VOLUMEN 28
Verano de la Ciencia XXIX
ISSN 2395-9797
www.jóvenesenlaciencia.ugto.mx

Una alternativa para la construcción y restauración de monumentos y sitios históricos

José Ángel Sánchez Sámano[1]
[1]Departamento de Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato
Ja.sanchezsamano@ugto.mx[1]

Ángel Uriel Talavera Morales[1]
[1]Departamento de Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato
au.talaveramorales@ugto.mx[1]

María Jesús Puy Y Alquiza[1]
[1]Departamento de Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato
Ja.sanchezsamano@ugto.mx[1]

Velia Yolanda Ordaz Zubia[2]
[1]Departamento de Arquitectura, División de Arquitectura, Arte y Diseño, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato
veliaordaz@ugto.mx[1]

Resumen

El reciclaje del poliestireno expandido para reforzar material de adobe ha llamado la atención en el sector de la construcción y el patrimonio por las excelentes propiedades físico-mecánicas que aporta. La incorporación de residuos y subproductos reciclados del poliestireno expandido al adobe como material de construcción es una estrategia beneficiosa para para la reducción de contaminantes al ambiente y como una opción constructiva para viviendas sociales. En este artículo se evaluaron las propiedades físicas del adobe estabilizado con poliestireno expandido para su uso como material de construcción y restauración. Los resultados obtenidos de dicha investigación indican que los adobes estabilizados con poliestireno en concentraciones al 6% a malla #14 tienen características físicas adecuadas para la restauración de monumentos y sitios históricos.

Palabras clave: reúso, adobes, poliestireno, construcción

1. Introducción

El patrimonio arquitectónico configura la identidad de los habitantes de una ciudad, es el reflejo de un pasado, una historia y una tradición que lamentablemente a lo largo del tiempo en las ciudades patrimoniales se ha observado la progresiva destrucción de su arquitectura antigua (Guadamud-Vera y Castro-Mero, 2021). La estabilización de adobes para la construcción es un campo importante de investigación y desarrollo, ya que los adobes son uno de los materiales de construcción más antiguos y sustentables en muchas partes del mundo. Con base en lo anterior, es fundamental implementar estudios que permitan generar datos para la conservación, mejoramiento e integración del adobe. Este estudio proporciona una base y guía para gestionar el reciclaje de poliestireno expandido para ser utilizado en la fabricación de adobes reciclados para la construcción, preservación y restauración de edificaciones de barro como patrimonio cultural, ofreciendo beneficios ambientales y económicos.

2. Objetivo de la investigación

El objetivo de la investigación es evaluar las propiedades físicas que presenta el adobe reciclado al estabilizarlo con poliestireno, como alternativa para la construcción y restauración de monumentos y sitios históricos.

3. Material y Métodos

3.1. Fabricación de adobes estabilizados con poliestireno

El poliestireno utilizado en este trabajo de investigación corresponde al poliestireno expandido o EPS utilizado en la industria de la construcción, específicamente en la producción de bóvedas. El procedimiento para su uso fue diluir 500 gramos de poliestireno en 2 litros de acetona $(CH_3)2CO$. Al diluir el poliestireno con acetona, el disolvente rompe la cadena y libera las bolsas de aire del interior, sin que el poliestireno desaparezca, ya que está presente en la solución de acetona. Al romper la cadena y liberar las bolsas de aire se favorece la resistencia mecánica del adobe. Una vez diluido se dejó secar a temperatura ambiente para luego molerse en una licuadora y pasar por la malla #14, (Figura 1). Se añadió poliestireno con tamaño de malla #14 a 115g del material seleccionado en proporciones del 6% (6.9 g), mezclando la mezcla con agua.

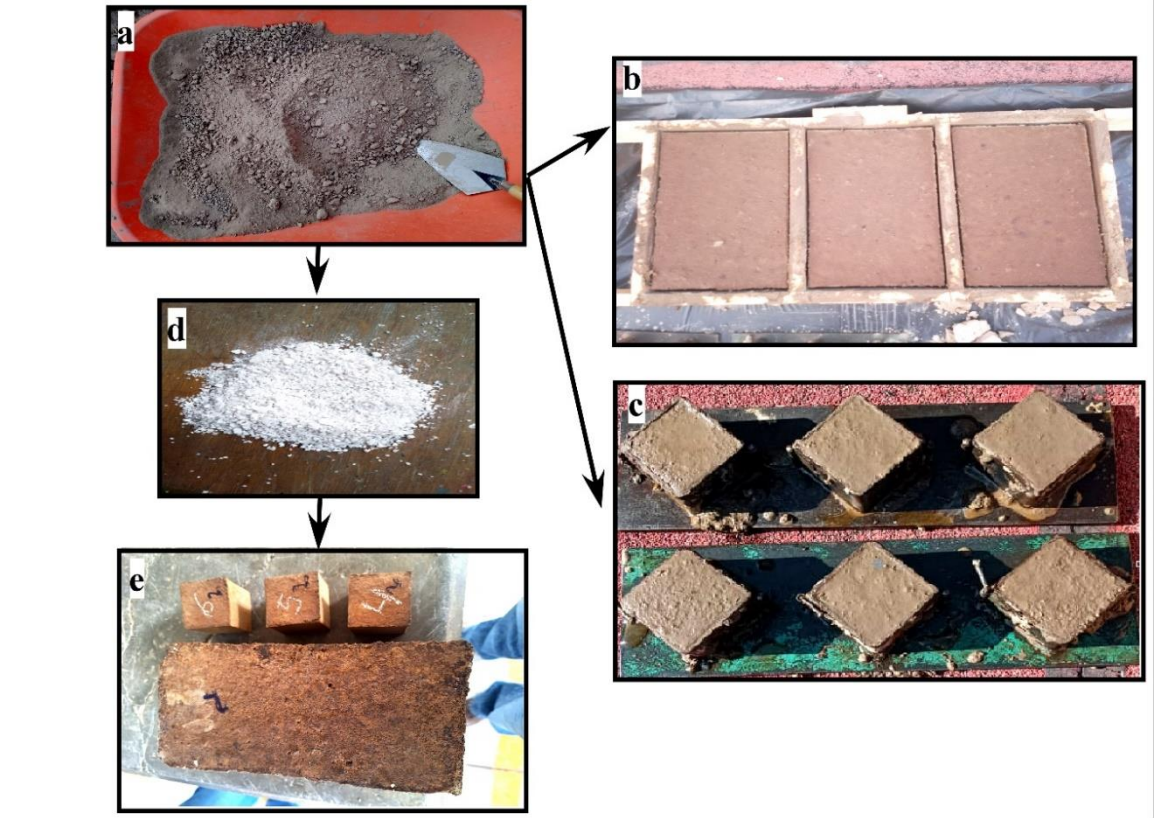


Figura 1. Fotografías de la fabricación de adobes estabilizados y no estabilizados; a, b, c) Fabricación de adobes no estabilizados; d, e) Fabricación de Adobes estabilizados con poliestireno.

4. Experimental

4.1. Pruebas físicas

Las pruebas físicas se realizaron sobre las muestras de adobe no estabilizado y estabilizadas con poliestireno. La caracterización física consistió en determinar la granulometría, cohesión, densidad del sólido, volumen de huecos, absorción de agua por capilaridad, porosidad, contenido de humedad, índice de plasticidad, límite de Atterbeg, durabilidad y contenido de materia orgánica de las muestras fabricadas. La granulometría consistió en la determinación de la distribución de tamaño de las partículas aplicando el método de tamizado. El análisis de tamiz se llevó a cabo según ASTM D2487. Las muestras fueron clasificadas considerando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS). Otro de los parámetros estudiados fueron las pruebas de cohesión donde se aplicó la Norma Europea UNE-EN 13880-10:2004. La absorción de agua por capilaridad en función del tiempo se midió según la norma europea UNE-EN 1925, (1999). La muestra utilizada para esta prueba tenía forma cúbica (5 cm x 5 cm x 5 cm). La absorción de agua por capilaridad se calculó mediante la Ecuación 1.

C1 o C2 = mi – md /A. √ti. (Ecuación 1)

Donde (C1) coeficiente de absorción de agua por capilaridad perpendicular al plano de anisotropía de la piedra, en $g/m^2.s0,5$; (C2) coeficiente de absorción de agua por capilar paralelo al plano de anisotropía de la piedra, en g/m^2 .s0,5; (e) masas de muestra durante la prueba en gramos; (md) masa de muestra seca en gramos; (A) área del parámetro bajo el agua en m2; (ti) tiempo transcurrido desde el inicio del ensayo hasta el momento en que se miden sucesivamente las masas (mi), en segundos.

La porosidad se realizó aplicando la Norma Europea UNE-EN1936, 2006. La porosidad total se calculó utilizando la relación entre el volumen de los poros (abiertos y cerrados) y el volumen aparente de la muestra (Ecuación 2).

p= (1 – pb / pr) X 100 (Ecuación 2)

Donde (pb) es la densidad aparente y (pr) la densidad real.

La prueba del índice de plasticidad se realizó en tres muestras, aplicando el método de Atterberg. Este método determina el rango de humedad en el que una masa arcillosa es moldeable, definiendo un índice de plasticidad, IP, como la diferencia de humedad entre el límite líquido, LL, o humedad por encima del cual una masa no tiene la consistencia suficiente para ser moldeable, y el Límite plástico, LP, o porcentaje mínimo de agua para hacer una masa moldeable. La durabilidad se obtuvo aplicando la prueba de inmersión. La durabilidad de las muestras no estabilizadas y estabilizadas con poliestireno se obtuvo colocando dichas muestras en tinas y sumergiéndolas bajo agua durante 24 horas, luego de lo cual se evaluó el deterioro de las muestras, considerando para su evaluación la clasificación de Micek (2006). El contenido de materia orgánica total se llevó a cabo en las muestras de adobe no estabilizado fabricado tradicionalmente y en las elaboradas con adobe estabilizado con poliestireno, aplicando la Norma Mexicana NMX-AA-21-1985, que establece una relación entre el volumen de dicromato de potasio, el ferroso sulfato y el peso de la muestra (Ecuación 3).

Materia orgánica (%) = (V1. N1- VNF) K /P (Ecuación 3)

Donde V1 = Volumen de solución de dicromato de potasio utilizado en la muestra cm^3. N1 = Normalidad de la solución de dicromato de potasio. V = volumen de solución de sulfato ferroso utilizado en la titulación de la muestra en cm3. N = Normalidad de la solución de sulfato ferroso. P = peso de la muestra. K= 0,003.

5. Resultados

5.1. Granulometría de las muestras.

En la Tabla 1 se muestra la distribución de tamaño de las partículas que componen las muestras de forma cúbica (5cm x 5cm x 5cm) de adobe no estabilizado fabricado tradicionalmente y de adobe estabilizado con poliestireno. Los resultados obtenidos respecto a dicho parámetro indican que el adobe no estabilizado tiene una granulometría de 7.54 % en peso de grava, 89.34 % en peso de arena y 3.13 % en peso de limo-arcilla. Según la USCS, los adobes no estabilizados estudiados corresponden a ML: Limos y arenas muy finas inorgánicos, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos de ligera plasticidad. Con base a esto, la granulometría observada en el adobe estabilizado con poliestireno, muestra que al estabilizar con 6% de poliestireno a malla #14, el adobe mejora su compresibilidad, teniendo un equilibrio granulométrico de: 15.05% en peso de grava, 33.85% en peso de arena y 64.07% en peso de limo-arcilla.

Tabla 1. Granulometría de muestras de adobe de forma cúbica (5cm x 5cm x 5cm), (adobe no estabilizado y adobe estabilizado con poliestireno).

Forma Cúbica **Muestras adobe**		**Granulometría**			
		Grava (wt%)	**Arena (wt%)**	**Limo-Arcilla (wt%)**	**Clasificación (USCS)**
Adobe no estabilizado	M-3	7.54	89.34	3.13	ML: Limos y arenas muy finas inorgánicos, harina de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos de ligera plasticidad.
Adobe estabilizado con poliestireno malla #14	M-3 (6%)	15.05	33.85	64.07	CL: Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas y arcillas magras.

5.1.2. Cohesión, densidad, y volumen de espacios de las muestras

La cohesión, la densidad y el volumen de espacios de las muestras de adobe de forma cúbica se muestran en la Tabla 2. El adobe no estabilizado mostró valores de cohesión de 3.52 kg/cm^2, valores de densidad de sólidos de 2.7 g/cm^3 y valores de espacios de 75.32 cm^3. El adobe estabilizado con poliestireno al 6% en la malla #14 muestra una mayor cohesión de 5.08 Kg/cm^2 a 5.51 Kg/cm^2, con una densidad de 2.5g/cm^3 y volumen de espacios de 36.55 cm^3 a 39.80 cm^3. El volumen de espacios de adobe no estabilizado estudiado es de 75.32 cm^3, mientras que para el adobe estabilizado con poliestireno al 6% en malla #14, los valores de volumen de espacios varían de 36.55 cm^3 a 39.80 cm^3. Con base en los datos anteriores, podemos observar una disminución de los espacios en las muestras de adobe estabilizado con poliestireno al 6% en la malla #14 en comparación con los valores de adobe no estabilizado.

5.1.3. Plasticidad y porosidad de muestras de forma cúbica.

La plasticidad y porosidad de las muestras de adobe de forma cúbica se muestran en la Tabla 2. El valor del índice de plasticidad (PI) en adobe no estabilizado es 10.83%. La porosidad del adobe no estabilizado estudiado es del 69%. Mientras que para el adobe estabilizado con poliestireno al 6% en malla #14, los valores del índice de plasticidad varían de 19.14% a 26.25% y los valores de porosidad son menores que el adobe no estabilizado. oscilando entre el 53% y el 55%.

5.1.4. Contenido de humedad y materia orgánica de muestras de forma cúbica.

El contenido de humedad y materia orgánica se muestra en la Tabla 2. El adobe no estabilizado presenta valores de contenido de humedad de 2.46% y el contenido de materia orgánica es de 27.57%. El adobe estabilizado con poliestireno al 6%, malla #14, los valores de contenido de humedad son bajos de 1.42% a 1.83%, al igual que los valores para el contenido de materia orgánica de 2.08% a 6.80%.

Tabla 2. Propiedades físicas de muestras de adobe de forma cúbica (adobe no estabilizado y adobe estabilizado con poliestireno). Cohesión, espacios vacíos, densidad, porosidad, contenido de humedad, índice plástico, límite de Atterbeg y contenido de material orgánica.

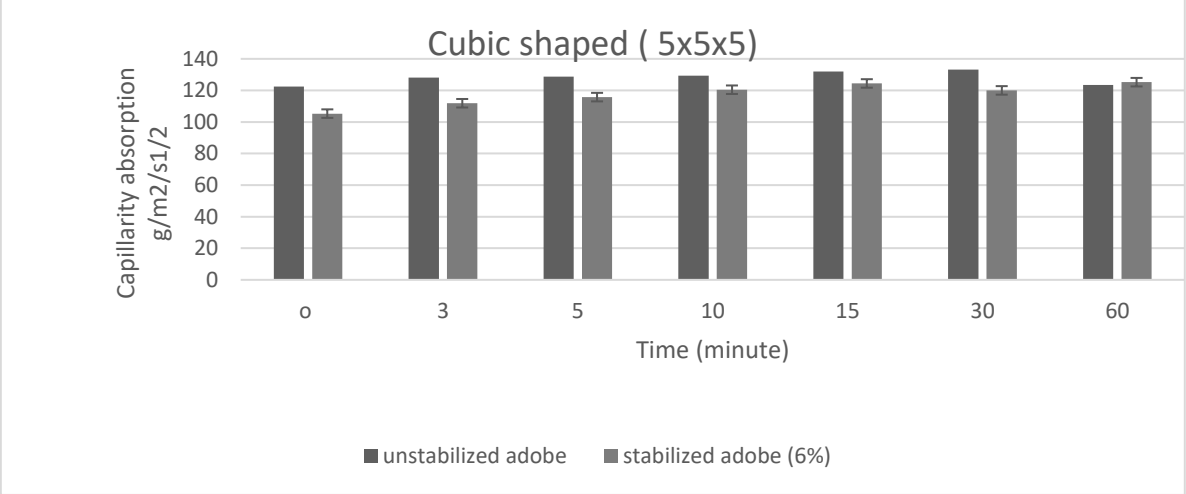
		Propiedades Físicas							
Forma Cúbica Muestra de adobe		**Cohesion (kg/cm^2)**	**Espacios cm^3**	**Densidad g/cm^3**	**Porosidad (%)**	**Contenido humedad (%)**	**Índice de Plasticidad (PI) %**	**Atterbeg limite**	**Contenido materia orgánica (%)**
Adobe no estabilizado	**M-3**	**3.52**	**75.32**	**2.7**	**69**	**2.46**	**10.83**	**40.0**	**27.57**
Adobe estabilizado con poliestireno a malla #14	M-3 (6%)	5.51	36.55	2.5	53	3.84	23.05	47.28	2.08

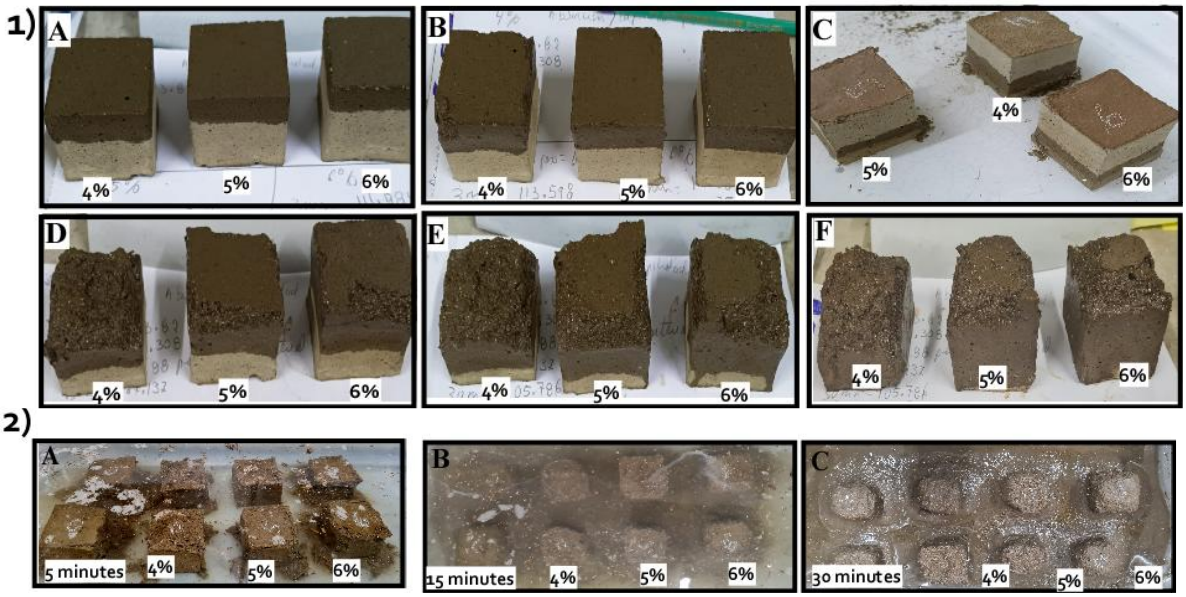
5.1.5. Coeficiente de absorción de agua por capilaridad y prueba de inmersión (durabilidad) de formas cúbicas.

En la Tabla 3 se muestran los valores obtenidos para la absorción de agua en muestras de forma cúbica estabilizadas con poliestireno en concentraciones del 6%. Los valores de absorción de agua se estabilizaron después de 15 minutos en concentraciones del 6%, donde no se observaron cambios significativos. Esta disminución se debe a que cuanto mayor es la concentración de poliestireno, más se genera una capa homogénea e impermeable sobre las partículas, llenando los espacios vacíos entre ellas, impidiendo así la entrada de agua por los poros de dicho material. La prueba de inmersión simula una inundación durante la lluvia, por lo que las muestras cúbicas no estabilizadas y estabilizadas con poliestireno se sumergieron en agua durante 60 minutos. Observándose que las muestras no estabilizadas mostraron resultados severos, siendo destruidas en menos de 5 minutos, perdiendo su estructura y mostrando una consistencia turbia (Tabla 3), mientras que las muestras estabilizadas con poliestireno presentaron resultados moderados, resistiendo la inmersión en agua durante 30 minutos, observándose daños estructurales visibles como grietas y fisuras (Tablas 3). La prueba de inmersión mostró que después de 15 minutos el adobe se estabilizó al 6% y comenzó a desintegrarse, manteniendo su forma a las 24 horas pero no el volumen ni la consistencia (Tablas 3).

Tabla 3. Absorción capilar de muestras de forma cúbica. 1) Fotografías de absorción capilar en muestras de forma cúbica: A: 3 min, B: 5 min, C: 10 min, D: 15 min, E: 30 min, F: 60 min. 2) Fotografías del ensayo de inmersión en muestra de forma cúbica: A: 5 min, B: 15 min, C) 30 min.

Tiempo (minutes)	**Adobe no estabilizado**	**Adobe estabilizado (6%)**
0	122.391	105.31
3	128.186	111.884
5	128.723	115.756
10	129.3	120.442
15	132.033	124.415
30	133.22	120.012
60	123.493	120.012





6. Conclusión

En este trabajo de investigación se propone reforzar los adobes reciclados agregándoles poliestireno expandido, producto de desecho en la industria de la construcción. El patrimonio construido proporciona información sobre la historia de un lugar, y simboliza la identidad del ser humano, por lo que su conservación y mantenimiento son fundamentales para dejar un legado a las generaciones futuras. El uso de materiales, como el adobe reciclado, contribuye a una economía circular, donde el valor del producto y los materiales se mantienen en el tiempo. La fabricación de adobes tradicionales estabilizados con poliestireno arroja resultados positivos, mejorando las propiedades físicas finales de los bloques fabricados. Un adobe estabilizado con poliestireno reduce el problema que presenta el adobe no estabilizado, que es su baja capacidad de carga y resistencia a la humedad. Este trabajo de investigación demuestra que el poliestireno es un buen estabilizante aplicado a los adobes ya que reduce la absorción de agua, sella los poros y cubre las partículas de arcilla con una película impermeable, reduciendo el agrietamiento del adobe. lo que amplía sus aplicaciones en la construcción. El uso de poliestireno como refuerzo para adobe representa una alternativa de sustentabilidad con el desarrollo de procesos de reciclaje más eficientes y como alternativa biodegradable y ecológica, reduciendo el impacto ambiental. Los resultados obtenidos de dicha investigación indican que los adobes estabilizados con poliestireno en

concentraciones al 6% a malla #14 tienen características físicas adecuadas para la restauración de monumentos y sitios históricos

Bibliografía

Guadamud-Vera, J. G., & Castro-Mero, J. L. (2021). El patrimonio edificado como elemento dinamizador del espacio píºblico y su aporte al desarrollo sostenible del territorio.*Dominio de las Ciencias*, *7*(4), 90-105.

Standard, A. S. T. M. (2011). D2487; Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). *ASTM International, West Conshohocken, PA, USA*.

Norma UNE-EN 13880-10:2004. Métodos de ensayo para la determinación de la adherencia y de la cohesión después del alargamiento y compresión continuados.

Norma UNE-EN1936 (2006). Métodos de ensayo para piedra natural, Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total.

Micek, J. (2006). Adobe brick design. *Senior project [Internet]*.

Norma Mexicana NMX-AA-21-1985, Protección al ambiente-contaminación del suelo – residuos sólidos municipales - determinación de materia orgánica.

.