.
8. Al iniciarse el proceso de carga, es el tarrajeo el que absorbe la mayor parte de ésta, pero luego de producirse la primera fisura es la geomalla la que provee junto con el tarrajeo la resistencia del muro. Finalmente al agrietarse completamente el tarrajeo es la geomalla la que dota de la totalidad de la Resistencia al muro.
9. La malla le proporciona al muro aproximadamente un 80% más de resistencia, llevándolo de 2.2 KN en su estado ultimo sin malla a valores superiores a 10KN aun sin haber llegado a la rotura del muro.
10. El modelo de la comparación experimental nos ayuda a calcular la fuerza a la cual esta tensionada la malla, este valor de 1370 lb/ft es ligeramente superior a los 1290 lb/ft de la tabla de los fabricantes TENSAR.

Referencias

SENCICO (2008)

“Norma Técnica de Adobe E-080”

SENCICO(2008)

“Reglamentación del Uso de Geomallas de Adobe, Anexo 1 de la Norma E-080. Gerencia de Normalización e Investigación”

JULIO VARGAS, DANIEL TORREALVA Y MARCIAL BLONDET (PUCP 2007)

“Construcción de casas saludables y sismorresistentes de ADOBE REFORZADO con geomallas”

ALVARO CESAR RUBIÑOS MONTENEGRO (PUCP 2008)

“Propuesta de Reconstrucción Post-terremoto de Viviendas de Adobe Reforzado”

MIRIAM BENITES ALBORNOZ (PUCP 1980)

“Comportamiento de muros de adobe sometidos a la acción de fuerzas horizontales”

BLONDET M., MADUEÑO I., TORREALVA D., VILLA GARCIA G., GINOCCHIO G.
(PUCP 2004)

“Refuerzo de construcciones de adobe producidos industrialmente. Estudio preliminar”

DANIEL TORREALVA DAVILA (PUCP 2007)

“Caracterización de daños, reparación y refuerzo en construcciones de adobe”.

DANIEL TORREALVA DAVILA (PUCP 2007)

“Diseño Sísmico de Muros de Adobe Reforzados con Geomallas”

TEODORO E. HARMSEN (PUCP 2005)

“Diseño de Estructuras de Concreto Armado 4ta edición”