

Influence of the mechanical properties of adobe with the incorporation of waste in the burning of artisan brick, Cajamarca 2024

Liz Karina Machuca Narro, Bach¹; Sandy Aracelli Quispe Salcedo, Bach²; Henry Josué Villanueva Bazán, Mgs³

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. N00255352@upn.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. N00238773@upn.pe

³ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. henry.villanueva@upn.edu.pe

Abstract—Experimental tests were carried out incorporating different proportions of waste in the adobe mixture, evaluating its resistance to bending, compression and immersion in water. The final product showed that adding waste does not obtain an optimal result in the strength of the material, and even, in some cases, reduces it. The adobes with waste presented a decrease in their properties, such as, in compressive strength: 19.31 kg/cm² (5%), 18.57 kg/cm² (8%) and 17.82 kg/cm² (10%), compared to the control adobe (without added ash) which reached 26.66 kg/cm². Although all specimens exceeded the lowest value of 12 kg/cm² established by national regulations (E-080), the reduction compared to traditional adobe is significant. These values highlight the challenges in waste management and suggest that not all waste is suitable for optimising the structural characteristics of adobe in buildings.

Keywords-- Adobe, ash, brick, burnt residue, compressive strength.

Influencia de las propiedades mecánicas del adobe con la incorporación de residuos en la quema del ladrillo artesanal, Cajamarca 2024

Liz Karina Machuca Narro¹; Sandy Aracelli Quispe Salcedo²; Henry Josué Villanueva Bazán³

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. N00255352@upn.edu.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. N00238773@upn.edu.pe

³ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. henry.villanueva@upn.edu.pe

Resumen—Esta investigación analiza el impacto de la integración de residuos de la quema de ladrillos artesanales en las características estructurales. El fin principal es determinar si estos residuos potencian la resistencia, durabilidad y otras características de los bloques de tierra, utilizado en zonas rurales y sitios patrimoniales. Se realizaron pruebas experimentales incorporando diferentes proporciones de residuos en la mezcla de adobe, evaluando su resistencia a la flexión, compresión e inmersión en agua. El producto final mostró que al adicionar residuos no obtenemos un resultado óptimo en la resistencia del material, e incluso, en algunos casos, la reduce. Los adobes con residuos presentaron una disminución en sus propiedades, tales como, en la resistencia a la compresión: 19.31 kg/cm² (5%), 18.57 kg/cm² (8%) y 17.82 kg/cm² (10%), en comparación con el adobe de control (sin ceniza añadida) que alcanzó 26.66 kg/cm². Aunque todos los especímenes superaron el menor valor de 12 kg/cm² establecido por la normativa nacional (E-080), la reducción a diferencia con el adobe tradicional es significativa. Estos valores destacan los desafíos en la gestión de desechos y sugieren que no todos los residuos son adecuados para optimizar las características estructurales del adobe en las edificaciones.

Palabras clave— Adobe, ceniza, ladrillo, residuos quemados, resistencia a la compresión.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el territorio andino sudamericano, el Suroeste de los Estados Unidos y Mesoamérica en el 50% de las casas habitadas por la población se ha empleado el adobe en los procesos constructivos [1]. Es así como, en el ámbito internacional las viviendas construidas con adobe son mucho más usuales en muchas regiones del mundo debido a su bajo costo de inversión y el fácil acceso para los materiales que se necesitan en su construcción [2]. A pesar de ello, este tipo de edificaciones frente a desastres naturales presenta una vulnerabilidad alta en cuanto a la resistencia sísmica, que deja en riesgo las condiciones de vida de las personas que habitan estas construcciones de adobe en lugares en los que el riesgo sísmico es alto y las temporadas de lluvia son intensas. Y desde la perspectiva nacional en Perú, los datos más recientes obtenidos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) el 72% de hogares en áreas rurales del país están construidas con adobe o tapia y son de uno o dos pisos. Sin embargo, carecen de un diseño estructural adecuado o buena calidad constructiva debido a la falta de comprensión de las

normativas y conceptos teóricos. Además, este tipo de edificaciones frente a desastres naturales presenta una vulnerabilidad alta en cuanto a la resistencia sísmica, que deja en riesgo las condiciones de vida de las personas que habitan estas construcciones de adobe en lugares en los que el riesgo sísmico es alto y las temporadas de lluvia son intensas.

De modo que, en el análisis de la “Aplicación de ceniza de madera y su efecto en la resistencia a la compresión en la elaboración de adobe mejorado”, el objetivo fue analizar las propiedades mecánicas de los bloques de tierra artesanales incorporando tres diferentes porcentajes de ceniza de madera., representando el 10%, 20% y 30% del volumen, con el fin de analizar las ventajas o desventajas [3]. La teoría planteaba fue que como mínimo una de las cantidades de brasas de madera influiría en la resistencia mecánica a la compresión del adobe en Kg/cm. La metodología es cuantitativa, experimental y explicativa. Con un total de 24 muestras compactadas con diferentes niveles de adición de brasas de madera según su volumen. Se obtuvo que la resistencia a la compresión de la tierra compactada artesanalmente aumentó de 2376.79 a 4814.01 kg con la adición de un 20% de ceniza de madera, lo que representa un incremento del 102.54% en contraste con el adobe que no contiene ceniza.

La inclusión de distintos niveles de ceniza de madera, junto con un 20% de pollinaza, elevó la resistencia a la compresión de 13.45 a 17.71 kg/cm², lo que equivale a un aumento del 73.6% en relación con el adobe sin ceniza de madera.

Al adicionar ceniza de madera resultó en una disminución en el peso, que varió de 1.02 a 1.29 kg al comparar el adobe sin pollinaza con el que tenía un 10% de pollinaza, mostrando una diferencia del 79.1% en la pérdida de peso.

La resistencia del adobe artesanal refleja fuerzas y esfuerzos que dependen de la proporción de ceniza de madera utilizada en su elaboración. Los datos más altos de resistencia con un nivel de pollinaza del 20%, sugiriendo que el adobe tiene mayor adhesión en sus componentes según los niveles de brasas de ceniza de madera y tierra compactada.

En conclusión, al añadir brasas de madera para fabricar de bloques de barro artesanal muestra un impacto significativo sus características mecánicas del material. Los efectos revelan que usar un 20% de ceniza de madera no solo beneficia notablemente la resistencia a la compresión, aumentando su capacidad de carga casi al doble, sino que también permite una combinación efectiva con otros aditivos como la pollinaza, lo que potencia aún más la resistencia. Asimismo, la reducción en la pérdida de peso sugiere que el uso de ceniza de madera contribuye a una mayor estabilidad y durabilidad del adobe, optimizando su rendimiento en aplicaciones constructivas. Estos hallazgos resaltan la importancia de explorar y aplicar materiales reciclados en la producción de adobe, promoviendo técnicas de construcción sostenibles y eficientes que pueden mejorar la calidad de los materiales tradicionales.

La investigación sobre incorporar ceniza de madera en la fabricación de adobe artesanal aporta en la tesis significativamente ya que ayuda a comprender cómo los residuos se pueden potenciar las propiedades mecánicas de este material de construcción tradicional, destaca el potencial de los residuos para optimizar la calidad del adobe, promoviendo prácticas de construcción sostenible y alternativas ecológicas que responden a la demanda de materiales más duraderos y responsables con el medio ambiente.

Por su parte, en el estudio “Resistencia a compresión y flexión del adobe compactado con reemplazo de cerámica triturada” en la que investigó el efecto del reemplazo parcial de tierra por cerámica triturada, resultado de desechos de baldosas de diferentes construcciones y demolición, en las propiedades mecánicas de adobes compactados. Se calcularon 56 adobes en total utilizando la máquina CINVA RAM, con variaciones en el porcentaje de cerámica triturada (5%, 10% y 15%) [4]. Los ensayos de compresión mostraron que todos los especímenes cumplen con la normativa E-0.80 para adobes comunes, con resistencias promedio de 45.35 kg/cm² para el adobe patrón y 39.86 kg/cm² para los ladrillos de tierra con 15% de cerámica triturada, siendo el adobe patrón el más resistente.

En cuanto al ensayo de flexión, las muestras con 5% de cerámica triturada mostraron la mayor resistencia promedio (30.86 kg/cm²), superando al adobe patrón (28.55 kg/cm²). Sin embargo, aquellos con 10% y 15% de reemplazo mostraron una disminución en la resistencia a flexión en comparación con la muestra patrón.

Los resultados del estudio de suelos indicaron una clasificación como arena arcillosa según SUCS. En resumen, el estudio demostró que al reemplazar parcialmente la tierra por cerámica triturada puede mejorar la resistencia a flexión de los ladrillos de tierra compactados, aunque la resistencia a compresión mostró una leve disminución con mayores porcentajes de reemplazo.

El adobe tradicional es un ladrillo o bloque macizo secado al aire sin cocer que es elaborado a partir de una mezcla de tierra de arcilla, arena y limo colocada en un molde que contiene paja o algún otro material como estabilizador ante agentes externos. [5]. Los aditivos son productos que se añaden a ciertos materiales de construcción en pequeñas proporciones durante el proceso de elaboración [6]. La cantidad depende de la masa o peso de la muestra estudiada y el objetivo que se desea lograr, ya sea modificar propiedades iniciales o su comportamiento frente a ciertas condiciones expuestas. Así mismo, los aditivos orgánicos son sustancias que provienen de elementos naturales que tienen diversas aplicaciones que pueden mejorar las propiedades de materiales de construcción en su composición variando características en beneficio de la aplicación de nuevas investigaciones siendo eficientes y respetuosos con el medio ambiente [7].

Por lo antes expuesto, como interrogante principal de esta investigación se ha formulado: ¿Cuál es la resistencia a la compresión, flexión e inmersión al agua de los bloques de adobe compactado con la incorporación de residuos de la quema de ladrillo artesanal 5%, 8% y 10% respecto a su peso de la arcilla? Además, como objetivo principal determinar la resistencia a la compresión, flexión e inmersión al agua en bloques de adobe compactado con la adición de 5%, 8 y 10% de residuos de la quema de ladrillo artesanal adicionadas respecto al peso de arcilla del adobe. A la vez, a partir de las muestras de adobe patrón y adobe con los diferentes porcentajes de residuos de la quema de ladrillo artesanal se busca analizar si las propiedades físico – mecánicas son adecuadas para la producción de estos. Además, determinar la diferencia del comportamiento de los bloques de adobe con la adición de residuos como resultado de la quema de ladrillo artesanal. Y realizar un diseño viable para la elaboración de bloques de adobe con porcentajes óptimos de residuos de la quema de ladrillo artesanal demostrando mediante pruebas de laboratorio si es acuerdo.

Por otro lado, con lo indicado anteriormente, la hipótesis principal de la investigación es que, si la adición de los residuos quemados del ladrillo artesanal en diferentes porcentajes hará que los bloques de adobe incrementen la resistencia a la compresión y flexión, además de la disminución en la inmersión al agua.

La justificación del proyecto se basa en la construcción sostenible y el reciclaje de materiales de construcción que son dos áreas críticas en la ingeniería civil moderna. El uso de adobe, un material tradicionalmente utilizado en la construcción presenta ventajas significativas en términos de sostenibilidad debido a su bajo impacto ambiental. Sin embargo, el adobe tiene limitaciones en cuanto a su resistencia a la compresión, flexión y su durabilidad cuando se expone al agua [5]. Es así como, la incorporación de materiales reciclados como los residuos de la quema del ladrillo artesanal ofrecen una

solución innovadora para mejorar estas propiedades mecánicas del adobe, contribuyendo al desarrollo de tecnologías de construcción más sostenibles y duraderas.

A nivel teórico, esta investigación ampliará el conocimiento existente sobre los materiales de construcción sostenibles, específicamente en el contexto de la incorporación de materiales de construcción recicladas en el adobe. A nivel práctico, se contribuirá a la reducción de residuos plásticos, promoviendo un ciclo de vida más sostenible para estos materiales. La incorporación de cenizas de residuos de ladrillo artesanal puede ofrecer una solución de construcción más económica y accesible, especialmente en comunidades rurales y de bajos ingresos donde el adobe es un material comúnmente utilizado. Además, los hallazgos de esta investigación podrán ser utilizados para desarrollar normativas y guías prácticas para la construcción sostenible.

II. METODOLOGÍA

A. Enfoque, diseño y tipo de investigación

En este estudio el tipo de investigación a utilizar es la experimental pues es aquella que mediante procesos experimentales en los que a la variable independiente se maneja como sea conveniente para la investigación y que tenga un mejor comportamiento [6].

Así mismo, el nivel de investigación es del tipo explicativo ya que, a partir de literatura bibliográfica, artículos científicos, y ensayos se elaboran investigaciones analíticas en las que las hipótesis planteadas se verifican en base a los documentos anteriormente mencionados [7].

De la misma manera, el enfoque planteado para esta investigación es cuantitativo, considerando que este tipo de estudio se orienta en recolectar y analizar los datos obtenido [8]. De los cuales, midiendo los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio permite probar si la hipótesis es verdadera respondiendo al problema de la investigación planteada.

Obteniendo así, un diseño de investigación aplicada, donde a partir de estudios teóricos y científicos aplicando estos conocimientos en la vida real para resolver el problema planteado teniendo en cuenta la población o muestra [9].

B. Población y muestra

La población prevista en la presente se estableció por todas las muestras fabricadas que se ensayarán. Por ello, se determinó una muestra total de 68 unidades en total de los que 17 son muestras patrón, es decir, adobe tradicional sin reforzar y 51 muestras adicionando cenizas de ladrillo artesanal en diferentes

porcentajes. De acuerdo, a como indica la norma E080 de cada muestra se elige mínimo 4 de las muestras fabricadas, adobe patrón y adobe reforzado. Además, estipula que cada muestra como mínimo debe ser elaborada de 30 x 15 x 10 cm en sus dimensiones.

Tabla 1

Cantidad de muestras de adobe compactado para ensayos de compresión, flexión y absorción.

TIPOS DE MUESTRAS	ENSAYOS			SUB TOTAL
	Resistencia a la compresión	Resistencia a la flexión	Inmersión al agua	
Bloque de adobe patrón	7	7	3	17
Bloque de adobe con 5% de CLA	7	7	3	17
Bloque de adobe con 8% CLA	7	7	3	17
Bloque de adobe con 10% de CLA	7	7	3	17
TOTAL				68

Nota: Cantidad de bloques de adobe para ensayos de las propiedades mecánicas de las muestras de adobe patrón y con ceniza de residuos de ladrillo artesanal.

C. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para determinar la resistencia a la compresión, flexión e inmersión al agua de los bloques de adobe con la adición de residuos de la quema de ladrillo artesanal los instrumentos y recolección de datos, se refiere a las herramientas y métodos utilizados para recopilar toda la información necesaria de las variables de estudio que aporten significativamente a la investigación [10]. A partir de datos de encuestas, entrevistas, análisis de documentos y desde la observación e interpretación de datos de estudios similares que permiten una evaluación comparativa. Para la presente investigación, se formuló realizar la recolección de datos de otros estudios cuantitativos realizados previamente que permitirán una comparación. Para así, completar las fichas que se utilizaron para la recolección de datos que fueron de los siguientes ensayos de laboratorio de los protocolos para mecánica de suelos y propiedades mecánicas:

Tabla 2

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

N°	PROTOCOLOS	NORMATIVA
01	Análisis Granulométrico mediante Tamizado por Lavado	ASTM D421
02	Clasificación del suelo	SUCS
03	Contenido de Humedad	NTP 339.127
04	Límites de Consistencia	NTP E339.130
05	Proctor Modificado	NTP 339.141
06	Ensayo a la compresión	NTP 339.167
07	Ensayo de flexión	NTP 339.078
08	Absorción	NTP 339.604

Nota: Se muestra las técnicas e instrumentos usados para la recolección y análisis de datos de los ensayos.

Luego de determinar las técnicas e instrumentos de recolección de datos. A continuación, se determinó que tipo de análisis de datos es el estadístico descriptivo en el que según los investigadores hacen uso de este método para analizar datos nominales y ordinales ofreciendo mejor ventaja en la presentación de la información con tablas y datos numéricos [11]. Asimismo, se ha empleado el análisis de varianza o ANOVA que es una técnica provechosa cuando se analizan dos grupos que necesitan ser comparados y varían en una o más características [12]. Como en este caso en el que se presenta una variable dependiente e independiente de dos grandes grupos como el adobe sin modificar y el que ha sido alteración con residuos de ceniza de ladrillo artesanal.

Siendo así, se estudió datos de diferentes después de visitar a canteras de la ciudad de Cajamarca, para la elaboración de las unidades de los bloques de adobe compactado el material empleado se extrajo de la cantera ubicada en la localidad de Cruz Blanca en las afueras de Cajamarca, la paja se recolecto de campos libres en Granja Porcón y el aditivo proveniente de una ladrillera en C.P. Cerrillo, dado que el área de estudio se utiliza para la construcción de sus viviendas de adobe. Asimismo, se determinaron las propiedades de los bloques de adobe con el aditivo elegido en esta investigación, residuos de la quema de ladrillo artesanal.

El procedimiento que se realizó en la elaboración de los bloques de adobe. Primero, se ubicó el lugar para la recolección de material (suelo y residuos de la quema de ladrillo artesanal). Segundo, en laboratorio de suelos y concreto en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte (UPN) – Cajamarca se clasificó el material y elaboró las muestras de adobe patrón y modificadas con el aditivo. Tercero, se realizaron los ensayos a compresión e inmersión al agua. Finalmente, en gabinete de los datos que se obtuvo y recopiló se verifica las propiedades.

III. RESULTADOS

Los principales resultados de esta investigación se obtuvieron de acuerdo con los ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Privada del Norte.

En las siguientes tablas, se muestra los resultados de los ensayos de las propiedades físicas estudiadas del suelo de la cantera la “Cruz Blanca”.

a) Contenido de humedad

Del ensayo de contenido de humedad realizado, el porcentaje promedio de humedad del suelo es de 2.62%.

Tabla 3

Ensayo de contenido de humedad del suelo.

Peso del suelo húmedo (gr)	162.8	165.3	168.4	168.0	164.1	170.6
Peso del suelo seco (gr)	158.6	161.2	163.3	164.0	160.2	166.4
Porcentaje de Humedad (%)	2.65	2.54	3.12	2.44	2.43	2.52
Promedio (%)	2.62					

Nota: La tabla muestra los resultados del promedio de los porcentajes de contenido de humedad del suelo.

b) Análisis Granulométrico por lavado

Los resultados del ensayo granulométrico por lavado se han determinado que, según los tamices en la malla N°4 pasa el 100% y en la malla 200% el 3.9% de pérdida del suelo lavado.

Tabla 4

Análisis granulométrico por lavado del suelo.

Tamiz	% que pasa
N°4	100.0
N°100	8.4
N°200	3.9
Pérdida	0.1

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos del ensayo de análisis granulométrico por lavado.

c) Límites de Atterberg

El ensayo de límites de Atterberg o Consistencia para determinar la elasticidad del suelo e identificar el índice de plasticidad.

Tabla 5
Límites de Atterberg.

Límites de Atterberg		
Límite Líquido	%	28.96
Límite Plástico	%	5.33
Índice de Plasticidad	%	23.63

Nota: La tabla muestra los resultados en porcentajes del límite líquido, plástico e índice de plasticidad.

d) Clasificación del suelo

De los ensayos anteriores, según la clasificación SUCS el suelo de la cantera “Cruz Blanca”, se ubicó como una arcilla arenosa (CL) de acuerdo con los parámetros establecidos por esta norma.

e) Peso específico

Se determinó el peso específico del suelo extraído.

Tabla 6
Límites de Atterberg.

Promedio del Peso Específico "Ys" gr/cm³ 2.55

Nota: La tabla muestra el resultado promedio del ensayo de peso específico.

f) Proctor Modificado

El ensayo de Proctor Modificado se ha obtenido la Densidad Máxima y la Humedad Óptima del suelo.

Tabla 7
Ensayo de Proctor modificado

PRÓCTOR MODIFICADO		
Adobe	Densidad seca máxima (gr/cm ³)	Contenido de Humedad Óptima (%)
Bloque de adobe patrón	1.91	10.28
Bloque de adobe con 5% cenizas de ladrillo artesanal	2.14	11.14
Bloque de adobe con 8% de cenizas de ladrillo artesanal	2.02	11.35
Bloque de adobe con 10% de cenizas de ladrillo artesanal	1.98	13.05

Nota: La tabla muestra los resultados de la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad determinado en el ensayo de próctor modificado.

Partiendo de los ensayos anteriores se ha determinado la dosificación de los adobes compactados patrón y reforzados con la adición de cenizas de ladrillo artesanal para los porcentajes de 5%, 8% y 10%. Como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8
Dosificación de adobes.

TIPO DE MUESTRA	AGUA	SUELO	ADICIÓN
	ml	kg	kg
Bloque de adobe patrón	1178.2	7.50	0.000
Bloque de adobe con 5% de cenizas de ladrillo artesanal	1228.2	7.50	0.375
Bloque de adobe con 8% cenizas de ladrillo artesanal	1258.2	7.50	0.600
Bloque de adobe con 10% de cenizas de ladrillo artesanal	1306.2	7.50	0.750

Nota: La tabla muestra las dosificaciones de agua, suelo y aditivo para cada porcentaje.

Tabla 9
Peso de suelo para la elaboración de muestras.

PESO DE SUELO	und	1 adobe respecto al peso seco	Total, de 17 adobes
Adobes patrón		7.5	127.5
Adobes con 5%	kg	7.5	127.5
Adobes con 8%		7.5	127.5
Adobes con 10%		7.5	127.5
PESO TOTAL DE LA TIERRA			510

Nota: La tabla muestra el peso total de suelo necesario para la elaboración de los adobes.

A partir del peso determinado de adobe en seco para cada tipo de adobe, se ha determinado el peso de aditivo, cenizas de ladrillo artesanal, en una unidad de adobe compactado y en los 51 adobes reforzados.

Tabla 10
Peso de aditivo para cada adobe.

PESO DE ADITIVO	und	1 adobe con adición	Total, de 17 adobes
Bloque de adobe patrón		0.000	0.000
Bloque de adobe con 5% de cenizas de ladrillo artesanal		0.375	5.625
Bloque de adobe con 8% de cenizas de ladrillo artesanal	kg	0.600	9.000
Bloque de adobe con 10% de cenizas de ladrillo artesanal		0.750	11.250
PESO TOTAL DE ADITIVO			25.875

Nota: La tabla muestra el peso total del aditivo necesario para la elaboración de los adobes

g) Resistencia a la compresión

Respecto al ensayo de resistencia a la compresión se presentan los datos de rotura de cada unidad de adobe en los siguientes cuadros. En la Tabla 00 se muestran los resultados obtenidos de todas las roturas a compresión en las unidades de adobe ensayadas.

Tabla 11

Resistencia a la compresión de todas las unidades de adobe estudiadas.

ID	Muestra Patrón		Ceniza 5%		Ceniza 8%		Ceniza 10%	
	(kgf)	(kg/cm ²)	(kgf)	(kg/cm ²)	(kgf)	(kg/cm ²)	(kgf)	(kg/cm ²)
1	12728	28.56	8352	19.56	8325	20.34	7328	18.76
2	11936	25.86	8700	18.26	7506	18.52	7563	19.24
3	12226	27.16	8643	20.42	7975	19.18	7081	18.15
4	12699	28.50	8368	19.40	8245	20.80	7158	18.81
5	12617	25.76	8958	20.62	7343	18.08	7528	19.09
6	11709	25.50	9708	22.47	7688	19.74	7235	18.78
7	11901	25.29	8775	20.52	7423	18.55	7065	18.52

Nota: La tabla muestra la resistencia a compresión de todos los adobes ensayados

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente, la resistencia a compresión de las unidades con 0% de adición de ceniza de residuos de ladrillo artesanal es de 27.4 kg/cm². La resistencia a compresión de las unidades con 5% de adición de ceniza de residuos de ladrillo artesanal es de 20.5 kg/cm². La resistencia a compresión de las unidades 8% de adición de ceniza de

residuos de ladrillo artesanal es de 18.1 kg/cm². La resistencia a compresión de las unidades con 10% de adición de ceniza de residuos de ladrillo artesanal es de 17.1 kg/cm².

Por otro lado, a continuación, en la figura 01 se presenta un el promedio de las resistencias a la compresión de las 4 mejores muestras ensayadas como indica el art.8 de la norma de Diseño y Construcción con Tierra reforzada.

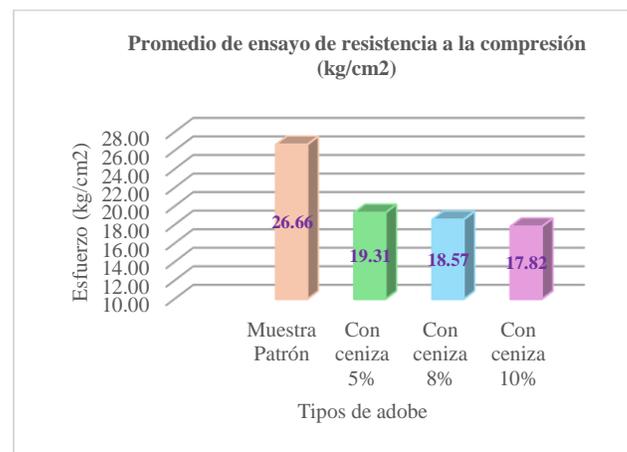


Figura 01 Promedio del ensayo de Resistencia a la compresión de las 4 mejores muestras ensayadas, del adobe patrón y de las que contienen aditivos.

h) Resistencia a flexión

En cuestión al ensayo de resistencia a la flexión se presentan los datos de rotura por flexión de cada unidad de adobe en los siguientes cuadros. En la Tabla 00 se muestran los resultados obtenidos de todas las roturas a compresión en las unidades de adobe ensayadas.

Tabla 12

Resistencia a la flexión de todas las unidades de adobe estudiadas.

N°	Muestra Patrón		Ceniza 5%		Ceniza 8%		Ceniza 10%	
	(kgf)	(kg/cm ²)	(kgf)	(kg/cm ²)	(kgf)	(kg/cm ²)	(kgf)	(kg/cm ²)
1	412	13.57	352	11.59	279	8.65	225	7.18
2	348	10.46	398	12.54	264	8.85	210	6.46
3	317	10.02	250	8.61	294	9.66	244	8.21
4	366	12.89	296	10.17	264	8.21	300	9.29
5	306	9.66	265	9.24	275	9.38	237	8.17
6	367	12.39	278	9.38	275	9.11	236	7.61
7	404	12.01	309	10.15	309	10.13	316	9.72

Nota: La tabla muestra la resistencia a flexión de todos los adobes ensayados

De acuerdo con los resultados obtenidos se observa lo siguiente, la resistencia a flexión de las unidades con 0% de adición de ceniza de residuos de ladrillo artesanal es de 11.6 kg/cm². La resistencia a compresión de las unidades con 5% de adición de ceniza de residuos de ladrillo artesanal es de 10.2 kg/cm². La resistencia a compresión de las unidades 8% de adición de ceniza de residuos de ladrillo artesanal es de 9.1 kg/cm². La resistencia a compresión de las unidades con 10% de adición de ceniza de residuos de ladrillo artesanal es de 8.1 kg/cm².

Por otro lado, a continuación, en la figura 02 se presenta un el promedio de las resistencias a flexión de las 4 mejores muestras ensayadas como indica el art.8 de la norma de Diseño y Construcción con Tierra reforzada.

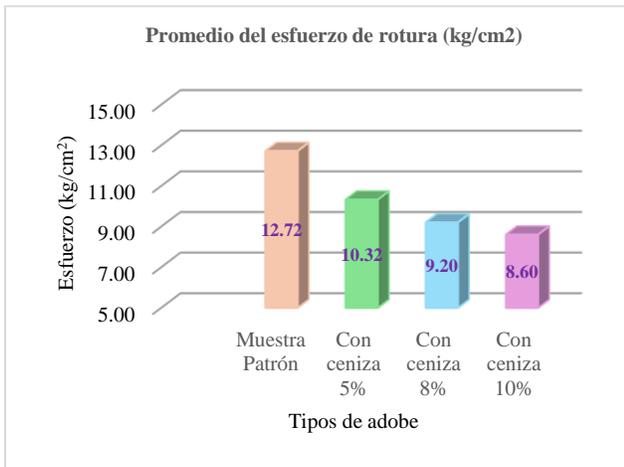


Figura 02 Promedio del esfuerzo de rotura de las 4 mejores muestras ensayadas, del adobe patrón y de las que contienen aditivos.

i) Inmersión al agua

Referente al ensayo de inmersión al agua, se puede observar que los resultados giran en torno al tiempo debido a que las muestras sumergidas al agua no duraron las 24 horas. Añadiendo 0% de ceniza de residuos de ladrillo artesanal 06 hora con 00 minutos, 5% de ceniza de residuos de ladrillo artesanal 05 hora con 20 minutos, con 8% de ceniza de residuos de ladrillo artesanal 04 hora con 55 minutos y añadiendo el 10 % de ceniza de residuos de ladrillo artesanal 04 hora con 22 minutos.

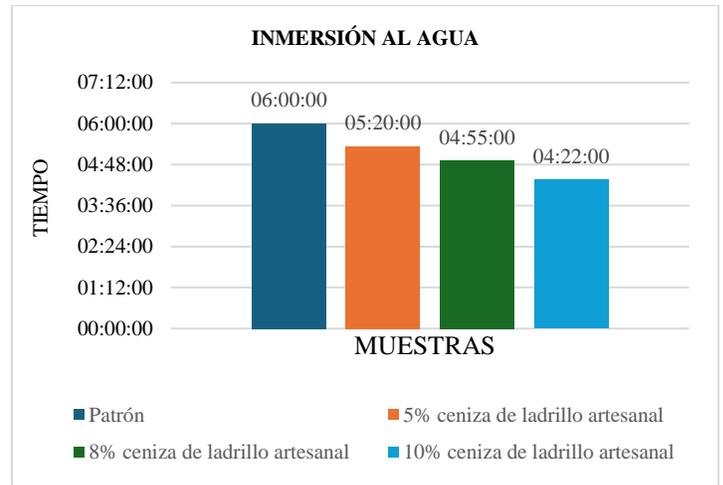


Figura 03 Resultados en tiempo de las muestras sumergidas en agua del adobe patrón y de las que contienen aditivos.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian que la incorporación de residuos de la quema de ladrillos artesanales en proporciones de 5%, 8% y 10% afecta negativamente las propiedades mecánicas del adobe, en especial en términos de resistencia a la compresión, flexión e inmersión en agua. Mientras que el adobe patrón (sin adición de ceniza) presentó una resistencia a la compresión de 26.66 kg/cm², las muestras con ceniza mostraron una disminución progresiva en la resistencia con el aumento de la proporción del aditivo: 19.31 kg/cm² (5%), 18.57 kg/cm² (8%) y 17.82 kg/cm² (10%). Si bien estos valores aún superan la resistencia mínima de 12 kg/cm² exigida por el reglamento nacional de edificaciones (E-080), el decremento en comparación con el adobe patrón es significativo.

La disminución observada en la resistencia de las muestras con ceniza de ladrillo artesanal es consistente con investigaciones previas que sugieren que ciertos residuos pueden reducir la cohesión interna del adobe y afectar su capacidad de carga. A diferencia de aditivos como fibras vegetales o el mucílago de aloe vera, que estudios previos han demostrado incrementar la resistencia a la compresión del adobe al reforzar su matriz interna, la ceniza de ladrillo parece actuar principalmente como un relleno inerte que introduce micro fisuras o puntos de debilidad en la estructura. Este comportamiento se alinea con los hallazgos de Aguilar y Torres (2023), quienes describen cómo la adición de partículas finas, al no mejorar la cohesión, puede resultar en un material menos resistente.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios que combinen la ceniza de residuos de ladrillo artesanal con estabilizadores naturales que mejoran la cohesión y resistencia del adobe, como el mucílago de aloe vera o extractos de nopal.
2. Ampliar la investigación para incluir pruebas de resistencia a tracción, durabilidad frente a condiciones climáticas y propiedades de aislamiento térmico y acústico, proporcionando una visión más integral del rendimiento del adobe con aditivos.
3. Estudiar el efecto de diferentes tamaños de partícula de la ceniza en la mezcla de adobe, para ver si el control de la granulometría podría mejorar la cohesión y reducir la fragilidad del material.
4. Investigar el efecto de concentraciones de ceniza inferiores al 5%, para determinar si existen niveles mínimos que no afecten significativamente la resistencia estructural.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Agradecer a Dios, por su inmensa gracia y por brindarme la perseverancia para culminar esta etapa. A mis padres y familia, quienes con su apoyo y amor inquebrantable han sido mi sustento y motor en cada desafío. Asimismo, a nuestro asesor quien se comprometió desde el principio y ha estado dispuesto para absolver dudas y compartir sus conocimientos además de experiencia que permitió la mejora de esta investigación. Y su orientación ha dejado una huella significativa en mi formación y en la culminación de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Gama-Castro *et al.*, “Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana” 2012. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222012000200003&lng=es&tlng=es.
- [2] Blondet, M., Villa, G., y Rubiños. “Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú”, 2011. <https://doi.org/10.3989/ic.10.017>.
- [3] Soplin, T., & Michael, G. “Aplicación de ceniza de madera y su efecto en la resistencia a la compresión en la elaboración de adobe mejorado. Iquitos, 2022”, Tesis para optar al grado de bachiller, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú, 2022. <https://hdl.handle.net/20.500.12737/9242>.
- [4] Ortiz, A., & Rafael, L. “Resistencia a compresión y flexión del adobe compactado con reemplazo de cerámica triturada”, Tesis para optar el grado de bachiller, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, 2018. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14068>.
- [5] Brito-del-Pino, J. F., Santamaría-Herrera, N. M., Macas-Peñaranda, C. A., & Tasán-Cruz, D. “Elaboración de adobe sostenible. diseño arte y arquitectura”, 2021. <https://doi.org/10.33324/daya.vi11.459>.
- [6] Serna M., E. (2020). “Investigación Formativa en Ingeniería”, 2020. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4031253>.
- [7] Riza, F. V., Rahman, I. A., Ahmad Mujahid, A. Z., & Loo, L. Y. “Effect of soil type in compressed Earth Brick (CEB) with uncontrolled burnt rice husk ash (RHA)”, 2012. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.626.971>
- [8] Miyoshi, Y., Tsukimura, K., Morimoto, K., Suzuki, M., & Takagi, T. “Comparison of methylene blue adsorption on bentonite measured using the spot and colorimetric methods”, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.10.023>
- [9] Hamid, Y., Tang, L., Hussain, B., Usman, M., Lin, Q., Rashid, M. S., He, Z., & Yang, X. “Organic soil additives for the remediation of cadmium contaminated soils and their impact on the soil-plant system: A review. The Science of the Total Environment”, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136121>.
- [10] Nieto, D. “Significado psicológico del concepto investigación en investigadores”, 2012. <https://doi.org/10.15332/s1794-9998.2016.0001.08>.
- [11] Ishfaq, M. “Research Design: Qualitative, quantitative and Mixed Methods Approaches” 2019. <https://doi.org/10.5539/elt.v12n5p40>
- [12] Rojas-Barahona, C. A., Zegers P, B. y Förster M, C. E. “La escala de autoestima de Rosenberg: Validación para Chile en una muestra de jóvenes adultos, adultos y adultos mayores” 2009. <https://doi.org/10.4067/s0034-98872009000600009>.
- [13] Alcántara Rodríguez, A. W. “Strategy for the retention of human talent and job satisfaction, dispatch area in a poultry company in Trujillo: 2020”, 2022. <https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2022.02.08>.
- [14] Maurandi López, A., & González-Vidal, A. “Análisis de datos y métodos estadísticos con R”, 2022. <https://doi.org/10.6018/editum.2967>.
- [15] Dagnino, J. “Tipos de estudios”, 2014, Revista Chilena de Anestesia. <https://doi.org/10.25237/revchilanestv43n02.05>.