
Diseño de muros mololítico para un prototipo de vivienda sustentable

Yolanda Guadalupe Aranda Jimenez ¹
Edgardo Jonathan Suárez-Domínguez ²

Recibido: 30/05/2012

Aceptado: 10/06/2014

Resumen

Actualmente, la tierra vertida se propone como una alternativa potencial para la construcción de viviendas en ciertas regiones del estado de Tamaulipas, México. El objetivo del presente trabajo es proponer el porcentaje de cemento CPO 20 requerido para obtener la resistencia a la compresión de la tierra vertida para ser empleado como muro de carga. Se realizaron mezclas de dos suelos de la ciudad de Tampico, Tamaulipas y se estabilizaron con cemento a diversas proporciones. Los suelos fueron caracterizados y a las mezclas se determinó su resistencia a la compresión; posteriormente se calculó el espesor que debería tener el muro para soportar una losa cuyo sistema constructivo es bambuceto, apoyada en 2 sentidos. Se encontró que es aceptable adicionar 6% de cemento para un muro de 25cm de espesor cuya capacidad de carga es 17,787 kg para soportar una losa propuesta de bambuceto.

Palabras clave: Tierra vertida, muros, resistencia a la compresión

Design for a prototype walls mololítico sustainable housing

Abstract

Currently, poured earth is proposed as a potential alternative for housing in certain regions of the state of Tamaulipas, Mexico. The purpose of this paper is to find the percentage of CPO 20 cement required to obtain the compressive strength for poured earth to work as a load bearing wall. Mixes of two soils were made in the city of Tampico, Tamaulipas and stabilized with cement in several proportions. Afterwards, the thickness that the wall should have was calculated to sustain a slab, whose constructive system is bamboocrete, supported in two ways. It was found that the addition of 6% of cement is acceptable for a wall of 25 cm of thickness whose bearing capacity is of 17,787 kg to sustain the slab proposed of bamboocrete.

Keywords: Poured earth, walls, compressive strength

¹ Doctora en Arquitectura y Profesora-Investigadora titular de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Campus Tampico-Madero, circuito interior S/N. Tampico, Tamaulipas. México. yaranda@yahoo.com.mx

² Mexican Institute of Complex Systems. Tlaxcala 111 esq. Av. Jalisco, col. Unidad Nacional. Ciudad Madero, Tamaulipas. jsd@mics.edu.mx

Introducción

Los sistemas constructivos con tierra son técnicas milenarias. Dentro de los procedimientos constructivos se encuentran: bahareque, fajina, o quincha, tapial o tapia pisada, terrón, adobes y bloques de tierra comprimidos (BTC) Doat, P. et.al. (1990). En México, así como en otros países como Perú o Brasil, se tienen antecedentes de una técnica que se ha denominado barro colado, la cual requiere de un molde y la mezcla de barro muy fluida y contiene piedras o grava Minke, G. (2005).

En la Cueva de las Cuarenta Casas en Chihuahua Cruz y Guerrero (2007) analizan las casas construidas en esa zona, donde presumiblemente se utilizó el barro colado, así como la adición de estabilizantes orgánicos.

En la Ciudad de Alcántara, departamento de Maranhao en Brasil, se encuentran varias casas que datan del siglo XVIII y XIX así como iglesias del XVII, donde se puede observar el uso de esta técnica ancestral del barro colado, con agregado pétreo, el cual va decreciendo en tamaño conforme el muro va elevando su altura. Encontrándose muros de doble altura, sobre todo en casas habitación. FUMPH, IPHAN (2008).

Se tienen como antecedentes algunas construcciones encontradas, sin que a la fecha se ofrezca un reporte de carácter técnico-científico sobre sus características físico-mecánicas.

La técnica fue usada en Brasil por el PCA en 1950. El Hospital Adriano Jorge en Manaus, que ocupa un área de 10 800 m², fue construido en ésta modalidad. Hubo problemas significativos de grietas. Una tercera técnica fue desarrollada por el ingeniero David en Costa de Marfil en 1980. Consiste en prefabricar tierra estabilizada con agregados variando el diámetro. Después del secado, estos agregados son usados como lo serían normalmente para hacer concreto unido con mortero de tierra estabilizada. La técnica usa la forma ordinaria de concreto Houben, H.&Guillard H.(1994).

Desafortunadamente, aún con los ejemplos arquitectónicos presentes de tierra, no se cuenta con un modelo estándar de muros a base de tierra vertida, a pesar de que esta alternativa es viable, económica y sustentable.

La problemática de los materiales de tierra está referida a dos aspectos: su resistencia mecánica o capacidad de carga y su resistencia al agua o durabilidad. Puede mitigarse este problema a partir del diseño suficientemente resistentes Chiappero R. &Supisiche M. (2003) Aunque las normatividad de construcción con tierra no existe en México y en el mundo es escasa Cid, J. et.al. (2011), este trabajo analiza el porcentaje de cemento adicionado al muro a base de tierra vertida, su resistencia a la compresión, para ser utilizado en prototipo de vivienda sustentable a utilizarse con material presente en Tampico, Tamaulipas.

Metodología y parte experimental

Se tomó un suelo franco arcilloso proveniente de la ciudad de Tampico, Tamaulipas y un suelo limoso-arenoso (conocido como medrano). Se realizaron mezclas de tierra vertida de acuerdo a las proporciones señaladas en la Tabla 1. Las proporciones señaladas fueron seleccionadas por debajo del máximo propuesto de cemento como estabilizante de dichas mezclas. Aranda-Jiménez Y.G., González-Defelice A.A., et al. (2012).

Paralelamente se trabaja con el suelo de la región denominado Champayan al que se le hacen pruebas químicas y se estabiliza solo con cemento.

Tabla 1.- Proporciones en peso para la elaboración de tierra vertida estabilizada con cemento.

Componente	A1	A2	A3
Cemento	13.0	10.0	7.2
Medrano	32.0	32.4	33.1
Arcilla	8.0	8.1	8.3
Grava	37.0	39.3	41.3
Agua	10.0	10.0	10.0

Tabla 2.- Proporciones en peso para la elaboración de tierra vertida estabilizada con cemento con suelo Champayán.

Componente	A4
Cemento	6
Medrano	0
Arcilla	0
Grava	0
Champayán	74
Agua	10.0

Además se preparó una mezcla denominada "blanco" a la que no se añadió ningún estabilizante cuya proporción se correspondió a la Tabla 1.

A cada una de las mezclas se le determinó la resistencia a la compresión con respecto al tiempo mediante pruebas en cilindros elaborados, curados y probados de acuerdo con las normas mexicanas NMX-C-160-ONNCE-2004 y NMX-C-83-ONNCE-2002.

Posteriormente se realizó el cálculo de la capacidad de carga del muro (Reglamento ACI-IMCYC) El análisis se desarrolló para espesores de muro de 15 a 45cm para encontrar los valores mínimos obtenidos en las pruebas de compresión con la finalidad de reducir al máximo la cantidad de cemento.

Para el cálculo de los muros de tierra vertida se parte de una losa con materiales sustentables y congruentes con este tipo de muros como puede ser cubierta de palma o bambú por el peso, y con un claro máximo de 4m. El peso de esta losa, de acuerdo a Aranda y colaboradores, 2012 es de 272.2 kg por metro lineal y se tomó como base para determinar el espesor del muro de carga.

Por último se caracterizó el contenido de ambos suelos, el fabricado de la mezcla de arcilla y medrano y el champayany iones solubles presentes a partir de la norma NOM-021-SEMARNAT-2000 y la norma NMX-AA-072-SCFI-2001.

Resultados y discusión

En las tablas 3, 4 y 5 se presentan los resultados de la caracterización de los suelos utilizados para la preparación de las diversas mezclas de tierra vertida estabilizadas con cemento.

La muestra de Champayán presentó un contenido de 60.5% de roca, que equivale a 44.8% en la mezcla A4.

Tabla 3.- Caracterización global de los suelos crudos utilizados en las mezclas de tierra vertida

Determinación	Medrano	Suelo arcilloso	Champayán	Unidades
Densidad Aparente	1,92	1,82	1.78	(g/mL)
pH	8.8	8.7	9.5	upH
Conductividad	0.54	0.64	0.22	mS/cm
Materia Orgánica	< 1	< 1	1.8	%
Contenido de Humedad	12.0	14.2	15.5	%

Tabla 4.- Resultados de textura (% en peso) para los suelos utilizados en las mezclas de tierra vertida

Muestra	Textura		
	Arcilla	Limo	Arena
Suelo Arcilloso	26.5	40	33.5
Medrano	7.2	4	88.8
Champayán	2.5	18	79.5

Tabla 5.- Resultado de iones solubles presentes en el suelo en miliequivalentes por kg de muestra.

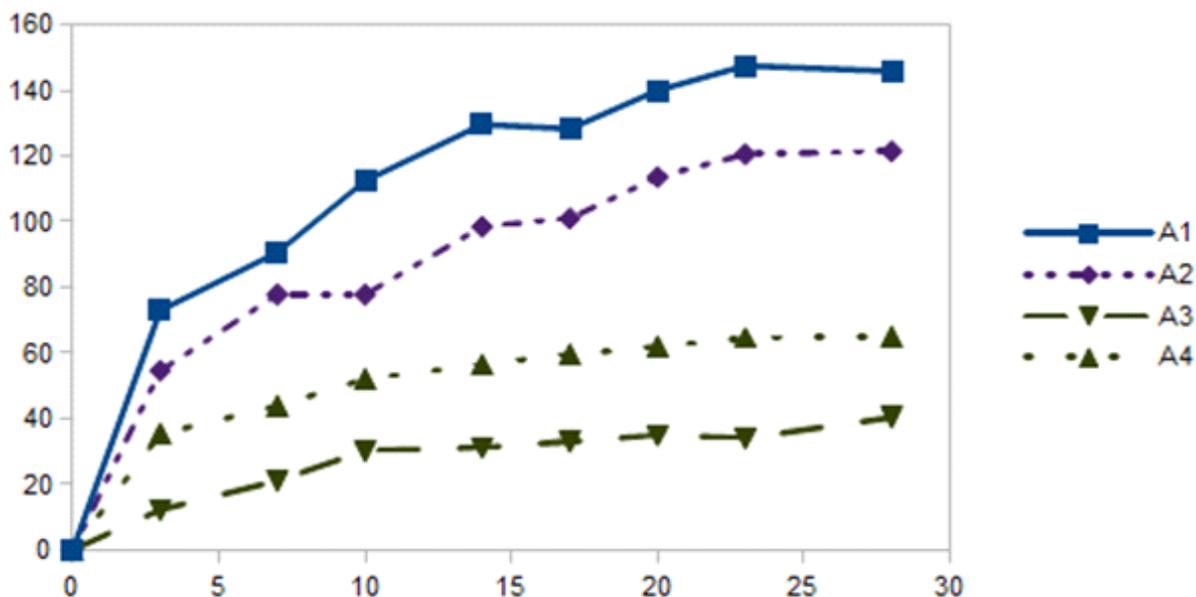
	Muestra		
	Suelo Arcilloso	Medrano	Champayán
Ca ⁺	4.4	4.2	1.8
Mg ⁺	8.6	7.9	6.9
Na ⁺ y K ⁺	<1	<1	<1
CO ₃ ²⁻	<1	<1	<1
HCO ³⁻	2.4	1.9	3.4
Cl ⁻	3.0	1.6	1.2
SO ₄ ²⁻	31.5	23.6	153.9
Fe	<5	<5	<5

Los resultados de la Tabla 3, 4 y 5 muestran un contenido composicional similar entre sí, contemplando que la cantidad de suelo final para la mezcla A4 fue de un 39.2%.

En la gráfica 1 se presentan los resultados obtenidos en cuanto a la resistencia a la compresión de los elementos de tierra vertida a lo largo del tiempo.

El valor final para la mezcla "blanco" fue de 9.8kgcm² cuando no se añade ningún estabilizante.

Grafica 1.- Resultados de la prueba de resistencia a la compresión mecánica (eje y) en kgcm^2 con respecto al tiempo (eje x) en días.



Puede observarse que los resultados a 28 días de la resistencia a la compresión fueron de 145.9, 121.5 y 40.4 kgcm^2 para las muestras A1, A2 y A3, respectivamente. Para la mezcla A4, a partir de Champayán se tuvo una resistencia de 65.1 kgcm^2 . En todos los casos se tuvieron resultados por encima del blanco.

No se tienen antecedentes de uso de tierra vertida para muros de carga en la región, o en país, sin embargo se tiene que con suelo de Tampico, Tamaulipas una cantidad baja de cemento para estabilizar la mezcla puede proponerse como una técnica económicamente factible. El suelo de Tampico y la región circundante está constituido por granulometría menor y bajo contenido en fierro, por ejemplo. El suelo denominado champayán cuenta en la misma matriz roca similar a la grava, arena, arcilla y limo lo que podría ser una de las razones para la obtención de una mezcla óptima de tierra vertida con buena resistencia a la compresión.

Por otro lado el cálculo de la carga del muro (P_u) se hizo de acuerdo al reglamento ACI-IMCYC

$$P_u = 0.55\Phi f_c A \left[1 - \left(\frac{l_c}{40h} \right)^2 \right] \dots(1)$$

Donde Φ es una constante de seguridad igual a 0.70, f_c es la resistencia a la compresión del material, de acuerdo a los resultados obtenidos en la figura 1, A es el área total de la sección, l_c es la distancia vertical entre apoyos, considerando $l_c = 400\text{cm}$, y h es el espesor total del elemento.

$$A = bh \dots(2)$$

Donde b es el largo del muro, en este caso $b = 100 \text{ cm}$ debido a que el cálculo se realizó por metro lineal.

Para un primer diseño del muro se propone un área tributaria de 1.65 m por cada m con un peso unitario de la losa de 272.2 kg por metro lineal, peso correspondiente a una techumbre de palma, posteriormente se define que el material para la losa será de bambucreto y se recalcula.

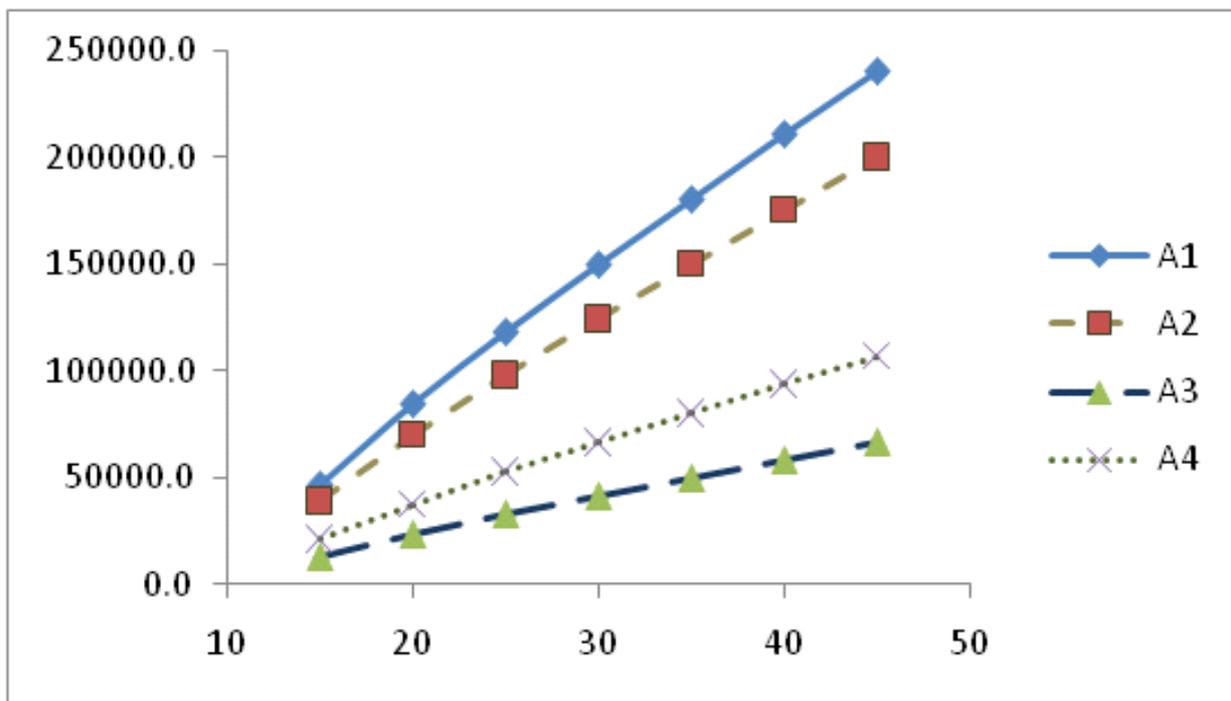
Del cálculo del muro se obtiene la siguiente tabla:

ESPESOR DEL MURO	CAPACIDAD DE CARGA DEL MURO
0.15 m	10,263 kg
0.25 m	17,787 kg
0.40m	57,750 kg

Tabla 3: Capacidad de carga del muro de tierra vertida para diferentes espesores

Se selecciona el muro de 0.25 m de espesor dado que el peso calculado para la losa de bambucreto es de 15,050 kg de área tributaria, ya que un muro de 0.15 m no cuenta con la capacidad suficiente para cumplir con la carga de diseño.

Los resultados de la resistencia a la compresión encontrados en laboratorio se introdujeron en la ecuación (1). Se estimaron los valores de la carga de muro por metro lineal y los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 2 para distintos valores de espesor de un muro diseñado.



Gráfica 2.-Resultados de P_u en kg (eje y) para diversos espesores de muro en cm (eje x) utilizando los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de las mezclas A1, A2, A3 y A4 .

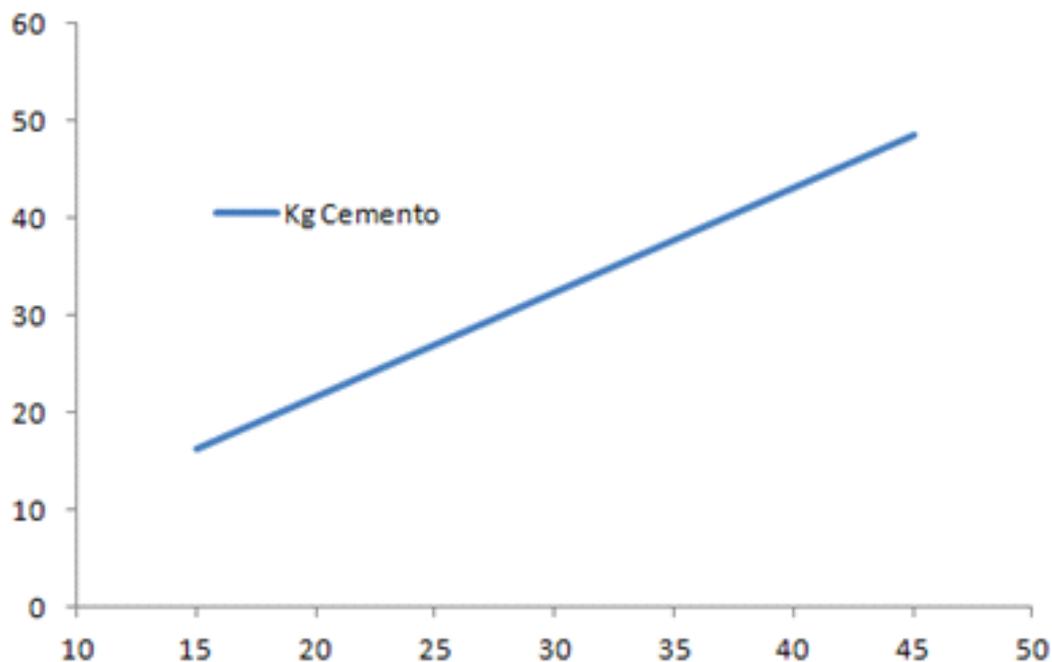
Para el cálculo de masa de cemento utilizada para producir un muro de tierra vertida se tiene:

$$m_c = \frac{\rho C b h l}{100000} \dots(3)$$

donde m_c es la masa de cemento utilizado en kg ρ es la densidad en gcm^{-3} , es el porcentaje en peso del cemento presente en la mezcla, y l es la altura del muro en cm.

En la siguiente gráfica se observa en el eje de las x los diferentes espesores de muro contra los kg de cemento, donde a mayor espesor del muro, mayor cantidad de cemento, por la masa del mismo

Gráfica 3: Espesor del muro de tierra vertida en el eje de las “x” y cantidad de cemento en el eje de las “Y”



En la tabla 6 se muestran los resultados de resistencia de carga para dos de las mezclas obtenidas. A partir de estos resultados se encuentra que un muro a base de mezcla de tierra vertida, con 7.2% de cemento para el caso de dos mezclas de suelo, o de 6% para el caso de la mezcla con Champayán se tiene que soportan los 17,787 kg de carga para una losa de bambuceto.

f_c	h	P_u
40.4	25	32623
65.1	25	52552

Tabla 6.- Resultados de P_u para las proporciones más bajas de cemento

Conclusiones

Se trabajaron los muros del prototipo con 2 suelos: uno fabricado de la mezcla de arcilla, medrano y grava y otro con un suelo de la región denominado champayan, y en ambos casos se estabilizó al 6% de cemento.

Se encontró que un muro de tierra vertida a base de suelo de Champayán o la mezcla de suelos propuesta estabilizada con 6% de cemento y 25 cm de espesor soporta hasta 17787 kg.

Los resultados de las pruebas de compresión indican que los valores obtenidos están dentro de la norma. Los muros no presentaron grietas o fisuras.

Con respecto a los resultados de caracterización de suelos se encontró que el suelo Champayán estabilizado con cemento presentó proporciones similares que la mezcla de un suelo arcilloso con Medrano y grava, provenientes todos de Tampico, Tamaulipas; esto referente al contenido de arcilla, limo y arena. En todos los casos se encontró una concentración baja de sales.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ing. Enrique Robles por el apoyo sobre las bases de cálculo.

Los resultados de la tabla A1 a la A3 se enmarcan dentro de la investigación del Programa de Cooperación Bilateral México-Argentina para la parte mexicana

Referencias bibliográficas

- Aranda-Jiménez Y.G., González-Defelice A.A., et al (2012) Tierra Vertida. Hormigón Verde. Estudio de los materiales componentes, su dosificación, interacción y puesta en obra de dos contextos. Informe Técnico. Programa de cooperación bilateral México- Argentina. CONACYT-MINCYT
- Chiappero, R. O., & Supisiche, M. C. (2003). *Arquitectura en tierra cruda: Breves consideraciones sobre la conservación y la restauración*. NobukoSa.
- Cid J., Mazarrón F.R., Cañas I. (2011) Las normativas de construcción con tierra en el mundo; Informes de la Construcción, **63**:159-169
- Cruz, S., Guerrero, B., (2007). *Patrimonio construido con tierra en México*. UAM-Azcapotzalco, México D.F.
- Doat, P., Hays, A., Houben, H., Matuk, S., & Vitoux, F. (1990). *Construir con tierra*. Fondo Rotario Editorial. Bogotá, Colombia.
- FUMPH, IPHAN, (2008). *Sao Luis Isla de Maranhao y Alcántara. Brasil. Junta de Andalucía y otros*. Madrid, España.
- Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction: A comprehensive guide*. Intermediate Technology Publications.
- Kennedy, J. F., Wanek, C., & Smith, M. G. (2002). *The art of natural building: Design, construction, resources*. New Society Pub.

- Kennedy, J. F. (2004). *Building Without Borders: Sustainable construction for the global village*. New Society Pub.
- Maya, E. (2000). *Acerca de los programas de auto-construcción de vivienda en México: mitos y realidades*. Cuadernos FICA edición especial. D.F. México.
- Minke, G. (2005). *Manual de Construcción en Tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Nordan-Comunidad, Uruguay
- Rael, R. (2008). *Earth architecture*. Princeton Architectural Pr.
- Rodríguez-Chumillas, I. (2006). Vivienda social latinoamericana: la clonación del paisaje de la exclusión. *ACE: Arquitectura, Ciudad y Entorno*, núm. 2, Octubre 2006.
- Romero, G. (2001). "La producción social del hábitat: reflexiones sobre su historia, concepciones y propuestas. *Documentos para discusión*.
- Sahagún, C. L. (1999). *Exploring a Forgotten World: Lost Sites of the Paquimé Culture*. GCC (Grupo Cementos de Chihuahua).
- Torres, R., & Eibenschutz, R. (2007). *Dimensión e impactos macro y microeconómicos de la producción social de vivienda en México*.
- Romero, G. (2007) *La producción social del hábitat: reflexiones sobre su historia, concepciones y propuestas*. Recuperado el 12/07/2007. Disponible en: http://www.hic-net.org/content/Online%5CRomero_PSH_intro.pdf

Anexo fotográfico



Foto 1: En primer plano el suelo champayan, en segundo plano los muros de tierra vertida y al fondo el cimbrado de la segunda parte. Fuente: autor.

Anexo fotográfico



Foto 2: Pruebas químicas cualitativas en campo. Fuente: autor.



Foto 3: Prototipo de vivienda sustentable terminado. Fuente: Autor