

Compressive and flexural strength of compacted adobe blocks with added bamboo sheath

Salomon Medina Cercado, Ing.¹; Erlyn Salazar Huamán, M. Cs.²

¹Universidad Privada del Norte(UPN),Cajamarca - Perú. N00027743@upn.edu.pe

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

Abstract – The objective of the research was to analyze the compressive and flexural strength of adobe blocks compacted with 0.5%, 0.75% and 1% bamboo sheath of 4 cm, 5 cm and 6 cm, with respect to the weight of the soil of the La Paccha quarry in Cajamarca. The quantitative approach study had a sample of 140 adobe blocks, 60 blocks for the compression test and 80 blocks for the flexural test, made with bamboo sheath fiber. The compressive strength of the adobes increases up to 82.49% for adobes with 0.75% of 5 cm bamboo fibers, with respect to the UNE 41410 standard [15], while the standard adobes only reach 8.47 kg/cm², therefore, they do not even comply with the E.080 standard; likewise, for adobes with 0.5% of 5 cm bamboo fibers, in bending, they exceed up to 71.44% of the standard adobes with 15.51 kg/cm². It is concluded that the bamboo fiber increases the mechanical capacity of the compacted adobes, surpassing the hypothesis that indicated an increase of up to 25%, complying with the requirements of the E.080 standard [14].

Keywords: bamboo sheath, compacted adobes, compressive and flexural strength.

Digital Object Identifier (DOI):

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

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

Resistencia a compresión y flexión de bloques de adobe compactado con adición de vaina de bambú

Salomon Medina Cercado, Ing.¹; Erlyn Salazar Huamán, M. Cs.²

¹Universidad Privada del Norte(UPN),Cajamarca - Perú. N00027743@upn.edu.pe

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

Resumen – El objetivo de la investigación fue analizar la resistencia a compresión y flexión de los bloques de adobe compactado con 0.5%, 0.75% y 1% de vaina de bambú de 4 cm, 5 cm y 6 cm, respecto al peso del suelo de la cantera La Paccha en Cajamarca. El estudio de enfoque cuantitativo tuvo como muestra a 140 bloques de adobe, 60 bloques para el ensayo a compresión y 80 bloques para flexión, elaborados con fibra de vaina de bambú. La resistencia a compresión de los adobes se incrementa hasta en 82.49% para adobes con 0.75% de fibras de bambú de 5 cm, respecto a la norma UNE 41410 [15], mientras que, los adobes patrón solo alcanzan 8.47 kg/cm², por tanto, no cumplen ni con la norma E.080; así mismo, para adobes con 0.5% de fibras de bambú de 5 cm, a flexión, llegan a superar hasta en 71.44%, a los adobes patrón de 15.51 kg/cm². Se concluye que, la fibra de bambú aumenta la capacidad mecánica de los adobes compactados, superando la hipótesis que, indicaba un incremento de hasta 25%, cumpliendo con los requerimientos de la norma E.080 [14].

Palabras claves: vaina de bambú, adobes compactados, resistencia a compresión y flexión.

I. INTRODUCCIÓN

La construcción con tierra está cobrando renovado interés en todo el mundo, aunque durante un tiempo se descuidó en favor del acero y concreto [1]; la difícil situación económica, así como, las contingencias medioambientales, han puesto al día la valorización de los materiales locales [2]. El adobe es el componente más antiguo y usado en edificaciones de mampostería [3], debido a su facilidad de diseño, mayor disponibilidad, costo relativamente bajo y apariencia atractiva [4]. En Perú en el 2017, el 27.9% de las viviendas eran de adobe (2,148,494 viviendas), así mismo, Cajamarca, es el tercer departamento con mayor cantidad de edificaciones de adobe, con el 70.3% (264,310 viviendas), según el INEI [5]. De allí la importancia, de mejorar sus características de resistencia y durabilidad [6].

Autores como Nshimiyimana et al. [7], Paul et al. [8], Paulus [9], Turco et al. [10], entre otros, han demostrado que, las características de los adobes pueden mejorarse con estabilizadores de origen natural. Abessolo et al. [1] argumentan que, el uso de fibra reduce el agrietamiento por contracción, y mejora la firmeza a compresión y flexión de los adobes. Las fibras naturales también aumentan el comportamiento mecánico, como compresión, tracción, y estabilidad térmica [11]. Entre las diferentes fibras naturales, Moreno y García [12] resaltan las características mecánicas y el rápido crecimiento de las fibras de bambú; por lo que, Paradiso et al. [13] consideran que, las fibras de bambú tienen notables ventajas como aditivo en la mezcla para adobes.

Siendo así, desechos agrícolas de vaina de bambú, después de ser procesados, pueden ser mezclados con tierra, para hacer materiales de construcción compuestos que, cumplan con los requerimientos técnicos de la norma nacional E.080 [14], o de normas internacionales como la norma UNE 41410 de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) [15].

La fibra de bambú es un filamento de pequeño espesor 1 a 5 mm, que se obtiene por diferentes procesos, entre ellos, al cortar la planta de bambú, en finos hilos (vainas, culmos, ramas, etc.); siendo un ejemplo satisfactorio de producto ecológico [16], ya que procede de la naturaleza y vuelve completamente a ella al final, conservando las características de neutralidad de carbono a lo largo del ciclo de vida del producto [17].

La tierra es el componente particulado (sedimentos u otras acumulaciones no consolidadas) producto de la desintegración de rocas, denominado comúnmente suelo; predomina en cualquier lugar, pero, se puede extraer de canteras (bancos de extracción de suelo estandarizado con fines constructivos) para su uso en la producción de adobes o bloques de tierra ecológicos [18].

El adobe es el bloque tradicional macizo de tierra [19], se elaboran mezclando suelos, fibras y agua, en una consistencia plástica para ser moldeados, y/o compactados y secados al aire protegiéndolo

de la lluvia, por 28 días [20]. En la norma E.080 [14] se detalla la proporción de suelo para hacer adobes, siendo 10% a 20%, 15% a 25% y 55% a 70% de arcilla, limo y arena, respectivamente; así mismo, la forma del adobe puede ser cuadrada o rectangular, siempre y cuando se cumpla que, la relación entre el largo y la altura sea de 4 a 1.

Para verificar que el adobe cumpla con los requisitos técnicos debe pasar por ensayos físicos y mecánicos, tales como: peso, resistencia a compresión, a flexión, en pilas, y muretes [21]. Según la NTP E.080 [14], la firmeza a compresión ($F'c$) unitaria debe ser superior a 10.2 kg/cm², en tracción a 0.81 kg/cm², en murete ($F'm$) a 6.12 kg/cm², mientras que, la resistencia del murete a corte diagonal ($F'v$) debe ser mayor a 0.25 kg/cm². En la norma UNE 41410 [15] también se establecen criterios de cumplimiento para los bloques de adobe compactado, ahí denominados bloques de tierra comprimida, que, al pasar por compactación, tienen mayores exigencias que, en la norma E.080 [14], debido a que, se espera alcancen una resistencia a compresión superior a 13.50 kg/cm².

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de las materias primas

Previamente a la selección de la cantera para la recolección del suelo se realizaron las pruebas de campo descritas en la norma E.080 [14], como: “resistencia seca” que consiste en formar cuatro bolitas de tierra usando la mínima cuantía de agua, y formándola con la palma de la mano, para dejarlo secar por 48 h, para luego estrujar reciamente con el dedo pulgar e índice de la mano, verificando que, no se quiebre, rompa o agriete, de ser el caso se repetirá el ensayo con los mismos materiales, y si se vuelve a quebrar, la cantera se desecha, pero en el caso se ha corroborado según pruebas de campo que, el material de la cantera Paccha puede ser utilizado para la producción de adobes.

La cantera la Paccha – Cajamarca está ubicada en las coordenadas geográficas 7°11'29.3"S y 78°29'22.4"W, en la ciudad de Cajamarca.

Las muestras se recogieron con herramientas manuales y se pasaron por un tamiz de malla n° 3/4 para garantizar que sólo se recogía la muestra necesaria para la prueba. Las muestras recogidas se colocaron en bolsas de plástico para evitar los cambios de humedad y garantizar que las muestras no se contaminen.

La vaina de bambú se ha obtenido del terreno ubicado en las coordenadas UTM WGS84 17S 774721.05 m E, 9189620.23 m S, en la comunidad de Mollepata, distrito de la Asunción, Cajamarca.

Para obtener la vaina de bambú, se seleccionó y cortó los pseudotallos del bambú, en seguida se abrieron y separaron las vainas del tallo del bambú, este material se recolectó en bolsas y sacos plastificados, para evitar su contaminación, luego la vaina de bambú se ha cortado para formar la fibra, en longitudes de 4, 5 y 6 cm, utilizando para ello tijera y flexómetro, para mayor presión, no obstante, en campo, para mayor agilidad se puede utilizar machete. Finalmente, obtenidas las fibras de vaina de bambú se secaron [22].

Análisis del suelo

Previo a la producción de adobes compactados, se analizó el suelo en el laboratorio de la UPN Cajamarca; efectuando los siguientes ensayos: NTP 339.127 Humedad, NTP 339.128 Análisis granulométrico, NTP 339.129 Límites de consistencia, NTP 339.131 Peso específico, NTP 339.141 Proctor modificado [23].

La prueba Proctor modificado se llevó a cabo según el método A, en el que el material se secó a temperatura ambiente durante 3 días y se pasó el material por la red n° 4. La prueba se basa en la NTP 339.141. Se ha realizado la compactación a 25 golpes para cinco capas, con 5 cm de fibra de bambú añadida a las muestras de suelo al 0%, 0.25%, 0.5%, 0.75% y 1%. Esta prueba debe repetirse hasta cuatro veces para obtener una curva de compactación del material.

Dosificación de vaina de bambú y agua

Tomando como referencia el contenido óptimo humedad (OCH) determinado en el ensayo de Proctor modificado, se ha calculado la cuantía de agua para compactar adobes. Dicha cuantía de agua se ha obtenido en relación a 8.50 kg de suelo seco (tierra que, ha entrado en el molde de la máquina CINVA-RAM). Del mismo modo, se ha calculado la fibra de vaina de bambú para cada unidad de adobe compactado, tal como, se detalla en la Tabla 1.

Vaina de bambú (%)	OCH (%)	Suelo (kg)	Agua (kg)	Agua (Lt)	Vaina de bambú (kg)
0%	11.83	8.5	1.01	1.01	0.0000
0.50%	13.29	8.5	1.13	1.13	0.0425
0.75%	13.55	8.5	1.15	1.15	0.0638
1%	13.43	8.5	1.14	1.14	0.0850

Fuente: [24].

Elaboración de adobes

Obtenidos los materiales (suelo y fibras de vaina de bambú de 4 cm, 5 cm y 6 cm), se comenzó a elaborar los adobes comprimidos. Para ello, se mezcló el suelo con agua en el volumen determinado en el ensayo de Proctor modificado, y se deja saturar por 1 noche. Luego se pesa la vaina de bambú al 0%, 0.5%, 0.75% y 1.0% del peso del suelo seco, se agregan a la mezcla hasta obtener una pasta uniforme.

Al día siguiente, se procedió a llenar el molde de la máquina en capas con el fin de tener una mejor compactación, una vez lleno el molde de la máquina se procedió a tapar y generar presión, compactando los bloques de adobe en la prensa CINVA-RAN, luego se retiró el adobe compactado de la máquina y se repitió el proceso hasta elaborar 60 bloques para el ensayo de compresión y 80 bloques para el ensayo de flexión. En seguida se dejaron secar los adobes compactados, en un área plana y techada, por 28 días, protegidos de la intemperie (lluvia y viento) para su secado [25].

Finalizado el secado y listos para el análisis, los 140 adobes compactados, con las dosificaciones de 0%, 0.5%, 0.75% y 1.0% de fibra de vaina de bambú, de 4, 5 y 6 cm de longitud, fueron trasladados al laboratorio UPN.

Ensayo de resistencia a compresión axial en unidad

Se han analizado 60 adobes a los 28 días, 6 por cada dosificación y longitud de fibra de vaina de bambú. Para este ensayo a cada adobe compactado, se procedió a medir los cubos en largo, ancho y alto, para sacar un promedio de tres mediciones de la superficie de contacto en la que, actuaría la carga. Una vez obtenidas las dimensiones, se colocó el adobe en la máquina de compresión, y se usaron cargas, registrando la información para estimar la rotura.

Ensayo de resistencia a flexión

Se han analizado 80 adobes a los 28 días de secado, 8 por cada dosificación y longitud de fibra de vaina de bambú. Debido a que la actual norma E 0.80 no dispone lineamientos claros para realizar este ensayo, tuvimos que hacer uso de otras normas en este caso la norma [26]. Para este ensayo inicialmente se ha determinado las dimensiones de los especímenes, luego el adobe a prueba es soportado en una superficie plana sobre dos varillas de acero, ubicadas con una luz de 18cm [27], en donde, se aplica la carga sobre la cara superior de la muestra, con una placa metálica de 6 mm, según la norma ASTM C-67 [26], para registrar los datos respectivos a cargas y deformaciones.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la tesis denominada como “Resistencia a compresión y flexión de bloques de adobe compactado con adición de vaina de bambú” [24].

A. Propiedades del suelo

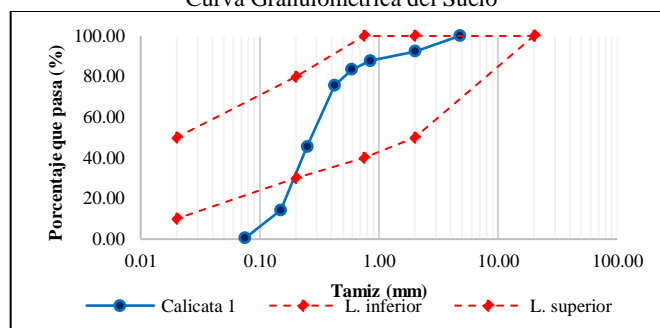
Después de los ensayos físicos, se ha determinado que, el suelo de la Paccha se clasifica como arena arcillosa de baja plasticidad (Tabla 2), presenta gradación parcialmente dentro del huso granulométrico y sus límites de consistencia están dentro del rango de plasticidad recomendado por la norma UNE 41410 [15], pero se debe tomar en cuenta que, el material fino 0.42% es muy escaso respecto a los porcentajes sugeridos por el MVCS [14].

Tabla 2
Clasificación del Suelo

Humedad (%)	Peso específico (gr/cm ³)	Límites de consistencia (%)			Clasificación	
		LL	LP	IP	AASHTO	SUCS
11.09	2.63	27.96	13.96	14.00	A-2-6	SC

Fuente: [24].

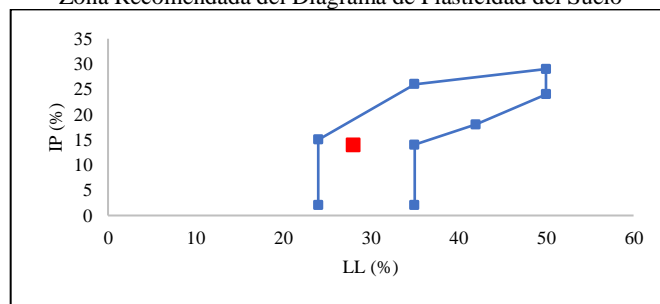
Figura 1
Curva Granulométrica del Suelo



Se muestra con línea de color rojo el huso granulométrico dado en la norma UNE 41410, y con línea azul la curva granulométrica del suelo.

Fuente: [24].

Figura 2
Zona Recomendada del Diagrama de Plasticidad del Suelo



Se muestra con línea de color azul el huso de plasticidad dado en la norma UNE 41410 y el punto de color rojo representa la plasticidad del suelo cajamarquino usado en la producción de adobes.

Fuente: [24].

21° Multicongreso Internacional LACCEI de Ingeniería, Educación y Tecnología: “Liderazgo en Educación e Innovación en Ingeniería en el Marco de las Transformaciones Globales: Integración y Alianzas para el Desarrollo Integral”, Evento Híbrido, Buenos Aires - ARGENTINA, 17 al 21 de julio de 2023.

Además, se ha determinado que, al adicionar mayor porcentaje de fibra de vaina de bambú en el suelo este aumenta su óptimo contenido de humedad (OCH), es decir se necesita mayor cantidad de agua para alcanzar su máxima densidad seca (DMS), según la Tabla 3.

Tabla 3
Densidad Máxima Seca y Óptimo Contenido de Humedad del Suelo

Compactación	Porcentaje de vaina de bambú			
	0%	0.50%	0.75%	1.00%
DMS (gr/cm ³)	1.91	1.86	1.88	1.85
OCH (%)	11.83	13.29	13.55	13.43

Fuente: [24].

B. Resistencia a compresión en adobe

En la Tabla 4, los adobes sin vaina de bambú, sometidos a compresión, no superan la resistencia mínima que, pide la norma E.080 [14] de 10.2 kg/cm², y mucho menos con los requisitos de la norma UNE 41410 [15], debido a que, a pesar que, el suelo tiene la plasticidad adecuada, no cumple en su totalidad con la gradación de la norma UNE 41410 [15], tiene limitado contenido de finos lo que, puede generar según han explicado Sharma et al. [28] y Silveira et al. [29] una baja resistencia en los adobes, además cabe recalcar que, la muestra patrón está constituida solamente por suelo sin ningún tipo de fibra, lo que tal como, argumentan Illampas et al. [30], Olacia et al. [31], y Quagliarini y Lenci [32] ocasiona que, el adobe se fragmente con mayor rapidez, ya que, son las fibras las que, con sus filamentos unen el suelo.

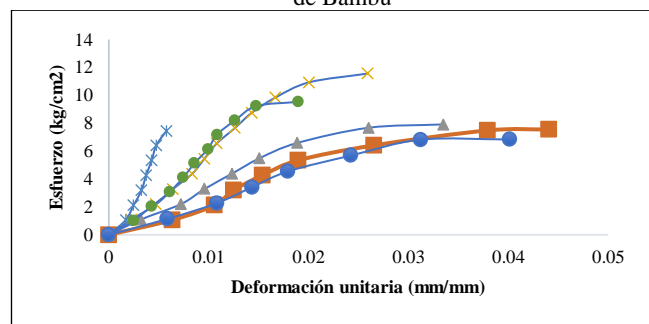
Tabla 4
Compresión de Adobes sin Vaina de Bambú

Adobe	1	2	3	4	5	6
Compresión (kg/cm ²)	7.55	7.91	11.56	7.45	9.53	6.84
Media (kg/cm ²)	8.47					

Fuente: [24].

Figura 3

Curva Esfuerzo – Deformación a Compresión en Adobes sin Vaina de Bambú



Las líneas representan las curvas esfuerzo – deformación unitaria de los seis adobes producidos sin vaina de bambú.

Fuente: [24].

La firmeza a compresión del adobe aumenta al adicionar vaina de bambú de tamaños 4, 5 y 6 cm de longitud, al 0%, 0.5%, 0.75% y 1.0% en peso del suelo seco. Los adobes con 0.75% de vaina de bambú de 5 cm, logran mayores resistencias, tal como, se detalla correspondientemente en la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7 para cada uno de los seis adobes producidos con cada dosificación y tamaño de fibra de vaina de bambú, mientras que, en la Tabla 8 se presenta los promedios de la resistencia a compresión de los adobes con 0%, 0.5%, 0.75% y 1.0% de vaina de bambú en comparación con la norma UNE 41410 [2] y la norma E.080 [1].

Tabla 5
Compresión de Adobes con 0.5% de Vaina de Bambú

Adobe	Compresión (Kg/cm ²) según tamaño de fibra		
	4 cm	5 cm	6 cm
1	15.39	20.14	19.96
2	16.98	18.94	16.33
3	16.58	14.56	18.91
4	19.33	12.73	13.38
5	14.97	12.25	12.83
6	17.44	17.63	18.20
Media	16.78	16.04	16.60

Fuente: [24].

Tabla 6
Compresión de Adobes con 0.75% de Vaina de Bambú

Adobe	Compresión (Kg/cm ²) según tamaño de fibra		
	4 cm	5 cm	6 cm
1	18.57	17.48	14.26
2	17.23	18.48	13.39
3	18.11	19.17	18.94
4	20.45	22.66	15.76
5	15.07	20.04	17.36
6	22.36	18.59	16.17
Media	18.63	19.40	15.98

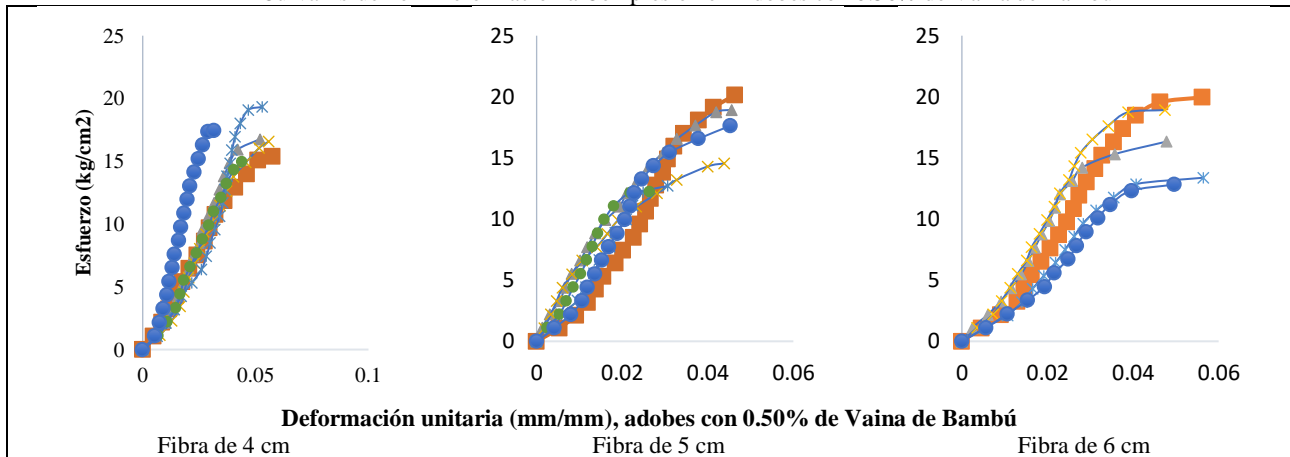
Fuente: [24].

Tabla 7
Compresión de Adobes con 1.0% de Vaina de Bambú

Adobe	Compresión (Kg/cm ²) según tamaño de fibra		
	4 cm	5 cm	6 cm
1	13.86	13.53	14.99
2	16.35	18.02	15.73
3	18.23	16.28	19.86
4	15.05	17.50	21.36
5	12.20	16.52	17.55
6	14.85	12.30	15.18
Media	15.09	15.69	17.45

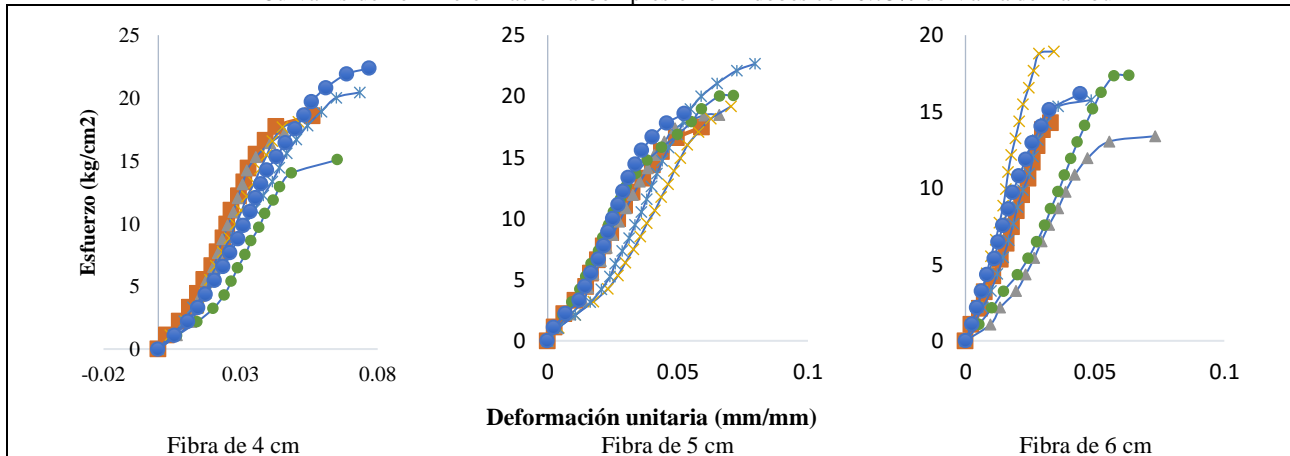
Fuente: [24].

Figura 4
Curva Esfuerzo – Deformación a Compresión en Adobes con 0.50% de Vaina de Bambú



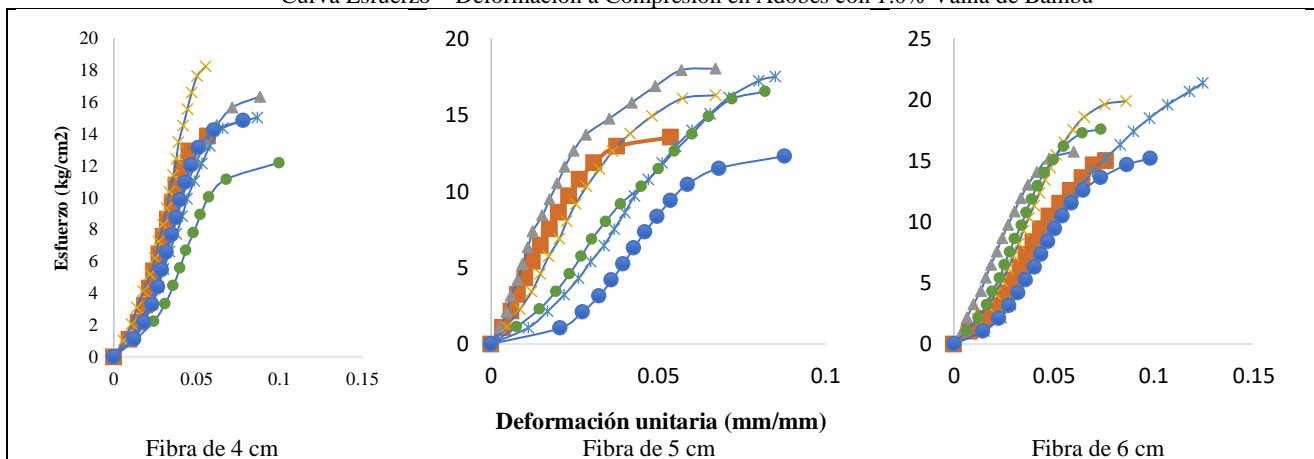
Cada color de curva representa una las curvas esfuerzo – deformación de los seis adobes producidos con 0.5% de fibra de vaina de bambú de 4 cm, 5 cm y 6 cm, sometidos a compresión. Fuente: [24].

Figura 5
Curva Esfuerzo – Deformación a Compresión en Adobes con 0.75% de Vaina de Bambú



Cada color de curva representa una de las curvas esfuerzo – deformación de los seis adobes producidos con 0.75% de fibra de vaina de bambú de 4 cm, 5 cm y 6 cm, sometidos a compresión. Fuente: [24].

Figura 6
Curva Esfuerzo – Deformación a Compresión en Adobes con 1.0% Vaina de Bambú



Cada color de curva representa una las curvas esfuerzo – deformación de los seis adobes producidos con 1.0% de fibra de vaina de bambú de 4 cm, 5 cm y 6 cm, sometidos a compresión. Fuente: [24].

Tabla 8

Promedio de Compresión en Adobes con Vaina de Bambú				
Porcentaje de adición de vaina de bambú	Resistencia a compresión (kg/cm ²) según longitud de fibra			
	0 cm	4 cm	5 cm	6 cm
0	8.47			
0.50		16.78	16.04	16.60
0.75		18.63	19.40	15.98
1.00		15.09	15.69	17.45
Norma E,080 [1]	10.20			
UNE 41410 [2]	13.25			

Fuente: [24].

C. Resistencia a flexión en adobe

La firmeza a flexión de los adobes sin vaina de bambú (Tabla 9), superan la resistencia mínima que, pide la norma E.080 [14], mientras que, los adobes con fibras de 4 cm, 5 cm y 6 cm de vaina de bambú, adicionado al 0.5%, 0.75% y 1.0% del peso del suelo, aumentan significativamente la firmeza a flexión, donde, los adobes con vaina de bambú de 5 cm al 0.5% de adición, logran un incremento de 11.08 kg/cm² respecto al adobe patrón (15.51 kg/cm²), significando un incremento del 71.44%, lo que, significa un incremento mayor al obtenido por Absessolo et al. [1], Asare [33], Moreno y García [12], Del Rio [34] y Arteaga y Wong [35].

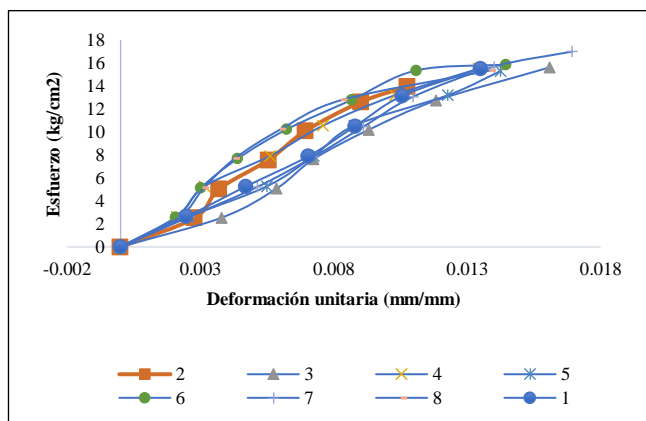
Tabla 9

Flexión de Adobes sin de Vaina de Bambú									
Adobe	1	2	3	4	5	6	7	8	
Flexión (kg/cm ²)	13.94	15.61	15.52	15.31	15.87	16.99	15.36	15.51	
Media (kg/cm ²)	15,51								

Fuente: [24].

Figura 7

Curva Esfuerzo – Deformación a Flexión en Adobes sin Vaina de Bambú



Cada color de curva representa una de las curvas esfuerzo – deformación a flexión de los seis adobes sin vaina de bambú.

Fuente: [24].

21º Multicongreso Internacional LACCEI de Ingeniería, Educación y Tecnología: “Liderazgo en Educación e Innovación en Ingeniería en el Marco de las Transformaciones Globales: Integración y Alianzas para el Desarrollo Integral”, Evento Híbrido, Buenos Aires - ARGENTINA, 17 al 21 de julio de 2023.

Tabla 10

Flexión de Adobes con 0.5% de Vaina de Bambú			
Adobe	Flexión (kg/cm ²) según tamaño de fibra		
	4 cm	5 cm	6 cm
1	22.44	27.5	28.75
2	22.58	25.14	25.97
3	23.42	26.63	26.75
4	22.22	25.11	24.95
5	25.58	29.38	26.12
6	26.25	25.7	25.18
7	24.03	26.73	26.3
8	23.59	26.59	26.19
Media	23.89	26.60	26.28

Fuente: [24].

Tabla 11

Flexión de Adobes con 0.75% de Vaina de Bambú			
Adobe	Flexión (kg/cm ²) según tamaño de fibra		
	4 cm	5 cm	6 cm
1	20.62	20.41	20.77
2	19.42	19.57	23.07
3	24.9	21.86	21.21
4	20.85	18.04	18.89
5	25.67	24.5	24.25
6	21.62	21.67	25.09
7	22.24	26.26	25.33
8	22.49	25.71	25.42
Media	22.23	22.25	23.00

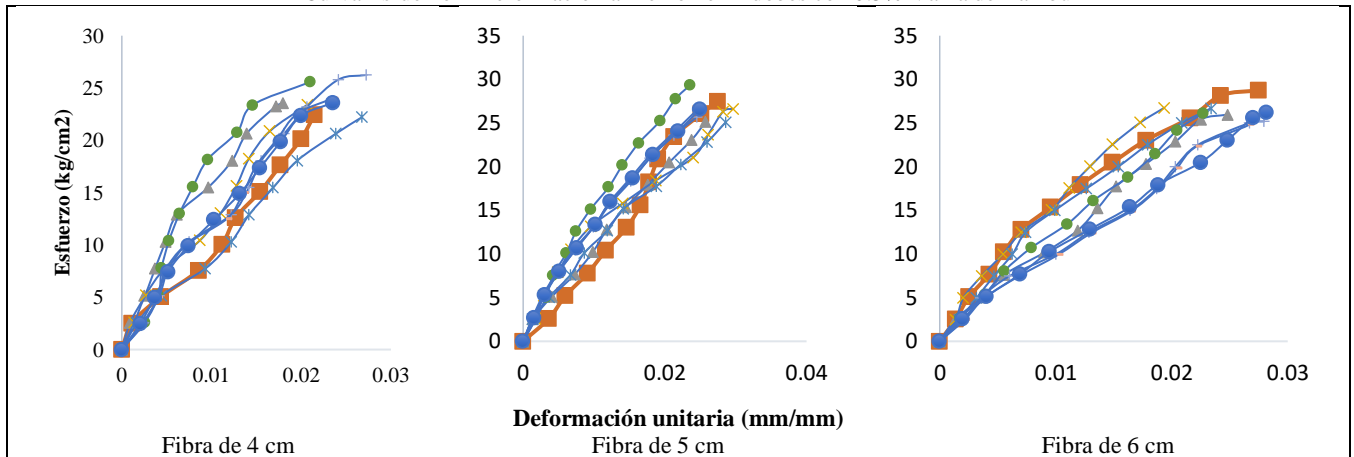
Tabla 12

Flexión de Adobes con 1.0% de Vaina de Bambú			
Adobe	Flexión (kg/cm ²) según tamaño de fibra		
	4 cm	5 cm	6 cm
1	19.69	16.92	22.62
2	21.58	19.23	25.35
3	23.7	18.98	21.16
4	21.52	19.94	22.86
5	19.43	21.63	27.35
6	23.72	23.72	22.22
7	21.45	22.14	21.17
8	21.63	22.17	21.17
Media	21.59	20.59	22.99

Fuente: [24].

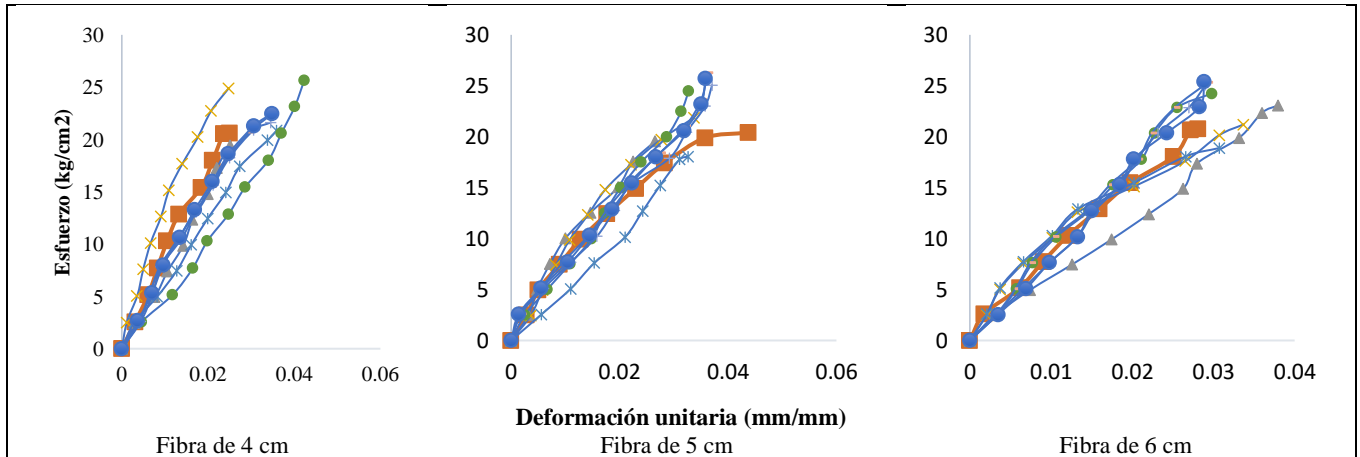
En la Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12 se presenta respectivamente los resultados de resistencia a flexión de adobes con 0.5%, 0.75% y 1.0% de vaina de bambú, así mismo, en la Tabla 13 se puede observar el promedio de la resistencia a flexión de todas las dosificaciones en comparación con la norma UNE 4140 [2].

Figura 8
Curva Esfuerzo – Deformación a Flexión en Adobes con 0.5% Vaina de Bambú



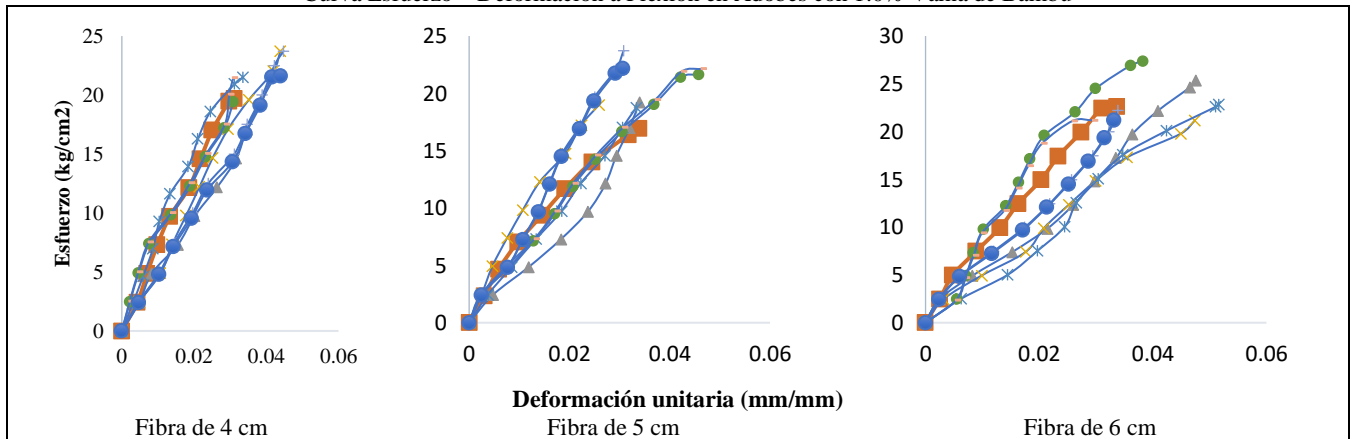
Cada color de curva representa una de las curvas esfuerzo – deformación de los seis adobes producidos con 0.5% de fibra de vaina de bambú de 4 cm, 5 cm y 6 cm, sometidos a flexión. Fuente: [24].

Figura 9
Curva Esfuerzo – Deformación a Flexión en Adobes con 0.75% Vaina de Bambú



Cada color de curva representa una de las curvas esfuerzo – deformación de los seis adobes producidos con 0.75% de fibra de vaina de bambú de 4 cm, 5 cm y 6 cm, sometidos a flexión. Fuente: [24].

Figura 10
Curva Esfuerzo – Deformación a Flexión en Adobes con 1.0% Vaina de Bambú



Cada color de curva representa una de las curvas esfuerzo – deformación de los seis adobes producidos con 1.0% de fibra de vaina de bambú de 4 cm, 5 cm y 6 cm, sometidos a flexión. Fuente: [24].

Tabla 13
Promedio de Resistencia a Flexión en Adobes con Vaina de Bambú

Porcentaje de adición de vaina de bambú	Resistencia a flexión (kg/cm ²) según longitud de fibra			
	0 cm	4 cm	5 cm	6 cm
0	15.51			
0.5		23.89	26.60	26.28
0.75		22.23	22.25	23.00
1.00		21.59	20.59	22.99
Norma E.080 (MVCS, 2017)	4.08			

Fuente: [24].

IV. CONCLUSIONES

El suelo de la Paccha se clasifica como arena arcillosa de baja plasticidad, presenta gradación parcialmente dentro del huso granulométrico y sus límites de consistencia están dentro del rango de plasticidad recomendado por la norma UNE 41410 [15].

La fibra de vaina de bambú aumenta significativamente la capacidad mecánica del adobe, a compresión y flexión.

El adobe con vaina de bambú de 4 cm al 0.5%, 0.75% y 1.0% en peso del suelo seco, acrecienta la firmeza a compresión hasta 16.78 kg/cm², 18.63 kg/cm² y 15.09 kg/cm²; al adicionar vaina de bambú de 5 cm aumenta hasta 16.04 kg/cm², 19.40 kg/cm² y 15.69 kg/cm², al adicionar vaina de bambú de 6 cm aumenta hasta 16.60 kg/cm², 15.98 kg/cm² y 17.45 kg/cm²; respecto al adobe patrón de 8.47 kg/cm², mismo que, no cumple con los lineamientos mecánicos de la norma E.080 [14] que, exige como resistencia mínima a compresión 10,20 kg/cm². Por tanto, los adobes con adición de 0.75% de vaina de bambú de 5 cm alcanzan mayor resistencia a compresión.

El adobe con vaina de bambú de 4 cm al 0.5%, 0.75% y 1.0% en peso del suelo seco, acrecienta la firmeza a flexión hasta 23.89 kg/cm², 22.23 kg/cm² y 21.59 kg/cm²; al adicionar vaina de bambú de 5 cm aumenta hasta 26.60 kg/cm², 22.25 kg/cm² y 20.59 kg/cm², al adicionar vaina de bambú de 6 cm aumenta hasta 26.28 kg/cm², 23.00 kg/cm² y 22.99 kg/cm²; respecto al adobe patrón de 15,51 kg/cm², mismo que, cumple con los lineamientos mecánicos de la norma E.080 [14] que, exige como resistencia mínima a flexión 4.08 kg/cm². Por tanto, los adobes que, alcanzan mayor resistencia a flexión son aquellos con adición de 0.5% de vaina de bambú de 5 cm.

Se ha comprobado la hipótesis, los adobes compactados con 0.5%, 0.75% y 1.0% de vaina de bambú tienen un aumento en la

firmeza a compresión de 62.70%, 76.67% y 49.94% cuando se utiliza fibra de 4 cm, 57.12%, 82.49% y 54.48% cuando se utiliza fibra de 5 cm, y 61.35%, 56.65% y 67.71% cuando se utiliza fibra de 6 cm, respectivamente, respecto a la resistencia de 13.25 kg/cm² dada en la norma UNE 41410 [15]. Así mismo, los adobes compactados con 0.5%, 0.75% y 1.0% de vaina de bambú tienen un incremento de la resistencia a flexión de 53.98%, 43.27% y 39.17% cuando se utiliza fibra de 4 cm; 71.44%, 43.44% y 32.75% cuando se utiliza fibra de 5 cm; y 69.37%, 48.28% y 48.18% cuando se utiliza fibra de 6 cm, respectivamente. Superando el supuesto de un incremento de 25%.

V. REFERENCIAS

- [1] Abessolo, D., Biwolé, A. B., Fokwa, D., Ganou Koungang, B. M., & Baah, Y. B. (2022). Physical, Mechanical and Hygroscopic Behaviour of Compressed Earth Blocks Stabilized with Cement and Reinforced with Bamboo Fibres. In *International Journal of Engineering Research in Africa* (Vol. 59, pp. 29-41). Trans Tech Publications Ltd.
- [2] Abessolo, D., Biwolé, A. B., Fokwa, D., Njeugna, E., & Koungang, M. G. (2020). Modeling of the Variation of Physical and Mechanical Properties of Compressed Earth Blocks Stabilized With Treated Bamboo Fibers. *Int. J. Eng. Sci.*, 9(3), 7-12. DOI:10.9790/1813-0903010712
- [3] Al-Fakih, A., Mohammed, B. S., Wahab, M. M. A., Liew, M. S., & Amran, Y. M. (2020). Flexural behavior of rubberized concrete interlocking masonry walls under out-of-plane load. *Construction and Building Materials*, 263, 120661. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120661>
- [4] Bitar, R., Saad, G., Awwad, E., El Khatib, H., & Mabsout, M. (2020). Strengthening unreinforced masonry walls using natural hemp fibers. *Journal of Building Engineering*, 30, 101253. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2020.101253>
- [5] Instituto Nacional de Estadística e Informática. (INEI, 2018). *Perú: Características de las viviendas particulares y los hogares, acceso a servicios básicos. Censos nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas*. INEI.
- [6] Jesudass, A., Gayathri, V., Geethan, R., Gobirajan, M., & Venkatesh, M. (2021). Earthen blocks with natural fibres-A review. *Materials Today: Proceedings*, 45, 6979-6986. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.434>

- [7] Nshimiyimana, P., Sore, C. O., Hema, C., Zoungrana, O., Messan, A., & Courard, L. (2022). A discussion of “optimisation of compressed earth blocks (CEBs) using natural origin materials: A systematic literature review”. *Construction and Building Materials*, 126887. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126887>
- [8] Paul, S., Islam, M. S., & Elahi, T. E. (2022). Comparative effectiveness of fibers in enhancing engineering properties of Earth as a building Material: A review. *Construction and Building Materials*, 332, 127366. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127366>
- [9] Paulus, J. (2015). *Construction en t erre c rue: dispositions qualitatives, constructives et architecturales—Application à un cas pratique: Ouagadougou*. [Travail de fin d’études réalisé en vue de l’obtention du grade de Master en Ingénieur Civil Architecte, Université de Liège]. Disponible en: <https://matheo.uliege.be/bitstream/2268.2/2355/1/TFE%20Jehanne%20Paulus.pdf>
- [10] Turco, C., Junior, A. C. P., Teixeira, E. R., & Mateus, R. (2021). Optimisation of Compressed Earth Blocks (CEBs) using natural origin materials: A systematic literature review. *Construction and Building Materials*, 309, 125140. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125140>
- [11] Subramanian, G. K. M., Balasubramanian, M., & Jeya Kumar, A. A. (2021). A review on the mechanical properties of natural fiber reinforced compressed earth blocks. *Journal of Natural Fibers*, 1-15. Doi: <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1958405>
- [12] Moreno, L. J., & García Torres, J. (2019). Estabilización de adobes con fibras de bambú.: Caso de estudio: proyecto de construcción de viviendas de interés social en el barrio “El pantanal”, Granada, Nicaragua. *Revista Arquitectura*, 4(8), 2–18. <https://doi.org/10.5377/arquitectura.v4i8.8981>
- [13] Paradiso, M., Hernández, R., Bizzeti, F., Farigu, A., & Lotti, O. (2018). Usage of bamboo powder as an additive in adobe bricks and bamboo canes frame for the reinforcement of adobe structure. *Revista M*, 15, 70-79.
- [14] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (MVCS, 2017). Norma E.080. Diseño y construcción con tierra reforzada, Resolución Ministerial N° 121-2017-Vivienda. *Reglamento Nacional de Edificaciones*. MVCS. Disponible en: [https://cdn-](https://cdn-web.construccion.org/normas/me2012/me2006/files/titulo3/02_E/E_080.pdf)
- [web.construccion.org/normas/me2012/me2006/files/titulo3/02_E/E_080.pdf](https://cdn-web.construccion.org/normas/me2012/me2006/files/titulo3/02_E/E_080.pdf)
- [15] Asociación Española de Normalización y Certificación. (AENOR, 2008). *Norma UNE 41410 Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo*. AENOR.
- [16] Afrin, T., Tsuzuki, T. and Wang, X. (2009). Bamboo fibres and their unique properties, in *Natural fibres in Australasia: proceedings of the combined (NZ and AUS) Conference of The Textile Institute, Dunedin 15-17 April 2009, Textile Institute (NZ), [Dunedin, New Zealand], 77-82*. <http://hdl.handle.net/10536/DRO/DU:30020679>
- [17] Moradi, S. (2013). Impacts of organic carbon on consistency limits in different soil textures. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(12), 1381.
- [18] Arteaga, K.T., Medina, Ó.H., & Gutiérrez, Ó.J. (2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo. *Revista Facultad De Ingeniería*, 20(31), 55–68. <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/1421>
- [19] Obafemi, A. O., & Kurt, S. (2016). Environmental impacts of adobe as a building material: The north cyprus traditional building case. *Case Studies in Construction Materials*, 4, 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2015.12.001>
- [20] Dormohamadi, M., & Rahimnia, R. (2020). Combined effect of compaction and clay content on the mechanical properties of adobe brick. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00402. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00402>
- [21] Hernández, J. (2016). Construcción con tierra: Análisis, conservación y mejora. Un caso práctico en Senegal. Universitat Politècnica de Catalunya. <http://hdl.handle.net/2117/107822>
- [22] Sánchez, K. Y. (2009). *Propuesta de aditivos naturales y microfibras de papel para reparar fisuras en muros de monumentos históricos de tierra*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/506>
- [23] Berzunza, C. M. B., Ochoa, E. G., Novelo, F. A. B., García, L. G. G., Hernández, J. G. C., Flores, J. L. P., ... & Quijano, J. D. D. K. (2022). Caracterización química y clasificación mediante el sucs, de los suelos presentes en el Municipio de Campeche, México: Chemical characterization and

- classification by sucs of the soils present in the Municipality of Campeche, Mexico. *South Florida Journal of Health*, 3(1), 39-48. <https://doi.org/10.46981/sfjhv3n1-006>
- [24] Medina, S. (2022). *Resistencia a compresión y flexión de bloques de adobe compactado con adición de vaina de bambú*. Universidad Privada del Norte. Cajamarca - Perú
- [25] Brito-del-Pino, J. F., Santamaría-Herrera, N. M., Macas-Peñaranda, C. A., & Tasán-Cruz, D. (2021). Elaboración de adobe sostenible . *Diseño Arte y Arquitectura*, (11), 59–79. Doi: <https://doi.org/10.33324/daya.vi11.459>
- [26] American Society of Testing Materials ASTM C67. (2019). *Métodos de ensayo estándar para el muestreo y la prueba de ladrillo y ladrillo de arcilla estructural*. West Conshohocken: ASTM International.
- [27] Kasinikota, P., & Tripura, D. D. (2022). Flexural behavior of hollow interlocking compressed stabilized earth-block masonry walls under out-of-plane loading. *Journal of Building Engineering*, 57, 104895. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104895>
- [28] Sharma, V., Marwaha, B. M., & Vinayak, H. K. (2016). Enhancing durability of adobe by natural reinforcement for propagating sustainable mud housing. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 141-155. <https://doi.org/10.1016/j.ijbs.2016.03.004>
- [29] Silveira, D., Oliveira, C., Varum, H., Ioannou, I., Miccoli, L., Tarque, N., ... & Rodríguez-Mariscal, J. D. (2021). Mechanical characterization of adobe bricks. In *Structural Characterization and Seismic Retrofitting of Adobe Constructions* (pp. 35-54). Springer, Cham. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-74737-4_3
- [30] Illampas, R., Loizou, V. G., & Ioannou, I. (2017). Effect of straw fiber reinforcement on the mechanical properties of adobe bricks. In *Proceedings of the 6th Biot conference on poromechanics*, Paris, France. https://www.researchgate.net/profile/Rogiros-Illampas/publication/318256691_Effect_of_Straw_Fiber_Reinforcement_on_the_Mechanical_Properties_of_Adobe_Bricks/links/5acc7647a6fdcc8bfc877192/Effect-of-Straw-Fiber-Reinforcement-on-the-Mechanical-Properties-of-Adobe-Bricks.pdf
- [31] Olacia, E., Pisello, A. L., Chiodo, V., Maisano, S., Frazzica, A., & Cabeza, L. F. (2019). Use of seagrass fibres in adobe bricks. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(1), p. 012051. IOP Publishing. DOI 10.1088/1755-1315/225/1/012051
- [32] Quagliarini, E., & Lenci, S. (2010). The influence of natural stabilizers and natural fibres on the mechanical properties of ancient Roman adobe bricks. *Journal of cultural heritage*, 11(3), 309-314. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2009.11.012>
- [33] Asare, B. J. (2019). *Mechanical optimisation of earth-based composites materials reinforced with treated bamboo fibres for affordable housing*. [Capstone Project submitted to the Department of Engineering, Ashesi University in partial fulfillment of the requirements for the award of Bachelor of Science degree in Mechanical Engineering]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11988/568>
- [34] Del Río, D.A. (2022). *Incorporación de fibra de bambú para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe, Pelatana, Huancavelica, 2022*. Universidad César Vallejo. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/86754>
- [35] Arteaga, F.A. y Wong, L.J. (2020). *Propiedades físicas y mecánicas del adobe con adición de fibra de bambú en el centro poblado Cambio Puente de la ciudad de Chimbote, Santa – Ancash- 2020*. Universidad César Vallejo. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/53794>