



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS**

**“Valoración de la resistencia a la compresión del adobe con  
adición de zeolita”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN MINAS**

**Autor:**

**JUAN DIEGO MUÑOZ LÓPEZ**

**Director:**

**ING. ERNESTO PATRICIO FEIJOO CALLE**

**CUENCA – ECUADOR**

**2023**

## **DEDICATORIA**

Le dedico el resultado de este proyecto y una meta cumplida, primero, a Dios, quien, me ha dado la fuerza para poder alcanzar esta meta que es un peldaño importante en mi vida. Todo esto con una enorme dosis de amor sin pedir nada cambio.

También va dedicada para mi familia; abuelitos, tíos, tías, y personas cercanas a quienes quiero como mi familia, que siempre han estado pendientes, de mi crecimiento y de mi formación académica y personal.

En especial esta tesis va dedicada para mis padres, quienes, con su esfuerzo, su ayuda, su amor, han sido un apoyo en cada paso que he dado.

Finalmente dedico este proyecto a mis profesores, quienes se convirtieron no solo en mis tutores académicos sino en mis amigos, cuyo apoyo en cada ciclo fue fundamental.

**Juan Diego Muñoz López**

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios por tantas bendiciones recibidas en este camino de aprendizaje para llegar a cumplir esta difícil pero maravillosa etapa en mi proyecto de vida. Darle las herramientas para poder ingresar al mercado laboral con toda la preparación que mi alma mater me ha entregado.

Nunca pensé que me resultaría tan difícil expresar toda la gratitud que tengo a mis padres, quienes estuvieron conmigo en todo momento, me apoyaron con sus palabras de aliento y mejores deseos, gracias por todo el amor que siempre me han brindado gracias por sus consejos, y palabras sabias que siempre me guiaran en la vida, gracias por la fe que siempre tienen en mí.

Espero haber dejado un grato recuerdo en cada una de las personas que me conocieron y tengan siempre presente que a cada uno de ellos los llevo en mi corazón.

Josué 1 :9

*“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas”.*

**Juan Diego Muñoz López**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>i</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>3</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
1.1    Mecánica de rocas .....	3
1.1.1    Esfuerzos y resistencia en el suelo .....	4
1.1.2    Clasificación ingenieril de macizos rocosos .....	4
1.1.3    Propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso .....	6
1.2    Resistencia uniaxial de materiales.....	6
1.2.1    Tipos de resistencia.....	8
1.3    Adobe .....	9
1.3.1    Composición del adobe .....	10
1.3.2    Resistencia a la compresión simple del adobe .....	10
1.3.3    Tipos de adobe .....	11
1.3.4    Propiedades físicas .....	12
1.3.5    Propiedades mecánicas.....	13
1.4    Materiales .....	14
1.4.1    Adobe .....	14
1.4.2    Zeolita .....	15
1.4.3    Arcilla.....	16
1.5    Prensas hidráulicas .....	17
1.6    Prensa mecánica .....	18
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>20</b>
<b>2. EXPERIMENTACIÓN .....</b>	<b>20</b>
2.1    Número de muestras y preparación .....	20

2.2 Resistencia a la compresión de los adobes .....	26
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>30</b>
<b>3. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
3.1 Interpretación de resultados.....	30
<b>3.2 Propuesta de modelo para obtener el material más resistente con los resultados obtenidos y determinar frente a que presión se puede usar el adobe</b>	<b>38</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>41</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>42</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Dimensionamiento del adobe.....	9
<b>Figura 1.2</b> Zeolita .....	15
<b>Figura 1.3</b> Prensa hidráulica.....	17
<b>Figura 1.4</b> Prensa mecánica.....	18
<b>Figura 2.1</b> Mezcla de arcilla para la fabricación de adobe 2kg.....	21
<b>Figura 2.2</b> Mezcla para la fabricación de adobes 2kg de muestra con adición de 50% de zeolita.....	21
<b>Figura 2.3</b> Mezcla para la fabricación de adobes 1kg de muestra con adición de 25% de zeolita.....	22
<b>Figura 2.4</b> Fabricación de adobes con los moldes estandarizados .....	22
<b>Figura 2.5</b> Fabricación de adobes.....	23
<b>Figura 2.6</b> Fabricación de adobe de acuerdo al porcentaje de zeolita .....	23
<b>Figura 2.7</b> Proceso de secado de muestras de adobe .....	24
<b>Figura 2.8</b> Muestras #1 de adobe.....	24
<b>Figura 2.9</b> Muestras #2 de adobe con adición del 25% de zeolita .....	25
<b>Figura 2.10</b> Muestras #3 de adobe con adición del 50% de zeolita. ....	25
<b>Figura 2.11</b> Experimento de resistencia a la compresión simple de M2 .....	26
<b>Figura 2.12</b> Fractura por experimentación de la resistencia a la compresión simple de M2 .....	27
<b>Figura 2.13</b> Experimento de resistencia a la compresión simple de M3 .....	27
<b>Figura 2.14</b> Fractura por experimentación de la resistencia a la compresión simple de M3 .....	28
<b>Figura 2.15</b> Prensa con la que se realizó la experimentación, con el resultado que se obtuvo en una de las mediciones. ....	29

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.1</b> Resistencia a compresión simple para clasificación de roca .....	5
<b>Tabla 1.2</b> Clasificación ingenieril de las rocas. ....	7
<b>Tabla 1.3</b> Resistencia del adobe.....	11
<b>Tabla 1.4</b> Especificaciones Humboldt CM-2500.....	19
<b>Tabla 3.1</b> Resultados de la resistencia a la compresión simple del adobe en composición normal (M1).....	30
<b>Tabla 3.2</b> Resultados de la resistencia a la compresión simple del adobe con adición del 25% de zeolita .....	32
<b>Tabla 3.3</b> Resultados de la resistencia a la compresión simple del adobe con adición del 50% de zeolita. ....	34

**“VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL ADOBE  
CON ADICIÓN DE ZEOLITA”**

**RESUMEN**

El trabajo tuvo como objetivo evaluar la resistencia a la compresión simple del adobe tradicional y la evaluación de la compresión uniaxial del adobe con la adición de diferentes porcentajes de zeolita. Para determinar esta propiedad mecánica se elaboraron muestras de adobe con una composición del 100% de arcilla, otras muestras con el 75% de arcilla y del 25% de zeolita. Se elaboraron un total de doce probetas para cada una de las composiciones, teniendo un total de 36 muestras con las mismas dimensiones. Para valorar la propiedad de la resistencia a la compresión, se utilizaron equipos pertenecientes a los laboratorios de la Universidad del Azuay. Finalmente, luego de evaluar los resultados, se determinó que sí existe una composición del adobe con zeolita que puede mejorar la resistencia, la cual corresponde a una adición del 25% de zeolita.

**Palabras clave:** Adobe, arcilla, zeolita, compresión simple.



Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle

**Director del Trabajo de Titulación**



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

**Coordinador de Escuela**



Juan Diego Muñoz López

**Autor**

**ASSESSMENT OF THE COMPRESSION RESISTANCE OF ADOBE WITH  
ADDITION OF ZEOLITE**

**ABSTRACT**

This degree work aimed to evaluate the resistance to simple compression of traditional adobe and the evaluation of uniaxial compression of adobe with the addition of different percentages of zeolite. To determine this mechanical property, adobe samples were produced with a composition of 100% clay, other samples with 75% clay and 25% zeolite. A total of twelve specimens were produced for each of the compositions, with a total of 36 samples with the same dimensions. To assess the property of the compression resistance, equipment belonging to the laboratories of the University of Azuay was used. Finally, after evaluating the results, it was determined that there is an adobe composition with zeolite that can improve resistance, which corresponds to an addition of 25% zeolite.

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



---

Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle  
**Director of the Degree Project**



---

Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas  
**Coordinator of the School**



---

Juan Diego Muñoz López

**Author**

Muñoz López Juan Diego

Trabajo de titulación

Ing. Patricio Feijoo Calle.

Marzo, 2023.

## **“VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL ADOBE CON ADICIÓN DE ZEOLITA”**

### **INTRODUCCION**

En el Ecuador se ha descontinuado el uso del adobe como material base de construcción. En este caso se comparó la resistencia de este material, en conjunto con la zeolita para determinar la factibilidad de su uso y, por ende, verificar si es viable o no, el uso del mismo. Ya que la zeolita es un mineral de fácil adquisición y podría ser un sustituto de un material de construcción.

La compresión simple o uniaxial, es un método que ayuda a determinar las propiedades físicas de las rocas que sirve para estimar la resistencia a la compresión de los materiales. Para ello se utilizan diferentes métodos o ensayos de laboratorio.

En la Universidad del Azuay, no ha existido un proyecto en la Escuela de Ingeniería en Minas que evalúe a profundidad las características mecánicas, principalmente la resistencia del adobe en conjunto con la zeolita. Por lo tanto, este proyecto permitió conocer las características y condiciones a tomar en cuenta al momento de utilizar el adobe como material de construcción.

Históricamente fue generalizada la utilización del adobe en el campo de la construcción, debido a que es un producto de fácil acceso ya que los materiales para su manufactura son de libre obtención. La zeolita es un aluminosilicato poroso presente de manera exuberante en la naturaleza, es por eso que se propuso su

utilización en la fabricación del adobe con diferentes porcentajes de la misma. Una vez realizadas las pruebas de laboratorio, se logró determinar la fuerza que puede soportar cada uno de los adobes con las diferentes concentraciones, antes de que se produzca su fractura, para finalmente obtener el mejor resultado entre los ensayos realizados.

## CAPÍTULO 1

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Mecánica de rocas

Una definición ampliamente aceptada de la mecánica de rocas es la presentada por el Comité Nacional de Mecánica de Rocas en 1964, y complementada en 1974 (Brady & Brown, 2006), “La mecánica de rocas es la ciencia teórica y aplicada del comportamiento mecánico de la roca y macizos rocosos. Esta es la rama de la mecánica concerniente con la respuesta de la roca y macizos rocosos, a los campos de fuerza de su entorno físico”.

La mecánica de rocas hace parte del campo de la geotecnia, la cual se define como “La aplicación de la ciencia de la mecánica de suelos y rocas, ingeniería geológica y otras disciplinas relacionadas, en la construcción civil, la industria minera y la conservación del medioambiente.”

Las características mecánicas de la roca son ampliamente requeridas para el diseño y/o análisis de estructuras civiles, principalmente la resistencia última a compresión uniaxial, cohesión de la roca y ángulo de fricción interna. Estos parámetros se estiman de forma directa, por medio de ensayos triaxiales o indirectamente a través de correlaciones. (Restrepo, 2013)

Para la presente investigación fue de especial interés calcular la resistencia del material rocoso, parámetro que se puede determinar de forma directa por el ensayo de resistencia a compresión uniaxial, aunque dicho ensayo es simple, requiere de mucho tiempo y equipos en la preparación de los núcleos de roca a ensayar lo que lo hace costoso y elaborado. (Kahraman, 1994)

En los estudios realizados por el investigador por (Peng, S & Zhang, 2007); presentan correlaciones obtenidas por diferentes investigaciones en rocas del golfo de México: areniscas, esquistos, caliza y dolomita. Estas correlaciones, son el resultado de múltiples ensayos y análisis de los núcleos de rocas, lo que permite caracterizar y

correlacionar los parámetros para formaciones específicas de roca. (Peng, S & Zhang, J, 2007)

La mecánica de rocas busca correlacionar el parámetro de resistencia a la compresión uniaxial (RCU) por medio de ensayos indirectos, que son más rápidos, económicos y que en algunos casos se pueden ejecutar en campo (Kahraman, 2001).

Se ha avanzado desde entonces en el uso de correlaciones empíricas que permiten estimar la resistencia de la roca a partir de:

- Propiedades físicas de la roca.
- Ensayos indirectos sobre la roca.

### **1.1.1 Esfuerzos y resistencia en el suelo**

La resistencia que posee un macizo rocoso está directamente relacionada con las propiedades físicas del mismo, de su origen y de los procesos geológicos por las que ha tenido que atravesar el macizo a lo largo de su formación.

Las propiedades físicas que se deben considerar para el cálculo de los esfuerzos y la resistencia que puede soportar el macizo depende de: composición mineralógica, densidad, estructura y acomodo, porosidad, permeabilidad, dureza, entre otras. (Jiménez, 2020)

(Hudson & Harrison, 1997) definieron al macizo rocoso con las siguientes características: discontinuo por su estructura en bloques; anisótropo por la diferente orientación de las discontinuidades y por tanto, con un comportamiento distinto de acuerdo con la orientación, además de ser heterogéneo que implica el cambio de propiedades físicas y mecánicas en todo el macizo rocoso y no elástico.

### **1.1.2 Clasificación ingenieril de macizos rocosos**

Para clasificar los macizos rocosos existen diferentes parámetros que deben ser tomados en cuenta, estos están basados en diferentes proyectos de excavación, todos son importantes para el diseño y tratamiento del macizo rocoso. La clasificación debe

ser de clara comprensión e interpretación de modo que otros ingenieros puedan comprender el comportamiento del macizo, datos geológicos y estado de esfuerzos a los que pueden ser sometidos.

La descripción general incluye la identificación de los componentes del afloramiento: condiciones de la roca, suelo, drenaje y discontinuidades importantes, etc., en estas últimas resulta significativo proponer familias con base en la orientación y buzamiento. Dichas familias se corroborarán con los datos estructurales tomados a lo largo del estudio (Jiménez, 2020)

La clasificación de los macizos rocosos depende de las diferentes características litológicas, éstas se deben conocer con ayuda de pruebas de resistencia a la compresión simple ya sea en laboratorio o en campo. La metodología y procedimiento para la determinación se lleva a cabo mediante pruebas de campo como la prueba puntual o con ayuda del Martillo de Schmidt, incluso con el esclerómetro que mide la resistencia mediante el rebote de la superficie rocosa. El número de pruebas realizadas debe ser adecuado para tener resultados confiables, con base en ellos se podrá identificar la resistencia con la siguiente tabla:

**Tabla 1.1** Resistencia a compresión simple para clasificación de roca

<b>Descripción</b>	<b>Resistencia a compresión simple (MPa)</b>
Extremadamente débil	0,25-1,0
Muy débil	0,25-1,0
Débil	5,0-25
Media	25-50
Resistente	50-100
Muy resistente	100-250
Extremadamente resistente	>250

**Fuente:** Ramírez Oyanguren & Alejano Monge, 2004.

### 1.1.3 Propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso

- Características del medio rocoso: composición mineralógica, textura, tamaño, color, porosidad, peso específico, permeabilidad, durabilidad y alterabilidad.
- Propiedades físicas de la matriz rocosa y métodos para su determinación.
- Propiedades mecánicas de las rocas.
- Resistencia a la compresión simple, resistencia a tracción, resistencia a la compresión triaxial.
- Velocidad de ondas.
- Clasificación de las rocas y de los macizos rocosos.
- Meteorización de los materiales rocosos.
- Permeabilidad y circulación de los fluidos.

### 1.2 Resistencia uniaxial de materiales

Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido a la rotura de una fractura se puede definir, en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en la compresión se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión.

Se entiende como resistencia a la compresión simple o uniaxial de la roca (RCS) al esfuerzo ejercido sobre la roca que ayuda a definir los parámetros de rotura y comportamiento geomecánico de un macizo rocoso. Estos parámetros nos ayudan a clasificar a los macizos rocosos, mismos que se diferencian entre las propiedades de la roca por su naturaleza y las del macizo que presentan diferentes grados de fracturación. (Padrón, 2020)

Su cálculo se basa en calificar numéricamente las propiedades y características de la roca para posteriormente obtener una calificación final como la suma de sus valoraciones parciales. El principal parámetro que se toma en cuenta para la clasificación es la resistencia a la compresión simple.

Los resultados se obtienen de un análisis de laboratorio, mismo que requiere de muestras debidamente preparadas para que el ensayo logre determinar con exactitud la resistencia a la compresión de una probeta cilíndrica. (Restrepo, 2013)

La resistencia a la compresión simple se mide por sus valores que van desde 10 a 2000 kg/cm<sup>2</sup>, donde se determina la resistencia de la roca como el resultado obteniendo un rango entre muy baja y muy alta.

**Tabla 1.2** Clasificación Ingenieril de las rocas.

Clase	Descripción	Resistencia a la compresión uniaxial		Tipo de roca
		PSI	MPa	
A	Resistencia muy alta	> 32.000	220	Cuarcitas, diabasas.
B	Resistencia alta	16.000 32.000	110 a 220	Mayoría de rocas ígneas. Ciertas rocas metamórficas. Areniscas frágilmente cementadas. Lulitas resistentes. Mayoría de calizas. Ciertas dolomitas.
C	Resistencia media	8.000 16.000	55 a 110	Algunas lulitas. Areniscas y calizas porosas. Esquistos y rocas metamórficas.
D	Resistencia baja	4.000 8.000	28 a 55	Rocas porosas de baja densidad. Areniscas deleznable y lulitas arcillosas. Rocas meteorizadas y químicamente alteradas de cualquier litología.
E	Resistencia muy baja	< 4.000	< 28	

**Fuente:** (Feijoo, 1997)

La resistencia a la compresión es la carga por unidad de área a la que el material falla por fracturación por cizalla o extensional. (Ver figura 1.1).

El parámetro de resistencia a compresión de la roca es fundamental para el diseño y para la estimación de algunas propiedades e índices de la roca.

La resistencia a la compresión uniaxial (longitudinal) se mide en una prensa hidráulica que registra el esfuerzo aplicado sobre una probeta de material en una dirección del espacio determinado y la deformación lineal inducida en la misma dirección. (Agcasco, 2007)

El esfuerzo es igual a la fuerza aplicada por sección o superficie:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Donde:

F = Fuerza

A = Área transversal de la probeta

### 1.2.1 Tipos de resistencia

La resistencia a la compresión de los materiales de construcción es muy variable, oscilando desde materiales: (Agcasco, 2007):

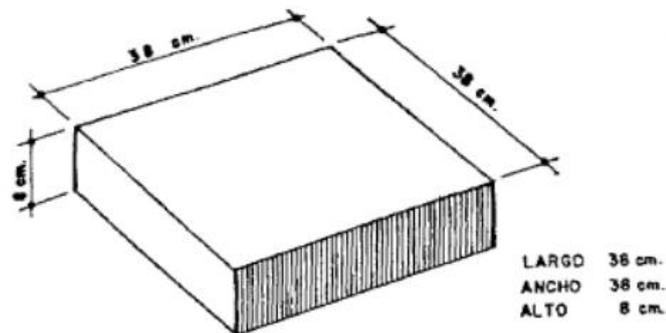
- Muy débiles (1400 kg/cm<sup>2</sup>)
- Débiles (70-200 kg/cm<sup>2</sup>)
- moderadamente resistentes (200-700 kg/cm<sup>2</sup>)
- Fuertes (700-1400 kg/cm<sup>2</sup>)
- Muy fuertes (>1400 kg/cm<sup>2</sup>).

### 1.3 Adobe

El adobe es un bloque que proviene de la mezcla de arena, arcilla y agua, el mismo que es secado a la sombra del sol, ya que, si el sol da directo al adobe, este tiende a tener fisuras. Se debe tener a consideración que se debe seleccionar correctamente el suelo para la fabricación de adobes, debido a que no debe ser arcilla pura, sino que debe contener entre un 40% - 60% de la misma (Jaguaco, 2007).

Una vez mezclado la arcilla y arena con agua se deja reposar. A los tres días se fabrican unos adobes de prueba, si estos se rajan es necesario añadir arena, luego de 21 días si no resisten el peso de un hombre se debe añadir arcilla. Cuando la mezcla se encuentra apropiadamente mezclada se comienza la producción del adobe, colocándolo en moldes de madera.

Según (Moscoso, M, 2010), luego de esperar los 30 días de secado, se debe mojar para introducir en los moldes, y cada cierto tiempo debe ser volteado para que el secado sea de manera homogénea. Por lo general el tamaño del molde varía entre 45-61 cm de longitud, 19-30 cm de ancho y 10-16 cm de altura. (Moscoso, 2010)



**Figura 1.1** Dimensionamiento del adobe

**Fuente:** (Sandoval, 2017)

Además, el adobe al ser un material sensible a la humedad, su absorción varía entre 0% al 4%, pero no debería exceder el 4%. En cuanto a su comportamiento térmico, podemos indicar que es material higroscópico pues tiene la capacidad de mantener el calor o el frío. (Moscoso, 2010)

El adobe como material de construcción, se define como la unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad.

### 1.3.1 Composición del adobe

La composición el adobe se determina de la siguiente manera: (Sandoval, 2021)

- a) **Limo:** Estos compuestos no poseen cohesión porque son secos y de resistencia mínima, pero con existencia de agua su cohesión incrementa, además de poseer cambios en volumen ya que se expanden y contraen.
- b) **Arcilla:** Este componente proporciona la cohesión a los suelos incorporando a los suelos gruesos; sin embargo, en las arcillas húmedas se exhiben cambios muy drásticos en la composición del suelo, por su inestabilidad en comparación a las arenas.
- c) **Arena:** Este componente a pesar de tener estabilidad no tienen cohesión ya que al secar se aprecian considerables desplazamientos entre las partículas que las conforman, pero con una fuerte fricción interna.
- d) **Agua:** Este componente es fundamental para el proceso de hidratación de las unidades de adobe y el aumento de sus propiedades.

El agua de mezcla para el adobe es necesaria ya que permite:

- Reaccionar con la tierra para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad de la mezcla

### 1.3.2 Resistencia a la compresión simple del adobe

Según (Pereira & Castro, 2011) nos indican que el adobe alcanza su resistencia al secarse por su mezcla con la arcilla. Es por esa razón que la mezcla con arcilla es de vital importancia para su fabricación. Según su estudio, la resistencia a compresión simple del adobe indica que si no existe suficiente cantidad de arcilla en la mezcla no se conseguirá la cohesión necesaria de todas las partículas para soportar las cargas a las que estará sometida.

Existen otro tipo de materiales como la paja, que ayudan a aumentar la resistencia a la compresión simple del adobe. Además de implementar diferentes modelos de adobes

que también ayudan a su determinación. A continuación, se determinará una comparación de la resistencia del adobe con paja y otro caso en donde no contiene paja para determinar los diferentes esfuerzos que puede soportar.

- Según el estudio de (Cotrinan, Limay & López, 2014) se obtuvieron los siguientes resultados entre cuatro unidades de adobe con paja y cuatro unidades sin paja. La composición del adobe fue de arcilla (entre 10 y 20%), limo (entre 15 y 25%) y arena (entre 55 y 70%).
- Como resultados de este análisis se pudo obtener que el adobe con paja es mucho más resistente que el adobe sin paja en un 97% de certeza. Con valores que oscilan el 0.98 aproximadamente y siendo constante, mientras que el adobe sin paja tuvo valores variados desde 0.98 hasta 0.87 el cual nos da una menor estabilidad y menor confiabilidad.

Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de bloque, se efectúan los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.613 & 339.604.

**Tabla 1.3** Resistencia del adobe.

Espécimen	Espesor (cm)	Longitud (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Altura/espesor	Factor correctivo
PL-1	14.7	21.5	57.0	316.05	3.9	0.99
PL-2	14.6	21.5	47.5	313.90	3.3	0.93
PL-3	14.5	21.5	54.0	311.75	3.7	0.97
PL-4	14.5	21.5	54.0	311.75	3.7	0.97
PL-5	14.5	21.5	55.0	311.75	3.8	0.98
PL-6	14.5	21.5	55.0	311.75	3.8	0.98
PL-7	14.5	21.5	50.0	311.75	3.4	0.94
PL-8	14.5	21.5	53.5	311.75	3.7	0.97
PL-9	14.5	21.5	52.5	311.75	3.6	0.96

**Fuente:** (Cotrinan, Limay & López, 2014)

### 1.3.3 Tipos de adobe

- **Adobe artesanal:** Adobe moldeado a mano de diferentes tamaños, secado al ambiente bajo sombra y que sigue técnicas tradicionales.

- **Adobe artesanal básico:** Se define al adobe artesanal básico como un bloque esencialmente hecho de barro más la adición de agua, sin cocer y moldeado a mano.
- **Adobe artesanal estabilizado naturalmente:** Es el adobe artesanal al cual se le añade diferentes estabilizadores naturales para mejorar su resistencia a la compresión e impermeabilidad tales como la goma de tuna, sangre de toro, paja, cascara de arroz, estiércol de vaca etc.
- **Adobe artesanal estabilizado con minerales:** Es el adobe al cual se le añade diferentes estabilizantes minerales para mejorar su resistencia a la compresión e impermeabilidad tales como la cal, yeso, cemento, etc.

### 1.3.4 Propiedades físicas

#### 1.3.4.1 Contenido de humedad W (%)

Esta propiedad física es de gran utilidad y se determina de una manera sencilla, en donde se obtiene el peso de la cantidad de agua obtenida en la muestra ( $W_w$ ) y el peso de la muestra en su fase sólida ( $W_s$ ).

Se lo expresa en porcentaje (Rodríguez & Badillo , 2005)

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad (2)$$

Donde:

$W_w$ = Peso de agua contenida

$W_s$ = Peso de su fase sólida.

#### 1.3.4.2 Compactación

La compactación es una propiedad que hace referencia a la aplicación de energía o cantidad de trabajo por unidad de volumen en el material para reducir los espacios entre partículas sólidas. (Morales , Ortiz , & Alavéz , 2007).

### 1.3.4.3 Absorción de agua

La absorción de agua se determina en porcentaje, la cual debe ser determinada mediante una evaluación de 24 horas para determinar la absorción de agua en función del tiempo de inmersión en un baño termostático. La velocidad de absorción del agua depende de la relación superficie/volumen de la pieza. Para ensayos comparativos se necesita ocupar la misma superficie por ejemplo pueden ser las mismas probetas.

$$A = \frac{(P_{sat} - P_{sec})}{P_{sec}} * 100 \quad (3)$$

Donde:

A= Absorción

Psat= Peso saturado del material. (g)

Psec= Peso seco del material. (g)

### 1.3.4.4 Permeabilidad

La permeabilidad se define como la capacidad que tiene el material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. (García, 2017)

Esta propiedad depende de: la porosidad del material, la densidad del fluido y la presión a la que está sometido el fluido.

## 1.3.5 Propiedades mecánicas

Entre las propiedades mecánicas tenemos las siguientes: (Sandoval, 2021)

### 1.3.5.1 Regenerativos

El adobe al estar expuesto a la intemperie puede reintegrarse totalmente a la naturaleza después que la edificación o vivienda ya haya cumplido su vida útil. Sin embargo, el concreto, el cemento y el ladrillo no se reincorporan al medio, luego de que la vivienda

ha perdido su vida útil, permaneciendo como desperdicio y originando un impacto ambiental en mayor magnitud.

### **1.3.5.2 Resistencia al desgaste causado por lluvias**

Esta propiedad se adquiere cuando los bloques de adobe soportan el resultado de las precipitaciones continuas sin modificar su funcionalidad.

### **1.3.5.3 Resistencia mecánica**

El adobe es un elemento constructivo con importancia de baja de resistencia a la compresión y a tensión contrarrestados con otros elementos que lo sobrepasan en gran valor, sin embargo, su dimensión mecánica es beneficioso para fabricar moldes que pueden ser utilizados directamente en la construcción.

## **1.4 Materiales**

### **1.4.1 Adobe**

El adobe posee una gran historia, puesto que la mayoría de viviendas en varios lugares del mundo contemplan al adobe como material base de construcción gracias a su bajo costo y facilidad de elaboración, logrando así la creación de edificaciones importantes y con un gran valor artístico. Con el pasar del tiempo, dicho material ha ido perdiendo su importancia quizá por el bajo desempeño sismorresistente que posee un adobe artesanal puesto que una construcción con este material puede sufrir daños estructurales severos que podrían llegar al colapso.

### 1.4.2 Zeolita

La zeolita es un aluminosilicatos de estructura porosa, posee cavidades que con facilidad atrapan iones y moléculas de agua y oxígeno, disponen de gran libertad de movimiento que permiten el cambio iónico y la deshidratación reversible.

Las zeolitas naturales son un grupo de alumino-silicatos hidratados de metales alcalino y alcalino-terreos. La zeolita posee propiedades particulares como el intercambio de iones y la desorción reversible de agua. Esta última propiedad es la que da origen a su nombre, que se deriva de dos palabras griegas, zeo: que ebulle, y lithos: piedra. (Robalino & Egeuz , 2004)



**Figura 1.2** Piedra de zeolita

**Fuente:** (Mazacón, 2009)

Entre las propiedades de la zeolita se destacan: (Valenzuela, 2017)

- Alto grado de hidratación
- Intercambio catiónico
- Baja densidad y gran volumen de vacíos cuando están deshidratadas
- Canales de tamaño molecular uniformes en los cristales deshidratados.
- Conductividad eléctrica.
- Adsorción de gases y vapores.

Debido a su resistencia mecánica, soporta grandes esfuerzos y tensiones durante su manipulación y almacenamiento, manteniendo estable su estructura y propiedades,

asegurando una presencia de nutrientes y minerales que requieren los suelos, favorece la textura de los suelos, reduce la compactación, mejora la aireación en el área radicular.

La zeolita sirve como materia prima para el desarrollo de futuros materiales de construcción, pueden utilizarse para sustituir hasta un 40% del cemento portland para la obtención del hormigón ligero con propiedades específicas, se obtienen resistencias a la compresión entre 50 y 300 kg/cm<sup>2</sup> y densidad entre 500 y 1500 kg/m<sup>3</sup>. (Valenzuela, 2017)

### **1.4.3 Arcilla**

La arcilla es una roca sedimentaria descompuesta, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato (como el granito).

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula.
- Su morfología laminar (filosilicatos).
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Las propiedades de los suelos se encuentran en función de la cantidad de arcillas que se encuentran presentes. Si la tierra tiene composición arenosa, a pesar de poseer gran estabilidad ante los cambios de humedad o temperatura, la falta de actividad de la arcilla la hará frágil y será presa fácil de la erosión. En cambio, cuando una tierra es arcillosa significa que tiene una alta cohesión, pero cuando se presentan fenómenos de humidificación y secado continuos, sufre cambios volumétricos capaces de generar fuertes agrietamiento. (Mosquera, 2016)

La hidratación de una arcilla se produce al unirse entre sí las moléculas de agua con átomos de oxígeno e hidróxilos de la red silicatada mediante la existencia de puentes de hidrógeno.

## 1.5 Prensas hidráulicas

“El ingeniero británico Joseph Bramah inventa la prensa hidráulica, dicho mecanismo sirve para comprimir un material entre dos cabezales logrando la deformación permanente para dar forma, incluso cortar un determinado material y para probar materiales sometidos a grandes presiones, mediante la aplicación de una carga.” (Barba & Reyes, 2011)

Su principio de funcionamiento cumple con la ley más elemental de la física referida a la hidráulica y neumática, que fue descubierta y formulada por Blas Pascal en 1653 y denominada Ley de Pascal.

Una prensa hidráulica consiste en dos depósitos de aceite de áreas muy distintas que se comunican por su fondo, funciona por medio de una bomba acoplada directamente a un cilindro, y esta presenta la característica de conferir a la carrera del embolo del cilindro una velocidad máxima, cuando la presión que genera es mínima o nula y a una velocidad mínima cuando su presión es máxima, y por consiguiente generando la fuerza de trabajo a través del embolo.

Hoy en día las prensas hidráulicas son la selección preferida en trabajos donde se requieran amplios rangos de aplicación de fuerza, en la siguiente figura se puede apreciar dos tipos distintos de prensas hidráulicas manuales. (Barba & Reyes, 2011)



**Figura 1.3** Prensa Hidráulica.

**Fuente:** (Resnick, R. 1696)

## 1.6 Prensa mecánica

El motor hace girar un volante de la prensa que está unido al cigüeñal de la misma directamente o por medio de engranes o bandas, operándose con auxilio de un embrague de fricción. Este embrague es accionado por medio de un pedal o por un dispositivo de pulsante. El embrague se desconecta automáticamente después de cada revolución, a no ser que el operador mantenga oprimido el pedal, en cuyo caso la prensa repite el trabajo. (Jami, 2018)

Una biela transmite el movimiento del cigüeñal a una parte móvil de la prensa o ariete, deslizándose éste en unas guías. Después de que el embrague desconecta al volante, un freno detiene el movimiento del propio cigüeñal.



**Figura 1.4** Prensa Mecánica

**Fuente:** (Resnick, R. 1969)

**Tabla 1.4** Especificaciones Humboldt CM-2500.

<b>Especificaciones HUMBOLDT modelo CM-2500-DIR.</b>		
Apertura vertical	19.37pulg	49.2cm
Apertura Horizontal	9.25pulg	23.5cm
Carrera del Pistón	2.5pulg	6.35cm
Platina inferior, diámetro	33.2pulg	21.4cm
Platina superior, día	6.5pulg	16.5cm
Capacidad del depósito de aceite	2 galones	7.6 litros
Requisitos eléctricos	115/230/1/60/50	
Peso de envío	780 lb	353 kg
Ancho total	18pulg	45.7cm
Profundidad total	17pulg	43.2cm
Altura Total	44.25pulg	112.4cm

**Fuente:** (Catálogo Humboldt, 2012)

## **CAPÍTULO 2**

### **EXPERIMENTACIÓN**

#### **2.1 Número de muestras y preparación**

Para llevar a cabo el experimento del presente trabajo de investigación se prepararon 36 muestras de adobe. Uno de los requisitos principales es que las muestras deben tener las mismas dimensiones, para el experimento se realizaron moldes con una dimensión de 5x5x10 cm para que de esa manera las muestras puedan tener un tamaño homogéneo.

Las dimensiones ayudarán a identificar la resistencia a la compresión simple del material en las diferentes adiciones de zeolita que se realizaron en las muestras para que todas tengan las mismas condiciones, con ello se logró obtener resultados objetivos y comparativos.

El procedimiento para la elaboración de las muestras fue diluir la cantidad de zeolita en sus diferentes porcentajes con agua hasta que se convierta en un fluido maleable y con ello poder mezclarlo con arcilla, logrando así una mezcla homogénea. Al adicionar la zeolita en las diferentes muestras se ingresa en los moldes preestablecidos se desmolda y se los deja secar por 3 a 4 semanas.

Además, es importante mencionar que para la fabricación del adobe se consideró la adición de la zeolita para comprobar si con ella, se puede lograr tener un material más resistente. Por ello para las primeras 12 muestras (M1) de adobe se tomó únicamente muestras de adobe simple. Para el siguiente grupo de 12 muestras (M2) se adicionó zeolita en un 25%. Y finalmente en las últimas 12 muestras (M3) se adicionó zeolita en un 50%.



**Figura 2.1** Mezcla de arcilla para fabricación de adobe 2kg

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.2** Mezcla para la fabricación de adobes 2kg de muestra con adición de 50% de zeolita

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.3** Mezcla para la fabricación de adobes 1kg de muestra con adición de 25% de zeolita

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.4** Fabricación de adobes con los moldes estandarizados

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.5** Fabricación de adobes

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.6** Fabricación de adobe de acuerdo al porcentaje de zeolita

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.7** Proceso de secado de muestras de adobe

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.8** Muestras #1 de adobe

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.9** Muestras #2 de adobe con adición del 25% de zeolita

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.10** Muestras #3 de adobe con adición del 50% de zeolita.

**Fuente:** Elaboración propia.

## 2.2 Resistencia a la compresión de los adobes

Una vez transcurrido el tiempo de secado de las muestras se procedió a realizar las pruebas de resistencia a la compresión simple en cada una de ellas de cada grupo. Se colocó las muestras en la prensa para ejercer la compresión sobre ellas. A continuación, se indica cómo fueron colocadas las muestras de adobe para la correcta evaluación de la resistencia a la compresión.



**Figura 2.11** Experimento de resistencia a la compresión simple de M2

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.12** Fractura por experimentación de la resistencia a la compresión simple de M2

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.13** Experimento de resistencia a la compresión simple de M3

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.14** Fractura por experimentación de la resistencia a la compresión simple de M3

**Fuente:** Elaboración propia.

Al realizarse la evaluación de la resistencia a la compresión simple de cada una de las muestras de adobe, se evalúa a que fuerza se fractura la misma y se identifica en la maquina en unidades lbf (Libra fuerza), para luego transformarla y transformar a kN (Kilo Newtons).



**Figura 2.15** Prensa con la que se realizó la experimentación, con el resultado que se obtuvo en una de las mediciones.

**Fuente:** Elaboración propia.

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1 Interpretación de resultados

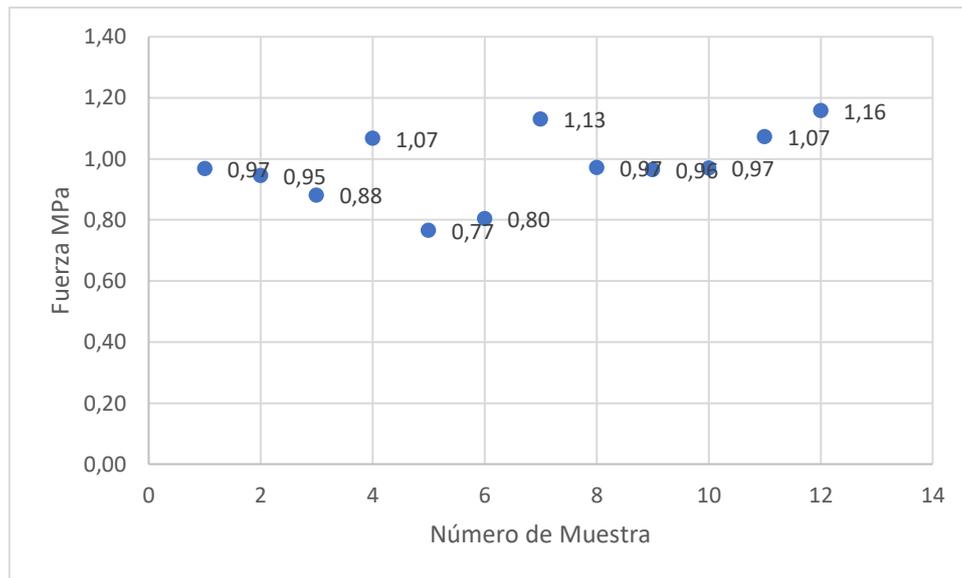
Luego de realizar los ensayos de resistencia a la compresión de las muestras en el laboratorio, se determinó la resistencia a la compresión de los adobes con adición de zeolita arrojando los siguientes resultados.

#### Experimento 1:

**Tabla 3.1** Resultados de la resistencia a la compresión simple del adobe en composición normal (M1)

Número de Muestra	Fuerza (lbf)	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza kN Testigo	Fuerza (N) Testigo	Presión (MPa) Testigo
Testigo 1	58	20,54	2,37	2370	1,154
Testigo 2	72	19,8	2,95	2950	1,490
Testigo 3	81	22,7	3,31	3310	1,458
Testigo 4	58	20,54	2,37	2370	1,154
Testigo 5	59	20,54	2,41	2410	1,173
Testigo 6	87	23,04	3,56	3560	1,545
Testigo 7	89	22,9	3,64	3640	1,590
Testigo 8	87	22,08	3,56	3560	1,612
Testigo 9	75	21,16	3,06	3060	1,446
Testigo 10	65	20,7	2,66	2660	1,285
Testigo 11	76	20,7	3,11	3110	1,502
Testigo 12	78	21,16	3,19	3190	1,508
<b>Mediana</b>					1,47
<b>Promedio</b>					1,41

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 3.1** Resistencia a la compresión de los testigos de adobe M1

**Fuente:** Elaboración propia

En este primer experimento logramos ver cómo reacciona las muestras de adobe artesanal sin adición de zeolita, obteniendo una tabla con la resistencia de cada uno de ellos para comparar con los adobes que van a ser adicionados con un 25% y 50% de zeolita.

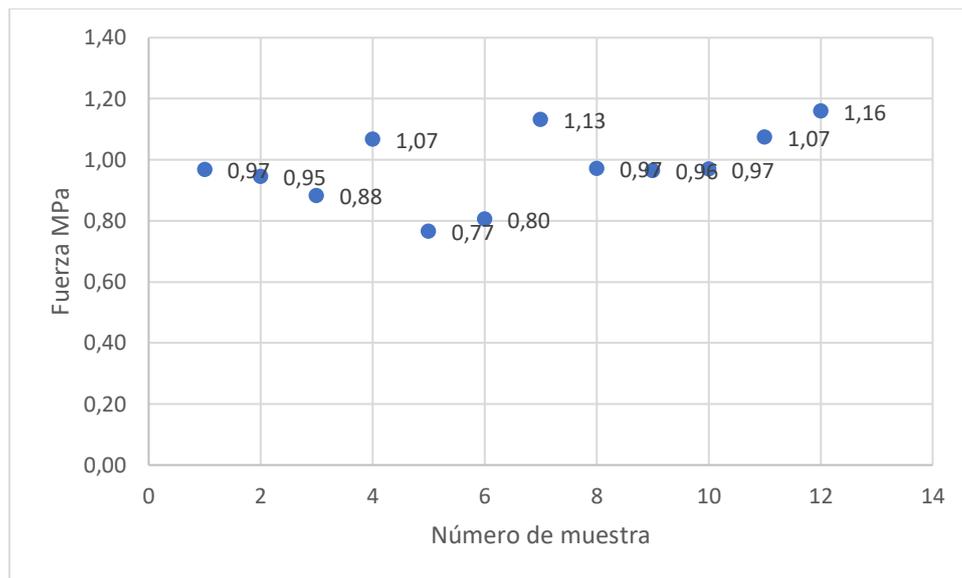
Observamos que tienen variantes en el punto de fractura de cada adobe a pesar de que todos los adobes fueron realizados con la misma mezcla y secados el mismo tiempo al ser un producto que se realiza de manera artesanal y no industrial varían sus superficies de contacto.

## **Experimento 2:**

**Tabla 3.2** Resultados de la resistencia a la compresión simple del adobe con adición del 25% de zeolita

Número de Muestra al 25%	Fuerza (lbf) al 25%	Área (cm <sup>2</sup> ) al 25%	Fuerza kN Testigo al 25%	Fuerza (N) Testigo al 25%	Presión (MPa) Testigo al 25%
Muestra 1 al 25%	72	22,54	2,95	2950	1,309
Muestra 2 al 25%	74	21,15	3,03	3030	1,433
Muestra 3 al 25%	72	22,7	2,95	2950	1,300
Muestra 4 al 25%	78	22,54	3,19	3190	1,415
Muestra 5 al 25%	65	22,09	2,66	2660	1,204
Muestra 6 al 25%	90	23,04	3,68	3680	1,597
Muestra 7 al 25%	96	22,9	3,93	3930	1,716
Muestra 8 al 25%	94	22,7	3,85	3850	1,696
Muestra 9 al 25%	61	21,16	2,49	2490	1,177
Muestra 10 al 25%	65	21,15	2,66	2660	1,258
Muestra 11 al 25%	64	20,7	2,62	2620	1,266
Muestra 12 al 25%	85	22,09	3,48	3480	1,575
<b>Mediana</b>					1,36
<b>Promedio</b>					1,41

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.2** Resistencia a la compresión simple del adobe con el 25% de zeolita

**Fuente:** Elaboración propia

En este proceso pudimos ver cómo reacciona las muestras de adobe con la adición del 25% de zeolita de esta manera pudimos obtener una tabla con la resistencia de cada uno para comparar con los adobes artesanales sin adición de zeolita y los que van a tener un 50% de zeolita

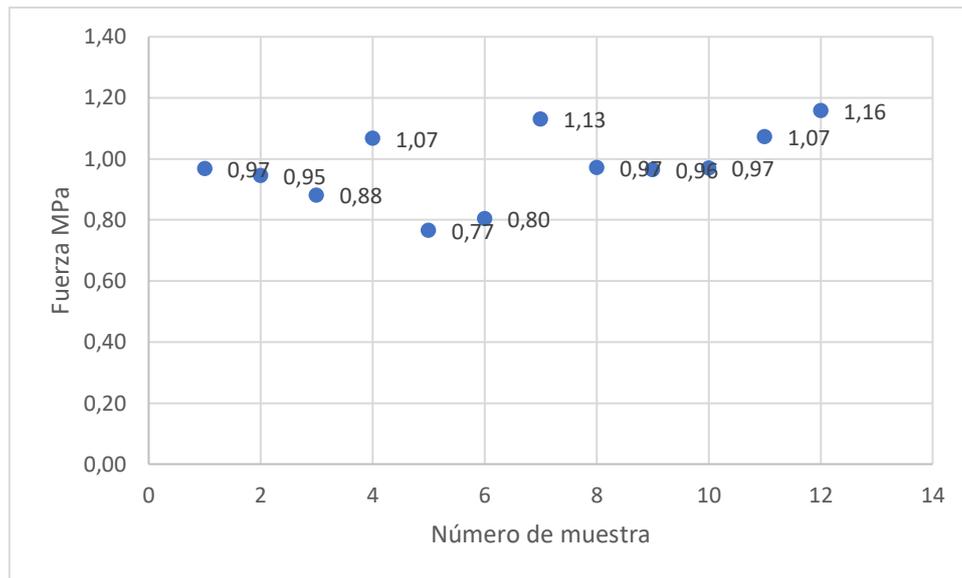
Observamos que en algunas muestras su punto de fractura es más alto; sin embargo, también tenemos puntos en los que disminuye, esto se debe a que el área de contacto con la prensa no es completamente regular por la deformación que sufre en el secado y en el desmolde.

Como podemos observar la mediana baja en comparación del adobe artesanal, pero el promedio se mantiene igual a la tabla del adobe artesanal sin adición de zeolita.

**Experimento 3:****Tabla 3.3** Resultados de la resistencia a la compresión simple del adobe con adición del 50% de zeolita.

Número de Muestra al 50%	Fuerza (lbf) al 50%	Área (cm <sup>2</sup> ) al 50%	Fuerza Kn Testigo al 50%	Fuerza (N) Testigo al 50%	Presión (Mpa) Testigo al 50%
Muestra 1 al 50%	48	20,25	1,96	1960	0,97
Muestra 2 al 50%	45	19,36	1,83	1830	0,95
Muestra 3 al 50%	49	22,7	2	2000	0,88
Muestra 4 al 50%	53	20,25	2,16	2160	1,07
Muestra 5 al 50%	38	20,25	1,55	1550	0,77
Muestra 6 al 50%	40	20,25	1,63	1630	0,80
Muestra 7 al 50%	56	20,25	2,29	2290	1,13
Muestra 8 al 50%	46	19,36	1,88	1880	0,97
Muestra 9 al 50%	50	21,16	2,04	2040	0,96
Muestra 10 al 50%	54	22,7	2,2	2200	0,97
Muestra 11 al 50%	58	22,09	2,37	2370	1,07
Muestra 12 al 50%	60	21,15	2,45	2450	1,16
<b>Mediana</b>					0,97
<b>Promedio</b>					0,97

**Fuente:** Elaboración propia



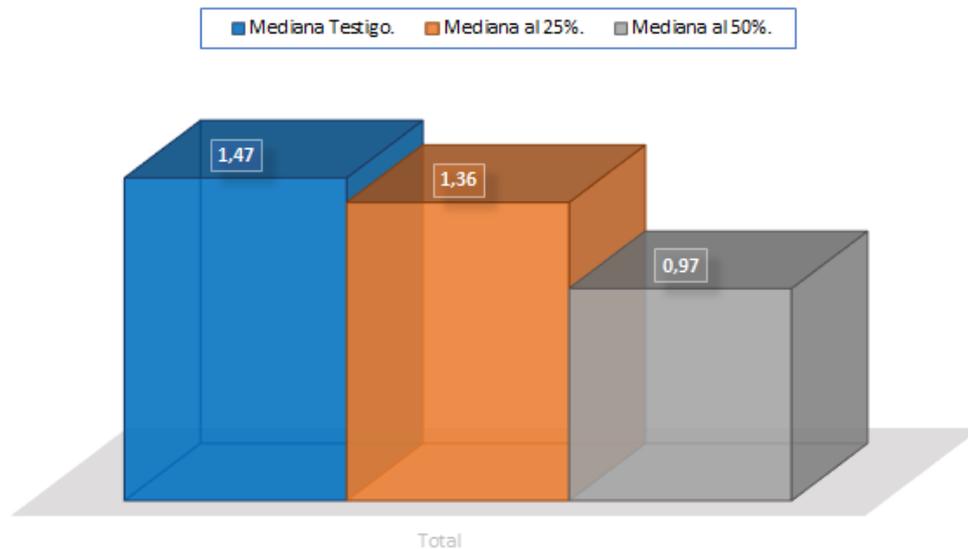
**Figura 3.3** Resistencia a la compresión simple del adobe con el 50% de zeolita

**Fuente:** Elaboración propia

En este último ensayo pudimos ver cómo reacciona las muestras de adobe con la adición del 50% de zeolita de esta manera pudimos obtener una tabla con la resistencia de cada uno para comparar con los adobes artesanales sin adición de zeolita y los que van a tener un 25% de zeolita.

Pudimos comparar con las M1 y M2, vemos que la adición de zeolita en este porcentaje no es favorable ya que su punto de fractura bajo completamente en comparación de los adobes artesanales sin zeolita y los adobes con la adición del 25% de zeolita.

Como se indican en las tablas anteriores, se pudo determinar la fuerza que todas las muestras de cada grupo M1, M2 y M3. En donde se determina los resultados expuestos en las tablas.



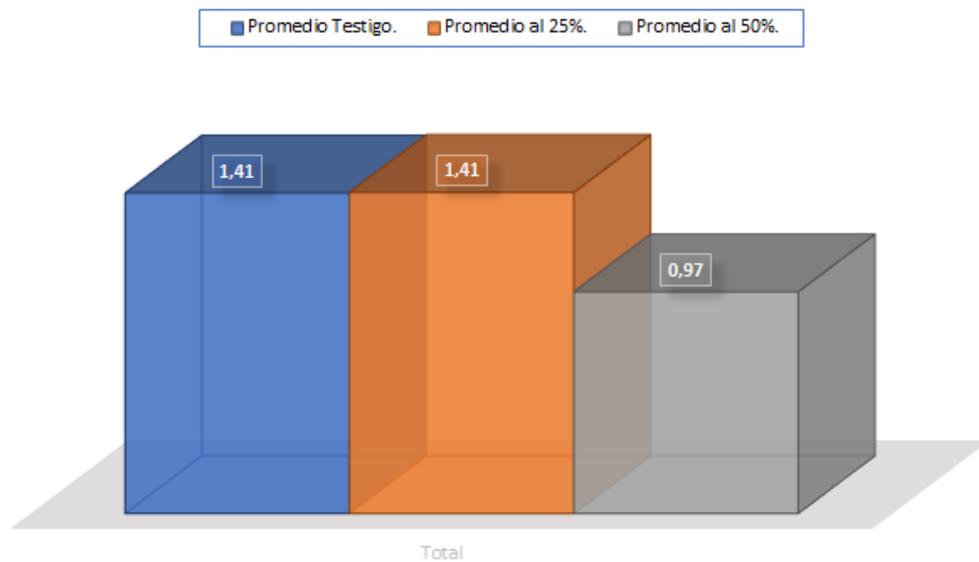
**Figura 3.4** Máximo de mediana según la resistencia a la compresión simple del adobe en composición simple, al 25% de zeolita y al 50% de zeolita.

**Fuente:** Elaboración propia

Como se indican en las tablas anteriores, se pudo determinar la mediana de todas las muestras de cada grupo M1, M2 y M3. En donde se determina los resultados expuestos en las tablas.

Donde evidenciamos que el adobe artesanal tiene la mediana más alta, esto se pudo dar por una materia prima completamente homogénea ya que no estaba adicionando ningún mineral solamente arcilla y agua, por el contrario, vemos que en el experimento de las M2 tenían puntos de fractura muy altos y otros muy bajos por lo cual la mediana es menor al M.1

Pienso que al ser este un experimento artesanal tenemos demasiadas variantes como no lograr homogenizar de la manera perfecta la mezclas y sus áreas de contacto son una variante importante.

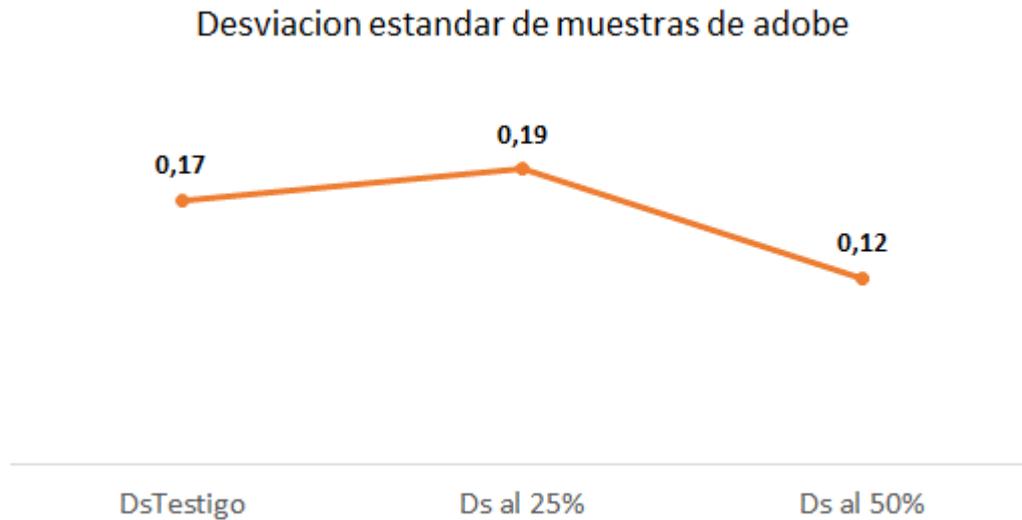


**Figura 3.5** Promedio del testigo al 0% de zeolita, al 25% de zeolita y al 50% de zeolita.

**Fuente:** Elaboración propia

Como se indican en las tablas anteriores, se pudo determinar el promedio de todas las muestras de cada grupo M1, M2 y M3. En donde se determina los resultados expuestos en las tablas.

Donde evidenciamos que el adobe artesanal tiene el mismo promedio que el adobe con adición del 25% y una vez más vemos que el experimento del adobe con adición de 50% de zeolita disminuye notablemente teniendo en cuenta estos valores vemos que no es favorable la adición en esa cantidad de la zeolita.



**Figura 3.6** Desviación estándar del testigo al 0% de zeolita, al 25% de zeolita y al 50% de zeolita.

**Fuente:** Elaboración propia

Aquí tenemos la desviación estándar que nos muestra las desviaciones individuales de cada experimento con respecto a la media, podemos ver que el grado de dispersión del experimento del adobe con adición del 25% es un poco más elevado a comparación con el experimento del adobe artesanal simple y donde presentamos una caída en el punto del experimento del adobe con adición del 50%.

### **3.2 Propuesta de modelo para obtener el material más resistente con los resultados obtenidos y determinar frente a qué presión se puede usar el adobe**

El modelo propuesto de acuerdo al experimento realizado en el presente trabajo son los adobes artesanales elaborados con arcilla, agua y la adición del 25% de zeolita, esto debido a que el material se volvió más compacto y resistente, obteniendo una resistencia a compresión de 1.41 MPa a los 30 días. Además, con la adición de la zeolita nos agilitó el proceso del secado sin afectar en su compactación y resistencia.

A comparación de las otras muestras, en esta no existió alguna evidencia de un incremento o disminución en su resistencia a compresión con respecto al adobe artesanal en cada una de las muestras del grupo realizado.

Sin embargo, teníamos una propuesta al experimento realizado en los adobes artesanales elaborados con arcilla, agua y la adición del 50% de zeolita, esta propuesta no funciono debido a que el material se volvió menos resistente y su resistencia a la compresión de 0.97 MPa disminuyo notoriamente a los 30 días. De todas formas, este obtuvo un secado más rápido en las mismas condiciones que el de las otras muestras teniendo en cuenta que tenía un porcentaje alto de zeolita este precipito su secado y puede ser uno de los factores por el cual disminuyo su resistencia.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Los adobes artesanales tradicionales elaborados con arcilla más agua, obtuvieron una resistencia a la compresión de 1.41 MPa a los 30 días.
- Los adobes artesanales elaborados con arcilla, agua y la adición del 25% de zeolita obtuvieron una resistencia a la compresión de 1.41 MPa a los 30 días, sin ninguna evidencia de un incremento o disminución en su resistencia a compresión con respecto al adobe artesanal.
- Los adobes artesanales elaborados con arcilla, agua y la adición del 50% de zeolita obtuvieron una resistencia a compresión de 0.97 MPa a los 30 días, se notó una disminución en su resistencia a la compresión del 31,21% con respecto al adobe artesanal.
- Se concluye que la combinación más resistente en el experimento realizado es la del adobe artesanal sin adición de zeolita y la del adobe con adición del 25% de zeolita, obtuvieron la mayor resistencia a la compresión alcanzando así un valor de 1,41 MPa a los 30 días.
- Se concluye que el uso de zeolita para aumentar la resistencia del adobe, lo puede clasificar como un material que, al añadir a las mezclas permite reducir costos, tiempos y productos a emplear en relación con otros materiales.
- Se puede indicar que si se utiliza únicamente la zeolita como material para mejorar la resistencia del adobe, no podría ser utilizado para implementar en edificaciones debido a las condiciones que presenta y a su fracturación inmediata.
- Los elementos que necesiten una menor resistencia como la zeolita pueden ser empleados para la distribución de espacio, jardinería, ornamentación al presentarse en la mezcla del adobe, reduce costos y es de mejor accesibilidad.

## Recomendaciones

- Encontrar una manera en la que los adobes sufran una menor deformación teniendo como indicio que esto altera el área de contacto con la prensa utilizada para el ensayo de resistencia a la compresión simple.
- Una alternativa para corregir la deformación que presentan los adobes podría ser una prensa moldeadora en la que se trabaje con menor humedad, obteniendo mejores resultados y de esta manera realizar un desmolde con menores deformaciones.
- El ensayo queda en apertura para la utilización de una menor cantidad de zeolita en un porcentaje del 20%, 15%, 10%, ya que según los resultados son similares en comparación a las del adobe artesanal y el adobe con el 25% de zeolita; la dureza del adobe con un porcentaje de zeolita mayor al 25% comienza a disminuir.
- La adición de zeolita acelera el proceso de secado.
- Tratar de que en cada ensayo que se adicione cualquier mineral tenga una mezcla completamente homogénea esto nos dará mejores resultados sin tantas variantes en sus puntos de fractura.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agcasco, R. (2007). *Propiedades de las Rocas de Construcción y Ornamentación*. España: Universidad de Granada.
- Barba, L., & Reyes, O. (2011). *Cálculo y diseño de una prensa hidráulica tipo C con capacidad de 20 toneladas*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- García, I. (2017). *Estudio de permeabilidad en el adobe implementando agregados naturales*. Huajuapán : Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Jaguaco, S. (2007). *Uso del adobe como material de construcción*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Jami, M. (2018). *Diseño y construcción de una prensa electrohidráulica de 20 toneladas para la empresa ACEPROMET Cia. Ltda.* Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Jiménez, J. (2020). *Apuntes complementarios de Mmecánica de rocas, suelos y clasificación Ingenieril de macizos rocosos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kahraman, J. (1994). Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*,, 38, 981.
- Mayori, A. (2015). *Resistencia de materiales aplicada*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
- Morales , V., Ortiz , M., & Alavéz , R. (2007). Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado. *Naturaleza y Desarrollo*, 41-48.
- Moscoso, M. S. (2010). *El adobe, sus características y el confort térmico*. Cuenca: Proyecto vlrCPM, Universidad de Cuenca.
- Mosquera, H. (2016). *Mejoramiento de revoque a base de arcilla aplicable en muros de adobe y mampostería de ladrillo*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Padrón, J. (2020). La resistividad de rocas y su relación con la resistencia a la compresión simple en mina. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, Vol. 24, N°99, 61-67.
- Peng, S, & Zhang, J. (2007). Rock propeties and mechanical behaviors. *Springer Berlin Heidelberg*.
- Pereira , L., & Castro, J. (2011). *Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar*, *Elservier*. Estados Unidos.
- Restrepo, I. (2013). *Correlación de la resistencia a compresión uniaxial con la humedad y porosidad eficaz en rocas de una cantera del sur occidente colombiano*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- Robalino , P., & Eguez , H. (2004). *El uso la zeolita como una adición mineral para producir cemento puzolánico*. Quito: Escuela Superior Politécnica del Litoral .

Rodriguez , R., & Badillo , J. (2005). *Mecánica de Suelos*. México: Limusa Noriega Editores.

Sandoval, G. (2021). *Evaluación de la erosión y la resistencia del adobe adicionado con cenizas de carbón y cal*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo .

Valenzuela, Y. (2017). *Análisis comparativo de la resistencia a compresión del hormigón tradicional, con hormigón al emplear zeolita natural en reemplazo parcial del cemento*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.