

## **BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC) ESTABILIZADOS CON CAL. EVALUACIÓN DE SU RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y EROSIÓN HÚMEDA.**

Santiago Cabrera, Depto. de Ingeniería Civil – UTN Facultad Regional Santa Fe  
Ariel González, Depto. de Ingeniería Civil – UTN Facultad Regional Santa Fe  
Juan P. Sosa, Depto. de Ingeniería Civil – UTN Facultad Regional Santa Fe  
Pablo Costamagna, Laboratorio de Geotecnia – UTN Facultad Regional Venado Tuerto

### **Resumen**

El Bloque de Tierra Comprimida o BTC es un mampuesto de fábrica producido mediante la compresión de tierra empleando prensas especialmente diseñada para dicha tarea. Si bien el material de base lo constituye la tierra, se admite la adición de estabilizantes para mejorar las características físicas del bloque, aumentando su resistencia a la compresión y al intemperismo. Es objetivo de este trabajo contrastar las propiedades mecánicas de los BTC estabilizados mediante el empleo de cal con la de sus homólogos estabilizados con cemento, a fin de evaluar la factibilidad de reemplazar de manera total o parcial a este último en la fabricación de los BTC, lo cual reduciría significativamente el impacto ambiental y consumo energético asociado a la fabricación de estos bloques.

Los resultados obtenidos hasta el momento indican que, a pesar de que la resistencia a compresión de los BTC estabilizados con cal es significativamente menor a la de los bloques consolidados con cemento, su resistencia al intemperismo es igual, e incluso superior a la de sus homólogos mejorados con cemento.

### **Introducción**

El Bloque de Tierra Comprimida o BTC es un mampuesto fabricado mediante el prensado de tierra contenida dentro de un molde, empleando para ello prensas mecánicas o hidráulicas, de accionamiento manual para bajas demandas de producción o automáticas para sistemas industrializados (Fontaine, 2009). Según Julián Salas (1995), 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.

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 su fabricación - la cual los hace más resistente a la erosión y a la acción del agua -; además, la posibilidad de ser reciclado prácticamente en su totalidad (Roux, 2012).

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 adicionan algunos aditivos estabilizantes como la cal o el cemento, estos representan un porcentaje muy bajo de su composición (Bestraten, 2011). Otra ventaja es que no se precisa de mano de obra altamente calificada para su elaboración, y su costo de fabricación es menor al de sus pares “tradicionales” (como el ladrillo cerámico común o hueco y el bloque de hormigón) teniendo en cuenta la poca energía utilizada en su producción, y que su fabricación se hace aprovechando los recursos del sitio (Vázquez, 2001).

Si bien el material de base para estos bloques es la tierra, la misma admite la incorporación de estabilizantes minerales (generalmente cal o cemento Portland) que permitan mejorar las características físicas del mismo, aumentando su resistencia a la compresión, al intemperismo y reduciendo las fisuras provocadas por la retracción de la arcilla (Roux, 2010).

### **Empleo de la cal como estabilizante**

Diversos aditivos han sido empleados en la estabilización de los BTC: desde sustancias naturales como la sábila de mucilago (Roux, 2010), la caseína y la celulosa (Vissac, 2017) hasta derivados del petróleo, como lo son las emulsiones asfálticas. Sin embargo, desde los orígenes del BTC, el estabilizante por excelencia ha sido el cemento portland, tal es el caso que en numerosas regiones del país y de Latinoamérica suele llamarse a los bloques de tierra comprimida como

“bloques de suelo cemento”, jerga muy influenciada por los ingenieros de caminos.

A pesar de las buenas prestaciones que poseen los BTC estabilizados con cemento, debe considerarse que, además del elevado costo económico de éste, su fabricación requiere de elevados procesos de transformación térmica (superándose los 1400°C), liberando además enormes cantidades de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Es por este motivo que en el laboratorio de geotecnia de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN FRSF), en el marco de una tesis doctoral financiada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) y de un Proyecto de Investigación y Desarrollo homologado por Rectorado de la UTN, se está evaluando el desempeño de BTC estabilizados con aditivos no cementicios, dándole mayor preponderancia a los aportes potenciales de la cal - dado el menor impacto ambiental que presenta en contraste con el cemento - ya que la utilización de ésta en la estabilización del suelo, y especialmente de suelos finos, data de épocas muy antiguas y se mantiene vigente en la actualidad, como lo demuestra el anteproyecto de norma mexicana NMX C 508, particularmente abocada a los procedimientos de ensayo y control para BTC estabilizados con cal (ONCCE, 2014).

Se ha demostrado reiteradas veces que la acción de la cal en la estabilización del suelo arcilloso puede advertirse en 2 etapas: en una primera etapa, casi inmediata a la incorporación de la cal, se produce una reducción del índice de plasticidad del suelo por incremento de su límite plástico, lo cual lo vuelve menos sensible a los efectos perjudiciales del agua y particularmente a los cambios volumétricos. Ya en edades más avanzadas se produce un significativo aumento de la resistencia mecánica del suelo, lo cual se atribuye a la formación de nuevos compuestos cementantes (silicatos de calcio y aluminatos de calcio hidratados) al recombinarse los iones de calcio aportados por la cal con los minerales arcillosos del suelo (Dyiamond, 1971).

## **Objetivos**

El objetivo general de las investigaciones llevadas a cabo por el laboratorio de geotecnia de la UTN FRSF, dentro de las cuales se enmarca este trabajo, es el siguiente: Reemplazar por cal al cemento portland empleado en la estabilización de los Bloques de Tierra Comprimida, de manera total o parcial. Para ello, se proponen como objetivos particulares los siguientes:

1. Evaluar la resistencia a compresión de los BTC estabilizados con cal;
2. Evaluar la resistencia a erosión húmeda de los BTC estabilizados con cal;
3. Contrastar los resultados de los ensayos realizados sobre los BTC de suelo-cal con los de sus homólogos estabilizados con cemento.

## **Materiales y métodos**

### *Hipótesis*

*La resistencia a compresión e intemperismo de los bloques de tierra comprimida estabilizados con cal es igual a la de sus homólogos estabilizados con igual proporción de cemento.*

### *Metodología*

Para evaluar la hipótesis planteada se produjeron diversas series de BTC, cada una de ellas estabilizadas con cal o cemento en diversas proporciones, realizándose sobre ellas 3 ensayos diferentes: Resistencia a la compresión, resistencia a erosión húmeda por caída de agua y resistencia a la erosión por pulverizado de agua a presión. Finalmente, se comparan los resultados obtenidos.

### *Producción de los Bloques de Tierra Comprimida*

Para el desarrollo de este trabajo, fueron confeccionadas 10 series distintas de BTC empleando tierra de la zona, estabilizada con cemento portland (CPC 40 marca Holcim) y cal hidráulica (marca Casique) en diversas proporciones. Así mismo, en la fabricación de los mismos fueron empleadas 3 prensas diferentes: 2 de accionamiento manual (CINVA RAM y ALTECH GEO 50) y 1 de accionamiento hidráulico (Eco Brava). Las dimensiones de los bloques producidos por las prensas manuales fueron de 14 x 29 x 7.5 cm, mientras que los bloques elaborados por la prensa hidráulica fueron de 14 x 25 x 7.5 cm; todos ellos macizos.

La tierra empleada en la fabricación de los BTC provino de la comuna de Monte Vera, lindante con la ciudad de Santa Fe, y puede clasificarse según el sistema SUCS como un limo arcilloso de baja plasticidad (CL ML) con bajos contenidos de arena fina (un 25%).

Para evaluar la resistencia mecánica y al intemperismo de los BTC estabilizados con cal y cemento portland, sobre éstos se realizaron 3 tipos de ensayos: resistencia a compresión simple, erosión acelerada por caída de agua y erosión por pulverizado de agua a presión. A continuación se explican los procedimientos empleados en cada ensayo.

#### *Resistencia a compresión*

El procedimiento adoptado para determinar la resistencia a compresión simple de los bloques de tierra comprimida fue el estipulado por la norma española UNE-EN 772-1.

La preparación de las probetas se realiza cortando de manera transversal cada bloque en dos partes iguales, sobreponiendo las dos mitades correspondientes de cada uno por la cara a pegar - previamente humedecida - y teniendo cuidado de invertirlas, es decir que la cara de una quede en el mismo plano de la sección de corte de la otra. Se pegan las dos mitades empleando una capa de mortero 10 mm de espesor, el cual está constituido por una mezcla de tierra y cemento con medidas de 1 parte de cemento por 4 partes de tierra, de manera que el ensayo se pueda hacer después de 48 horas de curado.

Una vez endurecido el mortero se miden las dimensiones de la superficie superior e inferior de las probetas, calculando para cada una de ellas la superficie promedio. Se ubica la probeta sobre el plato de carga, verificando que la misma se encuentre perfectamente centrada; se aplica la carga de manera continua y sin movimientos bruscos a una velocidad constante de 0.02 mm/s hasta alcanzar la rotura de la probeta. Se registra la máxima carga soportada durante el ensayo y luego se divide por la sección bruta de la probeta, obteniendo así la tensión de rotura, en Kg/cm<sup>2</sup>.

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 y dos suplementos metálicos empleados para transmitir de manera uniforme las cargas aplicadas sobre las caras de contacto. En las Figuras 1 y 2 puede apreciarse el instrumental empleado durante la ejecución del ensayo y la falla de una probeta.



Fig. 1. Ensayo de resistencia a compresión simple



Fig. 2. Rotura de una probeta tras ser ensayada a compresión

#### *Erosión acelerada por caída de agua*

Tanto el equipo como el procedimiento empleados para la realización de este ensayo fueron los establecidos por la norma española UNE 41410, según el cual, se deja caer una corriente continua de agua sobre el bloque a través de un tubo de cristal de 5 mm de diámetro, conectado a un tanque de agua de nivel constante, cuya cabecera se encuentra a 1.5 m sobre la cara expuesta de la probeta, la cual se mantiene inclinada 27° respecto a la horizontal.

Una vez alcanzado el régimen estacionario del equipo de ensayo, se corrobora que la distancia entre la cara expuesta del bloque y el conducto de descarga sea de exactamente 100 cm. La probeta debe colocarse de manera tal que el lado expuesto a la corriente de agua sea una de las caras laterales. A partir de este momento comienza a correr el tiempo de ensayo, el cual culmina luego de 120 minutos. Finalmente, en la Figura 3 puede apreciarse la realización de este ensayo y el equipo empleado para el mismo.

#### *Erosión por pulverizado de agua a presión*

Para la realización de este ensayo fue empleado un equipo desarrollado íntegramente por el laboratorio de geotecnia de la UTN FRSF, el cual consta de una bomba de agua de 1 HP de potencia, una llave de cierre esférico que permite regular la presión del agua erogada y un pulverizador de agua. Dentro del recinto hermético se dispone de una base móvil que permite regular la distancia entre la probeta y el pulverizador de agua; en la Figura 4 puede apreciarse el equipo empleado. Los parámetros del ensayo (tiempo de exposición, distancia y presión) fueron los estipulados por la norma india IS 1725.

Antes de colocar la probeta dentro del equipo debe corroborarse que la presión de agua erogada por el mismo sea la adecuada (1 bar). Luego, se introduce la probeta dentro del equipo, ajustando la posición de la base de apoyo hasta que la distancia entre la cara expuesta del bloque y la fuente de agua presurizada sea de exactamente 20 cm. Al igual que en el ensayo de erosión acelerada por caída de agua, la probeta debe colocarse de manera tal que el lado expuesto al chorro de agua presurizado sea una de las caras laterales. A continuación, se **acciona** el dispositivo presurizador de agua y comienza a correr el tiempo de ensayo, el cual es de 120 minutos. En la Figura 4 puede apreciarse la realización de este ensayo.



Fig. 3: Realización del ensayo erosión por caída de agua SEAT



Fig. 4: Ensayo de erosión por caída de agua SEAT en progreso

Siguiendo los métodos de evaluación del nivel de resistencia a la erosión estipulados por las normas de ensayo empleadas, se determinó la máxima profundidad alcanzada por el patrón de erosión generado en cada probeta empleando un calibre con apreciación de 0.05 mm.

Además de evaluar el nivel de resistencia a la erosión húmeda de las probetas ensayadas por los métodos descritos, se empleó un método de evaluación gráfica desarrollado por el laboratorio de geotecnia de la UTN FRSF, mediante el cual se contrastan los “dibujos de erosión” ocurridos sobre la cara expuesta de cada probeta tras ser ensayadas con patrones de comparación normalizados; motivo por el cual, una vez determinada la máxima profundidad alcanzada por la erosión, se registró de manera fotográfica el patrón de erosión generado en cada una de ellas siguiendo un riguroso protocolo: se coloca la probeta sobre una base blanca, inclinándola 15° respecto a la horizontal. Se posiciona la cámara sobre la probeta (a 15 cm de la misma) y se toma la fotografía activando el flash de la cámara (ver imágenes de la Tabla 1).

### Resultados

En la Tabla 1 se exponen los patrones de erosión generados sobre cada serie de probetas tras la realización de los ensayos de erosión húmeda, mientras que en las Tablas 2 y 3 se resumen los resultados de los mismos, según la proporción y tipo de estabilizante empleado.

Tabla 1. Resumen gráfico de los ensayos de erosión

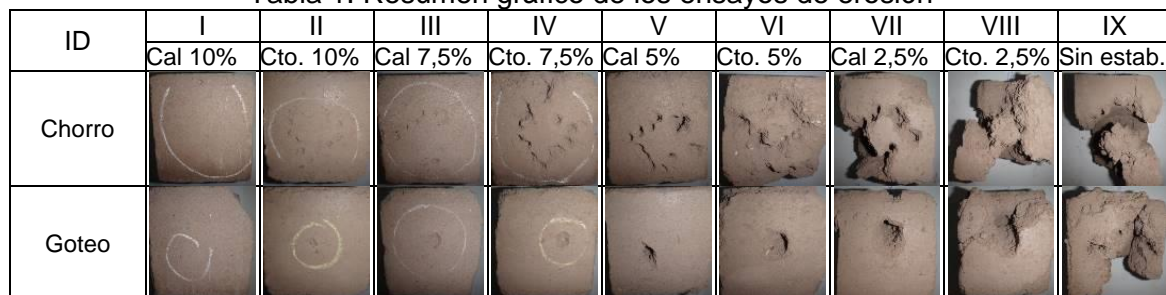


Tabla 2. Erosión por pulverizado de agua a presión. Resultados

ID	Estabilizante		N° de probetas	Prof. de erosión (mm)	
	Tipo	(%)		Prom.	Desv.
I	Cal	10,0	4	1,8	0,4
II	Cemento	10,0	4	4,5	1,7
III	Cal	7,5	5	2,4	0,5
IV	Cemento	7,5	5	8,6	1,2
V	Cal	5,0	3	22,0	3,0
VI	Cemento	5,0	4	24,0	4,7
VII	Cal	2,5	5	60,0	15,0
VIII	Cemento	2,5	5	68,0	18,0

Tabla 3. Erosión por caída de agua. Resultados

ID	Estabilizante		N° de Probetas	Prof. de erosión (mm)	
	Tipo	(%)		Prom.	Desv.
I	Cal	10,0	5	0,20	0,40
II	Cemento	10,0	4	2,50	0,87
III	Cal	7,5	3	1,00	0,82
IV	Cemento	7,5	4	2,75	0,43
V	Cal	5,0	3	15,00	8,16
VI	Cemento	5,0	4	20,00	4,64
VII	Cal	2,5	3	44,3	8,1
VIII	Cemento	2,5	3	41,7	8,6

Finalmente, en la Tabla 4 se exponen los resultados de los ensayos de resistencia a compresión realizados sobre cada serie de probetas.

Tabla 4. Resultados de los ensayos de compresión

Estabilizante	Porcentaje	Prensa	N° de probetas	$\sigma$ media [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Sd [Kg/cm <sup>2</sup> ]
Cemento	10 %	Hidráulica	32	13.4	4.59
Cemento	10 %	Manual	6	16.37	6.65
Cal	10 %	Hidráulica	12	4.24	1.12
Cal	10 %	Manual	10	4.15	2.36

### Discusión de resultados

En la Tabla 2 puede apreciarse como, todas las probetas estabilizadas con cal resistieron mejor el ensayo de erosión por pulverizado de agua a presión que sus homólogas estabilizadas con el mismo porcentaje de cemento, presentando profundidades de erosión menores. Así mismo, en la Tabla 3 se observa el mismo patrón en las probetas ensayadas a erosión acelerada por caída de agua<sup>(\*)</sup>.

En las Tablas 1 y 2 puede observarse además la gran incidencia que posee en la resistencia la erosión húmeda (para ambos ensayos) la cantidad de estabilizante empleado durante la fabricación de los BTC, y como, para porcentajes inferiores al 5%, su influencia es prácticamente nula. Esto puede apreciarse mejor en las figuras de la Tabla 1, en la cual pueden contrastarse los patrones de erosión de las probetas estabilizadas con 5 y 2.5% de cal y cemento con aquellas que elaboradas solo con tierra, sin estabilizante alguno.

<sup>(\*)</sup>Con excepción de las series V y VI, estabilizadas con 5% de cal y cemento, respectivamente. Respecto a los resultados obtenidos tras realizar los ensayos de resistencia a compresión, en los cuales únicamente fueron ensayadas probetas estabilizadas con 10% de cal y cemento, puede apreciarse claramente como, independientemente del tipo de prensa empleada en la elaboración de los BTC, la resistencia de los bloques elaborados con cal es tan solo 1/3 (o menor) que la resistencia de los BTC estabilizados con igual proporción de cemento.

## **Conclusiones**

Tras evaluar y discutir los resultados de los ensayos realizados, y atendiendo a los objetivos particulares de este informe, se refuta la hipótesis originalmente planteada y se arriba a las siguientes conclusiones:

1. La resistencia a erosión húmeda de los BTC estabilizados con cal es un 15% superior a la de los BTC estabilizados con igual proporción de cemento.
2. La resistencia a compresión de los BTC estabilizados con 10% de cal es inferior al 30% que la de los BTC estabilizados con un 10% de cemento.

Actualmente en el laboratorio de geotecnia de la UTN FRSF se continúa trabajando en la temática, intentando corroborar los resultados obtenidos hasta el momento y realizando nuevos ensayos que permitan evaluar el desempeño de los Bloques de Tierra Comprimida estabilizados con cal, particularmente con la realización de ensayos de absorción de agua por capilaridad e inmersión y en la determinación de la resistencia a compresión de los bloques saturados.

## **Referencias**

Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) (2011). Norma UNE 772-1: Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión. Madrid.

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

Bestraten S; Hormías E. & Altemir A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. Revista Informe de la Construcción, Vol. 63, n° 523. Madrid.

Diamond, S. & Kinter, E. (1971). Mecánica de la estabilización del suelo – cal. Una revisión interpretativa. Revista Carreteras. V. 12, n 55. Madrid.

Fontaine L. & Anger R. (2009). Batir en terre. Du graind de sable à l'architecture. Francia: Belin.

Indian Standard (IS) (1982). Standard IS: 1725 – 1982: Specification for soil based blocks used in general building construction. New Delhi.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, s.c. (ONCCE) (2014). Anteproyecto de norma mexicana NMX C 508: Industria de la construcción. Bloque de tierra comprimida estabilizado con cal. Especificaciones y métodos de ensayo. México D.F.

Roux, R. (2010). Los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) en zonas húmedas. México, D.F.: Plaza y Valdés S.A.

Roux, R. & Espuna, J. (2012). Bloques de Tierra Comprimida adicionados con fibras naturales. México D.F.: Plaza y Valdés S.A.

Salas, J. (1995). Habiterra: exposición Iberoamericana de construcción de tierra. Bogotá, Escala.

Vázquez Espi, M. (2001). Construcción e impacto sobre el ambiente: El caso de la tierra y otros materiales. Revista Informes de la construcción. V. 52, n 471, p. 29 – 43. Madrid.

Vissac, A., Bourges, A. & Gandreau, D. (2017). Argiles & Biopolymères. Les stabilisants naturels pour la construction en terre. Grenoble, CRAterre.