

Analysis of the Maximum Tension in Adobes Incorporating Plant Materials such as Toquilla Straw Fiber and Ichu

Julio Gean Pierre Marín Alfaro¹; Orlando Aguilar Aliaga²

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00027404@upn.pe

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

Abstract – The objective of the research is to calculate the maximum axial tension when incorporating plant materials such as Toquilla Straw Fiber and Ichu. For the experimental process, the soil was extracted from the "El Tambo" - Cruz Blanca quarry. The results obtained in the laboratory showed that the maximum axial tension of the standard adobe is 20.18 kg/cm² and when incorporating Toquilla Straw by 6%, it increases by 29.14 kg/cm², and when 4% of Ichu Straw is added, the maximum tension axial increases to 28.11 kg/cm². The values obtained showed that the adobes with the incorporation of toquilla straw are higher than those obtained with ichu straw; In addition to this, the adobes with both vegetable fibers (toquilla straw and ichu) are greater than the minimum resistance specified in Standard E-080 of the National Building Regulations (RNE). Concluding that the adobes with the best results are those with the incorporation of Toquilla Straw in 6%. It should be clarified that depending on the type of soil to be used, these values may vary, according to AASHTO the soil to be used is A-6(5) and SUCS, the material used for the adobes is CL.

Keywords: Adobe, maximum axial tension, toquilla straw, ichu straw, soil.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.301>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

Análisis de la Máxima Tensión en Adobes Incorporando Materiales Vegetales como Fibra de Paja Toquilla e Ichu

Julio Gean Pierre Marín Alfaro¹; Orlando Aguilar Aliaga²

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00027404@upn.pe

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

Resumen – El objetivo de la investigación es la de calcular la máxima tensión axial al incorporar materiales vegetales como la Fibra de Paja Toquilla y Ichu. Para el proceso experimental se extrajo el suelo de la cantera “El Tambo” – Cruz Blanca. Los resultados obtenidos en laboratorio demostraron que la máxima tensión axial del adobe patrón es 20.18 kg/cm² y al incorporarle la Paja Toquilla en un 6% se incrementa en 29.14 kg/cm², y cuando se le adiciona 4% de Paja Ichu la máxima tensión axial aumenta a 28.11 kg/cm². Los valores obtenidos demostraron que los adobes con incorporación de paja toquilla son mayores a los obtenidos con paja ichu; adicionalmente a ello, los adobes con ambas fibras vegetales (paja toquilla e ichu) son mayores que la resistencia mínima que especifica en la Norma E-080 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Concluyendo que, los adobes con mejores resultados son aquellos con incorporación de Paja Toquilla en 6%. Se debe aclarar que dependiendo del tipo de suelo a emplear pueden variar dichos valores, según AASHTO el suelo a emplear es A-6(5) y SUCS, el material utilizado para los adobes es CL.

Palabras clave: Adobe, máxima tensión axial, paja toquilla, paja ichu, suelo.

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es un material de origen natural y está disponible en abundancia, por lo que ha sido muy utilizada alrededor del mundo. El adobe se puede utilizar en la construcción sostenible, reduciendo el gasto en materiales de construcción industrializados, cubriendo las necesidades sociales y culturales de vivienda, al garantizar la satisfacción de demanda de vivienda a bajo costo. [1]

La tierra en forma de unidades de adobe, ha sido a lo largo de la historia uno de los materiales más utilizados para las construcciones de edificaciones en gran parte del Perú. Sin embargo, debido a su vulnerabilidad a la acción del agua y a los sismos, ha caído en un retroceso en su aplicación como material de construcción [2].

Para evaluar la factibilidad de un polímero natural local (Cabuya andina) como estabilizador del adobe tradicional y las condiciones necesarias para garantizar su acción estabilizante. Los resultados demuestran que el extracto de Cabuya necesita un tiempo mínimo de maceración de 5 días y un óptimo de 10 para activar sus propiedades estabilizantes y lograr mejorar significativamente la resistencia al agua del adobe. [3] La

resistencia a la compresión y a la flexión mejoran en un 9,6% y 133,7% respectivamente, mientras que la resistencia a la acción del agua mejora notablemente, haciéndolo competitivo con otros materiales estabilizantes como la cal o el cemento.

La causa del mal comportamiento sísmico de estas construcciones se debe a su gran peso de la estructura, a su baja resistencia y a su comportamiento frágil. Durante sismos severos, estas construcciones desarrollan grandes fuerzas de inercia que son incapaces de resistir y por ello fallan violentamente [4].

Además, se realizó una evaluación experimental del adobe agregándole cascarilla de arroz. El estudio comprendió en la elaboración de especímenes de adobe con cascarilla de arroz, los cuales fueron sometidos a pruebas de laboratorio para compararlos con el adobe tradicional. Concluyendo que el adobe mejorado incrementa la resistencia a la compresión con respecto al adobe tradicional de 1.31 MPa a 2.37 MPa, es decir que la resistencia incremento un 75.3%. [5] También se incrementó la resistencia a la flexión de 2.6 kg/cm² a 6.2 kg/cm², así como también una reducción en la absorción retardando la saturación del material.

La ciudad de Cajamarca se encuentra en una zona 3 de alta sismicidad teniendo en cuenta las normas de diseño sismo resistente y también observada el crecimiento urbano desmedido que está teniendo la región, ya que se construye con adobes normales. [6] La información que genere la investigación podrá ser útil para mejorar la construcción con este material, reforzado que permitirá tener edificaciones más seguras ante desastres naturales.

Hay necesidad de la población de tener una vivienda en Cajamarca en especial en la zona rural, obliga a buscar alternativas de solución, en la actualidad la mayoría de la población está dejando de construir con el adobe; sin embargo, en la zona rural se sigue utilizando con gran intensidad a pesar de que estas viviendas no tienen mucha resistencia a los movimientos sísmicos y su poca durabilidad por la falta de conocimiento del adobe reforzado.

Teniendo en cuenta que la población cajamarquina tanto en el ámbito urbano como en la rural todavía usa el adobe como material de construcción; sin embargo, este no es muy resistente a fuerza externas; es por ello que se busca otras alternativas, que mediante estudios eficientes permitan mejorar este material, pues al estabilizar el adobe con otros materiales se obtiene mayor resistencia [7].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

a. Adobe

La naturaleza de los materiales que lo constituyen, así como su proceso de fabricación, el adobe no requiere del uso de combustibles, por lo que representa un ahorro económico estimado en el 40% con relación al ladrillo de barro recocido, puesto que este material no requiere de un proceso de cocción a diferencia del ladrillo [8].



Figura 1. Adobes hechos de forma manual.
Fuente: [38]

El material orgánico tiene como función limitar las variaciones que se producen en el adobe durante el proceso de retracción que ocurre en la etapa de secado, es decir, evitar que el adobe se fisure durante esta etapa. [9] Además, el material orgánico le concede ligereza a la pieza, lo cual resulta muy ventajoso para su manipulación, ya que debido a su gran tamaño estos adobes suelen ser muy pesados.

b. Paja Ichu

En el Perú donde se sigue empleando el adobe como material de construcción, utiliza paja en la preparación de estos y también en el mortero. Su empleo es indispensable en la preparación de las tortas de barro, que usan mucho en los techos y mortero, a fin de reducir el agrietamiento por contracción durante el secado. [10] Las propiedades de la paja no se pudieron encontrar, pero podemos decir que la paja reduce las contracciones debido al secado al aire libre de los adobes y mejora su adherencia, lo cual consigue mejorar en conjunto el muro de adobe al incrementarse su adherencia con el mortero y con los revestimientos; como la paja son de distintos tipos, es recomendable utilizar la paja picada en trozos de 5cm a 10cm y de preferencia en porcentaje de 1% en peso, el porcentaje excesivo puede reducir la resistencia del adobe.



Figura 2. Forma que crece la Paja Ichu para el adobe
Fuente: [38]

c. Paja Toquilla

La paja toquilla (*Carludovica palmata*), es una de las principales fibras naturales que nos permite obtener productos del tipo artesanal a partir de ella, lo cual la convierte en una de las principales fuentes de desarrollo agro artesanal en la comunidad y más aun considerando que, actualmente las fibras naturales están recuperando espacio en el mercado mundial, debido a que son insumos ventajosos en sostenibilidad y protección del medio ambiente, lo cual debería impulsar la investigación sobre las fibras naturales; han sostenido el desarrollo de las artesanías locales [11].



Figura 31. Mujeres tejiendo sombreros con Paja Toquilla.
Fuente: [38]

En el Perú, departamento de Cajamarca, provincia de Celendín, distrito Sucre los pobladores utilizan la paja toquilla para la producción de sombreros. [12] Es así como de la ancestral y ardua actividad sobre la tierra, en la siembra o en la cría, muy pronto, amplios sectores de hombres y mujeres pasaron a educar y disciplinar sus manos en la laboriosa y paciente tarea del trenzado de la paja toquilla. Desde entonces, un destino envuelve a un grueso sector de familias celendinas.

Para el desarrollo del ensayo se emplearon los siguientes materiales que extraen de la cantera y del campo; los instrumentos que se necesitan son los que se encuentran en un Laboratorio de Suelos; y se usaron normas para seguir los pasos para cada ensayo.

Para el estudio se utilizaron los siguientes materiales:

- 400 kg (aprox.) de Suelo de la cantera Cruz Blanca.
- Agua, cantidad suficiente.
- 1 saco de paja toquilla y 2 sacos de paja ichu.

Asimismo, se emplearon los siguientes instrumentos:

- Herramientas manuales.
- Máquina CINVA RAM.
- Instrumentos de laboratorio necesarios para las pruebas.

Además, se necesitaron las siguientes normas:

- Norma E-080.
- ASTM D2216 Contenido de humedad ($\omega\%$).
- ASTM D4318 Límite Líquido (LL) y Límite Plástico (LP).
- ASTM D421 Análisis Granulométrico mediante lavado.
- ASTM D1557 Compactación Proctor Modificado.
- ASTM D2487 Clasificación del suelo.

Se extrae una muestra de la cantera, la cual es analizada para determinar sus cualidades granulométricas, para así obtener el contenido de humedad óptimo, valor que es utilizado al momento de elaborar las muestras de adobe.

Procedimiento

1. Selección de los materiales

La tierra no es un material de construcción estandarizado, sus propiedades varían dependiendo del lugar seleccionado, por lo que la composición del suelo natural puede estar constituida de porcentajes diferentes de arcilla, limo y arena. Por lo tanto, es necesario realizar los ensayos en laboratorio.

El material de los bloques de adobe se utilizará los siguientes procesos:

1.1. Contenido de humedad

Este ensayo se realizó con la norma MTC E 108, 2000; primeramente, se tomaron tres muestras de suelo húmedo, se las pesó en sus respectivas taras (siendo estas pesadas previamente) antes de ser colocadas al horno. Finalmente, pasadas 24 horas se pesó nuevamente cada muestra seca y se realizó el procesamiento de datos en gabinete.

1.2. Límites de Atterberg

Este ensayo se realizó con la norma ASTM D 4318, 2008; primero se colocó la cantidad de 500 gr aproximadamente en un recipiente de porcelana, y se fue agregando una ligera cantidad de agua otorgándole consistencia a la mezcla de manera que no se encuentre ni muy seca, ni muy húmeda. Luego la mezcla fue colocada en la copa de Casagrande y se realizó una pequeña abertura al centro de la proporción de material colocado, para proceder a dar ligeros golpes mediante la manija y así obtener el número de golpes con el cual dicha abertura cierre por completo. Finalmente se tomó una muestra para ser colocada al horno. Dicho ensayo fue realizado tres veces con la finalidad de obtener una línea promedio que determine el límite líquido a los veinticinco golpes.

1.3. Granulometría

El ensayo de granulometría consiste en hacer pasar una muestra de suelo de masa conocida a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

2. Tipo de suelo

Este ensayo se realizó con la norma ASTM D 2487, 2003 teniendo en cuenta el sistema de clasificación AASHTO y SUCS. Se clasifica el tipo de suelo para usarlo en el adobe y conocer que el componente que más presenta es la arcilla.

3. Proctor modificado

Este ensayo se realizó haciendo uso de la norma MTC E 115, 2000, para la cual se pesó previamente 3.00 kg de material para cada ensayo, en nuestro caso por el tipo de suelo utilizado, se requirió del método A, realizando por tal motivo 25 golpes por cada capa. Dicho ensayo se repitió 4 veces para la obtención de la curva de compactación del material.

Al hacer uso de paja toquilla y de paja ichu para la investigación en porcentajes, se realizó dicho ensayo para cada caso y así determinar la cantidad óptima de agua para la obtención de adobes compactados.

4. Elaboración de adobes

La fabricación de adobes se realizó según el porcentaje de fibra y contenido de humedad óptimo obtenido de los ensayos de laboratorio. Para los adobes compactados con y sin fibra se realizaron 8 unidades para cada caso.

Primero son mezclados de forma manual, la tierra con la paja dependiendo del porcentaje. Se agrega el agua con ayuda de Proctor modificado para obtener el contenido de humedad óptimo.

5. Secado de adobes

El tiempo de secado de los adobes depende del tiempo que va cambiando durante los días posteriores de la elaboración. Después de 8 o 10 días de fabricados se coloca los adobes de costado para que sequen mejor. Se dejaron 28 días para el secado de los adobes.

6. Resistencia a la compresión

Esta prueba muestra la capacidad de los adobes cuando se somete a una carga axial. El ensayo se realizó en el laboratorio de la universidad, utilizando la máquina de resistencia a la compresión. El valor del esfuerzo resistente en compresión se obtuvo en base al área de la sección transversal.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la tesis denominada como “Efecto en la Compresión Axial de Adobes con Adición de Fibras de Paja Toquilla y Paja Ichu” [38].

A. Contenido de humedad

Tabla 1
Contenido de humedad.

Descripción	Und	1	2	3
Porcentaje de humedad.	%	4.49	4.43	4.27
Promedio	%	4.39		

Fuente: [38]

Ecuación 1: Contenido de humedad.

$$W(\%) = \frac{W_{mh} - W_s}{W_s} * 100$$

Donde:

W_{mh} = Peso de agua presente en la masa de suelos.

W_s = Peso de la muestra seca.

B. Límites de Atterberg.

Tabla 2
Límite Líquido

Descripción	Und	1	2	3
Número de golpes.	%	28	23	12
Contenido de humedad.	%	27.75	29.02	30.74

Fuente: [38]

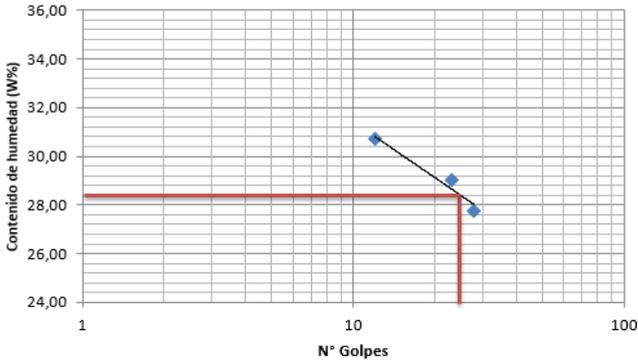


Figura 4. Determinación límite líquido.

Fuente: [38]

Del ensayo de límite líquido se obtuvo:

LL = 28.04%.

Tabla 3
Límite Plástico.

Descripción	Und	1	2
Contenido de humedad.	%	17.74	18.14
Promedio.		17.94	

El límite plástico dio un resultado de 17.94%.

Tabla 4

Índice de plasticidad.

Índice de plasticidad.	IP	10.10
------------------------	----	-------

Fuente: [38]

Ecuación 2: Índice de plasticidad.

$$IP = LL - LP$$

Dónde:

LL = Límite Líquido.

LP = Límite Plástico.

C. Análisis granulométrico por lavado.

Tabla 5
Granulometría por lavado.

Tamiz	% PR	%RA	% que pasa
N°4	2.88	2.88	97.12
N°10	7.26	10.14	89.86
N°20	3.60	13.74	86.26
N°30	1.52	15.26	84.74
N°40	2.04	17.30	82.70
N°60	5.30	22.60	77.40
N°100	8.16	30.76	69.24

N°200	8.64	39.40	60.60
Pérdida	60.60	100.00	0.00
Total	500.00	100.00	

Fuente: [38]

Ecuación 3: Porcentaje de pesos retenidos.

$$\%RP = \frac{PRP}{Wms} * 100$$

Donde:

%RP = Porcentaje de peso retenido.

Wms = Peso de muestra seca.

Ecuación 4: Porcentaje retenido acumulado.

$$\%RA_n = RP1 + RP2 + RP3 + \dots + RP_n$$

Donde:

%RA1 = RP1

%RA2 = RP1 + RP2

%RA3 = RP1 + RP2 + RP3, etc.

Ecuación 5: Porcentaje que pasa.

$$\% \text{ que pasa} = 100\% - \%RA$$

Donde:

%RA = Porcentaje retenido acumulado.

D. Ensayo Proctor modificado (Método A)

Ecuación 6: Densidad Seca.

$$Ds = \frac{Dh}{(1 + W\%)}$$

Donde:

Ds = Densidad seca.

Dh = Densidad húmeda.

W% = Contenido de humedad.

Tabla 6
Proctor modificado de la muestra patrón.

Descripción	1	2	3	4
Dh. (g/cm ³)	2.14	2.18	2.20	2.22
W (%)	9.46	10.26	11.50	12.59
Ds (g/cm ³)	1.955	1.973	1.974	1.970
Contenido de humedad óptima	10.90%			

Fuente: [38]

Tabla 7

Proctor modificado de la muestra con 2% de Paja Toquilla.

Descripción	1	2	3	4
Dh. (g/cm ³)	2.10	2.13	2.17	2.18
W (%)	9.42	10.36	12.16	13.24
Ds (g/cm ³)	1.932	1.931	1.933	1.925
Contenido de humedad óptima	11.60%			

Fuente: [38]

Tabla 8

Proctor modificado de la muestra con 4% de Paja Toquilla.

Descripción	1	2	3	4
Dh. (g/cm ³)	2.10	2.13	2.17	2.18
W (%)	9.28	10.31	11.87	12.82
Ds (g/cm ³)	1.920	1.935	1.937	1.929
Contenido de humedad óptima	11.40%			

Fuente: [38]

Tabla 9
Proctor modificado de la muestra con 6% de Paja Toquilla.

Descripción	1	2	3	4
Dh. (g/cm ³)	2.13	2.16	2.17	2.18
W (%)	10.39	11.49	12.01	12.88
Ds (g/cm ³)	1.928	1.934	1.934	1.930
Contenido de humedad óptima				11.70%

Fuente: [38]

Tabla 10
Proctor modificado de la muestra con 4% de Paja Ichu.

Descripción	1	2	3	4
Dh. (g/cm ³)	2.08	2.09	2.13	2.14
W (%)	11.59	12.25	13.45	14.56
Ds (g/cm ³)	1.862	1.866	1.876	1.872
Contenido de humedad óptima				13.65%

Fuente: [38]

Tabla 11
Proctor modificado de la muestra con 8% de Paja Ichu.

Descripción	1	2	3	4
Dh. (g/cm ³)	2.06	2.09	2.11	2.13
W (%)	10.31	11.54	13.05	14.38
Ds (g/cm ³)	1.864	1.874	1.868	1.860
Contenido de humedad óptima				11.70%

Fuente: [38]

Tabla 12
Proctor modificado de la muestra con 12% de Paja Ichu.

Descripción	1	2	3	4
Dh. (g/cm ³)	2.08	2.11	2.14	2.15
W (%)	12.15	13.33	14.66	15.75
Ds (g/cm ³)	1.858	1.865	1.865	1.856
Contenido de humedad óptima				14.15%

Fuente: [38]

E. Ensayo de resistencia a compresión axial.

Tabla 13
Resistencia a compresión axial del adobe patrón.

Muestra	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación (mm)
A-1	4419	20.36	7.91
A-2	4645	20.39	5.80
A-3	4389	19.92	7.97
A-4	3877	19.26	6.65
A-5	4070	18.97	5.78
A-6	4819	22.32	7.19
A-7	4263	19.60	9.13
A-8	4685	20.69	9.87
Promedio	4395	20.18	7.53

Fuente: [38]

Tabla 14
Resistencia a compresión axial con adición de 2% paja toquilla.

Muestra	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación (mm)
B-1	6968	32.25	8.25
B-2	4106	19.95	5.30
B-3	5631	25.88	5.83
B-4	5231	24.41	7.72
B-5	5811	27.28	7.35
B-6	6515	29.55	6.52

B-7	5662	26.21	10.42
B-8	5734	26.01	10.61
Promedio	5707	26.44	7.75

Fuente: [38]

Tabla 15
Resistencia a compresión axial con adición de 4% paja toquilla.

Muestra	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación (mm)
C-1	5913	27.37	9.17
C-2	5461	25.35	9.24
C-3	4970	24.54	7.43
C-4	6262	29.18	9.38
C-5	5227	26.70	8.01
C-6	4267	21.04	6.50
C-7	5028	22.66	11.32
C-8	5462	24.94	6.81
Promedio	5323	25.22	8.48

Fuente: [38]

Tabla 16
Resistencia a compresión axial con adición de 6% paja toquilla.

Muestra	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación (mm)
D-1	7187	33.04	8.23
D-2	5992	28.32	7.05
D-3	6393	30.23	9.42
D-4	4661	21.14	8.50
D-5	5758	27.65	3.63
D-6	6518	29.57	8.09
D-7	6945	33.53	11.23
D-8	6273	29.65	8.24
Promedio	6215	29.14	8.04

Fuente: [38]

Tabla 17
Resistencia a compresión axial con adición de 4% paja ichu.

Muestra	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación (mm)
E-1	6912	32.00	8.58
E-2	6220	29.44	9.05
E-3	5921	27.81	9.63
E-4	6124	29.20	5.06
E-5	5402	26.48	7.16
E-6	5726	26.69	6.63
E-7	5717	26.11	7.41
E-8	5751	27.19	9.18
Promedio	5971	28.11	7.71

Fuente: [38]

Tabla 18
Resistencia a compresión axial con adición de 8% paja ichu.

Muestra	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación (mm)
F-1	4927	23.77	9.81
F-2	5330	26.43	8.63
F-3	5030	23.28	7.52
F-4	4432	20.26	8.35
F-5	5148	23.05	9.24
F-6	5728	25.81	7.96
F-7	5362	24.33	10.52
F-8	5314	24.94	7.35
Promedio	5158	23.98	8.67

Tabla 19
Resistencia a compresión axial con adición de 12% paja ichu.

Muestra	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación (mm)
G-1	3660	17.31	9.28
G-2	4161	19.66	7.52
G-3	5207	23.63	6.26
G-4	5385	24.60	7.28
G-5	4673	21.19	8.15
G-6	4868	22.38	10.89
G-7	4612	21.07	8.18
G-8	4838	22.10	6.56
Promedio	4675	21.49	8.01

Fuente: [38]

Ecuación 7: Esfuerzo axial simple.

$$Fb = \frac{Pm}{Ab}$$

Donde:

Fb= Resistencia a la compresión axial de la unidad.

Pm= Carga máxima de rotura.

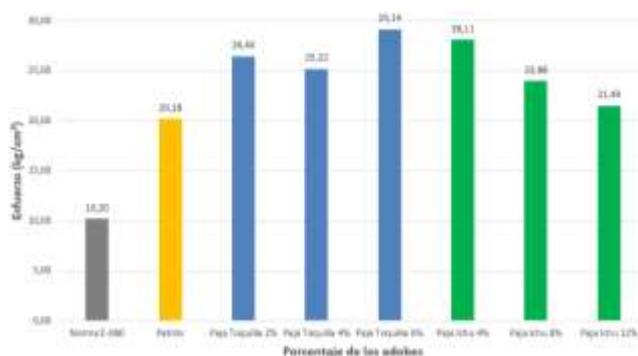


Figura 5. Resumen general de resistencia a la compresión axial.
Fuente: [38]

Discusión

Con los datos obtenidos, la resistencia a compresión de la muestra patrón, la cual asciende a 20.18 kg/cm², la cual es mayor a lo requerido por norma E-080 [6]. Las unidades de adobe compactado con paja toquilla al 2%, 4% y 8%; lograron una resistencia promedio de 26.44 kg/cm², 25.22 kg/cm², 29.14 kg/cm², lo cual representa una mejora en resistencia considerable, lo cual justifica la diferencia en tiempo y esfuerzo de manufactura de éstos. Además, los adobes con paja ichu 4%, 8% y 12%; lograron una resistencia promedio de 28.11 kg/cm², 23.98 kg/cm², 21.49 kg/cm², lo cual representa un incremento en la resistencia sustancial, lo cual, tomando en cuenta la facilidad de manufactura y emplazamiento, justifica su utilización [38].

Al comparar los valores de resistencia, los adobes realizados por Montés aumentan en un 24.12%, mientras que los adobes compactados con adición de paja toquilla al 6% aumentan en 44.40% y los adobes con paja ichu al 4% aumentan en 29.39% [9].

El promedio de los bloques con paja toquilla al 6% de 29.14 kg/cm², superan la resistencia a la compresión realizada

por Soberón de adobes con cascarilla de arroz de 1.31 MPa a 2.37 MPa (13.35 a 24.17 kg/cm²) [5]. Los bloques de adobes con adición de paja toquilla al 6% tienen una resistencia de 29.14 kg/cm², la cual logra superar en más de dos veces el valor que especifica el Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E-080, 2017 que especifica que la resistencia mínima a compresión axial es de 10.2 kg/cm² [6].

IV. CONCLUSIONES

- Con los resultados obtenidos de la resistencia a compresión del adobe patrón es 21.03 kg/cm² superó al valor mínimo que exige la norma E.080 de 10.2 kg/cm² [6], los bloques con adición de paja toquilla en porcentajes del 2%, 4% y 6% superan su resistencia a la compresión con respecto a la muestra patrón en un 31.02%, 24.97% y 44.40%. De laboratorio también se demostró que tomando como base la muestra patrón de 21.03 kg/cm², los bloques de adobe elaborados con adición de paja ichu en porcentajes del 4%, 8% y 12% superan su resistencia a la compresión con respecto a la muestra patrón en un 39.29%, 18.83% y 6.49%, respectivamente. El aumento de la resistencia a compresión se da; porque, las fibras mejoran el adobe, pero las fibras de paja toquilla fue mejor que de la paja ichu. De acuerdo con la Figura 2 los mejores resultados son los adobes con paja toquilla al 6% y de paja ichu al 4%, son los porcentajes más favorables para elaborar las unidades [38].
- Para clasificar el suelo, que se ha elaborado los adobes, utilizamos los datos de Límite líquido es 28.04% (Figura 4) y índice de plasticidad es 10.10%). Según el sistema de clasificación de suelos de American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) el suelo empleado para la elaboración de adobes es A-6(5), es un suelo arcilloso; además, el sistema de clasificación de los suelos unificado "SUCS" es CL, suelo de arcillas inorgánicas [38].
- Al comparar los resultados de los ensayos de laboratorio podemos ordenar de los mejores resultados a las menores resistencias a compresión: las muestras con mayor resistencia fueron los adobes con adición de paja toquilla al 6% con una resistencia promedio de 29.14 kg/cm²; luego, los adobes con paja ichu al 4% con una resistencia promedio de 28.11 kg/cm²; después, los adobes con paja toquilla al 2% con una resistencia promedio de 26.44 kg/cm² además, los de paja toquilla al 4% con una resistencia promedio de 25.22 kg/cm²; pero, los de paja ichu al 8% tienen una resistencia de 23.98 kg/cm²; también, los de paja ichu al 12% con una resistencia de 21.49 kg/cm² y finalmente la muestra patrón tuvo una de 20.18 kg/cm² [38].

REFERENCIAS

- [1] Ríos, E. Y. (2010). Efecto de la adición de látex natural y jabón en la resistencia mecánica y absorción del adobe compactado. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México, 18.

- [2] Zelaya, V. (2007). Estudio sobre Diseño Sísmico en Construcciones de Adobe y su Incidencia en la Reducción de Desastres. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú.
- [3] Benites, V. (2017). *Adobe estabilizado con extracto de cabuya (furcraea andina)*. Universidad de Piura. Perú.
- [4] Blondet, J. M.; Villa, G. A. F.; Brzev, S. (2003). *Earthquake -resistant construction of adobe buildings: a tutorial*. Oakland. California. EEUU.
- [5] Soberón, A. (2014). *Adobe estabilizado con resinas vinil acrílicas y fibras sintéticas, para mejorar su resistencia a la compresión, flexión y absorción*. (Tesis de Maestría). Instituto Tecnológico de Oaxaca, México.
- [6] Norma Técnica De Edificación E.080. (2006). Adobe. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- [7] Briones, T. J., Estrada, W. (2018). Compresión axial del adobe compactado con fibras de Paja Ichu, Paja de Arroz y Paja de Trigo. (Tesis de Titulación). UPN. Cajamarca. Perú.
- [8] Regalado, L. (2010). Las hebras que tejieron nuestra historia. Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, Quito.
- [9] Montes, J. L. (2009). Estudio del efecto de la fibra de bagazo de agave angustifolia haw en la resistencia a flexión y compresión del adobe compactado. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México.
- [10] Cárdenas L. (2008). Análisis de vulnerabilidad estructural del Hotel Comercio. Perú.
- [11] Simbaña, A. (2008). Fibras naturales. Alternativa para el desarrollo nacional. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- [12] Zegarra, T. (2010). Laboriosidad y pobreza. [En línea]. Recuperado el 25 de marzo de 2019. De <https://sucremus.blogspot.com/2010/10/escenario-tejedoras-de-sombreros.html>
- [13] Achenza M. y Fenu, L. (2005). On Earth Stabilization with Natural Polymers for Earth Masonry Construction. *Materials and Structures*, 21, 21-27.
- [14] Blondet, J. M.; Vargas, J.; Tarque, S. N. (2015). Refuerzo sísmico de mallas de sogas sintéticas para construcciones de adobe. Cuenca, Ecuador.
- [15] Bolaños, J. (2016). Resistencia a compresión, flexión y Absorción del adobe compactado con Adición de goma de tuna. (Tesis de Titulación). UPN. Cajamarca. Perú.
- [16] Carrillo J., Alcocer S. y Aperador W. (2012). Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 14 (2), p.286-287.
- [17] Carrillo J., Alcocer S. y Gonzales G. (2012). Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 14 (3), p.436-437
- [18] Cotrina A.; Limay W.; López D. (2014). Comparación de la resistencia a la compresión de unidades de adobe sin paja con unidades de adobe con paja en Cruz Blanca – Cajamarca. Universidad Privada del Norte.
- [19] Cruz, L. G. (2017). *Mecánica de Suelos I*. Universidad del Cauca. Colombia.
- [20] De La Peña, D. (1997). Adobe, características y sus principales usos en la construcción. (Tesis de Titulación). Instituto Tecnológico de la Construcción, México.
- [21] Delgado, E. F. (2006). Comportamiento Sísmico de un Módulo de Adobe de Dos Pisos con Refuerzo Horizontal y Confinamientos de Concreto Armado. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [22] Gonzales, M., y Prado, F. (2012). Incidencia de la adición de fibras poliméricas para morteros sobre la resistencia a flexión y compresión de estucos de barro. En *Revista de la Construcción*, p. 14.
- [23] Gonzales, M. (2014). Construcciones de adobe. [en línea] Recuperado el 8 de mayo del 2016. De http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-28_07-20-31110986.pdf
- [24] Guerrero L. (2001). Deterioro del patrimonio edificado en adobe. Universidad Autónoma Metropolitana. *Revista Diseño y Sociedad*, Vol. 13, 4-11. Xochimilco, México D.F.
- [25] INEI. (2014). Informe de Resultados del Censo de Vivienda y Construcción - Material de sus Paredes. Lima: INEI.
- [26] Llique, R. H. (2014). *Mecánica de suelos*. Universidad Privada del Norte. Cajamarca.
- [27] Lobato, N. M. (2018). Resistencia a la compresión y flexión del adobe compactado con adición de Paja Toquilla – Cajamarca 2017. (Tesis de Titulación). UPN. Cajamarca. Perú.
- [28] Mejía, I. (2014). Adobe estabilizado y compactado en Cajamarca- 2014. Cajamarca.
- [29] Mondragón, K. (2013). Fibras Sintéticas y Especiales. [en línea] Recuperado el 25 de abril del 2016. De <http://fibrologia.blogspot.pe/2013/04/fibras-sinteticas.html>
- [30] Ngowi A. (1997). Improving the traditional earth construction: a case study of Botswana. *Construction and Building Material*, 11(1), 1-7.
- [31] Pérez P. L. (2011). Materiales ecológicos para la construcción de viviendas. Veracruz.
- [32] Ramírez M. (2011). Deterioro y estabilización del adobe. Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México.
- [33] Quispe, J. & Rondón, S. (2012). Propuesta integral de reforzamiento para edificaciones de adobe. Aplicación al caso de un local escolar de adobe en la provincia de Yauyos. (Tesis de título profesional). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- [34] Soto, E. E. (2016). Resistencia a compresión y flexión del adobe compactado con incorporación de bentonita sódica, utilizando suelos de diferentes canteras, Cajamarca 2016. (Tesis de Titulación). UPN. Cajamarca. Perú.
- [35] Suárez, B. (2011). La producción y comercialización de los sombreros de paja toquilla de Jipijapa. Visión de dos tiempos: pasado (siglo XIX) y presente (2011). (Tesis de Titulación). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- [36] Vargas, J., Heredia E. y Bariola J. (1986). Preservación de las construcciones de adobe en áreas lluviosas. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- [37] Vargas, L. (2016). Determinación de propiedades mecánicas de la mampostería de adobe, ladrillo y piedra en edificaciones históricas peruanas. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [38] Marín, J. (2021). Efecto en la Compresión Axial de Adobe con Adición de Fibras de Paja Toquilla y Paja Ichu. Universidad Privada del Norte. Cajamarca - Perú