

Investigación

Tecnología para la Sustentabilidad

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DE LOS ADOBES PRODUCIDOS EN EL CENTRO ESTE DE LA PROVINCIA DE SANTA FE

PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF ADOBES PRODUCED IN THE EASTERN CENTER OF SANTA FE PROVINCE

*Santiago Cabrera, Santiago Noguera, Ariel González,
Grupo de Investigación y desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra, UTN-FRSF,
Santa Fe, Argentina.*

spcabrera@outlook.com

RESUMEN

En este trabajo se determinan, comparan y exponen las principales características físicas y mecánicas de 3 series de adobes producidos en ciudades costeras de la provincia de Santa Fe: Arroyo Leyes, Santa Rosa de Calchines y Monte Vera. Para ello, se realizaron ensayos dimensionales sobre las diferentes series de adobes y se determinó su resistencia media a compresión y erosión húmeda por caída de agua, realizándose luego un análisis estadístico de los resultados obtenidos, de manera tal de poder evaluar las diferencias y similitudes en las propiedades evaluadas de cada serie de adobes. Finalmente, se determinó que, desde el punto de vista estadístico, las dimensiones efectivas y resistencias a compresión y erosión húmeda de cada serie son diferentes; sin embargo, los adobes de las 3 series evaluadas son aptos para su empleo en la construcción de muros de carga protegidos de la intemperie por medio de revoques o aleros.

ABSTRACT

This article compares the main physical and mechanical characteristics of three series of adobes produced in coastal cities of the Santa Fe province: Arroyo Leyes, Santa Rosa de Calchines and Monte Vera. For this, dimensional tests were conducted on the different series of adobes and their average resistance to compression and wet erosion by falling water was determined, then a statistical analysis of the results obtained was performing to be able to evaluate the differences and similarities in the evaluated properties of each adobe's series. Finally, it was determined that, from the statistical point of view, the effective dimensions and resistance to compression and wet erosion of each series are different; however, the adobes from the three series evaluated are suitable for use in the construction of masonry walls protected from the weather, by plaster or eaves.

PALABRAS CLAVES: muro, tierra, compresión, erosión húmeda.

KEY WORDS: wall, ground, Compression, wet erosion.



Caracterización física y mecánica de los adobes producidos en el centro este de la provincia de Santa Fe

INTRODUCCIÓN

El adobe como tecnología constructiva

La arquitectura y construcción con tierra poseen una larga trayectoria en la historia de la humanidad y, a pesar de que sus primeros antecedentes se remontan a más de 9 mil años de antigüedad, en diversos contextos sigue estando tan vigente como en su origen, tal es así que se estima que más de un tercio de los habitantes del planeta viven en casas de tierra (Houben, 2006). La continuidad histórica de la arquitectura y construcción con tierra se debe en gran medida a la abundancia de su materia prima, la economía de sus procesos constructivos, sus cualidades bioclimáticas y a la armonía de su interrelación con el ambiente natural en que se desenvuelve (Neves et al y Borges Farías, 2011).

Existen numerosas técnicas y sistemas constructivos que emplean tierra como materia prima principal; pero entre ellas, el adobe juega un papel preponderante por ser uno de los sistemas constructivos de tierra más conocido, utilizado y difundido, siendo utilizado en América desde épocas precolombinas, manteniéndose su empleo luego de la llegada de los conquistadores, quienes también lo usaban en sus países de origen.

Este mampuesto de tierra prefabricado puede contener además paja u otro material que mejoren su estabilidad y evite la aparición de fisuras durante su proceso de secado. Se fabrica mediante el moldeo manual o mecanizado de una mezcla plástica de barro dentro de moldes (generalmente de madera) que se retiran de manera inmediata. Luego, se dejan secar a la intemperie durante varios días, protegidos del sol y la lluvia, hasta que pueda ser utilizado. Las dimensiones de los adobes presentan gran variabilidad según la zona en la cual son producidos, presentando sin embargo una relación lógica de lados y un volumen y peso final que les permite ser manipulados, sin romperse, por una sola persona, sin fatigarla.

Marco normativo

En Argentina actualmente no existe una reglamentación nacional referida a construcciones con tierra e incluso, la mayoría de las ordenanzas y códigos de edificación municipales no tienen en cuenta las técnicas de construcción con tierra o directamente, la prohíben. Las primeras acciones que buscan revertir la situación se limitan a la formulación y sanción de ordenanzas en distintos municipios para habilitar la construcción con tierra o declaraciones de interés provinciales que buscan resguardar el patrimonio construido. Estas acciones se inician en 2008, pero es a lo largo de la última década que surgen la casi totalidad de las normas jurídicas y/o técnicas actualmente vigentes (Dubos et al, 2020).

En el año 2020, la comisión de Normativas de la Red Argentina de Construcción con Tierra "Protierra" realizó un detallado informe sobre la situación normativa en el país, analizando 41 documentos entre normas jurídicas y técnicas vigentes de construcción con tierra en el territorio nacional. En dicho informe, se dieron a conocer los siguientes resultados: El 60% no contienen informaciones que pueda ser considerada como anexo técnico, el 30% cuentan con algún tipo de anexo con referencias prácticas más o menos detalladas respecto al uso de las técnicas que se autorizan y tan solo en el 10% de documentos consultados los anexos técnicos tienen un nivel de profundidad superior, considerando incluso elementos de normas técnicas internacionales (Red Protierra, 2020).

En este sentido, debe resaltarse el caso de la ciudad de Santa Fe, en la cual, en abril del 2022 entró en vigor el nuevo Código de Habitabilidad, el cual habilita la construcción con técnicas y



Caracterización física y mecánica de los adobes producidos en el centro este de la provincia de Santa Fe

materiales "no tradicionales", incluyéndose en esta categoría a las técnicas que emplean tierra como materia prima, entre ellas el adobe (Honorable Concejo Municipal de la Ciudad de Santa Fe, Ordenanza N.º 12783, 2022). De esta manera, los habitantes de la ciudad que deseen construir su vivienda empleando adobes u otros elementos constructivos de tierra, desde ahora pueden hacerlo sin la necesidad de excepciones otorgadas por el Consejo Deliberante, realizando trámites burocráticos "comunes".

Objetivos

Se espera que este nuevo marco normativo en la ciudad de Santa Fe impulse la utilización de elementos constructivos de tierra, entre ellos los adobes. Por ello, el objetivo principal de esta investigación es el de verificar que los adobes comercialmente disponibles en los alrededores de la ciudad de Santa Fe cumplan los requerimientos mínimos para ser utilizados en la construcción de viviendas seguras y duraderas, siendo los objetivos particulares los siguientes:

- Establecer las dimensiones nominales, y su respectiva variabilidad, de los adobes producidos en la región.
- Determinar la resistencia a compresión de estos adobes
- Evaluar su durabilidad ante la exposición prolongada al agua

METODOLOGÍA

Materiales

Para esta investigación se emplearon 3 series de adobes producidas cada una de ellas en diferentes comunas cercanas a la ciudad de Santa Fe. El número de adobes por serie, su procedencia y denominación se indican a continuación:

- 12 adobes producidos en Monte Vera, provincia de Santa Fe. Esta serie de adobes se identificó como "Monte Vera" en función de la localidad donde fueron producidos.
- 8 adobes producidos en Sauce Viejo, provincia de Santa Fe. Esta serie a su vez fue identificada como "Sauce Viejo".
- 12 adobes producidos en Santa Rosa de Calchines, provincia de Santa Fe. Esta serie de adobes se identificó como "Santa Rosa".

Finalmente, en la Figura 1 se exponen algunos adobes de cada serie.



Fig. 1: Series de adobes empleados en esta investigación. De izq. a der.: serie Monte Vera, serie Santa Rosa y serie Sauce Viejo. Fuente: Elaboración propia.

Caracterización física y mecánica de los adobes producidos en el centro este de la provincia de Santa Fe

Verificación de las dimensiones efectivas

Con intenciones de verificar la estabilidad dimensional de cada una de las series de adobes se realizó el ensayo de tolerancia dimensional estipulado por la norma brasilera ABNT-NBR 16814 (2021), para el cual se determinó el alto (H), ancho (L) y largo (C) de cada adobe (ver Figura 2), además de su alabeo. Luego se determinaron las dimensiones promedio de cada serie y se compararon con las dimensiones nominales para adobes propuestas por la norma brasilera ya mencionada y, por falta de normativa nacional pertinente, la norma argentina para ladrillos comunes, IRAM12566-1 (2005).

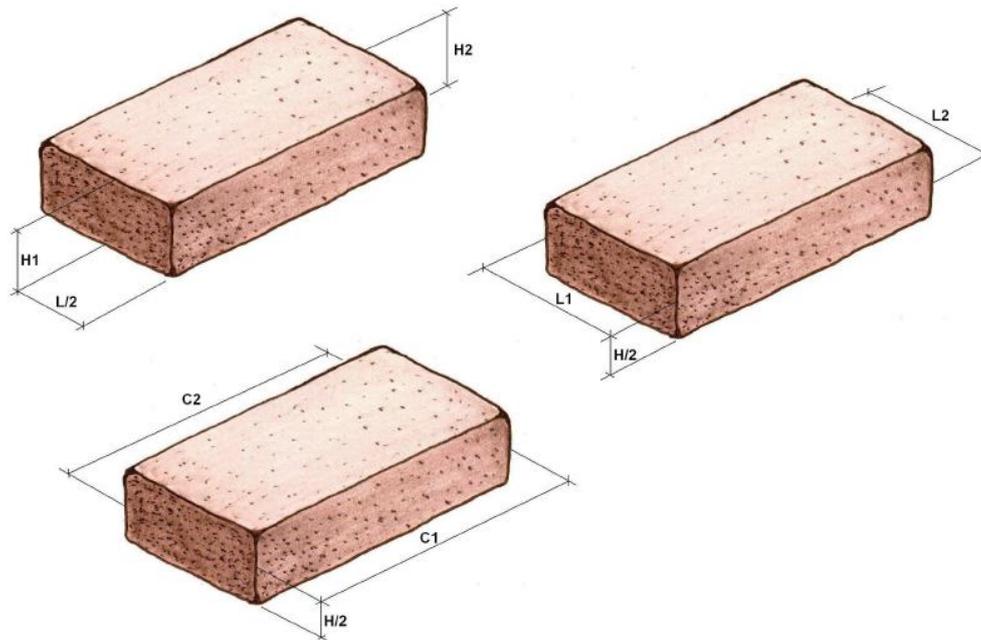


Fig. 2: Determinación del alto, ancho y largo efectivo de los adobes según norma ABNT-NBR 16814.
Fuente: Norma Brasileira ABNT-NBR 16814, 2021.

Resistencia a compresión simple

Preparación de las probetas

Para evaluar la resistencia media a compresión simple de cada serie, se escogieron de manera aleatoria 7 adobes por serie, los cuales se cortaron en 2 mitades con una sierra circular de banco, generando así 14 probetas (medios adobes) por cada serie, apartándose 10 mitades para la realización del ensayo de resistencia a compresión simple y 3 mitades para el ensayo de resistencia a la erosión húmeda por caída de agua.

Para lograr que las caras superiores e inferiores de cada probeta fueran planas y paralelas entre sí, permitiendo así una adecuada distribución de tensiones durante la aplicación de la carga, cada uno de los medios adobes destinado al ensayo de resistencia a compresión simple fue encabezado con un mortero constituido por una parte de arena, una parte de cemento Portland y una parte de yeso. En la Figura 3 se exponen las probetas de la serie Monte Vera ya encabezadas.

Caracterización física y mecánica de los adobes producidos en el centro este de la provincia de Santa Fe



Fig. 3: Medios adobes de la serie Monte Vera encabezados para la realización del ensayo de resistencia a compresión.
Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento de ensayo

Para evaluar la resistencia media a compresión de los adobes se realizó el ensayo estipulado por la norma ABNT-NBR 16814 (2021) sobre 10 probetas (medios adobes encabezados) de cada serie, aplicando carga a velocidad constante hasta alcanzar la rotura. Luego, dividiendo la carga de rotura de cada probeta por su área (ec. 1) se determinó la resistencia a compresión individual de cada probeta y, empleando las ecuaciones 2 y 3, la resistencia a compresión promedio y característica de cada serie.

$$(ec. 1) \quad \sigma_i = \frac{F_i}{A_i} \quad (ec. 2) \quad \sigma_{prom} = \frac{\sum \sigma_i}{10} \quad (ec. 3) \quad \sigma_k = \sigma_{prom} (1 - 1.4 \rho)$$

Siendo:

- σ_i = Resistencia a compresión individual de cada probeta (kgf/cm²)
- F_i = Carga máxima soportada por cada probeta (kgf)
- A_i = Área de cada probeta (cm²)
- σ_{prom} = Resistencia promedio a compresión de cada serie (kgf/cm²)
- σ_k = Resistencia característica a compresión de cada serie (kgf/cm²) para un nivel de confianza del 90%
- ρ = Coeficiente de dispersión relativa de la resistencia a compresión de cada serie de probetas.

Para la realización de este ensayo se empleó un gato hidráulico de 20 Tf y una celda de carga con 20 Tf de capacidad y 5 kilogramos (kgf) de apreciación. En la Figura 4 puede apreciarse la realización del ensayo de resistencia a compresión simple sobre una probeta de la serie Santa Rosa y su patrón de rotura luego de la prueba.

Caracterización física y mecánica de los adobes producidos en el centro este de la provincia de Santa Fe



Fig. 4: Ensayo de resistencia a compresión sobre una probeta de la serie Santa Rosa.
Fuente: Elaboración propia.

Análisis estadístico

Para evaluar los resultados obtenidos y determinar si la resistencia a compresión de cada serie resulta estadísticamente diferente entre sí, se realizó un análisis de varianzas ANOVA empleando el software MiniTab (M. LLC, 2017). Este análisis permite refutar, con un 95 % de significancia la siguiente hipótesis: “Las resistencias medias a compresión de cada serie son estadísticamente iguales entre sí”.

Como ANOVA únicamente posibilita determinar si las resistencias medias a compresión son estadísticamente diferente entre sí, pero no especifica cuáles son las series con resistencia similar, o cuales son las series de mayor y menor resistencia; se efectuó además un “Análisis de parejas de Tukey”, empleando también el software MiniTab, el cual posibilita identificar las series de probetas que presentan resistencias medias estadísticamente similares entre sí, y cuáles son las series con mayor y menor resistencia media a compresión asignándoles un factor de grupo; las series que no compartan el factor de grupo, son significativamente diferentes.

Resistencia a erosión húmeda

Para evaluar la resistencia al intemperismo de las diferentes series, se realizó sobre 3 medios adobes de cada una de ellas el ensayo de erosión húmeda por caída de agua, estipulado por la norma UNE-EN 41410 (2008), mediante el cual se expone cada probeta a un “chorro” de agua por un lapso de 10 minutos, evaluando luego la profundidad de la erosión generada sobre la cara expuesta. En la Figura 5 puede apreciarse la realización de este ensayo sobre una muestra de la serie Monte Vera.

Caracterización física y mecánica de los adobes producidos en el centro este de la provincia de Santa Fe



Fig. 5: Ensayo de Resistencia a Erosión Húmeda de la serie Monte Vera.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Estabilidad dimensional

En la Tabla 1 se presentan los resultados del ensayo de estabilidad dimensional realizado sobre cada una de las series de adobes.

Tabla 1: Dimensiones promedio de las diferentes series de adobes.

Serie	Alabeo (mm)	Alto (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)
Monte Vera	0,28	5,15	11,27	23,35
Santa Rosa	5,80	5,27	11,96	23,93
Sauce Viejo	2,50	5,59	11,44	24,57

Fuente: elaboración propia.

Resistencia a compresión simple

En la Tabla 2 se resumen los resultados del ensayo de resistencia a compresión simple de cada serie, presentándose la resistencia a compresión promedio (σ_{prom}), el coeficiente de dispersión (ρ), la resistencia característica correspondiente al 90% (σ_k) y el factor de grupo determinado por el análisis de varianza (ANOVA). Asimismo, en la Figura 6 se presentan de manera gráfica las resistencias medias a compresión de cada serie de adobes.

Caracterización física y mecánica de los adobes producidos en el centro este de la provincia de Santa Fe

Tabla 2: Resultados de los ensayos de resistencia a compresión simple de las diferentes series.

Serie	ρ (%)	σ_{prom} (Kg/cm ²)	σ_k (Kg/cm ²)	Factor de Grupo
Monte Vera	11,17	46,65	39,35	A
Santa Rosa	17,84	20,99	15,48	C
Sauce Viejo	9,04	30,34	26,52	B

Fuente: elaboración propia

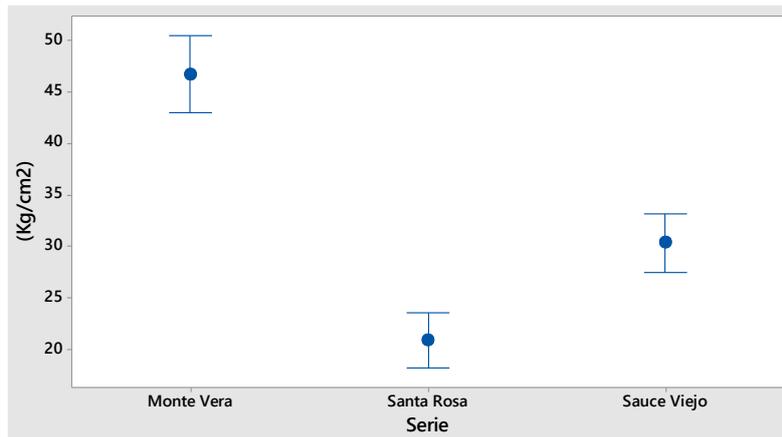


Fig. 6: Gráfico de intervalos de la resistencia media a compresión de cada serie de adobes.

Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a Erosión Húmeda

En la Tabla 3 se presentan los resultados del ensayo de resistencia a erosión húmeda por caída de agua realizados sobre cada serie de adobes. En ella se muestra una imagen de las probetas luego de la realización del ensayo y la profundidad media de erosión ocurrida sobre cada serie.

Analizando los resultados de la Tabla 3 puede inferirse que todas las series de adobes se degradan por efecto del agua, siendo los de la serie Sauce Viejo los más afectados, y los de la serie Monte vera la menos perjudicada.

Tabla 3: Resultados del ensayo de resistencia a la erosión por caída de agua sobre las diferentes series.

Serie	Sauce Viejo	Santa Rosa	Monte Vera
Vista superior			
Prof. de erosión media (mm)	33	11	3,5

Fuente: elaboración propia.

Caracterización física y mecánica de los adobes producidos en el centro este de la provincia de Santa Fe

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Desde el punto de vista dimensional, los adobes de la serie Sauce Viejo presentan la mayor altura y longitud de las series analizadas, mientras que su ancho es estadísticamente similar al del resto de las series evaluadas. Además, el largo y ancho de las 3 series en estudio cumplen con los requerimientos de la norma IRAM 12566-1 para ladrillos comunes. En lo que respecta a la altura, únicamente las series Santa Rosa y Sauce Viejo cumplen lo estipulado por esta norma (H mayor a 5,5 cm), mientras que los de la serie Monte Vera poseen una altura inferior. En este sentido, debe remarcar que ninguna de las series cumple con las relaciones de lado establecidas por la norma de adobes brasilera, según la cual la altura H debe ser mayor 7 cm. Finalmente se advierte que los adobes de la serie Santa Rosa son los que mayor alabeo presentan, superior al estipulado por la norma IRAM 12566-1, lo cual puede repercutir de manera negativa en su colocación durante la construcción, generando una mala distribución de tensiones una vez construido el muro.

Los resultados del ensayo de resistencia a compresión confirman que, desde el punto de vista estadístico, las resistencias medias a compresión de cada serie de adobes son diferentes entre sí, siendo los de la serie Monte Vera los de mayor resistencia, seguidos por los adobes de la serie Sauce Viejo y, finalmente, los de la serie Santa Rosa. Sin embargo, la resistencia a compresión de todas las series es superior a la requerida tanto por el protocolo de ensayos publicado por la Red Protierra Argentina (donde se establece una resistencia característica a compresión igual o mayor a 12 kg/cm^2) y por normativa brasilera para este tipo de elementos, donde se establece que la resistencia individual de cada adobe debe ser igual o mayor a 15 kg/cm^2 . Sin embargo, es de remarcar que la resistencia característica a compresión de la serie Monte Vera es muy cercana a la estipulada por la norma IRAM 12566-1 para ladrillos cerámicos macizos, de 40 kg/cm^2 .

Finalmente, analizando la erosión ocurrida sobre las series de adobes expuestas al ensayo de caída de agua puede concluirse que ninguno de estos elementos es apto para la construcción de muros exteriores desprotegidos de la intemperie, siendo los adobes de la serie Sauce Viejo los que peor comportamiento tienen frente a estas condiciones. Por este motivo se recomienda la utilización de revoques exteriores o galerías perimetrales que protejan los muros de adobe de los efectos adversos del agua.

CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio permiten afirmar que los adobes de la serie Monte Vera presentan una elevada estabilidad dimensional, bajo alabeo, y una elevada resistencia a compresión, similar a la solicitada a los ladrillos cerámicos macizos. La serie Sauce Viejo la continúa en lo que respecta a resistencia a compresión y bajo alabeo, presentando de todos modos la menor resistencia a erosión húmeda de las 3 series. Finalmente, los adobes de la serie Santa Rosa son los de menor resistencia a compresión y mayor alabeo.

Independientemente de las diferencias en las propiedades físicas y mecánicas de las series evaluadas, puede concluirse que todas ellas son aptas para su utilización en la construcción de muros portantes protegidos de la intemperie en la ciudad de Santa Fe y sus alrededores, siendo, sin embargo, los de la serie Monte Vera los que presentan un mejor desempeño.



Caracterización física y mecánica de los adobes producidos en el centro este de la provincia de Santa Fe

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dubos, A. et al. (2020). *Relevamiento y análisis de normas jurídicas y técnicas referidas a la construcción con tierra vigentes en la República Argentina*

Houben, H.; Guillaud, H. (2006). *Traité de construction en terre, Edición Pa, Craterre - Parentèses,*

Neves, C.; Borges Farias, O. (2011). *Técnicas de Construcción con Tierra*. Bauru: FEB-UNESP / PROTERRA.

IRAM (2004). IRAM12586-1. *Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de tabiques y muros. Método de ensayo de resistencia a la compresión*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, Argentina.

IRAM (2005). Norma IRAM 12566-1: *Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de tabiques y muros. Parte 1: Macizos*.

AENOR (2008). Norma UNE-EN 41410. *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo*. Asociación Española de Normalización, Madrid, España.

ABNT (2021). Norma NBR 16814. *Adobe. Requisitos y métodos de ensayo*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. San Pablo, Brasil.

Ordenanza N°12783 (2022). Honorable Consejo Municipal de la Ciudad de Santa Fe de la Vera Cruz. *Código de Habitabilidad de la ciudad de Santa Fe de la Ver Cruz*.

Red Protierra Argentina. (2020). *Relevamiento y análisis de normas jurídicas y técnicas referidas a la construcción con tierra vigentes en la República Argentina*.

Red Protierra Argentina. (2020). *Protocolo de ensayos sobre elementos constructivos para la construcción con tierra*. Disponible en: <http://redprotierra.com.ar/2020/10/28/protocolos-de-ensayo-para-la-construccion-con-tierra/>

M. LLC, Minitab Statical Software, (2017).