

APORTES PARA CORRELACIONAR RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y A EROSIÓN HÚMEDA EN BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC)

GONZÁLEZ, Ariel¹ (aagonzal@frsf.utn.edu.ar); CABRERA, Santiago*¹ (spcabrera@outlook.com); SOSA, Juan¹ (juan_sosa_05@hotmail.com), BRITOS, Luis¹ (luis1989_ed@hotmail.com)

¹Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN - FRSF), Argentina

RESUMEN

En el laboratorio de geotecnia de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN – FRSF), se realizan ensayos de elementos y sistemas constructivos de tierra, dentro de los cuales se destacan aquellos destinados a los Bloques de Tierra Comprimida (BTC). Para estos elementos constructivos hay un listado de servicios que van desde el análisis de suelo y recomendación de dosificaciones y estabilizantes a utilizar, hasta resultados de aptitud y calidad. Para ello se determinan su capacidad portante y su resistencia al intemperismo; propiedades que pueden ser evaluadas mediante la realización de dos tipos de ensayo: ensayo de resistencia a compresión simple según la norma española UNE-EN 772-1 y el ensayo de resistencia a la erosión húmeda por chorro de agua establecido por procedimiento del instituto francés CRATerre-EAG.

A gran parte de los BTC que se moldearon para experimentación en laboratorio o que ingresaron para realizar servicios a empresas productoras de la región se le realizaron los dos tipos de ensayos. La experiencia adquirida luego de la aplicación reiterada de estos ensayos permite suponer la existencia de una relación entre los resultados de ambos, lo cual no ha sido documentado hasta el momento. El objetivo principal de este trabajo es establecer antecedentes que, a largo plazo, permitan elaborar protocolos por los cuales, mediante la realización del ensayo de erosión húmeda por chorro de agua, se pueda estimar de manera cualitativa el resultado del ensayo a compresión simple y viceversa.

Palabras claves: Bloques de tierra comprimida : Resistencia a erosión : Resistencia a compresión

CONTRIBUTIONS TO CORRELATE COMPRESSION RESISTANCE AND HUMID EROSION IN COMPRESSED GROUND BLOCKS (CEB)

ABSTRACT

At the geotechnics laboratory of the Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN – FRSF), tests are carried out on earth elements and constructive systems, mainly on the ones destined to be Compressed Earth Blocks (CEB). For these constructive elements there is a list of services that go from soil analysis, dosages recommendation and stabilizers to use to aptitude and quality results. For this, their bearing capacity and weather resistance are determined. These properties can be evaluated by performing two types of tests: simple compression strength test (Spanish standard UNE-EN 772-1:2002 and the resistance test to wet erosion by water jet (French regulations CRATerre- EAG).

These two tests were performed on most of the CEBs molded for laboratory experimentation and those received by the university through our professional support area as a third-party service

provider to regional manufacturing companies. The experience acquired after replicated testing allows us to presuppose the existence of a correlation between both results, which has not been documented so far. The main aim of this work is to outline the necessary background information to, in the long term, elaborate protocols based on the wet erosion test by water jet to be able to estimate qualitatively the result of the simple compression test and vice versa.

Keywords: compressed earth blocks : erosion resistance : compression resistance.

1. INTRODUCCIÓN

En el laboratorio de Geotecnia del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, se realizan ensayos a elementos y sistemas constructivos elaborados a partir de tierra como insumo principal, dentro de los cuales se destacan los destinados a Bloques de Tierra Comprimida (BTC), ya que durante los últimos años se ha incrementado notoriamente el número de usuarios y productores de esta tecnología en la región.

El Bloque de Tierra Comprimida o BTC es un elemento para mampostería fabricado mediante la compresión o prensado de tierra - la cual se encuentra contenida en un molde - empleando una prensa mecánica o hidráulica, manual para bajas demandas de producción o automática para sistemas industrializados (FONTAINE, 2009). Si bien el material de base lo constituye la tierra, la misma admite la adición de estabilizantes minerales (cal, cemento o bitumen de asfalto) que permitan mejorar las características físicas del BTC, ya sea aumentando su resistencia a la compresión, al intemperismo, o reduciendo las fisuras provocadas por la retracción de la arcilla (ROUX, 2010).

Las ventajas generales que presenta el 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 (caras lisas y aristas vivas), su alta densidad y la posibilidad de ser reciclado prácticamente en su totalidad (ROUX GUTIÉRREZ, MUJICA, 2012).

En cuanto a la producción del bloque en sí, la tecnología aplicada posee características que lo hacen más económicas y ambientalmente amigables 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 precisa de algunos aditivos como la cal, el cemento o el bitumen, éstos representan un porcentaje muy bajo en comparación con los demás elementos constitutivos del bloque (BESTRATEN, HORMÍAS, ALTEMIR, 2011). Otra ventaja que presentan estos bloques es que la capacitación requerida por el personal encargado de producir los bloques no requiere de mucho tiempo, dada la fácil asimilación de la técnica productiva. A su vez, los costos de fabricación son mucho menores al de sus pares "tradicionales" (como el ladrillo cerámico común o hueco y bloques de hormigón), teniendo en cuenta la poca energía utilizada para su producción, y que su fabricación se hace aprovechando los recursos del sitio (VÁQUES ESPI, 2001).

Dentro de los ensayos normalmente realizados sobre los bloques de tierra comprimida se destacan el ensayo de resistencia a compresión y el de resistencia a la erosión húmeda, por ser ambos indicadores directos de la capacidad portante y la resistencia al intemperismo de los mismos. El laboratorio de geotecnia de la UTN – FRSF posee una vasta experiencia en la realización de este tipo de ensayos sobre BTC.

A un gran número de los bloques de tierra comprimida que se moldearon para experimentación en laboratorio o que ingresaron para realizar servicios a empresas productoras de la región se le realizaron los ensayos de resistencia a compresión seca y erosión húmeda por chorro de agua. La

experiencia adquirida luego de la aplicación reiterada de estos ensayos permite suponer la existencia de una relación entre los resultados de ambos, lo cual no ha sido documentado hasta el momento.

1.1 Resistencia a la compresión

Dada la ausencia de normativa técnica relacionada a elementos constructivos con tierra en la Argentina, para evaluar la resistencia a compresión sobre bloques de tierra comprimida el laboratorio de geotecnia de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe sigue el procedimiento estipulado por la normativa española UNE-EN 772-1:2011+A12016. Es importante mencionar que esta norma, a diferencia de las normas francesas (Guía N° 11 del instituto CRATerre y norma AFNOR XP P13-901: 2001), colombiana (NTC 5324: 2004) y brasilera (NBR 8492: 2012), sólo estipula la realización del ensayo sobre probetas secas, no siendo requerida la determinación de la resistencia a compresión húmeda (previa inmersión de los bloques en agua durante 24 hs).

En el apartado 3 del presente informe se describe el procedimiento empleado para realizar el ensayo de compresión estipulado por la norma española.

1.2 Resistencia a la erosión

Existen diversos métodos de ensayo que permiten conocer la resistencia al intemperismo de los bloques de tierra comprimida. Tanto la normativa colombiana (NTC 5324: 2004) como brasilera (NBR 13554:2012) determinan la resistencia a la abrasión cepillando reiteradas veces un BTC y determinando luego la pérdida porcentual de masa experimentada por el bloque, con la salvedad que, la norma colombiana establece la realización del ensayo con el bloque perfectamente seco, mientras que la brasilera estipula realizarlo con el bloque en condiciones húmedas. Por el contrario, el anteproyecto de la norma mexicana NMX-C-508-ONNCCE: 2014 y la norma española UNE-EN 41410: 2008 realizan un ensayo de erosión húmeda mediante el cual se expone al bloque de tierra comprimida a un goteo continuo de agua, desde una altura y un durante un lapso de tiempo estipulado, midiendo luego la profundidad del orificio generado sobre la cara expuesta del bloque.

Otra forma de conocer la resistencia al intemperismo de los BTC es evaluar su resistencia a la erosión húmeda empleando un equipo de chorro de agua normalizado, como lo estipula el instituto francés CRATerre y la norma neozelandesa NZS 4298: 1998.

En el laboratorio de Geotecnia de la UTN – FRSF, el ensayo empleado para determinar la resistencia a erosión de los bloques de tierra comprimida es el establecido por CRATerre, el cual se describe en el apartado 3.2.

2. OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo es establecer antecedentes que, a largo plazo, permitan elaborar protocolos por los cuales, mediante la realización del ensayo de erosión húmeda por chorro de agua, se pueda estimar de manera cualitativa el resultado del ensayo a compresión simple y viceversa, planteando como hipótesis la existencia de correlación entre los ensayos de resistencia a la compresión siguiendo la normativa española y de resistencia a erosión húmeda según el protocolo CRATerre.

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Con intenciones de establecer la existencia de esta relación entre los ensayos de resistencia a compresión y a erosión húmeda en los bloques de tierra comprimida, se realizó un análisis exhaustivo del historial de ensayos a BTC realizados en el laboratorio de geotecnia de la Universidad.

A continuación se detalla el procedimiento empleado para realizar ambos ensayos e intentar establecer una correlación entre los mismos.

3.1 Ensayo de resistencia a compresión

Como fue explicado en el inciso 1.1, el procedimiento adoptado para la realización del ensayo de resistencia a compresión de los bloques de tierra comprimida es el estipulado por la norma española UNE-EN 772-1, el cual se describe a continuación.

3.1.1 Preparación de la muestra

Se llevan los bloques a ser ensayados a estufa dejándolos secar hasta que la masa sea constante. Se corta de manera transversal cada bloque en dos partes iguales, sobreponiendo las dos mitades correspondientes de cada bloque 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 medida de 1 parte de cemento por 4 partes de tierra, de manera que el ensayo se pueda hacer después de 48 horas de curado.

3.1.2 Procedimiento del ensayo

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 luego la carga de una manera continua y sin movimientos bruscos, a una velocidad constante de 0.02 mm/s o la correspondiente a un aumento de presión de 0.15 MPa/s y 0.25 MPa/s hasta la rotura completa de la probeta.

Se registra la máxima carga soportada por la probeta durante el ensayo.

3.1.3 Interpretación de resultados

Como puede observarse en la ecuación (1) el esfuerzo de rotura R del bloque en la sección bruta mínima, expresada en MPa, se obtiene dividiendo los valores de la carga de rotura del bloque C (en Kgf), por 10 veces el valor de la sección bruta mínima del bloque Sb (en cm²):

$$R \text{ (MPa)} = \frac{C \text{ (Kgf)}}{10 * S_b \text{ (cm}^2\text{)}}$$

3.1.3 Instrumental

Para la realización de estos ensayos se utilizó un gato hidráulico tipo “botella” con 20 tf de capacidad, una celda de carga con apreciación de 5 kgf y capacidad máxima de 20 tf; un pórtico de carga y dos suplementos metálicos empleados para transmitir de manera uniforme las cargas aplicadas sobre las caras de contacto. En la Figura 1 puede apreciarse el instrumental empleado durante la ejecución de los ensayos de compresión.

Figura 1. Ensayo de resistencia a compresión



3.2 Ensayo de evaluación del nivel de erosión húmeda

El procedimiento descrito por el instituto CRATerre es aplicable a cualquier elemento constructivo elaborado a partir de suelo estabilizado, ya sea con cal o con cemento.

3.2.1 Descripción del equipo de ensayo

El equipo utilizado para la realización de este ensayo consta de un receptáculo de material no corrosivo, el cual posee en su interior una base deslizante sobre la cual se coloca el bloque a ensayar y un aspersor, desde donde es impulsado el chorro de agua. En la parte inferior del receptáculo se encuentra un colector mallado que actúa como filtro, a través del cual ingresa el agua al dispositivo de bombeo para ser recirculada nuevamente.

Por fuera del receptáculo descrito se ubica una bomba, la cual mediante una combinación de una válvula mariposa y un manómetro, garantiza que el sistema permanezca a la presión estipulada por el ensayo. En la Figura 2 puede observarse el equipo empleado para la realización del ensayo.

3.2.2 Procedimiento del ensayo

Se coloca el bloque a ensayar de manera tal que la superficie expuesta al chorro de agua diste 20 cm del aspersor. Se cubre luego la cara expuesta con una máscara impermeable que posee una abertura de 8 cm x 4 cm. El objetivo de la máscara es evidenciar el daño causado por el chorro de agua.

Se acciona el dispositivo garantizando que en todo momento la presión del agua sea de 1.4 bar. La duración del ensayo es de dos horas, realizando intervalos cada treinta minutos para inspeccionar de manera visual la superficie expuesta, relevándose fotográficamente lo observado.

Figura 2. Ensayo de evaluación del nivel de erosión húmeda



3.2.3 Interpretación de resultados

Tanto la normativa francesa como la neozelandesa estipulan el “nivel de erosión” en función de la máxima profundidad de la erosión producida sobre la cara expuesta del bloque. Los 5 niveles de erosión establecidos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Niveles de erosión establecidos por la norma NZS 1298:1998

Máxima profundidad alcanzada	Nivel de erosión
$0 < D < 5 \text{ mm}$	Nivel 1
$20 \text{ mm} < D < 50 \text{ mm}$	Nivel 2
$50 \text{ mm} < D < 90 \text{ mm}$	Nivel 3
$90 \text{ mm} < D < 120 \text{ mm}$	Nivel 4
$D > 120 \text{ mm}$	Nivel 5

En el laboratorio de geotecnia de la UTN – FRFS se realiza el ensayo de evaluación del nivel de resistencia a la erosión húmeda según el protocolo de CRATerre desde hace ya 5 años, luego de los cuales se logró asociar a cada nivel de erosión posible una imagen representativa (patrones de comparación), lo cual permite determinar el nivel de erosión húmeda de los BTC ensayados de manera visual, contrastando el grado de deterioro experimentado por los bloques con los patrones mencionados. Los patrones de comparación empleados pueden apreciarse en la Figura 3. La

evaluación del nivel de resistencia a la erosión húmeda empleando los patrones de comparación reduce el tiempo requerido para evaluar los resultados del ensayo, sin comprometer la veracidad de los mismos.

Figura 3. Patrones de comparación empleados por el laboratorio de geotecnia de la UTN – FRFS en la determinación el nivel de resistencia erosión húmeda



Otra forma de evaluar el nivel de resistencia a la erosión húmeda de los BTC es mediante la medición de la pérdida de masa porcentual experimentada por los mismos luego de ser ensayados. Sin embargo, esta metodología no se aplica actualmente en el laboratorio de geotecnia dado se requiere conocer la masa seca de los bloques antes y después de la realización del ensayo, motivo por el cual, la determinación del nivel de resistencia a la erosión húmeda siguiendo esta metodología demanda más tiempo que el requerido por el método de comparación visual precedentemente explicado.

3.3 Lotes de BTC ensayados

Para intentar correlacionar los resultados del ensayo de resistencia a erosión húmeda y resistencia a compresión, se analizaron los resultados de todos los ensayos realizados sobre BTC desde el mes de enero del año 2015 hasta la actualidad.

Los ensayos considerados están relacionados con actividades de investigación y desarrollo que se realizan a través de convenios específicos con empresas productoras de la zona que y también en proyectos propios de la universidad tendientes a la introducción de mejoras en las prensas utilizadas, las formas de los BTC y su sistema constructivo y los procesos de producción. Por otra parte también se consideraron los resultados de ensayos realizados como servicios a terceros por productores de la zona tanto para mejorar las dosificaciones empleadas como para certificar la calidad del producto. Se tomaron 12 lotes de bloques provenientes de las actividades arriba mencionadas.

Es de relevancia mencionar que tanto la proporción como el tipo de suelo fino, arena y estabilizantes empleados en la elaboración de cada lote de BTC fueron diferentes. En algunos casos fue empleado suelo de la zona (limo de baja plasticidad - ML), en otros arcilla de alta plasticidad (HL) proveniente de la provincia de Córdoba, en algunos una mezcla de arcilla y limo, mientras que en los restantes fue empleada una mezcla de suelo arcilloso con puzolana. En lo que respecta al agregado granular, se empleó para algunos lotes arena del río Paraná y en otro, arena volcánica proveniente de la provincia de Mendoza. Los estabilizantes empleados en la elaboración de los diferentes bloques también fueron diversos, utilizándose cal hidráulica hidratada, cemento portland y una combinación de ambos, en proporciones que oscilaron entre el 7 y el 33% del peso del bloque (húmedo).

La diversidad en la composición de los BTC estudiados es de fundamental importancia, ya que la hipótesis principal de esta investigación es la existencia de una correlación entre los resultados de los ensayos de resistencia a compresión y erosión húmeda sobre BTC, sin importar los materiales y las proporciones de los mismos con la que los bloques fueron elaborados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestran los resultados de los ensayos realizados sobre 303 bloques de tierra comprimida elaborados con diversas dosificaciones. En la misma pueden observarse las resistencias medias y características a compresión de cada lote ensayado, junto con el nivel de erosión por chorro de agua correspondiente a cada uno.

La determinación de la resistencia característica a compresión se realizó empleando el fractil del 5%, lo cual es coincidente con lo estipulado por la norma española UNE 41410: 2008; significando que el 95% de los BTC de cada lote presenta una resistencia al menos igual a dicho valor.

Tabla 2. Comparación entre resistencia a compresión y resistencia a erosión húmeda

Lote	Nº de BTC ensayados	Resistencia Media (MPa)	Resistencia Característica (MPa)	Resistencia a erosión húmeda (Nivel)
1	31	4,09	3,57	1
2	21	3,58	3,22	1
3	19	2,90	2,53	1
4	39	2,94	2,44	1
5	43	3,08	2,21	1
6	34	2,82	2,26	1
7	19	2,07	1,53	1
8	10	1,58	1,08	1
9	13	1,01	0,68	3
10	25	0,69	0,6	3
11	23	0,8	0,53	3
12	26	0,57	0,48	4

Luego de analizar detenidamente los valores de la Tabla 2, pueden hacerse los siguientes comentarios:

- La resistencia característica a compresión para los BTC cuyo nivel de resistencia a la erosión húmeda fue 1 - salvo los bloques del lote 8 - estuvo comprendida entre los 1.53 MPa y 3.57 MPa.
- La resistencia característica a compresión de los bloques cuyo nivel de resistencia a la erosión húmeda fue 3 y 4 estuvo comprendida entre los 0.48 MPa y 0.68 Mpa.
- No se han encontrado bloques cuyo nivel de resistencia a la erosión húmeda sea 2 o 5.

Con respecto a los resultados obtenidos en el lote 8, puedo suponerse que la gran dispersión existente en los resultados del ensayo de resistencia a la compresión ($S_d = 0.32$ MPa) es la causante de la baja resistencia característica a compresión, ya que, como puede apreciarse en la Tabla 2, la resistencia media a compresión de dicho lote es de 1.58 MPa.

5. CONCLUSIONES

Los ensayos realizados hasta el momento dan la pauta que, para los BTC cuyo nivel de resistencia a la erosión húmeda sea 1, probablemente su resistencia característica a compresión supere el valor mínimo establecido por la norma española, de 1.3 MPa. Además, los resultados obtenidos dan indicios de la existencia de una correlación entre los resultados de los ensayos de evaluación del nivel de erosión húmeda según el protocolo CRATerre y el ensayo de resistencia a compresión establecido por la norma española UNE-EN 772-1:2011.

Siendo estos resultados alentadores, es preciso continuar con esta línea de investigación, realizando más ensayos, mediante los cuales se puedan corroborar los resultados obtenidos hasta el momento y avanzar en la búsqueda de una correlación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). Norma UNE 41410: Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Madrid: AENOR, 2008.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). Norma UNE-EN 772-1: Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión. Madrid: AENOR, 2011.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR). AFNOR XP P 13-901: Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons. Définitions, Spécifications, Méthodes d'essais, Conditions de réception. París: AFNOR, 2001
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Norma NBR 8492: Tijolo de solo-cimento. Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio. São Paulo: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Norma NBR 13554: Solo-cimento. Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem. Método de ensaio. São Paulo: ABNT, 2012.

- BESTRATEN, S.; HORMÍAS E.; ALTEMIR A. Construcción con tierra en el siglo XXI. Revista Informe de la Construcción. V. 63, n 523, p 26 – 29, 2011.
- CENTRE INTERNATIONAL DE LA CONSTRUCTION EN TERRE – ECOLE D'ARCHITECTURE DE GRENOBLE (CRATerre-EAG). Série Technologies N° 11: Blocs de terre comprimée. Normes. Grenoble: CRATerre-EAG; BASIN, 1998.
- FONTAIN, Leatitia; ANGER, Romain. Batir en terre. Du graind de sable à l'architecture. Lyon: Belin, 2009. 221 p.
- MAZARRÓN, F.; CAÑAS, I. Las normativas de construcción con tierra en el mundo. Revista Informes de la construcción. V. 63, n 523, p. 159 – 169, 2011.
- ORGANISMO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y EDIFICACIÓN, S.C. (ONCCE). 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.: ONCCE, 2014.
- ROUX, Rubén. Los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) en zonas húmedas. México, D.F.: Plaza y Valdés S.A., 2010. 185 p.
- ROUX, Rubén; ESPUNA, José. Bloques de Tierra Comprimida adicionados con fibras naturales. México D.F.: Plaza y Valdés S.A., 2012. 151 p.
- STANDARDS NEW ZEALAND. Standard NZS 4298: Materials and Workmanship For Earth Buildidings. Willington: Standards New Zealand, 1998.
- VÁZQUES ESPI, M. 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, 2001.