

# Resistencia a la compresión de mampuestos de tierra en Argentina: verificación según normativas vigentes.

## Compressive strength of earth masonry in Argentina: verification according to current regulations.

Presentación: 1/10/2023

### Sabrina Caffaratti

Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Santa Fe (FRSF) (Argentina)  
sabinamcaffaratti@gmail.com

### Lara Auday Cruz

Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Santa Fe (FRSF) (Argentina)  
laudacruz@frsf.utn.edu.ar

### Resumen

La construcción con tierra es un método tradicional y accesible, que se mantiene constante en el tiempo por su versatilidad y durabilidad. Actualmente existe una gran variedad de técnicas, como la quincha, el adobe, los bloques de tierra comprimida (BTC) y la tapia, entre otras. El objetivo de este trabajo es evaluar la resistencia a la compresión de dos de estas técnicas: adobe y BTC. Para realizarlo, fueron recopilados, filtrados y procesados datos correspondientes a ensayos de resistencia a la compresión realizados por el Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra (UTN FRSF), en el período 2019-2023, de muestras producidas en diversos puntos del país, incluyendo las provincias de Río Negro, Entre Ríos, Córdoba y Santa Fe. Los resultados obtenidos fueron comparados con normativas internacionales; demostrando que la mayoría de muestras de BTC y todas las muestras de adobe superan la resistencia por las normas correspondientes.

**Palabras clave:** BTC, adobe, resistencia, normativa.

### Abstract

Earth construction is a traditional and accessible method, that remains constant in time for its versatility and durability. Nowadays, there is a great variety of techniques, as wattle and daub, adobe, compressed earth blocks (CEB) and rammed earth, among others. The objective of this work is to evaluate the compressive endurance of two of said techniques: adobe and CEB. To do so, data corresponding to compressive endurance tests made by the Group of Investigation and Development in Earth Construction Technics (UTN FRSF) in the 2019-2023 period, of samples brought from different parts of the country, including Río Negro, Entre Ríos, Córdoba and Santa Fe provinces, was compiled, filtered and processed. The obtained results were compared with international regulations; proving that most of the BTC samples and all of the adobe samples surpass the strength required by the corresponding regulations.

**Keywords:** CEB, adobe, endurance, regulation.

## Introducción

La construcción con tierra es una técnica tradicional, económicamente accesible y con amplia versatilidad, que da lugar a la ejecución de numerosa cantidad de técnicas y sistemas constructivos; como son la tapia, quinchá, adobe y bloques de tierra comprimidos (BTC). Su uso como material de construcción tiene origen desde las primeras edades de la humanidad; donde las personas construían sus hogares y edificios emblemáticos con los recursos naturales disponibles. Actualmente, muchas de estas obras siguen en pie gracias a una correcta conservación y mantenimiento, permitiendo apreciar la utilidad dada al material (Cabrera S., 2022).

Este trabajo se centra en el estudio de dos técnicas en particular: el adobe y el BTC. El primero consiste en un mampuesto fabricado a través de moldeo (manual o mecanizado) de una mezcla de tierra en consistencia plástica. Suele realizarse dentro de moldes de madera, que son retirados inmediatamente para dar lugar a un proceso de secado a la intemperie durante varios días, protegidos del sol directo y la lluvia, hasta que se encuentran en condiciones de ser utilizados. Durante su confección, es posible añadir paja u otro material que mejore su estabilidad y evite la aparición de fisuras durante el secado (Saiquita et al, 2019; Neves et al, 2011).

La segunda técnica considerada para el presente trabajo, los bloques de tierra comprimida o BTC, consisten en mampuestos confeccionados a través de la compresión de una mezcla de tierra de consistencia semisólida, habitualmente estabilizada con cemento o cal. Es realizado con el uso de prensas diseñadas para tal fin, que presentan diferentes niveles de automatización dependiendo del tipo de producción requerido. El uso de estas prensas permite una gran variedad de matrices para la fabricación de los bloques, dando como resultado bloques de numerosas formas distintas, adaptables a la condición requerida en obra, como por ejemplo encastrables, huecos o macizos (Cabrera et al, 2020).

Una de las características más evaluadas en estos mampuestos es la capacidad portante. Para determinarla, debe realizarse el ensayo de resistencia a la compresión, el cual se encuentra normalizado por diversos entes internacionales, permitiendo evaluar si el elemento cumple con los requisitos mínimos exigibles según normativas vigentes y si el mismo puede catalogarse como elemento de cerramiento o portante, en función de la resistencia obtenida.

## Objetivo

El objetivo de este trabajo es determinar si los mampuestos fabricados con las técnicas mencionadas, y ensayados por el Grupo de Investigación y Desarrollo de Técnicas de Construcción con Tierra (UTN FRSF), cumplen con la mínima resistencia a compresión requerida para muros de cerramiento fijada por diversas reglamentaciones nacionales e internacionales que se encuentran en vigencia.

## Metodología

Para llevar a cabo el trabajo, se adoptó una metodología de investigación enfocada en el procesamiento de datos existentes. En primer lugar, fueron recopilados los resultados de ensayos de resistencia a compresión correspondientes a adobes y BTC realizados durante el período 2019-2023, tanto en el marco de servicios a terceros como en trabajos de investigación.

Las muestras estudiadas y ensayadas fueron producidas en distintos puntos del país, incluyendo localidades de las provincias de Río Negro, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe. En algunos casos, se recibieron mampuestos para ensayo directo; mientras que en otras instancias la muestra recibida consistió sólo del material a ensayar (tierra de la localidad correspondiente) y el moldeo de los adobes y BTC fue realizado en las instalaciones de la Facultad.

Desde el punto de vista del ensayo de resistencia a compresión, debido a que no existen normativas nacionales que regulen el procedimiento de ensayo de mampuestos de tierra, el mismo fue realizado siguiendo lo indicado por normativa española UNE 41410 (2008) para bloques de tierra comprimida.

En sintonía con el objetivo del presente trabajo, que busca hacer énfasis en el procesamiento de los datos obtenidos, estos fueron cuidadosamente seleccionados. Particularmente, en el caso de los BTC, fueron reservados para el estudio sólo los resultados de ensayo correspondientes a bloques que, en su composición, presentaron cemento.

A partir de las series de mampuestos seleccionadas, las mismas fueron clasificadas según localidad de procedencia y tipo de elemento (adobes o BTC), de forma de poder realizar una comparación a normativa según la resistencia esperada por cada técnica. De esta clasificación, fueron determinados los valores promedio de resistencia a la compresión ( $\sigma_{prom}$ ) de cada serie de datos, su desviación estándar (Sd) y el coeficiente de variación correspondiente ( $Cv = Sd / \sigma_{prom}$ ).

En algunos casos, los BTC ensayados fueron fabricados con el uso de matrices con orificios previstos para futuros refuerzos estructurales. En estos casos, la resistencia de los bloques fue calculada utilizando el área bruta de los mismos, de forma de tener una comparación acorde a su futuro uso en obra.

## Resultados

A partir del procesamiento de datos efectuado; se obtuvo, para cada serie, un valor de resistencia a compresión promedio, con su correspondiente desviación estándar y coeficiente de variación. Pueden observarse en la Tabla 1 los resultados obtenidos; esquematizados para más fácil lectura en las Figuras 1 y 2.

| Lugar de procedencia         | Cantidad de bloques | Tipo  | $\sigma_{prom}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Sd<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Cv     |
|------------------------------|---------------------|-------|--|-----------------------------|--------|
| Arroyo Leyes (Santa Fe)      | 10                  | Adobe | <b>46,649</b>                            | 5,21                        | 11,17% |
| Río Negro (A25)              | 4                   |       | <b>18,675</b>                            | 2,85                        | 15,27% |
| Río Negro (A0)               | 4                   |       | <b>16,508</b>                            | 7,41                        | 44,87% |
| Río Negro (A50)              | 4                   |       | <b>15,641</b>                            | 5,06                        | 32,32% |
| Sauce Viejo (Santa Fe)       | 6                   |       | <b>30,345</b>                            | 2,74                        | 9,04%  |
| Desconocido                  | 10                  |       | <b>20,891</b>                            | 3,93                        | 18,82% |
| Bariloche (Río Negro) (J)    | 6                   | BTC   | <b>15,988</b>                            | 3,61                        | 22,56% |
| Bariloche (Río Negro) (K)    | 6                   |       | <b>24,878</b>                            | 2,44                        | 9,80%  |
| Bariloche (Río Negro) (L)    | 6                   |       | <b>32,663</b>                            | 4,12                        | 12,62% |
| Esperanza (Santa Fe)         | 16                  |       | <b>10,971</b>                            | 2,44                        | 22,27% |
| Monte Hermoso (Buenos Aires) | 24                  |       | <b>43,016</b>                            | 11,93                       | 27,73% |
| Rafaela (Santa Fe)           | 5                   |       | <b>114,036</b>                           | 18,73                       | 16,42% |
| Roldán (Santa Fe)            | 39                  |       | <b>5,676</b>                             | 1,40                        | 24,74% |
| San Francisco (Córdoba) (L1) | 7                   |       | <b>49,399</b>                            | 13,70                       | 27,74% |
| San Francisco (Córdoba) (L2) | 7                   |       | <b>47,227</b>                            | 10,83                       | 22,93% |

Tabla 1 – Resistencia a la compresión promedio de las series evaluadas.

### Resistencia a la compresión - Adobes

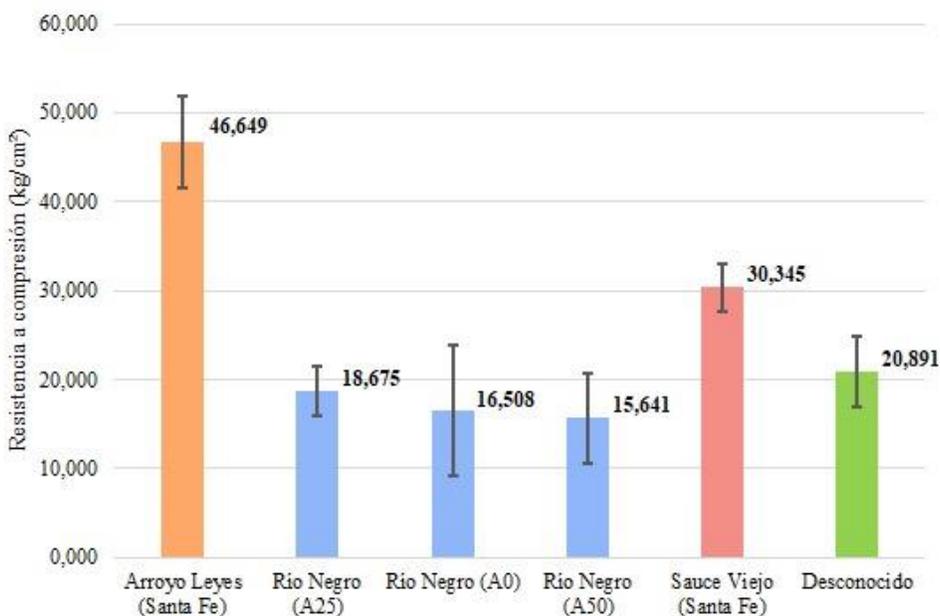


Figura 1 – Resistencia a la compresión promedio de las series de adobe.

### Resistencia a la compresión - BTC

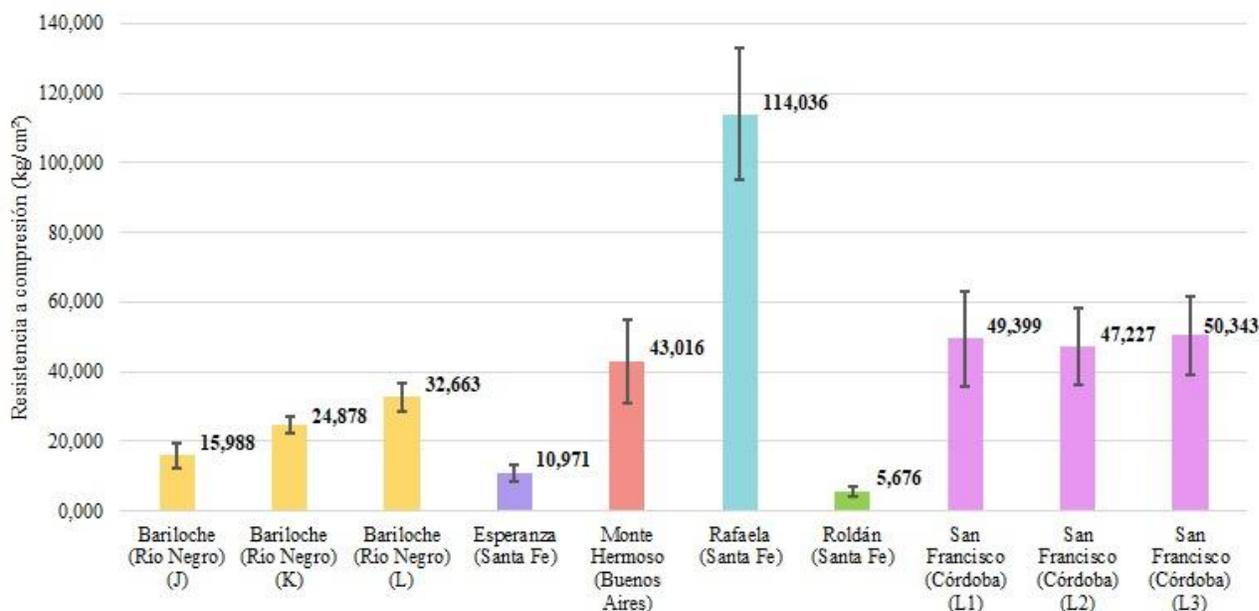


Figura 2 – Resistencia a la compresión promedio de las series de BTC.

## Discusión

A partir de los resultados evaluados, es posible realizar su comparación con distintas normativas internacionales. Para en análisis de la resistencia presentada por los BTC, fueron consideradas normativas correspondientes a Francia (AFNOR, 2017), Estados Unidos (NMAC, 2009), España (AENOR, 2008) y Nueva Zelanda (SNZ, 1998), las cuales presentan diferentes niveles de exigencia requeridos en los bloques para un uso no portante. Como se observa tanto en la Tabla 2 como en la Figura 3, la mayoría de las series ensayadas cumplen con todas las normas presentadas; siendo sólo una de ellas la que cumple con la norma de menor exigencia (UNE 41410, de 13 kg/cm<sup>2</sup>) y dos las que no verifican ninguna.

Debe tenerse en cuenta que, en el caso de los BTC, la resistencia de los mismos presenta amplias variaciones dependiendo de la cantidad de estabilizante (habitualmente cemento o cal) con la que fueron confeccionados; siendo evidente esta diferencia en las series de Rafaela (alto contenido de cemento, con una resistencia a la compresión mayor a 100 kg/cm<sup>2</sup>) y Roldán (bajo contenido de cemento, resistencia a la compresión de aproximadamente 5 kg/cm<sup>2</sup>).

| Serie                        | $\sigma_{prom}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | ¿Cumple el requerimiento por norma? |                                  |                                    |  |   |
|------------------------------|--|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--|---|
|                              |  | Francia<br>(20 kg/cm <sup>2</sup> ) | EEUU<br>(21 kg/cm <sup>2</sup> ) | España<br>(13 kg/cm <sup>2</sup> ) | Nueva<br>Zelanda<br>(20 kg/cm <sup>2</sup> ) | Red<br>Protierra*<br>(20 kg/cm <sup>2</sup> ) |
| Bariloche (Río Negro) (J)    | 15,988                                   | No                                  | No                               | Sí                                 | No   | No  |
| Bariloche (Río Negro) (K)    | 24,878                                   | Sí                                  | Sí                               | Sí                                 | Sí   | Sí  |
| Bariloche (Río Negro) (L)    | 32,663                                   | Sí                                  | Sí                               | Sí                                 | Sí   | Sí  |
| Esperanza (Santa Fe)         | 10,971                                   | No                                  | No                               | No                                 | No   | No  |
| Monte Hermoso (Buenos Aires) | 43,016                                   | Sí                                  | Sí                               | Sí                                 | Sí   | Sí  |
| Rafaela (Santa Fe)           | 114,036                                  | Sí                                  | Sí                               | Sí                                 | Sí   | Sí  |
| Roldán (Santa Fe)            | 5,676                                    | No                                  | No                               | No                                 | No   | No  |
| San Francisco (Córdoba) (L1) | 49,399                                   | Sí                                  | Sí                               | Sí                                 | Sí   | Sí  |
| San Francisco (Córdoba) (L2) | 47,227                                   | Sí                                  | Sí                               | Sí                                 | Sí   | Sí  |

\* Resistencia mínima recomendada por la Red Argentina de Construcción con Tierra, PROTIERRA.

Tabla 2 – Análisis de cumplimiento de norma de las series de BTC.

### Cumplimiento de normativas, según series de BTC evaluadas

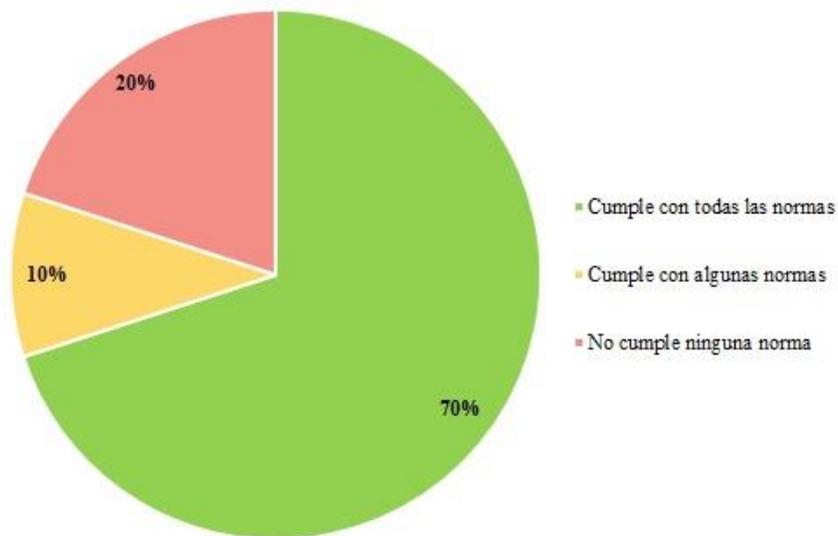


Figura 3 – Cumplimiento de normativa de las series de BTC.

Por otro lado, para el caso de las series de adobes estudiadas, las mismas fueron comparadas con la recomendación realizada por la Red Argentina Protierra y las normas provenientes de Brasil (ABNT 2020) y El Salvador (OSARTEC, 2014). En este caso, todas las series superaron lo estipulado por las normas, cumpliendo los requerimientos de todas ellas.

| Serie                   | Resistencia a la<br>compresión<br>prom. (kg/cm <sup>2</sup> ) | ¿Cumple el requerimiento por norma?     |                                    |  |
|-------------------------|---|---|------------------------------------|--|
|                         |   | El Salvador<br>(10 kg/cm <sup>2</sup> ) | Brasil<br>(12 kg/cm <sup>2</sup> ) | Red Protierra*<br>(15 kg/cm <sup>2</sup> ) |
| Arroyo Leyes (Santa Fe) | 46,649  | Sí                                      | Sí                                 | Sí   |
| Río Negro (A25)         | 18,675  | Sí                                      | Sí                                 | Sí   |
| Río Negro (A0)          | 16,508  | Sí                                      | Sí                                 | Sí   |
| Río Negro (A50)         | 15,641  | Sí                                      | Sí                                 | Sí   |
| Sauce Viejo (Santa Fe)  | 30,345  | Sí                                      | Sí                                 | Sí   |
| Desconocido             | 20,891  | Sí                                      | Sí                                 | Sí   |

\* Resistencia mínima recomendada por la Red Argentina de Construcción con Tierra, PROTIERRA.

Tabla 3 – Análisis de cumplimiento de norma de las series de adobes.

## Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, puede concluirse que la materia prima y proceso de producción de BTC y adobes en el país da buenos resultados, generando mampuestos que cumplen con las especificaciones técnicas requeridas a nivel internacional y con las recomendaciones nacionales

Como fue previamente mencionado en el caso de los BTC, la resistencia de estos aumenta con el contenido de cemento que se les incorpore, alcanzando resistencias excepcionales, como es el caso de los bloques producidos en Rafaela. Sin embargo, una dosificación con un alto contenido de cemento provoca también un incremento considerable en el costo de fabricación, siendo que el estabilizante resulta el componente más caro de los materiales necesarios para la confección de bloques.

Observando otras series de BTC que presentan una menor resistencia a la compresión (y, por lo tanto, un menor contenido de cemento); puede verse que las mismas alcanzan también altas resistencias (superiores, en muchos casos, a las sugeridas por la Red Protierra para BTC portantes, que es de 40 kg/cm<sup>2</sup>); notándose que es posible alcanzar un equilibrio entre el costo económico e impacto ambiental generado por la incorporación de cemento y la factibilidad de uso de los bloques fabricados.

En cuanto a los adobes; el análisis realizado permite corroborar una muy alta efectividad en su fabricación, encontrándose la totalidad de las series evaluadas por encima de los requerimientos mínimos de las normativas consultadas. Esto demuestra, además, un mayor desarrollo en el proceso productivo de estos, posiblemente motivado por un uso más difundido que los BTC, que permite una mejora y optimización de su fabricación.

## Referencias bibliográficas

- ABNT. (2020). NBR 16814. Adobe. Requisitos e métodos de ensaio.
- AENOR. (2008). UNE 41410. Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.
- AFNOR. (2017). XP P13-901: Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons : définitions - Spécifications - Méthodes d'essais - Conditions de réception.
- Cabrera S. (2022). Estudio de características físicas, químicas y mecánicas del bloque de tierra comprimida (BTC) con suelo-cal y adiciones minerales. Aportes al conocimiento del BTC para su desarrollo en Santa Fe, Argentina.
- NMAC. (2009). NMAC 14.7.4: New Mexico earthen building materials code.
- OSARTEC. (2014). RTS 91.02.01. Urbanismo y construcción en lo relativo al uso del sistema constructivo de adobe para viviendas de un nivel.
- Red Protierra Argentina. (2020). Protocolo de ensayos sobre elementos constructivos para la construcción con tierra. <http://redprotierra.com.ar/2020/10/28/protocolos-de-ensayo-para-la-construccion-con-tierra/>
- SNZ. (1998). NZS 4298: Materials and workmanship for earth buildings.