

COMPARATIVA DE RESISTENCIA MECANICA A LA COMPRESIÓN DE TIERRA VERTIDA CON DOS ESTABILIZANTES

Yolanda Aranda¹, Erick Zarazua², Edgardo Suarez³

Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo/Universidad Autonoma de Tamaulipas, Mexico

¹yaranda@docentes.uat.edu.mx; ²erick_zarazua@live.com; ³edgardo.suarez@docentes.uat.edu.mx,

Palabras clave: Tierra vertida, Resistencia compresión, estabilizantes minerales

Resumen

La tierra vertida es una técnica donde la mezcla es fluida y plástica, útil en la construcción de vivienda y otros elementos verticales. Se propone como una técnica sustentable ya que sus componentes pueden retornarse con bajo impacto al ambiente. El objetivo del presente trabajo es determinar la resistencia mecánica a la compresión de muestras de tierra vertida producidas con un suelo de la región estabilizado con cemento y cal y mostrar su correlación con un modelo matemático exponencial. La metodología empleada, a partir de un suelo proveniente del municipio de Altamira, Tamaulipas en México, denominado Champayan, se hicieron muestras de tierra vertida estabilizadas con cal al 6%, 10% y 20% en peso, otro grupo se estabilizó con cal y cemento y por último muestras denominadas de control, solo con el suelo, el cual contó con arena, arcilla, limo y agregado grueso se controlaron por triturado. Los resultados experimentales se contrastaron con un modelo exponencial reportado en la literatura. Durante el periodo analizado se encontró que la variación temporal de la resistencia es baja para las muestras con cal alcanzando un valor inferior al obtenido para los estabilizados con cemento. Los datos se correlacionan en más de un 99% con el modelo estudiado pero este valor disminuye conforme aumenta la proporción de cal. Fue posible producir tierra vertida con un suelo integrado estabilizado sólo con cal que puede ser utilizado como elemento monolítico, divisorio.

1 INTRODUCCIÓN

La tierra vertida es una técnica catalogada dentro de los muros monolíticos (Houben, Guillot, 1994) capaz de soportar esfuerzos tales que permitan utilizarla como muros de carga. Se define como suelo en forma de fluido plástico, que contiene agregados finos y gruesos, incluso hasta el punto de grava, y puede desempeñar la misma función que el concreto magro (Doat et al, 1990; Cid, Mazarrón, Cañas, 2011).

Las similitudes con el tapial es que ambas técnicas emplean cimbra, o encofrado, sin embargo se puede denotar como principal diferencia, que la tierra vertida no se compacta, por lo que es una técnica constructiva que requiere menos tiempo, sin embargo debido a la gran variedad de suelos existentes si no se tiene un suelo con las características idóneas, hay que mezclarlo o fabricarlo.

Toda construcción con tierra implica previamente el análisis del suelo y sus componentes, dado que dentro de un mismo banco puede variar el suelo.

Se viene trabajando desde el 2013 con el suelo proveniente del municipio de Altamira, Tamaulipas, México, denominado Champayan, el cual resultó idóneo por su contenido de arcilla, arena y agregado pétreo para trabajarlo en tierra vertida.

Con base a los resultados obtenidos del prototipo de tierra vertida desarrollado por Aranda, Sánchez y Rivera (2013), donde se estabilizo el suelo con 6% de cemento, partiendo de esta investigación el objetivo del presente trabajo es disminuir las cantidades de cemento adicionando cal.

2. DESARROLLO

2.1 Caracterización del suelo

Se inició por la caracterización granulométrica del suelo denominado Champayan por el Método de Bouyoucos, cuyo contenido, según lo reportado por el laboratorio, se encuentra en las tablas 1 y 2 (IGAC, 2006). La determinación en la tabla 2 se hizo en base a los finos, esto es, no incluye agregado pétreo.

Tabla 1. Granulometría (material que pasa y retiene la malla 4 de apertura 4,76 mm)

Material	Porcentaje
Agregado petreo	63%
Arena	36%
Finos	11%

Tabla 2. Caracterización de textura del suelo denominado Champayan.

Material	Cantidad (%)
Arena	75,4
Limo	16,9
Arcilla	7,7

2.2 Elaboración de muestras

Se elaboraron tres grupos de muestras, preparadas por separado agregando al suelo el estabilizante correspondiente, homogenizando manualmente durante 5 min y añadiendo finalmente el agua hasta una consistencia plástica.

- a) Grupo A - muestras denominadas de control o blanco, de solo Champayan y agua
- b) Grupo B - muestras del suelo Champayan con adición de 6%,10% y 20% de cal
- c) Grupo C – muestras del suelo Champayan con adición con cal y cemento en las siguientes dosificaciones: 6% cemento y 6 % cal; 5% cemento y 6% cal; 2% cemento y 6% cal.

Una vez preparadas las muestras se realizaron las pruebas de determinación de la resistencia a la compresión bajo la norma NMX-C-160-ONNCCE-2004. Los experimentos se hicieron por triplicado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para la muestra blanco fueron de 1,1 MPa. Aunque la resistencia puede encontrarse debajo del valor obtenido para las muestras con cal y con cemento y cal, estas fueron fácilmente desmoldables a las 24 horas.

Los resultados obtenidos para el grupo B y grupo C se muestran en las tablas 3 y 4, respectivamente, que presentan los promedios a la compresión de las muestras de tierra vertida estabilizada con cal y con cal y cemento en diferentes proporciones.

Tabla 3 Promedio de resistencia a la compresión del Grupo B

Tiempo (días)	Resistencia promedio (MPa)		
	6% de cal	10% de cal	20% de cal
7	0,39	0,23	0,92
14	0,24	0,32	1,25
28	0,24	0,33	1,20

Tabla 4. Promedio de resistencia a la compresión del Grupo C

Tiempo (días)	Resistencia promedio (MPa)		
	2% cemento y 6% cal	5% cemento y 6% cal	6% cemento y 6% cal
7	0,10	0,15	0,20
14	1,35	1,90	2,50
28	1,46	2,13	2,70

Para la determinación de la resistencia en el tiempo se utilizó el modelo propuesto por Suarez-Dominguez, Aranda-Jimenez, Kulich, 2014 a través de la ecuación diferencial:

$$\frac{dR}{dt} = -kR + C$$

donde R representa la resistencia mecánica a la compresión en kgfcm^{-2} , t es el tiempo en días, k es la constante (en días^{-1}) asociada a la disminución de R con respecto al tiempo y C representa la medida de la resistencia en el tiempo en $\text{kgfcm}^{-2}\text{días}^{-1}$, de los procesos involucrados en el incremento de R. Al principio, se considera que no existe resistencia (en el momento que se realiza la mezcla) de tal manera que $R(0) = 0$. El modelo matemático no es fenomenológico y se corresponde al comportamiento de la curva de variación de la resistencia con respecto al tiempo por lo que no son consideradas otras variables como la composición.

La ecuación diferencial tiene como solución analítica exacta $R = \frac{C}{k} [1 - \exp(-kt)]$, donde, debido a la complejidad de los procesos que ocurren, los parámetros C y k se determinan experimentalmente y $A = \frac{C}{k}$, siendo A por tanto un parámetro adimensional definido por la relación entre C y k.

Cuando se aplicó el modelo para el grupo A y el grupo B se encontró que para un valor de A se tuvo $0,18 \text{ kgfcm}^{-2}\text{días}^{-1}$, un valor mayor reportado anteriormente en la literatura pero que se acopla en un 99% con los resultados experimentales.

La aplicación de este modelo permitió corroborar la correlación de los resultados a lo largo del tiempo de tal forma que no existe variación significativa entre las probetas ensayadas. Esta evaluación se realiza contraponiendo las curvas representadas por el modelo y los resultados experimentales lo que permitiría determinar la resistencia a la compresión en cualquier tiempo para ese material.

CONCLUSIONES

Fue posible producir tierra vertida estabilizando una mezcla de suelo que contiene los componentes que normalmente se utilizan mezclando suelo arcilloso, suelo limoso y agregado grueso.

A partir del estudio desarrollado se encontró que la dosificación de cal a una mezcla de suelo con cemento puede disminuir, a ciertas proporciones, y no se incrementa la resistencia a la compresión al aumentar la proporción de cal; sin embargo la adición de este estabilizante permite tener un desmolde en menos tiempo.

Se distinguió diferencias cualitativas en la forma de fallo de las probetas. Para el caso de las muestras blanco, sin estabilizante, al fallar durante las pruebas solo aparecen fisuras. Cuando se realiza las pruebas con el estabilizante cemento las probetas se fisuran y no se fragmentan, y cuando se realizan con cal las probetas se fragmentan en múltiples piezas.

Con respecto al modelo matemático se encontró que es posible una correlación con los resultados experimentales de hasta 99% con un valor del parámetro $A=0,18$ lo que permite aplicarlo sin necesidad de esperar los 28 días para analizar.

La resistencia se encontró hasta de 2,7 MPa para las muestras con cemento y cal, 55,5% mayor que la de cal al 20%. A mayor cantidad de cal no necesariamente se incrementa la resistencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aranda, Y; Sánchez, T.; Rivera, J. (2013). Prototipo de vivienda con muros de tierra vertida y cubierta de bambú. Avances del proyecto. Disponible en <http://fomix.cotacyt.gob.mx/Proyectos/Vivienda%20Experimental%20Sustentable/Extenso.pdf> Recuperado el 5/09/2016.
- Cid J.; Mazarrón, F. R.; Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la Construcción*, 63, 523, 159-169
- Doat, P.; Hays, A.; Houben, H.; Matuk, S.; Vitoux, F. (1990). Construir con tierra. Bogotá, Colombia: Fondo Rotatorio Editorial.
- Houben, H.; Guillard, H. (1994) Earth construction. A comprehensive guide. London, Great Britain: ITDG publishing.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. VI Edición. Bogotá. IGAC Subdirección de Agrología. 499 p.
- NMX-C-160-ONNCCE-2004. Industria de la Construcción-Concreto-Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto, publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 27 de julio de 2004. México.
- Suárez-Domínguez, E. J., Aranda-Jiménez, Y. G., Kulich, E. I. (2014). Modelo temporal de resistencia a la compresión para tierra vertida. *épsilon*, (23), 33-42.

AGRADECIMIENTOS

Las facilidades otorgadas por el laboratorio de materiales de la FADU/UAT

AUTORES

Yolanda G. Aranda-Jiménez, doctora en Arquitectura con énfasis en vivienda. Miembro de la Red Proterra. Catedrático Investigador Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1. Representante Cátedra UNESCO "Arquitecturas de tierra, culturas constructivas y desarrollo sostenible" de CRAterre.

Erick Zarazúa Portes. Egresado de la Licenciatura de la carrera de Arquitectura de la FADU/UAT. Actualmente trabaja en su tesis para obtener el título de Licenciatura.

Edgardo J. Suarez-Domínguez, doctor en ciencias aplicada a procesos. Arquitecto y Químico. Catedrático de la FADU/UAT Investigador