

Efectos de utilización de savias vegetales en bloques de tierra comprimida a la prueba de abrasión

Effects of use of vegetable saps in compressed earth blocks to the abrasión test

YOLANDA GUADALUPE ARANDA-JIMÉNEZ*, VÍCTOR MANUEL GARCÍA-IZAGUIRRE**

RESUMEN. El uso de la tierra como material de construcción es una técnica de tradición vernácula usada alrededor del mundo. Existen diversos sistemas constructivos a base de tierra que se han popularizando en cada país dependiendo de la plasticidad de la arcilla encontrada en el suelo, sin embargo, la falta de normatividad en algunos países ha llevado a que sea necesario realizar diversas pruebas para demostrar su durabilidad ante el agua, agentes atmosféricos especialmente en climas tropicales, así como su resistencia a la compresión.

El objetivo es establecer la prueba de abrasión de los bloques de tierra comprimida (BTC) adicionados con estabilizantes naturales y minerales al estar sometidos a la prueba de abrasión o durabilidad. Se prepararon y elaboraron las diferentes muestras estabilizadas y se sometieron a la prueba. Todos los BTC se estabilizaron con 6% de cemento portland ordinario 20 (CPO 20) como estabilizante mineral y se encontró un mejor comportamiento a la prueba de abrasión o durabilidad en los adicionados con sábila, comparados con los adicionados con mucílago de nopal.

Palabras clave: abrasión, BTC, savias naturales.

ABSTRACT. *The use of earth as construction material is a worldwide used vernacular tradition technique. There are several earth-based building systems that have become more popular depending on the plasticity of the clay found on the ground. Nevertheless, the lack of regulations in some countries has led to necessary tests to demonstrate its durability against water, weathering, particularly in tropical climates, as its compression strength.*

This paper's goal is to establish the durability of the CEB (Compressed Earth Blocks) enhanced with natural and mineral stabilizers whilst they are being submitted to abrasion test. Different stabilized samples have been prepared and made and tested. Every CEB was stabilized with 6% Portland Cement 20 as a mineral stabilizer and a better behavior in the abrasion/ durability test was found in the ones where aloe was added against the ones with cactus mucilage.

Key words: abrasion, CEB, vegetable saps.

Fecha de recibido:

3 julio 2015

Fecha de aceptado:

26 octubre 2015

* Universidad Autónoma de

Tamaulipas, México

yaranda@yahoo.com.mx

** Universidad Autónoma de

Tamaulipas, México

vgarcia_i@hotmail.com

Introducción

Los bloques de tierra comprimida, denominados como BTC (en inglés, CEB), son un elemento que se usa para la construcción de muros de carga o de muros normales, los cuales son fabricados con una mezcla de tierra de arcilla comprimida y un material estabilizante que es moldeado utilizando una prensa mecánica.

El BTC nace en la década de los 50 en Colombia, como resultado de un producto de investigación del Centro Interamericano de Vivienda (CINVA), cuyo objetivo era producir materiales de construcción de bajo costo, mismos que fueron producidos en sus principios con la prensa CINVA-RAM, acrónimo formado con el nombre del Centro y el apellido de su desarrollador, el ingeniero Raúl Ramírez.

La CINVA-RAM es una prensa manual que tiene la versatilidad de fabricar diversos tipos de BTC, con los cuales se facilita la construcción de vivienda de interés social y ecológica. Mellace (2006) estima que dos personas manejando la prensa manual pueden fabricar hasta 70 bloques por hora. Conforme se fue perfeccionando, se crearon otras con más variantes hasta llegar a las prensas mecánicas.

Las características principales que se pueden mencionar de los BTC son las siguientes:

- Su composición normalmente es de arcilla, limo y arena con 5% de cal, aunque se recomienda que el suelo a utilizar sea analizado con respecto al contenido de los tres componentes: arcilla, limo y arena. Según Etchebarne, Piñeiro y Silva (2006), la proporción óptima podría quedar en: arcilla 5 a 35%, limo 0 a 20% y arena 40 a 80%.
- La forma más común del BTC es la de un paralelepípedo, dependiendo del molde de la prensa, sus dimensiones varían entre 10 x 14 x 28 cm hasta 7 x 12 x 28 cm. Pueden fabricarse llenos o huecos, estos últimos para facilitar la adherencia con el mortero, cuyo peso promedio es de 7.5 kg por bloque.
- Su apariencia es de un color normalmente marrón, dependiendo del tipo de arcilla.
- Es un producto no inflamable.
- Un punto relevante es que no necesitan cocción, por tanto requiere un mínimo consumo de energía para su fabricación haciéndolos un material sustentable, así como reutilizable.
- Es necesario que los bloques sean de caras planas o al menos lo mayor posible. A los siete días de fabricados, los BTC de-

	Valores mínimos
Resistencia a la compresión	> 2 MPa (20 kg/cm ²) > 1,7 MPa (17 kg/cm ²)
Absorción	< 20 % < 22 %
Dimensiones	+1, -3 mm en el ancho, +1, -2 mm en el largo, y +2, -1 mm en el alto
Peso Peso al desmoldar Peso recomendado	6.32 kg 6.95 kg 8.18 kg
Densidad Densidad al desmoldar Densidad recomendado	1700 kg/m ³ 1870 kg/m ³ 2200 kg/m ³

Tabla 1. Características de BTC.

Fuente: Etchebarne, Piñeiro y Silva (2006).

ben cumplir con las especificaciones indicadas en la Tabla 1.

- g. El peso seco aconsejado sería de 7.43 kg por bloque que se corresponde a una densidad de 2000 kg/m³.

El presente trabajo tiene como objetivo establecer la durabilidad física de los BTC adicionados con estabilizantes naturales y minerales al estar sometidos a la prueba de abrasión.

Con el fin de poder resolver el mismo se han planteado las siguientes preguntas de investigación: ¿Se mejorarán las características de durabilidad física de los BTC adicionados con mucilago de nopal? y ¿Se mejorarán las características de durabilidad física de los BTC adicionados con acibar de sábila?

Marco teórico

Según Barbeta (2000), un estabilizante es un material que como su nombre lo indica va a permitir mejorar las características físicas del suelo, ya sea aumentando la resistencia a la compresión, a la tracción, o bien reduciendo las fisuras provocadas por la retracción de la arcilla.

Los estabilizantes se pueden categorizar según su procedencia en:

- Vegetales, como fibras o savias.
- De origen animal, usados comúnmente el pelo de animal o el estiércol de caballo.
- De origen mineral.

De estos últimos, los más comunes a decir de Minke (2001) son:

- a. Cemento: actúa como estabilizador contra el agua en suelos de bajo contenido de arcilla. Mientras mayor sea el contenido de arcilla, más cemento se necesita

para alcanzar el mismo efecto de estabilización. El cemento portland ordinario 20 (CPO 20) es un conglomerante hidráulico que resulta de la pulverización del clinker, a un grado de finura determinado, al cual se le adiciona sulfato de calcio, (yeso) o agua a criterio del fabricante para mejorar su fraguado. El clinker está compuesto por silicatos, aluminatos y ferroaluminatos cálcicos.

- b. Cal: el intercambio de iones ocurre en el barro con cal como estabilizador si existe suficiente humedad. Los iones de calcio de la cal se intercambian con los iones metálicos de la arcilla.
- c. Bitumen: es apropiado para barros con bajo contenido de arcilla.

En una clasificación más amplia, según Doat, P., Hays, A., Houben, H., Matuk, S. y Vitoux, F. (1990), los estabilizantes físico-químicos se dividen en:

- I. Hidrofobos y éstos a su vez en derivados del amoníaco, resinas y asfaltos;
- II. Ligantes, donde entrarían los diferentes tipos de cal, cemento, lignosulfitos o productos derivados de la pulpa del papel y el silicato de sodio.

Neves (2007) recomienda que los suelos de 55 al 65% de arena en su composición se deben estabilizar con cal, y aquellos que en su composición posean un porcentaje mayor al 65%, se recomienda estabilizarlos con cemento.

Dentro de los estabilizadores vegetales son varios los que pueden ser utilizados para los BTC, entre los que se encuentran las savias de cactáceas y de plantas aceitosas. Por ejemplo, Minke (2001) cita que el aceite de linaza doblemente cocido incrementa la resistencia a las inclemencias del tiempo

en superficies de barro, se ha encontrado también que en dichos casos la difusión del vapor en estructuras de tierra se reduce considerablemente.

Una sustancia que puede agregarse durante la elaboración del BTC estabilizado, podría ser las sustancias provenientes de algunas cactáceas, con la finalidad de mejorar las características del material.

El mucílago es una sustancia que se encuentra en diferentes vegetales (tanto en hojas como en tallo, raíces, entre otros) y en algunas leguminosas. Dentro de sus componentes están la amilasa y amilopectina que tienen la capacidad de formar películas delgadas que al secar presentan alta rigidez. Combinadas y encontrándose en solución acuosa, ambas pueden formar capas con diferentes propiedades mecánicas. Estas características de cohesión se han aprovechado para unir diferentes materiales.

En relación al concepto de abrasión, se entenderá al mismo como el tiempo potencial de vida útil de un material. Éste puede ser determinado bajo la siguiente fórmula que determina el coeficiente de abrasión y que consiste en lo siguiente:

$$Ca = S / (p_f - p_i)$$

Donde:

Ca= Coeficiente de resistencia a la abrasión

S= Área de superficie de cepillado

p_f = Peso final

p_i = Peso inicial

Para determinar los valores de estas variables debe seguirse la norma técnica colombiana (NTC) 5324 epígrafe 3.4.3, establecida por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC, 2004) que establece el

proceso metodológico para la misma. Ésta plantea cepillar la superficie de un bloque previamente pesado con la ayuda de un cepillo metálico a razón de una ida y venida por segundo durante un minuto (60 idas y vueltas) sin aplicar fuerza vertical sobre el cepillo. El ancho del cepillado no debe exceder más de 2 mm del ancho del cepillo. El cepillado debe hacerse sobre toda la superficie. Al final del cepillado se debe limpiar el bloque y pesar al igual que el material desprendido.

Marco metodológico

Basado en el trabajo efectuado por Aranda (2010) se demostrará de manera científica si efectivamente se mejoran las características físicas a la abrasión de los BTC adicionados con medios gelosos como mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica* y *opuntia rastrera*) y sábila (*Aloe vera barbadensis*) agregadas al agua de mezclado en diferentes concentraciones.

El universo del estudio quedó constituido por un total de 500 BTC, en donde 250 BTC estaban adicionados con mucílago de nopal y la misma cantidad adicionados con el acíbar de sábila. El material de fabricación fue con arcilla extraída del banco del Chairel y Medrano extraído del banco de Medrano, ambos ubicados en la zona conurbada del sur de Tamaulipas, el primero en la ciudad de Tampico y el otro en el km 13 de la carretera Madero-Altamira. Todos los BTC fueron producidos en el laboratorio de materiales de la Dependencia educativa en donde están adscritos los investigadores.

La muestra la conformaron cinco lotes constituidos por 10 BTC para cada una de las cinco concentraciones elaboradas: 0, 1, 2, 3, y 4 (en % p/p) (peso/peso). Igualmente se estableció un lote de 10 BTC para cada una de las pruebas físicas:

- a. Compresión seca y húmeda,
- b. Abrasión o durabilidad,
- c. Absorción de agua,
- d. Porosidad, y
- e. Permeabilidad.

Todos los bloques de experimentación fueron seleccionados aleatoriamente del universo constituido para el experimento de este trabajo.

La propuesta de 10 bloques para experimentación se sustenta en los trabajos publicados por Roux (2002), McHenry (1996) y Minke (2001), que utilizaron esa cantidad de bloques asegurando así una desviación estándar de décimas, y para los estudios y pruebas se toman como fundamento el trabajo efectuado por Torres, A., Martínez. M. *et al.* (2005) del concreto adicionado con savias vegetales.

Posteriormente a la hora de analizar los primeros lotes de BTC de mucílago de baja concentración (de 1 al 4%), se decidió hacer otros cinco lotes constituidos por 10 BTC para las concentraciones del 10, 20, 30, 40 y 50% y se les realizaron las mismas pruebas.

Se usaron los siguientes porcentajes (tabla 2), dado que la arcilla de la zona es de baja plasticidad; de cada batida salen 14 bloques.

El CPO 20 marca Monterrey como estabilizante equivale al 6% (p/p) de la proporción y 6 litros de líquido, soluciones de mucílago o acíbar a las concentraciones mencionadas, el líquido a utilizar definió el tipo de BTC y será con agua potable para bloques de tierra control o testigo.

Se realizaron los BTC a partir de una mezcla 3:2 de arcilla-medrano (las relaciones se hicieron en peso: peso) a la cual se añadió CPO 20 marca CEMEX como estabilizante equivalente al 6% (p/p) de la proporción y 6 litros de líquido; posterior a la homogenización de la mezcla se vertió ésta al contenedor de una prensa hidráulica marca Adobepress 2000 y se compactó a una presión de 6 MPa durante 30 segundos. Una vez obtenido el bloque, pasó al área de secado y curado por un periodo de 10 días.

El líquido utilizado se definió de acuerdo con el tipo de BTC (control o modificado) que se menciona a continuación:

- A. BTC control o testigo: se añadió como líquido agua potable.
- B. BTC modificadas con mucílago y acíbar: se añadió como líquido 6 litros de solución de agua potable y mucílago de nopal.

La solución agua-mucílago de nopal se obtuvo a partir de una mezcla de pencas maduras de nopal, cuyo peso total de nopal fue de 9.929 kg; en

Material	Porcentaje
Tres cubetas de arcilla, cuyo peso es de 21 kg por cubeta de 19 litros	53%
Dos cubetas de medrano, cuyo peso es de 24 kg por cubeta	41%
8 kilos de cemento gris marca Monterrey CPO 20	6%
6 litros de solución por batida	

Tabla 2. Porcentajes para elaboración de BTC.
Fuente: Roux (2002).

donde se le añadieron 50 litros de agua, tapándose el recipiente y se dejó reposar durante cinco días. Posteriormente, se decantó la mezcla descartando el sólido precipitado. Se utilizaron por separado dos especies de nopal, *Opuntia rastre- ra* (nopal forrajero y tunero) y el segundo *Opun- tia ficus indica* (nopal verdura modificado). Una vez identificada, según pruebas químicas, la vis- cosidad se utilizó en el *opuntia rastrera*.

El volumen final de concentración fue de 68 litros. La concentración se determinó por la siguiente fórmula, la cual se piensa que es más práctica para el trabajo de campo:

$$C = Mm * 100 / Vf$$

Donde:

C= Concentración de mucílago

Mm= Masa de mucílago

Vf=Volumen final de solución

Sustituyendo:

$$C = (9.929 * 100) / (68) \cong 14\%$$

Es por tanto la concentración final obtenida de donde se obtendrán las diversas solucio- nes para preparar los BTC.

Para preparar las soluciones necesarias se utiliza la fórmula:

$$V1 = C2V2 / C1$$

Donde:

C1= Concentración 1 (Concentrada-cál- culo de C anterior)

V1= Volumen 1 (de la concentrada)

C2= Concentración 2 (final deseada)

V2= Volumen 2 (final deseada)

Se decide preparar 22 litros, pues para fa- bricar 50 BTC (salen 14 de cada batida) se ne- cesitan 21 litros + 1 que se mandará a análi- sis de pruebas químicas ($50/14=3.5*6=21$).

Para el mucílago de sábila, también de- nominado acíbar, a las pencas se les quitó el epitelio para posteriormente licuar el ací- bar, éste no se deja en agua, se puede utili- zar inmediatamente y se guardó en garrafas para después preparar las soluciones (con la fórmula descrita) que se agregarían al agua de mezclado para la fabricación de BTC.

A las soluciones generadas se le realiza- ron las siguientes pruebas químicas:

Abrasión o durabilidad: se determina la duración de un BTC seco y pesado inicial- mente bajo lo descrito en la NTC 5324 epí- grafe 3.4.3 (ICONTEC, 2004). Para la prueba de durabilidad se observaron las caracterís- ticas físicas del bloque antes y después del experimento. De acuerdo con esta norma, la periodicidad de la prueba estará en funci- ón de la fecha de producción de especímenes.

Los datos obtenidos se registraron en el formato correspondiente, la durabilidad se conoce a partir del coeficiente de resistencia a la abrasión (en cm^2/g).

La tabla 4 proporciona los valores para altas concentraciones de mucílago de nopal.

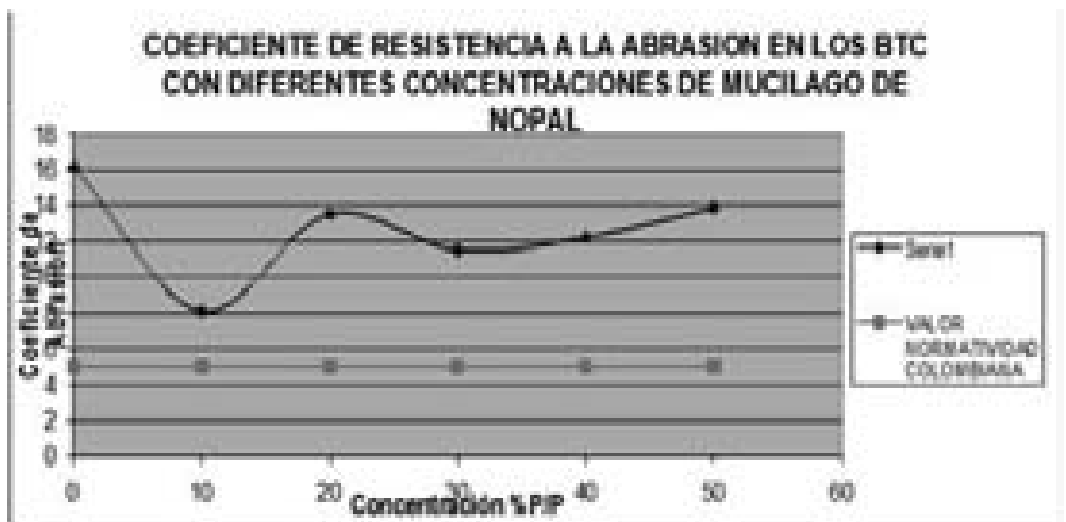
Concentración deseada	$V1 = (C2V2)/C1$	Resultado
Para concentración de 4%	$V1 = (4*22)/14$	6.3 litros
Para concentración de 3%	$V1 = (3*22)/14$	4.7 litros
Para concentración de 2%	$V1 = (2*22)/14$	3.1 litros
Para concentración de 1%	$V1 = (1*22)/14$	1.6 litros

Tabla 3. Volumen obtenido de las diversas concentraciones de savia vegetal. Fuente: Elaborado por los investigadores (2014).

PROYECTO:	_____	SUPERVISOR:	_____
LOCALIDAD:	_____	ELABORADO POR:	_____
CONSTRUCTORA:	FACULTAD DE ARQUITECTURA	FECHA:	23/06/08
ELABORADO POR:	PERSONAL DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA	RESIST. PROJ.:	_____
MATERIAL:	_____	NORMA DE REF.:	ETC. 02040.83
		ENSAYADOS POR:	_____

FECHA		0	10%	20%	30%	40%	50%
BLOQUE							
	1	15.91	7.61	13.21	14.05	10.81	17.13
	2	18.00	7.58	10.14	11.24	10.87	14.05
	3	14.58	8.09	17.33	9.19	14.95	10.49
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	PROMEDIO	16.16	8.09	13.96	11.49	12.21	13.89

Tabla 4. Condensado de resistencia abrasión btc con mucilago de nopal.
Fuente: Elaborado por los investigadores (2010).



Grafica 1. Coeficiente de abrasión para altas concentraciones de mucilago de nopal.
Fuente: Elaborado por los investigadores (2010).

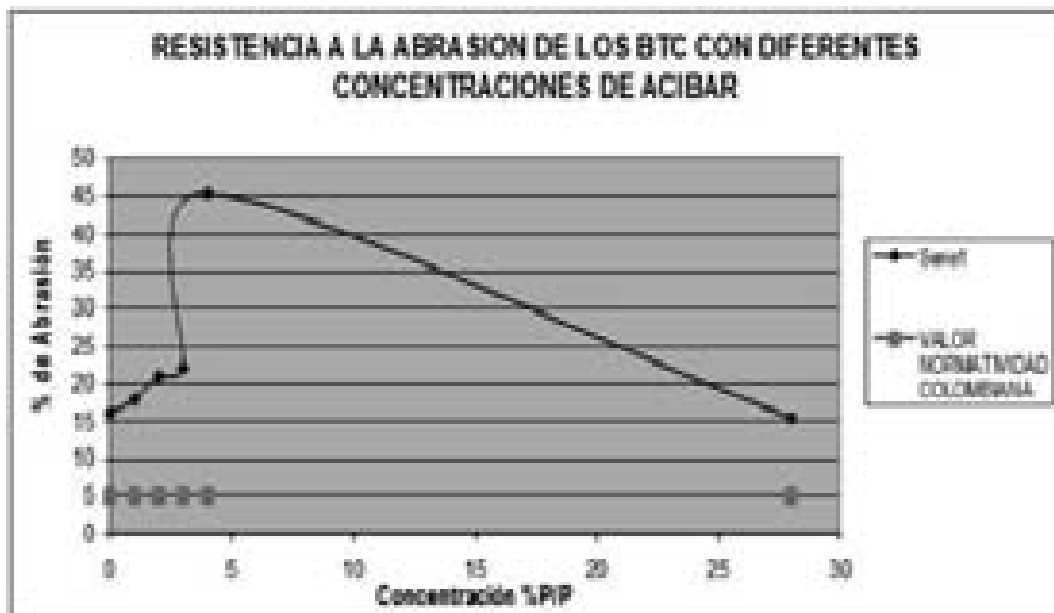
La tabla 5 es el resultado de los valores obtenidos para bajas concentraciones de sábila.

PROYECTO:	SUPERVISIÓN:	
LOCALIZACIÓN:	HECHO POR:	
CONSTRUCTORA:	FACULTAD DE ARQUITECTURA	FECHA:
ELABORADO POR:	PERSONAL DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA	REGIST. PROF.:
MATERIAL:		NORMA DE REF.:
		ENSAYADOS POR:

BLOQUE	0	1%	2%	3%	4%	5%
1	15,91	13,48	14,28	15,58	79,00	17,95
2	18,00	15,22	12,28	19,18	29,12	13,24
3	14,58	25,00	38,48	31,82	38,84	15,22
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
PROMEDIO	16,15	17,89	20,99	27,18	45,32	15,47

Tabla 5. Condensado de resistencia abrasión BTC con Acibar de Sábila.

Fuente: Elaborado por los investigadores (2010).



Gráfica 2. Coeficiente de resistencia a la abrasión de diferentes concentraciones de Acibar de Sábila.

Fuente: Elaborado por los investigadores (2010).

Resultados y discusión

Para el grupo de BTC de baja concentración de 1 a 4%:

1. Existe evidencia suficiente para afirmar que en bajas concentraciones no se mejoran las características de los BTC, lo que llevó a la segunda pregunta de investigación: ¿Cuál es el porcentaje ideal para mejorar las características del BTC? Para el grupo de BTC de alta concentración del 10 al 50%:
2. La prueba de abrasión lo que busca es la menor pérdida de masa, ya que para esta prueba no se cumple el objetivo, debido a que hubo detrimento en todos los casos. Para el grupo de BTC de concentración de 1 a 4% de sábila:
3. Para la prueba de abrasión, mientras mayor sea la dureza del bloque tendrá más resistencia a la abrasión y el valor más bajo obtenido, es mayor al del grupo control, por tanto se cumple el objetivo.

Conclusiones

El objetivo de este trabajo fue someter a los bloques de tierra comprimida a la prueba de abrasión o durabilidad estabilizados con 6% de cemento portland ordinario 20 (CPO 20) como estabilizante mineral y se encontró un mejor comportamiento a la prueba de abrasión o durabilidad en los adicionados con sábila en las concentraciones del 1 al 4% comparados con los adicionados con mucilago de nopal, basados en la Norma Colombiana NTC 5324 epígrafe 3.4.3 (ICONTEC, 2004).

Fuentes de consulta

Aranda Jiménez Y. (2010), "Características del BTC ante diferentes concentraciones de mucilago de nopal (*Opuntia rastrera y ficus-indica*) y sábila (*Aloe vera barbadensis*) agregadas al agua de mezclado". Tesis para obtener el grado de Doctor, FADU/UAT.

Barbeta, G. (2000), "Método para la selección del estabilizante óptimo", [En línea] http://www.tdx.cesca.es/TE-SIS_UPC/AVAILABLE/TDX-1105102-161519//07TESI6.pdf, consultado el 2 de enero de 2007.

Centro de Investigación Hábitat y energía FADU-UBA, Argentina, pp. 5-25

Doat, P., Hays, A., Houben, H., Matuk, S. y Vitoux, F. (1990), *Construir con Tierra*, Tomo I (C. E. Sánchez y C. A. Ospina, Trads.). Fondo Rotario Editorial, Bogotá, Colombia.

Etchebarne R., Piñeiro G., Silva J. C. (2006), "Proyecto Terra Uruguay. Montaje de Prototipos de vivienda a través de la utilización de tecnologías en tierra: adobe, fajina y BTC", en *Construcción con tierra*. Argentina.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (2004), "NTC 5324 Norma Colombiana para bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega". ICONTEC, Colombia.

McHenry P. (1996), *Adobe: Cómo construir fácilmente*, Trillas, México.

Mellace, R. F. (2006). *Cartilla del taller de Capacitación: Diseño y Producción de Bloques de Tierra Comprimida*, CRIATIC, Argentina.

Minke, G. (2001), *Manual de construcción en Tierra. La Tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*, Nordan-Comunidad, Uruguay.

Neves, C. (2007), *Arquitectura y construcción con tierra en Iberoamérica: pasado, hoy y futuro*, Proceedings Fourth Internacional adobe Conference of the Adobe association of the Southwest. Adobe USA.

Roux G. (2002), "Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento Pórtland, tipo I al 6% y reforzado con fibra de coco para muros de carga en Tampico". Tesis doctoral, Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

Torres, A., Martínez, M., Loveday, David C. y Horner, Michelle (2005), Nopal and Aloe Vera Additions in Concrete: Electrochemical Behavior of the Reinforcing Steel, Paper # 05269 NACE CORROSION/2005 Symposium New Developments in the Protection of Steel in Concrete, April 3 to 7, Houston, Texas; USA.