

ASISTENCIA TÉCNICA A UNA FÁBRICA DE BTC EN ROSARIO, ARGENTINA

Gonzalo Darras¹, Santiago Cabrera², Jerónimo Kreiker³, Anabela Guillarducci⁴

¹Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra, UTN FRSF, Argentina, gonzalo.darras@frsf.utn.edu.ar; ²spcabrera@outlook.com

³Centro Experimental de la Vivienda Económica, CONICET, Argentina, jkreiker@ceve.org.ar

⁴Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda, UTN FRSF, Argentina, aguillarducci@frsf.utn.edu.ar

Palabras clave: producción, resistencia, durabilidad, calidad

Resumen

En el año 2023 una cooperativa de trabajo comienza a producir bloques de tierra comprimida (BTC) en la ciudad de Rosario, Argentina, y se pone en contacto con el Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN FRSF) para solicitar su asistencia técnica y optimizar su proceso de fabricación y la calidad final de los BTC que producen. Para ello se realizó una visita a la planta de producción y se capacitó in-situ a su personal, profundizándose en los aspectos teórico-prácticos de las diferentes etapas de fabricación de estos bloques. Se propuso además una nueva distribución en planta que permita optimizar el flujo de materiales dentro de la fábrica. En una segunda etapa se ensayaron en laboratorio los BTC producidos y se determinaron sus dimensiones efectivas, su resistencia media a compresión y su resistencia a erosión húmeda por pulverizado de agua a presión. El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de las actividades llevadas a cabo por el Grupo de Investigación tendientes a lograr una optimización del proceso productivo de los BTC y las propiedades físicas y mecánicas de estos. Como resultado principal, pudo determinarse que la resistencia media a compresión de los BTC ensayados es superior recomendada por la Red Argentina de Construcción con Tierra, y que éstos no se ven afectados de manera significativa por el ensayo de erosión húmeda. Además, en lo que respecta a la estabilidad dimensional de los BTC, a pesar de encontrarse una variación de altura entre bloques esta es inferior a 1 mm, cumpliendo con las tolerancias dimensionales estipuladas por la normativa internacional.

1 INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios en el año 2010, el grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, además de llevar adelante diferentes líneas de investigación, realiza servicios a terceros y actividades de vinculación tecnológica con organizaciones tanto del sector público como privado. Entre ellas se destacan las actividades de asistencia técnica a fábricas de bloques de tierra comprimida o BTC (Benvenuto et al., 2019; Cabrera et al., 2021, 2023; Darras et al., 2022; Darras; Cabrera, 2023).

El BTC es un mampuesto fabricado mediante la compresión de una mezcla de tierra en consistencia semisólida, generalmente estabilizada con cal o cemento, en el interior de una prensa específicamente diseñada para tal fin, cuyo accionamiento puede ser manual o automatizado, dependiendo del nivel de producción requerido. La forma de estos bloques es variada y depende de la matriz empleada durante su fabricación, pudiendo ser macizos, huecos o encastrables (Cabrera, 2022). El desarrollo técnico de la construcción con BTC en Argentina cuenta con una larga trayectoria, remontándose los primeros antecedentes a las obras realizadas por el Instituto del Cemento Portland Argentino en la década del 1940, incluso antes de la invención de la prensa CINVA-RAM (Galindo-Díaz et al., 2023). Sin embargo, su empleo se intensificó durante los años 1980, motivado por el inicio de su investigación en ámbitos científicos y académicos y su utilización en la construcción de viviendas rurales impulsadas por organismos estatales (Dorado et al., 2021).

En este contexto, en el año 2023, una cooperativa de trabajo comienza a producir BTC en la ciudad de Rosario, Argentina. Luego de seis meses de iniciada su producción, detectaron algunos inconvenientes en su proceso productivo y en la resistencia final de los bloques que producen, motivo por el cual, en noviembre de ese año se contactan con el Grupo de Investigación de la UTN FRSF para solicitar su asistencia técnica y optimizar su proceso de fabricación y la calidad final de los BTC que producen.

El objetivo de este trabajo consiste en presentar las actividades llevadas a cabo por el Grupo de Investigación tendientes a mejorar el proceso productivo de los BTC fabricados por una cooperativa y la calidad de estos, optimizando sus propiedades físicas y mecánicas.

2 METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología aplicada para dar respuesta a las solicitudes de la Cooperativa. Por un lado, se expone el conjunto de actividades realizadas in situ y el análisis para la optimización del proceso productivo, y por otro, los ensayos y actividades correspondientes para evaluar y mejorar características fundamentales de calidad en el producto.

2.1 Optimización del proceso productivo

En una primera instancia se realizó in situ un relevamiento de equipos disponibles, en el cual se verificó todo el equipamiento adquirido por la Cooperativa para la fabricación de BTC. Durante este relevamiento se verificó además el correcto funcionamiento y puesta a punto de los equipos y herramientas.

Aprovechando la jornada de trabajo en fábrica, se efectuó una capacitación del personal de la planta, durante la cual se profundizó el conocimiento tanto de las etapas clave del proceso productivo de este tipo de bloques, como del uso seguro y eficiente de equipos y herramientas.

Finalmente, se evaluó la distribución en planta con el objetivo de identificar potenciales cambios que permitan optimizar el espacio, las instalaciones y servicios de la nave industrial. De esta manera, se buscó hacer más eficiente el proceso, mejorando la capacidad de producción con los recursos disponibles y, además, disminuir las fallas en el producto.

2.2 Calidad del BTC

Para mejorar características esenciales en la calidad del BTC se realizaron ensayos dimensionales, de resistencia a compresión y resistencia a erosión húmeda sobre los bloques suministrados por la Cooperativa.

Para la realización de los ensayos propuestos, la Cooperativa entregó al Grupo de Investigación una serie de 11 BTC, los cuales pueden apreciarse en la figura 1. En este punto es importante mencionar que el muestreo fue realizado por integrantes de la Cooperativa respetando la representatividad de la muestra, incluyendo bloques de distintas partidas de producción.



Figura 1. BTC entregados por el comitente

Con intenciones de verificar la estabilidad dimensional de los BTC, se realizó sobre los 11 bloques de la serie la determinación de sus dimensiones efectivas. Para ello se midieron con calibre el largo, ancho y alto de cada bloque. Luego se determinaron las dimensiones promedio de la serie y se compararon con las dimensiones nominales informadas por el fabricante y con las tolerancias recomendadas por la normativa argentina para ladrillos comunes (IRAM, 2005) y por la norma española para BTC (AENOR, 2008).

Además, luego de permanecer 24 h en una estufa a 105 °C para garantizar la constancia de peso, todos los BTC fueron pesados para determinar la masa promedio de la serie y su desviación estándar. Luego fueron seleccionados de manera aleatoria 5 BTC, los cuales se cortaron en 2 mitades, empleando para ello una cierra circular de banco.

De las 10 mitades, se apartaron 8 para la realización del ensayo de resistencia a compresión simple y 2 mitades para el ensayo de resistencia a la erosión húmeda por pulverizado de agua a presión (SNZ, 1998). A las probetas destinadas al ensayo de resistencia a compresión se les eliminó el reborde superior (macho) empleando una espátula metálica y se rellenó el encastre inferior (hembra) con un mortero de encabezado constituido por una parte de arena, una parte de cemento portland y media parte de yeso. En la figura 2 puede apreciarse la realización de esta tarea.



Figura 2. Relleno con mortero del encastre inferior de los medios BTC

Para evaluar la resistencia media a compresión de los BTC se realizó el ensayo estipulado por la norma española UNE 41410 (AENOR, 2008) sobre 8 probetas -medios bloques- aplicando carga a velocidad constante hasta alcanzar la rotura. Luego, dividiendo la carga de rotura de cada probeta por su área neta (sin descontar la superficie de los agujeros) se determinó su resistencia a compresión.

Para la realización de este ensayo se empleó un gato hidráulico de 20 tnf y una celda de carga con 20 tnf de capacidad y 5 kgf de apreciación, los cuales pueden apreciarse en la figura 3.



Figura 3. Realización del ensayo de resistencia a compresión sobre una probeta

Para evaluar la resistencia a la intemperie de los BTC aportados por el comitente, se realizó sobre 2 medios bloques una variante del ensayo de erosión por pulverizado de agua a presión estipulado por la norma NZS 4298. El ensayo se realizó a una presión de 1 PSI durante 60 minutos, a una distancia de 20 cm. En la figura 4 puede apreciarse la realización de este ensayo.



Figura 4. Realización del ensayo de resistencia a erosión húmeda por pulverizador de agua a presión

3 RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Optimización del proceso productivo

Luego de realizar el relevamiento primario, pudo verificarse que el equipamiento adquirido por la Cooperativa para la fabricación de BTC se encuentra en óptimas condiciones. Como puede apreciarse en la figura 5, en las instalaciones de la Cooperativa se dispone de:

- Maquina moledora de tierra y homogeneizadora de mezcla húmeda (1)
- Mezcladora de volteo de 200 L (2)
- Prensa hidráulica para la fabricación de BTC (3)
- Compresor de aire (4)
- Zorra hidráulica



Figura 5. Maquinaria adquirida por la Cooperativa para la fabricación de BTC

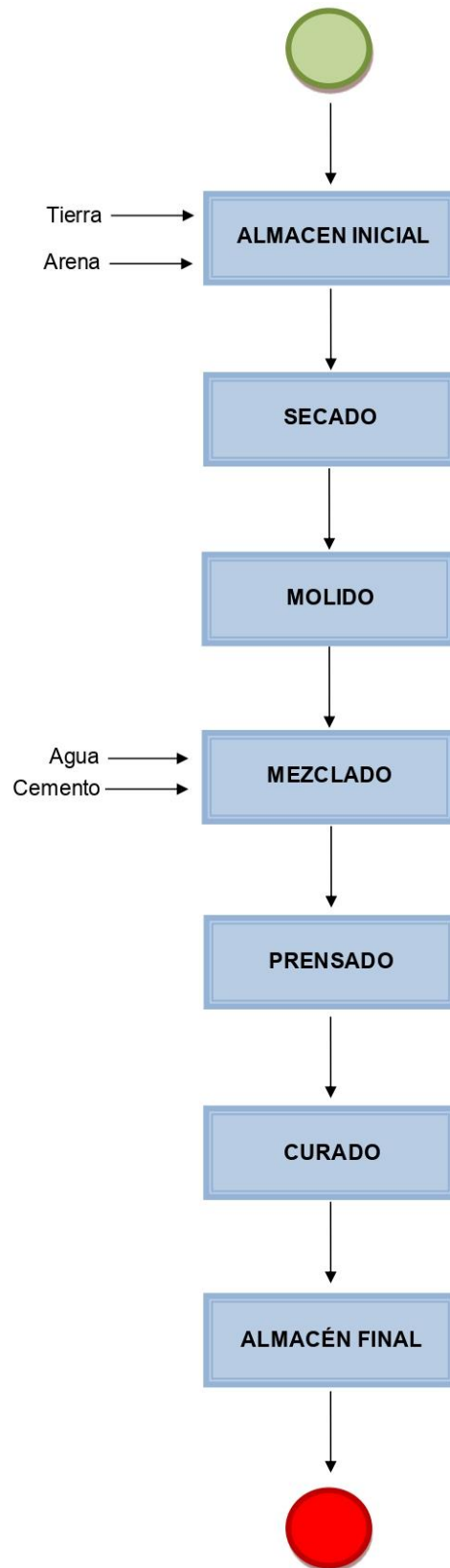


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de producción de los BTC

En base a dicho relevamiento, se propuso una nueva distribución en planta que optimice la recepción de materiales, y la continuidad del proceso de producción. Esta modificación no

requiere de una inversión económica significativa y permitiría optimizar el proceso de fabricación de BTC, disminuyendo significativamente el tiempo destinado al acarreo de materiales y bloques. Las modificaciones propuestas incluyeron:

- Trasladar el sector de acopio de materia prima junto al portón de ingreso.
- Instalar una cañería de agua, ya que originalmente la mezcladora se encontraba junto a una canilla de agua para facilitar el acceso a la misma. De esta manera, fue posible reubicar la mezcladora.
- Reorganizar la ubicación del resto de las máquinas de manera tal que no haya interferencias durante la producción, garantizando el correcto flujo de materiales.

Por otra parte, se efectuó la jornada de capacitación durante la cual se profundizó el conocimiento en las siguientes etapas del proceso productivo: recepción y almacenamiento de la tierra; secado de la tierra; molienda y tamizado de la tierra; preparación de la mezcla; proceso de prensado; curado de los bloques; secado y almacenamiento final.

Se resolvieron además problemáticas puntuales manifestadas por los fabricantes, asociadas principalmente a la incorporación del agua de mezclado (como determinar la cantidad óptima de agua), la correcta verificación dimensional de los BTC producidos y la etapa de curado de los bloques (figura 7).



Figura 7: Jornada de capacitación a operarios de la fabrica de BTC de la Cooperativa

3.2 Calidad del BTC

Los resultados de las mediciones de la masa y las dimensiones efectivas de cada BTC pueden apreciarse en la tabla 1, donde se exponen además los valores promedio de toda la serie, junto con su desviación estándar y coeficiente de variación. En la tabla 2 se resumen los resultados del ensayo de resistencia a compresión simple realizado sobre cada probeta, considerando en todos los casos la resistencia bruta (sin descontar el área de los orificios) de los BTC ensayados. Además de la resistencia individual de cada medio bloque, se exponen la resistencia promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Finalmente, en la figura 8 se presenta la superficie expuesta de una de las probetas sometidas al ensayo de erosión húmeda por pulverizado de agua a presión, donde puede apreciarse que la misma no fue afectada por el agua, presentando ambas probetas luego del ensayo profundidades de erosión inferiores a 1,5 mm.

Tabla 1: Resultados de las mediciones efectuadas sobre cada BTC

BTC	Peso (g)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)		
				Lado A	Lado B	Dif. Entre lados
1	2616	250	124,76	66,60	66,48	0,12
2	2405	249	124,45	64,42	64,20	0,22
3	2522	249	124,7	65,70	66,80	1,10
4	2730	250	125,38	66,50	67,20	0,70
5	2534	249	124,67	65,30	66,80	1,50
6	2393	249	124,37	64,44	65,30	0,86
7	2737	249	125	67,66	66,24	1,42
8	2618	249	124,82	66,90	65,40	1,50
9	2686	250	124,78	65,90	66,58	0,68
10	2499	249	124,63	65,50	66,28	0,78
11	2922	250	124,67	65,46	65,34	0,12
Prom.	2606	249,36	124,75	65,95		0,82
Sd	158	0,50	0,27	0,93		
Cv	6,1%	0,2%	0,2%	1,4%		

Tabla 2: Resultados de los ensayos de resistencia a compresión simple

Id	Área bruta (cm ²)	Carga (kgf)	Resistencia bruta (kgf/cm ²)
1	140,80	3900	27,70
2	132,00	3450	26,14
3	138,60	2605	18,80
4	136,40	3930	28,81
5	139,70	1550	11,10
6	129,80	2200	16,95
7	135,30	2050	15,15
8	134,20	3900	29,06
		Prom.	21,71
		Sd	7,04
		Cv%	32,42%



Figura 8: Resultados del ensayo de resistencia a la erosión por pulverizado de agua a presión sobre las diferentes series de probetas

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras evaluar los resultados de los ensayos realizados sobre los BTC, pudo arribarse a las siguientes conclusiones:

- Los bloques aportados por el comitente poseen una longitud y ancho efectivos de $249,4 \pm 0,5$ mm y $124,7 \pm 0,27$ mm respectivamente, los cuales difieren en menos de 0,6 mm de la longitud y ancho nominales indicados por el fabricante, de 250 y 125 mm respectivamente. Asimismo, la altura efectiva de los bloques es de $65,9 \pm 0,9$ mm, presentando diferencias bloque a bloque y dentro de cada bloque (una esquina más alta que la otra). Sin embargo, esta diferencia de alturas es inferior a 1 mm, motivo por el cual se encuentra dentro de variaciones esperables, cumpliendo con las tolerancias dimensionales estipuladas por la normativa internacional para BTC y la norma argentina IRAM 12566-1 para ladrillos cerámicos macizos.
- La resistencia media a compresión de los BTC ensayados es de $(21,71 \text{ kgf/cm}^2)$, superior a los 20 kgf/cm^2 recomendados por la Red Argentina de Construcción con Tierra (Red Protierra Argentina, 2020), y exigidos por las normas neozelandesa (SNZ, 1998), francesa (AFNOR, 2017) y estadounidense (NMAC, 2009); y a los 13 kgf/cm^2 estipulados por la norma española para BTC no portante.
- Ninguna de las probetas ensayadas fue afectada de manera significativa por el ensayo de erosión húmeda por pulverizador de agua a presión, lo cual permite afirmar que los BTC fabricados por el comitente son aptos para su utilización en muros exteriores sin necesidad de protección adicional (revoques o aleros)

5. CONCLUSIONES

Como principal conclusión de este trabajo, puede indicarse que, en relación con el proceso productivo, la planta mejorada de la Cooperativa cuenta con una distribución, recursos e instalaciones capaces de producir con un nivel de actividad continuo de aproximadamente 250 BTC por día, nivel acorde a las expectativas de la Cooperativa a la hora de montar la planta de producción.

Además, los resultados de los ensayos realizados sobre los BTC confirman que la calidad de estos permite comercializarlos en el mercado local y regional, satisfaciendo los requerimientos mínimos establecidos por la normativa nacional e internacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR (2008). UNE 41410. Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Asociación Española de Normalización y Certificación
- AFNOR (2017). XP P13-901: Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons: définitions - spécifications - méthodes d'essais - conditions de réception. Association Française de Normalisation
- Benvenuto, C.; Darrás, G.; Cabrera, S.; González, A. (2019). Análisis de una unidad productiva para la fabricación industrializada de bloques de tierra comprimida (BTC). XIX Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción Con Tierra (SIACOT).
- Cabrera, S. (2022). Estudio de las 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. [Tesis doctoral, Universidad Tecnológica Nacional]. <http://hdl.handle.net/20.500.12272/6793>
- Cabrera, S.; González, A.; Noguera, S. (2021). El mapeo como herramienta para la difusión e intercambio de datos del BTC en Argentina. IV Encontro Latino-Americano e Europeu Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis.

Cabrera, S.; Losa, N.; Darrás, G. (2023). Fabricación de mampuestos de tierra con reciclado de residuos de la minería de arena en Río Negro, Argentina. *Revista Tecnología y Ciencia*, 48, 22–40. <https://doi.org/10.33414/rtyc.48.22-40.2023>

Darras, G.; Benvenuto, C.; Cabrera, S.; González, A. (2022). Asesoramiento técnico a una fábrica de bloques de tierra comprimida en la provincia de Santa Fe, Argentina (Red PROTERRA, Ed.).

Darras, G.; Cabrera, S. (2023). Certificado de aptitud técnica para muros de bloques de tierra comprimida. In Red PROTERRA (Ed.), 21° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. Red PROTERRA.

Dorado, P.; Cabrera, S.; Rolón, G. (2021). Contemporary difficulties and challenges for the implementation and development of compressed earth block building technology in Argentina. *Journal of Building Engineering*.

Galindo-Díaz, J.; Escorcia-Oyola, O.; González-Calderón, A. J. (2023). El Centro Interamericano de Vivienda - CINVA y los orígenes de la experimentación con bloques de tierra comprimida (BTC) en la vivienda social (1953-1957). *Informes de La Construcción*, 75(570), e503. <https://doi.org/10.3989/ic.6183>

IRAM (2005). IRAM 12566-1: Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de tabiques y muros. Parte 1: Macizos. Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

NMAC (2009). NMAC 14.7.4: New Mexico earthen building materials code.

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. New Zealand Standards

AUTORES

Gonzalo Darras: Ingeniero industrial por la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN FRSF), Argentina. Becario doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

Santiago Cabrera: Ingeniero Civil y Doctor en Ingeniería por la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN FRSF), Argentina. Actualmente es codirector del Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra de la UTN FRSF; codirige la Red Argentina de Construcción con Tierra PROTIERRA e integra la Red Iberoamericana PROTERRA.

Jerónimo Kreiker: Doctor en Ciencias Químicas y Especialista en Ingeniería en Calidad. Investigador Independiente de CONICET y actualmente vicedirector del Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE-CONICET).

Anabela Guillarducci: Licenciada en Química y Doctora en Química por la Universidad Nacional del Litoral. Directora del Área de I+D+i del Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda, de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN FRSF), Argentina.