

Ensayos preliminares de mezcla suelo-cemento, mejoran la estabilización de adobes para la construcción rural

Preliminary soil-cement mixture tests improve the stabilization of adobes for rural construction

Dans Ernesto Vilela Mora^{1*} y Ermel Rodrigo Loaiza Carrión¹

1. Docentes de la Facultad de Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Loja, Ecuador

*Autor para correspondencia: dans.vilela@unl.edu.ec

Recibido: 07 de abril del 2017

Aceptado: 10 de junio del 2017

Resumen

La composición natural y heterogénea del suelo origina incertidumbres cuando se desea modificar su matriz natural mediante la adición voluntaria de algún estabilizante con el interés de mejorar sus propiedades de estabilización. El uso del suelo como material de construcción constituye una importante alternativa para la implementación en construcciones rurales de bajo costo, ambientalmente sostenibles y culturalmente aceptadas; por lo que basados en enfoques técnicos locales y sus procedimientos en la fabricación de bloques (adobes), se procedió a realizar esta investigación con el objetivo de estabilizar un suelo idóneo con adición de cemento para la fabricación de bloques (adobes), para lo cual se determinó granulometría, estructura en cuatro grupos de suelos; y, la densidad y resistencia a la compresión simple en productos elaborados, adobes aceptables en las construcciones rurales. Determinándose que la estructura del suelo utilizado por artesanos en Vinoyacu es válida o idónea para la fabricación de adobes y que la incorporación de un 8 % de peso del adobe en cemento, es suficiente para ayudar a estabilizar y mejorar condiciones físicas del mismo.

Palabras Clave: alternativa, bloques, suelo, estructura, vivienda ecológica.

Abstract

The natural and heterogeneous composition of the soil causes uncertainties when it is desired to modify its natural matrix by the voluntary addition of some stabilizer in the interest of improving its stabilizing properties. The use of land as a construction material constitutes an important alternative for the implementation in rural constructions of low cost, environmentally sustainable and culturally accepted; So that based on local technical approaches and their procedures in the manufacture of blocks (adobes) this research was carried out with the objective of stabilizing a suitable soil with addition of cement, for the manufacture of blocks (adobes), for which Was determined granulometry, structure in four groups of soils; And, the density and resistance to simple understanding in processed products, acceptable adobes in rural constructions. It is determined that the soil structure used by artisans in Vinoyacu is valid or suitable for the manufacture of adobe and that the incorporation of 8 % of the weight of the adobe into cement is sufficient to help stabilize and improve physical conditions of the same.

Key words: alternative, blocks, floor, structure, ecological housing.

Introducción

Los pobladores de las zonas rurales o periféricas de las ciudades andinas generalmente construyen sus viviendas mediante el sistema de “autoconstrucción”, sistema ancestral que se fundamenta en la fabricación *in situ* de elementos de pequeño formato (adobes) en base a suelo mezclado con agua y con algunas fibras vegetales con el fin de alcanzar al menos un nivel primario de estabilización. Sin embargo este procedimiento no garantiza la durabilidad ni la resistencia del producto obtenido, por lo que resulta indispensable estudiar nuevos procedimientos que puedan ser aplicados por esos sectores de la población para garantizar un producto de mejor aptitud (resistencia y durabilidad), de bajo costo y con tecnología que resulte técnicamente viable.

El Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo para la *Sistematización de Usos de la Tierra en Vivienda de Interés Social* (CYTED, 2013) en la ciudad de Popayán, Colombia, incluyó un grupo de acciones dirigidas a la autoconstrucción con tierra de viviendas adecuadas a la necesidad económica, social y cultural de la localidad, considerando que la

cimentación del suelo, las técnicas y materiales de refuerzo, la normalización de los revestidos para asegurar mayor durabilidad a las viviendas, son acciones que se traducen en fácil mantenimiento de las construcciones y economía de los usuarios.

El suelo sigue siendo un material que mantiene un alto nivel de competitividad que demanda poca inversión, es fácilmente adaptable, se encuentra en el lugar y posee probadas ventajas ecológicas. Actualmente, la Capilla de la Reconciliación de Berlín es un referente a nivel europeo, dado que se trata del primer edificio público con estructura de tierra construido en los últimos 150 años en Alemania. A su vez es uno de los recursos turísticos más visitados de la capital alemana (Bestraten, Hormías y Altemir, 2011).

Cuando se requiere ejecutar una mezcla de calidad, el número de suelos aptos se reduce, el concepto de suelo apto depende fundamentalmente de las exigencias que demande su estabilización (buena granulometría con predominio de fracciones arcillosas). Según Stulz (1981), cada material tiene su propia tecnología, su forma arquitectónica y su tipología estructural, en consecuencia no existen materiales buenos o malos, sino, bien o mal utilizados.

La construcción con suelo se basa en *técnicas ancestrales*, bastante conocidas; y, en general de *bajo costo*, a más de las ventajas de orden ecológico, toda vez que al estabilizarse un suelo con cemento o cal, no involucra importantes volúmenes de estos materiales elaborados a partir de elevados consumos energéticos, como tampoco entregan al ambiente residuos contaminantes. Entre otras características EBA (Estructuras Bioclimáticas Avanzadas, 2003), destaca el adobe en obra:

- Inercia térmica: el espesor de los muros permite atenuar los cambios de temperatura externos, creando un ambiente interior agradable en todas las estaciones.
- Aislamiento acústico: el adobe crea una barrera contra el ruido por ser mal transmisor de las vibraciones sonoras.
- Capacidad de transpirar: la regulación natural de la humedad impide la condensación.
- Resistencia al fuego: el adobe tiene buena resistencia a la combustión.
- Resistencia a los ataques de insectos: es un material inerte, no hay riesgo de insectos ni a los otros pequeños animales.

Sin embargo, otros estudios realizados demuestran que aplicando máquinas de compresión, se alcanzan resistencias de los bloques más altas, demostrando que un suelo estabilizado mejora las condiciones físico-mecánicas para la fabricación de bloques o adobes, así Roux y Olivares (2002) al experimentar la fabricación manual y con prensa hidráulica de adobe estabilizado con cemento portland al 6 % y adición de fibra de coco, lograron mejores características en los ladrillos realizados con prensa hidráulica que con la manual, se obtuvieron incrementos de resistencia a la compresión simple en estado seco de un 272,7 % a la primera grieta y de 249,2 % a la rotura total, en lo que respecta a la flexión tuvieron un incremento del 191,1 % con respecto a los fabricados con prensa manual. Así mismo, en la prueba de compresión en estado húmedo, los ladrillos fabricados con prensa hidráulica tuvieron incrementos del 188,9 % a la primera grieta y de un 191,1 % a la ruptura total, por encima de los fabricados con prensa manual. Con respecto a las pruebas de absorción y permeabilidad se comprobó también un mejor comportamiento de los ladrillos realizados con prensa hidráulica.

Una interpretación del análisis granulométrico según Urdiales (s.f.), considera: Gravilla 8 a 2 mm; arena 2 a 0,6 mm: franca 0,6 a 0,002 mm; arcilla < a 0,002 mm; y, humus grumus o residuos vegetales, destacando que la granulometría franca es con la cual se pueden hacer adobes.

Materiales y métodos

El procedimiento para la fabricación de bloques de adobe, se desarrolló en el sector de Vinoyacu, cantón y provincia de Loja, que cuenta con la calidad del suelo, la existencia de obreros experimentados en la fabricación de adobe; y, minas de material donde por generaciones han trabajado empíricamente en la producción de adobe, teja y ladrillo.

Identificados los suelos que presentaron aptitud para la fabricación de adobes se procedió a realizar los ensayos de laboratorio de los siguientes grupos (ver tabla 1)

Tabla 1. Matriz del experimento: contenido del 37 % de agua, contenido de cemento, número de testigos por punto e identificación de grupo.

| Punto | % en cemento en peso | número de muestras | grupo |
|-------|----------------------|--------------------|-------|
| 1 | 6 | 40 | RG1 |
| 2 | 8 | 40 | RG2 |
| 3 | 10 | 40 | RG3 |
| 8 | 0 | 80 | RG8 |

Las muestras fueron trasladadas al laboratorio ESTSUELCON CIA. LTDA de la ciudad de Loja en donde se procesaron y realizaron los análisis de acuerdo a normas AASHTO – ASTM:

Determinación del Contenido de Humedad: AASHTO T 265-93 (2000) – ASTM D 2216

Determinación del Límite Líquido: AASHTO T 89 – 02 – ASTM D 4318

Determinación del Límite Plástico: AASHTO T 90 – 00 - ASTM D 4318

Determinación de la Granulometría: AASHTO T 88-00 – ASTM D 422

Densidad del adobe seco higroscópicamente mediante la fórmula:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa (kg)}}{\text{volumen (m}^3\text{)}}$$

Determinación de la textura del suelo: Método Bouyoucos o método del hidrómetro (Conú & Jimenez, 2014).

Determinación de la resistencia a la compresión simple: AASHTO T - 208 - ASTM D - 2166

Aunque existen normas internacionales en varios países respecto a la construcción con suelo, y pese a que la vivienda de adobe en el sector rural de la región sur del Ecuador sigue vigente y representa el 14,67 % (INEC 2010), y en la provincia de Loja hay 40 110 viviendas con paredes de adobe o tapial que representa el 35,27 % (INEC 2010), en el país aún no se han encontrado normativas al respecto.

En la tabla 2 se presenta la composición ideal de un suelo. Realmente esta composición granulométrica está dirigida a la construcción vial pero es punto de partida para considerar un suelo para ser estabilizado y comprimido (Acevedo Catá, 2001)

Tabla 2. Composición ideal de un suelo dirigida al uso vial.

| Tamaño del material | % en peso de la muestra. |
|----------------------------|---------------------------------|
| Grava (tamiz 1") | 0 – 20 |
| Arena (tamiz 3/8) | 50 – 65 |
| Limo (tamiz 10) | 10 – 20 |
| Arcilla (tamiz 200) | 15 – 20 |

Resultados

De los ensayos preliminares de granulometría realizados a los suelos presentes en el sector de Vinoyaco (caso de estudio) se tiene la tabla 3 que muestra los rangos de % pasa (Tamizado) para los diferentes tamaños de partículas de suelo presentes en las minas del sector.

Tabla 3. Resultado para granulometría del suelo considerado ideal en la fabricación de adobe en Vinoyacu.

| Abertura de tamiz | Tamizado Peso en % |
|--------------------------|-------------------------------|
| 1" | 100 |
| 3/4" | 100 |
| N° 4 | 90 – 100 |
| N° 40 | 70 – 90 |
| N° 200 | 40 -70 |

En la tabla 4 se presenta los resultados de granulometría para los suelos objeto de la presente investigación.

Tabla 4. Resultados de granulometría de los suelos A y B, mezcla A+B y mezcla RG-8, para fabricación de adobe en el sector Vinoyacu.

| Abertura tamiz | Tipo de material | Tamices (mm) | Tamizado peso en % | | | |
|-----------------------|-------------------------|---------------------|---------------------------|----------------|---------------------|---------------------|
| | | | Suelo A | Suelo B | Mezcla A + B | RG-8 control |
| 1" | Grava | 25,40 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 3/4" | Grava | 19,10 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 3/8" | Arena | 9,50 | 99,12 | 100 | 100 | 99,25 |
| N°4 | Arena | 4,75 | 97,91 | 98,96 | 99,02 | 97,97 |
| N°10 | Limo | 2,00 | 95,51 | 95,69 | 95,26 | 94,10 |
| N°40 | Limo | 0,42 | 82,14 | 80,94 | 81,44 | 72,31 |
| N°200 | Arcilla | 0,074 | 59,38 | 56,58 | 63,81 | 48,55 |

Una vez fabricados los adobes con las diferentes dosificaciones de cemento y cumplidos como mínimo 8, 14 y 28 días de secado (tabla 5), se calculó la densidad seca promedio de los adobes fabricados en Vinoyacu.

Tabla 5. Resultados de densidades promedio de adobes según grupos: RG1, RG2, RG3 Y RG8

| Muestras | Edad (Días) | % de Cemento en peso | masa adobe g | base adobe cm | altura adobe cm | largo adobe cm | volumen adobe cm³ | d. seca promedio kg/m³ |
|-----------------|--------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------------|--|
| RG1 | 8, 14 y 28 | 6 | 5728 | 14,76 | 8,12 | 29,14 | 3492,46 | 1640 |
| GR2 | 8, 14 y 28 | 8 | 6037 | 15,00 | 8,23 | 29,36 | 3624,49 | 1666 |
| RG3 | 8, 14 y 28 | 10 | 6198 | 15,09 | 8,32 | 29,43 | 3694,90 | 1677 |
| RG8 | 8, 14 y 28 | 0 | 5408 | 14,32 | 7,55 | 27,64 | 2988,33 | 1810 |

El valor de densidad seca promedio (tabla 6) es mayor en los adobes al natural (RG8) debido a que se retraen en mayor escala, reflejando la estabilidad respecto del volumen que incorpora el cemento.

En la tabla 6 se muestran los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión simple, a 8, 14 y 28 días de secado higroscópico de las muestras.

Tabla 6. Resultados de ensayos de resistencia a la compresión simple según días de secado.

| Número | Grupo | Porcentaje Cemento | 8 días (kg/cm²) | 14 días (kg/cm²) | 28 días (kg/cm²) |
|---------------|--------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | RG1 | 6 | 7,20 | 11,69 | 14,47 |
| 2 | RG2 | 8 | 14,19 | 22,41 | 28,95 |

Discusión

De conformidad con la especificación de parámetros para obtener un suelo ideal para adobe, se comparó a resultados tabla 2 y tabla 4 y se evidenció que la granulometría de las muestras de suelo seleccionadas para la investigación están dentro de la norma para composición de un suelo ideal y se corresponden con la selección empírica del suelo realizada por los obreros del adobe del sector.

Con las granulometrías para cada suelo se aplicó el método de monogramas para la mezcla de dos suelos con la finalidad de cumplir la especificación para un suelo ideal y determinar las fracciones en que éstos deben intervenir en el suelo final (mezcla) a ser estabilizado y posteriormente utilizado en la fabricación de bloques en la zona de Vinoyacu.

Según, Schildeman y Roland Stutz (1981) plantean que la reacción del cemento con el agua, forma una matriz pétreo que une el esqueleto de arena. Esta matriz constituye una estructura semejante a la de un panal de abejas, de la cual depende la resistencia de la mezcla, ya que los conglomerados arcillosos dentro de sí mismo tienen baja resistencia a los esfuerzos mecánicos y a la humedad y contribuyen poco a la estabilidad del suelo-cemento en su conjunto. La matriz fija los conglomerados entre sí, evitando que las partículas del suelo se deslicen una sobre otras, o sea, incrementa la resistencia a cortante.

El mecanismo de estabilización con cemento Portland se puede resumir de la siguiente manera: la hidratación provoca la formación de un gel de cemento en la superficie del aglomerante arcilloso. La cal liberada durante la hidratación del cemento reacciona con la arcilla. La cal es rápidamente consumida y la arcilla comienza a degradarse; mientras progresa la hidratación y se activa la degradación del aglomerante arcilloso, este es penetrado en profundidad por el gel del cemento y la hidratación continúa, pero más lentamente.

De lo antes expuesto, se puede concluir que en el suelo estabilizado con cemento se obtienen tres estructuras:

- Una matriz arenosa inerte aglomerada con cemento.
- Una matriz arcillosa estabilizada.

- Una matriz de tierra no estabilizada, que resulta la parte más vulnerable por el agua del sistema.

La incorporación mayor al 6 % de cemento respecto del peso del suelo empleado en cada bloque, es recomendable porque los bloques así fabricados incrementan su resistencia; se debe tener presente que un contenido de cemento mayor al 10 % encarece el adobe estabilizado haciéndolo poco competitivo respecto de otras alternativas.

Del ensayo de resistencia a la compresión se obtiene que el grupo RG1 tiene una resistencia de 14,47 kg/cm², muy inferior a la resistencia del grupo RG8 que alcanzó 24,53 kg/cm², esto se debe a que el RG1 tiene una cantidad de cemento baja que únicamente alcanza para terminar con la actividad de la arcilla presente en la mezcla pero es insuficiente para formar una estructura dura con el resto de partículas arenosas. Por el contrario, los grupos RG2 y RG3 tienen una resistencia a compresión mayor que el grupo RG8 evidenciando que con un contenido de 8 % y 10 % de cemento los adobes tienen un mejor desempeño que los adobes confeccionados empíricamente, y pueden ser utilizados en la construcción de vivienda rural.

Conclusiones

La composición granulometría de los suelos utilizados tradicionalmente en Vinoyacu es un buen referente para investigar la fabricación de adobes para la construcción de vivienda rural en la región sur del país.

Los grupos de adobes RG2 y RG3, luego de las pruebas de compresión simple a 28 días de secado, incrementaron su resistencia entre un 18 % al 34 % respecto a los del grupo RG8.

Los adobes con adición de 8 % y 10 % de cemento mantienen su forma y mejoran su durabilidad en relación con los empíricamente fabricados.

Bibliografía

Acevedo Catá, J. (2001). Postgrado en Estructuras y Materiales. La Habana, Cuba.

Bestraten S, Hormías E y A. Altemir. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. Informes de la Construcción. 63(523): 5-20.

Conú , L. J., & Jimenez, A. (25 de 09 de 2014). Obtenido de academia.edu:
https://www.academia.edu/9677695/DETERMINACION_DE_TEXTURA_POR_EL_METODO_DE_BOUYOUCOS [Acceso 22 Mayo 2017].

CYTED. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo “Sistematización del uso de la tierra en viviendas de interés social.” Recuperado de:
http://hdrnet.org/412/1/indice_sis.pdf. 02-04-2013

Escuela Politécnica Nacional. INSTRUCTIVO PARA ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS, (1985). 4ª Ed . Laboratorio de Mecánica de Suelos. Quito – Ecuador.

Estructuras Bioclimática Avanzadas EBA SL. (2003). Construir una casa con adobe. Pág. Web. Google. Recuperado de: www.ebasl.es

INEC - Instituto Nacional de Estadística y Censos (2010); redatam@inec.gov.ec. Tel: (593-2) 2544 561; Fax: (593-2) 2509 836 - Casilla Postal 135C, Quito, Ecuador. Ver norma

NORMAS DE ENSAYO: • ASTM D-2166 • AASHTO T-208 del 1 % de la resistencia a la compresión simple de la muestra ensayada. <https://es.slideshare.net/leocalle/ensayo-de-compresion-simple13> Ene 2010

Roux R. y Olivares M. (2002). Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento portland al 6% y reforzados con fibra de coco, para muros de carga en Tampico. España .*Informes de la Construcción* 53(478): 39-50.

Stulz, R. (1981). *Materiales de Construcción Apropriados*, Distribución por: IT Publications 103-105 Southampton Row, London WC1B 4HH, UK. ISBN 3 908001 55 2,

Urdiales s.f. *Autoconstrucción*. Colección Permacultura. Recuperado de:
www.permacultura.com.ar