



Identificación del Trabajo	
Área:	Materiales
Categoría:	Alumno
Regional:	Venado Tuerto

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

---

**Araí RIEPPI, Pablo COSTAMAGNA, Fernando DOWLING, Marina GALLO**

*Grupo Hormiterra, Departamento Ingeniería Civil, Laprida 651, 2600 Venado Tuerto, Santa Fe, Argentina, Facultad Regional Venado Tuerto, UTN.*

*E-mail de autores: [arairieppigodoy@outlook.es](mailto:arairieppigodoy@outlook.es); [pablocostamagna@gmail.com](mailto:pablocostamagna@gmail.com).*

*Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Ariel González, en el marco del proyecto “Investigación y desarrollo para el mejoramiento de la producción de Bloques de Tierra Comprimida (BTC)” Código del Proyecto: MSTUIFE0004298TC. (Inicio 01/04/2016 – finalización 31/03/2018 – prórroga 31/03/2019)*

### **Resumen**

---

En este trabajo se desarrolla la adaptación del ensayo del Proctor Standard para la obtención de la humedad óptima de fabricación de los BTC para cada tipo de tierra. En la adaptación se modifican tres puntos: forma de llenado del molde, se realizó en una sola capa en lugar de tres; el instrumento de aplicación de carga fue una prensa hidráulica de compresión no un pisón de compactación de acero; generando un tipo de carga dinámica mientras que el adaptado es carga cuasi-estática.

Del ensayo adaptado se obtuvo: humedad óptima promedio es de 22 %, es decir un 34% más que el proctor normal (16.3%); la densidad seca promedio aumenta en un 7% de 1.53 g/cm<sup>3</sup> a 1.69 g/cm<sup>3</sup> y la resistencia a rotura de los bloques es 9.59 kg/cm<sup>2</sup> contra 5.24 kg/cm<sup>2</sup>. Esto expresa mejores condiciones en el desmoldado disminuyendo los bloques rotos (1 de cada 10 contra 1 de cada 3).

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

---

### **1. 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.

Desde hace mucho tiempo se viene implementando la construcción con tierra incorporando la técnica de los BTC como otra opción para la construcción de mampostería. 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, como la Prensa CINVA-RAM la cuál fue la primera prensa fabricada y la más utilizada. 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 se 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 como objetivo principal de este trabajo se plantea la obtención de la humedad óptima de fabricación de los BTC para un suelo dado, tal que al ser prensado en una bloquera, obtengamos la densidad seca máxima posible de acuerdo al equipamiento empleado. A partir de esto se desarrolla una adaptación del ensayo del Proctor Standard teniendo en cuenta las herramientas empleadas en este último de manera que sea reproducible en cualquier laboratorio de suelos. Con esta información se pretende brindar a los fabricantes de bloques una herramienta para mejorar su producción, tanto en la resistencia final como también en el aprovechamiento máximo de la materia prima utilizada, y en el aspecto estético final de éstos.

## **2. Metodología.**

### *2.1. 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).

El cemento empleado es de carácter comercial, en este caso se utilizó cemento marca Avellaneda.

### *2.2. Preparado de la mezcla.*

La dosificación de la mezcla es la misma utilizada para los BTC, es decir, una dosificación volumétrica que consta de nueve partes de tierra y una parte de cemento (fig. 1). En el caso del agua va en aumento para realizar el ensayo. Este incremento de agua responde a la metodología propuesta en la norma antes citada. El fin de esto, es generar puntos donde al aumentar la humedad la densidad seca aumenta cuando se compacta en el molde y puntos donde un aumento

de humedad no supone mayor densidad seca sino al contrario una disminución de ésta. Siendo la densidad seca máxima el mayor valor del peso de la unidad de volumen.

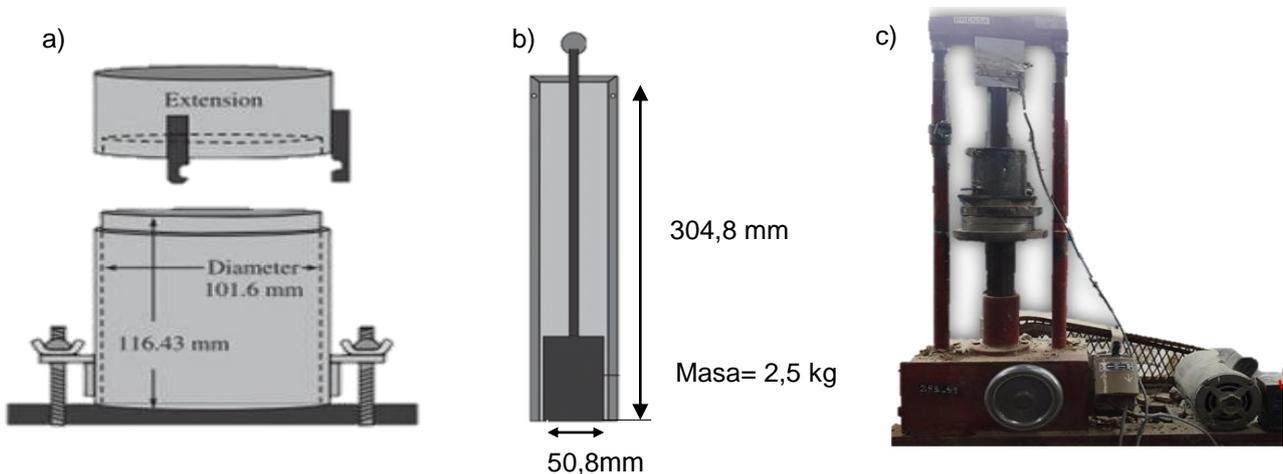


**Figura 1.** Dosificación volumétrica de la mezcla: 9 partes de tierra y 1 de cemento.

### 2.3. Ensayo del Proctor Standard Adaptado.

Se adaptó la norma de ensayo VN - E19 – 66 manteniendo (en ambos ensayos) el molde de compactación cilíndrico de acero (fig. 2.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. 2.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 esto cambia, la carga se aplica con una prensa mecánica (fig. 2.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.

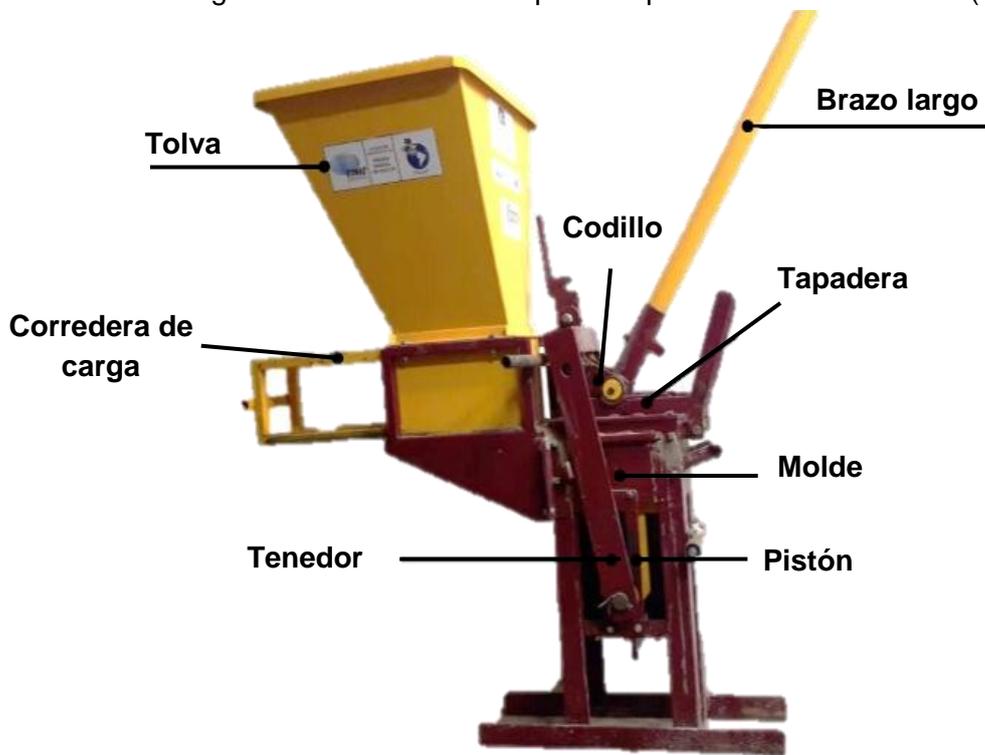


**Figura 2.** Elementos del ensayo: **a)** Molde de compactación de acero; **b)** Pisón de compactación de acero; **c)** Prensa mecánica de compresión.

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

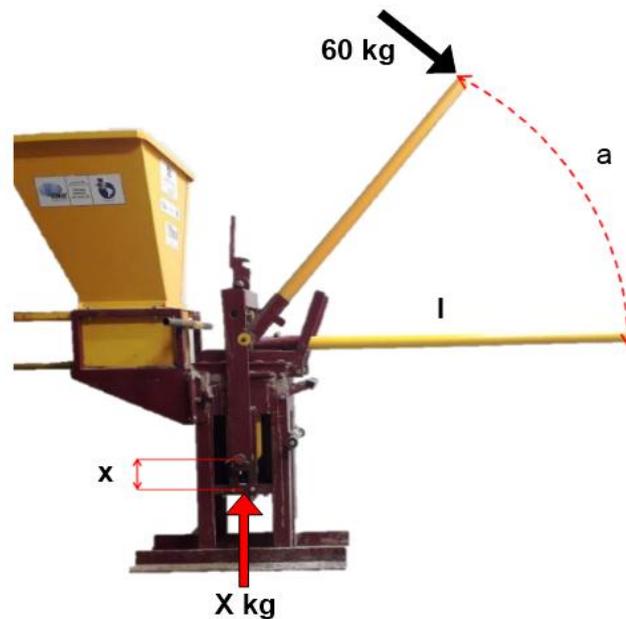
	<b>Proctor Normal Standard</b>	<b>Adaptación del Proctor Normal Standard para BTC</b>
Molde de ensayo	Molde de compactación cilíndrico de acero (fig. 2.a)	
Llenado de molde	Tres capas	Una capa con extensión
Aplicación de carga	Pisón de compactación de acero (fig. 2.b)	Prensa mecánica de compresión (fig. 2.c)
Forma de carga	Dinámica	Carga Vertical

Para determinar cuál es la humedad que se requiere para conseguir la densidad seca máxima en un BTC, se fijó una carga de compactación que fue aplicada por la prensa hidráulica empleada. Esta fuerza surgió del análisis de la bloquera disponible en el laboratorio (fig. 3).



**Figura 3.** Componentes de la máquina para la fabricación de BTC.

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. 4). La variable de fuerza se fijó en 60 kg aproximadamente para que sea manipulable por cualquier operario.



**Figura 4.** 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: 9 T= trabajo; F= fuerza; d= distancia; c: el recorrido del pistón; a: la longitud del arco:  $\phi \cdot l = 60^\circ \cdot 1.16 \text{ m} = 1,2 \text{ m.f}$

Una vez obtenida la fuerza (F) 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 del peso del suelo seco (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 llevó a cabo una serie de pasos para realizar el ensayo adaptado Proctor Standard:

- En una bandeja se colocó la dosificación mencionada (9 T + 1 C);
- Se mezcló todo el material de la muestra a ensayar para lograr su homogeneización;
- Se agregó el agua para incrementar la humedad existente en el suelo en un 4 al 6 %. Se mezcló bien hasta lograr la uniformidad;
- Se armó el molde sobre una base firme. Con una cuchara de almacenero se llenó el molde al ras (molde + extensión) (fig. 5a);
- Se le colocó un plato de acero de 15 mm de espesor y un diámetro igual al interior del molde del Proctor Standard, para lograr uniformidad de carga en todo el área del molde (fig. 5b);
- Se compactó el material con la ayuda de una prensa hidráulica de compresión y una celda de carga (fig. 5c);
- Se cargó hasta los 1800 kg (fig. 5c);

- h) Se retiró el plato de acero y se midió el asentamiento de la mezcla (fig. 5d);
- i) Con la ayuda de una cuchilla se extrajo una muestra del tercio medio del molde para secarla a estufa (105°-110°C) hasta peso constante y determinar la humedad (h) (fig. 5e);
- j) Se incorporó el material sobrante suficientemente desmenuzado a la bandeja. Se agregó agua, en la proporción del 1 al 2 %.

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).

- k) Se repitieron las operaciones indicadas desde el apart. e) a la k) unas 4 o 5 veces.



**Figura 5.** Procedimiento del ensayo proctor Standard adaptado.

#### 2.4. Ensayo Proctor Standard.

Según la norma de ensayo VN - E19 – 66 de Vialidad Nacional, se realizó el ensayo Proctor Normal Standard con la dosificación antes mencionada de nueve partes de tierra y una de cemento. Para ello se repitió el ensayo en 6 oportunidades, obteniendo una uniformidad en cuanto a los valores de densidad máxima y humedad óptima, promediando los resultados obtenidos.

Con la humedad óptima obtenida en cada método de proctor se moldearon 10 bloques 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. Nuestro molde tiene salientes de encastre en la parte superior por lo que se procedió a desmontarlos de manera de generar una superficie plana de apoyo de las cargas (fig. 6). Se ensayaron éstas probetas en la prensa, observando la carga de fisura y la carga de rotura para cada uno de ellas.



**Figura 6.** Probeta de BTC para ensayo a compresión.

### 3. Resultados.

#### 3.1. 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 descrita en el ap. 2.1, se calcularon la humedad óptima porcentual (H), la densidad en estado húmedo del material compactado (Dh), la densidad del material seco y compactado (Ds).

- La humedad porcentual (H)

$$H = \frac{(P_h' - P_s')}{P_s' - T} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3)$$

donde: H es el porcentaje de humedad, Ph' el peso de la bandeja con el material húmedo, Ps' es con el material seco y T es el peso de la bandeja

- La densidad en estado húmedo del material compactado (Dh)

$$D_h = \frac{P}{V} \quad (4)$$

donde: Dh es la densidad del material compactado en estado húmedo, P corresponde al peso del material compactado húmedo y V es volumen interior del molde de compactación

- La densidad, en estado seco (Ds)

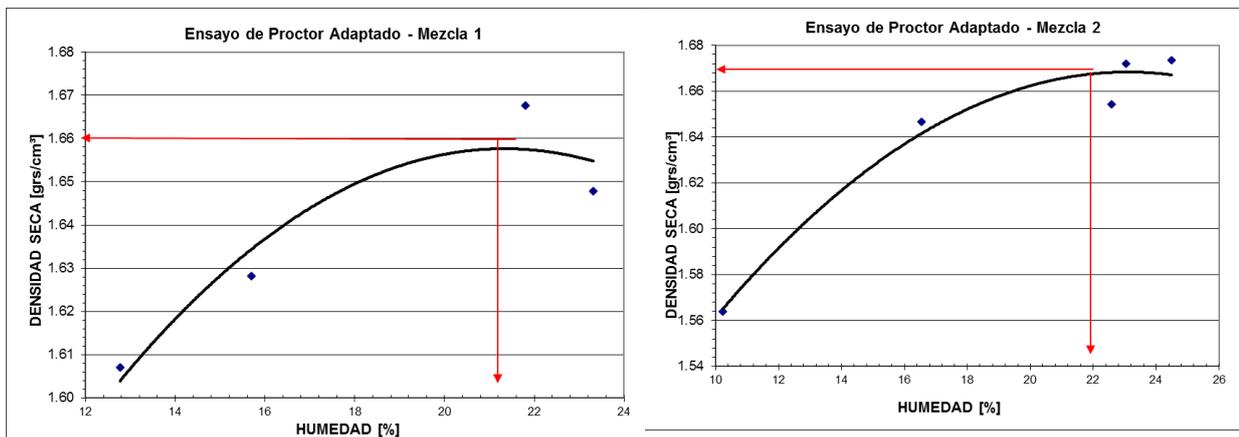
$$D_s = \frac{D_h \cdot 100}{100 + H} \quad (5)$$

En la tabla II se muestran los resultados obtenidos de algunas de las mezclas analizadas.

**Tabla II.** Densidad seca y humedad del proctor adaptado.

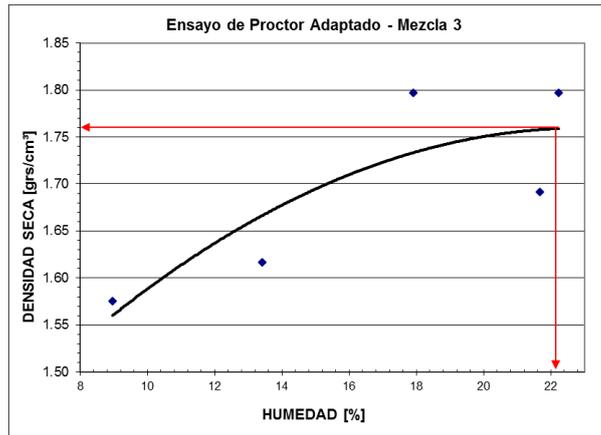
Proctor Adaptado	Punto	Agua aplicada	Peso del molde + suelo húmedo	Carga aplicada	Asentamiento	Densidad seca	Humedad (agua/suelo seco)
n°		[%]	[grs]	[kg]	[cm]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]
1	a	6	4258.9	1803	2.33	1.607	12.77
	b	6	4197.6	1807	3.07	1.628	15.70
	c	3	4206.7	1803.5	3.63	1.668	21.80
	d	3	4354.5	1806	2.76	1.648	23.31
2	a	6	4357.8	1799	1.17	1.564	10.24
	b	6	4171.3	1800	3.39	1.647	16.54
	c	3	4319.7	1888	2.95	1.654	22.59
	d	3	4287.2	1801	3.26	1.672	23.04
	e	3	4406	1880	2.68	1.674	24.48
3	a	6	4347.2	1811	1.2	1.575	8.96
	b	6	4214	1853.5	2.73	1.616	13.42
	c	3	4198.8	1800.5	4	1.797	17.91
	d	3	4294.5	1817.5	3.22	1.691	21.67
	e	3	4608.3	1800.9	2.03	1.797	22.24

Se graficaron los resultados para los distintos puntos en un sistema de ejes coordenados los valores de humedad porcentual (abscisas) y los de la densidad seca (ordenadas) (fig. 7). Se generó una curva que va ascendiendo con respecto a la densidad, pasa por un máximo y luego desciende. El punto más alto de la curva indica en ordenadas, la densidad máxima en estado seco (Ds) que puede lograrse con la carga de compactación empleada y en abscisas, la humedad óptima (H) que se requiere para alcanzar dicha densidad (Dirección Nacional de Vialidad, 1979).



$X_1^{\text{máx}}=21.3; Y_1=1.6576$

$X_1^{\text{máx}}=23.1; Y_1=1.67$

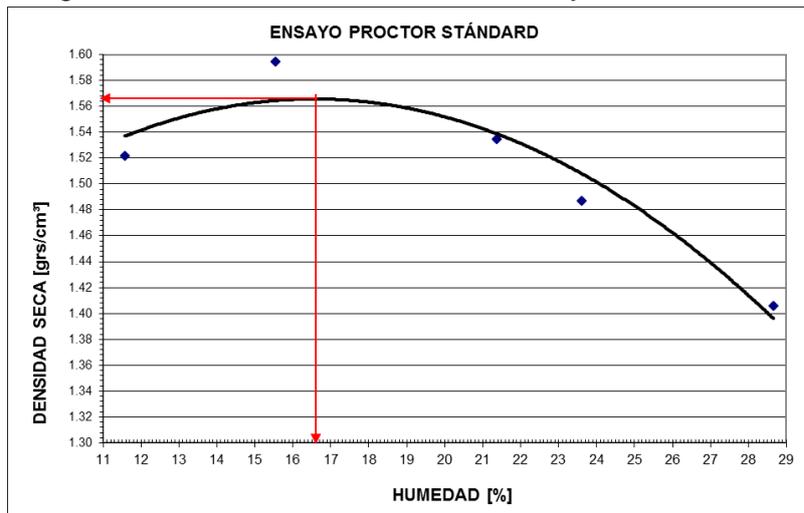


**Figura 7.** Humedad vs Densidad seca: a) Proctor 1; b) Proctor 2; c) Proctor 3.

Obteniendo un valor promedio de las variables estudiadas del Proctor Normal Adaptado nos da: humedad óptima [%] ~22.33; densidad seca [grs/cm³] ~1.69.

Los BTC realizados con esta humedad óptima dieron una resistencia promedio a compresión de 9.59 kg/cm².

En la figura 8 se grafican los valores de uno de los ensayos Proctor Standard.



$$X_1^{\text{máx}}=16.6; Y_1=1.56$$

**Figura 8.** Humedad vs Densidad seca.

Obteniendo un valor promedio de las variables estudiadas del Proctor Standard nos da: humedad óptima [%] ~16,5; densidad seca [grs/cm³] ~1.53.

Los BTC realizados con esta humedad óptima dieron una resistencia promedio a compresión de 5.24 kg/cm².

Los valores de la tabla y las gráficas presentados en este inciso representan curvas características de los ensayos. El valor final de la humedad máxima y densidad seca máxima de cada método se obtuvo promediando el total de los resultados de cada ensayo (Adaptado: 7 y Standard: 6).

#### 4. Discusión.

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

- Humedad óptima promedio [%]: el ensayo adaptado arrojó mayor humedad óptima que el normal, siendo un 22% para el primero y un 16.3 % para el segundo.
- Densidad seca promedio [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]: para nuestro ensayo la densidad seca promedio aumenta, pasando de  $1.53 \text{ g}/\text{cm}^2$  a  $1.69 \text{ g}/\text{cm}^2$ . Esto genera mejores condiciones en la extracción del BTC de la bloquera ya que con la densidad seca anterior 1 de cada 3 se rompen, mientras que ahora solo 1 de cada 10.
- $\sigma_{\text{rot}}$  [ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ]: 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. Siendo esta de  $5.24 \text{ kg}/\text{cm}^2$  para el primer caso y  $9.59 \text{ kg}/\text{cm}^2$  para el segundo.

## Conclusión

La humedad óptima promedio para la fabricación de los ladrillos BTC es de ~ 22% 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 83% y reduce notablemente la probabilidad de ruptura en el momento de extraerlo de la bloquera.

## Bibliografía

Dirección Nacional de Vialidad. (1979). *NORMA DE ENSAYO VN 19-66 - Compactación de mezclas de suelo - Cemento y suelo - Cal*. Normas de ensayo, 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.