

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Comportamiento mecánico del adobe estabilizado con cal en  
viviendas de 2 niveles en el Distrito de Pomata - Puno 2022**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero civil

**Autor:**

Elder Johap Nina Flores

**Asesor:**

Ing. Juana Beatriz Aquisé Parí

**Juliaca, diciembre de 2023**

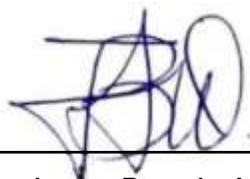
## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Ing. Juana Beatriz Aquisé Parí, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL ADOBE ESTABILIZADO CON CAL EN VIVIENDAS DE 2 NIVELES EN EL DISTRITO DE POMATA - PUNO 2022**” del autor **Elder Johap Nina Flores**, tiene un índice de similitud de 15% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 03 días del mes de enero del año 2024.



---

Ing. Juana Beatriz Aquisé Parí

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 21 día(s) del mes de diciembre del año 2023, siendo las 14:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing. Herisson Duberly Rari Luis el (la) secretario(a): Mg. Jose Racori Racori

y los demás miembros: Mg. Arnaldo Leahui Galanza

y el (la) asesor(a) Ing. Juana Beatriz Arguise

Rari con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

Comportamiento mecánico de adobe estabilizado con cal en viviendas de 2 niveles en el Distrito de Pomata - Puno 2022

del(los) bachiller(es): a) Elder Johap Nina Flores

b) .....

c) .....

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Civil  
(Designación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Elder Johap Nina Flores

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller (c): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior  
Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]  
Presidente/a

[Firma]  
Asesor/a

[Firma]  
Bachiller (a)

[Firma]  
Miembro

[Firma]  
Bachiller (b)

[Firma]  
Secretario/a

[Firma]  
Miembro

[Firma]  
Bachiller (c)

## **DEDICATORIA**

Yo Elder Johap Nina Flores, en primer lugar, dedico este logro a nuestro padre celestial por las oportunidades por sus bendiciones a lo largo de este proceso. Seguidamente este logro es dedicado a mis padres por su esfuerzo y sacrificio brindándome su apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional y en el transcurso de mi vida.

**ELDER JOHAP NINA FLORES**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por brindarme la vida, la salud, la sabiduría y fuerza para poder culminar con este proyecto de tesis.

A esta primera casa superior de estudios la Universidad Peruana Unión, por darme oportunidad de formarme en el ámbito profesional, espiritual y física.

A mis familiares que me brindaron su apoyo incondicional mediante consejos, ánimos en los momentos que hacía falta.

A mi asesor de tesis Ing. Juana Beatriz Aquise Parí, por sus sugerencias, recomendaciones y exigencia para la culminación de este proyecto tesis.

A nuestros jurados: Mg. José Pacori Pacori, Mg. Arnaldo Cahú Galarza, que aportaron en mi proyecto de tesis mediante sus observaciones y sugerencias.

A todas las personas que han sido parte del proceso de esta investigación, así mismo a la E.P. Ingeniería Civil facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión y a los docentes que brindaron sus conocimientos y experiencia.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Resumen	11
Abstract	12
1 Introducción	13
2 Materiales y métodos	16
3 Revisión de literatura	17
3.1 Tipos de falla que presenta los muros de mampostería de adobe	17
3.1.1 Falla por tensión diagonal en juntas:	17
3.1.2 Falla por deslizamiento:	18
3.1.3 Falla por tensión diagonal en bloques:	18
3.1.4 Falla por corte:	18
3.1.5 Falla por aplastamiento:	18
4 Resultados y discusión	20
4.1 Propiedades físicas y mecánicas de unidades de adobe estabilizado con cal.	20
4.2 Resistencia a la compresión.	20
4.3 Compresión axial en pilas.	22
4.4 Corte diagonal en muros.	23
4.5 Límites de consistencia	25
4.6 Evaluación del comportamiento mecánico del adobe-cal para uso en viviendas de 2 niveles.	26
4.7 Análisis estadístico	33
5 Conclusiones	34
6 Recomendaciones	36
Declaración de interés en competencia	37
7 REFERENCIAS	37
ANEXOS	41

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas de los materiales para el modelamiento.....	27
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura. 1. Mapa de ubicación del distrito de Pomata.....	19
Figura. 2. Cubo de adobe-cal .....	20
Figura. 3. Pilas de adobe-cal.....	20
Figura. 4. Muretes adobe-cal.. .....	20
Figura. 5. Falla por aplastamiento (adobe-cal al 10%).....	20
Figura. 6. Falla por aplastamiento (adobe-cal al 15%).....	20
Figura. 7. Falla por corte (adobe-cal al 20%).....	20
Figura. 8. Grado de esfuerzo del adobe estabilizado .....	21
Figura. 9. Resistencia a la compresión en bloques de adobe mejorado .....	21
Figura. 10. Ensayo compresión en pilas adobe-Cal al 10%, 15% y 20% respectivamente .....	22
Figura. 11. Resistencia a la compresión axial en adobe mejorado .....	23
Figura. 12. Falla por tensión diagonal en juntas (adobe-cal al 10%).....	23
Figura. 13. Falla por deslizamiento (adobe-cal al 15%).....	23
Figura. 14. Falla por tensión diagonal en bloques (adobe-cal al 20%).....	23
Figura. 15. Corte diagonal en muros de adobe mejorado. ....	24
Figura. 16. Curva esfuerzo - deformacion del adobe mejorado con cal .....	24
Figura. 17. Contenido de humedad del suelo trabajado.....	25
Figura. 18. Carta de plasticidad para la clasificacion del suelo .....	26
Figura. 19. Definición de material (Adobe-cal).....	27
Figura. 20. Definición de muros (Adobe-cal).....	27

Figura. 22. Modelamiento corrido de la vivienda de 2 niveles mejorado con cal .....	27
Figura. 23. Modelamiento corrido de la vivienda de 2 niveles bajo el SDX y SD.....	28
Figura. 24. Desplazamientos desarrollados en los muros de adobe-cal.....	29
Figura. 25. Porcentajes de deriva elástica desarrolladas en muros de adobe-cal.....	30
Figura. 26. Deriva elástica de la vivienda de 2 niveles.....	30
Figura. 27. Curva de capacidad para muros de adobe-cal al 10%, 15% y 20% sujetos a cargas en su plano .....	31
Figura. 28. Prueba estadística anova.....	32
Figura. 29. Análisis de comparación de varianzas - Scheffe .....	33

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Evidencia de sumisión a una revista indexada. ....	40
Anexo B. Datos de laboratorio.....	41

# **Comportamiento mecánico del adobe estabilizado con cal en viviendas de 2 niveles en el Distrito de Pomata – Puno 2022**

## **Resumen**

El objetivo del presente estudio consistió en la evaluación del comportamiento mecánico del adobe estabilizado con cal en viviendas de 2 niveles de un caso hipotético. La investigación concierne a un diseño experimental con un enfoque cuantitativo mediante la evaluación de las variables intervinientes, teniendo una investigación explicativa y un nivel de cuasi experimental, se realizó un análisis estadístico explicativo basado en la desviación estándar, donde se utilizaron diagramas de dispersión y gráficas. Los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión en bloques muestran que al incorporar cal en 10%, 15% y 20% los valores sobrepasaron la resistencia mínima de  $10.2\text{kg}/\text{cm}^2$  exigidos por la normativa. Por otra parte, de la prueba de compresión en pilas se tuvo un incremento del 76.22%, 83.79% y 100.31% respectivamente, se puede ver que con cal añadida al 10% y 15% no llega a la resistencia mínima de  $6.12\text{kg}/\text{cm}^2$  de la normativa E.080; sin embargo, el diseño óptimo es el adobe-cal al 20%. Asimismo, los resultados de la resistencia al corte diagonal obtuvieron valores superiores a  $0.25\text{kg}/\text{cm}^2$  estipulados por la norma. Finalmente se tiene que el comportamiento mecánico desarrollado por el adobe-cal al 15% y 20% estas alcanzaron una deriva elástica de 0.49% y 0.41% respectivamente, de los cuales estos valores de deriva están por debajo del límite que es el 0.5%, en ese sentido el diseño más óptimo y con el mejor comportamiento mecánico es el adobe-cal al 20% para el uso en viviendas de 2 niveles.

***Palabras clave:*** Adobe, cal, comportamiento mecánico, resistencia a la compresión.

# **Mechanical behavior of adobe stabilized with lime in 2-story houses in the District of Pomata - Puno 2022**

## **Abstract**

The objective of this study was to evaluate the mechanical behavior of lime-stabilized adobe in 2-story homes in a hypothetical case. The research concerns an experimental design with a quantitative approach through the evaluation of the intervening variables, having an explanatory investigation and a quasi-experimental level, an explanatory statistical analysis was carried out based on the standard deviation, where scatter diagrams and graphs were used. The results obtained from the compression resistance in blocks show that when incorporating lime in 10%, 15% and 20% the values exceeded the minimum resistance of  $10.2 \text{ kg/cm}^2$  required by the regulations. On the other hand, from the compression test in piles there was an increase of 76.22%, 83.79% and 100.31% respectively, it can be seen that with lime added at 10% and 15% it does not reach the minimum resistance of  $6.12 \text{ kg/cm}^2$  of the E.080 regulations; however, the optimal design is 20% adobe-cal. Likewise, the results of the diagonal shear resistance obtained values higher than  $0.25 \text{ kg/cm}^2$  stipulated by the standard. Finally, the mechanical behavior developed by the adobe-lime at 15% and 20% reached an elastic drift of 0.49% and 0.41% respectively, of which these drift values are below the limit. which is 0.5%, in that sense the most optimal design and with the best mechanical behavior is 20% adobe-lime for use in 2-story homes.

**Keywords:** Adobe, lime, mechanical behavior, compression resistance.

## 1 Introducción

La estabilización con cal ha demostrado ser una forma efectiva de mejorar las propiedades mecánicas del adobe, en estudio desarrollado en España ha comprobado que la estabilización con cal tiene una resistencia a la compresión hasta tres veces mayor que el adobe no estabilizado esto hace que el adobe estabilizado con cal sea un material más resistente y duradero (Abid et al., 2022). En un estudio realizado en donde se analiza el grado de influencia del contenido de cal en las propiedades mecánicas de ladrillos de adobe para viviendas de dos plantas en el Perú, ha demostrado que la adición de cal en 6%, 8% y 10% los bloques de tierra comprimida aumentan su resistencia a la compresión en 20% en relación al adobe convencional (Diaz, 2023). Sin embargo, la cantidad de cal añadida al adobe debe ser adecuada, ya que un exceso puede provocar efectos negativos, como la disminución de la resistencia a la compresión o el agrietamiento del material (Concha et al, 2020).

En la actualidad y generalmente en zonas rurales se construyen viviendas mediante el uso de esta técnica tan antigua por ser un sistema de construcción a bajo costo tanto en elaboración y en mantenimiento, sin embargo, si estas unidades no son mejoradas pueden sufrir daños en su estructura ante un eventual sismo, dado que el adobe presenta algunas desventajas como su baja resistencia a la compresión, su alta absorción de humedad y su fácil erosión. Y basándonos en datos estadísticos proporcionados por el (INEI, 2020). Se tuvo un incremento en el uso del adobe en un 60.6% en la región Puno y un 63.8% en el distrito de Pomata.

Para lograr adobe mejorados es necesario mejorar las propiedades mecánicas mediante la incorporación de cal puesto que tiene propiedades como la plasticidad, la cohesión, la impermeabilidad y la resistencia a la compresión, estas propiedades pueden beneficiar al adobe al reducir su contracción, su alabeo, su succión y su erosión, así como aumentar su durabilidad y su

comportamiento sismorresistente (Lara & Miranda, 2022). La estabilización de tierra comprimida con cal influye en las propiedades mecánicas del adobe, en donde las resistencias a la compresión y tracción de estas unidades tuvieron valores óptimos en un 15% y 16.7% con respecto al adobe tradicional (Ospina et al., 2022). En un estudio realizado afirman que la resistencia a la compresión de adobes estabilizados con melaza de caña de azúcar y cal, el segundo adiconamiento tuvo la mejor resistencia en muestras trabajadas al 5%, 10% y 15%, por ende el desarrollar adobes estabilizados depende del porcentaje de la fracción de arcilla y arena, el contenido de humedad del suelo, peso específico y del porcentaje estabilizador; en ese entender los estabilizadores naturales podrían ser una solución medioambiental para mejorar el comportamiento mecánico del adobe (Rodríguez & Solís, 2020).

Conforme se agregue un porcentaje de cal sus propiedades mecánicas mejorarán significativamente haciendo que estas unidades alcancen un grado de resistencia a la compresión y flexión optima, por otro lado, la conductividad térmica se verá afectada puesto que disminuirá en un 50% (Pinas et al., 2020). Realizando una evaluación desde el lado sismico en viviendas de 2 niveles es necesario realizar un refuerzo a los muros para evitar desplazamientos esta para preservar la estabilidad estructural (Khorasani & Kabir, 2022). Uno de los puntos importantes para el análisis de vulnerabilidad sísmica es la densidad de muros que presenta una vivienda hecha con adobe, en donde también influye la mano de obra empleada durante su etapa de construcción, la calidad de los materiales empleados, en la zona de estudio se tiene una vulnerabilidad sísmica leve del 20% pero ello no indica que no se deban priorizar una construcción favorable (Humphrey & Olubisi, 2022).

En otros estudios en donde al aplicar el 25% de fibra de palma como agente estabilizante al adobe esta logra aumentar su resistencia a la compresión (Wiehle & Brinkmann, 2022). Es

factible también la incorporación de fibra de yute al 2% puesto que hace que aumenten en un 70% su resistencia a la compresión y flexión, otros estudios mencionan que usar fibra de origen vegetal resulta ser beneficioso en la estabilización de adobes (Salih et al., 2020). Para el diseño estructural se debe ver el módulo de Young de la mampostería sin obviar valores de como de la humedad relativa y el peso específico de tal modo se pueda evaluar las cargas a flexión bajo compresión excéntrica (Domínguez & Moya, 2022).

En la elaboración de muros el mortero juega un rol importante en donde la mampostería recubierta con cal y paja aumentó en un 87% su resistencia a la compresión (Illampas et al., 2014). Otro punto imprescindible es lograr mejorar las propiedades físicas y químicas y cada agente estabilizante cumple un rol fundamental la cal al 15% tuvo un mejor comportamiento mecánico (Abdulla et al., 2020). Las unidades de adobe sometidos a pruebas de compresión dependen en gran manera de su forma (cubo, cilindro, prisma), en donde si se tiene unidades casi perfectas se podrá obtener datos más óptimos, los factores de falla ocurren en forma de grietas paralelas a la dirección de la carga (Abolfazl et al., 2022). Al analizar las propiedades mecánicas de los adobes tradicionales basándonos en las pruebas de compresión y corte los resultados mostraron un comportamiento mecánico frágil de tensión-deformación (López, 2023). En medio de esta problemática que generaría un eventual movimiento sísmico surgió la idea de mejorar los muros portantes los resultados experimentales formaron una base de datos en la aplicación de la cal en muros de adobe (Rangel & Azevedo, 2023).

El abordar cuestiones metodológicas relacionadas con la obtención de muestras de deformación las pruebas a compresión de la mampostería de adobe presentan un comportamiento cuasi-frágil (Sofía & Cuervo, 2020). El modelo virtual de una vivienda de 2 niveles las mamposterías de muro reforzado son más resistentes que las mamposterías sin refuerzo, ya que

pueden soportar hasta el 98% de la carga máxima (Miccoli et al., 2014). Entre tanto la preservación del medio ambiente es también uno de los puntos fundamentales es así que la utilización de la tierra contribuye a la eficiencia económica y protege el medio ambiente, el uso de estabilizadores de residuos promueve el desarrollo sostenible (Weinan et al., 2023).

## **2 Materiales y métodos**

Este estudio involucra un diseño experimental con muestras no probabilísticas mediante la observación y el análisis de las variables involucradas en el estudio, se empleó un enfoque cuantitativo ya que comprende la recopilación de datos para la prueba de hipótesis, teniendo un tipo de investigación explicativa y con nivel de investigación cuasi experimental. Aplicando los ensayos de resistencia a la compresión (NTP 399.613, 2003), esfuerzo a la compresión en pilas, compresión diagonal en muros (NTP 399.621, 2004) y límites de consistencia (NTP 399.129, 2003).

Por ello se elaboraron 180 unidades de adobe-cal, de los cuales se hicieron 12 cubos de 10x10x10 cm (04 cubos por cada aumento de porcentaje), también se elaboraron 12 pilas con mortero de 2cm (04 pilas por cada aumento de porcentaje), finalmente se elaboraron 12 muretes con dimensiones de 50x50cm en sogá (04 muretes por cada aumento de porcentaje), el secado de las unidades mencionadas fue a temperatura ambiente de 13° a 18°C y con una velocidad de viento de 8km/h clima del lugar de elaboración datos proporcionados según (Senamhi Puno 2022), el secado de las pilas y muretes fue a una temperatura ambiente de 16° a 20°C del campus universitario. La normativa específica que se debe cumplir con el promedio de las cuatro mejores muestras (NTP E.080, 2017), con respecto a las dimensiones de los muretes la norma nos una

dimensión aproximada, en esta investigación se optaron las dimensiones de los muros de 50x50cm todo ello para facilitar el transporte al laboratorio.

La investigación como primera fase consistió en analizar las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de adobe estabilizado con cal al 10%, 15% y 20% mediante pruebas de laboratorio; en la segunda fase se determinó y se comparó las resistencias características a compresión axial en bloques, pilas y compresión diagonal en muros elaborados con el porcentaje de cal correspondiente. Mientras que en la tercera fase se hizo un modelamiento estático mediante el software de (Sap 2000 v.16) para cada modelo de vivienda de 2 niveles con diferentes porcentajes de contenido de cal a fin de poder definir el comportamiento mecánico de estas unidades estabilizadas para viviendas de 2 niveles según la normativa E.030 y la normativa E.080 en los artículos 5 y 6.

Luego de obtener los resultados, se realizó el análisis estadístico explicativo basado en la desviación estándar, aplicando el tipo de prueba estadística anova donde se utilizaron diagramas de dispersión y gráficas haciendo uso del programa Microsoft Excel.

### **3 Revisión de literatura**

#### **3.1 Tipos de falla que presenta los muros de mampostería de adobe**

##### ***3.1.1 Falla por tensión diagonal en juntas:***

Se produce en estructuras de mampostería cuando estas se encuentran sometidas a cargas laterales, se caracteriza por la formación de una grieta diagonal que atraviesa las juntas de los bloques, su trayectoria es en forma escalonada aproximadamente al centro del murete. Esta grieta

comienza en las esquinas de los bloques y se propaga hacia el centro del murete (Ratchakrom & Rodvinij, 2021).

### **3.1.2 *Falla por deslizamiento:***

Este modo de falla se da cuando las unidades de mampostería y el mortero no presentan adherencia, como consecuencia se genera una falla por corte. Se caracteriza por la formación de una grieta diagonal que atraviesa los bloques y el mortero, su trayectoria es en forma escalonada. Esta grieta comienza en la base del muro y se propaga hacia arriba (Ratchakrom & Rodvinij, 2021).

### **3.1.3 *Falla por tensión diagonal en bloques:***

Se produce en estructuras de mampostería cuando estas se encuentran sometidas a cargas laterales, como por ejemplo las producidas por sismos o vientos fuertes. En este tipo de falla, los bloques sufren una tracción diagonal que excede su resistencia, lo que provoca la formación de una grieta que atraviesa los bloques y la mampostería (Muñoz et al., 2020).

### **3.1.4 *Falla por corte:***

Se produce en una estructura cuando la fuerza cortante que actúa sobre ella excede su capacidad resistente al corte. En las estructuras de mampostería, la falla por corte se produce con mayor frecuencia en los muros sometidos a cargas laterales, como por ejemplo las producidas por sismos o vientos fuertes. Se caracteriza por la formación de una grieta diagonal que atraviesa la mampostería. Esta grieta comienza en las esquinas del muro y se propaga hacia el centro (Muñoz et al., 2020).

### **3.1.5 *Falla por aplastamiento:***

Se produce cuando la fuerza axial que actúa sobre una estructura excede su capacidad resistente a la compresión. En las estructuras de mampostería, la falla por aplastamiento se produce

con mayor frecuencia en los muros sometidos a cargas verticales. Para evitar la falla por aplastamiento, es importante utilizar materiales de alta calidad y seguir las recomendaciones de los códigos de construcción (Muñoz et al., 2020).

Este estudio se realizó en el distrito de Pomata, provincia de Chucuito y departamento Puno, donde la población aproximada es de 17,787 habitantes, la figura 1 muestra el mapa de ubicación del distrito de Pomata a nivel local.



**Figura. 1.** Mapa de ubicación del distrito de Pomata.  
<https://www.google.com/mapadelperuporprovincias>

Con la presente investigación pretende mostrar adobes mejorados con la incorporación de cal, dado que esta técnica es de fácil adaptación en zonas de características similares al lugar de estudio todo ello para satisfacer las necesidades de familias menos pudientes; ya que es económicamente factible construir viviendas con adobe mejorado con cal puesto que estas presentan un mejor comportamiento mecánico con respecto al adobe tradicional según la normativa peruana E.080, donde se indica a nivel técnico el uso y reforzado del adobe, sin embargo, la población aun realiza sus construcciones sin una asesoría técnica, por ende, es

importante realizar una evaluación del comportamiento mecánico del adobe-cal al 10%, 15% y 20% para el distrito de Pomata, provincia de Chucuito y departamento de Puno.

## 4 Resultados y discusión

### 4.1 Propiedades físicas y mecánicas de unidades de adobe estabilizado con cal.

Las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de adobe estabilizado con cal al 10%, 15% y 20% de acuerdo a la norma de diseño y construcción con tierra reforzada E.080.



**Figura. 2.** *Cubo de adobe-cal.*



**Figura. 3.** *Pilas de adobe-cal.*



**Figura. 4.** *Muretes adobe-cal.*

### 4.2 Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión se calcula como la carga de rotura dividida por el área de la sección transversal que resiste la carga en  $10.2 \text{ kg/cm}^2$  (NTP 399.613, 2003). Los cubos elaborados para este estudio se les aplicó una carga constante y para el análisis se calculó la resistencia ( $f'_{ad}$ ) mediante la relación de la carga máxima aplicada entre el área bruta de la sección trasversal.



**Figura. 5.** *Falla por aplastamiento (adobe-cal al 10%).*

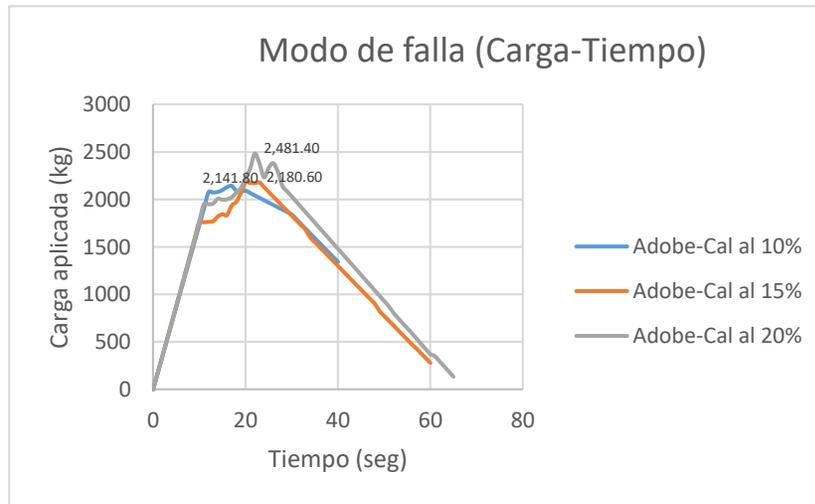


**Figura. 6.** *Falla por aplastamiento (adobe-cal al 15%).*



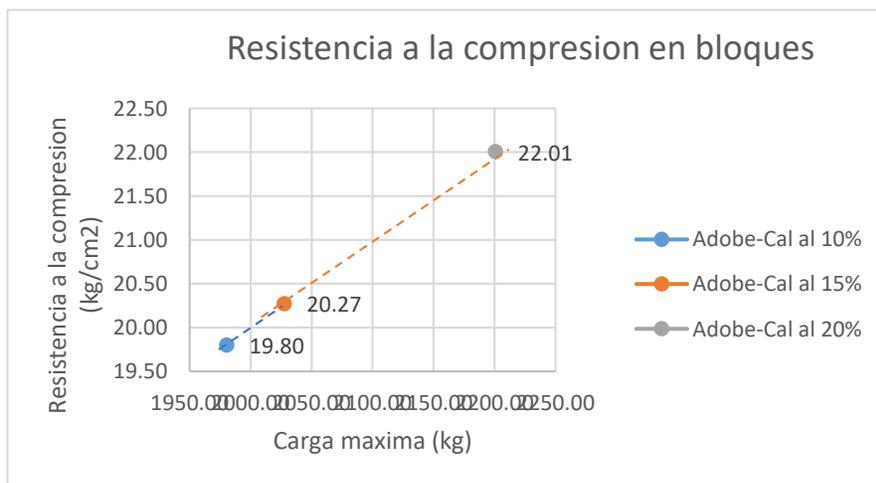
**Figura. 7.** *Falla por corte (adobe-cal al 20%).*

De la figura 5, 6 y 7, se puede apreciar los tipos de falla que se presentaron en los cubos de adobe-cal al 10%, 15% y 20% respectivamente según (Muñoz et al., 2020). Estas fallas se generan debido a que las piezas de adobe se deforman y se ponen en compresión, si la resistencia a la compresión del adobe es insuficiente, se producirá una grieta que atravesará la pieza.



**Figura. 8.** Grado de esfuerzo del adobe estabilizado.

Según la figura 8, se logra apreciar el grado de deformación de cada tipo de adobe mejorado con cal en donde el adobe-cal al 20% tiene una resistencia óptima a lo largo del tiempo transcurrido, según (Lara & Miranda, 2022) la cal actúa como un aglomerante que ayuda a unir las partículas de arcilla, esto crea una estructura más fuerte y resistente a la compresión.



**Figura. 9.** Resistencia a la compresión en bloques de adobe mejorado.

Según la figura 9, se puede ver que las unidades mejoradas con cal al 10%, 15% y 20% sus valores están por encima del requerimiento mínimo del  $10.2 \text{ kg/cm}^2$  que estipula la norma. Por tal sentido son óptimas para el diseño y aplicación según la NTP E.080.

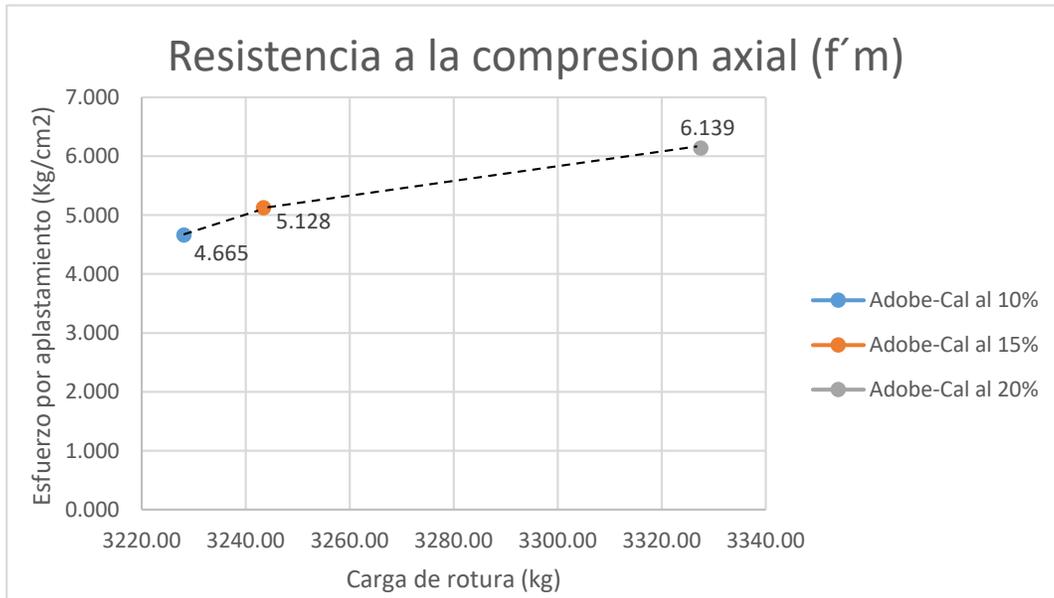
### 4.3 Compresión axial en pilas.

La resistencia de un material se define como la carga que puede soportar antes de fallar, la resistencia a la compresión axial es una medida de la capacidad de un material para resistir cargas aplicadas en su dirección axial; este factor depende de cómo se transfiere la carga al material. (NTP 399.613, 2003), establece que la resistencia por aplastamiento ( $f'm$ ) se calcula como la relación entre la carga máxima y el área bruta de la sección transversal.



**Figura. 10.** *Ensayo compresión en pilas adobe-Cal al 10%, 15% y 20% respectivamente.*

De acuerdo a la figura 10, se logra apreciar una falla por aplastamiento en las pilas adobe-cal al 10%, 15% y 20% del cual este último alcanzó un límite óptimo a razón de la carga aplicada, según (Han et al., 2023) la carga axial aplicada a la pila supera la resistencia a la compresión del adobe. Esta falla se caracteriza por la aparición de una grieta vertical que atraviesa la pila, desde la base hasta la parte superior.



**Figura. 11.** Resistencia a la compresión axial en adobe mejorado.

De acuerdo a la figura 11, se puede inferir que las pilas de adobe-cal al 10%, 15% no alcanzaron el valor mínimo que estipula la normativa E.080, sin embargo, el valor más óptimo para el diseño es el adobe-cal al 20% puesto que soporto más la carga aplicada alcanzando un esfuerzo mayor debido a que la cal crea un ligante continuo.

#### 4.4 Corte diagonal en muros.

El ensayo de compresión diagonal consiste en aplicar una carga de compresión a un componente de mampostería a lo largo de una de las diagonales, lo que da como resultado una falla por tracción con la muestra separándose paralela a la dirección de la carga aplicada. Dada su capacidad para inducir agrietamiento por cortante diagonal, ha sido ampliamente utilizado como herramienta para comparar resultados y técnicas de refuerzo (NTP 399.621, 2004). Para el cálculo del módulo de corte  $v_m$  se hará conforme a lo que indica la norma E.080.



**Figura 12.** Falla por tensión diagonal en juntas (adobe-cal al 10%)

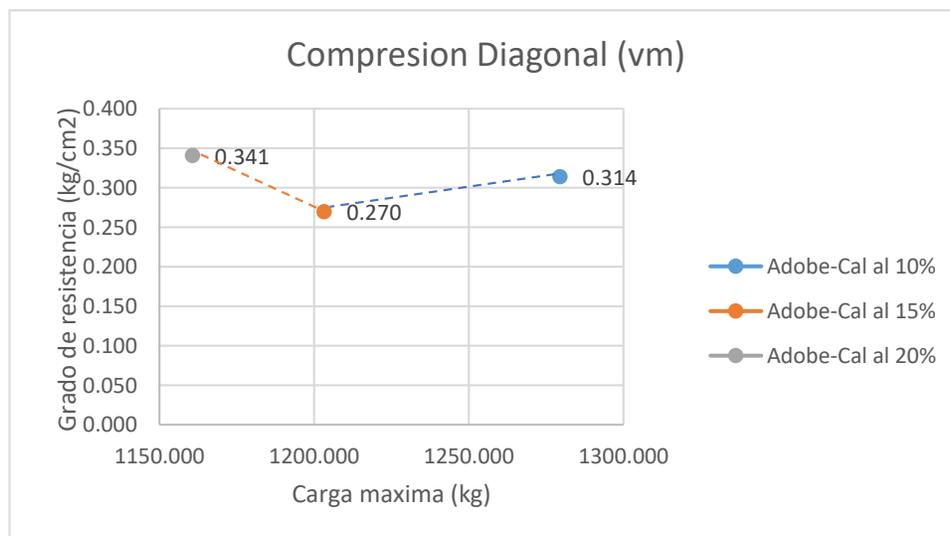


**Figura. 13.** Falla por deslizamiento (adobe-cal al 15%).



**Figura. 14.** Falla por tensión diagonal en bloques (adobe-cal al 20%).

Según la figura 12, 13 y 14, se puede apreciar los tipos de falla desarrollados en los muros de adobe-cal al 10%, 15% y 20% respectivamente; según (Ratchakrom & Rodvinij, 2021) estas fallas se generan debido a la baja resistencia a la tensión del adobe puesto que es un material frágil.



**Figura. 15.** Corte diagonal en muros de adobe mejorado.

Según la figura 15, se logra ver que los muros con cal añadida al 10%, 15% y 20% pasaron el límite mínimo de  $0.25\text{kg}/\text{cm}^2$  de la (NTP 399.621, 2004). Por lo cual los tres diseños son óptimos; según (Lara & Miranda, 2022) la adición de un 5% de cal aumenta la resistencia al corte

del adobe aproximadamente un 50%, es así que resistencia al corte del adobe mejora a medida que aumenta el contenido de cal.

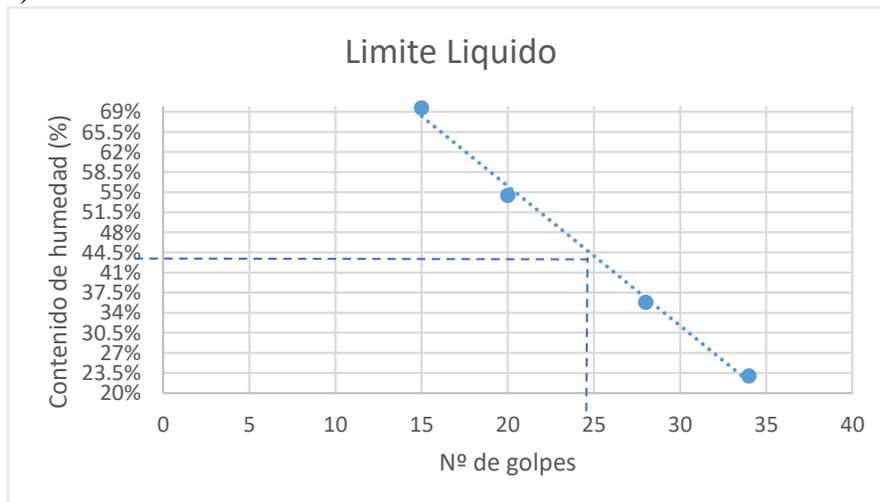


**Figura. 16.** Curva esfuerzo - deformación del adobe mejorado con cal

De acuerdo a la figura 16, se visualiza las curvas esfuerzo - deformación de muros de adobe mejorados con cal al 10%, 15% y 20%. Los tres diseños cumplen con los requisitos de la (NTP 399.621, 2004), por lo que son óptimos para el diseño.

#### 4.5 Límites de consistencia

El límite de Attberg o también conocido como límite de consistencia se basa en el concepto de que el suelo fino que existe en la naturaleza se puede encontrar en ella el estado líquido y estado plástico dependiendo de su propia naturaleza y volumen de agua que incluya según la (NTP 399.129, 2004)



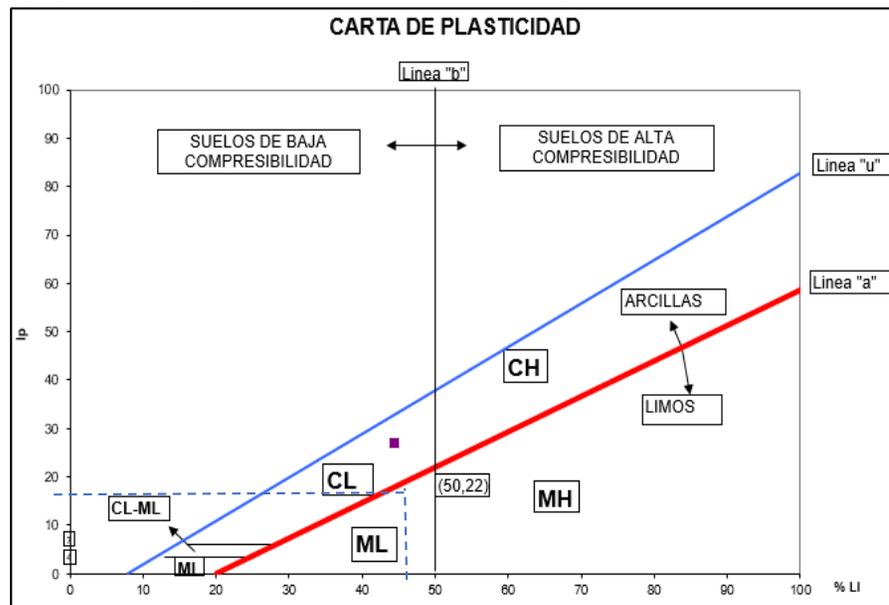
**Figura. 17.** Contenido de humedad del suelo trabajado.

Límite Líquido (%) = 44.300

Límite Plástico (%) = 26.905

Índice de Plasticidad (%) = 17.395

Según la figura 17, se observa que el límite líquido de la muestra de adobe se alcanza a los 25 golpes en el equipo de Casagrande, este valor se utilizará para calcular el contenido de humedad.



**Figura. 18.** Carta de plasticidad para la clasificacion del suelo.

<https://www.google.com/carta de plasticidad.>

De acuerdo a la figura 18, se muestra la intersección del límite líquido y el índice de plasticidad de la muestra de adobe. Este punto determina que el suelo es limoso de baja plasticidad (ML).

#### 4.6 Evaluación del comportamiento mecánico del adobe-cal para uso en viviendas de 2 niveles.

Se tiene que el P.E de la cal es de 2,300kg/cm<sup>2</sup>, para la estimación del peso específico del adobe-cal para cada porcentaje se hizo un modelo matemático. De donde se tiene:

$$\gamma_{adobe+cal} = (0.9 * 1,600) + (0.1 * 2,300) = 1,670kg/cm^2$$

$$\gamma_{adobe+cal} = (0.85 * 1,600) + (0.15 * 2,300) = 1,705 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_{adobe+cal} = (0.8 * 1,600) + (0.20 * 2,300) = 1,740 \text{ kg/cm}^2$$

**Tabla 1.**

*Propiedades mecánicas de los materiales para el modelamiento.*

		ADOBE-CAL			ADOBE
		10%	15%	20%	TRADICIONAL
	U.M				
P.E	kg/cm <sup>2</sup>	1,670.000	1,705.000	1,740.000	1,600.000
M.E	kg/cm <sup>2</sup>	3,829.839	4,023.663	4,698.753	2,040.000
C.P		0.250	0.250	0.250	0.250
f <sup>ad</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	19.800	20.273	22.005	10.200

De acuerdo a la tabla 1, los datos se utilizarán para realizar el modelamiento de la vivienda de 2 niveles en el programa Sap2000. Este programa requiere los siguientes valores para el material: peso específico, módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson y resistencia a la compresión.



Figura. 19. Definición de material (Adobe-cal).



Figura. 20. Definición de muros (Adobe-cal).

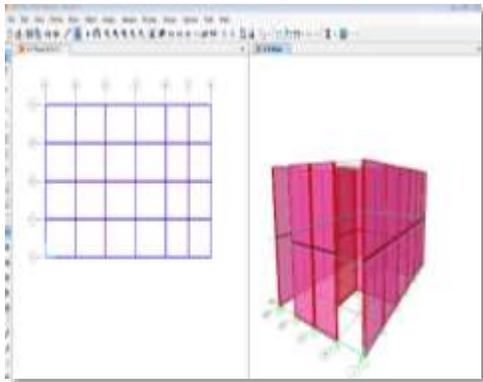


Figura. 21. Dibujo de muros en 3D.

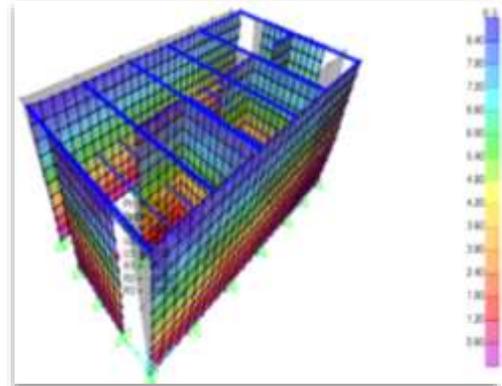
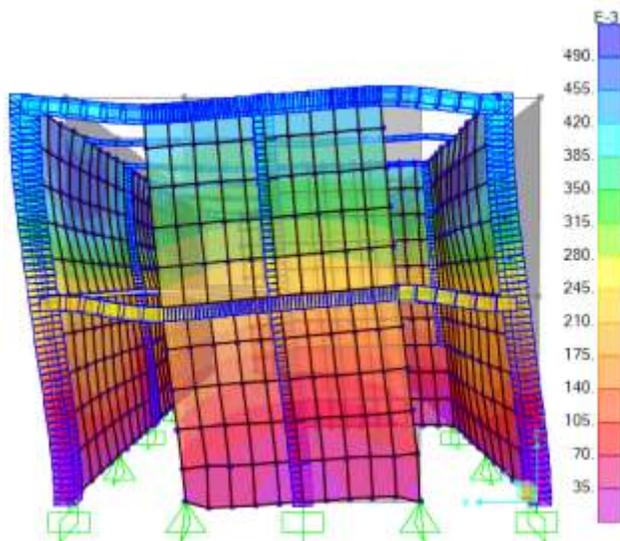


Figura. 22. Modelamiento corrido de la vivienda

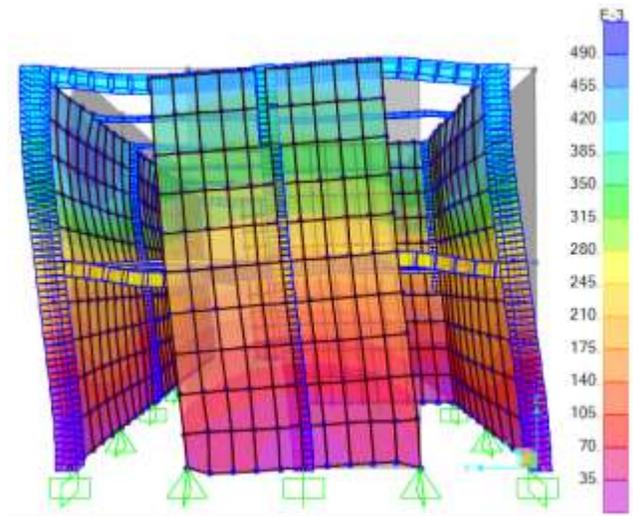
Viv. 2 niveles (Adobe-cal al 10%)



Desplazamiento dirección Y = 0.242m

Desplazamiento dirección X = 0.089m

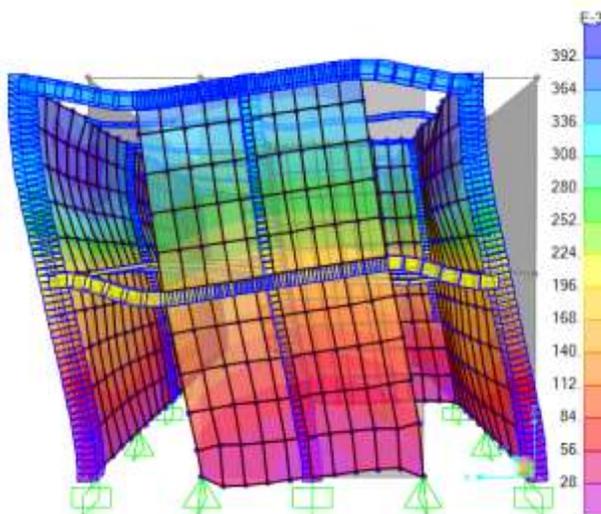
Viv. 2 niveles (Adobe-cal al 15%)



Desplazamiento dirección Y = 0.234m

Desplazamiento dirección X = 0.085m

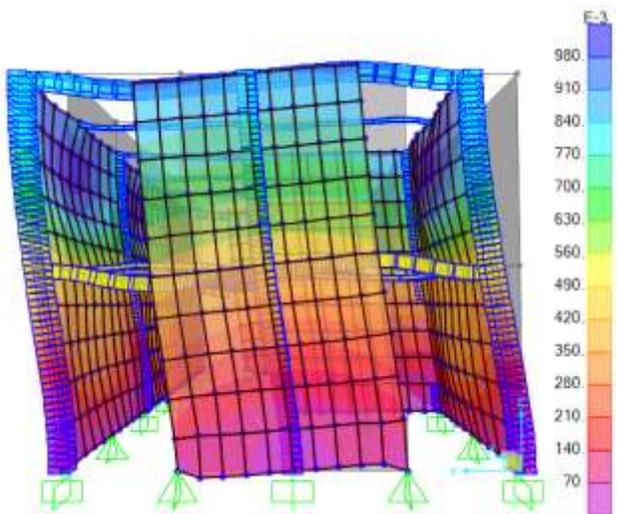
Viv. 2 niveles (Adobe-cal al 20%)



Desplazamiento dirección Y = 0.203m

Desplazamiento dirección X = 0.073m

Viv. 2 niveles (Adobe tradicional)

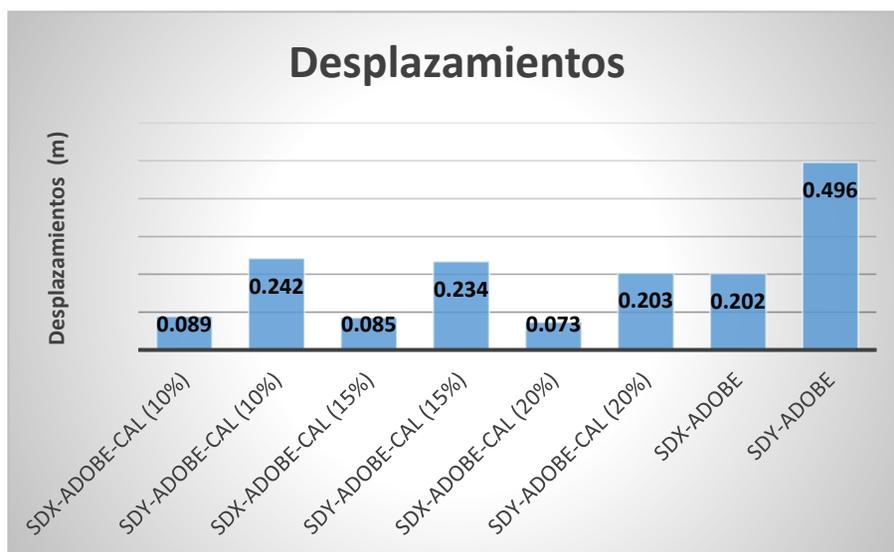


Desplazamiento dirección Y = 0.496m

Desplazamiento dirección X = 0.202m

**Figura. 23.** Modelamiento corrido de la vivienda de 2 niveles bajo el SDX y SDY.

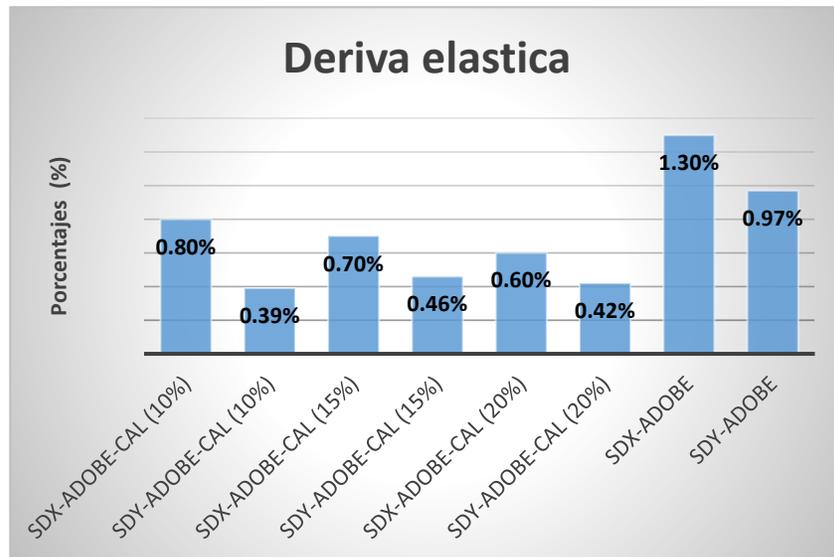
Según la figura 23, se puede apreciar el desplazamiento producido por una fuerza sísmica en la vivienda de dos niveles; en donde los muros de adobe-cal al 10%, 15%, 20% y adobe tradicional presentan un desplazamiento crítico en el eje Y de 0.242m, 0.234m, 0.203m y 0.496m respectivamente, mientras que en el sentido X la vivienda de adobe tradicional fue la que más desplazamiento ejerció; por otro lado la vivienda de adobe-cal al 20% tuvo un mejor comportamiento puesto que en los sentidos X y Y alcanzó un menor desplazamiento, esto se debe a que la cal estabiliza la arcilla, reduce la contracción y mejora la impermeabilidad hasta en un 20% haciendo que el bloque sea más resistente a los daños causados. Según la investigación desarrollada por (López, 2023), menciona que a mayor desplazamiento en una vivienda de adobe de 2 niveles esta deja el estado elástico y pasa al estado inelástico lo que genera un volteo, para ello se debe controlar que los desplazamientos no sean mayores al 2% según la normativa AIS-610-EP-2017.



**Figura. 24.** Desplazamientos desarrollados en los muros de adobe-cal.

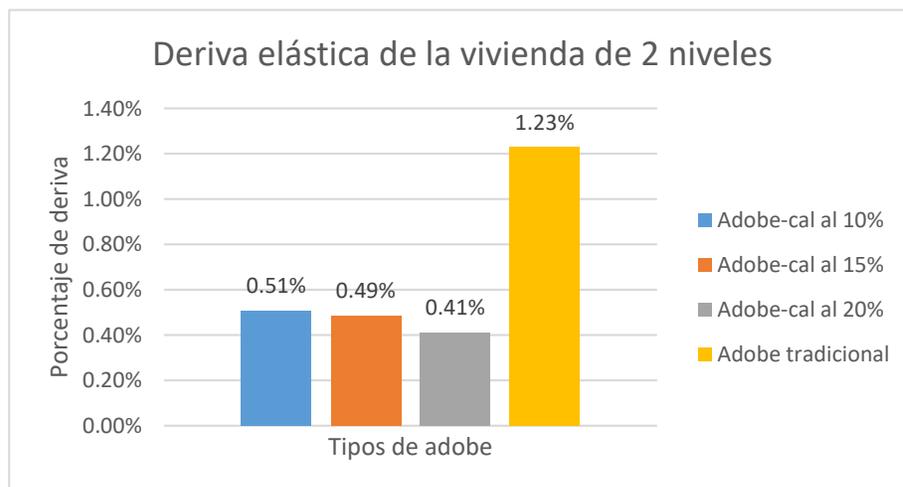
De acuerdo a la figura 24, se puede apreciar los desplazamientos desarrollados por los muros mejorados con cal al 10%, 15% y 20% en una vivienda de 2 niveles debido al empuje sísmico en las direcciones de X-Y, teniendo en cuenta que estos desplazamientos son desarrollados

en el 2do nivel siendo este el punto más crítico, del cual se puede deducir que el adobe-cal al 20% tiene un porcentaje menor de desplazamiento teniendo así un mejor comportamiento mecánico.



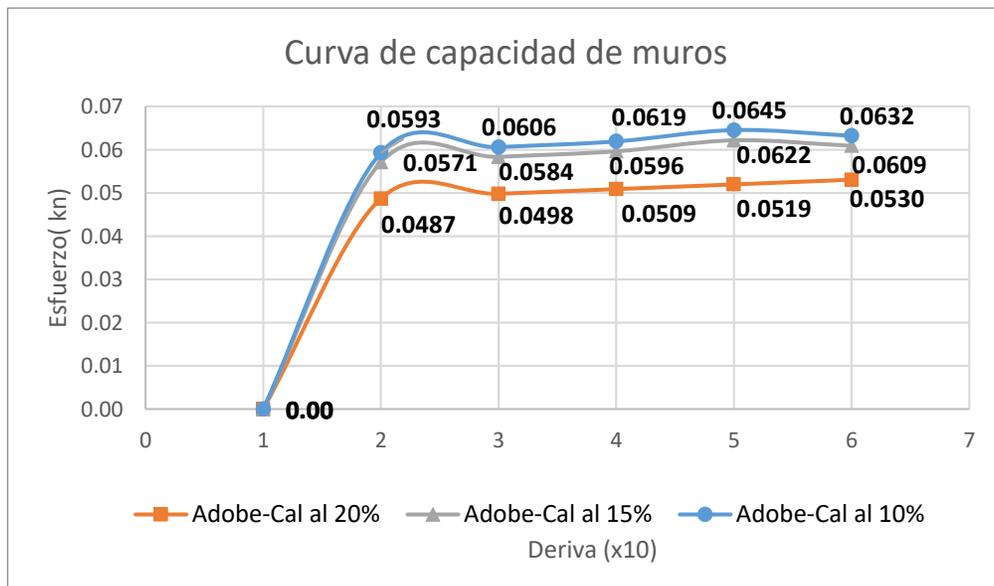
**Figura. 25.** *Porcentajes de deriva elástica desarrolladas en muros de adobe-cal.*

Según la figura 25, se puede apreciar el porcentaje desarrollado por los muros de adobes-cal al 10%, 15% y 20% en una vivienda de 2 niveles debido al empuje sísmico en las direcciones de X-Y, teniendo en cuenta que los porcentajes de deriva son desarrollados en el 2do nivel siendo este el punto más crítico, del cual se puede deducir que el adobe-cal al 20% tiene un porcentaje menor de deriva elástica teniendo así un mejor comportamiento mecánico.



**Figura. 26.** *Deriva elástica de la vivienda de 2 niveles.*

Conforme a la figura 26, se puede apreciar la deriva elástica desarrollada por la vivienda de 2 niveles de adobe-cal al 20% del cual se puede deducir que la estructura es considerada como cerca al colapso o colapsada, cuando se alcanza la deriva de 0.5%; según (López, 2023) & (Tarque et al., 2009) que la deriva lateral no debería superar el 2% y 0.5% valor dado por la E.030, puesto que si el valor de deriva elástica fuera mayor la vivienda pasara del estado elástico al estado inelástico haciendo que esta genere un momento de volteo.



**Figura. 27.** Curva de capacidad para muros de adobe-cal al 10%, 15% y 20% sujetos a cargas en su plano.

De acuerdo a la figura 27, se puede ver la curva de capacidad de los muros de adobe-cal 10%, 15% y 20% en la vivienda de 2 niveles en donde este último muestra que el muro tiene una buena capacidad de carga, ya que puede soportar cargas elevadas sin sufrir daños permanentes, la deriva máxima del muro es de 0,0530 mm, el esfuerzo máximo del muro es de  $1.25 \text{ kn/m}^2$ , que es un valor razonable para un muro de adobe con cal al 20%. La pendiente de la curva en la zona elástica es relativamente alta, lo que indica que el muro tiene una buena rigidez, la curva tiene una forma relativamente suave, lo que indica que el muro tiene una buena ductilidad y la curva tiene

un punto de inflexión bien definido, lo que indica que la transición entre la zona elástica y la zona plástica es clara.

La investigación desarrollada pudo demostrar que el adobe estabilizado con cal al 20% es el más óptimo para el uso en viviendas de 2 niveles a razón de que tuvo una mejor resistencia a la compresión, axial y al corte, todo ello influyo en el modelamiento teniendo un mejor comportamiento mecánico reduciendo el desplazamiento lateral en un 0.41% con respecto a una vivienda de adobe tradicional de 1.23%. El adobe-cal al 20% tuvo una deriva elástica óptima para un periodo de vibración de  $T = 0.54\text{seg}$ ; la estabilización con cal es bastante beneficiosa puesto que ayuda a controlar los daños no estructurales y garantizar un comportamiento óptimo de la estructura ante un sismo. Por consecuente el estudio ha demostrado que la estabilización con cal ha logrado que la vivienda no se desplome rápidamente haciendo que los ocupantes tengan un tiempo prudente para desalojar si se produjese un eventual movimiento sísmico.

#### 4.7 Análisis estadístico

**ANOVA**

VAR00002

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4.541	2	2.270	7.702	.011
Dentro de grupos	2.653	9	.295		
Total	7.193	11			

**Figura. 28.** Prueba estadística ANOVA

Fuente: IBM – SPSS Statistics

Según la figura 28, se muestra que el número de cuadrados es significativamente mayor en el grupo de tratamiento que en el grupo de control de donde el valor F de 7.702 es mayor que el valor crítico de F de 3.841 para un nivel de significancia de  $0.011 < 0.05$  por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de que todas las medias son similares, y se acepta la hipótesis alterna de donde no todas las medias son similares en el comportamiento mecánico del adobe estabilizado con cal

y el adobe sin estabilizar. La incorporación de cal en el adobe tiene un efecto significativo en el comportamiento mecánico mejorando su resistencia a cargas verticales y horizontales;

**VAR00002**

Scheffe<sup>a</sup>

VAR00001	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
1.00	4	9.9378	
2.00	4	11.0360	11.0360
3.00	4		11.3803
Sig.		.054	.680

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.

**Figura. 29.** *Análisis de comparación de varianzas - Scheffe*

Fuente: IBM – SPSS Statistics

De acuerdo a la figura 29, la estadística de Henry Scheffe nos menciona que la muestra 1 es diferente a la muestra 2 y 3, por lo tanto, scheffe garantiza la aceptación de la hipótesis alterna, esto significa que existe una diferencia significativa en la resistencia a la compresión entre los tres grupos. El adobe estabilizado con cal al 20% tiene la media alta, seguido del adobe estabilizado con cal al 15% y 10%; esto significa que el adobe estabilizado con cal al 20% tiene una resistencia a la compresión significativamente mayor que el adobe tradicional.

## 5 Conclusiones

El estudio determinó que la vivienda de 2 niveles de adobe estabilizado con cal al 10%, 15% y 20% alcanzaron un desplazamiento lateral de 0.51%, 0.49% y 0.41% respectivamente, por otro lado, la vivienda de adobe convencional mostró un desplazamiento lateral de 1.23%, de los resultados obtenidos se puede deducir que la vivienda de 2 niveles de adobe-cal al 20% tiene un comportamiento mecánico óptimo puesto que desarrolla una desplazamiento lateral menor al 2%,

puesto se considera que una estructura con un buen desempeño sísmico cuando ésta desarrolla una deriva elástica baja. De las pruebas de laboratorio, la resistencia a la compresión en bloques muestran que cuando se agrega cal al 10%, 15% y 20%, el valor supera la resistencia mínima de  $10.2 \text{ kg/cm}^2$  exigida por la normativa; de los ensayos de resistencia a la compresión en pilas demostraron que el adobe con cal añadida en 10%, 15% y 20% aumentó en 76.22%, 83.79% y 100.31% respectivamente, de la cual con cal añadida al 10% y 15% no alcanzó la resistencia mínima de  $6.12 \text{ kg/cm}^2$  de la norma E.080; sin embargo, el diseño óptimo alcanzado fue el adobe estabilizado con un 20% de cal en esta prueba; por otro parte, de la resistencia al corte diagonal en muros de adobe-cal al 10%, 15% y 20% obteniendo valores superiores a los  $0.25 \text{ kg/cm}^2$  marcados reglamentariamente. En el Modelamiento se pudo observar que una vivienda con un 20% de cal el adobe mejoró su desempeño mecánico en un 1.02% en respuesta a un evento sísmico, evitando que las paredes se agrieten con facilidad, lo que no ocurría con una vivienda de adobe convencional, que cuando se alcanza la carga máxima, aparecen grietas en las zonas vitales, por lo que la vivienda no puede soportar fuerzas laterales. En una vivienda de 2 niveles de adobe-cal al 20% al exponerla a cargas directas y constantes logró soportar el 13.210% de las mismas, de lo cual podemos concluir que tenía mejores características mecánicas, en cambio con una cal añadida al 15% alcanzaron una resistencia del 9.970% a las cargas aplicadas, y el valor alcanzado por el adobe-cal al 10% fue del 8.789%; por otro lado, la vivienda con adobe convencional logró alcanzar un 5.995% de resistencia a las cargas aplicadas.

## **6 Recomendaciones**

Utilizar materiales de alta calidad. Los adobes estabilizados con cal deben estar elaborados con materiales de alta calidad, como arcilla, cal y paja. La arcilla debe ser plástica y no debe contener demasiado limo o arena, la mezcla debe ser fina no debe contener piedrecillas, la cal debe ser hidratada y no debe contener impurezas y la huaylla debe ser limpia y seca.

Seguir las proporciones adecuadas. La proporción de cal en los adobes estabilizados con cal debe ser de aproximadamente el 5% del peso de la arcilla. Esta proporción ayudará a mejorar la resistencia y durabilidad de los adobes.

Mezclar los materiales adecuadamente los materiales deben mezclarse bien hasta obtener una mezcla homogénea. La mezcla debe ser lo suficientemente húmeda para que se pueda moldear fácilmente, pero no tan húmeda que se escurra.

Moldear los adobes correctamente. Los adobes deben moldearse con cuidado para que tengan una forma uniforme y un tamaño adecuado. Los adobes deben tener un espesor mínimo de 10cm.

Secar los adobes correctamente. Los adobes deben secarse a la sombra, para evitar que se agrieten. El tiempo de secado depende de las condiciones climáticas, pero generalmente es de al menos 15 días; pero para la obtención de resultados óptimos se usó la normativa E.080 donde indica el secado de 28 días.

Además de estas recomendaciones, es importante seguir las normas de construcción vigentes en el país donde se vaya a construir la vivienda.

## Declaración de interés en competencia

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en competencia ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo informado en este documento.

## 7 REFERENCIAS

- Abdulla, K. F., Cunningham, L. S., & Gillie, M. (2020). Experimental Study on the Mechanical Properties of Straw Fiber–Reinforced Adobe Masonry. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(11).
- Abid, R., Kamoun, N., Jamoussi, F., & El Feki, H. (2022). Fabrication and properties of compressed earth brick from local Tunisian raw materials. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 61(5), 397-407.
- Abolfazl, E., Hosein, M., & Hosein, M. B. (2022). Palm fiber as a natural reinforcement for improving the properties of traditional adobe bricks. *Construcción y Materiales - Science Direct*, 325(126808).
- Concha-Riedel, J., Antico, F. C., & Araya-Letelier, G. (2020). Mechanical and damage similarities of adobe blocks reinforced with natural and industrial fibres. *Revista Materia*, 25(4), 1-11.
- Díaz-Olivares, G. (2023). Influencia del contenido de cal en las propiedades mecánicas de ladrillos de adobe para viviendas de dos plantas en el Perú. *Materiales de Construcción y Construcción*, 313.

- Domínguez Santos, D., & Moya Bravo, J. A. (2022). Comportamiento estructural y mecánico del adobe con adición de fibras de polietileno de alta densidad para la construcción de edificios de baja altura. *Engineering Failure Analysis*, 139, 40.
- Humphrey, D., & Olubisi, I. (2022). Caracterización Experimental de Ladrillos de Adobe Estabilizados con Cáscara de Arroz y Cal para Construcción Sostenible. *ASCE LIBRARY*, 40.
- Khorasani, F. F., & Kabir, M. Z. (2022). Experimental study on the effectiveness of short fiber reinforced clay mortars and plasters on the mechanical behavior of adobe masonry walls. *Case Studies in Construction Materials*, 16(September 2021).
- Lara Ojeda, R. A., & Miranda Vida, J. M. (2022). Un Nuevo Criterio de Mezcla para la Mejora de la Resistencia a la Compresión del Adobe Utilizando Zeolita como Estabilizador. *KSCE de Ingeniería civil*, 3549-3559.
- López Pérez, C. T. (2023). Reforzamiento estructural de edificaciones patrimoniales en tierra de 1 y 2 pisos: aplicación de la normativa AIS-610-EP-2017. *Informes de la Construcción*, 75(269).
- Illampas, R., Ioannou, I., & Charmpis, D. C. (2014). Adobe bricks under compression: Experimental investigation and derivation of stress–strain equation. *Construction and Building Materials*, 53, 83–90.
- Miccoli, L., Müller, U., & Fontana, P. (2014). Mechanical behaviour of earthen materials: A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob. *Construction and Building Materials*, 61, 327–339.

- Muñoz, P., Letelier, V., Muñoz, L., & Bustamante, M. A. (2020). Adobe bricks reinforced with paper & pulp wastes improving thermal and mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 254.
- NTP E.080 (2017). Diseño y construcción con tierra reforzada, Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.
- NTP 399.613, (2003). Norma Técnica peruana “Ensayo resistencia a la compresión y compresión en pilas”.
- NTP 399.621, (2004). Norma Técnica peruana. “Ensayo de Compresion diagonal en muretes de albañilería”.
- NTP 339.129, (2003). Norma Técnica peruana” Ensayo de límites de consistencia”, 2003.
- Ospina Henao, P. A., Oñate Ballesteros, R. D., & Peñaranda Vega, J. S. (2022). Analysis of the stresses obtained in adobe walls without reinforcement against lateral loads obtained through modeling in SAP 2000. *Journal of Physics: Conference Series*, 2307(1).
- Pinas, J. M., Lira, L., Horn, M., Solis, J. L., & Gómez, M. M. (2020). Influence of Stipa ichu on the thermal and mechanical properties of adobe as a biocomposite material. *Journal of Physics: Conference Series*, 1433(1).
- Rangel, A., & Azevedo, G. De. (2023). *Evaluation of the Properties of Adobe Blocks with Clay and Manure, Campus Rio Paranaíba, Federal University of Viçosa (UFV), Highway BR 230 Km 7, Rio Paranaíba 38810-000, Brazil*
- Ratchakrom, C., & Rodvinij, P. (2021). Mechanical Behavior of Adobe Bricks Reinforced With Water Hyacinth Fiber. *International Journal of GEOMATE*, 21(85), 10-16.

- Rodríguez-Mariscal, J. D., & Solís, M. (2020). Hacia una metodología para la caracterización experimental del comportamiento a compresión de la mampostería de adobe. *Informes de la Construcción*, 72(557), 332.
- Salih, M. M., Osofero, A. I., & Imbabi, M. S. (2020). Critical review of recent development in fiber reinforced adobe bricks for sustainable construction. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 14(4), 839-854.
- Sofia, Lady, & Cuervo, R. (2020). Adobe bricks with sugarcane molasses and gypsum to enhance compressive strength in the city Cogua, Colombia. *Revista de la Construcción*, 19(3), 358-365.
- Tarque N, Crowley H, Varum H, Pinho R, Contratado P. (2009). Parámetros estructurales de las viviendas de adobe (cusco, Perú) para la evaluación del desempeño; *Revista de la construcción*; 12:699783
- Weinan Han, F. W., Cheng, C., Haitao, W., & Shenglin, C. (2023). Comportamiento compresivo de mampostería de adobe reforzada con compuestos de matriz reforzada con fibra de vidrio. *Springer Link (Materiales y Estructuras)*, 53.
- Wiehle, P., & Brinkmann, M. (2022). Material behaviour of unstabilised earth block masonry and its components under compression at varying relative humidity. *Case Studies in Construction Materials*, 17(e01663), e01663.
- Zhang, J. F., Pang, S. Y., Gao, J. W., Deng, E. F., Wang, H., & Zhao, J. J. (2020). Experimental study on seismic behaviour of adobe wall reinforced with cold-formed thin-walled steel. *Thin-Walled Structures*, 147(September 2019), 106493.

# ANEXOS

## Anexo A. Evidencia de sumisión a una revista indexada.

The screenshot displays a journal submission interface. At the top, the article title is "Mechanical behavior of adobe stabilized with lime in 2-story houses in the District of Pomata - Puno 2022" by "Agulsa Pari et al.". The page is divided into two main sections: "Submission Files" and "Pre-Review Discussions".

**Submission Files:** A table lists the submitted files. The first entry is "204733-1\_02431717\_Articulo-experimental-no-probabilistico.docx", dated "November 16, 2023", and categorized as "Article Text". A "Download All Files" button is located at the bottom right of this section.

Name	Item	Last Reply	Replies	Closed
204733-1_02431717_Articulo-experimental-no-probabilistico.docx				

**Pre-Review Discussions:** A table shows the discussion history. One entry is "Comments for the Editor", dated "2023-11-16 12:05 PM", with 0 replies and a closed status.

Name	Item	Last Reply	Replies	Closed
Comments for the Editor	02431717	-	0	<input type="checkbox"/>
	2023-11-16 12:05 PM			

Anexo B. Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo.



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

**RESOLUCIÓN N° 0718-2023/UPeU-FIA-CF-T**

Lima, Ñaña 28 de noviembre de 2023

**VISTO:**

El expediente de **Elder Johap Nina Flores**, identificado(a) con código universitario N° **201522429** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

**CONSIDERANDO:**

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del proyecto de tesis;

Que **Elder Johap Nina Flores** ha solicitado la modificación de la denominación del proyecto de tesis titulado ""Comportamiento mecánico del adobe tradicional y adobe estabilizado con restos de viruta y cal para fines constructivos en el distrito de Pomata – Puno 2022";

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 28 de noviembre de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

**SE RESUELVE:**

Aprobar la modificación de la denominación del proyecto de tesis titulado: "Comportamiento mecánico del adobe tradicional y adobe estabilizado con restos de viruta y cal para fines constructivos en el distrito de Pomata – Puno 2022", por el de: "Comportamiento mecánico del adobe estabilizado con cal en viviendas de 2 niveles en el distrito de Pomata – Puno 2022", en el registro respectivo y disponer que con la orientación de su asesor el(la) **Ing. Juana Beatriz Aquise Pari.**, sea desarrollado y ejecutado el proyecto de tesis por **Elder Johap Nina Flores**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución, a partir de la inscripción inicial.

Regístrese, comuníquese y archívese.



  
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
**DECANA**



  
Mg. Ketty Magaly Arellano Lino  
**SECRETARIA ACADÉMICA**

cc:  
- Interesado  
- Asesor  
- DGI  
- Archivo

Anexo C. Instrumentos de recolección de datos.

Tesis:	Comportamiento mecánico del adobe estabilizado con cal en viviendas de 2 niveles en el Distrito de Pomata – Puno 2022
Ensayo:	Resistencia a la compresión
Estudiante:	1. Elder Johap Nina Flores

ESFUERZOS DE ROTURA MINIMOS											
Muestra de adobe - cal Nº	Fecha de ensayo	Peso (kg)	Ancho (cm)	Longitud (cm)	Altura (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Vel (kgf/s)	fo (kgf)	fomax (kgf/cm <sup>2</sup> )	Promedio fc (kgf)	Promedio fcm <sub>max</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )
M-10%	02/05/2023	1.35	10.00	10.00	10.00	600.00	300.00	2,060.50	20.60	1980.525	19.800
M-10%	02/05/2023	1.34	10.00	10.00	10.00	600.00	300.00	2,141.80	21.41		
M-10%	02/05/2023	1.33	10.00	10.00	10.00	600.00	300.00	1,803.40	18.03		
M-10%	02/05/2023	1.32	10.00	10.00	10.00	600.00	300.00	1,916.40	19.16		
M-15%	02/05/2023	1.30	10.00	10.00	10.00	600.00	300.00	2,018.60	20.18	2027.650	20.273
M-15%	02/05/2023	1.34	10.00	10.00	10.00	600.00	300.00	2,182.60	21.82		
M-15%	02/05/2023	1.25	10.00	10.00	10.00	600.00	300.00	1,945.10	19.45		
M-15%	02/05/2023	1.35	10.00	10.00	10.00	600.00	300.00	1,964.30	19.64		
M-20%	02/05/2023	1.31	10.00	10.00	10.00	600.00	300.00	1,937.60	19.37	2200.850	22.005
M-20%	02/05/2023	1.30	10.00	10.00	10.00	600.00	300.00	2,368.20	23.68		
M-20%	02/05/2023	1.28	10.00	10.00	10.00	600.00	300.00	2,016.20	20.16		
M-20%	02/05/2023	1.22	10.00	10.00	10.00	600.00	300.00	2,481.40	24.81		

Tesis:	Comportamiento mecánico del adobe estabilizado con cal en viviendas de 2 niveles en el Distrito de Pomata – Puno 2022
Ensayo:	Compresión en pilas
Estudiante:	1. Elder Johap Nina Flores

COMPRESION EN PILAS										
Muestra de adobe - cal Nº	Fecha de ensayo	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga aplicada (kn)	Esfuerzo admisible (f'm) (kgf/cm <sup>2</sup> )	Promedio (fm)	Desviacion estandar	Esfuerzo por aplastamiento fm
M-10%	30/05/2023	24.00	13.00	46.20	312.00	33.21	10.854	5.500	0.835	4.665
M-10%	30/05/2023	24.00	13.00	46.00	312.00	31.02	10.138			
M-10%	30/05/2023	24.00	13.00	46.20	312.00	30.36	9.922			
M-10%	30/05/2023	24.00	13.00	46.00	312.00	27.04	8.837			
M-15%	30/05/2023	24.00	13.00	46.40	312.00	33.81	11.050	5.440	0.312	5.128
M-15%	30/05/2023	24.00	13.00	46.00	312.00	34.32	11.217			
M-15%	30/05/2023	24.00	13.00	46.20	312.00	32.41	10.592			
M-15%	30/05/2023	24.00	13.00	46.20	312.00	34.53	11.285			
M-20%	30/05/2023	24.00	13.00	46.40	312.00	35.36	11.557	6.438	0.299	6.139
M-20%	30/05/2023	24.00	13.00	46.00	312.00	33.52	10.955			
M-20%	30/05/2023	24.00	13.00	46.00	312.00	35.55	11.619			
M-20%	30/05/2023	24.00	13.00	46.30	312.00	34.85	11.390			

Tesis:	Comportamiento mecánico del adobe estabilizado con cal en viviendas de 2 niveles en el Distrito de Pomata – Puno 2022
Ensayo:	Compresión diagonal en muros
Estudiante:	1. Elder Johap Nina Flores

COMPRESION DIAGONAL EN MUROS														
Muestra de adobe - cal Nº	Fecha de ensayo	Edad en días	Largo (cm)		Diagona l (cm)	Espesor (cm)	Carga aplicada P (Kn)	Area A (cm2)	ft (kg/cm2)	vm (kg/cm2)	Prom. (ft)	Prom. (vm)	Desv. Estan	Prom. Final vm
			L1	L2										
M-10%	11/07/2023	28	50	50	70.710	13.000	14.980	2500.000	1.175	0.470	0.973	0.389	0.075	0.314
M-10%	11/07/2023	28	51	51	72.120	13.000	12.960	2601.000	0.997	0.399				
M-10%	11/07/2023	28	50	50	70.710	13.000	9.190	2500.000	0.721	0.288				
M-10%	11/07/2023	28	51.2	51.2	72.400	13.000	13.060	2621.440	1.000	0.400				
M-15%	11/07/2023	28	51	51	72.120	13.000	11.990	2601.000	0.922	0.369	0.893	0.357	0.087	0.270
M-15%	11/07/2023	28	50	50	70.710	13.000	11.290	2500.000	0.886	0.354				
M-15%	11/07/2023	28	50	50	70.710	13.000	14.640	2500.000	1.148	0.459				
M-15%	11/07/2023	28	51.1	51.1	72.260	13.000	8.030	2611.210	0.616	0.247				
M-20%	11/07/2023	28	51.2	51.2	72.400	13.000	10.520	2621.440	0.806	0.322	1.029	0.412	0.071	0.341
M-20%	11/07/2023	28	50	50	70.710	13.000	15.710	2500.000	1.232	0.493				
M-20%	11/07/2023	28	51	51	72.120	13.000	13.060	2601.000	1.004	0.402				
M-20%	11/07/2023	28	51.2	51.2	72.400	13.000	14.010	2621.440	1.073	0.429				

Tesis:	Comportamiento mecánico del adobe estabilizado con cal en viviendas de 2 niveles en el Distrito de Pomata – Puno 2022
Ensayo:	Limites de consistencia
Estudiante:	1. Elder Johap Nina Flores

	Límite Líquido				Límite Plástico	
N° De Tara	TT-002	TT-031	TT-020	TT-099	TT-019	TT-024
N° De Golpes	15	20	28	34	-	-
Peso de Tara	8.37	8.63	8.64	7.89	8.04	7.89
P. de Tara + M. húmeda	21.69	26.53	37.75	40.23	9.41	9.11
P. Tara + Muestra seca	16.22	20.22	30.07	34.188	9.11	8.86
Peso de Agua	5.47	6.31	7.68	6.042	0.3	0.25
Peso de Muestra seca	7.85	11.59	21.43	26.298	1.07	0.97
Contenido de Humedad	69.682	54.443	35.838	22.975	28.037	25.773
<b>RESULTADO</b>	45.734				26.905	
Fecha de ensayo	16/05/2023					

Límite Líquido (%) = 44.300  
Límite Plástico (%) = 26.905  
Índice de Plasticidad (%) = 17.395