

PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS PARA REVOQUES A BASE DE TIERRA ESTABILIZADA CON CALOR

Araí S. Rieppi Godoy¹, Lucas E. Peisino², Rosana Gaggino³, Guillermo Rolón⁴

Centro experimental de la vivienda económica (CEVE-CONICET-AVE)
¹arairieppigodoy@gmail.com, ²lpeisino@ceve.org.ar, ³rgaggino@ceve.org.ar

⁴Instituto de investigaciones territoriales y tecnológicas para la producción del hábitat (NTEPH CONICET/UNT),
guillerolon02@gmail.com

Palabras clave: revestimientos de tierra, ceramización, estabilización superficial, tratamiento térmico

Resumen

La sostenibilidad de un edificio, en términos de eficiencia energética, requiere un enfoque interdisciplinar desde el diseño, buscando elegir los materiales para minimizar la energía incorporada. La construcción con tierra como material principal posee estas ventajas. Los revoques de tierra son una opción para aumentar la durabilidad de los muros exteriores de tierra, es por esto que se buscan técnicas de estabilización de los mismos. El objetivo de este trabajo es evaluar el desempeño de mezclas a base de tierra luego de un tratamiento térmico a diferentes temperaturas. En este trabajo se estudian las propiedades mecánicas de mezclas que serán aplicadas como revestimientos. Se moldearon en laboratorio, probetas prismáticas de 4x4x16 cm variando la materia prima y las dosificaciones. Como material base se utilizó tierra comercial de la ciudad de Córdoba, Argentina, caracterizada como limo arcilloso de baja plasticidad (ML) según SUCS (Sistema Único de Clasificación de Suelos). Además, se utilizan agregados finos y arcillas comerciales a modo de aditivo, fundente como sustancia agregada y agua corriente para lograr la plasticidad. Se definieron cinco temperaturas de tratamiento (400, 500, 600, 700 y 900 °C) para ser comparadas con la muestra patrón (sin tratamiento). Las probetas se ensayaron para conocer la resistencia a la erosión hídrica, a la abrasión y compresión simple. Los resultados obtenidos demuestran que se produce un cambio positivo en las propiedades mecánicas analizadas, en coincidencia con un aumento en las temperaturas de tratamiento. La comparación entre probetas sin tratamiento térmico y tratadas a baja temperatura permite afirmar que el tratamiento a 400 °C, es una opción viable para incrementar la durabilidad de las mezclas de tierra frente a la acción de distintos agentes ambientales.

1 INTRODUCCIÓN

La construcción sostenible involucra muchos aspectos y disciplinas, donde se requiere la fusión de la ciencia y la tecnología para realizar aportes a esta demanda de la sociedad actual; teniendo en cuenta, además, que la industria de la construcción sigue siendo la principal actividad en niveles de consumo de energía a nivel mundial (Programme, 2019). Esta demanda acerca de la sostenibilidad en construcción del hábitat ha despertado un interés por técnicas de construcción milenarias, que hoy se vuelven muy atractivas por su baja energía incorporada y dentro de estas destacan las que utilizan tierra como material principal (Minke, 2013).

Los revoques de tierra son los más adecuados para aplicar en diferentes sustratos, principalmente en muros de tierra, pero es ampliamente conocido que, bajo el efecto de la lluvia, como de otros agentes biológicos, los revoques exteriores pueden sufrir degradación pronunciada en poco tiempo bajo ciertas características (condiciones climáticas específicas, composición deficiente del material, mala ejecución etc.). Entre sus ventajas están la compatibilidad con otros materiales y su bajo, o incluso nulo, costo (Avrami et al., 2008).

Por las razones expuestas, es que se han intensificado en el último tiempo investigaciones para la mejora de los revoques de tierra. Existen diferentes técnicas, por un lado aquellas que intentan incorporar un ligante químico, como suele ser el cemento Portland (Van Damme; Houben, 2018) o la cal (Santos et al., 2017) aumentando considerablemente su energía

incorporada. También están los ligantes orgánicos, como los mucílagos de cactáceas, especialmente los derivados del género *Opuntia* utilizados como retardante del fraguado (Torres Soria et al., 2011). Y por otro lado, también, aquellas que buscan estabilizar mecánicamente, ajustando la granulometría de los áridos o incorporando fibras de refuerzo de distintas maneras (Laborel-Préneron et al., 2016).

En este trabajo se explora una técnica, con buenas perspectivas de aplicación, a través de la consolidación del material mediante su tratamiento térmico. Esta exploración se realiza con la perspectiva de ejecutarse *in situ* sobre muros revocados. En este trabajo, se presenta una caracterización de las mezclas con distintos agregados, aditivos y fundentes. Sus propiedades en estado fresco y los cambios de las mismas entre el estado seco y luego del tratamiento térmico a distintas temperaturas (400, 500, 600, 700 y 900 °C).

1.1 Antecedentes de la línea de investigación

En el año 2022, Rieppi Godoy et al. (2022) se presentó un artículo en el 20° SIACOT en cual se examina la viabilidad de llevar a cabo un tratamiento térmico superficial *in situ* a revoques de tierra como estrategia para aumentar la durabilidad de los mismos frente a los deterioros causados por agentes climáticos (lluvia, granizo y viento). En este caso, las probetas eran adobes con revoques de 6 mm de espesor. Se probaron distintas formulaciones utilizando como material base tierra limo arcillosa de baja plasticidad según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) proveniente de la ciudad de Venado Tuerto, provincia de Santa Fe, Argentina. También se empleó arcilla comercial, arena fina, ceniza, bórax y esmalte alcalino en las mezclas. Luego se aplicó un tratamiento térmico superficial utilizando una resistencia eléctrica calefactora circular de 800 W, colocada en contacto con la superficie del revoque. Los tiempos de tratamiento fueron de 5 y 10 minutos, dejando probetas de cada formulación sin tratamiento como probetas de referencia. Todas estas probetas se sometieron a ensayo de abrasión y erosión hídrica. Los resultados mostraron que los revoques calentados 10 minutos sufrieron un desprendimiento desde la superficie del sustrato (adobe). Las mezclas que contenían alta proporción de tierra tuvieron una mejor resistencia a la erosión a mayor tiempo de tratamiento térmico. El ensayo de abrasión reveló resultados diferentes, ya que todas las mezclas sin tratamiento se comportaron mejor frente al desgaste, notando un leve decrecimiento de la resistencia con el aumento de tiempo de exposición a la fuente de calor. Esta primera etapa de exploración demostró la factibilidad de llevar a cabo la ceramización de la superficie del revoque.

El presente trabajo es una continuación de la investigación mencionada, donde se pretende profundizar en el análisis de las propiedades mecánicas de mezclas y diferentes temperaturas propuestas para llevar a cabo revestimientos sobre muros de tierra y su posterior estabilización con calor.

2 METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Se emplea como material base una tierra obtenida de manera comercial en la Ciudad de Córdoba, Argentina. Para la caracterización de la misma se utilizó el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) según la norma ASTM D2487 (2017), la tierra utilizada se clasifica como limo de baja plasticidad arenoso (ML). Se determinó la relación arcilla:limo:arena en 20:53:27 empleando el método del hidrómetro según la norma ASTM D7928 (2021).

Se utilizó arena fina normalizada del río Paraná, chamote fino y polvo de cuarzo como agregados. Se añadieron arcillas comerciales como aditivos: caolín y bentonita; y como fundentes se emplearon bórax y esmalte alcalino. Todos los componentes mencionados fueron adquiridos en una tienda de productos de alfarería. Con excepción del bórax que es de grado técnico.

2.2 Elaboración de probetas

En primer lugar, se prepararon ocho mezclas propuestas variando la materia prima y las dosificaciones volumétricas como se indica en la Tabla 1. Para la elaboración de probetas prismáticas de 4x4x16 cm. En primer lugar, se pasaron los materiales granulares, tierra y arena por el tamiz 4,75 mm para eliminar el contenido de grava (IRAM 1501-2, 2002). Seguidamente se colocaron en una mezcladora industrial estos materiales secos según dosificación, y se accionó durante 5 minutos hasta conseguir una homogeneidad aparente. Se agregó una pequeña cantidad de agua corriente con el fin de lograr una buena consistencia. En la Tabla 1 se presenta la cantidad total de agua añadida a cada mezcla. Luego, se mojó el molde de madera de 4x4x16 cm para facilitar el desmolde en estado húmedo y evitar la absorción de agua de la mezcla. Se lanzaron con fuerza porciones reducidas de la mezcla hidratada sobre el molde mejorando la cohesión a través del impacto; esto se repitió hasta completar el molde, se enrasó y se desmoldó la probeta. Se realizaron 24 probetas por mezcla presentada. El secado al aire se realizó en ambiente laboratorio durante 30 días (T= 20/22 °C, R.H.= 60/80 %).

Tabla 1. Composición en porcentaje en volumen de las mezclas analizadas.

Mezcla	Tierra	Arena	Aditivos		Agua
	%v/v	%v/v	Tipo	%v/v	%v/v
M1	40	60	-		16
M2	70	30	-		16
M3	36	60	bentonita	4	17
M4	40	59	crystal esmalte	1	12
M5	40	59	bórax	1	12
M6	70	24	cuarzo	6	17
M7	70	-	chamote fino	30	20
M8	70	24	caolín	6	15

2.3 Tratamiento térmico

Después del período de secado, se realizó el tratamiento térmico utilizando una mufla de laboratorio. En la cámara de la mufla, se colocaron cuatro probetas de cada mezcla por piso, según se ilustra en el esquema de la figura 1a. Una vez llena la cámara (figura b), se cerró y se llevó a cabo el primer tratamiento de secado para eliminar la humedad ambiente, elevando la temperatura hasta 110 °C dejándolas 240 minutos.

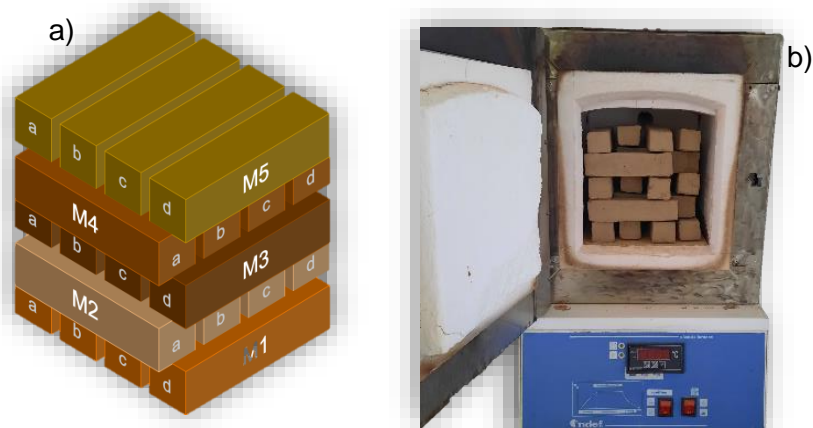


Figura 1. Tratamiento térmico de probetas: a) esquema de probetas dentro de la mufla; b) Mufla cargada con las probetas

Posteriormente, se incrementó hasta la temperatura del tratamiento a 400, 500, 600, 700 y 900 °C, con una rampa de 4 °C/min y un tiempo de mantenimiento a la temperatura final de 30 minutos. Adicionalmente, se dejó una muestra sin tratamiento denominada "patrón".

2.4 Propiedades físicas de las probetas

Los especímenes realizados se sometieron a ensayos de erosionabilidad hídrica (NZS 4298, 1998) y de abrasión (Red Protierra Argentina, 2020). Luego de estos ensayos, se cortaron las probetas en cubos de 4x4x4 cm para someterlos a compresión simple (IRAM 1622, 2006). A continuación, se detallan los procedimientos.

a) Ensayo a la erosión hídrica

Se llevó a cabo el ensayo de erosión por goteo bajo la norma NZS 4298 (1998). Consiste en colocar una tira de paño tipo valerina de 16 mm de ancho dentro de un recipiente con 100 mL de agua, respetando las distancias establecidas en la norma. El agua subirá por capilaridad y saldrá en forma de gota, el ensayo debe durar 20 a 60 minutos (Figura 2). En este caso, el objetivo no es conocer el índice de erosionabilidad hídrica como menciona la norma, sino una comparativa de las distintas mezclas propuestas, es por esto que terminado el ensayo se midió la profundidad del hoyo que dejó la gota.

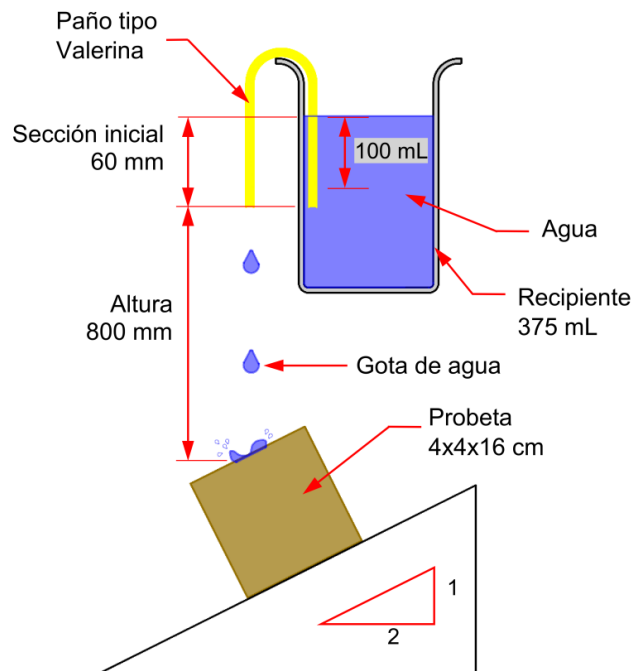


Figura 2. Detalles del ensayo de erosión por goteo

b) Ensayo de abrasión

Para realizar el ensayo de abrasión lineal se utilizó como referencia el protocolo de ensayo para la construcción con tierra emitido por la Red Protierra Argentina (Red Protierra Argentina, 2020). Sin embargo, existe una adaptación del mismo, ya que se utilizó un dispositivo fabricado en el laboratorio, este consiste en una base con movimiento lineal donde se apoya la probeta. Una punta abrasiva con un peso de 235 gramos permanece fija y perpendicular a la probeta, como se muestra en la Figura 3. Se realizan 300 pasadas a una velocidad de 40 pasadas/minuto para conocer el desgaste que sufren las probetas por este ensayo mecánico. Finalizado el ensayo, se recoge el material desprendido en un recipiente y se pesa. A su vez, se mide la profundidad del surco que dejó la punta abrasiva. Este ensayo se realizó comparativamente sin calcular el índice de abrasión como indica el protocolo de ensayo mencionado.

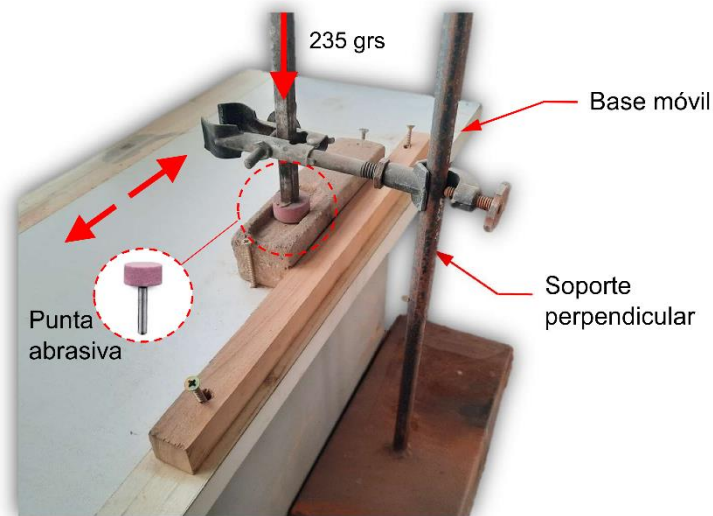


Figura 3. Croquis de ensayo de abrasión adaptado

c) Ensayo de compresión simple

Para la determinación de la resistencia a compresión, se utilizó una prensa automática para probetas de hormigón con una capacidad de carga de 1500 kN. Se colocó entre los platos de la prensa el dispositivo de compresión para probetas cúbicas de 4x4 cm. Se ensayó cada probeta hasta la rotura con una velocidad de 4 N/seg.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestran los valores promedios de los ensayos mencionados en el apartado anterior. También, se muestra en la gráfica de la **Erro! Fonte de referência não encontrada.** los valores del ensayo de abrasión para una mejor visualización.

Tabla 2. Valores promedio de los resultados de los ensayos

Mezcla	Ensayo	Condición de tratamiento térmico					
		Patrón	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	900 °C
M1	Erosión [mm]	- ^a	-	-	-	-	-
	Abrasión [%]	4,4 ± 0,3	4,4 ± 0,6	4,4 ± 0,5	4,3 ± 0,2	3,6 ± 0,4	3,8 ± 0,3
	Compresión [MPa]	2,3 ± 0,2	0,8 ± 0,1	1,0 ± 0,2	2,2 ± 1,4	3,1 ± 1,1	2 ± 0,6
M2	Erosión [mm]	-	-	-	-	-	-
	Abrasión [%]	1,5 ± 0,1	2,8 ± 0,3	1,9 ± 0,5	2,6 ± 0,5	2,4 ± 0,7	1,5 ± 0,1
	Compresión [MPa]	1,8 ± 0,2	1,7 ± 0,1	1,5 ± 0,3	2,8 ± 0,5	3,7 ± 1,5	6,7 ± 0,2
M3	Erosión [mm]	16 ± 1	9 ± 2	3 ± 1	-	-	-
	Abrasión [%]	2,1 ± 0,1	1,9 ± 0,6	1,6 ± 0,2	1,1 ± 0,4	1,4 ± 0,2	2,2 ± 0,2
	Compresión [MPa]	2,2 ± 0,4	2,6 ± 0,4	2,9 ± 0,3	2,5 ± 0,3	4,0 ± 0,5	3,4 ± 0,5
M4	Erosión [mm]	-	-	-	-	-	-
	Abrasión [%]	3,8 ± 0,2	4,5 ± 0,6	3,3 ± 0,2	4,3 ± 0,5	4,0 ± 0,4	3,7 ± 0,3
	Compresión [MPa]	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,2	1,1 ± 0,3	1,1 ± 0,3	1,3 ± 0,4	2,1 ± 0,3

M6	Erosión [mm]	-	-	-	-	-	-
	Abrasión [%]	1,5 ± 0,4	1,0 ± 0,4	1,3 ± 0,1	1,2 ± 0,3	1,2 ± 0,3	1,3 ± 0,1
	Compresión [MPa]	3,9 ± 0,8	3,2 ± 0,8	3,3 ± 0,3	2,4 ± 0,7	3,5 ± 0,5	4,2 ± 0,7
M7	Erosión [mm]	11 ± 4	-	-	-	-	-
	Abrasión [%]	1,3 ± 0,2	2,1 ± 0,3	1,8 ± 0,3	1,7 ± 0,5	2,0 ± 0,4	2,7 ± 0,6
	Compresión [MPa]	1,8 ± 0,1	2,1 ± 0,5	2,5 ± 0,4	2,2 ± 0,6	1,9 ± 0,1	1,8 ± 0,5
M8	Erosión [mm]	-	-	-	-	-	-
	Abrasión [%]	0,7 ± 0,2	0,6 ± 0,1	0,5 ± 0,2	2,1 ± 0,7	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,1
	Compresión [MPa]	2,8 ± 0,2	3,4 ± 0,3	4,2 ± 0,8	1,9 ± 0,7	5,3 ± 0,1	10,0 ± 1,6

^a Valor no detectable

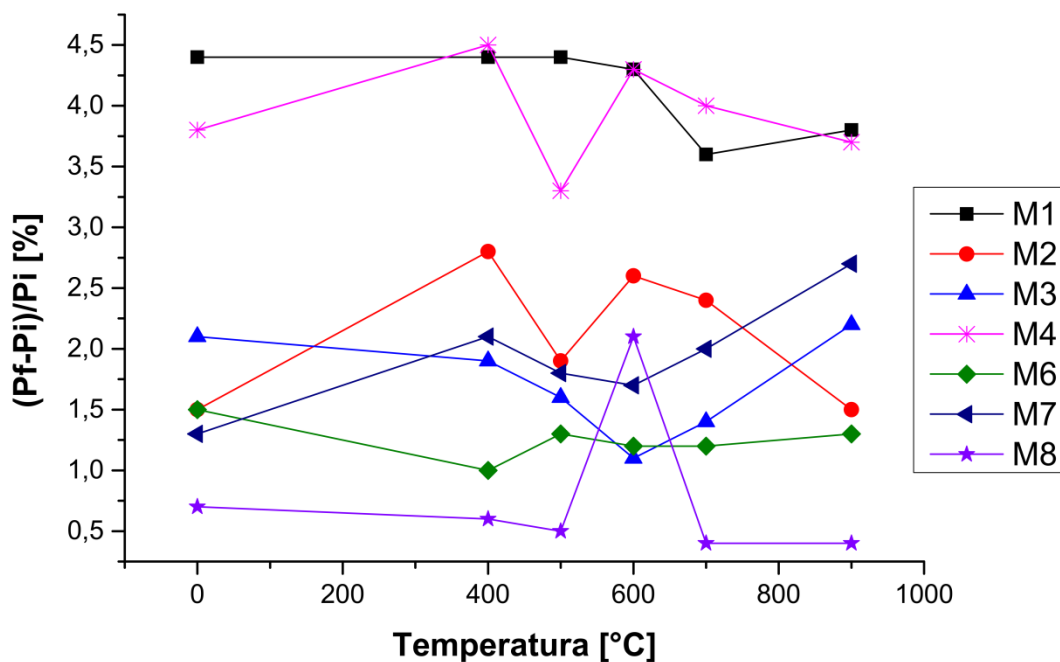


Figura 4. Pérdida de masa porcentual versus temperatura de tratamiento

Para medir los valores de la profundidad de la erosión de la gota de agua, se saca el reborde de material que pueda juntar y se mide con un calibre. En el caso de la abrasión los datos expresados en la tTabla 2 son un promedio del porcentaje de pérdida de peso, es el cociente entre el peso del material desprendido después del ensayo y el peso inicial de la probeta. Los valores de compresión corresponden a la rotura del material. Los valores tabulados representan un promedio de al menos 4 probetas de cada condición: tipo de mezcla y tiempo del tratamiento térmico. Es importante mencionar que no se obtuvieron resultados para la muestra M5 que contiene bórax como aditivo, ya que las probetas realizadas con este aditivo presentaban heterogeneidad en su cuerpo. El bórax se estratificó y formó una capa delgada en la parte superior de la probeta, por lo que se observó de manera cualitativa lo que resultó en una diferencia significativa en la resistencia entre la parte superior e inferior.

Los resultados obtenidos muestran un cambio significativo en las propiedades mecánicas de erosión hídrica y abrasión con el aumento en las temperaturas de tratamiento térmico. Sin embargo, todas las muestras evidencian una disminución en la resistencia a la abrasión entre 500 y 600 °C, como se observa en la Figura 4. Es necesario para el análisis de este comportamiento, estudios de los cambios de la microestructura mediante ensayos de

difracción de rayos X (DRX) en polvo y análisis termogravimétricos (TGA). La resistencia a compresión, en la mayoría de los casos, los valores más elevados se observan a los 700 y 900 °C. En M8, mezcla con caolín, si se compara la resistencia de la probeta sin tratamiento y la probeta tratada a 900 °C, se genera un aumento muy marcado, llegando a triplicar la resistencia. Lo mencionado ocurre sistemáticamente en las otras muestras, con aumentos menos pronunciado, con excepción de la mezcla M7. Este ensayo se realizó con el fin de una caracterización general de las mezclas, sin embargo, la compresión no es el esfuerzo predominante en un revoque.

En la Figura 5 se muestran probetas M7 luego de que se le realizaran los ensayos de erosión hídrica y abrasión, respectivamente. Se puede notar que hay un aumento de la resistencia a la gota de agua a partir de los 400 °C en el caso de la mezcla M3 y M7. También, se observa el surco que deja la punta abrasiva utilizada en el dispositivo de abrasión. Conjuntamente, queda en evidencia el cambio de color en las mezclas a medida que aumenta la temperatura de tratamiento térmico, tornándose de un color más rojizo, similar a una pieza de alfarería.

Se evidencian en general incrementos en la resistencia a abrasión desde un 3 % hasta un 50 % si se comparan los resultados de las probetas patrones (sin tratamiento) con las de 900 °C. Por otro lado, el ensayo a erosión no fue lo suficientemente exigente como para poder comparar valores entre distintas temperaturas o distintas mezclas. Ya que como se puede ver en la Tabla 2 los valores de la profundidad del hoyo causado por la gota fue 0 mm. Excepcionalmente, en la mezcla que posee bentonita (M3) existe un cambio en el comportamiento generando mejoras que se visualizan a partir de los 600 °C, y en M7 (chamote fino) la mejora es a partir de los 400 °C.

A continuación, se mencionan los resultados obtenidos del análisis de comportamiento global de las resistencias a abrasión y erosión hídrica de cada componente involucrado.

El polvo de cuarzo, junto con la arena y el chamote aportan propiedades beneficiosas durante el proceso de secado tal como la disminución de la contracción por secado. Sin embargo, sólo la incorporación de polvo de cuarzo genera un incremento de las resistencias mecánicas (M6). Las probetas con más contenido de arena o con chamote fino (M1 y M7 respectivamente) poseen un desempeño poco satisfactorio debido a que son muestras demasiado porosas que generando una distribución granulométrica heterogénea.

Entre los aditivos utilizados, el caolín (M8) aporta muy buenas propiedades en estado fresco (trabajabilidad) y en estado seco (resistencia mecánica). Esto último, se pone en evidencia en el aumento de las resistencias analizadas, mejorando a medida que aumenta también la temperatura de tratamiento. La bentonita (M3) aporta una buena trabajabilidad en la pasta húmeda, no obstante, como se menciona anteriormente, en el ensayo de erosión fue notable el desgaste para las probetas patrón (sin tratamiento) y los tratados a bajas temperaturas (400 y 500 °C).

El fundente utilizado, esmalte alcalino (M4), no evidenció ningún cambio sustancial en las mezclas considerando que las temperaturas de trabajo empleadas son bajas, lo que no permite que este fundente pueda reaccionar químicamente con la matriz. La temperatura de fusión de este material esta entre los 1020 y 1060 °C. En la Figura 4, se evidencia que la mezcla posee baja resistencia a la abrasión ya que la curva se muestra, junto con la mezcla M1, muy por encima de las otras. Esto significa que la pérdida de masa fue mayor

Finalmente, si analizamos las propiedades consideradas de manera general para las temperaturas de tratamiento empleadas, se puede decir que entre 500 y 600 °C, las transformaciones que tienen lugar generan una disminución de resistencia a abrasión, pero se mantiene la resistencia a la erosión hídrica.

Como análisis más general, al comparar los resultados de todas las muestras patrón con las de los extremos de temperaturas del tratamiento térmico 400 y 900 °C. Esto sugiere que el tratamiento térmico a baja temperatura es una opción viable para incrementar la durabilidad de las pastas analizadas frente a diversos agentes ambientales. Realizando el tratamiento a

400 °C se obtiene aumentos en las propiedades y al mismo tiempo un uso racional de la energía. Para llevar adelante el tratamiento térmico en obra, se diseñó un dispositivo térmico que permite la aplicación de calor in situ sobre un revoque de tierra (Gaggino et al., 2022).

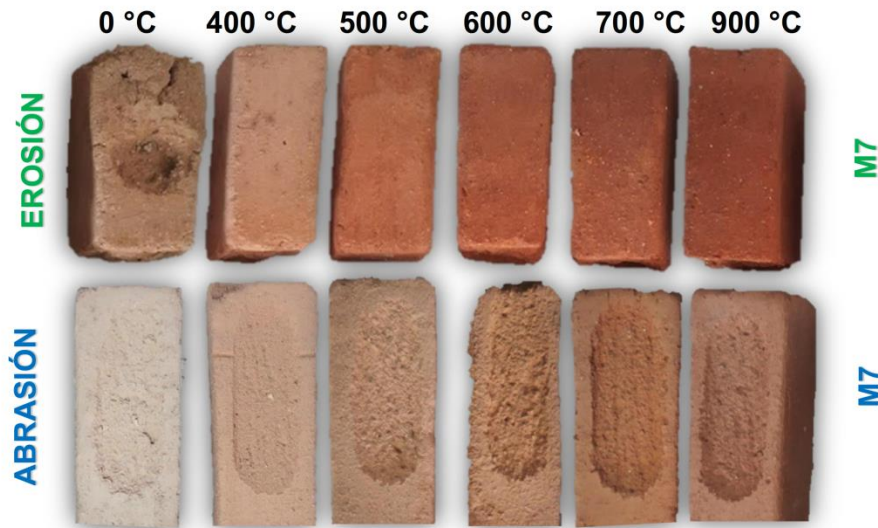


Figura 5. Patrón típico de las probetas luego del ensayo

4 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran una mejora en las propiedades mecánicas de las mezclas las M2, M6 y M8, como la erosión hídrica y la abrasión, en coincidencia con el aumento de las temperaturas de tratamiento térmico. Es posible estabilizar mezclas de tierra utilizando temperaturas bajas, lo que presenta una opción viable para mejorar la durabilidad de estas mezclas sin incurrir en altos costos energéticos utilizando temperaturas de 900°C. El ensayo de erosión puede ser ajustado para ser más exigente y obtener datos más significativos. Las mezclas que mostraban hoyos por la gota de agua en las probetas patrón, aumentaron su resistencia, logrando no ser dañadas por el agua luego del tratamiento térmico a partir de los 400 °C. Los incrementos en la resistencia a la abrasión variaron entre un 3% y un 50% al comparar los resultados de las probetas sin tratamiento térmico con aquellas tratadas a 900 °C. Se observó que todas las muestras evidencian una disminución en la resistencia a la abrasión entre 500 y 600 °C. Los aditivos como el caolín y el polvo de cuarzo mostraron el mejor comportamiento, lo que justifica continuar explorando su uso. Estos resultados son prometedores para trabajar con estas mezclas como revoques colocados en un sustrato de adobe y aplicar tratamientos térmicos adecuados puede incrementar significativamente la durabilidad y resistencia de los materiales frente a diversos agentes ambientales. Para futuras investigaciones, se analizará los costos energéticos implicados en la técnica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ASTM D2487-11 (2017). Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System). Astm International
- ASTM D7928-21e1 (2021). Standard test method for particle-size distribution (gradation) of fine-grained soils using the sedimentation (hydrometer) analysis. ASTM International
- Avrami, Erica; Guillaud, Hubert; Hardy, Mary (eds). (2008). Terra literature review an overview of research in earthen architecture conservation. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Gaggino, R., Kreiker, J. R., Mandrini, M. R., Peisino, L. E., Raggiotti, B. B., Rieppi, G. A., & Rolón, C.

G. (2022). Procedimiento para el tratamiento térmico in situ de un sustrato hecho de tierra y/o arcillas o un sustrato con un revestimiento hecho de tierra y/o arcillas, dispositivo termico y arreglo modular para llevarlo a cabo. <https://patents.google.com/patent/AR126247A1/es?q=AR126247A1>

Van Damme, Henri; Houben, Hugo (2018). Earth concrete. Stabilization revisited. *Cement and Concrete Research* 114:90–102. doi: 10.1016/j.cemconres.2017.02.035.

IRAM 1501-2 (2002). Tamices de ensayo. Tela de tejido metálico, chapa metálica perforada y lámina electroformada. Tamaños nominales de abertura. Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación

IRAM 1622 (2006). Cemento Pórtland. Determinación de resistencias mecánicas. Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación

Laborel-Préneron, A.; Aubert, J. E.; Magniont, C.; Tribout, C.; Bertron, A. (2016). Plant aggregates and fibers in earth construction materials: a review. *Construction and Building Materials* 111:719–34. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.119.

Minke, Gernot. 2013. Revoques de barro: mezclas, aplicaciones y tratamientos. Barcelona: I. Edición

NZS 4298 (1988) Materials and workmanship for earth buildings. New Zealand Standards

Programme (2019). Global Alliance for Buildings and Construction International Energy Agency and the United Nations Environment. 2019. Global Status Report for Building and Construction - Towards a Zero-Emissions, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector.

Red Protierra Argentina (2020). Protocolo de ensayos sobre elementos constructivos para la construcción con tierra. <https://redprotierra.com.ar/wp-content/uploads/2020/11/Protocolo-de-ensayos-sobre-elementos-constructivos-para-la-construcci%C3%B3n-con-tierra.pdf>

Rieppi Godoy, Araí S.; Peisino, Lucas Ernesto; Gaggino, Rosana; Rolón, Guillermo; Raggiotti, Bárbara Belén (2022). Estabilización de una mezcla a base de tierra por medio de tratamiento térmico. Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, 20. Memorias... Trinidad, Cuba: PROTERRA/Oficina del Conservador. p. 163–173

Santos, Tânia; Faria, Paulina; Silva, António Santos (2017). In situ evaluation of the behaviour of earth-based mortar renders with low additions of limes. *Conservar Património* (26):11–21. doi: 10.14568/cp2016022.

Torres Soria, Pablo; Cruz Flores, Sandra; Peña Peláez, Norma Cristina; Fernández Mendiola, Sara Eugenia; Rodríguez, Ibarra, Moisés Adrián; Cruz Becerri, Alfonso (2015). La baba y el mucílago de nopal, una alternativa natural para la conservación de acabados arquitectónicos de tierra. *Revista Antropología Interdisciplinaria del INAH* 92–114. <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/antropologia/article/view/8197>

AUTORES

Araí S. Rieppi Godoy, ingeniera civil, becaria doctoral de CONICET, estudiante del doctorado en ingeniería mención materiales en UTN-FRC, lugar de trabajo Centro Experimental de la Vivienda Económica CEVE-CONICET-AVE. Miembro de la red argentina PROTIERRA.

Lucas E. Peisino, doctor en ciencias químicas por la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Investigador adjunto de CONICET. Integrante del grupo de nuevos materiales del Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE) y la Asociación de Vivienda Económica. Miembro de la red argentina PROTIERRA.

Rosana Gaggino, doctora en ciencias del diseño (egresada de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Córdoba), magister en diseño arquitectónico y urbano (misma Facultad), arquitecta y urbanista (misma Facultad). Investigadora principal de CONICET. Directora del Centro Experimental de la Vivienda Económica CEVE-CONICET-AVE, su lugar de trabajo.

Guillermo Rolón, doctor por la Universidad de Buenos Aires con especialidad en arqueología, master en restauración y gestión integral del patrimonio construido, arquitecto. Investigador adjunto del CONICET e investigador adscripto del CRIATiC. Integrante del programa de extensión universitaria MHaPa (Mejoramiento del Hábitat participativo), miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA.