LANA MINERAL USADA COMO ESTABILIZANTE PARA LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA

Yolanda Aranda Jiménez, Carlos Zúñiga Leal, Josué Francisco Pérez Sánchez

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico, Tamaulipas, México,
yoli212@yahoo.com.mx, czuniga@docentes.uat.edu.mx, josue.perez@uat.edu.mx

Palabras clave: hormigón de tierra; tierra vertida; conductividad térmica

Resumen

En la actualidad existen un sin número de estabilizantes usados en la construcción con tierra. Desde lirio acuático para BTC hasta triturado de llanta, pasando por savias y fibras vegetales. Con la finalidad de hacer la construcción con tierra más resistente a la compresión se han utilizado productos químicos que provocan la dispersión de las arcillas, sin que hasta ahora se hayan producido los efectos esperados. El objetivo general de este trabajo es demostrar si la lana mineral usada como estabilizante en uno de los sistemas constructivos con tierra como es la tierra vertida mejora las características físico-mecánicas de la mezcla y del muro monolítico. Para tal efecto se analizaron diferentes porcentajes de fibra agregada a la mezcla para tal sistema constructivo mencionado; suelo extraído del banco denominado Champayan, el cual posee arcilla, limo, arena y agregados pétreos; teniendo en cuenta que la tierra vertida es un concreto de tierra y no todos los suelos poseen estas características haciendo diferentes pruebas tales como: resistencia a la compresión, absorción de agua y transmitancia térmica. La presente investigación tuvo por objetivo responder a la pregunta: ¿Mejora la mezcla de tierra vertida sus propiedades fisicoquímicas al ser agregada lana mineral como estabilizante? Dentro de la parte experimental, se caracterizó el suelo proveniente del banco Champayan; posteriormente se elaboraron tres lotes de tres muestras cada uno, conteniendo diferentes porcentajes de fibra mineral. Las probetas fueron sometidas a las pruebas mencionadas. Los resultados obtenidos en las pruebas de compresión de las tres muestras oscilaron entre 0.673 a 0.960 MPa. En la prueba de absorción los porcentajes de humedad en peso variaron en un rango de 13.6% a 15.6% En las pruebas realizadas para medir su comportamiento térmico el intervalo del factor de conductividad térmica fue desde 0.7407 hasta 0.8725 W/m*K

1. INTRODUCCIÓN

La arquitectura y construcción con tierra es tan antigua como la humanidad, desde que ésta dejó el sedentarismo, empezó a construir sus refugios y a trabajar con la tierra como un material noble que le permitió resguardarse de los peligros e inclemencias del tiempo; poco a poco las técnicas de construcción con tierra se han ido mejorando y se detectan materiales que mejoran sus características.

El término “hormigón de tierra” refiere a una mezcla dosificada de gravilla, arenas y limos, aglomerados por la arcilla (Doat et al., 1990). Según la definición de los autores, la tierra vertida tiene características muy específicas que la hacen un concreto de tierra, como su fluidez tal que no se puede compactar como un tapial y el agregado pétreo propio de un concreto de tierra; por otro lado, un estabilizante es aquel producto que sirve para mejorar las propiedades del suelo tales como: resistencia, durabilidad, plasticidad, permeabilidad, densidad etc. (Fonseca et al., 2018).

En este sentido, existen varios tipos de estabilizantes que se pueden clasificar según su origen: a) vegetal: como savias y fibras, b) animal: como pelo y estiércol de caballo; y c) los de origen mineral como: cemento, cal y bitumen (Minke, 2013).

A lo largo de toda la historia de la construcción con tierra se han utilizado diversos productos como estabilizantes, y dado que el tópico fundamental es la sustentabilidad en estas construcciones, el estabilizador seleccionado debe de encontrarse en el lugar, además de ser económico y fácil de obtener. Recientemente se han venido utilizando productos químicos

para estabilizar la tierra y con la finalidad de eliminar el cemento; cabría el cuestionamiento en estas investigaciones la validez de irrumpir en un material natural con productos que no son fáciles de obtener en campo (Ardant et al., 2020)

La lana mineral de roca es un producto económico, con propiedades como la aislación térmica y acústica (Peinado, 2015). Por ser una fibra, se pretende probar su eficacia en la cohesión del suelo arcilloso. La lana mineral se extrae básicamente de la roca basáltica de origen volcánico; además de ser un material inorgánico, no hidrófilo, esto quiere decir que no retiene la humedad.

2. OBJETIVO

El objetivo general de este trabajo es demostrar si la lana mineral agregada a la tierra vertida mejora las características físico-mecánicas de la mezcla y del muro monolítico, de este se desprenden los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar el suelo denominado Champayan y verificar si sus propiedades son adecuadas para ser considerado en la técnica de tierra vertida.
- Determinar su comportamiento en cuanto a la resistencia a la compresión, absorción de agua y transmitancia térmica, dosificando probetas del concreto de tierra o tierra vertida estabilizada con 6% de cemento.

La presente investigación pretende resolver la pregunta ¿adicionar lana mineral a una mezcla para ser empleada en la técnica de tierra vertida mejora las características físico-mecánicas del material?

Dadas las características tan especiales de la tierra vertida, se trabaja solo con esta mezcla y sistema constructivo, se propone como futuras líneas de investigación, probar la lana mineral con otros sistemas constructivos como BTC, bahareque, etc.

3 METODOLOGÍA

El suelo empleado en esta investigación se tomó de un banco en Altamira, Tamaulipas, México, denominado Champayán por el lugar en donde se localiza. El suelo fue caracterizado en cuanto a granulometría, peso volumétrico, índice de plasticidad, contracción lineal y clasificación sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). Para el estudio granulométrico se empleó tamices de mallas desde 2" hasta la malla #4 (4.76 mm) de abertura. El índice plástico se determinó bajo la metodología de los límites de Atterberg y la contracción lineal se estudió a partir del contenido óptimo de agua en una probeta de 2.54 por 10 cm, observando la reducción del tamaño en un periodo de 24 horas de sequedad a condiciones controladas.

De acuerdo con el objetivo general y específicos planteados, se tiene como universo de estudio las muestras elaboradas en la FADU/UAT con la mezcla de tierra y 6% de cemento en peso como estabilizante con respecto a la masa del suelo, bajo el siguiente diseño experimental (tabla 1). Cada grupo consta de 6 probetas

Tabla 1. Diseño de experimentos

Mezcla (grupo)	Contenido lana mineral		Suelo (kg)	Cemento 6% (kg)
	(%)	(kg)		
A	0	0	9.554	0.573
B	0,025	0.00237	9.484	0.569
C	0,050	0.00468	9.365	0.562
D	0,075	0.00706	9.416	0.565

Los especímenes obtenidos fueron probetas cilíndricas de dimensiones 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. Las pruebas de caracterización (conductancia térmica, resistencia a la compresión y absorción de agua) de los materiales se realizaron primero para la determinación de la transferencia de calor a 3 de los especímenes para cada mezcla y posteriormente estos mismos elementos se emplearon para el estudio de resistencia a la compresión axial. Finalmente, las 3 probetas restantes de cada grupo fueron sometidas a la prueba de absorción de agua.

Para la determinación de la transferencia de calor (traslado de energía de un cuerpo a otro) se consideró el método por diferencia de temperatura en un sistema dado, fenómeno se ve influenciado por el tipo de material que se estudia. Matemáticamente la capacidad del material para conducir o no calor, se describe por medio del coeficiente de transferencia o conductividad térmica. Por lo tanto, si en un experimento se miden las temperaturas fría y caliente mientras se aplica una fuente de calor directa que promueva la conducción de energía a lo largo del espécimen, se puede obtener el valor del coeficiente de conducción de calor que caracteriza el material bajo estudio por medio de la ecuación 1:

$$k = \frac{Q(h)}{A(\Delta t)\left(T_c - T_f\right)} \quad (1)$$

Donde:

k: Coeficiente de conductividad térmica (W/m*K)

Q: Calor suministrado (J)

h: Espesor de la muestra (m)

A: Área de la sección transversal de la muestra (m^2)

Δ*t*: Tiempo de la medición (s)

T_c: Temperatura caliente (K)

T_f: Temperatura fría (K)

A partir de la información obtenida con la ecuación 1, se pueden determinar el resto de los valores que describen las propiedades térmicas de los materiales estudiados.

$$R = \frac{h}{k} \quad (2)$$

$$C = \frac{1}{R} \quad (3)$$

$$FR = \frac{T_c}{T_f} \quad (4)$$

Donde

R: resistencia térmica (m^2*K/W)

C: Conductancia térmica (W/m^2*K)

FR: es el Factor de retardo (adimensional)

La fuente de calor fue una parrilla eléctrica de laboratorio, la cual fue caracterizada bajo el siguiente procedimiento:

1. Se colocaron aproximadamente 100 g de agua destilada en un matraz redondo de fondo plano de 250 ml de capacidad.
2. Se realizó calentamiento del agua en un nivel determinado de la parrilla de laboratorio y se midieron las temperaturas inicial y final hasta observar comportamiento constante, en intervalos de 5 min.
3. Se determinó el calor emitido por la parrilla a partir de la ecuación 5:

$$Q = mC_p\left(T_c - T_f\right) \quad (5)$$

Donde:

Q: Calor suministrado (J)

m: Masa de agua utilizada durante la medición (≈100 g)

C_p: Capacidad calórica del agua (4182 J/kg*K)

T_c: Temperatura caliente (K)

T_f: Temperatura fría (K)

Para una masa de agua de 100.3715 g se obtuvo un calor máximo constante de 23,883.98 J suministrado después de 2 h de calentamiento. Una vez conocido el calor máximo suministrado por la parrilla de laboratorio, las muestras fueron sometidas a calentamiento constante por 4 h, tomando como representación el sistema en la figura 1. Las temperaturas fueron medidas con sensores de temperatura THC-4, registrando la temperatura caliente (T_c), temperatura fría (T_f) y temperatura ambiente (T_a) en intervalos de 5 min. Para este fin, se tallaron canaletas en las bases de cada probeta de forma que el sensor quedó inmerso superficialmente. Durante la prueba, las probetas se mantuvieron aisladas en un contenedor de poliestireno para reducir las pérdidas de calor en el sistema (figura 2). Los datos obtenidos fueron procesados para 3 probetas de cada tipo de mezcla incluyendo un blanco de método (cilindro de concreto f'c 20 MPa, 15x30 cm) como elemento comparativo. Todas las probetas fueron calentadas por un periodo mínimo de 4 h para observar el comportamiento del material al aplicar temperatura constante.

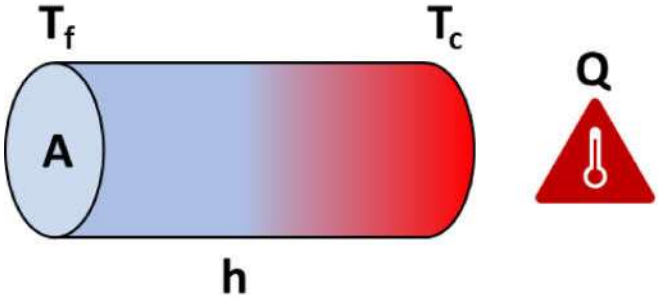

Figura 1. Representación de las variables en el fenómeno de conducción de calor en las probetas donde Tc es la temperatura caliente, Tf es la temperatura fría, Q representa el calor suministrado y h y A representan el espesor y el área del espécimen de acuerdo con la ecuación 1.

Figura 2. Imágenes representativas del método experimental para la determinación de las propiedades térmicas de los materiales (k, R, C, FR).

La determinación de la resistencia a la compresión se realizó como una adaptación de lo indicado en la norma NMX-C-083-ONNCCE-2014 Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes, para lo cual se empleó una máquina universal marca CONTROLS modelo Automax con una velocidad de aplicación de carga de 0,9 kN/s para un área nominal de las probetas de 176.72 cm^2. La resistencia a la compresión se determinó con la ecuación 6, expresando los resultados en MPa.

$$\sigma = \frac{F}{A} * 10 \quad (7)$$

Donde

σ = resistencia a la compresión (MPa)

F = carga máxima aplicada hasta la fractura (kN)

A = área nominal de la probeta (176.72 cm^2)

La prueba de absorción de agua fue ejecutada como una adaptación del procedimiento descrito en la norma NMX-C-263-ONNCCE-2010 Determinación de la masa específica, absorción y vacíos, el cual comienza con la medición de la masa de las probetas en estado seco (peso seco) para posteriormente sumergirlas en agua por un periodo de 24 h. Terminado este periodo de inmersión total, las probetas se retiraron de los contenedores y se retiró el exceso de agua por escurrimiento para finalmente medir nuevamente su masa en estado húmedo (peso húmedo). La diferencia de pesos (peso húmedo – peso seco) representa el agua absorbida por la probeta y el porcentaje de absorción se determina de acuerdo con la ecuación 7:

$$\% \, Absorción = \left(\frac{peso \, húmedo - peso \, seco}{peso \, seco}\right) 100 \tag{7}$$

4 RESULTADOS

La tabla 2 muestra los datos obtenidos de la caracterización del suelo Champayán. Se puede observar que este material se clasifica como grava limosa, mezcla de grava-arena, pocos finos o sin finos, lo cual lo hace un suelo especialmente útil para ser empleado en la técnica de tierra vertida u hormigón de tierra.

Tabla 2. Resultados de la caracterización del suelo Champayán.

Parámetro	Unidad	Resultado
Peso volumétrico	kg/m^3	1363
Límite líquido	%	51.60
Límite plástico	%	37.30
Índice de plasticidad	%	14.30
Contracción lineal	%	11.18
Clasificación SUCS	Adimensional	GM
Granulometría (% retenido)		
2”	%	0.00
1 1/2”	%	17.00
1”	%	9.00
3/4"	%	8.00
3/8”	%	16.00
#4	%	13.00
Pasa #4	%	37.00

Los resultados obtenidos en la determinación de las propiedades térmicas de los especímenes se presentan en la tabla 3. Se puede observar que la presencia de la lana mineral disminuye el coeficiente de conductividad térmica con respecto al blanco de método que es una muestra de concreto. De forma natural la tierra se comporta como un aislante, lo cual queda demostrado con los resultados obtenidos para el Grupo A que no contienen lana mineral. El resultado esperado para los grupos B a D era disminuir aún más este valor para el porcentaje cero, sin embargo, se observa el efecto contrario. Este comportamiento puede deberse a que la lana mineral, que también es un aislante (k=0.316 W/m*K), produce una diferencia significativa de conducción de calor entre las partículas en el seno del sólido, lo cual requiere aprovechar las superficies disponibles que permitan disipar el calor del sistema. Por

esto, a medida que aumenta la cantidad de lana mineral, el fenómeno de disipación de calor recae en las partículas de suelo lo cual hace que incremente el coeficiente de conductividad térmica global. Aún con este comportamiento, los materiales estudiados en este trabajo mantienen un valor 14% menor con respecto al concreto convencional. Esto también se demuestra por el comportamiento observado en el Grupo D (0.075% contenido de lana mineral) al tener una menor resistencia térmica y por ende un mayor valor de conductancia térmica. Sin embargo, la conducción del experimento por periodos prolongados permitió determinar que el factor de retardo, es decir, la capacidad del material para permitir el paso de energía en forma de calor sigue siendo 18% mayor que el valor de referencia obtenido para el concreto convencional.

Tabla 3. Valores promedio de las propiedades térmicas de los materiales (3 probetas por Grupo)

Parámetro	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	Blanco de método (concreto)
k (W/m×K)	0.6425 ± 0.0178	0.7407 ± 0.0008	0.8089 ± 0.0091	0.8725 ± 0.0233	1.0165
R (m^2×K/W)	0.4672 ± 0.0173	0.4071 ± 0.0014	0.3685 ± 0.0112	0.2517 ± 0.1412	0.2951
C (W/m^2×K)	2.1419 ± 0.0794	2.4567 ± 0.0086	2.7151 ± 0.0822	4.7144 ± 2.6451	3.3884
FR (adim)	2.7619 ± 0.0953	2.3025 ± 0.1867	2.3454 ± 0.0371	2.0984 ± 0.2834	1.7737

Donde:

k: Coeficiente de conductividad térmica (W/m*K)

R: resistencia térmica (m^2*K/W)

C: Conductancia térmica (W/m^2*K)

FR: es el Factor de retardo (adimensional)

En la tabla 4 están reflejados los resultados obtenidos de su resistencia a la compresión. Se observa que la influencia de la lana mineral en la capacidad de ruptura se incrementa en el grupo B en un 8.788%. Cuando se incrementa el porcentaje de lana mineral al 0.050% característico del grupo C se muestra un incremento marginalmente menor en la resistencia a niveles de 6.726%, este fenómeno es mayor en el Grupo D en donde la reducción es significativa por debajo del grupo de control en un 12.263 %. Se puede deducir que la cantidad de lana mineral no debe exceder 0.050% para obtener un incremento en la resistencia a la compresión. La caída de resistencia se debe a que cuando el volumen de lana mineral es significativo, un mayor espacio de la muestra es ocupado por la lana mineral la cual no tiene la rigidez del material que la rodea.

Tabla 4. Resultados de la resistencia a la compresión (MPa)

M	Grupo A (blanco)	Grupo B	Grupo C	Grupo D
1	0.736	0.793	0.884	0.797
2	0.919	0.960	0.903	0.673
3	0.790	0.906	0.821	0.674
$\overline{X}$	0.815 ± 0.12	0.886± 0.10	0.869 ± 0.05	0.715± 0.10

Donde

M es el número de muestra

$\overline{X}$ es el promedio de la resistencia (MPa)

La tabla 5 muestra los resultados de la prueba de absorción de agua de los especímenes en la que se puede observar que la absorción de agua de las muestras con lana mineral es prácticamente igual al modelo blanco, es decir la lana mineral no altera la absorción de agua de las muestras.

Tabla 5. Resultados de la prueba de absorción de agua

Muestra	Absorción (%)	
	Probeta	Promedio
Grupo A (blanco)	13.763	13.593 ± 0.012
	13.583	
	13.433	
Grupo B	13.895	13.694 ± 0.013
	13.617	
	13.570	
Grupo C	15.521	15.628 ± 0.037
	15.111	
	16.253	
Grupo D	14.043	13.780 ± 0.018
	13.542	
	13.755	

5 CONCLUSIONES

Es fundamental seguir estudiando las mezclas y estabilizantes de tierra vertida o concreto de tierra para dar difusión de todas las ventajas que tiene, ya que es poco usada por los problemas presentados en la antigüedad, como la fisuración.

Los resultados obtenidos de las propiedades térmicas de los materiales permiten denotar que la presencia de la lana mineral no tiene un impacto significativo en el coeficiente de conductividad térmica con respecto al blanco experimental (0% de lana mineral). A medida que aumenta la dosificación de lana mineral aumenta también la conducción de calor del material, lo cual es esperado al tratarse de un retardante térmico tipo pétreo. Sin embargo, la capacidad de no retención de este calor se mantiene en un valor bajo en comparación con el concreto cuando la adición del material es menor a 0.075%. Es recomendable realizar estudios con diferentes materiales cuyas propiedades térmicas puedan variarse y sea posible ampliar esta observación con respecto a su interacción en una mezcla con tierra.

Con respecto de la capacidad a compresión, la lana mineral favorece un incremento de la capacidad de carga cuando los niveles del material agregado fluctúan entre 0.025% y 0.050% siendo desfavorable cuando alcanzan valores de 0.075%.

Con respecto a la transmitancia térmica, un valor adecuado sería de 0.025% de lana mineral para ser agregado como retardante térmico en las mezclas de tierra mejorando su capacidad

La lana mineral prácticamente no tiene impacto sobre la capacidad de absorción de agua en las muestras estudiadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Ardant, D.; Brumaud, C. Habert, G. (2020), Influence of additives on poured earth strength development. Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-020-01564-y Recuperado 31/08/23

Doat, P., Hays, A.; Houben, H.; Matuk, S.; Vitoux, F. (1990). Construire en terre. Colombia: Edit Fondo Rotatorio

Fonseca, A. M.; Piratova, A. M.; Piratova, A. M. (2018). Estabilización de suelos. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=MzSjDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA121&dq=DEFINICION+DE+ESTABILIZANTE+EN+SUELOS&ots=9LUXB3N2YS&sig=a5jXILCDkKEnjsk1YWuigpi0e0A#v=onepage&q=DEFINICION%20DE%20ESTABILIZANTE%20EN%20SUELOS&f=false

Minke, G. (2013) Building with earth. Design and technology of a sustaintable architecture. Birkhauser. Germany

NMX-C-263-ONNCCE-2010. Concreto hidráulico endurecido - Determinación de la masa específica, absorción y vacíos. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación

NMX-C-083-ONNCCE-2014. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación

Peinado, H. (2015) Componentes acústicos de las lanas minerales. Disponible en: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/213036031/LibroS6_2015_AcusticaEdificacion_NormativaMaterialesInstrumentacionControl.pdf#page=79. Recuperado el 25/04/23.

AUTORES

Yolanda Guadalupe Aranda Jiménez, Doctorado en Arquitectura con énfasis en vivienda, perteneciente a la Red Proterra desde el 2005, Representante de la Cátedra UNESCO para Arquitectura con tierra y culturas constructivas, Catedrático investigador de la FADU/UAT. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 2. Perfil Promep Lider del CA Calidad del Hábitat, https://www.researchgate.net/profile/Yolanda-Aranda-Jimenez

Carlos Zuñiga Leal. Master en Administración de la Construcción Ingeniero Civil. Catedrático FADU, varios artículos indexados publicados. Perfil PROMEP. https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Zuniga-Leal

Josué Francisco Pérez Sánchez, doctor en ciencias en materiales, ingeniero químico, miembro de la Academia Mexicana Multidisciplinaria A.C.., profesor investigador de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, México, con el Nivel 1 en el Sistema Nacional de Investigadores del CONAHCYT. Perfil social https://www.researchgate.net/profile/Josue-Francisco-Perez-Sanchez.