

# CARACTERIZACIÓN MECÁNICA A COMPRESIÓN Y TENSIÓN DIAGONAL DE MURETES CONFORMADOS POR UNIDADES DE MAMPOSTERÍA HECHAS CON PAPEL PERIÓDICO RECICLADO Y ENGRUDO DE ALMIDÓN DE YUCA

Chanchí, J. <sup>(p)</sup>; Bonilla, D.; Gaviria, A.; Giraldo, J.

## Abstract

This article describes the conception process, researching development and implementation process at the laboratory level of a masonry unit with top and bottom semiovoid chock and made up from an established dosing among recycled news paper and paste of yucca starch. The implementation process developed has been used to make up a set of masonry unit to build the walls. About the walls it presents a developed methodology related to the constructive process focussed to walls in the real constructive context. This methodology was used to make up 6 walls assigned to the characterization of this mechanical behaviour in the two levels: axial compression and diagonal tension (axial compression and shear). A discussion about the behaviour of the wall in every level and its respective extrapolation to the analog solicitation in the real context are presented. Finally a feasibility analysis related to the structural application of the walls in the construction field of the civil engineering is argued.

*Keywords: walls, masonry unit, recycled newspaper, paste of yucca starch, compression strength, diagonal tension strength.*

## Resumen

El presente artículo describe el proceso de concepción, desarrollo e implementación a nivel de laboratorio de una unidad de mampostería con traba semiovoide superior e inferior hecha a base de una dosificación establecida entre papel periódico reciclado y engrudo de almidón de yuca. El proceso de implementación desarrollado se utilizó para la confección de un número finito de unidades de mampostería destinadas a la elaboración de muretes. A nivel de muretes se presenta una metodología desarrollada para su proceso constructivo, la cual es aplicable a muros a gran escala. Ésta fue utilizada para la confección de 6 muretes destinados a la caracterización de su comportamiento mecánico en dos niveles: compresión axial y tensión diagonal (compresión axial y cortante), para cada uno de estos se efectuó una discusión del comportamiento del murete ante el ensayo respectivo y su extrapolación cualitativa a la sollicitación análoga en escala 1:1. Finalmente se presenta un análisis de viabilidad del uso estructural de éstos muretes en el entorno constructivo del campo de la Ingeniería Civil.

*Palabras clave: Muretes, unidad de mampostería, papel periódico reciclado, engrudo de almidón de yuca, resistencia a compresión, resistencia a tensión diagonal.*

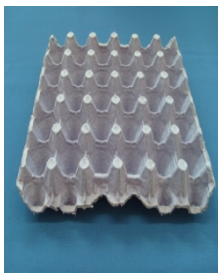
## 1. Introducción

En éste artículo se describe el proceso de investigación desarrollado para la caracterización mecánica de muretes conformados por unidades de mampostería hechas a base de papel periódico y engrudo de almidón de yuca. En la fase inicial se describen los parámetros básicos y el proceso de fabricación a nivel de laboratorio de una unidad de mampostería al

igual que la mecánica de ensamblaje de un murete constituido por un número finito de unidades. En la fase intermedia se describe el proceso de implementación, ejecución y acopio de resultados de los ensayos de compresión y tensión diagonal realizados sobre los muretes. En la fase final se propone una posible aplicación del sistema constructivo de muretes al ser implementado en muros en escala 1:1 en el contexto constructivo.

## 2. Materiales

Para el desarrollo del material base de las unidades de mampostería que constituyen los muretes se usaron los siguientes materiales: cubetas para huevo, papel periódico, almidón de yuca y vinagre. A continuación se describen las características típicas de cada uno de estos materiales al igual que su aplicabilidad.



a. Cubetas para huevo



b. Papel periódico



c. Almidón de yuca



d. Vinagre

Figura 1. Materia prima para elaboración de unidad de mampostería.

### 2.1 Cubetas para huevo

Son bandejas de papel reciclado no clasificado (Figura 1-a.), plegadas de tal manera que su forma está constituida por un grupo de semiovoides. Éstas se caracterizan por su flexibilidad, poco espesor, bajo peso y economía. La función de las cubetas en el proceso de conformación de las unidades es constituir la traba semiovoide superior e inferior.

### 2.2 Papel periódico reciclado

Corresponde a hojas de periódico (Figura 1-b.) que se caracterizan por su bajo peso y economía, una vez son usadas como medio informativo se convierten en material de reciclaje. La función de las hojas de papel periódico en el proceso de conformación de la unidad es constituir el material matriz o el material a aglutinar para constituir el cuerpo de la unidad.

### 2.3 Almidón de yuca

Es un polisacárido de glucosa que se constituye en una de las principales sustancias glúcidas sintetizadas por vegetales superiores con la ayuda de la energía solar. Para el caso de esta investigación se ha decidido usar almidón de yuca (Figura 1-c.), por cuanto este presenta una ventaja respecto a otros almidones provenientes de cereales, la cual está asociada al bajo contenido de lípidos, condición que permite que sus partículas se hinchen en forma rápida y a baja temperatura dentro del proceso de confección del aglutinante, de otro lado, permite producir aglutinantes de altas viscosidades. La función del almidón de yuca en el proceso de conformación de la unidad es constituir la materia prima para la elaboración del aglutinante.

## 2.4 Vinagre

Es una solución diluida de ácido acético a la que se le agregan sales y extractos de otras materias. Para el caso de esta investigación se utilizó el vinagre denominado "Vinagre Blanco Destilado" (Figura 1-d.). Las funciones del vinagre en el proceso de conformación de la unidad son: participar como materia prima en la elaboración del aglutinante y prevenir el crecimiento de hongos y bacterias que puedan deteriorar el aglomerado que constituye la unidad de mampostería.

## 3. Dosificación de materiales

El aglomerado que constituye las unidades de mampostería es elaborado a partir de los materiales descritos anteriormente, el proceso de elaboración del aglomerado puede dividirse en dos etapas: preparación y mezcla de los materiales. A continuación se describe cada una de estas.

### 3.1 Preparación de materiales

En esta etapa los materiales son procesados previamente antes de ser mezclados, esta consta de dos procesos: molienda de papel y preparación de engrudo, cada una de estos procesos es caracterizado a continuación indicando los parámetros mínimos para su ejecución.

#### 3.1.1 Molienda de papel

Las hojas de papel periódico fueron molidas con el fin de garantizar la homogeneidad de las partículas a aglomerar y generar una gran superficie específica, condiciones para las cuales se requieren grandes cantidades de aglutinante para la conformación de un aglomerado rígido. El proceso de molienda del papel fue realizado a través de un prototipo desarrollado por los autores a través de la integración de un molino casero típico, dos poleas, una banda y un motor. En la Figura 2 se presenta el prototipo antes descrito y una fracción del papel periódico molido.



Figura 2. Prototipo de molienda y papel periódico molido.

#### 3.1.2 Preparación del engrudo

El engrudo es una solución o pasta viscosa obtenida cuando una suspensión de almidón en agua es calentada a una temperatura a la cual sus gránulos absorben agua y se hinchan aumentando varias veces su tamaño original, el aumento de tamaño de las partículas está directamente asociado a la viscosidad resultante de la solución o pasta. Para el caso del almidón de yuca la temperatura de gelatinización es aproximadamente 60° C. A continuación se definen los ingredientes y la receta propuesta por los autores.

• Ingredientes y dosificación

El engrudo está constituido por tres componentes: agua, almidón de yuca y vinagre, estos fueron mezclados en peso a través de la dosificación expresada en la ecuación (1), esta corresponde a los pesos de los componentes del engrudo para la elaboración de una unidad de mampostería.

$$\begin{array}{rcl}
 (115 \text{ gr.}) & : & (770 \text{ gr.}) & : & (115 \text{ gr.}) & (1) \\
 (\text{Almidón de yuca}) & : & (\text{Agua}) & : & (\text{Vinagre}) & 
 \end{array}$$

• Receta de preparación

A continuación se presenta la secuencia de pasos para la elaboración del engrudo usando como base la ecuación (1), algunos de los pasos presentados a continuación son ilustrados en la Figura 3.

- Paso 1: vierta el almidón sobre el 75% del agua y mezcle en frío. Ver Figura 3-a.
- Paso 2: caliente la solución a fuego medio (temperatura aproximada 60° C) y mezcle constantemente durante 10 minutos. Ver Figura 3-b.



a. Solución en frío



b. Calentamiento solución



c. Engrudo

Figura 3. Proceso de preparación del engrudo.

- Paso 3: agregue a la solución el 25% del agua restante y mezcle constantemente durante 10 minutos hasta que la solución se torne en una pasta viscosa y consistente. Deje enfriar la pasta durante 20 min.
- Paso 4: agregue el vinagre y mezcle uniformemente. La mezcla resultante constituye el engrudo. Ver Figura 3-c.

**3.2 Mezcla de materiales**

Para la elaboración del aglomerado es necesario realizar la mezcla entre el papel periódico molido y el engrudo. La dosificación que gobierna la mezcla fue realizada en peso y es expresada a través de la ecuación (2), en esta se indican las proporciones como función de la parte de papel y los pesos de los componentes para la elaboración de una unidad de mampostería.

$$\begin{array}{rcl}
 (1) & : & (4.3) \\
 (300 \text{ gr.}) & : & (1300 \text{ gr.}) & (2) \\
 (\text{Papel periódico molido}) & : & (\text{Engrudo}) & 
 \end{array}$$

La mezcla fue realizada manualmente a través de un proceso de amasado orientado a la distribución uniforme del engrudo sobre el papel periódico evitando la formación de grumos, este tiene una duración de 10 minutos, periodo al final del cual se obtiene una masa de color

grisáceo de consistencia media. En la secuencia de fotos de la Figura 4 se presenta el proceso de mezcla y el aglomerado en estado pastoso.



a. Mezclado de materiales



b. aglomerado en estado pastoso

Figura 4. Proceso elaboración de aglomerado.

#### 4. Especímenes de prueba

Los especímenes de prueba se pueden dividir en tres grupos: unidades de mampostería, muretes destinados al ensayo de compresión y muretes destinados al ensayo de tensión diagonal. A continuación se describe el proceso de elaboración de cada uno de estos.

##### 4.1 Proceso de elaboración de una unidad de mampostería

Para la elaboración de una unidad de mampostería se siguieron dos etapas básicas: definición de características geométricas y la conformación. A continuación se describen cada una de estas.

###### 4.1.1 Definición de características geométricas y morfológicas

A nivel geométrico se definió que la unidad de mampostería debería tener dimensiones de 9cm x 19,5cm x 11cm, ancho, largo y altura respectivamente. A nivel morfológico se decidió reproducir el sistema de traba superior e inferior basado en depresiones y protuberancias semiovoides el cual fue adaptado partir de la referencia [3].

###### 4.1.2 Conformación de la unidad

Para la conformación de la unidad se desarrolló un sistema de formaleta DESACOPLABLE Y AUTOCOMPRESIONANTE, hecha a base de piezas de madera, acero, tornillos y moldes de aluminio, un detalle de ésta se ilustra en la secuencia de fotos de la Figura 5. Antes del proceso de vaciado sobre las paredes laterales de la formaleta se aplica una fina capa de grasa y cada uno de los moldes de aluminio es cubierto por una fracción de cubeta de cartón, estas medidas fueron enfocadas a facilitar el proceso de desencofrado de la unidad de mampostería. Posteriormente el sistema de tornillos horizontal es asegurado con el fin de garantizar el largo y el espesor de la unidad, una vez ejecutado este proceso se localiza manualmente el aglomerado en la formaleta.



a. Previamente armada



b. Totalmente armada



c. Previa al vaciado

Figura 5. Detalles de la formaleta acoplable y autocompresionante.

Como etapa final del vaciado se localiza el molde superior y se garantiza su descenso a través del sistema de tornillos vertical. Finalizado el vaciado se procede a ejecutar el secado, el cual consiste en introducir la unidad a un horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C}$  durante un tiempo aproximado de 48 horas.



Figura 6. Detalles del proceso de vaciado de la unidad de mampostería.

#### 4.2. Proceso de elaboración de muretes para ensayo de compresión

La elaboración de los muretes se realizó de acuerdo a la norma ASTM C1314-02a [3], se usó una pila conformada por 3 unidades cuyas dimensiones geométricas son  $22\text{cm} \times 19.5\text{cm} \times 9\text{cm}$  altura, longitud y espesor respectivamente (Figura 7). El proceso de elaboración consiste en superponer las unidades usando la traba generada por las protuberancias y cavidades que tienen las mismas, el ajuste entre estas, fue realizado localizando los moldes de confección en la parte superior e inferior del murete y aplicando confinamiento vertical.



Figura 7. Murete típico para ensayo compresión.

#### 4.3 Proceso de elaboración de muretes para ensayo de tensión diagonal

La elaboración de los muretes se realizó de acuerdo a la norma ASTM E519 – 02 [1], en la cual se establece que el murete debe ser cuadrado y constituido por tres o más hiladas de piezas cuya junta vertical no sea continua. Debido a que entre las unidades de mampostería no hay un material ligante que garantice la estabilidad del murete en la posición de ensayo, se propuso el uso de un sistema de refuerzo vertical, el cual consiste en localizar dos moldes de aluminio análogos a los usados en el proceso de confección, uno en la parte superior y otro en la inferior del murete, a través de los cuales se localizó refuerzo vertical consistente en varillas roscadas ancladas a través del sistema de rosca. La cuantía de refuerzo vertical usada fue de 0.0017 medido sobre el área bruta del murete, esta cuantía fue tomada a partir de la sugerida por la referencia [4].

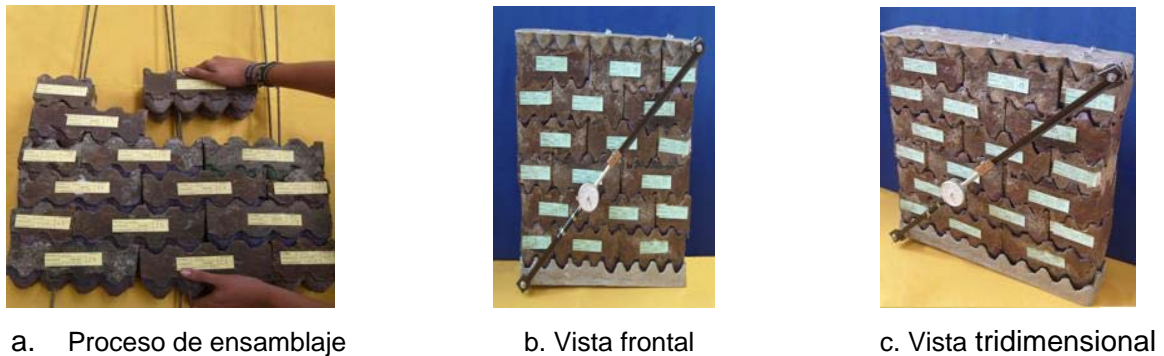


Figura 8. Murete típico para ensayo de tensión diagonal

Para la localización de las unidades éstas fueron perforadas e insertadas a través del refuerzo. El murete típico consta de 6 hiladas cada una de ellas constituida por 2.5 unidades para un total de 15 unidades, que se mantienen en posición a través de 6 barras roscadas de diámetro 5/32". El murete descrito tiene dimensiones de 48cmx 48cm x 9cm altura, longitud y espesor respectivamente. El sistema de ensamblaje descrito puede ser aplicado a muros en escala 1:1, este se ilustra en la Figura 8.

#### 4.4 Definición del tamaño muestral

Para la obtención de las propiedades físicas y mecánicas de los muretes se ha constituido un espacio muestral definido de la siguiente manera: 54 unidades de mampostería las cuales fueron empleadas para la construcción de 3 muretes para el ensayo de compresión y 3 muretes para el ensayo de tensión diagonal. Mencionado espacio muestral es el mínimo definido por la normas ASTM C 1314-02a y ASTM 519-02 [1] y [2].

### 5. Características de especímenes de prueba (fase experimental)

El proceso de caracterización de los especímenes puede dividirse en dos tipos: física y mecánica. A continuación se describe cada una de estos.

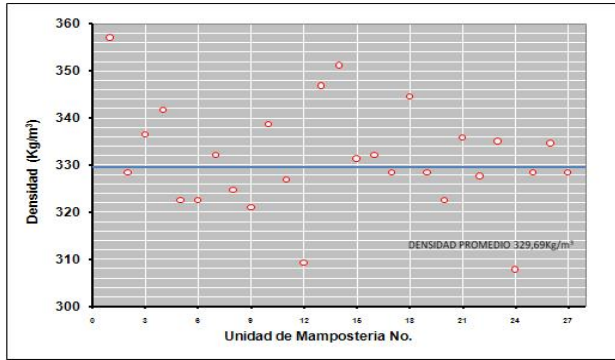
#### 5.1 Caracterización física

A nivel de caracterización física se determinó la densidad del aglomerado usando como objeto de experimentación las unidades de mampostería. A continuación se presenta el principio básico de obtención de esta variable al igual que los resultados obtenidos.

##### 5.1.1 Densidad del polímero compuesto

A cada unidad se le obtuvo la masa y el volumen, la densidad respectiva fue obtenida como el cociente entre estos dos valores. En la figura 9 se presenta la totalidad de densidades obtenidas.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DENSIDAD		
Medida Tendencia	Unidad	Valor
Promedio	$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$	330



a. Totalidad de densidades obtenidas

Desviación Estándar	$\frac{Kg}{m^3}$	24
Coefficiente Var.	%	7

Tabla 1. Medidas de tendencias calculadas

Figura 9. Datos obtenidos del análisis de densidades

Sobre la totalidad de los datos un análisis estadístico fue ejecutado, encontrando que la densidad promedio del aglomerado es de  $330 \text{ Kg/m}^3$  y que la dispersión promedio de la totalidad de los datos respecto a este valor fue del 7 %, valor que garantiza el nivel de confiabilidad y repetitibilidad del ensayo ejecutado.

## 5.2 Caracterización mecánica

La caracterización mecánica se realizó en dos niveles: compresión y tensión diagonal. A continuación se describe cada una de éstas y los resultados obtenidos.

### 5.2.1 Caracterización mecánica de comportamiento a compresión de muretes

Para la caracterización mecánica a nivel de compresión se usó el espacio muestral correspondiente a 3 muretes, cada uno de éstos, fue sometido al ensayo respectivo referenciado a partir de los lineamientos establecidos por la norma ASTM C1314-02a [2], en la cual se establece que el murete debe ser sometido a una carga de compresión axial desde cero hasta la carga de falla, con la toma de los respectivos datos de deformación axial. Con el fin de garantizar la distribución uniforme y axial de la carga se usó como sistema de transmisión los moldes utilizados durante el proceso de confección de las unidades, ver Figura 10.



a. Falla típica presentada por murete



b. Montaje típico de ensayo

Figura 10. Ensayo a compresión típico ejecutado sobre murete

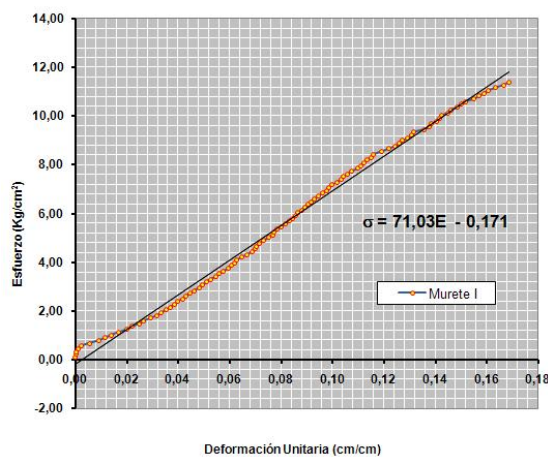
Respecto al comportamiento de los muretes, éstos presentaron un comportamiento dúctil caracterizado por deformaciones apreciables presentadas en el sentido vertical, no se evidenció desprendimiento de partículas, la falla típica asociada es debida a la pérdida de estabilidad geométrica del murete debido al aplastamiento que produce la carga con



las consecuentes deformaciones excesivas en el estado último. Una falla típica se ilustra en la Figura 10-a.

Como reporte de los ensayos realizados se obtuvo la curva esfuerzo - deformación asociada a cada murete, en la Figura 10-b se presenta una de éstas, a partir de la cual es posible describir el comportamiento de los muretes como elástico, condición que se pudo verificar una vez se retiró la carga actuante sobre el muro al observar la notoria recuperación de su deformación. Sobre cada una de las curvas se efectuó una regresión lineal con el fin de obtener el módulo de elasticidad, adicionalmente se reportó la resistencia a compresión última. Un resumen de las propiedades obtenidas se presenta en la Tabla 2.

Aunque el espacio muestral usado en la sensibilización de las variables de compresión fue mínimo, se realizó un análisis estadístico que permitió obtener los valores promedio de la resistencia a compresión ( $\sigma=11,40 \text{ kg/cm}^2$ ) y el módulo de elasticidad ( $E= 65,33 \text{ Kg/cm}^2$ ).



a. Curva esfuerzo-deformación

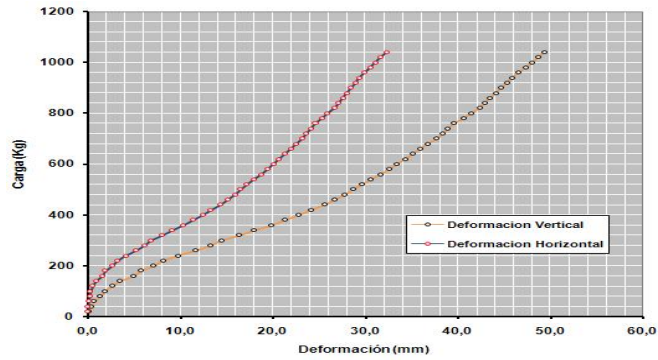
CARACTERIZACIÓN COMPORTAMENTAL A COMPRESIÓN				
Variable	Unidad	Murete		
		1	2	3
Módulo de Elasticidad	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$	71,03	57,10	67,85
Resist. Compresión	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$	11,40	11,40	11,40

Tabla 2. Resultados ensayo de compresión

Figura 11. Comportamiento a compresión de murete

### 5.2.2 Caracterización mecánica de comportamiento a tensión diagonal de muretes

Para la caracterización mecánica a nivel de tensión diagonal se usó el espacio muestral correspondiente a 3 muretes, cada uno de estos fue sometido al ensayo respectivo referenciado a partir de los lineamientos establecidos por la Norma ASTM E 519 – 02 [1], en la cual se establece que el murete debe ser sometido a una carga de compresión a través de la diagonal del mismo, la cual varía desde 0 hasta la carga de falla, adicionalmente se debe tomar una deformación vertical y una horizontal asociadas a cada uno de los niveles de carga. En la Figura 12-a se ilustra el montaje realizado para la ejecución del ensayo.

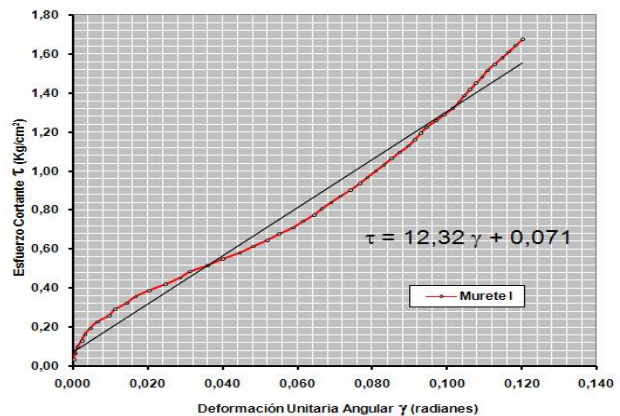
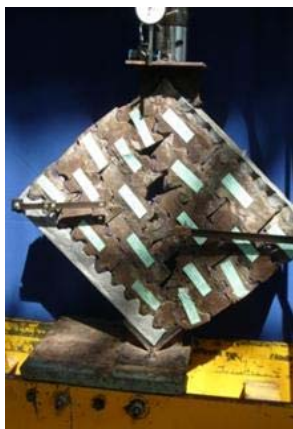


a. Montaje típico de ensayo    b. Curva típica Carga-Deformaciones horizontal y vertical

Figura 12. Ensayo a tensión diagonal típico ejecutado sobre murete

Respecto al comportamiento de los muretes, se evidenció un comportamiento dúctil caracterizado por deformaciones apreciables presentadas en las direcciones horizontal y vertical. En la Figura 12-b se ilustra una curva de la variación de la carga respecto a la variación de las deformaciones horizontal y vertical de un murete típico. Durante el ensayo no se presentó desprendimiento de partículas, se pudo verificar además el óptimo comportamiento de la traba mecánica generada por las protuberancias y cavidades asociadas a la geometría de cada unidad durante el proceso de transmisión de la fuerza cortante generada en el ensayo; al igual que se comprobó la eficiencia del sistema de conformación del murete propuesto, éste garantizó la estabilidad durante toda la prueba gracias a la deformabilidad del refuerzo suministrado.

La falla típica presentada es debida a la pérdida de estabilidad geométrica del murete, la cual es causada por el aplastamiento entre unidades y la ductilidad del conjunto (unidades y refuerzo) que permiten que éste presente rotaciones que obligan a las unidades localizadas sobre la diagonal a salir de su posición y aplastar horizontal y verticalmente las unidades contiguas. Estas dos condiciones producen una falla de tendencia diagonal que sigue una ruta compuesta por trayectorias horizontales y verticales descritas por las juntas respectivas, ver Figura 13-a.



a. Falla típica a tensión diagonal    b. Curva Esfuerzo – Deformación a cortante

Figura 13. Comportamiento de muretes a tensión diagonal.

Como reporte de los ensayos realizados se obtuvieron las curvas esfuerzo cortante-contra deformación, a partir de las cuales se pudo evidenciar el comportamiento elástico de los muretes, una curva típica es presentada en la Figura 13-b. Sobre cada una de las curvas obtenidas se efectuó una regresión lineal tendiente a obtener el módulo de corte, adicionalmente se reportó la resistencia a corte última. Un sumario de las propiedades antes mencionadas se presenta en la Tabla 3. En la Figura 14 se ilustra un murete después de la falla.

CARACTERIZACIÓN COMPORTAMENTAL A TENSIÓN DIAGONAL				
Variable	Unidad	Murete		
		1	2	3
Módulo Corte	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$	12,320	9,566	11,330
Resistencia a Corte	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$	1,675	1,289	1,482

Tabla 3. Resultados ensayo tensión diagonal.



Figura 14. Murete después de falla

Aunque el espacio muestral usado en la sensibilidad de las variables de compresión diagonal fue mínimo, se realizó un análisis estadístico que permitió obtener los valores promedio de la resistencia a corte ( $\tau=1,48 \text{ Kg/cm}^2$ ) y el módulo de corte ( $G= 11,07 \text{ Kg/cm}^2$ ).

## 6. Aplicabilidad del trabajo

Basados en el trabajo experimental que soporta esta publicación, los autores han considerado sugerir el uso de un sistema análogo al de los muretes desarrollados en la construcción de MUROS NO ESTRUCTURALES O PANELES DIVISORIOS interiores, en ese sentido recomiendan iniciar investigaciones destinadas a definir medidas para la protección del panel contra fuego e intemperie.

## 7. Conclusiones

- El comportamiento de los muretes ante cargas axiales es dúctil. Debido al bajo valor de resistencia a compresión, no es conveniente usar la técnica constructiva de los muretes desarrollados en muros estructurales cargueros con el fin de prevenir grandes deformaciones verticales y colapsos por deformación excesiva. Los muretes propuestos presentan una resistencia última  $\sigma = 11,40 \text{ Kg/cm}^2$  y un módulo de elasticidad  $E=65,33 \text{ Kg/cm}^2$ . Datos que serían conveniente verificarlos con un espacio muestral superior al usado en la investigación que soporta esta publicación.
- El comportamiento de los muretes ante un sistema de carga análogo al de la carga sísmica es dúctil, condición que favorece su desempeño no estructural. Los muretes propuestos presentan una resistencia última a corte de  $\tau=1,48 \text{ Kg/cm}^2$  y un módulo de corte  $G=11,07 \text{ Kg/cm}^2$ . Datos que serían conveniente verificarlos con un espacio muestral superior al usado en la investigación que soporta esta publicación.
- Los autores recomiendan el uso del sistema constructivo asociado al murete objeto de esta publicación, en la construcción de paneles divisorios o muros no estructurales localizados en lugares donde no tengan posibilidad de estar en contacto con la

intemperie. De otro lado motivan a otros investigadores a iniciar trabajos tendientes a difundir medidas para el control de la amenaza de fuego e intemperie.

### Referencias

- [1] ASTM – INTERNATIONAL, ASTM E 519 – 02. “Standard Method for Diagonal (shear) in masonry Assemblages.”
- [2] ASTM – INTERNATIONAL, ASTM C 1314 – 02a. “Standard Test Methods for Compressive Strength of Masonry Prisms. ”
- [3] CHANCHÍ, J.C. – SUAREZ, L.A., “Unidad de Mampostería fabricada con cubetas para huevo, aserrín y P.V.A (Acetato de Polivinilo). Obtención de resistencia a compresión y modulo de rotura”, (2007)
- [4] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, “NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR 98)”, vol. 1.

### Agradecimientos

Es loable agradecer a los integrantes del grupo de investigación ESTRUCTUNAL adjunto al Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, por su apoyo logístico en el planeamiento, ejecución y producción de los resultados de la investigación soporte de esta publicación.

### Correspondencia

José Christian Chanchí Golondrino.

Director Laboratorio de Estructuras.

Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Departamento de Ingeniería Civil, Campus La Nubia, Oficina V224, Manizales (Caldas) – Colombia.

Teléfono: +(57)6-8879400 Ext. 55799/55809

Fax +(57)6-8879300 Ext. 50238.

Email: [jcchanchigo@unal.edu.co](mailto:jcchanchigo@unal.edu.co).