

# Resistencia a compresión de nuevos mampuestos sustentables

## Compressive strength of new sustainable bricks

Presentación: 13 y 14 de septiembre de 2023

### **Sebastián Panella**

Ceredetec – Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza  
spanella@frm.utn.edu.ar

### **Nery Pizarro**

Ceredetec – Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza  
nery@frm.utn.edu.ar

### **Miguel Tornello**

Ceredetec – Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza  
miguel.tornello@docentes.frm.utn.edu.ar

### **Nelson Agüera**

Ceredetec – Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza  
naguera@frm.utn.edu.ar

### **Resumen**

El gran Mendoza se considera zona de elevado riesgo sísmico y es común que las construcciones de baja altura utilicen mampostería de ladrillos macizos fabricados artesanalmente en zonas cultivables y cocinándolos con grandes cantidades de leña. Esto afecta fuertemente al cambio climático y geográfico de las zonas de producción contribuyendo a la deforestación. Existen fábricas de elaboración de mampuestos con la finalidad de que posean características sustentables utilizando elementos reciclados, sin embargo, son pocos los mampuestos que cumplen con las normativas estructurales vigentes. En el presente trabajo se plantean dos opciones de mampuestos sustentables y se evalúan una de las características más importantes como es la resistencia a compresión. La relocalización de su fabricación en zonas no cultivables mejora las prestaciones de vida de las poblaciones cercanas. Se presenta un avance de los resultados experimentales para las opciones de mampuestos sustentables.

**Palabras clave:** mampuestos, sustentable, resistencia, construcciones.

### **Abstract**

Greater Mendoza is considered an area of high seismic risk and it is common for low-rise buildings to use solid brick masonry made by hand in arable areas and cooking them with large amounts of firewood. This strongly affects climate and geographic change in production areas, contributing to deforestation. There are bricks manufacturing factories with the purpose of having sustainable characteristics using recycled elements, however, there are few bricks that comply with current structural regulations. In the present work, two options for sustainable bricks are proposed and one of the most important characteristics is evaluated, such as compressive strength. The relocation of its manufacture in non-cultivable areas improves the life benefits of nearby populations. A progress of the experimental results for sustainable bricks options is presented.

**Keywords:** bricks, sustainable, strength, constructions.

## Introducción

Mendoza es la provincia con mayor densidad de población de la región Centro Oeste de Argentina. La Ciudad Capital y los Departamentos que la circundan, en su totalidad o parte de ellos, están ubicados en el centro Norte de la provincia, zona catalogada por las reglamentaciones como de elevado riesgo sísmico. Es muy común en esta región que las construcciones sean de baja altura y por tanto se utiliza ampliamente la mampostería, generalmente de ladrillos cerámicos macizos elaborados artesanalmente, fabricados en zonas cultivables y cocidos por combustión de madera. Lo expresado afecta fuertemente al cambio climático y geográfico de las zonas de producción. Debido a esto definimos que un desarrollo es sostenible cuando satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las generaciones futuras con un uso racional de los recursos naturales. Teniendo en cuenta este concepto, la industria de la construcción debe replantearse varios temas para adaptarse a la sostenibilidad, un ejemplo sería comenzar a reutilizar los materiales que emplea en sus obras y utilizar materiales que cumplan con aquella condición ya que dicha industria utiliza muchos recursos no renovables. Existe una gran variedad de investigaciones (Ortiz-Castellanos, 2020), (Magenes, 1992), (Méndez et al, 2022), (Toledo et al, 2009) como también fábricas de elaboración de mampuestos con la finalidad de que posean características sostenibles y ecológicas. Se elaboran ladrillos con distintos elementos reciclados o bien con agregados para mejorar su prestación, sin embargo, son muy pocos los ladrillos elaborados que han cumplido con las normativas vigentes y simplemente verifican las condiciones de habitabilidad. Este proyecto de investigación tiene objetivos amplios tales como: diseñar y construir un mampuesto que cumpla con las condiciones de sostenibilidad, ecología, normativas de habitabilidad vigentes para la zona del Gran Mendoza y que posea una resistencia mecánica adecuada para ser considerado portante según el reglamento vigente (INPRES CIRSOC 103-III, 2018), de tal manera que puedan utilizarse en la construcción de muros sismorresistente. Un segundo objetivo es disminuir el impacto ambiental en contraposición a la fabricación de los ladrillos y ladrillones comunes actuales. En el presente trabajo se presenta un avance de los objetivos generales relacionados con la selección de los materiales a utilizar en el mampuesto, las características geométricas de los mismos, el diseño de las dosificaciones y un avance de los resultados experimentales referidos a la resistencia a compresión de los mampuestos seleccionados. El objetivo final del trabajo es calibrar un mampuesto sustentable para poder ser utilizado en muros portantes requeridos a fuerzas verticales y horizontales.

## Desarrollo

En Mendoza existen varios emprendedores que se dedican a fabricar nuevos mampuestos, procurando generar bajo impacto en el medio ambiente, desterrando la técnica de cocción de mampuesto utilizando grandes cantidades de madera. Uno de estos mampuestos alternativos son los denominados Ladrillos Huecos No Convencionales (LHNC), en donde las características principales que posee este mampuesto en su fabricación es la utilización de arena, arcilla, cal, cemento y agua en dosificaciones definidas. Se puede observar en la Figura 1 los mampuestos LHNC.



Figura 1. Mampuestos LHNC

Estos mampuestos poseen dimensiones generales de 250mm x 125mm x 65mm y poseen un peso promedio de 2500 gramos. Luego de su fabricación son curados en dos fases, la primera fase con aporte de humedad y restricción del aire ambiente, la segunda fase sin aporte de humedad y sin restricción del aire ambiente.

En laboratorio de ensayos experimentales los mampuestos fueron sometidos a ensayos de resistencia a compresión (Golondrino et al, 2008).

De forma paralela fue fabricado un nuevo prototipo de mampuesto sustentable denominado Ladrillo Macizo Sustentable (LMS), en donde su característica principal fue la utilización de materiales reciclados provenientes de las botellas de plásticos PET (Plástico Polietileno Tereftalato). Los materiales que se conjugaron con el PET reciclado fueron la arena, el cemento y el agua en dosificaciones controladas. En la Figura 2 se observa el mampuesto logrado luego de su fabricación.



Figura 2. Mampuesto LMS

Los mampuestos LMS tienen dimensiones generales de 260mm x 130mm x 52mm y poseen un peso promedio de 2990 gramos. Luego de su fabricación son curados en dos fases, la primera fase dura 2 días y es con restricción al aire ambiente, la segunda fase dura 28 días y quedan sumergidos en agua.

En el laboratorio de ensayos experimentales del Departamento de Ingeniería Civil de la UTN-FRM los mampuestos fueron sometidos a ensayos de resistencia a compresión.

En la Tabla 1 y Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos del ensayo a compresión de los mampuestos LHNC. El plan de ensayos a compresión se dividió en dos etapas, la etapa 1 contempló ensayos a compresión con placas metálicas que no aportan confinamiento al mampuesto y la etapa 2 se utilizaron placas que generan confinamiento.

Identificación	Dimensiones			Carga Rotura (KN)	Tensión (MPa)	Observaciones
	Largo (mm)	ancho (mm)	Espesor (mm)			
H11	250	125	65	323	10.34	Cabezales Metálicos sin confinado
H12	250	125	65	384	12.29	Cabezales Metálicos sin confinado
H13	250	125	65	348	11.14	Cabezales Metálicos sin confinado
H14	250	125	65	334	10.69	Cabezales Metálicos sin confinado
H15	250	125	65	319	10.21	Cabezales Metálicos sin confinado
H16	250	125	65	415	13.28	Cabezales Metálicos sin confinado
H17	250	125	65	383	12.26	Cabezales Metálicos sin confinado
H18	250	125	65	411	13.15	Cabezales Metálicos sin confinado
H19	250	125	65	352	11.26	Cabezales Metálicos sin confinado
H20	250	125	65	361	11.55	Cabezales Metálicos sin confinado

Tabla 1. Resultados del ensayo a compresión en mampuestos LHNC sin confinamiento (LHNC\_sc).

Identificación	Dimensiones			Carga Rotura (KN)	Tensión (MPa)	Observaciones
	Largo (mm)	ancho (mm)	Espesor (mm)			
H1	250	125	65	504	16.13	Cabezales Metálicos confinados
H2	250	125	65	527	16.86	Cabezales Metálicos confinados
H3	250	125	65	500	16.00	Cabezales Metálicos confinados
H4	250	125	65	489	15.65	Cabezales Metálicos confinados
H5	250	125	65	499	15.97	Cabezales Metálicos confinados
H6	250	125	65	531	16.99	Cabezales Metálicos confinados
H7	250	125	65	454	14.53	Cabezales Metálicos confinados
H8	250	125	65	461	14.75	Cabezales Metálicos confinados
H9	250	125	65	590	18.88	Cabezales Metálicos confinados
H10	250	125	65	591	18.91	Cabezales Metálicos confinados

Tabla 2. Resultados del ensayo a compresión en mampuestos LHNC con confinamiento (LHNC\_cc).

Si se comparan los resultados obtenidos en la Tabla 1 y Tabla 2 se observa cuantitativamente el incremento de la carga de rotura para los mampuestos con cabezales metálicos confinados. Los resultados obtenidos para ambos escenarios son satisfactorios en términos reglamentarios según lo indica el Reglamento INPRES CIRSOC 103-III.

En Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos del ensayo a compresión sobre los mampuestos LMS. En estos ensayos los mampuestos LMS fueron encabezados con una placa superior e inferior compuesta por un mortero de azufre, grafito y arena sílicea fina.

Identificación	Dimensiones			Carga Rotura (KN)	Tensión (MPa)	Observaciones
	Largo (mm)	ancho (mm)	Espesor (mm)			
1	260	130	52	228	6.75	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
75	260	130	52	257	7.60	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
114	260	130	52	218	6.45	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
124	260	130	52	217	6.42	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
129	260	130	52	205	6.07	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
162	260	130	52	182	5.38	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
175	260	130	52	232	6.86	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
193	260	130	52	237	7.01	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
210	260	130	52	160	4.73	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
228	260	130	52	250	7.40	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
247	260	130	52	180	5.33	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
263	260	130	52	177	5.24	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
282	260	130	52	170	5.03	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
300	260	130	52	160	4.73	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
314	260	130	52	215	6.36	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
351	260	130	52	250	7.40	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
358	260	130	52	195	5.77	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
363	260	130	52	200	5.92	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
377	260	130	52	220	6.51	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea
380	260	130	52	215	6.36	Cabezales de azufre, grafito y arena sílicea

Tabla 3. Resultados del ensayo a compresión en mampuestos LMS.

Los resultados obtenidos en la Tabla 3 indican que en promedio los mampuestos LMS poseen una resistencia a compresión inferior a los mampuestos LHNC. Sin embargo, los mampuestos LMS alcanzan el valor mínimo de resistencia a compresión estipulado en el Reglamento INPRES CIRSOC 1003-III.

La resistencia característica a compresión de ladrillos cerámicos macizos y para bloques huecos cerámicos y de hormigón está definido en la ecuación 1 y ecuación 2 que establece el Reglamento INPRES CIRSOC 1003-III.

$$f'_u = f_{um}(1 - 1,3\delta_m) \quad (\text{ec. 1})$$

Donde:

$f'_u$  = resistencia característica a compresión de ladrillos, en MPa.

$f_{um}$  = promedio de los valores de las resistencias determinadas mediante los ensayos correspondientes, en MPa.

$\delta_m$  = coeficiente de variación.

$$\delta_m = \frac{\sqrt{\frac{\sum(f_i - f_{um})^2}{n-1}}}{f_{um}} < 0.25 \quad (\text{ec. 2})$$

Donde:

$f_i$  = resistencia individual de cada espécimen ensayado, en MPa.

$n$  = número de especímenes ensayados.

En la Tabla 4 se resumen los resultados obtenidos de resistencia característica a compresión para los mampuestos analizados y se los compara con la resistencia característica a compresión mínima establecida en el Reglamento INPRES CIRSOC 1003-III (INPRES CIRSOC 103-III, 2018).

Identificación	Ensayo Experimental	INPRES CIRSOC 1003-III (valor mínimo)
	$f'_u$ MPa	$f'_u$ MPa
LHNC_sc	9.80	5.50
LHNC_cc	13.90	5.50
LMS	5.02	5.00

Tabla 4. Resumen de resultados de la resistencia característica a compresión. INPRES CIRSOC 103-III

En la Tabla 4 se observa que tanto los mampuestos LHNC y LMS cumplen con la resistencia característica mínima especificada en el Reglamento INPRES CIRSOC 103-III correspondiente a 5.50 MPa y 5.00 MPa respectivamente. Los mampuestos LHNC superan ampliamente la resistencia característica a compresión respecto a los mampuestos LMS.

## Conclusiones

La utilización de materiales reciclados para la fabricación de mampuestos utilizados en las construcciones civiles impacta positivamente sobre el medio ambiente, reutilizando las botellas de plásticos PET (Plástico Polietileno Tereftalato) por medio de un proceso de molienda.

La fabricación de mampuestos que evita el uso de grandes cantidades de madera para su cocción mejora la calidad de vida de las poblaciones cercanas a las industrias.

Es posible la industrialización de mampuestos sustentables y que pueden ser calificados como mampuestos admitidos para mampostería portante según los reglamentos vigentes.

Los mampuestos huecos LHNC poseen una resistencia característica a compresión 95% superior a los mampuestos macizos LMS. Esto propone un replanteo hacia el futuro de manera tal de reducir la cantidad de cemento utilizado en la fabricación de los mampuestos LHNC, debido a que la resistencia característica a compresión se encuentra en un 78% superior a la establecida como umbral mínimo de resistencia en el Reglamento INPRES CIRSOC 103-III.

## Referencias

Golondrino, J. C., Campos, D. F., Rojas, J. A., & López, J. J. (2008). "Ensayos a compresión y tensión diagonal sobre muretes hechos a base de papel periódico reciclado y engrudo de almidón de yuca", *Revista Ingeniería de Construcción*, 23, 145-154.

INPRES-CIRSOC 103-III (2018). "Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes. Construcciones de Mampostería", *INPRES-CIRSOC*.

Magenes G. (1992). "Seismic behavior of brick masonry: strength and failure mechanisms", Thesis (PhD Engineering), Department of Structural Mechanics, University of Pavia.

Méndez, F., Nuñez, M., & Gallelli, A. (2022). "Identificación de Mampuestos Sustentables, Ecológicos y Portantes para la Construcción de Muros Resistentes a la Acción Sísmica", Tesis (Grado de Ingeniería Civil), Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza, Mendoza.

Ortiz-Castellanos, E. (2020). "Análisis Comparativo del Desempeño de los Ladrillos Tradicionales frente a Ladrillos PET", *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 11, 54-64.

Toledo, M. W., Ceballos, A., Serapio, L., & Rougier, V. (2009). "Mampostería Reforzada con Materiales Compuestos", *Revista Tecnología y Ciencia*, 67-75.

## Agradecimientos

Un especial agradecimiento a los alumnos de Ingeniería Civil Tania Quenaya y Ariel Quintero por el trabajo realizado en la producción de los mampuestos LMS.

Agradecimiento al Centro de Investigación CeReDeTeC de la Universidad Tecnológica Nacional.

Agradecimiento al Laboratorio de Ensayos de Materiales del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza.