

Adaptación del ensayo Proctor Standard para la obtención de la humedad óptima en la producción de Bloques de Tierra Comprimida (BTC).

Adaptation of the Proctor Standard test to obtain the optimum humidity in the production of Compressed Earth Blocks (CEB)

Francesca Bertola – UTN FRVT – franchebertola@gmail.com

Laureano Medei – UTN FRVT – laureanoaxelmedei@gmail.com

Resumen

En este trabajo se desarrolla la adaptación del ensayo Proctor Standard para la obtención de la humedad óptima de fabricación de los BTC. En la adaptación se modifica el método de ensayo de manera de emular la acción de la prensa generando un tipo de carga cuasi-estática de un valor determinado.

Se pretende lograr una correlación entre el ensayo normalizado y lo que ocurre realmente en la prensa moldeadora de bloques.

Del ensayo adaptado se obtuvo para ambas mezclas una humedad óptima promedio un 20% mayor que la obtenida mediante el ensayo Proctor normal; la densidad seca promedio disminuye en un 7% entre el adaptado y el estándar y se obtiene una mejor resistencia a rotura de los bloques. Esto expresa mejores condiciones en el desmoldado y en la calidad final de los bloques.

Palabras Claves: Adaptación; Humedad óptima; Carga cuasiestática; Bloques de Tierra Comprimida.

Abstract

In this work, the adaptation of the Proctor Standard test is developed to obtain the optimum humidity for the manufacture of CEB. In the adaptation, the test method is modified in order to emulate the action of the press, generating a quasi-static load of a certain value. It is intended to achieve a correlation between the standardized test and what happens in the block molding press. From the adapted test, an optimal average humidity was obtained for both mixture 20% higher than that obtained by means of the standard Proctor test; the average dry density decreases by 7% between the adapted and the standard and a better resistance to breakage of the block is obtained. This expresses better condition in demoulding and in the final quality of the blocks.

Keywords: Adaptation, Optimum humidity, Quasi-static load, Compressed earth blocks

Introducción.

En la Argentina, el ladrillo cocido es uno de los insumos más utilizados en la construcción, sobre todo en las grandes ciudades, donde es prácticamente el único material empleado para los muros.

La tecnología del bloque de tierra comprimida se ha constituido en la actualidad en una importante y viable alternativa constructiva. El rigor científico y técnico aplicado en las investigaciones realizadas a nivel internacional, permiten hoy garantizar la calidad de esta técnica constructiva (Etchebarne & Piñeiro, 2008).

El BTC (bloque de tierra comprimida) es un mampuesto, resultante de la mezcla de tierra, agua y eventualmente cemento en proporciones adecuadas, que se somete a compresión en una máquina con el fin de obtener altas densidades, y que luego es sometido a un proceso de curado para que se produzca su endurecimiento efectivo.

La compactación se genera con una máquina llamada prensa o bloquera. La misma puede ser accionada de forma manual o mecánica. Las dimensiones y forma del bloque dependerán de las medidas de la caja de la máquina y de las placas que permitirán formar bloques huecos.

Lo beneficioso de estos bloques es que como materia prima se puede utilizar la tierra del lugar evitando el gasto energético en transporte de materia prima. Se logra así, una reducción de costo y de huella ambiental. Pero para ello es imprescindible conocer las características de la tierra disponible en cada zona para determinar si es necesario estabilizarla y definir las dosificaciones adecuadas a utilizar.

En la norma de ensayo VN - E19 – 66 “Compactación de mezclas de suelo –cemento y suelo - cal” la Dirección Nacional de Vialidad estudia las variaciones del peso de la unidad de volumen de mezclas de suelo y cemento o cal en función de los contenidos de humedad, cuando se las somete a un determinado esfuerzo de compactación. La misma detalla el procedimiento a seguir para obtener la Humedad óptima con la que se logra el mayor valor del peso de la unidad de volumen, denominado Densidad Seca máxima (Dirección Nacional de Vialidad, 1979).

Es por lo antes mencionado que en este trabajo se desarrolla la adaptación del ensayo del Proctor Standard para poder obtener la humedad óptima de fabricación de los BTC para cada tipo de tierra.

El objetivo principal de este trabajo es la obtención de la humedad óptima de un suelo dado, tal que al ser prensado en una bloquera, obtengamos la densidad seca máxima posible de acuerdo al equipamiento empleado. Se busca lograrlo usando las mismas herramientas que el ensayo Proctor Standard, existente en cualquier laboratorio de suelos. Con esta información se pretende brindarle al fabricante de bloques una herramienta para mejorar su producción, tanto en la resistencia final de los bloques, en su aspecto estético como también en el aprovechamiento máximo de la materia prima a utilizar.

Desarrollo

Materia prima.

El suelo utilizado para realizar las muestras provino de una única cantera para limitar la variabilidad en el comportamiento del mismo. Se procedió a realizar una clasificación del suelo

empleando para ello el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Dicha clasificación arrojó como resultado un suelo del tipo limo de baja plasticidad (ML). Para lograr esta clasificación se realizaron los ensayos de: Límites de Atterberg, tamizado por vía húmeda y granulometría. Previa utilización, el suelo fue cribado mediante una desterronadora mecánica.

La arena empleada para la conformación de la mezcla es la llamada comercialmente como Arena Río Cuarto, un tipo de arena gruesa a la cual se le determinó su granulometría.

El cemento empleado es cemento marca Avellaneda, de carácter comercial.

Preparado de las mezclas.

La dosificación de las mezclas se basó en las utilizadas comúnmente para la fabricación de BTC; la mezcla 1 tiene una dosificación volumétrica que consta de nueve partes de tierra y una parte de cemento y la mezcla 2 tiene una dosificación volumétrica que consta de seis partes de tierra, tres partes de arena y una parte de cemento, lograda mediante el estudio de curvas granulométricas, teniendo en cuenta límites propuestos por la bibliografía consultada (Etchebarne & Piñeiro, 2008).

En el caso del agua, se aumenta gradualmente para realizar el ensayo. Este incremento responde a la metodología propuesta en la norma antes citada. Se realiza con el fin de generar puntos donde al aumentar la humedad la densidad seca va aumentando cuando se compacta en el molde y puntos donde un aumento de humedad no supone mayor densidad seca sino al contrario, una disminución de la misma. Siendo la densidad seca máxima el mayor valor del peso de la unidad de volumen.

Ensayo Proctor Standard Adaptado.

Se adaptó la norma de ensayo VN - E19 - 66 manteniendo (en ambos ensayos) el molde de compactación cilíndrico de acero (fig. 1.a) con el fin de poder replicarse en cualquier laboratorio ya que este molde es frecuente en los mismos. Como diferencia entre los ensayos se pueden mencionar: forma de llenar el molde, aplicación de la carga y tipos de carga. En el ensayo VN-E19-66 el llenado del molde se realiza en 3 capas a las cuales se las apisona con 25 golpes empleando un pisón de compactación de acero (fig. 1.b). Esta forma de aplicación genera una carga de carácter dinámico simulando el trabajo de la máquina pata de cabra utilizada en vialidad.

En nuestra adaptación, el llenado del molde se realiza en una capa y la carga se aplica con una prensa mecánica (fig. 1.c) generando una carga vertical cuasiestática, ya que se quiere simular el trabajo de la bloquera. Los cambios entre ambos ensayos se resumen en la tabla I.

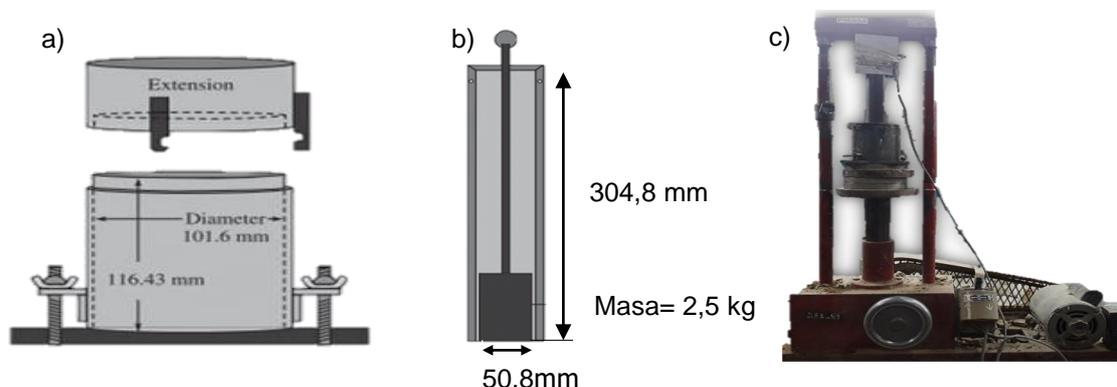


Figura 1. Elementos del ensayo: a) Molde de compactación de acero; b) Pisón de compactación de acero; c) Prensa mecánica de compresión.

	Proctor Normal Standard	Adaptación del Proctor Normal Standard para BTC
Molde de ensayo	Molde de compactación cilíndrico de acero (fig. 3.a)	
Llenado de molde	Tres capas	Una capa con extensión
Aplicación de carga	Pisón de compactación de acero (fig. 3.b)	Prensa mecánica de compresión (fig. 3.c)
Forma de carga	Dinámica	Carga Vertical

Tabla I. Diferencias entre el ensayo adaptado para BTC y el Proctor Normal Standard.

Para determinar cuál es la humedad que se requiere para conseguir la densidad seca máxima que puede tener el BTC, se fijó una carga de compactación que fue aplicada por la prensa. Esta fuerza surgió del análisis de la bloquera disponible en el laboratorio (fig. 2).

La presión a aplicar por la prensa en el ensayo adaptado se calculó teniendo en cuenta el recorrido del brazo de palanca largo (a) y del pistón o tenedero (x) (fig. 2). La variable de fuerza se fijó en 60 kg aproximadamente para que sea manipulable por cualquier operario.

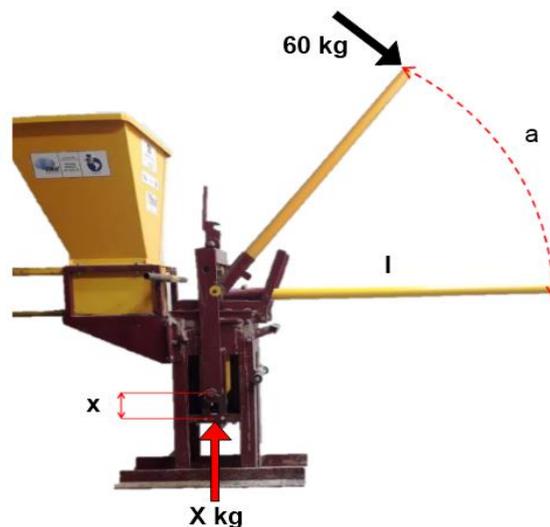


Figura 2. Esquema de cálculo de la carga a aplicar por la prensa.

Teniendo en cuenta la figura 4 se realizó el siguiente cálculo.

$$T_1 = F_1 \cdot d_1 = T_2 \quad (1)$$

Se reemplazó los valores conocidos en la fórmula (1) y se despejó la fuerza X

$$60 \text{ kg} \cdot a = X \cdot c \rightarrow \frac{60 \text{ [kg]} \cdot a \text{ [m]}}{c \text{ [m]}} = X \text{ kg}$$

$$\frac{60 \cdot 1,2}{0,04} = 1800 \text{ kg}$$

Siendo: T= trabajo; F= fuerza; d= distancia; c: el recorrido del pistón; a: la longitud del arco: $\phi \cdot l = 60^\circ \cdot 1,16 \text{ m} = 1,2 \text{ m}$.

Una vez obtenida la fuerza que la celda de carga debe marcar durante el ensayo (1800 kg), se procedió a realizar los trabajos previos al ensayo:

- Se determinó la humedad inicial de la tierra, expresándola en porcentaje (H'%).
- Se verificaron las constantes del molde de compactación a emplear en el ensayo: Peso del molde (Pm) con la extensión y base y su volumen interior (V);

Finalmente, se llevaron a cabo una serie de pasos para realizar el ensayo adaptado Proctor Standard en ambas mezclas:

- a) Homogeneización manual de los materiales secos en una bandeja;
- NOTA: Se considera que el material está convenientemente desmenuzado, cuando se aprecia a simple vista que pasa por el tamiz IRAM 4,8 mm. (Nº 4).
- b) Incorporación de agua para incrementar la humedad al 4 al 6% de forma homogénea;
- c) Llenado del molde al ras (molde + extensión) (fig. 3a);
- d) Colocación de un plato de acero de 12mm de espesor y diámetro igual al interior del molde, con el fin de obtener una carga distribuida correctamente en el área (fig. 3b);
- e) Compactación del material con la ayuda de una prensa mecánica de compresión y una celda de carga hasta los 1800kg (fig. 3c);
- f) Medición del asentamiento de la mezcla (fig. 3d);
- g) Con la ayuda de una cuchilla se extrajo una muestra del tercio medio del molde para secarla a estufa (105º-110ºC) a peso constante y determinar la humedad (H) (fig. 3e);
- h) Se descarta el material sobrante. Se agrega agua al resto de la mezcla, en proporción del 3 al 4 %.
- i) Se repitieron las operaciones indicadas desde el apart. c) al h) unas 4 o 5 veces.



Figura 3. Procedimiento del ensayo proctor Standard adaptado.

Ensayo Proctor Standard

Según la norma de ensayo VN - E19 – 66 de Vialidad Nacional, se realizó el ensayo Proctor Normal Standard con las dosificaciones antes mencionadas. Para ello se repitió el ensayo en varias oportunidades, obteniendo una uniformidad en cuanto a los valores de densidad máxima y humedad óptima, promediando los resultados obtenidos.

Moldeo de bloques

Con la humedad óptima obtenida en cada método de Proctor se moldearon 30 bloques de cada mezcla, para cotejar la variación en las características del mismo por el cambio de humedad. Se procedió a ensayar los bloques a compresión según lo establecido en la Norma IRAM 12586 y la norma española UNE 41410.

Se cortaron los bloques por la mitad y se pegaron uno sobre otro con mortero compuesto por 3 partes de tierra y una parte de cemento (fig. 4). Se ensayaron estas probetas en la prensa, observando la carga de fisura y la carga de rotura para cada uno de ellas.



Figura 4. Probeta de BTC para ensayo a compresión.

Resultados

Cálculos de la humedad óptima del Proctor adaptado.

Basándonos en los cálculos mencionados en la norma VN- E19 – 66 (Dirección Nacional de Vialidad, 1979), para cada punto obtenido de la forma descripta, se calcularon la humedad óptima porcentual (H), la densidad en estado húmedo del material compactado (Dh), la densidad del material seco y compactado (Ds).

Se graficaron los resultados para ambas mezclas de los distintos puntos en un sistema de ejes coordenados los valores de humedad porcentual (abscisas) y los de la densidad seca (ordenadas) para ambas mezclas (fig. 5) donde se observa la densidad máxima y el porcentaje de humedad óptimo.

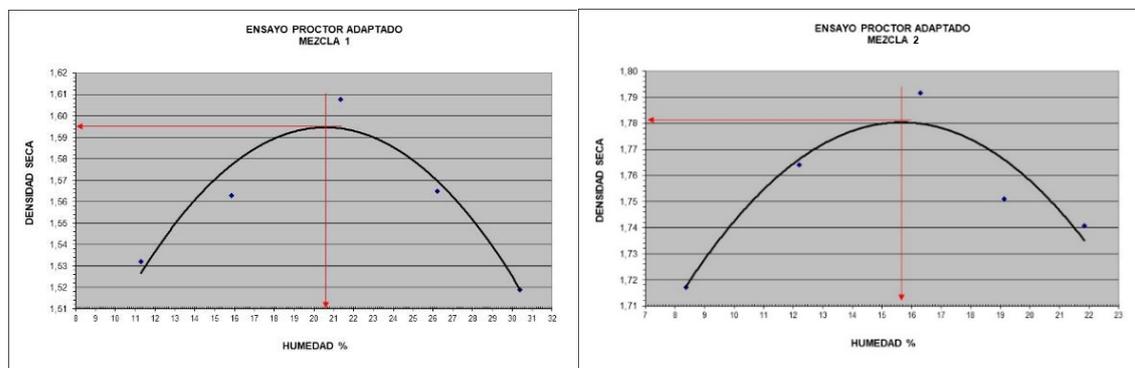


Figura 5. Humedad vs Densidad seca

Obteniendo un valor promedio de: humedad óptima [%] ~20,50; densidad seca [grs/cm³]~1.59 para la mezcla 1 y humedad óptima [%] ~15,60%; densidad seca [grs/cm³]~1.78 para la mezcla 2.

Los BTC realizados con esta humedad óptima dieron una resistencia promedio a compresión de 6.16 kg/cm² para la mezcla 1 y 9.59 kg/cm² para la mezcla 2

En la figura 6 se grafican los valores de los ensayos Proctor Standard para ambas

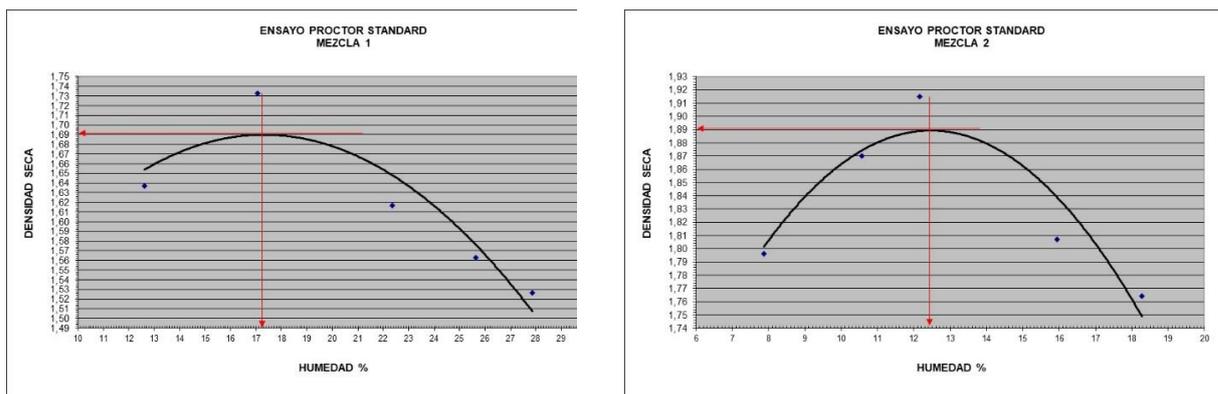


Figura 6. Humedad vs Densidad seca.

Obteniendo un valor promedio de: humedad óptima [%] ~17,10; densidad seca [grs/cm³]~1.69 para la mezcla 1 y humedad óptima [%] ~12,50; densidad seca [grs/cm³]~1.89 para la mezcla 2

Los BTC realizados con esta humedad óptima dieron una resistencia promedio a compresión de 5.24 kg/cm² para la mezcla 1 y 7.88 kg/cm² para la mezcla 2

Discusión

Analizando los resultados arrojados por las muestras ensayadas podemos destacar las siguientes diferencias entre los ensayos:

- Humedad óptima promedio [%]: el ensayo adaptado arrojó una mayor humedad óptima que el normal, siendo un 20% mayor.
- Densidad seca promedio [g/cm³]: la densidad seca promedio del ensayo adaptado disminuye en un 7% con respecto a la densidad obtenida mediante el ensayo standard.
- σ_{rot} [kg/cm²]: En los bloques moldeados con la humedad obtenida en el proctor normal standard la resistencia resulta menor que los arrojados por los bloques con mayor humedad.

Conclusión

La humedad óptima promedio para la fabricación de los ladrillos BTC es de ~ 20% mayor que la arrojada por el ensayo Proctor Standard, utilizando un suelo Limoso de Baja Plasticidad (ML) y una bloquera manual con una fuerza en el brazo largo de 60 kg en promedio.

Con dicho contenido de humedad la tensión de rotura del BTC aumenta en un 25% y reduce notablemente la probabilidad de ruptura en el momento de extraerlo de la bloquera.

Bibliografía

NORMA DE ENSAYO VN - E19 – 66. (1979). *Compactación de mezclas de suelo –cemento y suelo - cal*. Dirección Nacional de Vialidad. Buenos Aires.

Etchebarne , R, & Piñeiro, G. (2008). *Manual de bloques de tierra comprimida*. Salto.

Norma IRAM 12586. (2004). *Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros – Método de ensayo de la resistencia a la compresión*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM).

UNE-EN 41410. (2008). *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo*. Buenos Aires: AENOR.