

# Resistencia a compresión en Bloques de Tierra Comprimida. Comparación entre diferentes métodos de ensayo

## *Compressive strength in Compressed Earth Blocks. Comparison between different test methods*

Santiago Cabrera (\*), Ariel González (\*), Rodolfo Rotondaro (\*\*)

### RESUMEN

En este artículo se evalúa el efecto que posee la geometría de las probetas en la determinación de la resistencia media a compresión en bloques de tierra comprimida o BTC, analizando además el efecto de su encabezado con placas de neopreno, con el propósito de obtener referencias a partir del proceso experimental desarrollado que permitan proponer la redacción de una norma Técnica al Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). Para ello se recopilieron y analizaron normas técnicas específicas sobre BTC redactadas por Organismos Oficiales de Normalización de diferentes países y se analizó el marco normativo vigente en Argentina para bloques de hormigón y ladrillos cerámicos, huecos y macizos. Empleando BTC producidos por distintos establecimientos del país se confeccionaron probetas con diferentes geometrías y se determinó su resistencia a compresión encabezándolas con placas de neopreno y sin encabezarlas. Los resultados obtenidos indican que la probeta más adecuada para determinar la resistencia a compresión no confinada en BTC es un bloque entero o medio bloque, ambos en posición horizontal y sin encabezado alguno.

**Palabras clave:** BTC; Resistencia a compresión; Ensayos; Probetas.

### ABSTRACT

*In this article, the effect that the geometry of test samples possesses on the average compressive strength determination on compressed earth blocks or CEBs is evaluated, as well as analyzing the effect of heading them with neoprene plates, with the purpose of obtaining references from the experimental process developed that allow to propose the redaction of a technical norm of the Argentinian Institute of Normalization and Certification (IRAM). To this end, specific technical standards for CEB written by Official Standards Organizations from different countries were compiled and analyzed, and the current regulatory framework of Argentina on concrete blocks, hollow and solid ceramic bricks was analyzed. Using CEBs produced by different establishments around the country, tests samples with different geometries were made, and their compressive strength with and without neoprene plates heading was determined. The obtained results indicate that the most adequate test samples for non-confined compressive strength determination on CEBs are an entire block or halve CEB, both in horizontal position and without heading.*

**Keywords:** CEB; Compressive strength; Test; Sample.

(\*) Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe. Argentina.

(\*\*) Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo - Universidad de Buenos Aires. Argentina.

Persona de contacto/Corresponding author: [spcabrera@outlook.com](mailto:spcabrera@outlook.com) (S. Cabrera)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1300-4927> (S.Cabrera); <https://orcid.org/0000-0003-0633-0580> (A, González);

<https://orcid.org/0000-0001-9861-8340> (R. Rotondaro)

---

**Cómo citar este artículo/Citation:** Cabrera, Santiago; González, Ariel; Rotondaro, Rodolfo (2020). Resistencia a compresión en Bloques de Tierra Comprimida. Comparación entre diferentes métodos de ensayo. *Informes de la Construcción*, 72(560): e360. <https://doi.org/10.3989/ic.70462>.

**Copyright:** © 2020 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 05/02/2019

Aceptado/Accepted: 06/02/2020

Publicado on-line/Published on-line: 27/10/2020

## 1. INTRODUCCIÓN

El Bloque de Tierra Comprimida o BTC (1, 2, 3) es un mampuesto fabricado mediante la compresión o el prensado de un mortero de suelo estabilizado que se encuentra contenido en el interior de una prensa mecánica o hidráulica. Estas prensas son manuales para bajas demandas de producción o automáticas para sistemas industrializados (4).

La técnica del BTC parece pues, idónea para una época de transición en la que, sin duda, los hábitos y costumbres de la industria de la construcción están sufriendo cambios drásticos (5). Según Julián Salas, *el BTC puede ser considerado como un salto tecnológico respecto al tradicional adobe, el cual, sin dejar de mirar por el espejo retrovisor, logra integrarse de manera más acorde a los contextos productivos vigentes en la actualidad, empleando en su proceso de fabricación maquinaria especializada* (6). Si bien el material de base para estos bloques lo constituye la tierra, esta admite la incorporación de estabilizantes minerales (generalmente cal o cemento) que permitan mejorar sus propiedades físicas, aumentando así la resistencia a compresión y a la intemperie de los BTC y reducir las fisuras provocadas por la retracción de la arcilla (7).

Las ventajas generales del BTC, en comparación con otros mampuestos de fábrica, como el tradicional ladrillo cerámico o el bloque de hormigón, podrían resumirse en su regularidad de forma (presentando caras lisas y aristas vivas) y su alta densidad -generada por la compresión efectuada durante el proceso de fabricación-, la cual los hace más resistentes a la erosión y a la acción del agua; además de la posibilidad de ser reciclado prácticamente en su totalidad (8).

En cuanto a la producción del bloque en sí, posee características que la hacen más económica y ambientalmente amigable si se la compara con la fabricación de otros materiales semejantes. Para empezar, la energía utilizada en la producción de estos bloques es mucho menor que en cualquier otro mampuesto similar; además, si bien se le agregan algunos aditivos estabilizantes como la cal o el cemento, estos representan un porcentaje muy bajo (9). Otra ventaja de los BTC es que para su elaboración no se precisa de mano de obra altamente calificada, y su costo de fabricación es menor al de sus pares "tradicionales" como el ladrillo cerámico macizo o hueco y el bloque de hormigón, teniendo en cuenta la poca energía utilizada para su producción, y que la misma se realiza aprovechando los recursos del sitio (5).

Si bien la resistencia a compresión de los BTC no es la única propiedad que debe estudiarse a la hora de evaluar las prestaciones de estos mampuestos, es sin duda alguna -junto con la resistencia a la intemperie- el mejor indicador de su calidad y el más utilizado (10, 11, 12), ya que puede correlacionarse con otras propiedades mecánicas, como la resistencia a flexión y la resistencia a la erosión húmeda por pulverizado de agua a presión (13).

En este artículo se evalúan los diferentes métodos de ensayo propuestos por la normativa internacional para determinar la resistencia a compresión simple de los BTC. También se evalúan los resultados obtenidos tras ensayar diferentes series de probetas, con el interés de contribuir en la homogeneización de protocolos de ensayo de resistencia a compresión en los laboratorios de ensayos de Argentina

Este trabajo presenta resultados y conclusiones parciales de la investigación titulada "Características, propiedades y aportes potenciales del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) de suelo-cal en el campo de la construcción de viviendas en Argentina" que lleva a cabo el primero de los autores (Cabrera) como Beca Doctoral CONICET, y que es dirigida por los otros dos autores. La investigación tiene sede en el Laboratorio de Geotecnia de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN FRSF), Argentina.

## 2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

### 2.1. Objetivos

Argentina no cuenta aún con reglamentos o normas técnicas específicas sobre construcción con mampuestos de tierra. Es por ello que, a la hora de proyectar este tipo de construcciones los responsables del proyecto y conducción técnica deben valerse de la normativa nacional vigente para otro tipo de mampuestos -ladrillo cerámico -macizo o hueco- y bloques de hormigón (14, 15, 16, 17, 18, 19, 20) o bien de la normativa internacional, con los inconvenientes que esto presenta. El objetivo general de este artículo consiste en generar datos fehacientes que permitan en el mediano plazo, avanzar en la redacción y aprobación de una norma técnica de alcance nacional que estipule los requisitos mínimos, junto con los protocolos de ensayo pertinentes, que deben respetar los mampuestos de tierra, y particularmente los BTC. Para esto, se proponen como objetivos particulares del trabajo los siguientes:

- Evaluar los métodos de preparación de las probetas propuesto por la normativa internacional específica para BTC, y la normativa nacional vigente para otros tipos de mampuestos;
- Determinar cuál es la geometría de probetas más adecuada para evaluar la resistencia a compresión simple de los BTC en los laboratorios argentinos;
- Estudiar el efecto del encabezado con placas de neopreno en la resistencia a compresión de las probetas;
- Proponer un método de ensayo que reduzca el tiempo de preparación de las probetas y minimice la dispersión de los resultados.

### 2.2. Hipótesis

La realización de este trabajo se basó en las siguientes hipótesis:

- *Hipótesis 1:* La resistencia a compresión no confinada de los BTC es inversamente proporcional a la esbeltez de las probetas ensayadas.
- *Hipótesis 2:* La dispersión en los resultados del ensayo de compresión puede disminuirse encabezando las probetas con placas de neopreno.

## 3. METODOLOGÍA

Se consultaron fuentes bibliográficas por internet de centros de investigación, redes y laboratorios de ensayos normalizados, y se ordenó la información recopilada sobre los diferentes protocolos de ensayo establecidos para evaluar la resistencia a compresión no confinada de los BTC, sobre los resultados de investigaciones similares, y otra información de interés para la investigación. Las normas específicas consultadas son de Argentina, Brasil, Colombia, Estados Unidos,

España, Francia, India, Kenia, México, Nueva Zelanda, Perú y El Salvador.

Se diseñó el muestreo de las probetas de BTC en base a los siguientes criterios:

- Disponibilidad comercial en la Región centro-este de Argentina;
- Diversidad en el grado de industrialización de los emprendimientos productivos;
- Equipos de prensado diferentes: de accionamiento manual, hidráulicas e hidráulicas de gran potencia;
- Calidad de los BTC: Bloques de baja, media y alta resistencia;
- BTC con dimensiones nominales diferentes.

Se emplearon 3 lotes de BTC -2 de 60 bloques y uno de 30-, cada uno de ellos producidos por una fábrica diferente. Cada lote se dividió en 5 series de 5 bloques cada una y se asignó a cada serie una morfología de probeta distinta. Asimismo, cada serie se realizó por duplicado, ensayando una sin encabezado alguno y la restante encabezada con placas de neopreno.

Los resultados de los ensayos de compresión se registraron en planillas y se procesaron de manera estadística empleando el software MiniTab 17 (21), elaborándose tablas y gráficos donde se compararon los resultados obtenidos según el método de preparación de las probetas y el encabezado realizado.

Luego de la preparación de las probetas y su posterior ensayo, se analizaron los resultados obtenidos y se elaboraron conclusiones en base a las diferentes morfologías de probetas empleadas y a los resultados obtenidos para cada una. Por último, se evaluaron los objetivos y las hipótesis de trabajo planteadas.

#### 4. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

##### 4.1. Métodos de ensayos propuestos por la normativa internacional

Numerosos países cuentan hoy con normas técnicas específicas para la construcción con tierra, siendo ejemplificador el conjunto de normas neozelandesas (22, 23, 24) que incluyen en sus 3 tomos requisitos de diseño y métodos de ensayo para muros de adobes, cob, BTC, tapia y tierra vertida.

Sin embargo, el número de países que poseen normas de ensayo específicas para BTC publicadas por Organismos Oficiales de Normalización es significativamente menor (25). A continuación, se analizan las particularidades de cada una de las normas consultadas.

La norma brasilera ABNT NBR 8491 (26) para bloques de "suelo cemento" evalúa únicamente la resistencia a compresión saturada de los bloques, estipulando que la resistencia media a compresión de 7 probetas debe ser igual o mayor a 2 MPa. Cada probeta se confecciona partiendo un BTC en 2 y asentando ambas mitades con pasta de cemento de 3 mm de espesor. Esta norma establece además que el encabezado de las probetas es opcional, y de optar por realizarlo, debe efectuarse con pasta de cemento de 3 mm de espesor o simplemente "raspando" con espátula las imperfecciones de las caras superior e inferior de la probeta.

La norma india IS 1795 (27), al igual que la brasilera (26) evalúa únicamente la resistencia a compresión de bloques saturados, estableciendo que la resistencia media mínima para BTC portantes y no portantes debe ser de 3,5 y 2 MPa, respectivamente. El ensayo se realiza directamente sobre bloques enteros en posición horizontal, encabezados con placas de madera contrachapada o yeso.

La norma francesa AFNOR XP P 13-901 (28) y la colombiana NTC 5324 (29) evalúan la resistencia a compresión seca y saturada de los BTC estableciendo diferentes niveles de resistencia característica (no media) en virtud de la función que cumplan: 2, 4 y 6 MPa para probetas completamente secas; 1, 2 y 3 MPa para probetas saturadas. La preparación de las probetas es idéntica a la estipulada por la norma brasilera, y permite emplear para el encabezado de las mismas, además de pasta de cemento de 3 mm de espesor, hojas de cartón o madera contrachapada del mismo espesor, recomendando explícitamente no emplear placas de neopreno.

La norma keniana KS 02-1070 (30) y la estadounidense del Estado de Nuevo México NMAC 14.7.8 (31) determinan la resistencia a compresión sobre bloques enteros y en posición horizontal, tanto secos como saturados, estableciendo valores mínimos para ambas resistencias. La norma estadounidense nada dice sobre el encabezado de los bloques, mientras que la keniana recomienda emplear placas de madera de 3 mm de espesor.

La normativa neozelandesa NZS 4298 (23) es la única que, además de ensayar al BTC entero y en posición horizontal, propone ensayarlo entero de manera vertical (siempre y cuando sea macizo), estipulando como límite inferior una resistencia a compresión de 3,6 MPa para el ensayo en posición horizontal y 2,0 MPa para la posición vertical; establece además que el ensayo debe realizarse con los bloques completamente secos, y nada dice sobre su encabezado.

La norma mexicana NMX-C-508 (32) y la española UNE 41410 (33) evalúan la resistencia de los BTC sobre bloques enteros, secos y ensayados en posición horizontal, y recomiendan encabezar las probetas sólo si resultase estrictamente necesario y no alcanzase con desgastar las irregularidades. Si se optase por encabezar las probetas, la norma mexicana establece emplear un mortero de azufre y grafito de alta resistencia mientras que la española no estipula el material del mortero a emplear. Ambas normas establecen además 3 niveles de resistencia característica que deben respetar los BTC en virtud de la función que desempeñen.

A pesar de no ser una norma publicada por algún Organismo Nacional de Normalización, deben mencionarse las recomendaciones realizadas en 1997 por el RILEM Technical Committees (34) para evaluar la resistencia a compresión de los BTC, dada la gran jerarquía de este comité internacional. Según RILEM, para determinar la resistencia media a compresión de los BTC deben ensayarse 3 probetas secas confeccionadas con un BTC partido en 2, asentando ambas mitades con mortero, al igual que la normativa francesa, brasilera y colombiana. Esta publicación es la única que propone encabezar las probetas con placas de neopreno.

En la Tabla 1 se resumen los métodos de preparación de las probetas estipulados por cada norma mencionada, junto con la resistencia solicitada y las recomendaciones sobre el encabezado realizadas por cada una de ellas.

**Tabla 1.** Normas internacionales sobre ensayos de resistencia a compresión en BTC.

| Norma                    | País          | Año  | Probeta de ensayo   | Resistencia solicitada (MPa) |                   | Encabezado  |
|--------------------------|---------------|------|---|------------------------------|-------------------|---|
|                          |               |      |   | Seco                         | Saturado          |   |
| <b>AFNOR XP P 13-901</b> | Francia       | 2017 | BTC partido en 2, asentado con junta de mortero de cemento de 1 cm de espesor, o el que se empleará en obra (composición y material). | 2.0<br>4.0<br>6.0            | 1.0<br>2.0<br>3.0 | Con pasta de cemento de 3 mm de espesor; o empleando hojas de cartón o madera contrachapada tricapa de 3 mm. Se recomienda no emplear neopreno. |
| <b>NMX C 508</b>         | México        | 2015 | BTC entero, en posición horizontal.   | 3.0<br>6.0<br>9.0            | -                 | Sólo si es necesario; empleando un mortero de azufre de 35 Mpa de resistencia.  |
| <b>ABNT NBR 8491</b>     | Brasil        | 2012 | BTC partido en 2, asentado con junta de pasta de cemento de 3 mm de espesor.  | -                            | 2.0               | Remover imperfecciones “raspando” las superficies. Opcionalmente, se puede encabezar con pasta de cemento de 3 mm de espesor.                   |
| <b>NMAC 14.7.8</b>       | EE UU         | 2009 | BTC entero, en posición horizontal.   | 2.1                          | 2.1               | No se especifica.   |
| <b>UNE 41410</b>         | España        | 2008 | BTC entero o medio BTC, en posición horizontal.   | 1.3<br>3.0<br>5.0            | -                 | Remover imperfecciones “raspando” las superficies. Opcionalmente, se puede encabezar con pasta de cemento de 3 mm de espesor.                   |
| <b>NTC 5324</b>          | Colombia      | 2004 | BTC partido en 2, asentado con junta de mortero de cemento de 1 cm de espesor, o el que se empleará en obra (composición y material). | 2.0<br>4.0<br>6.0            | 1.0<br>2.0<br>3.0 | Con pasta de cemento de 3 mm de espesor; o empleando hojas de cartón o madera contrachapada tricapa de 3 mm. Se recomienda no emplear Neopreno. |
| <b>IS 1795</b>           | India         | 2002 | BTC entero, en posición horizontal.   | -                            | 2.0<br>3.5        | Placas de madera contrachapada tricapa de 3 mm; o placas de yeso.   |
| <b>NZS 4298</b>          | Nueva Zelanda | 1998 | BTC entero, en posición horizontal y vertical   | 2.0                          | -                 | No se especifica.   |
| <b>RILEM TC 164-EBM</b>  | Francia       | 1997 | BTC partido en 2, asentado con junta de mortero cementíceo de 1 cm de espesor.  | -                            | -                 | Placas de neopreno.   |
| <b>KS 02-1070</b>        | Kenia         | 1993 | BTC entero, en posición horizontal y vertical.  | 2.5                          | 1.5               | Madera contrachapada tricapa de 3 mm de espesor.  |

En la Tabla 1 no se incluyeron la normas salvadoreña (35) y peruana (36) por no tratarse de normas específicas de BTC, ya que establecen los requisitos mínimos que deben cumplir los adobes para poder ser empleados en construcciones sismoresistentes. Sin embargo, resulta conveniente mencionarlás por el método de preparación de probetas que proponen: la resistencia a compresión debe determinarse sobre probetas cúbicas de 10 cm de lado según la norma peruana y de probetas cúbicas talladas “a” cm de lado para la norma salvadoreña, siendo “a” la menor dimensión del adobe. Estas normas no mencionan nada sobre el encabezado de las probetas, y establecen resistencias mínimas de 1 MPa (norma peruana) y 2 MPa (norma salvadoreña).

#### 4.2. Marco normativo vigente en la República Argentina

Como se mencionó en el apartado 2.1, Argentina no cuenta con reglamentos o normas técnicas específicos para la construcción con mampuestos de tierra. Sin embargo, el Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM ha generado normas técnicas que regulan y establecen los requisitos mínimos a cumplir por diferentes tipos de mampuestos: ladrillos cerámicos macizos (14), ladrillos cerámicos huecos y perforados (15), bloques de hormigón (16, 17) y bloques de hormigón celular curados en autoclave (18).

Apoyándose en las normas aprobadas por IRAM, el Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para Obras Civiles “CIRSOC”, dependiente del Instituto

Nacional de Tecnología Industrial “INTI”, en conjunto con el Instituto Nacional de Prevención Sísmica “INPRES”, han redactado 2 Reglamentos (18, 19) que establecen los requisitos que deben cumplir los mampuestos y los métodos de cálculo y diseño de estructuras de mampostería sismoresistentes.

Debe remarcarse el hecho de que, a pesar de no mencionarse de manera explícita al BTC en los Reglamentos CIRSOC (19) (20), ambos establecen que “*podrán ejecutarse muros con materiales distintos a los especificados en el Capítulo II (ladrillos cerámicos macizos o huecos y bloques de hormigón) siempre y cuando estos nuevos materiales cumplan como mínimo con los requisitos establecidos para los materiales o componentes especificados por dichos reglamentos*”.

En la Tabla 2 se resumen los requisitos de ensayo, preparación de la probeta y encabezado solicitada por las normas actualmente vigentes que regulan la calidad de los mampuestos en Argentina, junto con las resistencias mínimas estipuladas.

## 5. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

### 5.1. Procedencia de los BTC

Se trabajó con BTC producidos por 3 fabricantes de las provincias de Santa Fe y Córdoba, Argentina. Para mantener el anonimato de las empresas colaboradoras, no se mencionan en este artículo sus nombres, identificándolas simplemente como fábrica 1, 2 y 3.

**Tabla 2.** Normas argentinas sobre ensayos de resistencia a compresión en mampuestos.

| Norma        | Año  | Mampuesto   | Probeta de ensayo                | Resistencia solicitada (MPa)                                   | Encabezado   |
|--------------|------|---|----------------------------------|--|--|
| IRAM 12566-1 | 2005 | Ladrillo cerámico macizo  | Ladrillo entero o medio ladrillo | 4.0  | Con 5 mm de mortero de yeso-cemento o azufre-grafito-arena     |
| IRAM 12566-2 | 2005 | Ladrillo cerámico hueco y perforado   | Bloque o ladrillo entero         | 1.5<br>4.0   | Con 5 mm de mortero de yeso-cemento o azufre-grafito-arena     |
| IRAM 11561-2 | 2018 | Bloque de hormigón no portante  | Bloque entero                    | 2.5  | Pasta de yeso-cemento; mortero de cemento; o mortero de azufre |
| IRAM 11561-3 | 2012 | Bloque de hormigón portante   | Bloque entero                    | 6.0  | Pasta de yeso-cemento; mortero de cemento; o mortero de azufre |
| IRAM 1701-1  | 2003 | Bloques de hormigón celular curado en autoclave   | Bloque entero                    | 2.0 2.5<br>3.0 4.0<br>5.0 6.0<br>7.0 8.0                       | Pasta de yeso-cemento; mortero de cemento; o mortero de azufre |
| CIRSOC 501   | 2007 | Bloque de hormigón <sup>(1)</sup> y ladrillo cerámico, hueco <sup>(2)</sup> y macizo <sup>(3)</sup> | Ladrillo o Bloque entero         | 5.5 <sup>(1)</sup><br>5.5 <sup>(2)</sup><br>5.0 <sup>(3)</sup> | Pasta de yeso-cemento; mortero de cemento; o mortero de azufre |
| CIRSOC 103-3 | 2016 | Bloque de hormigón <sup>(1)</sup> y ladrillo cerámico, hueco <sup>(2)</sup> y macizo <sup>(3)</sup> | Ladrillo o Bloque entero         | 5.5 <sup>(1)</sup><br>5.5 <sup>(2)</sup><br>5.0 <sup>(3)</sup> | Pasta de yeso-cemento; mortero de cemento; o mortero de azufre |

En la Tabla 3 puede apreciarse el número de BTC aportado por cada empresa, sus dimensiones, las prestaciones del equipo de prensado empleado para su fabricación y la capacidad de producción diaria de cada empresa, la cual es un buen indicador de la envergadura de cada una. Debe resaltarse que la productividad de cada emprendimiento, además de verse condicionada por las características de la prensa utilizada, se ve afectada por diversos factores como ser el espacio disponible para el acopio de materia prima, los equipos de secado, molienda y tamizado de la tierra, los elementos de transporte de material dentro de la industria, el sistema de curado utilizado, la capacidad de almacenamiento del producto terminado y el número de empleados.

En la Tabla 4 se reportan las proporciones (en volumen) de tierra y arena, –identificados según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS (37)- empleados para la fabricación de los BTC, como así también las proporciones de cal y cemento utilizados para su estabilización, los cuales cumplen con los requisitos físicos y químicos estipulados por las normas IRAM 50000 (38) e IRAM 1508 (39). Esta información fue aportada por cada una de las empresas productoras. En la Figura 1 pueden apreciarse los BTC entregados por cada una de las fábricas.

**Tabla 3.** Características geométricas de los BTC aportados por cada empresa e información sobre los equipos de prensado utilizados para su fabricación.

| Característica                        | Fábrica   |                    |                   |
|---------------------------------------|-----------|--------------------|-------------------|
|                                       | 1         | 2                  | 3                 |
| Nº de BTC                             | 60        | 60                 | 30                |
| Dimensiones (mm)                      | 250 x 126 | 300 x 150          | 300 x 150         |
| Altura (mm)                           | 62.5      | 75.0               | 70.0              |
| Diámetro de Agujeros (mm)             | 6.0       | 8.8                | 8.0               |
| Prensa empleada                       | Z 10      | Eco Premium doble  | Desarrollo propio |
| Sistema de accionamiento de la prensa | Manual    | Hidráulico         | Hidráulico        |
| Fuerza de compresión (Tn)             | 2.2       | 18.0 (9.0 por BTC) | 6.7               |
| Producción media diaria (BTC/día)     | 300       | 3,000              | 1,000             |

**Tabla 4.** Dosificación (% de volumen) empleada por cada empresa en la fabricación de los BTC.

| Materia prima         | Fábrica |      |      |
|-----------------------|---------|------|------|
|                       | 1       | 2    | 3    |
| Tierra Arcillosa (CL) | 72 %    | 31 % | 45 % |
| Tierra Arenosa (SM)   | 0 %     | 0 %  | 45 % |
| Arcilla (CH)          | 0 %     | 24 % | 0 %  |
| Arena (SP)            | 16 %    | 31 % | 0 %  |
| Cemento CPC 40        | 8 %     | 10 % | 10 % |
| Cal hidráulica        | 4 %     | 5 %  | 0 %  |

## 5.2. Series de probetas

Para evaluar el efecto que posee la geometría de las probetas en la resistencia a compresión de los BTC, cada lote fue dividido en 5 series (ver Figura 2), cada una de ellas con una morfología diferente:

- **Serie A:** Bloque entero en posición horizontal (normas española, neozelandesa, mexicana, keniana y del Estado de Nuevo México).

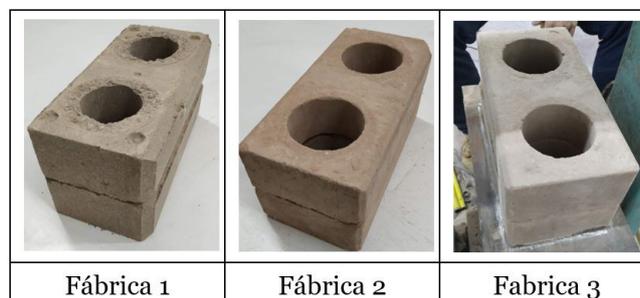


Figura 1. BTC producidos por cada una de las fábricas.

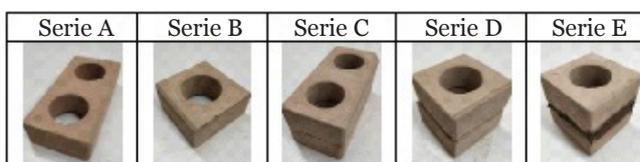


Figura 2. Geometría de las series de probetas confeccionadas.

- **Serie B:** Medio bloque en posición horizontal (normas argentinas para ladrillos cerámicos macizos).
- **Serie C:** 2 bloques enteros en posición horizontal, uno apoyado sobre el otro.
- **Serie D:** Medio bloque apoyado sobre medio bloque.
- **Serie E:** Medio bloque asentado con mortero sobre medio bloque (normas brasilera, francesa y colombiana).

Resulta importante mencionar que la forma de preparación de las probetas de la serie C es una recomendación realizada por el “Laboratorio de Ensayos de Materiales LEME” de la FADU - UNT (Argentina), mientras que el método de preparación de las probetas de la serie D es una propuesta del Laboratorio de Geotecnia de la UTN FRSF (lugar de trabajo de 2 de los autores), desarrollada tras 6 años de experiencia ensayando BTC según lo estipulado por la norma brasilera (26).

Las probetas de las series A y C no requirieron preparación alguna, mientras que la preparación de las probetas de las series B, D y E se realizó cortando de manera transversal cada bloque en dos partes iguales empleando una sierra circular de banco. Finalmente, las probetas de la serie E se confeccionaron siguiendo las recomendaciones de la norma brasilera (26), asentando con 5 mm de mortero de tierra-cemento en proporción 3:1 las dos mitades de cada BTC (previamente humedecidas) de manera tal que la cara vertical de una quede en el mismo plano de la sección de corte de la otra. Esta última serie de probetas se dejó reposar por 48 hs antes de ensayarla, logrando así el correcto endurecimiento del mortero de unión.

Finalmente, se determinó el largo (l), ancho (b) y alto (h) de cada probeta, calculando luego el área neta de cada una de ellas.

### 5.3. Relación de aspecto de las probetas

Una vez determinadas las dimensiones de cada serie de probetas, se procedió a calcular sus relaciones de aspecto. Dado que la bibliografía especializada y la normativa internacional emplea diferentes expresiones para determinar esbelteces, para este trabajo se emplearon las expresiones de esbeltez estipuladas por las normas IRAM 12737 (40) y CIRSOC 103 (20) y 501 (19) para pilas de mampostería “E<sub>1</sub>”, la expresión establecida por el reglamento CIRSOC 201 (41) para columnas cortas de hormigón “E<sub>2</sub>” y una tercera expresión que vincula la altura de la probeta con su área transversal “E<sub>3</sub>”. Las expresiones empleadas para determinar las esbelteces pueden apreciarse en las Ecuaciones [1], [2] y [3].

$$[1] \quad E_1 = h/b$$

$$[2] \quad E_2 = h/i$$

$$[3] \quad E_3 = h/A$$

Para determinar el área neta y el radio de giro de las secciones perpendiculares a la dirección de la carga aplicada, se emplearon las Ecuaciones [4] y [5]:

$$[4] \quad A = (l \times b) - 2(\pi d^2/4)$$

$$[5] \quad i = \sqrt{I/A}$$

Siendo:

- *l* = Lado mayor de la probeta, en cm;
- *b* = Lado menor de la probeta, en cm;
- *h* = altura de la probeta, en cm;
- *A* = Área neta perpendicular a la dirección de aplicación de la carga, en cm<sup>2</sup>;
- *d* = Diámetro de cada agujero, en cm;
- *i* = Radio de giro menor de la sección perpendicular a la dirección de aplicación de la carga, en cm.

Finalmente, en la Tabla 5 se muestran las esbelteces de las diferentes series de probetas confeccionadas con los BTC aportados por cada empresa.

**Tabla 5.** Esbeltez de las probetas.

| Serie            |          | h/b  | h/i  | h/A  |
|------------------|----------|------|------|------|
| <b>Empresa 1</b> | <b>A</b> | 1.46 | 0.47 | 0.02 |
|                  | <b>B</b> | 1.46 | 0.47 | 0.04 |
|                  | <b>C</b> | 2.92 | 0.93 | 0.04 |
|                  | <b>D</b> | 2.85 | 0.93 | 0.08 |
|                  | <b>E</b> | 3.05 | 1.00 | 0.09 |
| <b>Empresa 2</b> | <b>A</b> | 1.53 | 0.50 | 0.02 |
|                  | <b>B</b> | 1.53 | 0.50 | 0.05 |
|                  | <b>C</b> | 3.07 | 1.00 | 0.05 |
|                  | <b>D</b> | 2.96 | 1.00 | 0.09 |
|                  | <b>E</b> | 2.99 | 1.00 | 0.09 |
| <b>Empresa 3</b> | <b>A</b> | 1.58 | 0.50 | 0.02 |
|                  | <b>B</b> | 1.58 | 0.50 | 0.05 |
|                  | <b>C</b> | 3.16 | 0.99 | 0.05 |
|                  | <b>D</b> | 3.11 | 0.99 | 0.10 |
|                  | <b>E</b> | 3.36 | 1.07 | 0.10 |

### 5.4. Encabezado de las probetas

Además de evaluar la incidencia que posee la geometría de las probetas en su resistencia a compresión, se desea conocer el efecto del encabezado de las mismas con un material elastómero, tal como lo recomienda la norma IRAM 1709 (42) para encabezar probetas de hormigón. Para ello, las 5 series de probetas preparadas con los BTC de las 3 empresas proveedoras fueron ensayadas a compresión simple sin encabezado alguno, apoyándolas directamente sobre los suplementos metálicos. Luego, con los BTC de las Empresas 1 y 2<sup>1</sup> se replicaron las 5 series de probetas para ser ensayadas con sus caras superiores e inferiores encabezadas con placas de neopreno de 8 mm de espesor. Es importante mencionar que, dada la posibilidad de reutilización de hasta 300 ensayos que poseen las placas elastoméricas (42), todos los ensayos de las series encabezadas se realizaron empleando los mismos pares de placas.

## 6. ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Se ubicó cada probeta entre los suplementos metálicos -interponiendo las placas de neopreno para las series “encabe-

<sup>1</sup> La Fabrica 3 no suministró BTC suficientes para la realización de este ensayo.

zadas”- verificando que la misma se encuentre perfectamente centrada y se aplicó la carga de manera continua y sin movimientos bruscos a una velocidad constante de 2,5 MPa/seg. Se registró la máxima carga soportada durante el ensayo y dividiéndola luego por el área neta de la probeta, se obtuvo la tensión de rotura, en Kg/cm<sup>2</sup>. Las probetas se ensayaron secas, permaneciendo 7 días en ambiente de laboratorio, a una humedad relativa de 55% y 24 °C de temperatura.

Para la realización de estos ensayos se utilizó un gato hidráulico tipo “botella” con 20 t de capacidad, una celda de carga con apreciación de 5 kg y capacidad máxima de 20 t; un pórtico de carga, suplementos metálicos de 1” de espesor para transmitir las cargas aplicadas de manera uniforme sobre las caras de contacto (ver Figura 3) y placas de neopreno de 8 mm de espesor. Para las series B, D y E se emplearon suplementos circulares de 20 cm de diámetro y placas de neopreno de 16 x 16 cm, mientras que en las series A y C se emplearon suplementos rectangulares de 40 x 20 cm y placas de neopreno de 16 x 32 cm.

### 6.1. Análisis de varianza

Para evaluar los resultados obtenidos y determinar si las resistencias medias a compresión de cada serie son estadísticamente diferentes entre sí, se realizó un análisis de varianzas ANOVA empleando el software Minitab Statical Software (21). Este análisis permite refutar, con un 95 % de significancia la siguiente hipótesis: “Las resistencias medias a compresión de cada serie son estadísticamente iguales”. Si



Figura 3. Equipo empleado para realizar los ensayos de compresión.

el valor del estadístico P arrojado por el software es inferiores a 0.05, puede refutarse con un 95% de confianza la hipótesis propuesta, con lo cual, puede asegurarse que al menos una serie de probetas posee una resistencia media a compresión diferente que las demás (43).

Como el ANOVA únicamente posibilita determinar si las resistencias medias de cada serie son estadísticamente diferentes entre sí, pero nada dice sobre 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.

## 7. RESULTADOS

En la Tabla 6 se expresan los resultados de los ensayos realizados sobre cada serie de probetas: número de probetas ensayadas (N), tensión media de rotura a compresión ( $\sigma_c$ ), des-

Tabla 6. Estadísticos descriptivos de cada serie de probetas, análisis de varianza ANOVA y agrupamiento según análisis de Tukey.

| Serie                   | N | $\sigma_c$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | s<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\delta$ (%) | ANOVA |       |
|-------------------------|---|-------------------------------------|----------------------------|--------------|-------|-------|
|                         |   |                                     |                            |              | p     | Grupo |
| Fábrica 1               | A | 5                                   | 11.45                      | 2.45         | 0.000 | A     |
|                         | B | 5                                   | 9.17                       | 2.31         |       | A B   |
|                         | C | 5                                   | 6.94                       | 1.71         |       | B C   |
|                         | D | 5                                   | 4.51                       | 0.44         |       | C     |
|                         | E | 5                                   | 4.58                       | 2.20         |       | C     |
| Fábrica 2               | A | 5                                   | 33.72                      | 7.22         | 0.004 | A     |
|                         | B | 5                                   | 24.11                      | 6.98         |       | A B   |
|                         | C | 5                                   | 27.51                      | 5.05         |       | A B   |
|                         | D | 5                                   | 17.57                      | 1.75         |       | B     |
|                         | E | 5                                   | 22.32                      | 4.95         |       | B     |
| Fábrica 3               | A | 5                                   | 39.33                      | 5.04         | 0.000 | A     |
|                         | B | 5                                   | 30.05                      | 8.07         |       | A B   |
|                         | C | 5                                   | 29.72                      | 4.54         |       | A B   |
|                         | D | 5                                   | 23.90                      | 3.16         |       | B C   |
|                         | E | 5                                   | 16.71                      | 7.32         |       | C     |
| Fábrica 1<br>encabezada | A | 5                                   | 7.784                      | 0.80         | 0.001 | A     |
|                         | B | 5                                   | 5.25                       | 2.16         |       | A B   |
|                         | C | 5                                   | 3.75                       | 2.078        |       | B     |
|                         | D | 5                                   | 3.59                       | 0.52         |       | B     |
|                         | E | 5                                   | 2.63                       | 1.96         |       | B     |
| Fábrica 2<br>encabezada | A | 5                                   | 20.95                      | 5.95         | 0.001 | A     |
|                         | B | 5                                   | 17.28                      | 2.13         |       | A B   |
|                         | C | 5                                   | 17.92                      | 2.86         |       | A B   |
|                         | D | 5                                   | 12.99                      | 2.03         |       | B C   |
|                         | E | 5                                   | 9.20                       | 2.69         |       | C     |

viación estándar (s) y coeficiente de variación ( $\delta$ ). Además, se muestran los resultados del análisis de varianza realizado: estadístico P resultante del ANOVA y factores de grupo del análisis de parejas de Tukey.

En las Figuras 4, 5 y 6 se muestran los gráficos de intervalo de resistencia a compresión de las series sin encabezar de cada fabricante, mientras que en las Figuras 7 y 8 las resistencias de las series encabezadas con neopreno producidas por las fábricas 1 y 2. Los diagramas de intervalo se confeccionaron con un 95 % de confianza para la media.

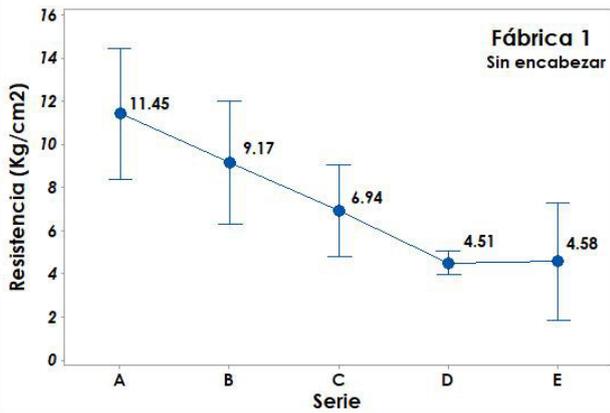


Figura 4. Gráfico de intervalos de resistencia a compresión de las series de probetas sin encabezar producidos por la fábrica 1.

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1. Resistencia media a compresión

Los BTC producidos por la fábrica 1 (empleando una prensa manual), independientemente de la geometría de las probetas, presentan valores de resistencia a compresión inferiores a los 15 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los bloques producidos por las fábricas 2 y 3 superan con amplio margen dicho valor. En la Figura 9 puede apreciarse claramente como los BTC producidos por la fábrica 3 presentan las mayores resistencias,

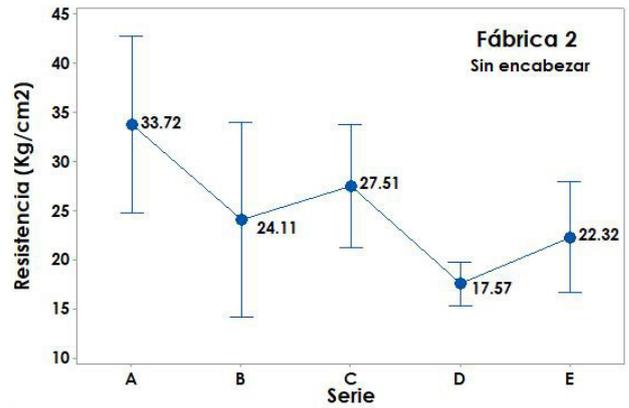


Figura 5. Gráfico de intervalos de resistencia a compresión de las series de probetas sin encabezar producidos por la fábrica 2.

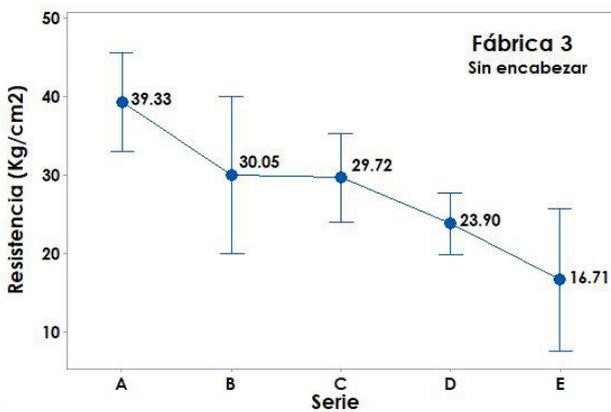


Figura 6. Gráfico de intervalos de resistencia a compresión de las series de probetas sin encabezar producidos por la fábrica 3.

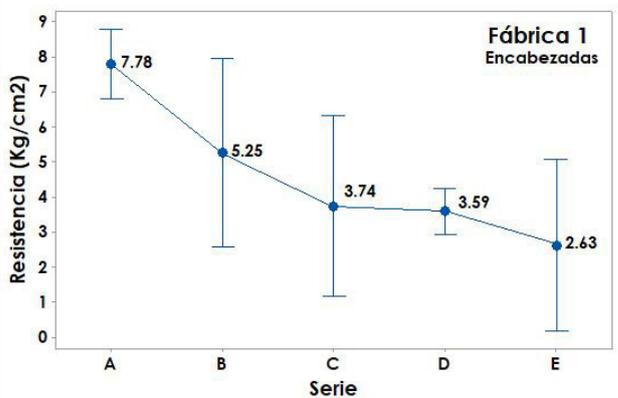


Figura 7. Gráfico de intervalos de resistencia a compresión de las probetas encabezadas producidos por la fábrica 1.

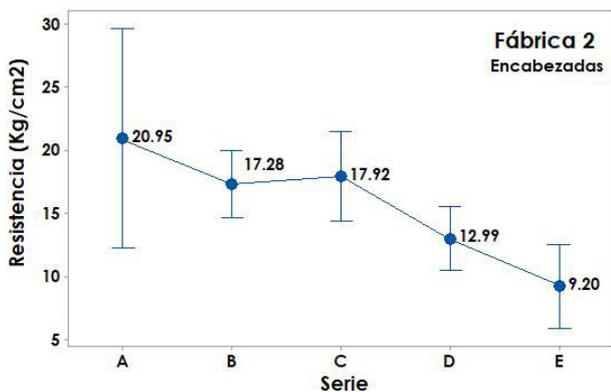


Figura 8. Gráfico de intervalos de resistencia a compresión de las probetas encabezadas producidos por la fábrica 2.

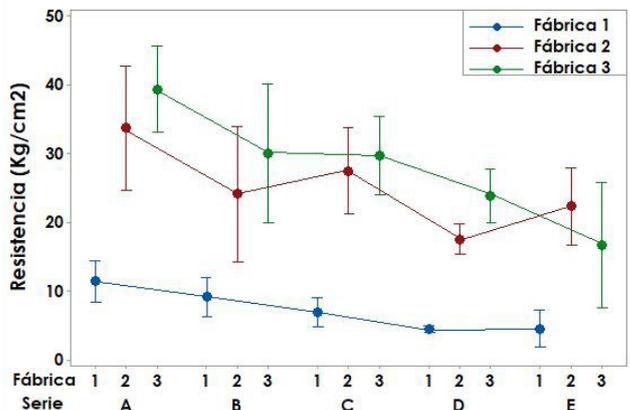


Figura 9. Gráfico de intervalos de resistencia a compresión de las probetas sin encabezar producidos por las 3 fábricas.

seguidos por los BTC de la fábrica 2 y finalmente los de la fábrica 1. Sin embargo, la comparación de resistencias entre las series de BTC producidas por los diferentes fabricantes no es factible, ya que estos, además de haber sido confeccionados empleando diferentes tipos y proporciones de materia prima, fueron producidos con diferentes presiones de moldeo y sometidos a procesos de curado sensiblemente diferentes.

En la Tabla 6 puede apreciarse como, independientemente de la empresa por la cual fueron producidos y del encabezado realizado, la resistencia media a compresión de las probetas de la serie A (BTC entero) es superior a la resistencia media a compresión de las demás series. Además, en todos los casos puede observarse como la resistencia media a compresión de las probetas de la serie B (medio BTC), a pesar de ser inferior que la resistencia media a compresión de la serie A, es estadísticamente similar a ésta por compartir el factor de grupo "A".

La resistencia media a compresión de las probetas de la serie C (2 BTC apilados) es, para todos los casos, estadísticamente similar a la resistencia media a compresión de las probetas de la serie B, y para los BTC producidos por las fábricas 2 y 3, estadísticamente similar a la de las probetas de la serie A, a pesar de ser significativamente menores.

Finalmente, puede advertirse que las resistencias medias a compresión de las series D y E, para todos los casos estudiados son estadísticamente similares entre sí y las menores de las 5 series propuestas.

## 8.2. Dispersión de los resultados

En los gráficos de intervalo presentados puede apreciarse claramente como la geometría y preparación de las probetas, además de afectar la resistencia media a compresión, posee un gran efecto sobre dispersión de los resultados, lo cual puede advertirse en la "altura" de la barra de intervalos.

Para evaluar este efecto se utilizó el coeficiente de variación, el cual permite comparar la dispersión entre series de datos con distintas distribuciones, ya que la desviación estándar únicamente sirve como método de evaluación de la variabilidad de los datos en series con la misma media aritmética (40). Para determinar el coeficiente de variación de cada serie se empleó la ecuación [6], la cual se muestra a continuación:

$$[6] \quad \delta = (\sigma/\mu) \times 100$$

Siendo  $\delta$  el coeficiente de variación,  $\sigma$  la desviación estándar y  $\mu$  la resistencia media a compresión de cada serie.

Analizando los valores del coeficiente de dispersión de cada serie (ver Tabla 6) puede apreciarse como las probetas de las series A y D presentan los coeficientes de dispersión más bajos, mientras que las probetas de la serie E poseen para todos los casos el mayor coeficiente de dispersión.

## 8.3. Incidencia del encabezado con neopreno

Para determinar si la resistencia media a compresión de las series de probetas encabezadas con placas de neopreno son estadísticamente diferentes a las de sus homólogas ensayadas sin encabezado alguno, empleando el software MiniTab se realizaron pruebas "t de Student" contrastando las resistencias de las series de probetas confeccionadas con los BTC de

la fábrica 1 ensayadas sin encabezado con las de estas mismas series pero encabezadas con neopreno; realizando luego el mismo procedimiento con las series de probetas producidas con los BTC de la fábrica 2. Si los valores del estadístico P obtenidos tras la prueba son inferiores al valor de la significancia establecida (en este caso 0.05) puede concluirse que la resistencia media a compresión de la serie encabezada es, con un 95% de confianza, inferior a la de su homóloga ensayada sin encabezado.

En la Tabla 7 puede apreciarse como, con excepción de la serie E de la de la fábrica 1 y la serie B de la fábrica 2, la resistencia media a compresión de las series encabezadas con neopreno es estadísticamente inferior a la de sus homólogas ensayadas sin encabezado. En las Figuras 10 y 11 puede observarse de manera clara como la resistencia media a compresión de todas las series de probetas evaluadas es inferior si se las ensaya encabezadas con placas de neopreno. Sin embargo, en estas imágenes puede apreciarse como, a pesar de disminuir la resistencia media a compresión, la dispersión de los datos no disminuye (ver coeficientes de variación en Tabla 6), lo cual refuta una de las hipótesis propuestas en el apartado 2.2.

**Tabla 7.** Estadístico P de las pruebas "t de Student" entre las series de BTC encabezados con neopreno y sin encabezado.

| Serie     | A     | B     | C     | D     | E     |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Fábrica 1 | 0.033 | 0.028 | 0.033 | 0.02  | 0.183 |
| Fábrica 2 | 0.025 | 0.138 | 0.01  | 0.007 | 0.001 |

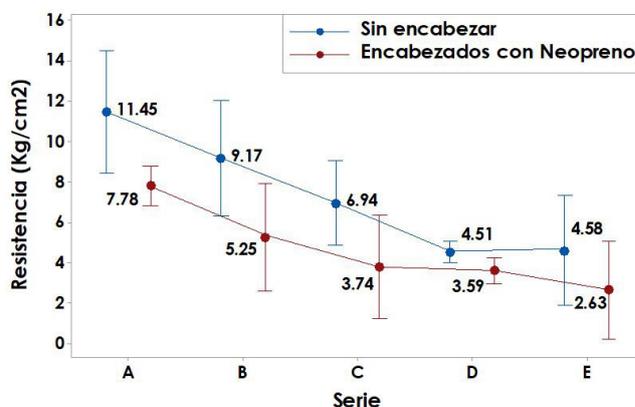


Figura 10. Gráfico de intervalos de resistencia a compresión de las probetas producidas por la fábrica 1, encabezadas y sin encabezado.

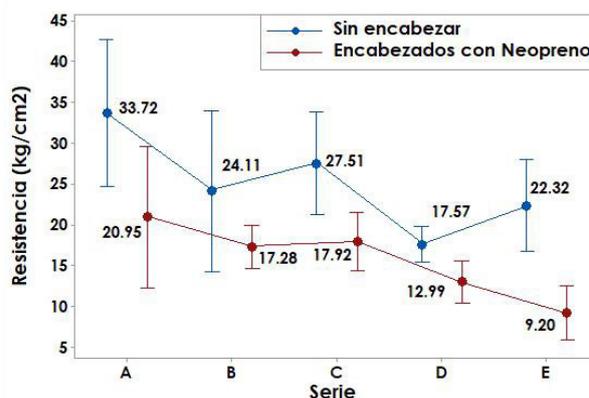


Figura 11. Gráfico de intervalos de resistencia a compresión de las probetas producidas por la fábrica 2, encabezadas y sin encabezado.

#### 8.4. Efecto de la esbeltez de las probetas

En la Tabla 5 se aprecia cómo cada una de las series de probetas confeccionadas posee una esbeltez diferente. Numerosos autores han estudiado el efecto de la esbeltez de las probetas (18) (19) (44) en la resistencia a compresión del material evaluado; sin embargo, no se ha estudiado en profundidad su efecto en la resistencia a compresión de los BTC, ya que la rigidez de estos elementos –generalmente estabilizado– es significativamente superior a la del tradicional adobe, pero inferior a la de sus homólogos industrializados como el ladrillo cerámico cocido y el bloque de hormigón (45). La explicación generalmente empleada para este fenómeno –la reducción de la resistencia a compresión no confinada con el incremento de la esbeltez de las probetas– es la fricción entre las mordazas y la prensa (44).

Intentando aportar datos fehacientes sobre esto, se ajustó un modelo de regresión lineal múltiple vinculando la resistencia a compresión de las probetas elaboradas con los BTC aportados por cada una de las fábricas -encabezadas con neopreno y sin encabezar- con su esbeltez, empleando las 3 expresiones evaluadas en el apartado 5.3. En la Tabla 8 se presentan los coeficientes de ajuste ( $R^2$ ) de cada modelo planteado. Este coeficiente mide la calidad de ajuste del modelo y representa la proporción de la variación total en los valores de Y (resistencia a compresión) explicada por la relación lineal con los valores de X (esbeltez de las probetas) (43).

**Tabla 8.** Regresión lineal múltiple. Coeficientes de ajuste  $R^2$ .

| Fábrica    | $R^2$ (%) |       |       |          |
|------------|-----------|-------|-------|----------|
|            | h/b       | h/A   | h/i   | Múltiple |
| 1          | 59.06     | 61.95 | 58.26 | 68.1     |
| 2          | 1.4       | 5.08  | 1.13  | 5.08     |
| 3          | 40.83     | 60.24 | 39.29 | 60.24    |
| 1 neopreno | 46.97     | 42.95 | 46.77 | 46.77    |
| 2 neopreno | 27.7      | 53.14 | 25.74 | 53.14    |

En la Tabla 8 puede apreciarse como los coeficientes de ajuste de las 3 expresiones utilizadas para evaluar la esbeltez de las probetas ensayadas no difieren de manera significativa entre sí, denotándose únicamente una mejora mínima del ajuste para la expresión que vincula la altura de la probeta con el área (h/A). Sin embargo, ningún modelo de regresión lineal presenta valores de ajuste significativos, considerando que la bibliografía especializada (43) asume que un buen modelo de ajuste debe poseer un coeficiente  $R^2$  superior al 80%; lo cual no permite corroborar la 1° hipótesis propuesta.

#### REFERENCIAS

- (1) Rigassi, V. (1995). *Compressed earth blocks. Volume I. Manual of production*. Vieweg: GATE.
- (2) PROTERRA (2011). *Técnicas de construcción con tierra*. Bauru: FEB-UNESP/PROTERRA.
- (3) Guillaud, H. (2011, 22 de septiembre). Actuar a favor de un nuevo humanismo valorizando las arquitecturas de tierra. Trabajo presentado en el *XI Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*, Tampico, Tamaulipas.
- (4) Fontaine, L. y Anger R. (2009). *Batir en terre. Du graind de sable à l'architecture*. París: Belin.
- (5) Vázquez Espi, M. (2001). Construcción e impacto sobre el ambiente: El caso de la tierra y otros materiales. *Informes de la construcción*, 52(471), 29-43.
- (6) Salas Serrano, J. (1995). *Habiterra, exposición Iberoamericana de construcción con tierra*. Bogotá: Escala.
- (7) Roux Gutiérrez, R. (2010). *Los bloques de tierra comprimida (BTC) en zonas húmedas*. México D.F.: Plaza y Valdéz S.A.

#### 9. CONCLUSIONES

Tras evaluar los resultados y analizarlos desde el punto de vista estadístico, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- La resistencia media a compresión de las probetas de la serie A (BTC entero) es superior a la de las demás series; además, desde el punto de vista metodológico, la preparación de estas probetas es la más sencilla.
- La resistencia media a compresión de la serie B (medio BTC) es, para todos los casos, entre un 72 y un 81% inferior a la resistencia media a compresión de la serie A, presentando coeficientes de dispersión similares. Esto permite pensar en la posibilidad de homogeneizar los valores de resistencia media a compresión de ambas geometrías de probetas multiplicando la resistencia media a compresión obtenida tras ensayar medio bloque por un coeficiente de valor  $K=1.33$ , considerando que estas probetas poseen una resistencia media a compresión un 25% inferior que las probetas constituidas por un BTC entero.
- Por presentar la mitad del área neta que las probetas de la serie A, al ensayar las probetas de la serie B se reducen drásticamente las prestaciones de los equipos de ensayo requerido: suplementos metálicos con la mitad del tamaño, prensa hidráulica con menor capacidad de carga y marco reactivo menos robusto. En su conjunto, estas simplificaciones permiten realizar los ensayos en menor tiempo y reducir el costo del equipamiento necesario.
- La resistencia media a compresión de las probetas de la serie D es similar a la de la serie E, pero su coeficiente de variación es significativamente menor, lo cual fundamenta este método de preparación de probetas, propuesto por el Laboratorio de Geotecnia de la UTN FRFSF.
- El encabezado de las probetas con placas de neopreno no disminuyó la variabilidad de los resultados obtenidos, pero sí la resistencia media a compresión.

Finalmente, cumpliendo con los objetivos inicialmente propuestos, se recomienda emplear como probeta para los ensayos de resistencia a compresión no confinada de BTC en los laboratorios argentinos un bloque entero o medio bloque, ambos en posición horizontal, y alisar la superficie superior e inferior de las probetas “raspando” con espátula los encastres, sin encabezarlas. Finalmente, si se opta por ensayar medio BTC, el valor de la resistencia media a compresión determinado deberá afectarse por un coeficiente  $K=1.33$ , de manera tal de homogeneizar los resultados y poder contrastarlos con los obtenidos al ensayar bloques enteros.

- (8) Roux Gutiérrez, R. y Espuna Mújica, J. (2012). *Bloques de tierra comprimida adicionados con fibras naturales*. México D.F.: Plaza y Valdés S.A.
- (9) Bestraten, S., Hormías, E. y Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de la Construcción*, 63(523), 5-20. doi: 10.3989/ic.10.046
- (10) Cid Falceto, J. Fouad, A. y Ruiz Mazarrón, F. (2011, 24 de septiembre). Características mecánicas del BTC. Estudio de los ensayos a compresión. Trabajo presentado en *Congreso de arquitectura de tierra en cuenca de Campos 2010/2011*, Cuenca de Campos, Valladolid.
- (11) Guzmán, S. e Iñiguez, M. (2016). Metodología para elección de estabilizantes químicos para bloques de tierra. *Estoa*, 9(5), 151- 159. doi: 10.18537/est.v005.n009.12
- (12) Ruiz, G. et al (2018). A comprehensive study of mechanical properties of compressed earth blocks. *Construction and Building Materials*, 176, 566-572. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.077
- (13) González, A. y Cabrera, S. (2017, 12 de mayo). Aportes para correlacionar resistencia a compresión y erosión húmeda en bloques de tierra comprimida. Trabajo presentado en *el II Encuentro Latinoamericano y Europeo sobre Edificaciones y Comunidades Sustentables*, São Leopoldo, Río Grande.
- (14) IRAM (2005). *IRAM 12566-1 Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de tabiques y muros. Parte 1: Macizos*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- (15) IRAM (2005). *IRAM 12566-2 Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de tabiques y muros. Parte 2: Perforados y huecos*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- (16) IRAM (2018). *IRAM 11561-2 Bloques no portantes de hormigón*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- (17) IRAM (2012). *IRAM 11561-3 Bloques portantes de hormigón*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- (18) IRAM (2003). *IRAM 1701-1 Hormigón celular curado en autoclave (HCCA). Parte 1: Clasificación y requisitos*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- (19) INTI-CIRSOC (2007). CIRSOC 501 Reglamento Argentino de estructuras de mampostería. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles.
- (20) INPRES-INTI-CIRSOC (2016). INPRES CIRSOC 103-III Reglamento Argentino de para construcciones sismoresistentes. Parte III: Construcciones de mampostería. Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles.
- (21) MINITAB, LLC (2017). Minitab Statical Software.
- (22) SNZ (1998). NZS 4297 *Engineering Design of Earth Buildings*. Standards New Zealand.
- (23) SNZ (1998). NZS 4298 *Materials and workmanship for earth buildings*. Standards New Zealand.
- (24) SNZ (1998). NZS 4299 *Earth buildings not requiring specific design*. Standards New Zealand.
- (25) Cid Falceto, J. Mazarrón, F. y Cañas I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la Construcción*, 63(523), 159-169. doi: 10.3989/ic.10.011
- (26) ABNT (2012). ABNT NBR 8491 *Tijolo de solo-cemento. Requisitos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- (27) BIS (2002). IS 1725 *Specification for sol based blocks used in general building construction*. Bureau of Indian Standards.
- (28) AFNOR (2017). PR XP P13-901 *Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons. Définitions. Spécifications. Méthodes d'essai. Conditions de réception*. Association française de Normalisation.
- (29) ICONTEC (2004). NTC 5324 *Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de Ensayo. Condiciones de Entrega*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- (30) KEBS (1999). KS 02-1070 *Specifications for stabilized soil blocks*. Kenya Bureau of Standards.
- (31) CID (2008). NMAC 14.7.8 New México Earthen Buildings Materials Code. Construction Industries Division (CID) of the Regulation and Licensing Department.
- (32) ONNCCE (2015). NMX-C-508 *Industria de la Construcción. Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal. Especificaciones y métodos de ensayo*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- (33) AENOR (2008). UNE 41410 *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo*. Asociación Española de Normalización
- (34) Olivier, M., Mesbah, A. y El Gharbi, Z. (1997). Mode opératoire pour la réalisation d'e essais de résistance sur blocs de terre comprimée. *Materials and Structures*, 30, 515-517.
- (35) OSRT (2014). RTS 91.02.01 *Urbanismo y construcciones en lo relativo al uso del sistema constructivo de adobe para viviendas de un nivel*. Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica.
- (36) RNC (2000). Norma Técnica de Edificaciones E.080 *Adobe*. Reglamento Nacional de Construcciones de Perú
- (37) IRAM (1982). IRAM 10509 *Mecánica de suelos. Clasificación se suelos, con propósitos ingenieriles*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- (38) IRAM (2017) IRAM 50000 *Cementos para uso general. Composición y requisitos*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- (39) IRAM (1985). IRAM 1508 *Cal hidráulica de origen natural, hidratada en polvo, para construcción*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- (40) IRAM (2005). IRAM 12737 *Mampostería de ladrillos y bloques cerámicos. Método para determinar la resistencia a la compresión de muros mediante el ensayo de pilas de mampostería*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- (41) INTI-CIRSOC (2005). CIRSOC 201 *Reglamento Argentino de estructuras de hormigón*. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles.

- (42) IRAM (2016). IRAM 1709 *Hormigón de cemento. Método y requisitos para el uso de placas de elastómero no adheridas, empleadas para la determinación de la resistencia a la compresión de probetas y testigos cilíndricos de hormigón endurecido*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- (43) Walpole, R. y Myers, R. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Ciudad de México: Pearson Education
- (44) Abuert, J. et al (2013). *An earth block with a compressive strength higher than 45 MPa!*. *Construction and Building Materials*, 47, 366-369. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.05.068
- (45) Volhard, F. (2016). *Construire en terre allégée*. Arles: Actes Sud.

\* \* \*