

*Influence of the polymeric  
fibers adding upon mortars  
based on the bending  
resistance and compression  
of mud plasters*

# **Incidencia de la adición de fibras poliméricas para morteros sobre la resistencia a flexión y compresión de estucos de barro**



## **Autores**

PRADO, F. Pontificia Universidad Católica de Chile  
fpradog@uc.cl  
Santiago, Chile

GONZÁLEZ, M. Constructora G y L  
Santiago, Chile

**Fecha de recepción** 28/09/2012

**Fecha de aceptación** 13/11/2012

## Resumen

Los estucos de barro son uno de los elementos que más comúnmente presentan defectos tanto en paramentos interiores como exteriores de una edificación (ya sea esta estructurada en barro o no). Por lo anterior es que se hace deseable generar nuevas soluciones, que a un bajo costo, logren una mejora en la calidad de los estucos de adobe, minimizando el riesgo para las personas y procurando durabilidad del bien inmueble, sobre todo cuando se trata de un edificio patrimonial.

El presente trabajo consiste en un estudio sobre el uso de fibras poliméricas como refuerzo a estucos de mortero de adobe. Para ello se desarrollaron en laboratorio una muestra cero y muestras con adiciones de fibras, en diferentes dosificaciones, las cuales fueron testeadas en la prensa de ensayo (según norma oficial chilena Nch158: Ensayos

de Flexión y Compresión de Morteros, aplicados a briquetas RILEM), a modo de obtener sus parámetros característicos de flexión y compresión.

Una vez obtenidos los resultados, se procedió al análisis estadístico y contrastación de los mismos, lo cual permitió determinar la muestra con fibras que mejores características presentó luego de la adición.

Se logró establecer que la estabilidad de un elemento no estructural (como el estuco de barro) sometido a flexión y compresión se hace sustancialmente más efectiva con la incorporación de fibras poliméricas logrando incrementos en su resistencia de hasta un 30%. Adicionalmente se pudo demostrar que los tiempos de rotura del elemento reforzado con fibra pueden llegar a ser 7 veces mayores que la muestra pura.

**Palabras clave:** Estuco de barro, fibra de polipropileno, briquetas RILEM.

## Abstract

*One of the most current pathologies that occur in adobe faced constructions is due to the flexion and compression upon the mud plasters. For this reason, it becomes necessary and interesting the idea of generating new solutions, which at a low cost improve the mud plasters' quality.*

*This research consists in carrying a study about the use of polymeric fibers as reinforcement of adobe mortar plasters. Thus, different samples were made in a laboratory; one zero sample and others, which carried several fibers in different amounts. These were tested in a drilling*

*press as to obtain the characteristics of their flexion and compression.*

*With these results, a statistical and contrastive analysis was made. The results allowed to show which fiber sample comply with the best characteristics after the adding of fibers and thus, create a behavior pattern for this material.*

*It was established that the quality of a non structural element such as plaster- undergone to flexion and compression- becomes more effective with the adding of polymeric fibers.*

**Key words:** Earthen stucco, polypropylene fiber, RILEM

## 1. Introducción

### 1.1. Breve reseña del estado del arte

La técnica de construcción en tierra cruda es una de las más antiguas utilizadas por el hombre. Su recurrencia se debe en gran medida a la disponibilidad del material base, el bajo nivel tecnológico exigido para la preparación de la mezcla y la facilidad de su aplicación. Las construcciones de adobe más antiguas descubiertas datan del año 10.000 antes de Cristo, y están ubicadas en Mesopotamia. Adicionalmente, existen vestigios de su utilización hace 12 mil años en una de las ciudades más antiguas del mundo, Jericó, así como en la Muralla China la cual data del siglo III antes de Cristo. Los edificios más antiguos, que actualmente están en servicio, se encuentran en Taos, Nuevo México, con aproximadamente 900 años de edad, los cuales presentan hasta la actualidad adecuadas condiciones de servicio (Pinho, 2000) y (Burroughs, 2001).

La utilización de la tierra como material de construcción está diseminada por todas las áreas secas y templadas del mundo, con predominancia en el hemisferio Sur. Además, las construcciones de adobe se caracterizan pues presentan un vínculo vernáculo relevante que las diferencian cultural, regional y temporalmente, constituyendo un patrimonio importante de la humanidad. Es por este motivo que existen grandes impulsos para proteger y rehabilitar este tipo de construcciones. Aunque la construcción en adobe es una técnica de construcción ancestral, en nuestros días, aún es posible observar su gran uso en países considerados subdesarrollados o en vías de desarrollo. En la mayoría de estos casos actuales se trata de construcciones modestas, pero también es posible encontrar ejemplos de enorme complejidad, incluso, en algunos casos de edificios que alcanzan los 10 pisos.

En países considerados desarrollados, normalmente en zonas secas de climas desérticos, como por ejemplo Australia o Estados Unidos, está renaciendo la construcción en base al adobe, impulsado por la adopción de conceptos de sustentabilidad y por la innovación tecnológica que han desarrollado (como puede ser el bloque BTC). Efectivamente, en dichas regiones del mundo las ventajas de la construcción en adobe, específicamente la relacionada con la inercia térmica, puede ser aprovechada al máximo y sus desventajas, normalmente el comportamiento a la humedad y la resistencia ante acciones de sismos, se encuentran minimizadas con diseños y tecnologías de apoyo (Sousa, Meireles, Almeida y de Brito, 2008).

**Ilustración 1.** Edificios de ladrillos de tierra en Shibam, Yemen.



Fuente: Maini, 1998. *Earthen architecture for sustainable habitat and compressed stabilized earth block technology.*

En las últimas décadas ha habido un fuerte desarrollo en las investigaciones relacionadas con la incorporación de fibras a los morteros para estucos. Sin embargo el uso de las fibras es una técnica antigua que ha tomado formas en el pasado mediante fibras de verdura en Babilonia y Persia; mediante pelos de animales; o mediante paja; técnica que fuese introducida por los egipcios (Filho y Silva, 2004).

### 2.1. Realidad nacional chilena

En Chile, considerar el adobe como material constructivo estructural de nuevas viviendas es un tema que se encuentra fuera del marco legal. La utilización de esta técnica quedó relegada a una propuesta propia de comunidades rurales y a la intervención de edificios de carácter patrimonial.

En la zona norte, centro y centro-sur de Chile, existe una gran cantidad de inmuebles que están estructurados en adobe, los cuales son una muestra viva de que, evaluando sus restricciones y consideraciones técnicas específicas, se le puede considerar como un material vigente, pues aún se encuentra en servicio.

Como se mencionó anteriormente la construcción de tierra cruda, tiene ventajas en:

- La habitabilidad: respondiendo favorablemente a las condiciones climáticas y de confort térmico de lugares extremos condicionados por su ubicación geográfica y clima.
- La factibilidad económica: la cual suele ser un factor importante a considerar, más aún en ciudades

- apartadas, sujetas a escasez de recursos, donde se debe privilegiar el insumo principal local, la tierra.
- c. La imagen patrimonial del sistema constructivo a utilizar: donde se deben asociar la identidad cultural al sistema constructivo como propio del lugar. (Comité de Adobe Chile, 2005).

De esta manera se comprende la necesidad del desarrollo de soluciones innovadoras que, respetando los criterios internacionalmente definidos por ICOMOS en las Cartas Internacionales del Restauero para la intervención patrimonial (como pueden ser los de Reversibilidad, Autenticidad e Identificación), permitan una mejora en los componentes de los sistemas constructivos ancestrales, siendo un apoyo por ejemplo para la puesta en valor del patrimonio construido en dicho material.

La pérdida de las técnicas y culturas constructivas en las últimas décadas, han hecho aumentar los defectos de construcción de muchas viviendas, tanto realizadas con tierra como otros que tienen trabajo mixto de tierra y materiales industrializados. Este es el caso de la arquitectura de albañilería de ladrillos hechos a mano, la cual se encuentra revestida por estucos de barro, las que fueron muy recurrente en la zona central de Chile (normalmente ejecutadas en el primer cuarto del siglo XX). La pérdida de los conocimientos de construcción con tierra cruda trae consigo la consiguiente pérdida de calidad de las soluciones constructivas dada la incorporación de nuevas soluciones incompatibles (ya sean estructural o materialmente), así como la pérdida de sus características estéticas, materiales y patrimoniales. Esto no solo sucede con la arquitectura monumental, sino también, con otra más modesta como pueden ser el residencial y rural.

El alto porcentaje del patrimonio histórico y cultural de nuestro país registrado por el Consejo de Monumentos Nacionales, sumado a la gran cantidad de personas que habitan en viviendas de esta naturaleza (las cuales están construidas en base a tierra cruda en sus diferentes sistemas constructivos: adobe, adobillo, y quincha) respaldan la necesidad de que este tema deba concentrar nuestra atención, tanto por la protección de la integridad física de los moradores de estos edificios, como por la preservación de los valores estético-culturales de la arquitectura patrimonial vernacular en tierra cruda.

De la mano de lo anterior, y en el contexto de la adecuada intervención de edificaciones de adobe o que incorporan técnicas de tierra cruda, y dando cumplimiento a la normativa internacional de conservación patrimonial, es que se da cuerpo a la siguiente investigación, procurando la identificación y reversibilidad de las adiciones.

La selección del material (fibras de polipropileno) para las adiciones se ha realizado dada sus características mecánicas, de compatibilidad, de estabilidad dimensional, de reversibilidad y condición de inerte frente a los agentes climáticos y otros externos. Todo lo anterior permite asegurar el correcto cumplimiento de los lineamientos internacionales para una adecuada intervención patrimonial, así como un suministro industrializado y de bajo costo.

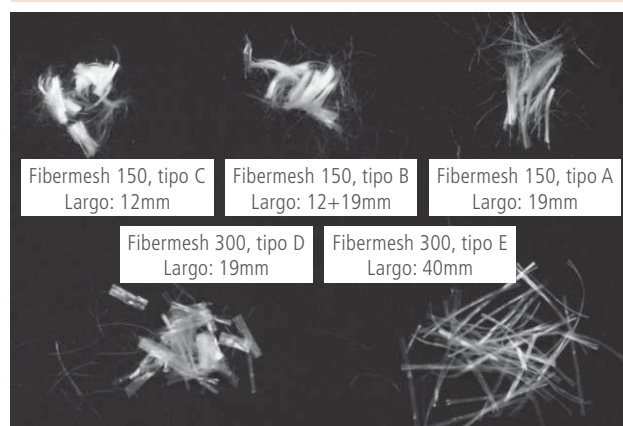
## 2. Desarrollo

### 2.1. Introducción

El material utilizado para la investigación consiste en un estuco de mezcla adobero proveniente de la Población Obrera de la Unión, ubicado en Valparaíso, el que de acuerdo a los ensayos de laboratorio realizados corresponde a un suelo del tipo SM(ML) y que según las normas NCh1517/1Of.1979 y NCh1517/2Of.1979, se pudo concluir que no presenta límite líquido, límite plástico ni índice de plasticidad, lo que significa es apto para la confección requerida.

Las fibras utilizadas son microfibras sintéticas de los modelos **FIBERMESH 150** de largos: **19mm (tipo A)**, **12+19mm (tipo B)** y, **12mm (tipo C)**, y **FIBERMESH 300** de largos **19mm (tipo D)** y **40mm (tipo E)**.

Ilustración 2. Todas las fibras poliméricas



Fuente: Elaboración propia.

La primera etapa, consiste en el acondicionamiento de las muestras que posteriormente darán paso al llenado de las probetas Rilem. Para esto se siguió el procedimiento establecido en la norma NCh158.Of1967.

**Ilustración 3.** Preparación de la mezcla de adobe con incorporación de fibras



Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 4.** Compactación de probeta Rilem con la espátula



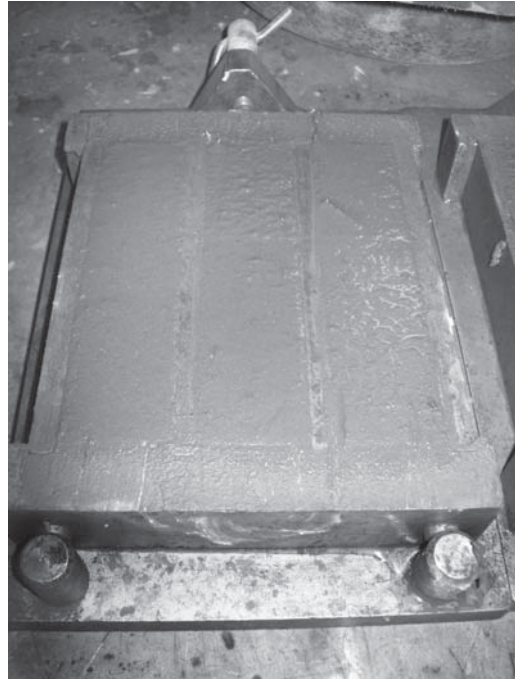
Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 5.** Pesaje de las fibras para su incorporación a la mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 6.** Probetas enrasadas y alisadas.



Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 7.** Control y visualizador de la máquina de ensayo



Fuente: Elaboración propia.

## 2.2. Metodología

La metodología se basa en la elaboración para cada tipo de fibra de: una muestra cero, pura sin la incorporación de fibras; una muestra con la dosificación recomendada por el fabricante; y una serie de muestras en las que se aplicará un aumento sucesivo de 1,5 veces la cantidad máxima de fibra recomendada por el fabricante.

Dicho incremento ha sido definido dada la sensibilidad de la balanza electrónica, que imposibilita pesar magnitudes inferiores a 1 g. Este incremento diferencial de 1 g en la probeta RILEM correspondería a un aumento significativo de la cantidad de fibras en el elemento escala 1:1.

Acorde a lo anterior, la metodología aplicada ha sido:

- Muestra 0: muestra pura
- Muestra 1: muestra pura más máxima cantidad de fibra recomendada por fabricante.
- Muestra 2: muestra pura más 1,5 veces la cantidad de fibra de muestra 1
- Muestra 3: muestra pura más 1,5 veces la cantidad de fibra de muestra 2
- Muestra 4: muestra pura más 1,5 veces la cantidad de fibra de muestra 3

- Muestra 5: muestra pura más 1,5 veces la cantidad de fibra de muestra 4
- Muestra 6: muestra pura más 1,5 veces la cantidad de fibra de muestra 5

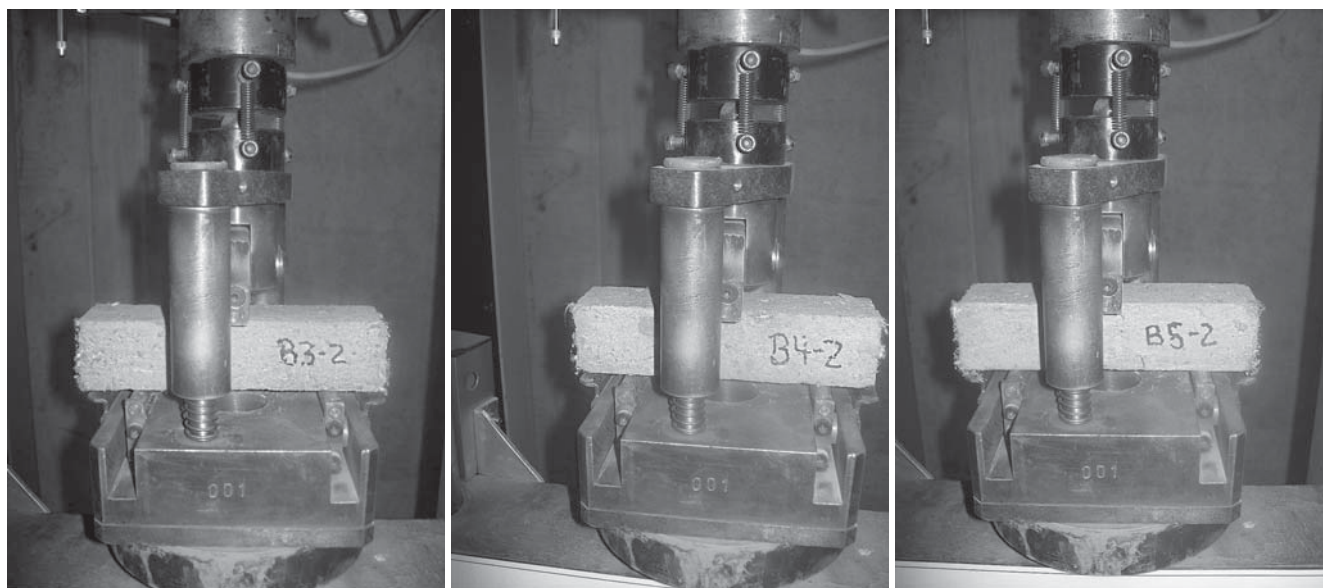
Para la ejecución de las mezclas anteriores se considera una relación agua-suelo=1:3 y una cantidad máxima de fibra, recomendada por el fabricante, de 2.4 kg de fibra por m<sup>3</sup> de mezcla.

## 2.3. Ensayo de flexión y compresión

Para la realización del ensayo de flexión, los cuales fueron realizados en los laboratorios de DECON UC, se debió considerar el procedimiento establecido en la norma NCh158.Of1967, controlado por los laboratoristas especializados para la realización de este ensayo.

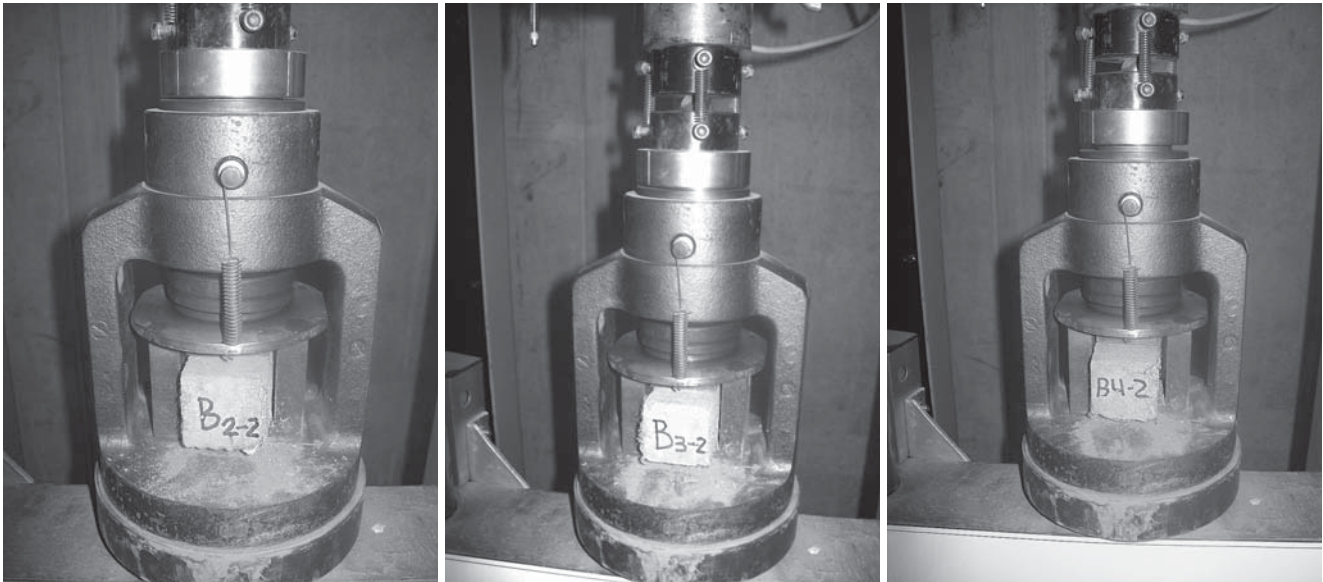
Una vez realizado el ensayo de flexión, y para asegurar la similitud del material, con los trozos sobrantes, se realizó el ensayo de compresión, siguiendo el procedimiento de la norma NCh158.Of1967 y controlado de igual forma que el ensayo anterior, por los laboratoristas especializados.

Ilustración 8. Ensayo de flexión serie B, muestra 3, 4 y 5



Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 9.** Ensayo de compresión serie B, muestra 2, 3 y 4.



Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 10.** Serie de probetas testeadas



Fuente: Elaboración propia.

## 2.4. Cálculos y resultados

### 2.4.1. Formulación de la hipótesis

La definición de la hipótesis se basa en que en los estucos de mortero de barro se generan problemas producidos por la acción de esfuerzos mecánicos, los cuales corresponden a una de las patologías más frecuentes y lamentables que ocurren en los paramentos de edificaciones de adobe.

Se establece como hipótesis nula ( $H_0$ ) que las resistencias mecánicas de flexión y compresión de los estucos de mortero de barro, no se ve influenciada por incorporación de fibras poliméricas.

Por lo tanto la hipótesis de investigación ( $H_1$ ) es que las resistencias mecánicas de flexión y compresión de los estucos de mortero de barro, con incorporación de fibras poliméricas, puede aumentar. Si esto fuera cierto, las recomendaciones de la aplicación de la cantidad de fibra, deben ser definidas para obtener un parámetro de aumento de las resistencias a flexión y compresión, con una determinada cantidad de fibra polimérica. Vale decir se buscará una relación entre la cantidad de fibras y el aumento de la resistencia.

### 2.4.2. Diseño del modelo de evaluación

Para la ejecución de los ensayos, se define un diseño factorial, aplicado por tipo de fibra y por tipo de re-

sistencia estudiada (flexión y compresión). El diseño cuenta con seis factores, correspondientes a los seis escenarios de fibras poliméricas incorporadas, y cada uno de estos factores cuenta con tres niveles de resultados experimentales, es decir, a cada una de las seis combinaciones de dosificaciones, se asignó tres resultados de resistencia de flexión y compresión, por separado (medidos en MPa).

Este tipo de experimento permite el estudio de cada factor en la variable, así como el efecto de las interacciones entre factores sobre la variable.

### 2.4.3. Elección de la prueba estadística

Según la hipótesis de investigación planteada, se tiene que existe una relación entre una variable Y (denominada dependiente, la cual corresponde a la resistencia mecánica de flexión y compresión) y otra variable X (denominada independiente, la cual corresponde a la cantidad de fibra incorporada).

Se asume que la dependencia de la variable Y con la variable X, está asociada a un modelo matemático

y no necesariamente a un factor de causalidad. Así, para una misma cantidad de incorporación de fibra, pueden existir niveles de resistencias que varían en los distintos tipos de fibras.

La prueba que más se ajusta a las necesidades del estudio es la regresión, ya que es útil para interpolar (encontrar nuevos valores situados entre los que ya se conocen). Se utilizará la regresión para estudiar cuál de los modelos funcionales se adapta de mejor manera a la situación planteada, evaluando tanto con una regresión lineal del tipo  $Y = a + b X + e$ , como con una regresión cuadrática del tipo  $Y = a X^2 + b X + c$ , para así determinar cuál ofrece un mayor ajuste de los valores. En ambos casos, se establece para la verificación de la hipótesis, un nivel de confianza del 95%.

### 2.4.5. Evaluación del modelo estadístico

Para realizar la evaluación de las regresiones establecidas, se analizaron los datos en el programa SPSS 18, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 2.1.** Resumen de los modelos y estimaciones todas las series de flexión

Serie	Regresión	R2	Fcrítico	F	Sig.	Ecuación
A	Lineal	0,682	4,381	40,792	0,000	$Y = 0,128X + 2,717$
	Cuadrática	0,683	3,555	19,389	0,000	$Y = 0,143X - 0,001X^2 + 2,681$
B	Lineal	0,549	4,381	23,141	0,000	$Y = 0,091X + 2,224$
	Cuadrática	0,692	3,555	20,214	0,000	$Y = 0,250X - 0,009X^2 + 1,826$
C	Lineal	0,102	4,381	2,163	0,158	$Y = 0,013X + 2,583$
	Cuadrática	0,111	3,555	1,124	0,347	$Y = 0,026X - 0,001X^2 + 2,551$
D	Lineal	0,127	4,381	2,775	0,112	$Y = 0,019X + 2,137$
	Cuadrática	0,177	3,555	1,933	0,174	$Y = 0,060X - 0,002X^2 + 2,034$
E	Lineal	0,059	4,381	1,198	0,287	$Y = - 0,016X + 3,087$
	Cuadrática	0,157	3,555	1,672	0,216	$Y = - 0,084X + 0,004X^2 + 3,260$

Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 2.2.** Resumen de los modelos y estimaciones todas las series de compresión

Serie	Regresión	R <sup>2</sup>	Fcrítico	F	Sig.	Ecuación
A	Lineal	0,495	4,381	18,640	0,000	$Y = 0,104X + 8,910$
	Cuadrática	0,558	3,555	11,368	0,001	$Y = 0,231X - 0,007X^2 + 8,592$
B	Lineal	0,823	4,381	88,323	0,000	$Y = 0,190X + 6,867$
	Cuadrática	0,926	3,555	112,085	0,000	$Y = 0,418X - 0,012X^2 + 6,294$
C	Lineal	0,002	4,381	0,037	0,849	$Y = - 0,002X + 6,925$
	Cuadrática	0,072	3,555	0,700	0,510	$Y = 0,045X - 0,003X^2 + 6,807$
D	Lineal	0,710	4,381	46,466	0,000	$Y = 0,110X + 5,538$
	Cuadrática	0,904	3,555	84,606	0,000	$Y = 0,306X - 0,011X^2 + 5,047$
E	Lineal	0,074	4,381	1,523	0,232	$Y = 0,017X + 8,939$
	Cuadrática	0,105	3,555	1,060	0,367	$Y = - 0,021X + 0,002X^2 + 9,035$

Fuente: Elaboración propia.

### 3. Análisis

#### 3.1. Análisis de los resultados

Respecto del resumen del modelo a flexión, se establece que el mejor modelo corresponde a la serie B. A la vista del resultado analítico, se puede afirmar que el ajuste del modelo es aceptable, ya que el valor del coeficiente de determinación R cuadrado (R<sup>2</sup>) es igual a 0,692, lo cual es relativamente cercano a 1. En concreto, el 69,2% de la variabilidad de la variable Y, respecto a su promedio, es explicado por el modelo de regresión cuadrático ajustado. Es por esto que se puede definir que el modelo es aceptable para describir la relación que existe entre las variables X e Y.

Para afirmar y aceptar si los resultados de R<sup>2</sup> se produjeron por azar, se puede utilizar el coeficiente estadístico F, de la distribución F de Fisher. Para ello, en el contraste de hipótesis, para verificar si la variable independiente explica el fenómeno se utiliza el estadístico F, con los siguientes parámetros (grados de libertad):

- $gl_1 = k = 1$
- $gl_2 = n - (k + 1) = 19$

Donde:

- k: es el número de variables independientes en el análisis de regresión.
- n: es el número de observaciones consideradas.

Además, considerando el intervalo de confianza del 95%, dado por  $(1 - \alpha)$ , con  $\alpha = 0,05$ , se puede definir que el valor crítico de F para la regresión lineal es de 3,555, el cual se puede obtener de manera directa de la Tabla de Valores Críticos de la distribución F de Fisher  $F_{0,05}(x,n_1,n_2)$ . Dado que el valor de  $F = 20,214$ , entregado en el resumen del modelo de flexión serie B, es mucho más elevado que 3,555, es extremadamente improbable que un valor F tan elevado se produzca por el azar. Por tal motivo, y como se tiene un  $\alpha$  (significancia o complemento del nivel de confianza) de 0,05, la hipótesis de que no hay relación entre la variable independiente y la variable dependiente hay que rechazarla pues F sobrepasa el nivel crítico. Adicionalmente, evaluando con  $DIST.F(\text{valor de } F; \text{grado de libertad } 1; \text{grado de libertad } 2)$  en Excel, se puede obtener la probabilidad (o significancia) de que se produzca al azar un valor F superior, o sea la probabilidad de que un valor tan elevado se produzca por azar. En este caso en particular,  $DIST.F(20,214; 1; 19) = 2,47E-4$ , una probabilidad extremadamente pequeña, la cual se considera como 0. Con lo cual se puede determinar que la variable independiente es significativa para explicar el comportamiento de la variable dependiente.

De la tabla resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, se puede observar que los coeficientes de determinación R<sup>2</sup>, de las series C, D y E, correspondientes a las fibras Fibermesh 150 de largo 12mm, Fibermesh 300 de largo 19mm y Fibermesh 300 de largo 40mm, respectivamente, tanto para las regresiones

lineales como para las cuadráticas, son excesivamente bajos, por lo que un gran porcentaje de las variaciones que ocurren en la variable dependiente (resistencia a flexión) se explican por otras variables externas no consideradas, las cuales no guardan relación con la variable independiente (cantidad de incorporación de fibras). Por otro lado, respecto de los estadísticos F obtenidos en estas series, se puede determinar que tampoco existe relación entre ambas variables. En estos casos las significancias son muy elevadas, por lo que existe gran probabilidad de que otros factores expliquen el comportamiento de la variable dependiente.

El procedimiento establecido para el análisis estadístico de los resultados a compresión es idéntico al realizado en el análisis de flexión, por considerar las mismas condiciones, modelos y variables. Es por esto que se establece que el modelo más representativo es el generado por la fibra tipo B.

### 3.2. Análisis de otras variables de interés

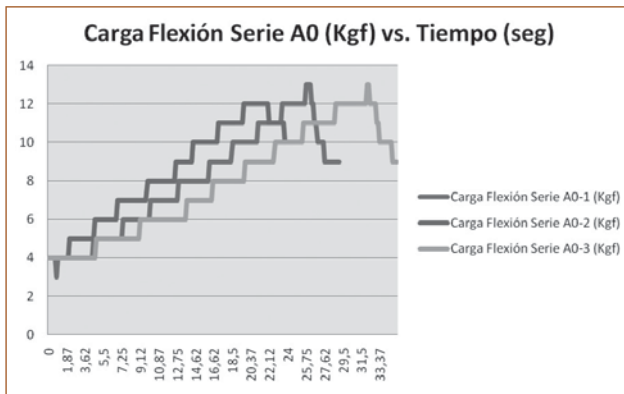
En el proceso de ensayo de las series a flexión y a compresión, se observó que al aumentar la cantidad de fibras en cada una de las muestras, se incrementa-

ba también el tiempo que la briqueta resistía la carga máxima antes de reomper. Este efecto es muy relevante ya que se aumenta la propiedad de elasticidad del material resultante.

El aumento del tiempo para lograr la carga máxima, respecto de la muestra pura, se incrementa hasta 7,3 y 6,2 veces, en las series A y B de flexión, respectivamente. En cambio en las series A, B y D, de compresión, alcanzan diferencias de 2,3, 2,5 y 2,3 veces, los cuales son valores sustanciales.

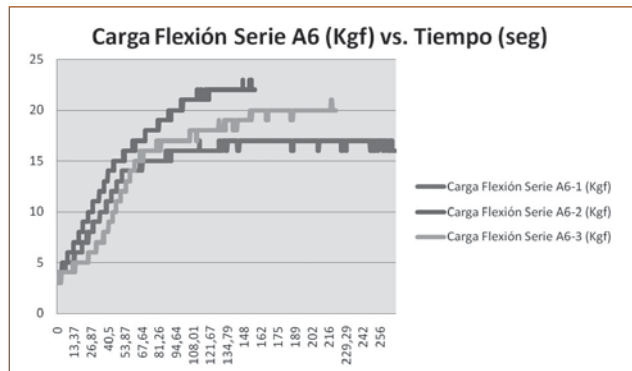
Un aspecto interesante observado durante el proceso de ensayos fue el mantenimiento en el tiempo de la carga de rotura, en las series de flexión, tal como se muestra en los gráficos adjuntos. En el caso de la serie A, con una incorporación de fibra de 12,15 kg/m<sup>3</sup>, se tuvo tiempos promedio de la carga máxima de casi 98,9 segundos, a diferencia de los 1,04 segundos registrados en la muestra pura. En cambio en el caso de la serie B, en la misma dosificación de incorporación de fibras, se mantuvo las cargas máximas en un promedio de 39,9 segundos. Esto permite suponer que el nuevo material mixto es flexible, y aun luego de romper, sigue teniendo trabazón, lo que podría disminuir el riesgo de caída de los materiales desde el muro.

**Ilustración 3.1.** Gráfico Carga Flexión versus Tiempo, serie A0



Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 3.2.** Gráfico Carga Flexión versus Tiempo, serie A6



Fuente: Elaboración propia.

## 4. Conclusiones

La hipótesis de investigación, la cual establece que las fibras poliméricas añadidas a la mezcla de barro contribuyen al aumento de la resistencia de flexión y compresión de los estucos, queda comprobada con el estudio realizado. Así también, se pueden establecer que la incorporación de fibras disminuye la capacidad de deformación producto a acciones de flexión y compresión. Sin embargo, esta hipótesis queda condicionada al tipo de fibra a utilizar y al modelo matemático establecido para ello.

Respecto a las especificaciones técnicas de las fibras incorporadas en la mezcla de adobe, se tienen de variadas longitudes y tipos, predominando las de pequeña sección. En general, la mezcla de fibras de distinto tamaño, sumado a la isotropía (que es la característica de los cuerpos cuyas propiedades físicas no dependen de la dirección espacial) generan mejores resultados en las resistencias mecánicas. Asimismo, una de las principales ventajas que aportan las fibras de polipropileno es la mejora significativa de la elasticidad del mortero de adobe, reduciendo la deformación bajo cargas permanentes, aumentando así la durabilidad de los estucos.

Es preciso señalar que las fibras de polipropileno son económicas y se mezclan fácilmente con los componentes del adobe. Estas son inertes frente a los factores climáticos, permiten su identificación y reversibilidad de ser necesario. Con lo anterior podemos decir que las fibras permiten una adecuada intervención en elementos patrimoniales, acorde a las Cartas internacionales del restauro.

El adobe reforzado con fibras puede ser considerado como una variante del principio de refuerzo con paja. Para el caso del estuco de adobe, el refuerzo se realiza con paja en trozos pequeños, las que pueden ser acompañadas o reemplazadas por una cantidad determinada de pequeñas fibras, distribuidas de forma uniforme en la mezcla.

Los costos asociados a la incorporación de las fibras no son incidentes en el precio del producto terminado. De la misma manera no se ven modificadas sustancialmente las técnicas de trabajo, docilidad ni otras propiedades del nuevo material.

Las fibras se incorporan "trabando o reforzando" interiormente la mezcla de adobe. La compatibilidad de la fibra 12+19mm, genera, además de las múltiples orientaciones, una longitud de anclaje variada, lo cual podría significar que interiormente se soportan las acciones de tracción y compresión mediante una retícula generada por la adición. La existencia de

esta "retícula" y la fluencia de las fibras podría ser la explicación para el aumento de los tiempos de rotura de las probetas.

Específicamente, la calidad de un elemento no estructural como el estuco, sometido a flexión, se hace más efectiva, explicada casi en el 70% de las probetas, por la incorporación de fibras poliméricas. En este caso, la fibra de mejores proyecciones es la Fibermesh 150 tipo B de largo 12+19mm. El modelo que mejor representa a esta fibra es el cuadrático, definido por:

$$Y = -0,009X^2 + 0,250X + 1,826$$

Tal como se muestra en la Tabla 2.1. Así para la cantidad de fibra recomendada por el fabricante, de 2,4 kg/m<sup>3</sup> de mezcla, se obtienen aumentos esperados de resistencia de 0,55 MPa, equivalente a un 30% de la resistencia de la muestra pura.

La resistencia a compresión del adobe se ve afectada de manera más significativa por el contenido de fibras, explicada casi en el 93% de las probetas, por la incorporación de fibras poliméricas. En este caso nuevamente la fibra de mejores proyecciones es la Fibermesh 150 tipo B de largo 12+19mm. El modelo que mejor representa a esta fibra es el cuadrático, definido por:

$$Y = -0,012X^2 + 0,418X + 6,294$$

Tal como se muestra en la Tabla 2.2. Así para la cantidad de fibra recomendada por el fabricante, de 2,4 kg/m<sup>3</sup> de mezcla, se obtienen aumentos esperados de resistencia de 0,93 MPa, equivalente a un 15% de la resistencia de la muestra pura.

Los componentes del adobe son agua, suelo (arcilla y arena, principalmente), eventualmente paja y, para este caso en particular, fibras de polipropileno. La particularidad que presenta la adición de fibras en la mezcla es que, al ser elementos con gran superficie específica y con geometría muy diferente a la del suelo, la docilidad de la mezcla se ve reducida (con dosificaciones muy elevadas), lo cual es muy relevante en la colocación de este tipo de mezclas. Por esta razón, se hace necesaria la incorporación de más cantidad de finos, con el objetivo de contrarrestar la reducción de docilidad provocada por la adición de fibras.

La máxima eficacia de las fibras viene dada por una correcta dosificación de los componentes. No obstante, no existe un método general de dosificación de los materiales establecido para las mezclas de adobe, ya que en su gran mayoría, la mano de obra asociada a este tipo de labores, se rige por la experiencia adquirida.

## 5. Bibliografía

- Araya, R., Castillo M.J., Prado F. (2009) *Rehabilitation of the Workers Union*. Arq. (73):36-39. Arquitectura, Diseño, Urbanismo, Santiago, Chile.
- Balderrama, A. (2001). *The conservation of earthen architecture*. (1ª ed., Vol. 16), The Getty Conservation Institute Newsletter.
- Burroughs, V. (2001). *Quantitative criteria for the selection and stabilization of soils for rammed earth wall construction*. PhD Thesis, Faculty of Built Environment, University of New South Wales, Australia.
- Cabral da Silva, A., Alencar, N., Cabral, J. y Araújo, S. (2008). Análise de tijolos de terra crua com adição de resíduos agroindustriais como componentes construtivos: experiência com a cinza e a casca da castanha de caju. *IV International Conference on Structural Defects and Repair* (pp. 1-9). Aveiro, Portugal: University of Aveiro.
- Caetano, L.F., Graeff, A., Garcez, E., Bernardi, S., Filho, L. y Silva, L. (2004) *Compósitode Matriz Cimentícia Reforçada com Fibras*: [s.n]
- Chile, Instituto Nacional de Normalización (1948). *NCh 32: Tamices de ensayos*. Santiago, Chile: INN.
- Chile, Instituto Nacional de Normalización (1952). *NCh 409: Agua potable*. Santiago, Chile: INN.
- Chile, Instituto Nacional de Normalización (1967). *NCh 158: Cementos: ensayo de flexión y compresión*. Santiago, Chile: INN.
- Chile, Instituto Nacional de Normalización (1979). *NCh 1517/1: Mecánica de Suelos-Limites de consistencia-Parte 1: determinación del límite líquido*. Santiago, Chile: INN.
- Chile, Instituto Nacional de Normalización. (1979). *NCh 1517/2: Mecánica de Suelos-Limites de consistencia-Parte 2: determinación del límite plástico*. Santiago, Chile: INN.
- Chile, Instituto Nacional de Normalización. (1996). *NCh 433: Diseño sísmico de edificio*. Santiago, Chile: INN.
- Coignet, J. y Coignet, L. (2006). *Restaurar una casa antigua. Construcción, diagnóstico, intervenciones*. (pp. 6-145). En CEAC. Barcelona, España.
- Comité Adobe, (2005) *Informe Técnico Comité Adobe*. Comité Adobe, Instituto de la Construcción. Santiago, Chile.
- Dias, L., Paiva, A. y Barbosa, J. (2008). Introdução de fibras vegetais em diferentes composições de rebocos exteriores. *IV International Conference on Structural Defects and Repair* (pp. 1-9). Aveiro, Portugal: University of Aveiro.
- Gomes, M. y Lopes, V. (2008). Prevenção de fissuras em argamassas de revestimento através do controle na etapa de produção de uma edificação. *IV International Conference on Structural Defects and Repair* (pp. 1-9). Aveiro, Portugal: University of Aveiro.
- Heathcote, A. (1995). *Durability of earth wall buildings*. Elsevier Science, Construction and Building Materials, (3ª ed., Vol. 9, pp. 185-189). EE.UU.: [s.n]
- Lobera, J. y Michelutti, E. (2007). *Construcción Sostenible y Construcción de la Sostenibilidad: Una Experiencia en Comunidades Rurales de El Salvador*. (2ª ed., pp. 1-16). Revista Sostenibilidad, Tecnologías y Humanismo. El Salvador.
- Maini, A. (sin fecha) *Earthen architecture for sustainable habitat and compressed stabilized earth block technology*. Auroville Earth Institute, Auroville Building Centre. Índia: [s.n].
- Navarro, C. y Barbero, E. (2008). *Mecánica de medios continuos y teoría de estructuras*. (pp. 1-11). En Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras, Universidad Carlos III de Madrid. Madrid, España.
- Oros, G. (2009). *Ingeniería de materiales: Materiales compuestos*. (pp. 1-4). Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Sonora. México.
- Pereira, H. (2009). La Construcción en Tierra Cruda: Ventajas y Desventajas. *Seminario: La Construcción Patrimonial: Un Desafío Técnico y Legal*. Santiago, Chile: Colegio de Ingenieros de Chile.
- Perú, Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (1999). *Norma técnica de edificación, E.080 Adobe*. Lima, Perú.
- Pinho, F. (2000). *Paredes de edificios antigos em Portugal*. Edifícios, LNEC. Lisboa: [s.n]
- Prado, F. (2008). *Proyecto Tarapacá: por la recuperación de poblados patrimoniales en el norte de Chile*. En Revista de la Construcción 7(1):36-46, Santiago, Chile.
- Prado, F., Ossio, F., (2008). *Evolución de los criterios de intervención utilizados en los Monumentos Nacionales*

de Santiago de Chile. En Revista de la Construcción 7(2):30-46, Santiago, Chile.

Salas, J. (1991). Mecanismo de degradación: El patrimonio construido con tierra, necesidad de su preservación. *Jornada sobre Restauración y Conservación de Monumento* (pp. 127-177). Madrid, España: Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales.

Soto, K., y Bravo, M. (2010). Tecnologías de mejoramiento para la restauración de muros de tierra en La provincia de Loja, Ecuador. *X Congreso Internacional Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación* (pp.

1-6). Santiago, Chile: Centro Internacional para La Conservación del Patrimonio CICOP Chile.

Sousa, A., Meireles, I., Almeida, N. y de Brito, J. (2008). *Construções em terra. Principais anomalias e mecanismos de degradação. IV International Conference on Structural Defects and Repair* (pp. 1-18). Aveiro, Portugal: University of Aveiro.

Walker, R. y Morris, H. (2001). *Development of new performance based standards for earth building* (pp. 1-8). Auckland, New Zeland.