

## Caracterización de la resistencia a compresión del adobe tradicional con adición de zeolita

Feijoo Calle Ernesto Patricio  
<https://orcid.org/0000-0001-6901-7933>  
pfeijoo@uazuay.edu.ec  
Universidad del Azuay  
Cuenca-Ecuador

Feijoo Guevara Bernardo Andrés  
<https://orcid.org/0000-0002-1089-1332>  
bernardofejoo@uazuay.edu.ec  
Universidad del Azuay  
Cuenca-Ecuador

Núñez Rodas Leonardo Aníbal  
<https://orcid.org/0000-0003-4730-6114>  
lnunez@uazuay.edu.ec  
Universidad del Azuay  
Cuenca-Ecuador

Recibido (20/08/2023), Aceptado (23/11/2023)

**Resumen:** Este trabajo tuvo como objetivo principal, valorar la resistencia a compresión del adobe tradicional y además del adobe con adición de zeolita, como complemento de la arcilla, para de esta forma prolongar la vida útil de los yacimientos sedimentarios arcillosos presentes en la zona y así potencializar nuevos depósitos de zeolita. Se inició el trabajo con la elaboración de probetas con dimensiones específicas, para el adobe tradicional y también para adobe con porcentajes complementarios de zeolita, en el orden del 25 % y 50 %. Para valorar la resistencia a la compresión de estos elementos, se confeccionaron 12 probetas de cada uno de los grupos, probetas con dimensiones aproximadas de 5x5x10 cm., y se sometieron al ensayo respectivo, con el equipo adecuado. Los resultados presentan valores que se deben tomar en consideración y se concluye con recomendaciones que pueden coadyuvar para el mejoramiento de ciertos aspectos de los elementos estudiados.

**Palabras clave:** adobe, arcilla, compresión, zeolita.

Characterization of traditional adobe with addition of zeolite regarding compressive strength

**Abstract.** - This work aimed to assess the compressive strength of traditional adobe and adobe by adding zeolite as a complement to clay to prolong the useful life of the clayey sedimentary deposits in the area and thus potentiate new zeolite deposits. The work began with elaborating test tubes with specific dimensions for traditional adobe and adobe with complementary percentages of zeolite in 25% and 50%. To assess the compressive strength of these elements, 12 test tubes from each of the groups were made, test tubes with approximate dimensions of 5x5x10 cm, and they were subjected to the respective test with the appropriate equipment. The results present values that must be considered and concluded with recommendations to help improve certain aspects of the studied elements.

**Keywords:** Adobe, clay, compression, zeolite.

## I. INTRODUCCIÓN

La tierra es sin dudas el material de construcción más antiguo de los empleados por el hombre en su evolución histórica. Paradójicamente, ha llegado hasta el presente constituyendo prácticamente la única alternativa para que una parte significativa de la humanidad pueda disponer de una vivienda en condiciones mínimas de habitabilidad [1]. El adobe es un material muy usado en las construcciones más antiguas, ya que hoy en día por lo general es común ver el uso de ladrillos y concreto, sin embargo, aún hoy vemos este tipo de construcciones en adobe que comúnmente se mezclan con otros tipos de materiales y mampostería. Es común que en los sistemas constructivos de las construcciones en tierra se presentan mezclas de diferentes tipos de mampostería: mampuestos en sillares de piedra y/o tapiales, y/o muros en adobe [2]. El adobe es un tipo de mampostería artesanal muy simple, compuesto por tierra, paja y agua. Para su elaboración, primero se elige una zona cercana al lugar de construcción, de donde se extraerá la tierra, luego se combina con paja y agua hasta lograr una mezcla uniforme y maleable. Por último, la mezcla es colocada en moldes de madera para crear las piezas de adobe y posteriormente se dejan secar al aire libre de 30 días a 60 días [3].

A lo largo de la historia la transformación de los suelos naturales en materiales constructivos ha tenido diferentes procedimientos, derivados de los recursos naturales locales, de las condicionantes medioambientales y de procesos de ensayo y error ancestrales. La mayor parte de las comunidades que emplearon la tierra para edificar se dio cuenta de que era posible mejorar sus condiciones originales a partir de la interacción de dos factores: la humedad y la densidad [4].

La mampostería como sistema constructivo presenta según su disposición y trabado distintas propiedades mecánicas en función de la dirección de las cargas soportadas, es decir, su comportamiento no es estrictamente isótropo ni homogéneo debido a que las juntas de unión establecen planos débiles de rigidez. Sin embargo, en el presente artículo, la mampostería de adobe es tratada como un medio continuo y homogéneo para la obtención de sus propiedades desde un punto de vista macro mecánico [5].

El adobe generalmente debe tener mayor porcentaje de arena que arcilla. Estos, en su comienzo, eran confeccionados a mano, y luego se utilizaban moldes para lograr una mayor producción. La tierra debe permanecer húmeda durante dos días, para fermentarla y lograr que los aglomerantes actúen. Para elaborar el adobe, el barro se arroja dentro del molde humedecido, luego se comprime con la mano o los pies, repartiendo uniformemente el material; posteriormente se engrasa la superficie, y se desmolda cuidadosamente para que las aristas permanezcan en buen estado [6]. Las arcillas de baja calidad se encuentran disponibles en casi cualquier parte; como resultado de esto, por ejemplo, la manufactura de ladrillos de construcción y de baldosas que no requieran propiedades especiales son de fabricación local, para las cuales la beneficiación intensa de la materia prima no es una prioridad [7].

Las pruebas experimentales de los procedimientos de construcción de las piezas de adobe, probetas, especificaciones de ensayo, análisis de resultados y caracterización de las principales propiedades mecánicas del adobe como son módulo de elasticidad, resistencia a la compresión, cortante y flexión; fueron realizadas debido a la necesidad primordial de una norma, pues actualmente no existe, para realizar los ensayos en este tipo de material [3]. A más de lo expuesto, también es muy importante conocer la resistencia a fuerzas que posee el adobe, en este caso se los caracterizó mediante pruebas a la compresión, es decir se determinó la resistencia a la compresión simple (RCS) de probetas. La RCS se define como su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas adquiriendo deformaciones sin llegar a romperse.

Se dice que cuando una fuerza actúa sobre un cuerpo, se presentan fuerzas resistentes en las fibras del cuerpo que se denominan fuerzas internas. Fuerza interna es la resistencia interior de un cuerpo a una fuerza externa. Así que cuando se usa el término esfuerzo, se refiere a la magnitud de la fuerza por unidad de área. De tal forma, que la resistencia de un material es la propiedad que tiene para resistir la acción de las fuerzas. El esfuerzo de compresión es una presión que tiende a causar una reducción de volumen [8]. La máquina de ensayos tiene como función comprobar la resistencia de diversos tipos de materiales, para esto posee un sistema que aplica cargas controladas sobre una probeta (modelo de dimensiones preestablecidas) y mide en forma gráfica la deformación, y la carga al momento de su ruptura [9]. Cabe indicar que las muestras de los diferentes materiales y sus propiedades pueden variar según el grado de cementación o variaciones en la composición mineralógica [10].

En teoría, para mejorar la resistencia a la compresión del adobe y debido a la presencia de importantes depósitos en la región, se propone la adición de zeolita en la elaboración del adobe tradicional. Esta adición sustituye en cantidades considerables a la arcilla, lo cual aumenta la vida útil de los yacimientos de arcilla actuales. Según Costafreda [11], las mezclas a base de zeolitas fueron las más eficientes, ya que aumentaron la resistencia a compresión como sustitución del cemento, pero en este estudio se utilizará este mineral como sustituto de arcilla.

Este trabajo propone, a partir de la base teórica utilizada para tal fin, la metodología para la obtención de los objetivos propuestos, describiendo un procedimiento claro y estadístico, que puede ser utilizado en otros casos, generando una estrategia para obtener los instrumentos de evaluación adecuados; Cabe recalcar que en este trabajo los resultados obtenidos han generado una expectativa muy importante sobre su aplicación.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para desarrollar esta propuesta, se elaboraron un total de 36 muestras (probetas) de adobe, todas con las mismas dimensiones aproximadamente, para lo cual se utilizó un molde de forma de paralelepípedo de 5 cm x 5 cm x 10 cm y de esta forma tratar de que las probetas tengan un tamaño homogéneo. Estas dimensiones de probetas son las que se utilizan generalmente para los ensayos de resistencia a compresión. Ahora las 36 probetas se dividieron en 3 grupos. Las primeras 12 son exclusivamente probetas de adobe tradicional, las segundas 12 son probetas con una adición de 25 % de zeolita en lugar de arcilla y las últimas 12 con adición del 50 % de zeolita en lugar de arcilla. La cantidad de probetas de cada grupo supera las 4 recomendadas en la teoría.

El tipo de zeolita utilizada fue la clinoptilolita perteneciente al grupo de la heulandita, cuyas características físicas son: Granulometría 40%, máximo retenido en malla 100, color marrón – verdoso, pH 9.8 y humedad 7 % máx.

El procedimiento para la elaboración de las probetas fue diluir la cantidad de zeolita en sus diferentes porcentajes con agua hasta que se convierta en un fluido manejable y con ello poder mezclarlo con arcilla, logrando así una mezcla homogénea, a través de una mezcladora tipo celda Denver. Al adicionar la zeolita en las diferentes muestras se ingresa en los moldes preestablecidos se desmolda y se los deja secar 4 semanas, específicamente 28 días al aire libre, como se procede con el adobe tradicional.

Algunas probetas se las puede observar en la figura 1.



Fig. 1: Probetas de adobe.

Luego de obtener las diferentes probetas, las mismas fueron sometidas al ensayo de carga, mediante una prensa marca Humboldt, el cual proporciona las garantías para la obtención de la resistencia a la compresión de los elementos sometidos. Este equipo se lo puede observar en la figura 2.



Fig. 2: Prensa Humboldt para ensayos de compresión.

The boundary layer displacement thickness  $\delta^*$ , which quantification is not considered in this work, is given by:

$$\delta^*(x) = 1.72x\sqrt{Re_x} \quad (1)$$

The boundary conditions can be applied for flow over a flat plate, considering the soil surface layer of 5cm to 10cm above and establishing standardized soil porosity values.

### III. RESULTADOS

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión se presentan a continuación, en las tablas 1, 2 y 3. Los resultados se muestran en mega pascales.

En la tabla 1 se presentan los resultados de la resistencia a la compresión del adobe tradicional, cuyos valores varían entre 1.15 MPa y 1.61 MPa, con un promedio de 1.41 MPa, una mediana de 1.47 MPa y desviación estándar de 0.17.

Tabla 1: Resultados de resistencia a compresión del adobe tradicional.

| Probetas A | RCS (MPa) |
|------------|-----------|
| 1          | 1.15      |
| 2          | 1.49      |
| 3          | 1.46      |
| 4          | 1.15      |
| 5          | 1.17      |
| 6          | 1.55      |
| 7          | 1.59      |
| 8          | 1.61      |
| 9          | 1.45      |
| 10         | 1.29      |
| 11         | 1.50      |
| 12         | 1.51      |

Los resultados para el adobe tradicional se los puede observar en la figura 3.

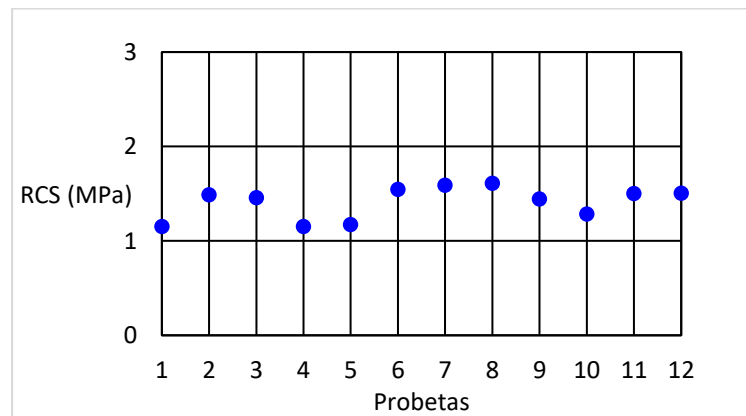


Fig. 3: Resultados de resistencia a compresión del adobe tradicional.

Para el segundo grupo de probetas, las que contuvieron un 25 % de zeolita, los resultados varían desde 1.18 MPa hasta 1.72 MPa, con un promedio de 1.41 MPa, mediana de 1.36 MPa y desviación estándar de 0.19, los resultados se los puede observar en la tabla 2.

Tabla 2: Resultados de resistencia a compresión del adobe con 25 % de zeolita.

| Probetas B | RCS (MPa) |
|------------|-----------|
| 1          | 1.31      |
| 2          | 1.43      |
| 3          | 1.30      |
| 4          | 1.42      |
| 5          | 1.20      |
| 6          | 1.60      |
| 7          | 1.72      |
| 8          | 1.70      |
| 9          | 1.18      |
| 10         | 1.26      |
| 11         | 1.27      |
| 12         | 1.58      |

Los resultados los puede observar en la figura 4.

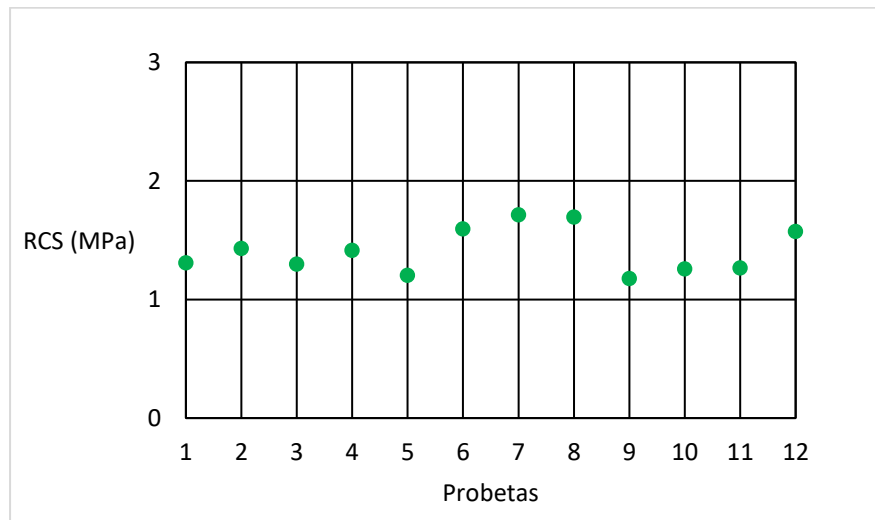


Fig. 4: Resultados de resistencia a compresión del adobe con adición de zeolita al 25 %.

Finalmente se ejecutaron los ensayos para las probetas de adobe con adición de zeolita al 50% y los resultados para la resistencia a compresión varían desde los 0.77 MPa hasta 1.16 MPa, promedio de 0.97 MPa, mediana de 0.97 MPa y desviación estándar de 0.12, los resultados se presentan en la tabla 3.

Tabla 3: Resultados de resistencia a compresión del adobe con 50 % de zeolita.

| Probetas C | RCS (MPa) |
|------------|-----------|
| 1          | 0.97      |
| 2          | 0.95      |
| 3          | 0.88      |
| 4          | 1.07      |
| 5          | 0.77      |
| 6          | 0.80      |
| 7          | 1.13      |
| 8          | 0.97      |
| 9          | 0.96      |
| 10         | 0.97      |
| 11         | 1.07      |
| 12         | 1.16      |

Los resultados se los puede observar en la figura 5.

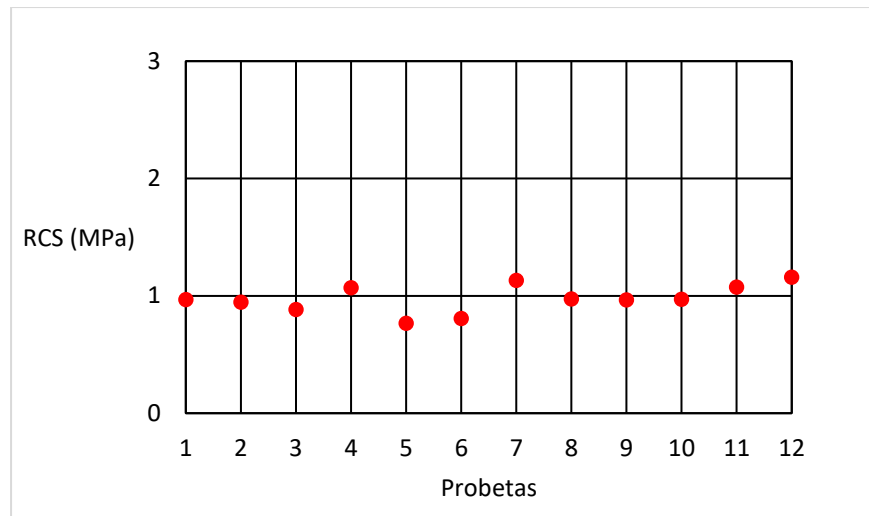


Fig. 5: Resultados de resistencia a compresión del adobe con adición de zeolita al 50 %.

4. Una compilación de los resultados, media, mediana y desviación estándar se muestran en la tabla

Tabla 4: Análisis de los valores de los grupos de probetas.

|                           | Media (MPa) | Mediana (MPa) | Desviación Estándar |
|---------------------------|-------------|---------------|---------------------|
| Adobe tradicional         | 1.41        | 1.47          | 0.17                |
| Adobe con 25 % de zeolita | 1.41        | 1.36          | 0.19                |
| Adobe con 50 % de zeolita | 0.97        | 0.97          | 0.12                |

## CONCLUSIONES

- La añadidura de zeolita, para complementar el uso de arcilla, nos permite determinar que los elementos evaluados, en el caso de adición de 25%, mantiene la resistencia a la compresión de las probetas elaboradas, cuyo valor está en el orden de 1.4 MPa.
- Cabe indicar que los datos del adobe con adición del 50 % de zeolita, presentan una menor dispersión, pero tienen disminución en la resistencia a la compresión. La desviación estándar del adobe con adición del 25 % de zeolita es mayor, pero no existe variación en la resistencia a la compresión comparada con el adobe tradicional.
- Los adobes elaborados con adición de zeolita pueden ser usados como elementos ornamentales, debido a que su resistencia a la compresión no es muy alta, pero si mantendrían durabilidad en el tiempo y al mismo tiempo permiten una excelente maniobrabilidad. Además, la viabilidad económica del uso de zeolita es bastante aceptable debido a su bajo costo.
- Este trabajo presenta una metodología de trabajo simple y sencilla, para la caracterización de los elementos estudiados, por lo que su puesta a punto debe profundizarse con un mayor número de probetas y de esta forma el proceso sea avalado.

## REFERENCIAS

- [1] J. Toirac Corral, "El suelo-cemento como material de construcción", Revista Ciencia y Sociedad, vol. XXXIII, núm. 4, pp. 520-571, 2008.
- [2] M. Díaz-Torres, H. Parada-Carrillo, y M. Alvarado-Arias, "Usos del adobe en diferentes países de América Latina", Revista Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo, vol. 10, núm. 2, pp. 73-81, 2019. <https://doi.org/10.25213/2216-1872.22>.

- [3] P. Catalán Quiroz, J. Y. Moreno-Martínez, A. Galván, y R. Arroyo Matus, "Obtención de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe mediante ensayos de laboratorio", *Acta Universitaria*, vol. 29, pp. 1–13, 2019. <https://doi.org/10.15174/au.2019.1861>.
- [4] L. F. Guerrero Baca, "El uso de tierra modelada en la intervención de componentes constructivos de adobe", *Intervención*, vol. 2, núm. 22, pp. 131–187, 2020. <https://doi.org/10.30763/intervencion.236.v2n22.15.2020>.
- [5] J. D. Rodríguez-Mariscal y M. Solís, "Hacia una metodología para la caracterización experimental del comportamiento a compresión de la mampostería de adobe", *infconstr*, vol. 72, núm. 557, pp. e332, 2020. <https://doi.org/10.3989/ic.67456>.
- [6] A. Doria, J. Orozco. "Evaluación de propiedades físico-químicas y mecánicas del adobe elaborado con cal para su uso en la construcción sostenible". *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 1, núm. 35, pp. 89 – 94, 2020.
- [7] R. Uribe. "Investigaciones de materias primas minerales no metálicas en el Ecuador". *Revista Politécnica*, vol. 36, núm. 3, pp. 34 – 44, 2015.
- [8] J. Nureña. "Influencia del estabilizante de cemento y tipos de suelos sobre la resistencia y durabilidad de un adobe constructivo". Trujillo. Universidad Privada del Norte. Perú. 2017.
- [9] P. Feijoo, A. Flores, B. Feijoo, "The Concept of the Granulometric Area and Its Relation with the Resistance to the Simple Compression of Rocks", presentado en la 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), Panamá, Panamá, 2019, pp. 52-56, doi: 10.1109/IESTEC46403.2019.00018.
- [10] P. Feijoo, J. Padrón. "La Resistividad de Rocas y su Relación con la Resistencia a Compresión Simple en Mina". *UCT*, vol. 24, núm. 99, pp. 61-67. 2020.
- [11] Costafreda Mustelier, J. L., Sánchez, M., Costafreda Velázquez, J. L. "Las zeolitas naturales de Iberoamérica". Fundación Gómez Pardo, Madrid. 2018. ISBN 978-84-09-00125-5.

## LOS AUTORES



**Patricio Feijoo Calle**, Ingeniero en Minas, graduado en la Universidad del Azuay (Cuenca-Ecuador), con estudios y pasantías en: Bolivia, Brasil, España, Australia en áreas de la geología, geofísica y desarrollo de actividades de explotación de minas. Se encuentra vinculado a la docencia en la Universidad del Azuay.



**Bernardo Feijoo Guevara**, Ingeniero Civil, por la Universidad del Azuay (Cuenca-Ecuador), con estudios y pasantías en: Colombia, Perú, Cuba y Panamá, en áreas de caracterización de materiales y procesos de elaboración de cementos y hormigones. Está vinculado a la docencia e investigación en la Universidad del Azuay.



**Leonardo Núñez Rodas**, Ingeniero en Minas, graduado en la Universidad Central del Ecuador (Quito - Ecuador), con estudios y pasantías en: Ecuador, Chile, Bolivia, Brasil y Colombia en las áreas de la investigación geológica, explotación minera, procesos metalúrgicos y gestión ambiental. Se encuentra vinculado a la docencia en la Universidad del Azuay, mantiene actualmente el cargo de Profesor Titular e Investigador.