

## DESARROLLO DE UNA PRENSA ELECTROMECAÁNICA PARA BTC

Eje 1: Innovación en sistemas constructivos/estructurales

**Ing. González Ariel<sup>1</sup>**

**Ing. Cabrera Santiago<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe, Argentina, aagonzal@frsf.utn.edu.ar

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe, Argentina, spcabrera@outlook.com

### RESUMEN

El Bloque de Tierra Comprimida o BTC es un mampuesto fabricado mediante la compresión de tierra alojada dentro de un molde, mediante el empleo de prensas de accionamiento manual o hidráulico y compresión vertical. Si bien el material base para estos bloques lo constituye la tierra, a la misma se le pueden adicionar estabilizantes naturales o minerales (cal o cemento) con el fin de mejorar las propiedades físicas de los bloques resultantes, particularmente su resistencia y durabilidad. El objetivo de esta presentación es realizar la descripción de una prensa electromecánica de diseño innovador desarrollada en conjunta por el Laboratorio de Geotecnia de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe (UTN – FRSF) y la empresa INGAS, y compararla con otras prensas disponibles en el mercado nacional. Verificar las propiedades y características del producto obtenido.

En una primera instancia se realizó un relevamiento y sistematización de las principales características de las prensas; tanto manuales como hidráulicas; existentes en el mercado nacional. A partir de estos datos se eligieron los puntos a modificar y/o desarrollar en conjunto con la empresa INGAS. Se prestó especial atención en la utilización de motores monofásicos (facilidad de conexión e líneas eléctricas); el accionamiento electromecánico (Facilidad en reparaciones y repuestos) y el prensado lateral (mayor densidad en las caras expuestas). Finalmente, se analiza el rendimiento de la máquina y las características de los bloques producidos

Los resultados obtenidos hasta el momento indican la factibilidad técnica del equipo y su innovador sistema de compresión, lo cual se ve reflejado por las adecuadas prestaciones de los BTC producidos. Sin embargo, aún se encuentra en proceso de revisión y puesta a punto, verificando y comparando sus principales características, con el fin de reducir los tiempos de producción de cada bloque, ya que, hasta el momento, los mismos continúan siendo elevados.

**PALABRAS CLAVES: BTC – PRENSA ELECTROMECAÁNICA – RESISTENCIA – ESTUDIO DE TIEMPO**



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 El bloque de tierra comprimida o BTC

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). Según Julián Salas (1995), el BTC puede considerarse como un salto tecnológico respecto al tradicional adobe, el cual, sin dejar de mirar por el retrovisor, logra integrarse de manera más acorde al contexto productivo vigente en la actualidad, empleando en su proceso de fabricación maquinarias especializadas. Si bien el material de base lo constituye la tierra, la misma admite la incorporación de estabilizantes minerales (generalmente cal, cemento portland o bitumen) que permitan mejorar las características físicas del bloque, ya sea aumentando su resistencia a la compresión, a la intemperie o reduciendo las fisuras provocadas por la retracción de la arcilla (Roux, 2010).

Las ventajas generales del BTC, en comparación con otros mampuestos de fábrica, como el tradicional ladrillo cerámico o el bloque de hormigón; podrían resumirse en su regularidad de forma (presentando caras lisas y aristas vivas) y su alta densidad (debido a la compactación efectuada durante su fabricación), esto último lo hace más resistente a la erosión y a la acción del agua; y su posibilidad de ser reciclado prácticamente en su totalidad (Roux, 2012).

En cuanto a la producción del bloque en sí, 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 le adicionan algunos aditivos estabilizantes como la cal o el cemento, estos representan un porcentaje muy bajo (Bestraten, 2011). Otra ventaja es que no se precisa de mano de obra altamente calificada para su elaboración, y su costo de fabricación es mucho menor 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 (Vázquez, 2001).

### 1.2 Equipos de prensado comercialmente disponibles

La maquinaria disponible para la fabricación de bloques de tierra comprimida es diversa y atiende requerimientos de producción en diferentes escalas. Se pueden encontrar desde un sencillo equipamiento de prensado, hasta complejas unidades de producción industrial, que engloban pulverizador de suelo, tamizador, mezcladora, dosificador, prensa y otros accesorios. El dimensionamiento del equipamiento requerido se relaciona con la escala, la productividad y el costo del emprendimiento. Así mismo, estas prensas pueden ser operadas de manera manual o con auxilio de un motor que accione un sistema de prensado, mecánico o hidráulico (Neves, 2011).

A pesar de la gran diversidad de prensas existentes, en el mercado nacional solo se cuenta con un limitado oferta comercial, siendo las de uso más frecuente las que se describen a continuación.

#### 1.2.1 Prensas de accionamiento manual

Las prensas de accionamiento manual existentes en el mercado son adecuaciones y copias de otras prensas como la popular y original CINVA-Ram o de prensas brasileiras que generan BTC



encastrables con huecos para su posterior relleno con Hormigón. La mayoría de estas prensas son realizadas por herrerías o empresas metalúrgicas sin mayor infraestructura, dependiendo su calidad de la destreza del fabricante. Dada su sencillez es usual que respondan a la demanda de autoconstrucción o pequeñas microempresas del tipo familiar. No es usual el uso de prensas hidráulicas manuales.

### 1.2.2 Prensas automatizadas motorizadas

También existen en el mercado algunas prensas con motor eléctrico que son similares a las fabricadas en el mercado brasileiro. Este equipamiento es de una mínima automatización y sirven para producciones medianamente industrializadas. Son de accionamiento hidráulico y de una mediana capacidad de producción.

### 1.2.3 Prensa electromecánica diseñada por la UTN- FRSF y la empresa INGAS

Ante la oferta del mercado se propone el desarrollo de un equipamiento automatizado y motorizado que permita disminuir el esfuerzo físico de los operarios y que sea de sencillo mantenimiento y reparación, teniendo en cuenta algunas dificultades que se presentan con el equipamiento hidráulico que requiere en algunos casos repuestos y mano de obra para la reparación no disponible en localidades pequeñas. Por otra parte, se propuso una modificación en el sentido del prensado para obtener como beneficio una mayor compresión de la tierra en las caras expuestas.

## 2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

### 2.1 Hipótesis

Tras realizar un análisis detallado de los sistemas de funcionamiento de las prensas disponibles en el mercado regional, se propusieron 2 hipótesis de trabajo:

- a. Es posible desarrollar una prensa de accionamiento electromecánico sencillo impulsada por un motor monofásico de baja potencia, cuya productividad le permita competir con las prensas actualmente disponibles en el mercado nacional.
- b. La fabricación de BTC mediante la compresión lateral de sus caras, en lugar de las caras superior e inferior producirá bloques cuyas caras laterales – las que verdaderamente resultaran expuestas - presenten una mayor resistencia a la abrasión y erosión húmeda.

### 2.2 Objetivos

- a. Desarrollar un equipamiento automatizado compatible con una producción de pequeña a mediana escala.
- b. Rediseñar un modelo de BTC en función de la experiencia con otros Bloques disponibles en el mercado.

## 3. DESCRIPCIÓN DE LA PRENSA ELECTROMECAÁNICA

### 3.1 Diseño y construcción de la prensa

Tal las hipótesis y objetivos planteados se comenzó el desarrollo de una prensa que empleara un motor monofásico para que pudiera ser utilizado en domicilios o en instalaciones con infraestructura mínima; con un accionamiento mecánico que permitiera que cualquier herrero y/o mecánico pudiera reparar o cambiar los elementos de mayor desgaste y con compresión lateral



para lograr mayor compacidad en las caras laterales expuestas del BTC. Se buscó también que fuera de muy fácil manejo para que el operario pudiera comandar el equipo solo accionando un interruptor.

Comenzó así una serie de bosquejos preliminares (ver figuras 1 y 2) hasta llegar a una propuesta materializada en un modelo digital, sobre el cual se trabajó corrigiendo algunos aspectos desde el enfoque teórico antes de pasar a la materialización del mismo.

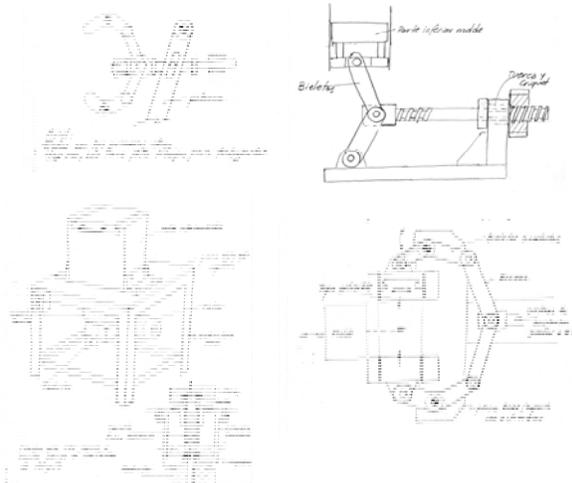


Fig. 1. Bosquejos de posibles sistemas de compresión impulsados por un motor monofásico (crédito: empresa INGAS)

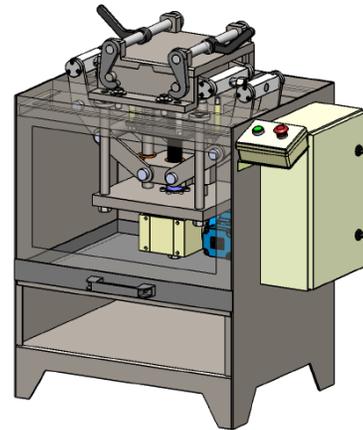


Fig. 2. Prensas electromecánicas, análisis en modelo digital (crédito: empresa INGAS)

Durante la construcción y materialización del modelo se produjeron varias retroalimentaciones tanto en los mecanismos de fuerza y control como de accionamiento, especialmente en lo referido al tratamiento del BTC en el momento del desmolde, ya que los productores de la prensa (metalúrgicos) tienen experiencias y conceptos distintos en el manejo de la materia al de los productores de BTC (constructores civiles). El modelo cuenta con un panel de control digital compuesto por placas PLC y reguladores de tensión y potencia, que permite que con un par de botones interruptores se pueda comandar la máquina. En la fábrica metalúrgica se realizaron los primeros ensayos de prueba para luego pasar a la instancia de puesta a punto del equipamiento. En las figuras 3 y 4 puede apreciarse la prensa ya terminada, mientras que en la figura 5 se muestra su sistema de PLC y reguladores de tensión y potencia.



Fig. 3. Prensa electromecánica



Fig. 4. Motor monofásico de la prensa



Fig. 5. Tablero de PLC y reguladores



### 3.2 Diseño de los BTC

En paralelo con el diseño de la prensa electromecánica, el Laboratorio de Geotecnia se abocó diseñar un bloque cuya forma fuera idónea para el sistema de compresión lateral empleado por el equipo. Para ello se adoptó el concepto de bloque macizo y encastrable, pero que permitiera un pequeño desplazamiento horizontal de las hiladas para absorber alguna diferencia de tamaño o error de replanteo. Se decidió además emplear bloques sin orificios ya que, durante las experiencias de trabajo en la construcción de viviendas de BTC pudo establecerse que no resulta estrictamente necesario generar refuerzos de hormigón armado en los muros, con lo cual la presencia de orificios deja de ser un condicionante. Se decidió, además, emplear bloques encastrables dado que, en obra, fue ampliamente demostrada la disminución en los tiempos de trabajo dada a la mayor facilidad en mantener la alineación y el plomo de la mampostería levantada.

La morfología de los bloques producidos por la prensa puede apreciarse en los croquis de la figura 6, en la cual el encastre entre bloques se genera mediante una junta del tipo “macho – hembra”, con una hendidura en la cara inferior y una cresta en la superior. Puede apreciarse como al colocar un bloque sobre otro se genera en la junta un espacio libre de 20 mm de altura, el cual se llena parcialmente con mortero y generando en el hueco remanente una cámara de descompresión en la junta ante eventuales presiones positivas de agua de lluvia con viento. Siguiendo este mismo criterio, en la vista superior de la misma figura puede observarse como, al colocar un bloque sobre junto al otro en la misma hilada, se genera un espacio vacío de 5 mm. En la figura 6 puede apreciarse un BTC producido por esta prensa.

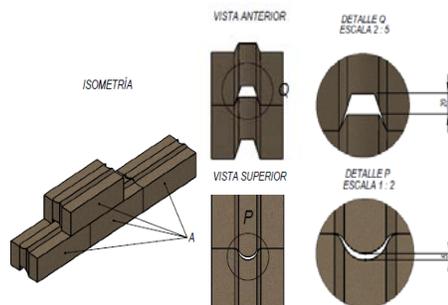


Fig. 6. Diseño morfológico de los bloques



Fig. 7. BTC producido por la prensa electromecánica.

Es preciso mencionar que en la actualidad la prensa no permite modificar la forma del molde, motivo por el cual únicamente pueden fabricarse bloques como los de la figura 7.

### 4. PUESTA A PUNTO DE LA PRENSA

Una vez finalizado el proceso de construcción de la prensa, la misma fue trasladada al Laboratorio de Geotecnia de la UTN-FRSF en donde, bajo condiciones de producción similares a la de un emprendimiento productivo de pequeña escala, fueron evaluados los tiempos de producción de cada bloque, la capacidad diaria de producción y las propiedades mecánicas de los bloques elaborados.



#### 4.1 Tiempos de producción

La producción de un bloque de tierra comprimida presenta 3 etapas fundamentales:  *acondicionamiento de la tierra, preparación la mezcla, prensado y el secado final* de los bloques.

- Acondicionamiento de la tierra: consiste en desterronado y tamizado de la tierra, el cual asegura el tamaño adecuado de los granos de tierra, triturando y apartando los grumos de mayor tamaño.
- Mezclado: conlleva en sí tres dos-etapas, un mezclado inicial en seco de los distintos tipos de tierra y estabilizantes; y un mezclado final, adicionando el agua necesaria por la mezcla.
- Compresión: Es la operación principal del proceso productivo de BTC, sin embargo, la calidad final de los bloques dependerá en gran medida de las etapas previas al prensado (preparación de la mezcla) y posteriores a este (curado y secado)
- Secado: Esta instancia posee una especial incidencia en la calidad final de los bloques, por lo que debe realizarse de manera controlada. En ella se diferencian dos etapas: el periodo de curado y periodo de secado. En cualquiera de los casos, se trata de evitar un secado demasiado rápido que posibilite la formación de fisuras por retracción y la correcta hidratación de los aglomerantes empleados, lo que afectaría a la resistencia final de los bloques.

Es importante comprender que el rendimiento de un emprendimiento productivo de BTC viene determinado en gran medida por la velocidad de trabajo de la prensa empleada y el esfuerzo físico que requiera su empleo. Sin embargo, debe considerarse que el óptimo funcionamiento de estos emprendimientos solo será posible si existe concordancia entre la capacidad de elaboración de la mezcla, la velocidad de prensado del equipo de compactación y la capacidad del lugar de secado.

#### 4.2 Tiempos de producción de la prensa electromecánica

Con el fin de conocer el tiempo medio de producción de un bloque con la prensa electromecánica se realizó un estudio de tiempo en el cual se dividió al proceso de prensado en 6 sub-etapas: llenado de la caja, tapado, compactación, destape, remoción del bloque y descenso de la base. El objeto de esta subdivisión es el de conocer cuál es la etapa del proceso de compresión que más tiempo demanda. Los resultados de este estudio pueden observarse en la tabla 2.

Tabla 1. Estudio de tiempo realizado sobre la prensa electromecánica

Sub-etapa del proceso	Tiempo (s)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Tiempo medio
1- Llenado de la caja	50	60	42	40	48
2- Tapado	26	25	25	23	25
3- Compactación	12	12	12	12	12
4- Destape	27	20	25	20	23
5- Remoción del BTC	14	14	14	14	14
6- Descenso de base	20	20	20	20	20
TOTAL	149	151	138	129	<b>142</b>

Con intenciones de poder contrastar los tiempos de producción de un bloque elaborado con la prensa desarrollada con los de una prensa de accionamiento manual, se realizó el mismo estudio de tiempos en la producción de BTC empleando una prensa CINVA-Ram (ver figura 8). Los resultados de este estudio se exponen en la tabla 3.



Tabla 2. Estudio de tiempo realizado sobre la prensa CINVA-Ram

Sub-etapas del proceso	Tiempo (s)			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Tiempo medio
1- Llenado de caja	20	25	30	25
2- Tapado	6	6	8	7
3- Compactación	10	12	11	11
4- Destape y remoción del BTC	11	13	10	11
5- Descenso de la base	6	5	5	5
TOTAL	53	61	64	<b>59</b>

### 4.3 Resistencia a compresión y erosión húmeda de los BTC producidos

Para cuantificar el comportamiento mecánico de los bloques producidos por la prensa desarrollada se determinó su resistencia característica a compresión - siguiendo los procedimientos indicados por la norma española UNE 41410 - y su nivel de resistencia a la erosión húmeda empleando el protocolo desarrollado por el instituto CRATerre (ver figuras 9 y 10). Así mismo, con intenciones de comparar la resistencia de los BTC fabricados por esta prensa, se realizaron los mismos ensayos sobre una serie de bloques elaborados con una prensa manual CINVA-Ram.



Fig 8. Ensayo de resistencia a compresión



Fig 9. Ensayo de erosión húmeda

En la tabla 4 pueden apreciarse los resultados obtenidos tras ensayar 38 BTC (18 elaborados con la prensa electromecánica y 20 con la CINVA-Ram) para determinar su resistencia característica a compresión. De la misma manera, en la tabla 5 se resumen los resultados obtenidos tras ensayar 6 bloques a erosión húmeda, tres de los cuales fueron producidos por la prensa electromecánica y los restantes 3 por una CINVA-Ram.



Tabla 3. Resultados de los ensayos de resistencia a compresión

Prensa manual CINVA-Ram				Prensa Electromecánica			
Bloque	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (kg)	Resistencia (MPa)	Bloque	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (kg)	Resistencia (MPa)
CR1	115,72	1.200	1,04	E1	195,75	895	0,46
CR2	115,72	1.800	1,56	E2	195,75	990	0,51
CR3	115,72	2.270	1,96	E3	195,75	1.890	0,97
CR4	115,72	1.365	1,18	E4	195,75	1.335	0,68
CR5	115,72	1.610	1,39	E5	195,75	1.080	0,55
CR6	115,72	1.570	1,36	E6	195,75	1.225	0,63
CR7	115,72	1.750	1,51	E7	195,75	1.030	0,53
CR8	115,72	1.310	1,13	E8	195,75	1.350	0,69
CR9	115,72	1.100	0,95	E9	195,75	1.170	0,6
CR10	115,72	850	0,73	E10	195,75	1.025	0,52
CR11	115,72	1.090	0,94	E11	195,75	735	0,38
CR12	115,72	2.140	1,85	E12	195,75	960	0,49
CR13	115,72	1.450	1,25	E13	195,75	1.135	0,58
CR14	115,72	1.560	1,35	E14	195,75	680	0,35
CR15	115,72	1.520	1,31	E15	195,75	1.115	0,57
CR16	115,72	2.025	1,75	E16	195,75	1.053	0,54
CR17	115,72	1.000	0,86	E17	195,75	1.040	0,53
CR18	115,72	2.060	1,78	E18	195,75	845	0,43
CR19	115,72	1.520	1,31	-	-	-	-
M20	115,72	1.500	1,3	-	-	-	-
Resistencia media a compresión			<b>1,33</b>	Resistencia media a compresión			<b>0,55</b>
Resistencia caract. a compresión			<b>0,86</b>	Resistencia caract. a compresión			<b>0,37</b>

Tabla 4. Resultados de los ensayos de resistencia a la erosión húmeda

Nivel de resist. a la erosión húmeda		
Bloque		Nivel de Erosión
Prensa Electro.	E19	3
	E20	3
	E21	2
CINVA Ram	CR21	2
	CR22	2
	CR23	2

## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 Estudio de tiempo

Luego de analizar los resultados del estudio de tiempo realizado sobre la prensa electromecánica puede observarse que, a pesar de no requerir esfuerzo físico alguno, la producción de un BTC con este equipo toma en promedio 142 segundos, más del doble de tiempo requerido por la tradicional prensa CINVA-Ram (59 segundos). Este aumento significativo en los tiempos de producción



puede atribuirse en gran medida al tiempo demandado por el sistema de levas que traba y destraba la tapa superior del molde, y a la baja velocidad de expulsión de los bloques fuera del mismo.

### 5.2 Resistencia a compresión y erosión húmeda

Tanto la resistencia característica a compresión como el nivel de resistencia a erosión húmeda de los bloques producidos con la prensa electromecánica resultaron ser inferiores a los resultados obtenidos en los BTC elaborados con la CINVA-Ram, presentando los bloques producidos con la prensa manual una resistencia característica a compresión que supera al doble de la resistencia característica de los bloques producidos por el equipo de compresión mecanizado. La diferencia entre los niveles de resistencia a erosión húmeda de cada serie de bloques no resultó ser tan grande, presentando los bloques producidos por la CINVA un nivel de resistencia 2 y los producidos por la prensa electromecánica 3.

### 5.3 Morfología de los bloques

El diseño del molde de la prensa resultó no ser tan beneficioso como se pensaba, ya que en numerosos casos, durante la tarea de desmolde, al remover los BTC de la prensa, los mismos se quebraron de manera longitudinal, siguiendo la arista correspondiente a la intersección entre la cresta del bloque y la cara superior (ver figura 11). Esta situación se advirtió en un gran número de casos, y puede atribuirse a la menor densidad (por la compresión lateral) y menor sección transversal del tramo central del bloque.



Fig. 10. Rotura longitudinal del BTC

## 6. CONCLUSIONES

Partiendo de los resultados obtenidos tras la realización de este trabajo puede arribarse a las siguientes conclusiones:

- Los tiempos requeridos por la prensa electromecánica para producir un BTC son relativamente altos, siendo el mayor responsable de esto el sistema de levas que traba y destraba la tapa superior del molde.
- La forma de los bloques producidos por la prensa no es adecuada, dificultando la extracción de los bloques en estado fresco de la misma.
- La resistencia a compresión y erosión húmeda de los BTC elaborados por este equipo es significativamente menor a la de sus homólogos producidos con la tradicional CINVA-Ram.



A pesar de no ser muy alentadoras, las conclusiones a las cuales se arribó son un muy buen punto de partida para planificar las líneas de acción futura inherentes a la mejora de este equipo. Dentro de estas líneas de trabajo pueden citarse las siguientes:

- a. Determinar de manera efectiva la máxima energía de compactación aportada por la prensa, analizando luego si la misma se relaciona con la baja resistencia de los bloques por ella producidos.
- b. Reemplazar el sistema de levas que asegura la tapa superior del molde por uno que permita disminuir los elevados tiempos de producción de los bloques.
- c. Estudiar la posibilidad de aumentar el volumen inicial del molde y emplear un motor de mayor potencia, aumentando así la tasa de compactación tierra.
- d. Modificar la forma del molde, facilitando así la extracción de los BTC una vez expulsados de la máquina y facilitar su manipulación.

Como perspectivas inmediatas se tiene la tarea de solucionar los problemas detectados y volver a realizar la comprobación tanto del tiempo de funcionamiento durante la producción, como de las características de los productos fabricados.

## BIBLIOGRAFÍA

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

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

Centre International de la Construction en Terre – Ecole D'Architecture de Grenoble - CRATerre-EAG. (1998). Série Technologies N° 11: Blocs de terre comprimée. Normes. CRATerre-EAG, BASIN. Francia.

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

Neves, C.; Borges Faría, O. (2011). *Técnicas de construcción con tierra*. Red Iberoamericana PROTerra. Bauru-SP.

Roux Gutiérrez R. (2010). *Los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) en zonas húmedas*. Méjico: Plaza y Valdes S.A.

Roux Gutiérrez R. & Espuna Mújica J. (2012). *Bloques de Tierra Comprimida adicionados con fibras naturales*. Méjico: Plaza y Valdes S.A.

Salas Serrano, Julián (1995). *Habiterra: exposición Iberoamericana de construcción de tierra*. Bogotá, Escala.

Vázquez Espi M. (2001). *Construcción e impacto sobre el ambiente: El caso de la tierra y otros materiales*. España: Revista Informes de la construcción. Vol. 52, n° 471.