

COMPARATIVA DE DURABILIDAD ENTRE BTC Y TIERRA VERTIDA

Yolanda Guadalupe Aranda Jiménez, Rubén Salvador Roux Gutiérrez

RESUMEN

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos en la prueba de erosión basada en la Norma Neozelandesa NZS 4298/2008 6271 428 24127 aplicada a cilindros de tierra vertida estabilizados con cemento, con estabilizantes vegetales como el aloe vera y sin estabilizantes, y bloques de tierra comprimida (BTC) estabilizados con cal al 7 %, con la finalidad de demostrar que ambas técnicas son resistentes a impactos de agua de gran intensidad y contrastar la función de los estabilizantes naturales y minerales. Esta prueba es fundamental para poder determinar la durabilidad de un material, expuesto a las condiciones climatológicas de zonas de clima tropical y semi-tropical, así como zonas con actividad ciclónica. La metodología que se siguió para realizar las pruebas consistió en determinar el tipo de suelo y estabilizadores a utilizar en cada una de las poblaciones, realizándolas también para los especímenes de tierra vertida, en un diseño de mezcla para verificar la posibilidad de dar el mismo tratamiento que un concreto normal, verificando su comportamiento. Para el caso de tierra vertida, se elaboraron 4 grupos de muestras para contrastarlos entre ellos y aplicarles la prueba, con cemento y cal como estabilizantes minerales y acíbar de aloe vera o sábila como estabilizante vegetal. Los resultados obtenidos se contrastan y se exponen en tablas, mostrando la pertinencia de este trabajo en comparar dos técnicas de arquitectura con tierra para verificar su durabilidad.

Palabras clave: Tierra vertida, BTC, chorro de agua.

INTRODUCCIÓN

Problemática de la vivienda sustentable

Uno de los propósitos principales de la política pública de vivienda sustentable en México, es que las nuevas edificaciones de viviendas y el parque habitacional pueda integrarse en un entorno sustentable ‘ya no se puede seguir construyendo viviendas igual que antes, los antiguos métodos deben sustituirse por nuevos procesos y tecnologías que reduzcan el efecto que ejerce la construcción habitacional sobre el medio ambiente’ (CONAVI, 2010 citado en CIDOC, 2010).

La arquitectura con tierra, es una alternativa sustentable de bajo impacto ambiental, solo que se debe comprobar científicamente si reúne las condiciones necesarias para que estas técnicas sean aplicadas en viviendas, sin que sufran el deterioro causado por el medio ambiente, específicamente el agua.

Definiciones de la tierra vertida

Esta técnica constructiva, llamada recientemente ‘hormigón de tierra’, se refiere a la mezcla dosificada de gravilla, arenas y limos aglomerados por arcilla (Doat, Hays, et al,1990).

Para Houben y Guillaud (1994) la **tierra vertida** es suelo en forma de lodo líquido pero conteniendo agregados arenosos, incluso hasta el punto de grava, puede desempeñar la misma función que el concreto magro. La tierra vertida ofrece muchas ventajas como fácil preparación con mínimo de energía, gran facilidad de manejo y un rango amplio de aplicaciones que van desde la prefabricación de unidades hasta la construcción de muros monolíticos o la producción de pavimento. No obstante, la técnica es raramente usada porque el material sufre severa retracción al secarse.

Los bloques de tierra comprimida (**BTC**) de tierra sin cocer, se realizan con prensa manual o hidráulica para mejorar sus características mecánicas y estabilizar el suelo seleccionado.

Estabilizantes: Los estabilizantes pueden ser de origen:

- vegetal: fibras, savias, etc.
- animal: pelo de animal, estiércol de caballo.
- mineral: generalmente se emplea cemento y cal (Minke, 2001).
- los estabilizantes naturales se han empleado exitosamente el mucílago de nopal y el acíbar de sábila (Aranda, 2010), ya que ambos contienen 2 polímeros naturales como la amilasa y la amilopectina.

DESARROLLO

La comparación de dos técnicas diferentes, tierra vertida, sistema monolítico, y BTC, sistema de bloques, aporta una luz sobre la durabilidad de las mismas ante el efecto del agua, uno de los principales problemas de la arquitectura con tierra.

Objetivo General: Determinar la durabilidad de ambas técnicas ante el chorro de agua para verificar cual es el mejor estabilizante, para cada una de las técnicas.

Objetivos Particulares: Determinar las características del suelo apto para realizar las técnicas de tierra vertida y BTC, los procesos de estabilización más adecuados para la tierra vertida, y los procesos de estabilización más adecuados para los BTC, y definir la prueba de erosión basada en la Norma Neozelandesa NZS 4298/2008 6271 428 24127.

Antecedentes y estudios actuales sobre Tierra Vertida

La técnica fue usada en Brasil por el PCA en 1950, en el Hospital Adriano Jorge en Manaus, que ocupa un área de 10 800 m², presentando problemas significativos de grietas. Una tercera técnica fue desarrollada por el Ing. David en Costa de Marfil en 1980, consistente en prefabricar tierra estabilizada con agregados variando el diámetro. Después del secado, estos agregados fueron usados como lo sería normalmente para hacer concreto unido con mortero de tierra estabilizada, usando la forma ordinaria de concreto (Houben y Guillaud, 1994).

Un caso interesante es la vivienda de dos pisos en Tata, Hungría, construida con muro portante de 50 cm de espesor y mezcla de barro y arcilla expandida. La mezcla fue bombeada en el encofrado con un embudo transportado por una grúa, método comúnmente utilizado en la construcción con hormigón.

Para reducir costos, se puede usar un encofrado perdido de caña en una o en ambas caras, con tela tensada con cables fijados a la estructura de madera, resultando en variedad de textura de las superficies a obtener (Minke, 1994).



Figura 1. Ejemplo de tierra vertida. Fuente: González H. (2008), Alcântara, Maranhao, Brasil

Estudios actuales de tierra vertida

Los siguientes estudios y trabajos, se realizaron bajo el concepto de muros divisorios. Por ejemplo, el centro CRATERRE, Francia, desde los años 90' ha estudiado la Tierra Vertida para luego transferirlo a la práctica en el 2003 en Grand Atelier.



Figura 2. Mezcla de tierra vertida, Craterre, 2011.



Figura 3. Muro de tierra vertida, Craterre, 2011.

METODOLOGÍA

Art. 3.4.

Preparación del tanque de chorro de agua.

Este tanque fue fabricado según las especificaciones de la Norma NZS 4298/2008 6271 428 24127 y las indicaciones del Ing. Ariel González de la UTN, Santa Fe, Argentina. La bomba, con 1HP de potencia, posee dos válvulas para regular la presión según la indicada por dicha norma.



Figura 4. Tanque de chorro de agua (foto: Yolanda Aranda)

Preparación de muestras:

Se elaboraron cuatro diferentes grupos partiendo de un diseño de mezcla con el tratamiento de un concreto normal. Cada grupo tiene sub-grupos, cuya diferencia es la cantidad de estabilizante o arcilla. Finalmente, se escoge el sub-grupo de mejor comportamiento para otras pruebas, como la de compresión y retracción, para aplicarle la de erosión, cuyo contenido respecto a la selección del suelo, tiene 20% de arcilla, arena limosa y material grueso o pétreo como la grava.

Todos los subgrupos escogidos tienen 20% de arcilla, el C4 solo tiene tierra vertida, en el D2 se adiciona 3 kg. de sábila en las 8 probetas y 75% de cemento, y el D3 solo tiene sábila.

Grupo A: Tierra vertida estabilizada con cemento.

Grupo B: Tierra vertida estabilizada con cemento y cal.

Grupo C: Solo tierra vertida.

Grupo D: Tierra vertida estabilizada con sábila.

Como cada grupo tiene objetivos particulares, en el presente documento sólo se analizan los correspondientes a la prueba de erosión.

Pruebas de chorro de agua:

Las pruebas de presión con el tanque de chorro de agua se realizan bajo las recomendaciones de Craterre y la Norma Neozelandesa para tierra vertida NZS 4298/2008 6271 428 24127.

Definición de la prueba de erosión:

El tiempo de ensayo para la norma neozelandesa es de 1hr con verificación de 15 minutos, la distancia del chorro de agua es 47 cm y la presión del chorro 0.5 Kg/cm. Para la prueba de Craterre se recomienda un tiempo de 2hr a 20cm de distancia del chorro de agua.

Factores de erosión:

1. Profundidad de erosión (mm/h) <120
2. Profundidad de erosión (mm/h) 20 a 50
3. Profundidad de erosión (mm/h) 50 a 90
4. Profundidad de erosión (mm/h) 90 a 120
5. Fallo de la prueba >120

Tabla 1. Tabla de prueba de erosión a cilindros de tierra vertida.

GRUPOS	TIEMPO DE PRUEBA	DESGASTE (PROFUNDIDAD)	DISTANCIA DEL CHORRO DE AGUA
SOLO TIERRA VERTIDA C4 20% ARCILLA	7 min	140.00 mm	45cm
	7 min	115.00 mm	
	7 min	40.00 mm	
SABILA D3 20% ARCILLA	7min	20.00 mm	45cm
	7min	70.00 mm	
	7min	32.00 mm	
CEMENTO 75% D2 20% ARCILLA	1 H	0.00 mm	44.5cm
	1 H	0.00 mm	
	1 H	0.00 mm	

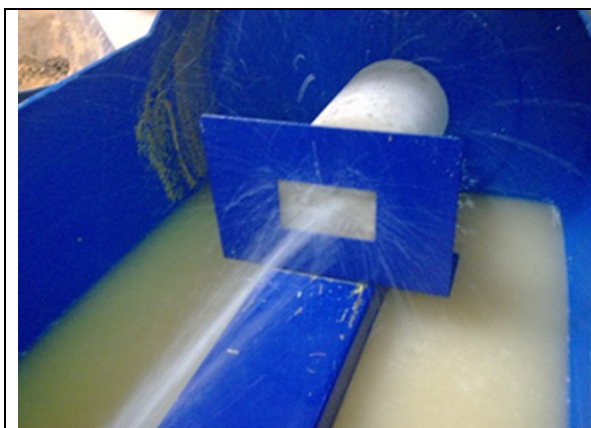


Figura 5. Prueba de erosión en cilindros de tierra vertida (foto: Yolanda Aranda)



Figura 6. Resultado de la prueba de erosión de izquierda a derecha, D2, D3, C4, (foto: Yolanda Aranda)

Metodología para la prueba de BTC:

Art. 3.4.

Para la fabricación de especímenes de BTC, el proceso se inicia con la selección y aptitud del suelo. Al no encontrar un suelo con las características ideales en la zona de estudio, se decidió fabricar uno con la mezcla de una arcilla de baja plasticidad (CL, 60 %) y una arena limosa (40 %), incorporándole 7 % de cal en polvo. La Tabla 2 muestra las proporciones de los diversos materiales para producir 14 bloques de 14 x 29 x 10 cm estabilizados con cal. El prensado de los BTC se realizó con una prensa manual Cinva-Ram de fabricación colombiana y se le incorporó hidróxido de calcio marca Calidra en proporción de un 7 % en peso.

Tabla 2. Proporciones de material para fabricar BTC estabilizados con hidróxido de calcio.

Material	Cantidad	Unidad
Arcilla de baja plasticidad	21.00	Kg
Arena limosa	23.00	Kg
Agua	6.00	Lts.
Hidróxido de calcio 7%	3.10	Kg

En la presente fase del proyecto de investigación denominada: Resistencia de los Bloques de Tierra Comprimida a la humedad, realizada por los Dr. Luis Fernando Guerrero Baca y el Dr. Rubén Salvador Roux Gutiérrez, se utilizaron dos grupos compuestos por 3 especímenes cada uno: el de control, sin estabilizante, y el experimental, con 7 % de hidróxido de calcio de estabilizante, con los resultados de la prueba de erosión en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la prueba de erosión.

GRUPOS	TIEMPO DE PRUEBA	DESGASTE (prof.)	DISTANCIA DEL CHORRO DE AGUA
Grupo Control sin hidróxido de calcio	30 min	70.00 mm	45cm
	30 min	65.00 mm	
	30 min	74.00 mm	
Grupo Experimental estabilizado con 7 % de hidróxido de calcio	1 H	2.00mm	45cm
	1 H	3.00mm	
	1 H	3.00 mm	

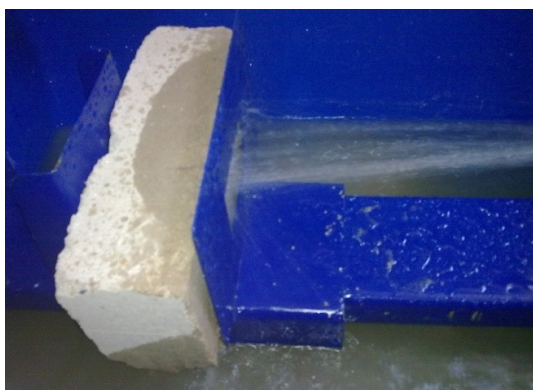


Figura 7. Prueba de erosión en BTC, grupo control, (foto: Yolanda Aranda).



Figura 8. Prueba de erosión en BTC, 30 min. grupo control, (foto: Yolanda Aranda).



Figura 9. Prueba de erosión en BTC, grupo experimental, 1 hr., (foto: Aranda)



Figura 10. Medición de erosión en BTC, grupo experimental, 1 hr., (foto: Yolanda Aranda).

CONCLUSIONES

Para el caso de los cilindros de tierra vertida se observó que el grupo con mayor resultado y por ende mejor resistencia al desgaste fue el grupo D2 el cual no tuvo ningún desgaste después de una hora de aplicar un chorro de agua a una presión de 2.50 kg/cm^2 a 44.5 centímetros de distancia y por lo que se clasifica como un desgaste de grados. Para el grupo D3, solo estabilizado con aloe vera o sábila, se observó un desgaste grado 2, muy por encima de los cilindros que sin estabilizar, por lo que se recomienda estabilizar la tierra vertida para mejorar su comportamiento ante la erosión por impacto de agua con esta savia vegetal, aunque también se observó que disminuye su resistencia a la compresión. En el caso de los BTC, el grupo experimental tuvo un mejor comportamiento ya que, con una hora expuesto al chorro de agua la erosión fue en promedio de 2.66 mm, en grado 1. Comparativamente, las dos técnicas tienen buen comportamiento al impacto del agua, con erosión grado 1 en ambas, según la Norma NZS 4298/2008 6271 428 24127, con comportamiento de la tierra vertida ligeramente mejor, según los resultados de la prueba de erosión para dichas técnicas.

En ambos casos, la compresión simple disminuye hasta un 50 %, por ello es conveniente recubrir los muros fabricados con estas técnicas, sin poner en riesgo la estabilidad estructural, ya que la resistencia en estado seco es superior a la marcada por las normas nacionales para mampostería. Se puede concluir también que el beneficio económico es bueno ya que este tipo de materiales tienen un costo de hasta un 40 % menos que los convencionales. Asimismo, en este tipo de materiales, el impacto energético y las emanaciones de CO_2 son bajos al hacerse por procedimientos manuales o semi-mecánicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Art. 3.4.

- Aranda, J. (2010). *Características del BTC ante diferentes concentraciones de mucílago de nopal (Opuntia rastrera y ficus-indica) y sábila (Aloe vera barbadensis) agregadas al agua de mezclado*. Tesis doctoral FADU-UAT, Tampico
- Bardou, P. y Arzoumanian, V. (1986). *Arquitecturas de Adobe*, en Tecnología y Arquitectura, Gili, México.
- Craterre, http://craterre.org/accueil:galerie-deimages/default/gallery/94/gallery_view/Gallery/ Recuperado, 2011.
- Building poured earth walls. Workshop, Australia. http://mooramoo.org.au/simbin_workshop.html. Recuperado **Noviembre 2010**.
- Cruz S., Guerrero B., (2007). *Patrimonio construido con tierra en México*. UAM-Azcapotzalco, México D.F.
- Chiappero R., Supisiche M. (2003). *Arquitectura en tierra cruda. Breves consideraciones sobre la conservación y la restauración*. Nobuko, Buenos Aires.
- CIDOC (2010). *Estado actual de la vivienda en México*. www.cidoc.com.mx/estudiospdf/2010/EAVM-2010.pdf Recuperado el 20 de enero del 2012.
- Doat, P., Hays, A., et. al (1990). *Construir con Tierra*. Tomo I (C. E. Sánchez y C. A. Ospina, Trads.), Fondo Rotario Editorial, Bogotá.
- Fathy, H. (1975). *Arquitectura para los pobres* (R. Reyes, Trad.). Extemporáneos, México D.F.
- FUMPH, IPHAN, (2008). Sao Luis Isla de Maranhao y Alcántara. Brasil. Junta de Andalucía y otros, Madrid.
- Gernot M. *Bioarquitectura, construcción con tierra, construcción sismo-resistente* (2004), en 1er. Seminario-Taller. Construcción con Tierra, Proyecto 6. PROTERRA / CYTED. Grupo Construcción con Tierra, Centro de Investigación Hábitat y Energía, FADU-UBA Buenos Aires.
- Gernot, M. (1994). *Manual de construcción en tierra. La tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual*. Fin de Siglo Edit., Montevideo.
- Houben, H., Guillard H. (1994). *Earth Construction, a comprehensive guide*. ITDG Publishing, Londres.
- Kennedy J. (2004). *Building without borders*, en Sustainable construction for the global village, New Society Publishers, Gabriola, Islandia.
- Kennedy, Smith, et. al.(2002). *Natural Building. Desig: construction, resources*. New Society Publishers, Gabriola, Islandia.
- Lazcano S. (1999). *Forgotten World*, en Lost sites of Paquimé Culture. Edit. México Desconocido. México D.F.
- Roux Gutiérrez, R. S, (1990). *Utilización del material adobe para la vivienda popular en la zona conurbada de la desembocadura del río Pánuco*. Facultad de Arquitectura de la U.A.T., Tampico, México.
- Roux Gutiérrez R. S. (2010). *Los Bloques de Tierra Comprimida en Zonas Húmedas*. Plaza y Valdés. D.F.
- Sampedro, Á., (2005). *Tratamientos de suelos con cal*, ANCADE, Madrid.
- SECOFI (1983). *Norma oficial mexicana, NMX-C-006-1976. Industria de la construcción – ladrillos bloques cerámicos de barro, arcilla y/o similares*, Naucalpan: Ed. Dirección General de Normas, México D.F.
- SECOFI (1983). *Norma oficial mexicana, NMX-C-036-1983. Industria de la construcción: ladrillo, bloques y adoquines de concreto, resistencia a la compresión simple, método de prueba*. Naucalpan: Ed. Dirección General de Normas, México D.F.
- SECOFI (1986). *Norma oficial mexicana, NMX-C-010-1986. Industria de la construcción: concreto, bloques, ladrillos, tabiques y tabicones*. Dirección General de Normas, México D.F.
- SECOFI (1986). *Norma oficial mexicana, NMX-C-037-1986. Industria de la construcción: concreto, bloques, ladrillos o tabicones de concreto, determinación de la absorción de agua*. Dirección General de Normas, México D.F.
- Suppen Reynaga, H. (2008). *Análisis del ciclo de vida de materiales para la vivienda de interés social en México*. CADIS, SA de CV, México D.F.