


Evaluación del proceso de prensado en la fabricación de bloques de tierra comprimida

Evaluation of the pressing process in the manufacture of compressed earth blocks

Santiago Cabrera.  Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe. Argentina. spcabrera@outlook.com (autor de contacto).

Gonzalo Darras.  Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe. Argentina. gdarras@frsf.utn.edu.ar

Nicolás Losa.  Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe. Argentina. nlosa@frsf.utn.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo pretende esclarecer los aspectos fundamentales del proceso de compresión de los bloques de tierra comprimida (BTC) y de las máquinas desarrolladas para tal fin. Para ello se presenta la percepción de diferentes fabricantes de prensas y bloques sobre la fuerza de compresión requerida para fabricar un BTC, se describe el funcionamiento de los mecanismos de acción de las prensas manuales e hidráulicas comercialmente disponibles en Sudamérica y se determina de manera analítica y experimental la fuerza máxima de compresión que estas prensas pueden aplicar. La evaluación de los resultados indica que la presión de moldeo de las prensas de accionamiento manual varía entre 3.8 y 8 kfg/cm², la aplicada por las prensas hidráulicas de baja y mediana potencia entre los 9 y 32.4 kfg/cm² y la producida por las prensas hidráulicas de alta potencia (hasta 11 kW) puede alcanzar los 64.7 kfg/cm².

Palabras clave: BTC; prensa; CINVA-RAM; compresión.

ABSTRACT

This work aims to clarify the fundamental aspects of the compression process of compressed earth blocks (CEB) and the machines developed for this purpose. For this, the perception of different manufacturers of presses and blocks on the compression force required to manufacture a BTC is presented, the operation of the mechanisms of action of the manual and hydraulic presses commercially available in South America is described and it is determined analytically and experimentally the maximum compression force that these presses can apply. The evaluation of the results indicates that the molding pressure of the manually operated presses varies between 3.8 and 8 kfg/cm², that applied by the low and medium power hydraulic presses between 9 and 32.4 kfg/cm² and that produced by the high-power hydraulic presses (up to 11 kW) can reach 64.7 kfg/cm².

Keywords: CEB; press; CINVA-RAM; compression.

Cómo citar este artículo/Citation: Santiago Cabrera, Gonzalo Darras, Nicolás Losa (2023). Evaluación del proceso de prensado en la fabricación de bloques de tierra comprimida. *Informes de la Construcción*, 76(574): 6524. <https://doi.org/10.3989/ic.6524>

Copyright: © 2024 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 10/06/2023
Aceptado/Accepted: 08/03/2024
Publicado on-line/Published on-line: 04/06/2024

1. INTRODUCCIÓN

El Bloque de tierra comprimida o BTC es un mampuesto fabricado mediante la compresión de un mortero de tierra, generalmente estabilizada con cal o cemento, que se encuentra contenido 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 variable y depende de la matriz empleada durante su fabricación, pudiendo ser macizos, huecos o encastrables (1).

A diferencia de las técnicas de construcción con tierra clásicas que poseen cientos e incluso miles de años de antigüedad, la tecnología del BTC fue promocionada en Colombia a comienzos de los años 1950 en el Centro Interamericano de Vivienda (CINVA) como una alternativa económica para la fabricación de bloques de construcción (2).

En comparación con el adobe, el BTC es apreciado por algunos autores como un salto tecnológico. Pueden considerarse similares por su posibilidad de ser producidos manualmente y la forma en que son utilizados en la construcción de muros y cubiertas, pero el BTC presenta aspectos que lo diferencian sustancialmente del adobe: además del contenido de agua, los materiales constitutivos del mortero, la forma y los tiempos de producción, en su fabricación interviene maquinaria especializada. Esta última particularidad permite al BTC integrarse de manera más acorde a los contextos de producción de la industria de la construcción vigentes, posibilitando su fabricación de manera industrializada (3).

Considerando las investigaciones sobre BTC publicadas en los últimos 10 años en revistas científicas de alto impacto, es recurrente la temática abordada: la incorporación de diversos materiales y aditivos estabilizantes como reemplazo parcial o total del cemento Portland y el estudio de su efecto en las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los bloques (4-10). Además, numerosas investigaciones evalúan el efecto de la fuerza de compresión aplicada durante la fabricación de estos bloques con sus propiedades mecánicas (11-14), térmicas (15) y acústicas (16).

Sin embargo, no se han encontrado publicaciones científicas abocadas al estudio de los sistemas de compresión empleados por las diferentes prensas comercialmente disponibles para la fabricación de BTC, ni sobre la fuerza que cada una es efectivamente capaz de aplicar en virtud de su mecanismo de funcionamiento; entendiendo como fuerza de compresión a la fuerza aplicada por las prensas para incrementar la compacidad (y consecuente densidad) del mortero de tierra.

Por otro lado, la información disponible de parte de los fabricantes de prensas y fabricantes de bloques resulta confusa, indicando presiones de moldeo variables o incoherentes, malinterpretando muchas veces las presiones de trabajo de los sistemas hidráulicos (en prensas hidráulicas) como equivalente a las presiones de moldeo o incluso a las tensiones de rotura ante esfuerzos de compresión de los propios bloques. Estas impericias muchas veces se utilizan como referencia y se trasladan a trabajos de investigación, evitando una comparación efectiva de la base empírica generada por distintos autores.

El objetivo general de este trabajo consiste en esclarecer estos aspectos fundamentales del proceso de compresión de los BTC y de las máquinas desarrolladas para tal fin. Para ello se proponen los siguientes objetivos específicos:

1. Presentar la percepción de diferentes fabricantes de prensas y bloques sobre la fuerza de compresión requerida para fabricar un BTC y las fuerzas entregadas por los equipos que comercializan.
2. Describir el funcionamiento de los mecanismos de acción de las prensas mecánicas-manuales e hidráulicas comercialmente disponibles en Sudamérica.
3. Calcular la fuerza máxima de compresión que pueden entregar tanto las prensas mecánico-manuales como las hidráulicas.
4. Contrastar los valores calculados contra mediciones efectuadas sobre prensas en condiciones de laboratorio.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. Mecanismo de compresión de las prensas para BTC

2.1.1. Prensas de accionamiento manual

El uso de prensas y la forma de producir bloques de tierra comprimida de manera mecánica con fines arquitectónicos y de construcción puede rastrearse hasta finales de la década de 1940, con la construcción de más de 4000 viviendas en India y 1200 en Ghana, y principios de los años '50, con la construcción de aproximadamente 50 mil edificaciones en Corea. Sin embargo, esta tecnología se vio impulsada a partir de 1957, con la invención de la prensa CINVA-RAM, desarrollada por el ingeniero chileno Raúl Ramírez en el Centro Interamericano de Vivienda (CINVA) en Bogotá, Colombia (17). Tal fue su impacto, que actualmente el BTC es considerado como una de las tecnologías latinoamericanas más difundidas en el mundo (2).

Con posterioridad al desarrollo de la CINVA-RAM, numerosos institutos y centros de investigación de todo el mundo se abocaron al diseño y construcción de prensas propias, en su gran mayoría adaptaciones de la original CINVA-RAM. Algunos casos que se destacan son: la prensa Astram, desarrollada por el Centro de Aplicación de Ciencia y Tecnología para Áreas Rurales de India; la prensa CETA-Ram, diseñada y producida el Centro de Técnicas Apropriadas y Experimentación de Guatemala; la prensa Brepak, desarrollada por el Building Research Establishment en Watford (Inglaterra); la prensa francesa Geo 50, fabricada por la empresa Altech; sus variante italianas, diseñadas en el Politécnico de Turín (18,19); y la prensa CTA, desarrolladas por el Centro de Tecnología Apropriada del Paraguay (20).

Gran parte de las prensas manuales derivadas de la CINVA-RAM basan su funcionamiento en la combinación de 2 mecanismos: un mecanismo manivela-biela-corredera para comprimir el bloque; y una palanca simple para expulsarlo luego de ser comprimido (Figura 1). En la Figura 2 puede apreciarse un esquema simplificado del primer mecanismo, que resulta idéntico al empleado por los motores de combustión interna para transformar el movimiento lineal del pistón (corredera) tras la combustión dentro del cilindro en movimiento rotatorio del eje (manivela).

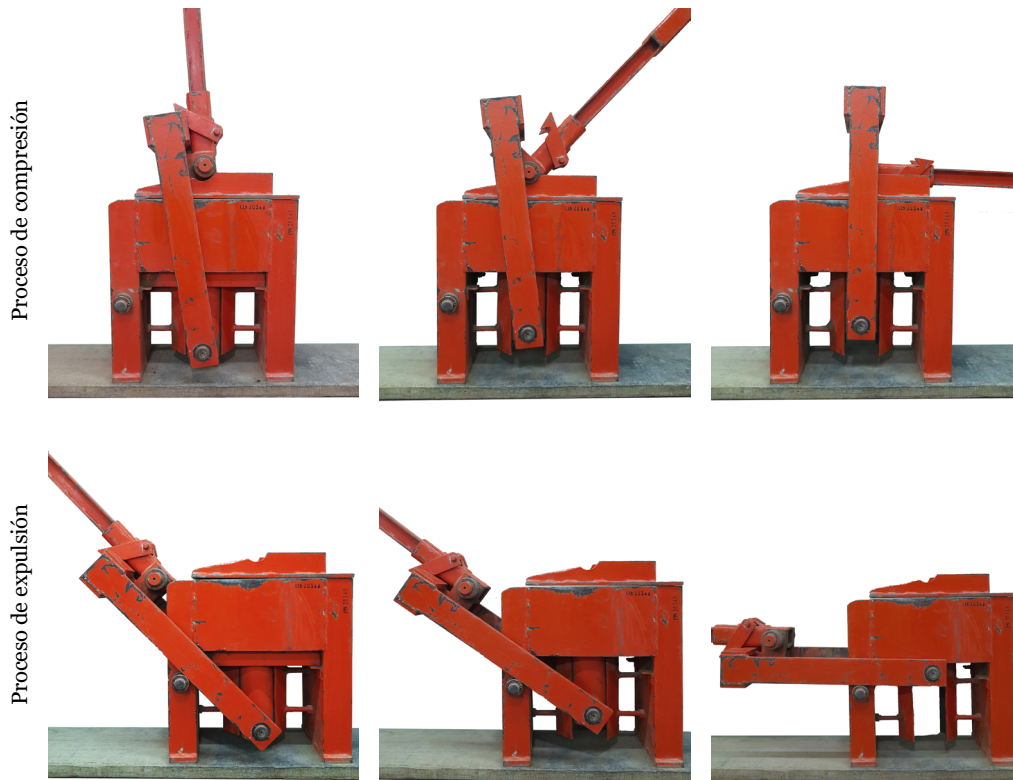


Figura 1. Funcionamiento de la prensa CINVA-RAM. Arriba: proceso de compresión mediante el mecanismo manivela-biela-corredera. Abajo: Proceso de expulsión del BTC a través del mecanismo de palanca. Fuente: elaboración propia

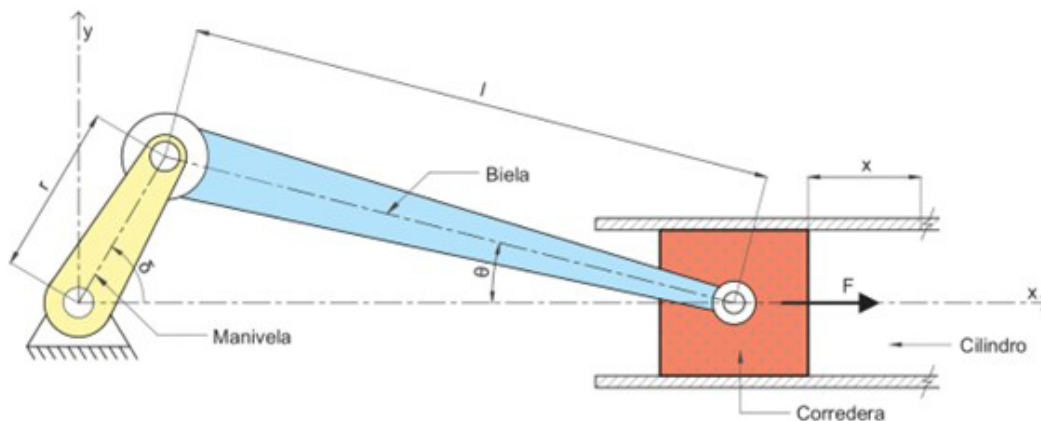


Figura 2. Esquema simplificado del mecanismo manivela-biela-corredera empleado por la prensa CINVA-RAM durante la etapa de compresión de los BTC. Fuente: elaboración propia

A diferencia de lo que sucede en un motor de combustión interna, en estas prensas el recorrido de la manivela es de tan solo 90° , ya que el objetivo del mecanismo es convertir el torque ejercido por la palanca durante su descenso, en fuerza de compresión lineal.

Aplicando conceptos de mecánica clásica puede calcularse, mediante la utilización de la ecuación [1], el torque del mecanismo en función de la fuerza vertical ejercida sobre la palanca y el ángulo de rotación de esta (21). Una vez calculado el torque, que es transmitido por la manivela sobre la biela, puede emplearse la ecuación [2] para estimar la fuerza de compresión desarrollada por la prensa CINVA-RAM (y todas aquellas que emplean el mecanismo manivela-biela-corredera). Esta fórmula relaciona el torque ejercido sobre la manivela con su radio, su ángulo de barrido y la longitud de la biela, determinando la fuerza de compresión desarrollada por la corredera (22).

$$[1] \quad T = F_p * L * \cos(\delta)$$

$$[2] \quad F = \frac{T}{r * \sin(\theta) * \left(1 + \frac{r}{l} * \cos(\theta)\right)}$$

Siendo:

- T el torque ejercido por la palanca, en kgf.cm
- F_p la fuerza vertical ejercida hacia abajo ejercida sobre el extremo de la palanca, en kgf
- l la longitud de la biela, en cm
- L la longitud de la palanca, en cm
- δ el ángulo barrido por la palanca respecto a la horizontal, en $^\circ$
- F la fuerza de compresión entregada por la prensa, en kgf
- r el radio de la manivela, en cm
- θ el ángulo barrido por la manivela, vinculado al giro de la palanca ($\theta = 90^\circ - \delta$), en $^\circ$

En el proceso de prensado, al finalizar la etapa de compresión, se vuelve a colocar la palanca en posición vertical y se fija la manivela al cabezal de la biela para hacerlas descender mediante la palanca. De esta manera, el nuevo conjunto biela-manivela-palanca corre en sentido opuesto al mecanismo original y, formando una palanca simple, expulsa el bloque hacia arriba (ver Figura 1).

Es preciso indicar que, a pesar de que las prensas manuales que emplean el mecanismo manivela-biela-corredera son las de mayor disponibilidad comercial en Sudamérica, existen prensas de accionamiento manual cuyo sistema de compresión se basa en una combinación de los sistemas leva-seguir y palanca simple, como sucede con las prensas francesas Altech Geo 50 (19) y sus variantes Italianas Mattone y Float Ram (18), como así también la prensa india Auram Press 3000, desarrollada por Auroville Earth Institute y fabricada y comercializada por Aureka (23). Sin embargo, por no encontrarse comercialmente disponibles en Sudamérica, no serán consideradas en este artículo.

2.1.2. Prensas de accionamiento hidráulico

Este tipo de prensas son accionadas por un sistema constituido por un motor eléctrico, una bomba y un cilindro hidráulico. Las bombas hidráulicas de mayor utilización en la industria, dada su versatilidad y relativo bajo costo, son las bombas de engrane o caudal fijo, las cuales pueden lograr presiones de trabajo de hasta 2500 psi, caudales variables de 1 a 550 l/min y, a la velocidad de trabajo recomendada de 1200/1500 rpm, presentan rendimientos comprendidos entre el 65 y el 85% (24). Estos sistemas se diseñan en base a las siguientes ecuaciones fundamentales: la fuerza de compresión entregada en función de la presión del fluido hidráulico [3], el caudal de la bomba en función de la carrera del cilindro y el tiempo de trabajo [4], la potencia del motor requerido [5] y, finalmente, la presión de moldeo de los BTC en función de la fuerza del sistema hidráulico y el área del bloque [6].

$$[3] \quad F = P_a * \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$[4] \quad Q = \frac{V}{t} = \frac{h * \frac{\pi * d^2}{4}}{t} * \left(\frac{6}{100}\right)$$

$$[5] \quad P = \frac{Q * P_a}{\eta} * \left(\frac{10}{75 * 60}\right)$$

$$[6] \quad P_{BTC} = \frac{F}{A_{BTC}}$$

Siendo:

- F la fuerza de compresión entregada por la prensa, en kgf
- P_a la presión de aceite del sistema hidráulico, en kgf/cm²
- d el diámetro del pistón, en cm
- Q el caudal de la bomba, en l/min
- h la carrera del cilindro, cm
- P la potencia del motor requerido para accionar el sistema hidráulica, en CV
- η el rendimiento total de la bomba hidráulica
- P_{btc} la presión con la que efectivamente se moldea el BTC, en kgf/cm²
- A_{btc} el área del BTC, en cm²

2.2. Proceso de dosificación y compresión de las prensas para BTC

En la fabricación de BTC el proceso de compresión puede realizarse por deformación controlada, regulando la tasa de compresión (relación entre el recorrido del pistón y la dimensión final del bloque, expresada en porcentaje), o por presión controlada, estableciendo la fuerza de compresión entregada. En el primero de los casos, se define la altura inicial y final del molde en el cual se introduce el mortero de tierra y se entrega la fuerza que sea necesaria, variable en función de la cantidad de material incorporado dentro del molde, su compacidad y contenido de humedad. En el segundo de los casos, se coloca el mortero dentro del molde y se comprime hasta alcanzar la fuerza de compresión estipulada, pudiendo generarse bloques de diferente altura si la cantidad de material incorporada dentro del molde, su compacidad o humedad no son exactamente iguales entre ellos.

Las prensas comerciales específicamente diseñadas para la fabricación de BTC, tanto manuales como hidráulicas, trabajan por deformación controlada, definiendo una altura inicial (según la profundidad de molde donde se aloja el mortero de tierra antes de ser comprimido) y el recorrido del pistón de compresión, resultando de la diferencia entre ambas distancias la altura final del BTC. Asimismo, en este tipo de prensas, el suministro del mortero al molde se realiza por volumen controlado, incorporando la cantidad necesaria de material empleando un cajón de dimensiones definidas, el cual se recarga por gravedad mediante una tolva.

De esta manera, la correcta fabricación de BTC requiere de la determinación del balance entre la máxima fuerza de compresión entregada por la prensa, su tasa de compresión y el volumen del molde de carga. De no alcanzarse este equilibrio, pueden fabricarse bloques de tamaño uniforme (porque la prensa ejecuta todo el recorrido durante la compresión) pero comprimidos a una densidad insuficiente; o bloques fabricados con la máxima fuerza de compresión entregada por la prensa, pero con alturas diferentes (mayores) a las nominales. Para alcanzar este balance, gran parte de las prensas comercialmente disponibles cuentan con un sistema que permite modificar la capacidad volumétrica del molde, subiéndolo el asiento del émbolo en prensas de accionamiento manual, o incorporando suplementos en la parte superior del cilindro de compresión en prensas de accionamiento hidráulico.

La producción de BTC por deformación controlada, sistema empleado las prensas consideradas en este trabajo, garantiza que los bloques producidos tengan regularidad de forma, lo que permite acelerar de manera significativa la construcción de muros y minimizar el espesor del mortero entre hiladas.

3. METODOLOGÍA

3.1. Búsqueda de antecedentes y consulta a fabricantes

En primera instancia se realizó una búsqueda bibliográfica, identificando artículos científicos publicados en revistas indexadas y actas de congresos internacionales, además de tesis de grado y posgrado cuyo foco de estudio sea el BTC. Para ello, se consultaron las bases de datos Scielo, Dianlet, ScienceDirect y Scopus, complementando con la información disponible en el repositorio digital de la Red Iberoamericana de Arquitectura y Construcción con Tierra (25). Dada la

diversidad de términos existente para denominar al BTC, en la búsqueda se emplearon las siguientes palabras claves en español e inglés: BTC, bloque de tierra comprimida, ladrillo ecológico, bloque de suelo cemento, CINVA-RAM. En una segunda instancia, tras seleccionar solo aquellos artículos en los cuales los autores indicaron de manera clara el proceso de fabricación de los BTC estudiados, se identificó y sistematizó el tipo de prensa empleada en la fabricación de los bloques y probetas y las presiones de molde utilizadas.

Además, se consultaron las páginas webs oficiales de fabricantes de prensas referentes en Argentina y Brasil, y de fabricantes norteamericanos y sudafricanos que comercializan sus prensas en Sudamérica, extrayendo de ellas toda la información disponible sobre la fuerza desarrollada por sus prensas durante la fabricación de los bloques. Finalmente, se contactó a los representantes comerciales de 3 fabricantes de prensas en Argentina y 2 fabricantes de prensas en Brasil, a quienes se consultó por la fuerza que efectivamente entregan durante el moldeo de BTC los equipos que comercializan. Para el caso de las prensas hidráulicas, se relevaron las principales características de sus componentes: potencia del motor, tipo de bomba y dimensiones del cilindro hidráulico.

3.2. Cálculo de la fuerza teórica entregada por las prensas

Utilizando las ecuaciones [1] y [2] se determinó la fuerza de compresión teórica que podría entregar una prensa manual accionada por el mecanismo manivela-biela-corredera. Las dimensiones involucradas en el cálculo se obtuvieron empleando una prensa CINVA-RAM original perteneciente al Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe: longitud de la palanca (L), longitud de la biela (l) y radio de la manivela (r). El cálculo se efectuó considerando una fuerza aplicada sobre el extremo de la palanca de 35 kgf, consistente con la fuerza que podría ejercer un operario, de manera sostenida en el tiempo, durante una jornada normal de trabajo.

De la misma manera, empleando las ecuaciones [3] a [6] se calculó la fuerza teórica ejercida por una prensa hidráulica en función de sus parámetros fundamentales: potencia del motor, presión y caudal de la bomba y dimensiones del cilindro hidráulico.

3.3. Medición experimental de la fuerza entregada por las prensas

Finalmente, con intenciones de contrastar los valores de fuerza informados por fabricantes de prensas, los valores de las fuentes consultadas y los valores calculados analíticamente mediante las ecuaciones presentadas; se determinó experimentalmente la fuerza entregada por 2 prensas pertenecientes al Grupo de Investigación: una prensa hidráulica Eco Brava y una CINVA-RAM.

El procedimiento adoptado fue idéntico en ambos casos: se introdujo una celda de carga con 20 tf de capacidad y de 5 kgf de apreciación dentro del cajón destinado al mortero de tierra y se accionó el mecanismo de compresión, cerciorándose, en ambos casos, de no presionar el cable que monitorea la celda de carga. Para lograrlo, en la prensa hidráulica se desmontó el fondo del molde y se pasó el cable de la celda por el espacio generado, mientras que en la prensa manual fue necesario colocar separadores de la misma altura del cable

entre la tapa de y el bastidor del molde. En la Figura 3 puede apreciarse la disposición empleada para medir la fuerza de compresión aplicada por ambas prensas.

4. RESULTADOS

En la Tabla 1 se resume la información de las prensas comercialmente disponibles en Sudamérica, extraída de las páginas web de los fabricantes y por consulta directa a sus representantes de ventas. Puede apreciarse como, en muchos de los casos, la fuerza de compresión y por ende la presión de moldeo de los BTC no se informa. De la misma manera, en la Tabla 2 se indican las presiones de moldeo y tipo prensas utilizadas para alcanzarlas, informadas por los diferentes autores en el desarrollo de sus investigaciones.



Figura 3. Determinación de la fuerza de compresión efectiva ejercida por las prensas Eco Brava (izquierda) y CINVA-RAM (derecha)

En la Figura 4 se presenta una curva fuerza de compresión vs ángulo barrido de manivela para la prensa CINVA-RAM, construida a en función de las ecuaciones [1] y [2]. En ella puede apreciarse como, al final del recorrido de la palanca la fuerza de compresión teóricamente entregada por la prensa es mínima e igual a 1.33 tf; sin embargo, para en la mitad del recorrido la fuerza aplicada es superior, de 1.72 tf. Esta gráfica fue realizada considerando una longitud de biela de 45 cm, un radio de manivela de 6 cm, una palanca de 2 m de longitud y una fuerza descendente en el extremo de la palanca de 40 kgf. Todas estas dimensiones fueron tomadas del modelo original de la prensa CINVA-RAM.

Es importante resaltar que, si bien el pico en de la Figura 4 se contrapone con lo que experimentaría un operario durante el proceso de compresión (que aplicaría la máxima fuerza sobre el extremo de la palanca en el tramo final del movimiento, para), esto se debe a que la curva fue construida suponiendo que la fuerza en el extremo de la palanca se mantiene constante du-

rante todo el recorrido. Lo que sucede en la práctica es que la compacidad del suelo aumenta con el desplazamiento de la corredera, motivado por la rotación de la manivela a medida que desciende el extremo de la palanca, aumentando la compacidad del suelo y, por ende, la fuerza requerida para seguir desplazando la corredera.

En la Tabla 3 se resumen los resultados de los cálculos realizados para determinar la fuerza teórica que pueden entregar las prensas hidráulicas en función de la potencia de su motor. En todos los casos, se emplearon como parámetros de cálculo los siguientes: bomba de engranes con un rendimiento del 80%, una carrera del cilindro de 7 cm y un tiempo de 1.6 segundos para completar dicho recorrido. En la Tabla 3, P es

la potencia del motor instalado, d el diámetro del cilindro, L_{BTC} y b_{BTC} el largo y ancho de los bloques, Q_{bomba} el caudal de trabajo de la bomba, P_{hid} la presión del sistema hidráulico, F_{comp} la fuerza de compresión entregada por la prensa y P_{moldeo} la presión con la que efectivamente son moldeados los BTC.

En lo que respecta a la medición directa de la fuerza de compresión efectiva entregada por las prensas, pudo determinarse que la prensa hidráulica Eco Brava, con un motor de 2.2 kW, aplicó una fuerza máxima de compresión de 4600 kgf, mientras que, como puede apreciarse en la Figura 5, la prensa CINVA-RAM aplicó una fuerza variable entre 1000 y 4600 kgf, dependiendo de la fuerza aplicada sobre el extremo de la palanca para la posición ($\theta = 45^\circ$).

Tabla 1. Fuerza de compresión de prensas para BTC informada por sus fabricantes

Fabricante	Modelo	Tipo ^(*)	Potencia (KW)	Dimensiones de los bloques			Fuerza de moldeo	
				Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Fuerza (tf)	Presión (kgf/cm ²)
Altech (26)	Geo 50	ML	-	29.5	14	9	12 - 15	29.1 - 36.3
Auram (23)	Astram 300	MLT	-	5 - 9	15 - 30	30	15	16.6 - 33.3
CINVA-RAM (27)	CINVA-RAM	MC	-	29	14	9	18	44.3
Dwel Earth (28)	BP714	HSE	7.5	10	17	35	-	-
Eco Máquinas (29)	Eco Pop	MCT	-	25	12.5	2 - 7	-	-
	Eco Brava	HS	2.2	25	12.5	2 - 7	4	12.8
	Eco Premium	HS	-	25	12.5	2 - 8	12	23.4
	Eco Maestro	HA	-	25 - 30	12.5 - 15	2 - 16	18	40 - 57.6
	Eco Supermaestro	HAD	11.0	25 - 30	12.5 - 15	2 - 16	10 - 40	22.2 - 64
Eco 3 Ingeniería (1)	Prensa Eco3	HS	11.0	30	15	5 - 7	22.5	50
Hydraform (30)	M7 Mobile	HSE	7.5	11.5	15 - 22	23.5	-	-
	M7 Stationary	HSE	7.5	11.5	15 - 22	23.5	-	-
	M9FP Electric	HS	2.2	11.5	15 - 22	23.5	-	-
	M7M3	HSD	11.0	11.5	15 - 22	23.5	-	-
J Zonni (31)	Zeta M250	MCT	-	25	12.5	6.5	6	19.2
	Zeta H250	HS	4.0	25	12.5	6.5	6	19.2
Javier Zonni (32)	PLEM 250 M15	MCT	-	25	12.5	6.5	-	-
	PLEH 250 H15	HS	2.2	25	12.5	6.5	-	-
Robusta (33)	Manual 300	MCT	-	25 - 30	12.5 - 15	6 - 8	-	-
	Mini Robusta	HS	2.2 - 4.0	25 - 30	12.5 - 15	3 - 8	-	-
	Robusta	HS	5.5	25 - 30	12.5 - 15	5 - 8	14	31.1 - 44.8
	Robusta mix (doble)	HSD	5.5	25 - 30	12.5 - 15	5 - 8	14	15.5 - 22.4
Sahara-Jarfel (34)	Hobby	MC	-	9.0 - 12.5	19 - 25	4 - 5	1.5	4.8 - 8.8
	Profesional	MCT	-	25	12.5	-	1.5	4.8
	Sahara HM	HS	2.2	25	12.5	-	-	-
	Shara Funcional 3300	HA	5.5	25	12.5	-	6	19.2
Verde equipamiento (35)	Manual	MCT	-	25 - 30	12.5 - 15	2 - 7	-	-
	Hidráulica	HS	4.0	25 - 30	12.5 - 15	2 - 7	6	13.3 - 19.2
	Automática	HA	4.0	25 - 30	12.5 - 15	2 - 7	6	13.3 - 19.2
Vimaq (36)	M 12 y M 15	MCT	-	25 - 30	12.5 - 15	6 - 7.5	-	-
	H1 y H2	HS	-	25 - 30	12.5 - 15	6 - 7.5	12	26.7 - 38.4

(*) Referencias al tipo de prensa

- MC manual tipo CINVA-RAM
- MCT manual tipo CINVA-RAM con tolva de carga
- ML - Manual con mecanismo de compresión tipo leva-seguidor
- ML - Manual con mecanismo de compresión tipo leva-seguidor y tolva de carga
- HS - Hidráulica semiautomática
- HSD - Hidráulica semi automática doble (2 BTC por ciclo de compresión)
- HA - Hidráulica completamente automática
- HAD - Hidráulica completamente automática doble (2 BTC por ciclo de compresión)
- HSE - Hidráulica semiautomática impulsada por un motor de combustión interna

5. DISCUSIÓN

5.1. Sobre la información presentada por los fabricantes

5.1.1. Prensas manuales

En la Tabla 1 puede advertirse que los fabricantes de prensas Eco Máquinas, Robusta, Javier Zonni, Vimaq y Verde Equi-

pamientos no indican la fuerza de moldeo aplicada por las prensas manuales que producen. La empresa Sahara-Jarfel indica fuerzas de compresión para sus modelos de prensas manuales comparables a los calculados y medidos en el apartado 3 de este artículo (ver Figuras 5 y 6), de 1.5 tf. Por el contrario, el fabricante J Zonni indica que su prensa manual aplica durante el moldeo de los BTC una fuerza de compresión de 6 tf, la misma que su prensa hidráulica con motor de 4 kW. Esta fuerza es, al menos, 4 veces mayor a la calculado

Tabla 2. Prensas y presiones de moldeo de BTC y probetas informadas y publicadas por diversos investigadores

Artículo	Probeta	Dimensiones (cm)	Presión de moldeo (kgf/cm ²)	Prensa utilizada	
Ouma et al. (2023)	(37)	Cilindros	d = 7.6 h = 2	25 - 100	Hidráulica (ensayo de laboratorio)
Aranda-Jiménez et al. (2023)	(38)	BTC	29.5 × 14.4 × 9.5	No indica	Manual tipo CINVA-RAM
Cottrell et al. (2023)	(39)	Cilindros	d=4.4 h=20	12.5	Hidráulica (ensayo de laboratorio)
Kumar & Barbato (2022)	(40)	BTC	29 × 14.5 × 7.5	20 - 40	Manual (no especificada)
Cottrell et al. (2021)	(41)	BTC	29 × 14 × 7	12.5	Manual tipo CINVA-RAM
Al-Jabri et al. (2021)	(42)	BTC	30 × 15 × 10 × 15 × 10	15 No indica	Manual tipo CINVA-RAM Hidráulica semiautomática
Elahi et al. (2021)	(43)	Prismas	25.4 x 12.7 x 7.6	No indica	Compactación dinámica en capas (Proctor)
		Cilindros	d=10 h=20	No indica	
Malkanthi et al. (2021)	(44)	Cubos	15 x 15 x 15	No indica	Colados en estado plástico (símil adobe)
		Bloques	35 x 10 x 17.5	No indica	Manual (bloquera de hormigón)
Ouedraogo et al. (2020)	(45)	Prismas	15 x 15 x 5	5 - 20	Hidráulica (ensayo de laboratorio)
		Cilindros	d = 5 h = 5		
Cabrera et al. (2020)	(46)	BTC	25 x 12.6 x 6.2	7	Manual tipo CINVA-RAM
		BTC	30 x 15 x 7.5	20	Hidráulica automática
		BTC	30 x 15 x 7	14.9	Hidráulica semiautomática
Malkanthi et al. (2020)	(47)	Cubos	15 x 15 x 15	No indica	Compactación dinámica en capas (Proctor)
Cabrera et al. (2020)	(48)	BTC	25 x 12.5 x 6.5	No indica	Hidráulica semiautomática
Barbero et al. (2020)	(49)	BTC	29.4 x 14.1 x 9.7	44	Manual tipo CINVA-RAM
Sitton et al. (2018)	(50)	BTC	35 x 18 x 10	155 (P _{sist. hid.})	Hidráulica automática (Earth Blox BP714)
González López et al. (2018)	(12)	BTC	29 x 14 x 7	0.11	Manual tipo CINVA-RAM
		Prismas	20 x 4 x 3	0.49, 0.98 y 1.96	Hidráulica (ensayo de laboratorio)
Ruiz et al. (2018)	(51)	BTC	29 x 14 x 7	No indica	Hidráulica semiautomática
Arias y Alderete (2017)	(11)	Cilindros	d = 6 h = 6	177, 354 y 530	Hidráulica (ensayo de laboratorio)
Mansour et al. (2017)	(16)	Discos	d = 10 h = 2	0.5 - 63.5	Hidráulica (ensayo de laboratorio)
		Prismas	7 x 7 x 28		
Nagaraj et al. (2017)	(8)	BTC	30.5 x 14.5 x 10	No indica	Manual tipo CINVA-RAM
Ferraresi et al. (2017)	(18)	BTC	28.1 x 10.4 x 9.4	12.3	Manual (FLOAT-RAM)
Mansour et al. (2016)	(15)	Prismas	28 x 7 x 7	3.9 - 31.6	Hidráulica (ensayo de laboratorio)
Silva et al. (2015)	(52)	BTC	28 x 14 x 10	20	Manual (TERSTA-RAM)
Nagaraj et al. (2014)	(53)	BTC	30.5 x 14.5 x 10	No indica	Manual (ASTRAM)
Roux Gutierrez et al. (2014)	(54)	BTC	29 x 14 x 7	No indica	Manual tipo CINVA-RAM
Flament (2012)	(14)	Cilindros	d = 10 h = 10	30	Hidráulica (ensayo de laboratorio)
		BTC	30 x 15 x 8	33.3	Hidráulica semiautomática
Lima et al. (2012)	(5)	BTC	24 x 11 x 5	No indica	Manual (TERSTA-RAM)
Falceto (2012)	(55)	BTC	30.6 x 16.6 x 10.3	200	Hidráulica automática
			29 x 14.5 x 9.5	100	Hidráulica semiautomática
			29.5 x 14 x 9	No indica	Hidráulica automática
			30 x 14.5 x 10.5	No indica	Hidráulica semiautomática
Aranda Jiménez (2009)	(56)	BTC	29 x 14 x 7	No indica	Manual tipo CINVA-RAM
Galíndez (2007)	(13)	Cilindros	d = 10.2 h = 11.6	4, 6 y 8	Hidráulica (ensayo de laboratorio)
		BTC	15 x 30 x h _{variable}	No indica	Manual de accionamiento hidráulico

Tabla 3. Valores de la fuerza teórica que pueden entregar las prensas de hidráulicas en función de la potencia de su motor

P (KW)	d (°)	L _{BTC} (cm)	b _{BTC} (cm)	Q _{bomba} (l/min)	P _{hid.} (bar)	F _{comp.} (tf)	P _{moldeo} (kgf/cm ²)
2.2	2.75	25 30	12.5 15	10 10	103.7	4.05	12.9 9.0
4	3	25 30	12.5 15	12 12	158.2	7.36	23.5 16.4
5.5	3	25 30	12.5 15	12 12	217.5	10.12	32.4 22.5
7.5	3.5	25 30	12.5 15	16.3 16.3	217.9	13.79	44.1 30.6
11	4	25 30	12.5 15	21.3 21.3	244.7	20.23	64.7 44.9

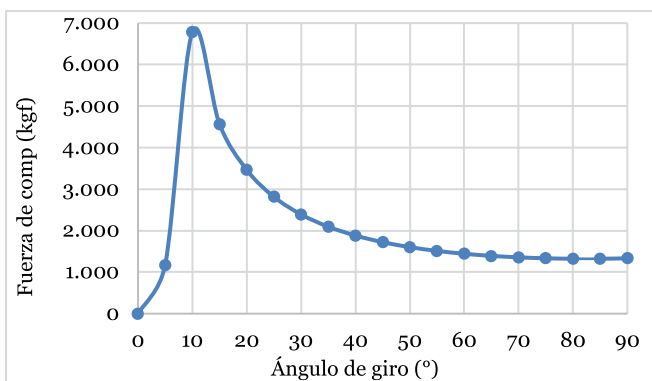


Figura 4. Fuerza de compresión teórica capaz de entregar la prensa CINVA-RAM en función del ángulo de rotación de la palanca

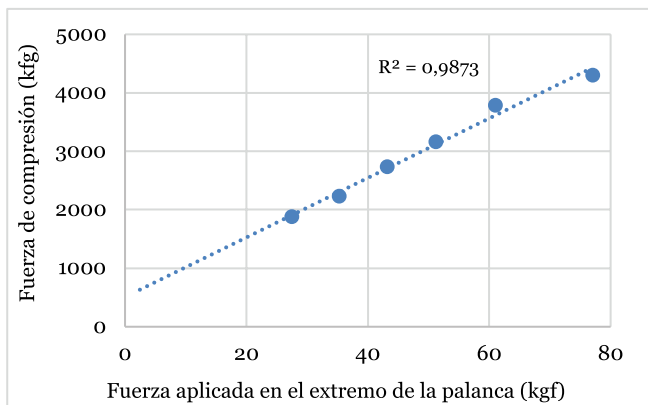


Figura 5. Fuerza de compresión entregada por la prensa CINVA-RAM en función de la fuerza aplicada sobre el extremo de la palanca

en la Figura 4 para y 3 veces superior a la medida sobre una prensa CINVA-RAM tras la aplicación de una fuerza de 35 kgf en el extremo de la palanca (Figura 5).

Se destacan los valores indicados por los fabricantes de las prensas manuales Geo 50 (Altech) y Astram 300 (Auram) que comprimen a través del mecanismo leva-seguidor, según los cuales, estas prensas moldean BTC con una fuerza de compresión de entre 12 y 15 tf, valores superiores en un orden de magnitud a los medidos en prensas manuales con mecanismo manivelabiela-corredera, y comparables con los

calculados para prensas hidráulicas con motores de al menos 5.5 Kw (ver Tabla 3). Actualmente, esa distinción motiva un estudio en progreso del mecanismo leva-seguidor, en los mismos términos que el presente artículo.

5.1.2. Prensas hidráulicas

En la Tabla 3 se aprecia como, para presiones y caudales normales de trabajo de las bombas de engranes (100 - 250 bar y 10 - 20 l/min), las prensas de menor potencia (2.2 kW) solo podrían aplicar una fuerza máxima aproximada de 4 tf, las de mediana potencia (4 y 5.5 kW) entre 7 y 10 tf y las de alta potencia (7.5 y 11 kW) entre 14 y 20 tf. Estos valores son congruentes con los informados por las empresas Eco Máquinas (solo para la modelo Eco Brava de 2.2 kW), Eco 3 Ingeniería, J Zonni y Verde Equipamientos, y con la fuerza medida sobre la prensa Eco Brava con un motor de 2.2 kW, de 4.6 tf. Sin embargo, los valores de la Tabla 3 son significativamente inferiores a los indicados por los fabricantes de las prensas Eco Superastro (Eco Máquinas) y Robusta, y mayores a los informados por la empresa Sahara-Jarfel para la prensa Funcional 3300 de 6 tf que, en virtud de los cálculos realizados, podrían alcanzar (con su motor de 5.5 kW) las 10 tf.

Pueden observarse los casos de las prensas Eco Premium, Eco Maestro y Vimaq, para las cuales los fabricantes no indicaron la potencia del motor instalado, pero sí la fuerza que éstas pueden desarrollar; mientras que, por el contrario, para las prensas Sahara HM, Mini Robusta, PLEH de Javier Zonni), BP714 de Dwel Earth y todas las producidas por la empresa Hydraform, se indica la potencia del motor, pero no la máxima fuerza que estas pueden entregar.

5.2. Sobre las presiones empleadas por investigadores

En 9 de los 29 artículos científicos evaluados en la Tabla 2, los autores han confeccionado probetas de tierra estabilizada y comprimida empleando moldes especiales (cilíndricos o prismáticos) y prensas hidráulicas universales para uso en laboratorios. Cottrell et al. (39), Ouedrago et al. (45), González López et al (12), Mansour et al. (15-16), Flament (14) y Galíndez (13) fabricaron probetas comprimidas con presiones variables entre 0.5 y 63.5 kgf/cm², lo cual equivaldría a emplear, para bloques de 30 x 15 cm de lado, fuerzas de compresión variables entre 0.2 y 28.6 tf. Por el contrario, en los trabajos de Ouma et al. (37) y Arias et al. (11) se emplearon presiones de moldeo variables entre 100 y 530 kgf/cm², las cuales equivaldrían a fuerzas de compresión de 45 y 283.5 tf respectivamente; valores muy superiores a los que podrían alcanzarse empleando prensas comercialmente disponibles para la fabricación de BTC.

De los 14 autores que emplearon prensas manuales para la fabricación de BTC, únicamente 6 indican las presiones de moldeo aplicadas por las prensas. Cabrera et al. (46) informa presiones de moldeo de 7 kgf/cm², Cottrell et al. (41) y Ferraresi et al. (18) de 12.5 y 12.3 kgf/cm² y Silva et al. (52) de 20 kgf/cm². Finalmente, González López et al. (12) y Barbero et al. (49) indican, presiones en rangos completamente diferentes al resto, de 0.11 y 44 kgf/cm² respectivamente, lo que equivaldría a 0.045 y 17.8 tf en cada caso. Esto permite apreciar la disparidad en la percepción de las presiones que pueden aplicar las prensas de accionamiento manual, signifi-

ficativamente distintas a los valores calculados y medidos en el apartado 3 de este trabajo, comprendidos entre 1.5 y 2.5 tf.

De los investigadores que han trabajado con BTC fabricados con prensas hidráulicas específicamente diseñadas para tal fin, muchos no han informado las presiones de moldeo empleadas. Cabrera et al. (46) y Flament (14) han indicado presiones de moldeo similares a las calculadas en la Tabla 3 (dadas las dimensiones de los bloques, las fuerzas aplicadas son de 9 y 6.7 tf para Cabrera y de 15 tf para Flament). Por el contrario, Falceto (55) ha indicado que los BTC utilizados en sus investigaciones fueron fabricados con prensas que, en virtud de las presiones de moldeo indicadas, aplicaron 101.6 y 42 tf; fuerzas superiores en un orden de magnitud a las determinadas analíticamente para motores eléctricos convencionales. Debe observarse que Sifton et al. (50) informó una presión del sistema hidráulico durante la fabricación de los bloques de 155 Kgf/cm², pero esta no puede traducirse directamente en la presión de moldeo de los bloques, por no indicarse el diámetro del pistón de la prensa. Sin embargo, si se supone un diámetro de pistón de 3.5", la fuerza de moldeo aplicada sobre los BTC sería de 9.6 tf, lo cual es proporcional a lo esperado por la prensa empleada, con un motor de 7.5 kW de potencia.

6. CONCLUSIONES

El análisis de los resultados y discusiones presentados en este trabajo permite arribar a las siguientes conclusiones:

1. Las prensas manuales de mayor disponibilidad comercial en Sudamérica basan su funcionamiento en el mecanismo manivela-biela-corredera; según el cual, para una palanca de 2 m de longitud y cargas aplicadas en su extremo del orden de los 35 kgf, se genera una fuerza teórica de compresión máxima de 1.7 a 2.5 tf, equivalente a presiones de moldeo de 3.8 a 5.6 kgf/cm² para BTC de 15 x 30 cm y de 5.4 a 8.0 kgf/cm² para bloques de 12.5 x 25 cm de lado.
2. Las prensas hidráulicas de baja potencia, con motores de 2.2 kW desarrollan fuerzas teóricas de compresión del orden de las 4 tf, equivalente a presiones de moldeo 9.0 kgf/cm² para BTC de 15 x 30 cm y de 12.9 kgf/cm² para bloques de 12.5 x 25 cm. Las de mediana potencia (hasta 5.5 kW) aplican fuerzas teóricas de 10.1 tf que se traduce en presiones de moldeo de 22.5 kgf/cm² para BTC de 15 x 30 cm y de 32.4 kgf/cm² para bloques de 12.5 x 25 cm. Finalmente, con motores de alta potencia, de 7.5 y 11 kW, pueden alcanzarse fuerzas teóricas de 13.8 y 20.2 tf respectivamente, lo cual generaría presiones de moldeo de 30.6 y 44.1 kgf/cm² (según el tamaño del bloque) para prensas de 7.5 kW y de 44.9 y 64.7 kgf/cm² para prensas de 11 kW.
3. En virtud del relevamiento realizado, la fuerza de compresión aplicada por las prensas manuales no se indica normalmente en la folletería comercial de la mayoría de los fabricantes. Mientras que se constató analíticamente la capacidad de la prensa producida por un fabricante de referencia, se registró otro caso en que el valor informado es

muy superior al calculado y al medido en esta investigación.

4. Más de la mitad de las investigaciones relevadas, donde se emplearon prensas manuales o hidráulicas para la fabricación de BTC, no indicaban la fuerza aplicada por las mismas. Además, entre los investigadores que sí la informaron, se advierte una gran disparidad de valores: mientras que algunos reportan presiones de moldeo congruentes con las calculadas en este trabajo, otros informan valores significativamente superiores.
5. El rango de presiones empleado por los investigadores que, en lugar de utilizar BTC producidos con prensas específicamente diseñadas para tal fin, utilizaron prensas de laboratorio y moldes especiales (prismáticos o cilíndricos) para sus ensayos, informaron rangos de presiones muy variados, comprendidos entre los 0.5 y 530 kgf/cm². En la mayoría de los casos, los valores empleados se encuentran dentro del rango de presiones esperadas para prensas de accionamiento manual y prensas hidráulicas de gran potencia (3.8 a 64.7 kgf/cm²); sin embargo, algunos investigadores han empleado presiones de moldeo fuera de esos intervalos de presiones.

En función de lo indicado anteriormente, se considera importante recomendar que, en virtud de lograr que los resultados obtenidos sobre probetas moldeadas en laboratorio sean representativos de BTC producidos con prensas de accionamiento manual, se utilicen presiones de moldeo comprendidas entre los 3.8 y 8 kgf/cm². Lo propio si se propone representatividad de bloques producidos con prensas hidráulicas de baja y mediana potencia, con presiones de moldeo de 9 a 32.4 kgf/cm²; y de 30.6 a 64.7 kgf/cm² para replicar BTC fabricados con prensas hidráulicas de alta potencia.

Para finalizar, cabe destacar la capacidad de comparación entre bases empíricas que un estudio como el realizado permite, habiendo efectivamente reinterpretado información técnica proporcionada por fabricantes de equipos y resultados registrados en investigaciones.

En el futuro, se pretende continuar con esta línea de investigación, y analizar los diferentes mecanismos empleados por las prensas manuales que, por no ser de uso frecuente en Sudamérica, no fueron analizados en este artículo, completando dicho estudio con simulaciones cinemáticas computarizadas de sus mecanismos.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores de este artículo declaran no tener conflictos de intereses financieros, profesionales o personales que pudieran haber influido de manera inapropiada en este trabajo.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Santiago Cabrera: Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Redacción - borrador original,

Gonzalo Darras: Análisis Formal, Investigación, Metodología, Redacción - revisión y edición.

Nicolás Losa: Análisis formal, Redacción - revisión y edición.

REFERENCIAS

- (1) 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*. Universidad Tecnológica Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12272/6793>.
- (2) Ángulo Jaramillo, D. E., & Carreño Carry, A. (2017). El Bloque de Tierra Comprimido o BTC. Una alternativa de Construcción para la Arquitectura Contemporánea. *NODO*, 12(23), 31–37. <https://doi.org/10.54104/nodo.v12n23.140>.
- (3) 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*, 46, 103748. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.103748>.
- (4) Turco, C., Paula Junior, A., Teixeira, E., & Mateus, R. (2021). Optimisation of Compressed Earth Blocks (CEBs) using natural origin materials: A systematic literature review. *Construction and Building Materials*, 309, 125140. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125140>.
- (5) Lima, S. A., Varum, H., Sales, A., & Neto, V. F. (2012). Analysis of the mechanical properties of compressed earth block masonry using the sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 35, 829–837. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.127>.
- (6) Mostafa, M., & Uddin, N. (2016). Experimental analysis of Compressed Earth Block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces. *Case Studies in Construction Materials*, 5, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2016.07.001>.
- (7) Concha-Riedel, J., Antico, F., & Araya-Letelier, G. (2020). Mechanical and damage similarities of adobe blocks reinforced with natural and industrial fibres. *Matéria*, 25(4), e-12906. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200004.1206>.
- (8) Nagaraj, H. B., & Shreyasvi, C. (2017). Compressed stabilized earth blocks using iron mine spoil waste - an explorative study. *Procedia Engineering*, 180, 1203–1212. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.281>.
- (9) Preethi, R. K., & Venkatarama Reddy, B. V. (2020). Experimental investigations on geopolymer stabilised compressed earth products. *Construction and Building Materials*, 257, 119563. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119563>.
- (10) Cabrera, S., Elert, K., Guillarducci, A., & Margasin, A. (2022). The effect of local pozzolans and lime additions on the mineralogical, physical and mechanical properties of compressed earth blocks in Argentina. *Revista de La Construcción*, 21(2), 248–263. <https://doi.org/10.7764/RDLC.21.2.248>.
- (11) Arias, L., & Alderete, C. (2017). Variación de la resistencia a compresión del BTC en función de la energía de compactación. *Seminario "Somos Tierra Que Camina."*
- (12) González López, J., Juárez Alvarado, C., Ayub Francis, B., & Mendoza Rangel, J. (2018). Compaction effect on the compressive strength and durability of stabilized earth blocks. *Construction and Building Materials*, 163, 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.074>.
- (13) Galíndez, F. (2007). Bloques de tierra Comprimida (BTC) sin adición de cemento. In *Fundación MAPFRE*. <https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/bib/129167.do>.
- (14) Flament, C. (2012). Valorisation des fines de lavage de granulats: application a la construction en terre-crue. In *Thèse doctorale, Université d'Artois*. Université d'Artois.
- (15) Mansour, M. B., Jelidi, A., Cherif, A. S., & Jabrallah, S. B. (2016). Optimizing thermal and mechanical performance of compressed earth blocks (CEB). *Construction and Building Materials*, 104, 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.024>.
- (16) Mansour, B. M., Ogam, E., Jelidi, A., Cherif, A. S., & Ben Jabrallah, S. (2017). Influence of compaction pressure on the mechanical and acoustic properties of compacted earth blocks: An inverse multi-parameter acoustic problem. *Applied Acoustics*, 125, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.04.017>.
- (17) Galindo-Díaz, J., Escorcía-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>.
- (18) Ferraresi, C., Franco, W., & Quaglia, G. (2018). Concept and design of FLOAT-RAM, a new human powered press for compressed earth blocks. *International Mechanical Engineering Congress and Exposition IMECE2017*, 1–8.
- (19) Mattone, R. (2007). Investigación y formación para la evolución de las tradiciones. Los bloques perfilados para la autoconstrucción. *Apuntes*, 20(2), 318–323.
- (20) Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2012). Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, 29, 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>.
- (21) Young, H., Freedman, R., & Ford, L. (2018). *Física Universitaria Con Física Moderna 1* (14th ed.). Pearson Education.
- (22) Toapanta Defaz, M. V. (2008). *Diseño de un prototipo de motor recíprocante de 4 cilindros con programación electrónica*. Escuela Politécnica del Ejército.
- (23) Auroville Earth Institute. (2023). *Aureka*. <https://aureka.com/auroville-press-3000/>.
- (24) Mainer Hasta, C., & Carnicer Royo, E. (2007). *Oleohidráulica. Conceptos básicos*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- (25) Red Proterra. (2023). *Red Proterra*. <https://redproterra.org/es/publicaciones-proterra/>.
- (26) Akterre. (1996). GEO 50 Presse manuelle a block de terre. *Akterre Équipement*.
- (27) VITA. (1966). *Fabricación de bloques de construcción con la prensa CINVA*.
- (28) Dwellearth. (2023). *Dwell Earth*. <https://dwellearth.com/products-compressed-earth-block/>.
- (29) Eco Máquinas. (2023). *Eco Máquinas*. <https://www.ecomaquinas.com.br/>.
- (30) Hydraform. (2023). *Hydraform. Building technology company*. <https://www.hydraform.com/products/interlocking-soil-cement-block-making-machines/>.
- (31) Zonni, J. (2023). *J Zonni. Máquinas para la producción de ladrillos ecológicos*. <http://jzonni.com.ar/>.
- (32) Zonni, J. (2022). *Javier Zonni. Desarrollos mecánicos especiales*. <https://www.facebook.com/profile.php?id=100063776070746>.
- (33) El Bajo. (2019). *Ladrillos Ecológicos El Bajo*. <https://ladriarg-el-bajo.blogspot.com/p/blog-page.html>.
- (34) Jarfel. (2023). *Prensas Sahara-Jarfel*. <https://www.jarfel.com.br/>.
- (35) Verde. (2023). *Verde Equipamientos*. <https://verdeequipamientos.com.br/>.
- (36) Vimaq. (2023). *Vimaq Prensas*. <http://vimaqprensas.com.br/es/>.
- (37) Ouma, J., Ongwen, N., Ogam, E., Auma, M., Fellah, Z. E. A., Mageto, M., Ben Mansour, M., & Oduor, A. (2023). Acoustical properties of compressed earth blocks: Effect of compaction pressure, water hyacinth ash and lime. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01828. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01828>.
- (38) Aranda-Jiménez, Y., Zuñiga-Leal, C., Moreno-Chimely, L., & Robles-Aranda, M. E. (2023). Compressed earth blocks (CEB) compression tested under two earth standards. *Cogent Engineering*, 10(1), 2163116. <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2163116>.
- (39) Cottrell, J. A., Ali, M., Tatar, A., & Martinson, D. B. (2023). Effects of Fibre Moisture Content on the Mechanical Properties of Jute Reinforced Compressed Earth Composites. *Construction and Building Materials*, 373, 130848. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130848>.
- (40) Kumar, N., & Barbato, M. (2022). Effects of sugarcane bagasse fibers on the properties of compressed and stabilized earth blocks. *Construction and Building Materials*, 315, 125552. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125552>.
- (41) Cottrell, Jack A, Ali, M., Tatar, A., & Martinson, D. B. (2021). An investigation into the influence of geometry on compressed earth building blocks using finite element analysis. *Construction and Building Materials*, 273, 121997. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121997>.
- (42) Al-Jabri, K., Hago, A. W., Al-Saadi, S., Al-Harthy, I., & Amoatey, P. (2021). Physico-thermal, mechanical, and toxicity properties of stabilised interlocking compressed earth blocks made with produced water from oilfields. *Journal of Building Engineering*, 42, 103029. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.103029>.
- (43) Elahi, T. E., Shahriar, A. R., & Islam, M. S. (2021). Engineering characteristics of compressed earth blocks stabilized with cement and fly ash. *Construction and Building Materials*, 277, 122367. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122367>.
- (44) Malkanthi, S. N., Balthazaar, N., & Perera, A. A. D. A. J. (2020). Lime stabilization for compressed stabilized earth blocks with reduced clay and silt. *Case Studies in Construction Materials*, 12, e00326. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00326>.
- (45) Ouedraogo, K. A. J., Aubert, J.-E. E., Tribout, C., Escadeillas, G., & Escadeillas, G. (2020). Is stabilization of earth bricks using low cement or lime contents relevant?. *Construction and Building Materials*, 236, 117578. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117578>.
- (46) Cabrera, S., González, A., & Rotondaro, R. (2020). Resistencia a compresión en Bloques de Tierra Comprimida. Comparación entre diferentes métodos de ensayo. *Informes de La Construcción*, 72(560), e360. <https://doi.org/10.3989/ic.70462>.

- (47) Malkanthi, S. N., Balthazaar, N., & Perera, A. A. D. A. J. (2020a). Lime stabilization for compressed stabilized earth blocks with reduced clay and silt. *Case Studies in Construction Materials*, 12, e00326. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00326>.
- (48) Cabrera, S., Aranda Jiménez, Y. G., Domínguez Suárez, E. J., & Rotondaro, R. (2020). Bloques de Tierra Comprimida (BTC) estabilizados con cal y cemento. Evaluación de su impacto ambiental y su resistencia a compresión. *Habitat Sustentable*, 10(2), 70–81. <https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.05>.
- (49) Barbero-Barrera, M. M., Jové-Sandoval, F., & González Iglesias, S. (2020). Assessment of the effect of natural hydraulic lime on the stabilisation of compressed earth blocks. *Construction and Building Materials*, 260, 119877. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119877>.
- (50) Sitton, J. D., Zeinali, Y., Heidarian, W. H., & Story, B. A. (2018). Effect of mix design on compressed earth block strength. *Construction and Building Materials*, 158, 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.005>.
- (51) Ruiz, G., Zhang, X., Edris, W. F., Cañas, I., & Garijo, L. (2018). A comprehensive study of mechanical properties of compressed earth blocks. *Construction and Building Materials*, 176, 566–572. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.077>.
- (52) Silva, R. A., Soares, E., Oliveira, D. V., Miranda, T., Cristelo, N. M., & Leitão, D. (2015). Mechanical characterisation of dry-stack masonry made of CEBs stabilised with alkaline activation. *Construction and Building Materials*, 75, 349–358. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.038>.
- (53) Nagaraj, H. B., Sravan, M. V., Arun, T. G., & Jagadish, K. S. (2014). Role of lime with cement in long-term strength of Compressed Stabilized Earth Blocks. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2014.03.001>.
- (54) Roux Gutierrez, R. S., García Izaguirre, V. M., & Espuna Mujica, J. A. (2014). Los materiales alternativos estabilizados y su impacto ambiental. *Revista Electrónica Nova Scientia*, 7(1), 243–266.
- (55) Falceto, J. J. (2012). Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción. [Universidad Politécnica de Madrid]. In *Tesis de Doctorado*. <http://oa.upm.es/14647/>.
- (56) Aranda Jimenez, Y. G. (2009). *Características del BTC ante diferentes concentraciones de mucilago de nopal y sabila agregadas al agua de mezclado*. Universidad Autónoma de Tamaulipas.