



Una Revisión de Ladrillos de Suelo y Cemento con Refuerzos Diversos

Jiménez-Montoya, Adán¹ ; Pascual-Francisco, Juan Benito^{2,*} ; Sánchez-Cruz, Gabriela¹ ; Ríos-Ledezma, María Guadalupe¹ ; Novelo-Ramos, Jael Kaleb¹ ; Matías-Molina, Ana Laura¹ 

¹Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso, División de Ingeniería Civil, San Felipe del Progreso, México

²Universidad Politécnica de Pachuca, Departamento de Mecatrónica, Zempoala, México

Resumen: El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis comparativo de investigaciones relacionadas a la determinación de propiedades físico-mecánicas de unidades de construcción (adobes y ladrillos) hechos de suelo, suelo-cemento y concreto con refuerzos diversos para proveer un panorama sobre procedimientos que conduzcan a la mejora del desempeño de estas unidades de construcción. Se analiza la variación porcentual de resistencia a la compresión, tensión, flexión, aislamiento térmico, densidad y absorción de agua acorde al tipo de refuerzo y mortero base. La incorporación de cemento como refuerzo parece tener el mayor efecto en la mejora de desempeño por resistencia a la compresión, los plásticos al aislamiento térmico, densidad y absorción de agua y los vegetales en resistencia a la tensión.

Palabras clave: Adobes, ladrillos, concreto, refuerzos, plásticos, fibras

Soil and cement bricks with diverse reinforcements: A Review

Abstract: The objective of this work is to carry out a comparative analysis of researches related to the determination of physical-mechanical properties of construction units (adobe and bricks) made of soil, soil-cement, and concrete with various reinforcements, to provide an overview of procedures that could lead to the improvement of the performance of these construction units. The percentage variation of compressive, tensile, flexural strength, thermal insulation, density, and water absorption according to the type of reinforcement and base mortar is analyzed. The incorporation of cement as reinforcement seems to have the greatest effect on improving the compressive strength, plastics on thermal insulation, density, and water absorption, and vegetables on tensile strength.

Keywords: Adobe, concrete, bricks, reinforcement, plastics, fibers

1. INTRODUCCIÓN

Los adobes son elementos de construcción hechos a base de suelo, reforzados con fibras vegetales, generalmente paja. Los primeros usos documentados de los que se tiene constancia vienen de las primeras civilizaciones como la Sumeria, o la Anasazi e Incaica en América (Cordell, 1996; Lucas & Harris, 2011). Estas unidades de construcción de dimensiones variables (según el lugar de fabricación y norma de construcción aplicable), regularmente consisten de suelo local, cuyos componentes son alguna proporción de: limo, arcilla, arena y grava y cierto porcentaje de materia orgánica y alguna adición de algún tipo de fibra natural como refuerzo (Barriola & Ginoccio, 1983).

Debido a cuestiones ecológicas, de economía y desempeño, recientemente, se han incrementado la cantidad de investigaciones realizadas en torno al mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de adobes y ladrillos de concreto

reforzados con otros tipos de materiales (nuevos y/o de reúso), entre los cuales se encuentran vegetales, textiles, plásticos, resinas, cemento, desechos de construcción, entre otros, en presentaciones como: pellet, hojuelas, tiras, entre otros, especialmente fibras.

En la presente revisión, se contemplan investigaciones recientes alrededor del mundo con especial enfoque en publicaciones en Latinoamérica y de trabajos sin mucha difusión en revistas especializadas, pero con mayor importancia en la región, tales como tesis. En este trabajo, se obtiene como resultado una tendencia sobre la mejora de desempeño de las propiedades físico-mecánicas de las unidades de construcción según el tipo de refuerzo, lo que se puede aprovechar para generar propuestas de construcción basadas en los estudios cuyo refuerzo muestra mejor desempeño, así como entender e identificar las áreas de oportunidad para el desarrollo de nuevas propuestas de

*jbpascualf@hotmail.com

Recibido: 22/11/2023

Aceptado: 28/03/2024

Publicado en línea: 31/05/2024

10.33333/rp.vol53n2.10

CC 4.0

materiales para reforzamiento de adobes y ladrillos con fines de construcción.

2. ARTÍCULOS DE REVISIÓN PREVIOS

Se consultaron 17 artículos de revisión relacionados con adobes y unidades de construcción reforzados, los enfoques que abordan son: estudios de resistencia mecánica, densidad, propiedades térmicas y absorción de agua para adobe tradicional comprimido (sin refuerzos en fibra o aditivos) (Brito-del Pino et al., 2021; Deboucha & Hashim, 2011), adobe reforzado con diversos tipos de aglutinantes y de fibras sintéticas y naturales nuevas y de desecho, analizando alguna o varias de las propiedades de: conductividad, resistencia a la compresión, conductividad térmica, densidad y absorción de agua, con sus respectivas normatividades (Balan et al., 2021; Hejazi et al., 2012; Jannat et al., 2020; Paul et al., 2022; Ramakrishnan et al., 2021; Salazar-Saucedo & Tejada-Escobedo, 2021; Salih et al., 2020b; Yazici & Keskin, 2021) desechos sólidos y su aplicación en elaboración de unidades de construcción (desechos solos o con algún tipo de suelo). Además, se analizaron propiedades mecánicas de conductividad y absorción de agua (Goli et al., 2020; Kumar et al., 2021; Sharma et al., 2021) y aplicabilidad (Safiuddin et al., 2010), análisis de varios tipos de ladrillos y adobes con enfoque en propiedades térmicas, así como por propiedades mecánicas (Cuitiño-Rosales et al., 2020) y blocks de concreto reforzado con diversos tipos de fibras sintéticas y naturales. Asimismo, se analizó alguna o varias de las propiedades: conductividad resistencia a la compresión, conductividad térmica, densidad y absorción de agua con sus respectivas normatividades (Ming et al., 2021; Thakare et al., 2021).

3. TIPOS DE REFUERZO

El estudio de propiedades físico-mecánicas se realizó clasificando los estudios acordes al tipo de refuerzo y de mortero base. Los morteros utilizados son suelo *AS* (adobes y ladrillos de suelo), suelo-cemento *ASC* (adobes y ladrillos de suelo-cemento) y concreto *C* (ladrillos de concreto). Los tipos de refuerzos, de acuerdo con los estudios disponibles, se clasificaron como: plásticos *P*, cemento *C* y otros *O* (en su mayoría fibras vegetales).

Por lo tanto, en las categorías clasificadas y analizadas se encuentra el adobe-suelo tradicional sin refuerzo adicional (*AS*) (Gama-Castro et al., 2012; Gutiérrez-Villalobos et al., 2021; Illampas et al., 2014; Yetgin et al., 2008), adobe/suelo más refuerzo plástico (*AS + P*); siendo los plásticos de refuerzo (*P*) utilizados en las diferentes pruebas Tereftalato de Polietileno (*PET*) (Ahmad et al., 2022; Araya-Letelier et al., 2019b; Ascencios-Mostacero, 2020; Aznarán-Monzón, 2018; Barturen-Payano, 2020; Bertelsen et al., 2021; Candenat-Tacac et al., 2018; Cerna-Livia & Velásquez, 2021; Correa-Carlos & Puican-Cumpa, 2021; Lozano-Rios & Valle-Fernández, 2020; Noa-Huaman & Ordoñez-Claros, 2022; Peña-Estrella & Niño-Santos, 2019; Quispe-Crisis, 2017; Robalino-Sánchez, 2019; Subramania-Prasad et al., 2011; Subramania-Prasad, 2013; Tavares & Magalhães, 2019), generalmente utilizados en fibras o molido, polipropileno (*PP*) (Araya-Letelier et al., 2019a; Ascencios-Mostacero, 2020; Burbano-García et al., 2022; Menon & Ravikumar,

2019; Muntohar et al., 2013; Nasrollahzadeh & Zare, 2020; Onochie & Balkis, 2021; Peña-Estrella & Niño-Santos, 2019; Salaou et al., 2021; Sujatha & Selsia-Devi, 2018); Vignesh et al., 2021),

poliestireno (*PE*) (Abad-Flores, 2020; Inga-Castro, 2019; Vignesh et al., 2021), poliuretano (*PU*) (Rabello & da Conceição-Ribeiro, 2021), resina (Serrano et al., 2016), policloruro de vinilo (*PVC*) (Ascencios-Mostacero, 2020) o plástico sin especificación en general (*PLAS*) en presentaciones tales como geomalla (Mir & Shah, 2019; Solís et al., 2015) o “bar chip” (El-Emam & Al-Tamimi, 2022).

Se categoriza también al cemento como refuerzo para adobe-suelo (*AS + C*) (Goutsaya et al., 2021; Ruiz et al., 2018). También, se utiliza esta combinación, pero como mortero base (adobe/suelo/cemento) y se agrega plástico como refuerzo (*ASC + P*), siendo el refuerzo en estos casos *PET* (Araya-Letelier et al., 2019b; Consoli et al., 2002; Gordillo-Montezuma, 2020; Guio-Pérez, 2019; Oliveira-Metzker et al., 2022; Paschoalin-Filho et al., 2016; Subramania-Prasad et al., 2011, 2014; Vázquez-Greciano, 2018), *PP* (Donkor et al., 2021; Donkor & Obonyo, 2015; Radwan et al., 2021), *PE* (Binici et al., 2005, 2007), plástico virgen (Jayaram et al., 2021) y plástico no especificado (Binici et al., 2005, 2007) y Bar Chip (El-Emam & Al-Tamimi, 2022).

Se agrega la categoría de ladrillos de concreto reforzados con algún tipo de plástico o polímero, (*C + P*) para contrastar la variación de las propiedades físico-mecánicas respecto al adobe con refuerzos similares. En este caso, los refuerzos son *PET* (Bailón-Espinoza & Huatuco-Cordova, 2021; Campos-Barboza et al., 2019; Di Marco-Morales & León-Téllez, 2017; Dueñas et al., 2021; Farias-Solano, 2019; Márquez-Domínguez et al., 2018; Meza-de Luna et al., 2021; Pérez-Collantes, 2021; Pérez-Pérez & Zamora-Fernández, 2020; Piñeros-Moreno & Herrera-Muriel, 2018; Sandoval-Saucedo & Guzmán-Hasegawa, 2019), polipropileno (Ccansaya-Saldaña & Piña-Pereyra, 2021; Illampas et al., 2014; Islam et al., 2022) y cubierta de cables conduit (Khalid et al., 2020).

Finalmente, la última categoría es adobe-suelo con otros tipos de refuerzo (*AS + O*) siendo estos cascarilla de arroz (Ascencios-Mostacero, 2020), cabuya (Correa-Carlos & Puican-Cumpa, 2021), bagazo de caña de azúcar, fibra de paja de arroz (Chib & Sharma, 2021), polímero de fibra de vidrio (Gandía et al., 2019), desecho de ladrillo triturado y cemento (Kasinikota & Tripura, 2021), pluma de pollo y bagazo de caña de azúcar (Salih et al., 2020a), cáñamo y paja (Calatan et al., 2016), fibra de vidrio, yute y fibra de banana (Sujatha & Selsia-Devi, 2018), cemento y fibras de basalto (Wang et al., 2020), neumáticos molidos (Oliveira-Metzker et al., 2022), cemento y fibra de palma (El-Emam & Al-Tamimi, 2022), paja y cemento (Binshad et al., 2018), alignato y fibras de lana (Galán-Marín et al., 2013), caña de maíz, fescua, paja, huesos de aceituna molidos y goma molida (Serrano et al., 2016) y pluma de pollo (Burbano-García et al., 2022).

De los estudios enfocados, únicamente al adobe reforzado con fibras plásticas es, en su mayoría, realizado en Perú, bajo la modalidad de tesis. Destaca el papel de la Universidad César Vallejo de Perú, en donde se han realizado 17 de los estudios que se reportan en el presente artículo.

4. NORMATIVIDAD APLICADA

Las normatividades utilizadas son diversas, acorde al país de realización y a la prueba o medición realizada según el tipo de mortero. En la Tabla 1, se resume la aplicación de normas acorde al tipo de estudio según lo reportado por los autores de los diversos estudios abordados. En el caso de Sudamérica, específicamente Perú, para el estudio de adobe en pruebas de granulometría, dimensionamiento y físico-mecánicas en adobe y especímenes de suelo o suelo-cemento se utiliza la NTP (norma técnica peruana) E.080 (Ministerio de Vivienda, 2017) empleada prácticamente en la totalidad de los estudios abordados (Abad-Flores, 2020; Araya-Letelier et al., 2019a; Ascencios-Mostacero, 2020; Aznarán-Monzón, 2018; Barturen-Payano, 2020; Cerna-Livia & Velásquez, 2021; Correa-Carlos & Puican-Cumpa, 2021; Inga-Castro, 2019; Lozano-Rios & Valle-Fernández, 2020; Noa-Huaman & Ordoñez-Claros, 2022; Quispe-Crisis, 2017; Robalino-Sánchez, 2019). Para el dimensionamiento, granulometría y pruebas fisicomecánicas en general de especímenes de concreto y algunos en espécimenes de mortero suelo-cemento, la norma más utilizada es la Norma Técnica Peruana NTP E.070 (Ministerio de Vivienda, 2014), usada por Campos-Barboza et al. (2019), Ccansaya-Saldaña & Piña-Pereyra (2021), Farias-Solano (2019), Pérez-Collantes (2021) y por Pérez-Pérez & Zamora-Fernández (2020). Así mismo, en conjunción con la norma E.080, para especímenes de adobe, se utiliza la NTP 339.613 (Instituto Nacional de Calidad, 2003) y en conjunción con la norma E.070 en conjunción se utiliza la NTP 339.034 (Instituto Nacional de Defensa Civil., 2005) para especímenes de concreto, tal como se muestra en los trabajos de Illampas et al. (2014), Pérez-Pérez & Zamora-Fernández (2020) y Sandoval-Saucedo & Guzmán-Hasegawa (2019).

Para el caso de Colombia, se utiliza la Norma Técnica Colombiana NTC, en sus versiones 3495 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación., 1998) utilizada por Peña-Estrella & Niño-Santos (2019). Para granulometrías y pruebas fisicomecánicas en adobe-suelo; así como la norma 4205 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2000) utilizada por Piñeros-Moreno & Herrera-Muriel (2018) para mezclas dimensionamiento y pruebas de fisicomecánicas en concretos.

En el caso de Brasil, se utiliza la norma Técnica Brasileña ABNT 8492 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984) utilizada para pruebas de infiltración en los estudios de Gandia et al. (2019), Oliveira-Metzker et al. (2022) y Paschoalin-Filho et al. (2016).

En Asia, predomina el uso de las normas indias IS, tales como la IS 2710 (Bureau of Indian Standards, 1980) utilizada por Menon & Ravikumar (2019) y Mir & Shah (2019) para suelos no consolidados, la norma IS 2720-13 (Bureau of Indian Standards, 1986) para pruebas de cortante directa en suelos consolidados, utilizada por Binshad et al. (2018), Kasinikota & Tripura (2021) y Mir & Shah (2019), la norma IS 3495 (Bureau of Indian Standards, 1992) y la IS 1725 (Bureau of Indian Standards, 1982) utilizada por Subramania-Prasad (2013) y Vignesh et al. (2021) para pruebas de absorción.

En la mayoría de los países europeos, se utiliza la norma inglesa EN, tal como la EN 1052-2:2016 (European Committee for Standardization, 2016), utilizada por ejemplo por Salih et al. (2020a) para suelo comprimido, y la norma inglesa EN 772-1:2011 (European Committee for

Tabla 1. Normatividad aplicada según el tipo de prueba

Prueba	Norma	País en que se ejecutó el estudio	
Elaboración de morteros, dimensionamiento	NTP E.080 NTP E.070, NTP 339.613	Perú, Ecuador, Colombia, Brasil	
	NTC 3495, NTC 4205	Colombia	
	EN 772-1:2011	Reino Unido, India	
	IS 2710, IS 2720 – 13, NTP 339.034	India	
	ASTM D6913-17, ASTM D7928, ASTM C127	Estados Unidos, Perú, Chile, Irán, Reino Unido, México.	
Compresión Flexión Tensión Cortante	NTP E.080, NTP E.070	Perú, Ecuador.	
	NBR 8492	Brasil	
	IS 2710, IS 2720-13	India, Egipto	
	EN 1052-2:2016, EN 1015–11.	Reino Unido, Kenia, India	
	NTC 3495, NTC 4205	Colombia	
Densidad	ASTM D5102-09 ASMT C109/C109M-16 ^a , ASTM C349-15,	Estados Unidos, India, Chile, Perú, Emiratos Árabes Unidos, Canadá, Turquía	
	NTP E.070, NTP E.080	Perú	
	EN 771–1:2003	Reino Unido, India, Kenia	
	ASTM C127-15	India, Dinamarca, Malasia, Perú	
	Aislamiento térmico	ASTM D645,	Brasil, Turquía
NTP E.080, NTP E.070, NTP 339		Perú, México, Colombia	
ASTM C 127		Perú	
EN 771–1:2003, BS EN 772-11,		Reino Unido, India	
IS: 3495, BS 1725		India, Kenia, Egipto	
Absorción de agua	NBR 8492	Brasil, India	
	ASTM C1116 (Fibras de micro propileno), ASTM D3039 (Correas de polipropileno), ASTM D6631-01 (geomalla), ASTM D1895 (PET), ASTM E1131-08 (polímero de fibra de vidrio)	Chile	
	Propiedades de los plásticos	EN 771-1:2003	Irán, Brasil, Perú, Egipto, España
		EN 771-1:2003	Reino Unido, India
		EN 771-1:2003, BS EN 772-11,	Reino Unido, India
IS: 3495, BS 1725		India, Kenia, Egipto	
NBR 8492		Brasil, India	

Standardization, 2011) utilizada por Salaou et al. (2021) y Sujatha & Selsia-Devi (2018). Para pruebas de infiltración, por ejemplo, se utiliza la norma EN 771-1:2003 (European Committee for Standardization, 2003) que, a pesar de ser emitida para especímenes de arcilla cocida, se utiliza en determinación de absorción y densidad para especímenes de suelo comprimido por Salaou et al. (2021), Salih et al. (2020a) y Sujatha & Selsia-Devi (2018).

Sin embargo, de manera general, en gran cantidad de los estudios abordados, se emplean las normas derivadas de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) en alguna de sus nomenclaturas ASTM D (suelos) y ASTM C (concretos). Solo a modo de ejemplo, se indican las normas más relevantes presentes utilizadas para estudios de suelo (granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg, etc., y pruebas físico-mecánicas como compresión o absorción) como la ASTM C127 (ASTM International, 2015a), ASTM D6913 (ASTM International, 2017b) y ASTM D7928 (ASTM International, 2017c) para pruebas de absorción y densidad, ocupada por Gordillo-Monteza (2020), la ASTM C109 (ASTM International, 2016) utilizadas para agregados, dimensionamiento y pruebas físico-mecánicas por Nasrollahzadeh & Zare (2020) y Onochie & Balkis (2021), la ASTM D695 (ASTM International, 2015c) utilizada por Rabello & da Conceição-Ribeiro (2021) para granulometría y pruebas de compresión, la ASTM D5102-09 (ASTM International, 2009) usada por Muntohar et al. (2013) para pruebas de granulometría y cortante; o bien, la ASTM D1633-17 (ASTM International, 2017a) empleada por El-Emam & Al-Tamimi (2022) para granulometría y compresión. Y la ASTM C349 (ASTM International, 2015b), utilizada por Ahmad et al. (2022) y Burbano-Garcia et al. (2022) para pruebas de flexión.

5. PRUEBAS FISICOMECAÑICAS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En el análisis, se compara el valor correspondiente al sujeto de control (sin refuerzo) contra el valor correspondiente al sujeto mejorado (reforzado), y se analiza la variación porcentual (incremento o decremento) del sujeto mejorado respecto al de control. Esto se realiza acorde a las categorías de mortero y refuerzo utilizado según el tipo de prueba, de modo general (valor promedio según la categoría aplicable) y de modo particular (enfocándose en los valores de mejor y peor desempeño). Los días de secado se consideran de 7, 14 y 28 días, siendo este último valor el más utilizado, con algunas excepciones a 7 y 21 días y pruebas en suelo no consolidado (UCS). Se indica el porcentaje de incorporación de plástico en relación al peso seco del espécimen, Wt (%), el tipo de arreglo utilizado para la prueba, tipo de plástico empleado y la presentación del mismo.

5.1 Resistencia a la compresión

En la prueba de resistencia a compresión σ_c (MPa), se compara la resistencia a la compresión σ_{cc} (MPa) del sujeto patrón o de control vs el sujeto mejorado σ_{cm} (MPa), para obtener la variación porcentual de resistencia a compresión $\Delta\sigma_c$ (%) (considerándose un valor positivo como favorable para este parámetro) según las categorías de refuerzo AS, AS + P, AS + C, ASC + P, AS + O y C + P, de modo general y particular. La prueba más utilizada para suelos consolidados es la prueba de compresión uniaxial. La expresión para calcular la σ_c se da por:

$$\sigma_c = \frac{P_{max}}{A} \quad (1)$$

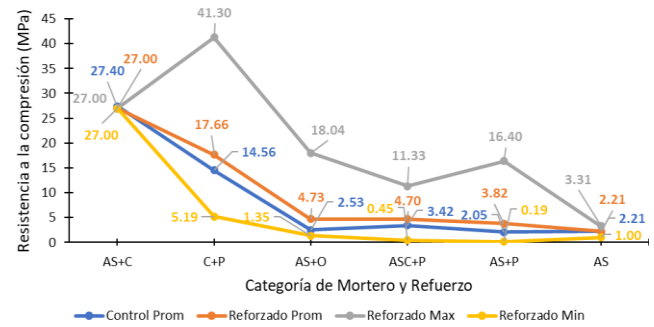


Figura 1. Resistencia a la compresión acorde a las categorías de refuerzo

Donde P_{max} (N) es la carga de compresión a ruptura aplicada, en y A (m^2) es el área la sección transversal de la muestra. Para el caso de pruebas de UCS, se realiza por lo regular inmediatamente del vertido desde el molde del sujeto de prueba sin periodo de secado. La resistencia acorde a la norma NTP E.080 es de 0.6 MPa para adobes y de 6.86 MPa para bloques de concreto acorde a la norma NTP-E070, ambos secados a 28 días.

En la categoría AS, se abordan 3 estudios, cuyo refuerzo inherente es por definición paja indicado explícitamente (Illampas et al., 2014; Yetgin et al., 2008) e implícitamente (Gutiérrez-Villalobos et al., 2021). No existe sujeto de control, por lo cual $\sigma_c = \sigma_{cc} = \sigma_{cm}$; se tiene un promedio de $\sigma_c = 2.20$ MPa, con un valor máximo $\sigma_c = 3.31$ MPa y $\sigma_c = 1$ MPa mínimo es el obtenida por Illampas et al. (2014). Los máximos valores de σ_{cc} y σ_{cm} por categoría de refuerzo, así como los valores promedio, se indican en la Figura 1.

En la categoría AS + P, se analizan 32 estudios (Abad-Flores, 2020; Araya-Letelier et al., 2019a, 2019b; Ascencios-Mostacero, 2020; Ahmad et al., 2022; Aznarán-Monzón, 2018; Barturen-Payano, 2020; Bertelsen et al., 2021; Burbano-Garcia et al., 2022; Cadenas-Tacac et al., 2018; Cerna-Livia & Velásquez, 2021; Correa-Carlos & Puican-Cumpa, 2021; El-Emam & Al-Tamimi, 2022; Inga-Castro, 2019; Lozano-Rios & Valle-Fernández, 2020; Menon & Ravikumar, 2019; Muntohar et al., 2013; Nasrollahzadeh & Zare, 2020; Noa-Huaman & Ordoñez-Claros, 2022; Onochie & Balkis, 2021; Paucar-Sevillano, 2018; Peña-Estrella & Niño-Santos, 2019; Quispe-Crises, 2017; Rabello & da Conceição-Ribeiro, 2021; Robalino-Sánchez, 2019; Salaou et al., 2021; Serrano et al., 2016; Subramania-Prasad, 2013; Subramania-Prasad et al., 2011; Sujatha & Selsia-Devi, 2018; Tavares & Magalhães, 2019; Vignesh et al., 2021). Los valores promedio en la categoría son $\sigma_{cc} = 2.03$ MPa, $\sigma_{cm} = 3.82$ MPa y $\Delta\sigma_c = 95.37$ %.

De manera particular, Lozano Rios & Valle Fernández (2020) muestran el mayor valor de $\Delta\sigma_c = 1015$ % y de $\sigma_{cm} = 16.40$ MPa, usando fibra PET al 12 %. A su vez, el menor valor de σ_{cm} se da en el estudio de Muntohar et al. (2013), con 0.19 MPa debido a que se trata de UCS mediante la fibra de PP al 0.8 %. La menor resistencia para suelo consolidado se da en los estudios de Peña-Estrella & Niño-Santos (2019) y de Inga Castro (2019) con $\sigma_{cm} = 1.10$ MPa. a través de tiras PET de 1" (sin concentración específica indicada) y Fibra de PE al 0.5 % como refuerzo, respectivamente. En este último

caso, con $\Delta\sigma_c = 27.56\%$. El menor valor de $\Delta\sigma_c$ de da también en el estudio de Inga-Castro (2019), en que se usa como refuerzo PE rayado al 0.5 %, con $\Delta\sigma_c = -27.56\%$.

En la categoría $AS + C$, solo se tiene al estudio de Ruiz et al. (2018), con $\sigma_{cc} = 27.30$ MPa. Éste estudio no contempla una comparativa vs adobe sin cemento, por lo que se toma al sujeto de control con 6 % de cemento, y al adobe mejorado con 6 % de cemento y una cubierta de madera, con una resistencia de $\sigma_{cc} = 27.00$ MPa.

Para la categoría $ASC + P$, se analizaron 15 estudios (Araya-Letelier et al., 2019b; Binici et al., 2005, 2007; Consoli et al., 2002; Donkor & Obonyo, 2015; El-Emam & Al-Tamimi, 2022; Gordillo-Monteza, 2020; Guio-Pérez, 2019; Jayaram et al., 2021; Oliveira-Metzker et al., 2022; Paschoalin-Filho et al., 2016; Radwan et al., 2021; Subramania-Prasad, 2013; Subramania-Prasad et al., 2011; Vázquez-Greciano, 2018). Los promedios son $\sigma_{cc} = 3.42$ MPa, $\sigma_{cm} = 4.69$ MPa y $\Delta\sigma_c = 93.94\%$. Se destaca que este valor de σ_{cc} es 697.38 % menor al valor de σ_{cm} de la categoría $AS + C$ al ser el mismo tipo de sujeto de prueba. Individualmente, el valor máximo $\sigma_{cm} = 11.33$ MPa se obtiene en el estudio de Jayaram et al. (2021) utilizando como refuerzo PET virgen el pellet al 2 %, y el mayor $\Delta\sigma_c = 850.42\%$ se presenta en el estudio de Guio-Pérez (2019), usando como refuerzo fibras PET concentradas al 1 %; mientras que la menor $\sigma_{cm} = 0.45$ MPa se da en el estudio de Radwan et al. (2021), bajo una prueba UCS y usando fibra de PP al 0.15 %. Para el caso de pruebas ordinarias de compresión axial, en el estudio de Vázquez-Greciano (2018) se presenta la menor $\sigma_{cm} = 0.85$ MPa y $\Delta\sigma_c = 52.77\%$, la baja resistencia se debe quizá a usar al PET como refuerzo trenzado, no como fibra.

En la categoría $C + P$, se analizaron 11 estudios (Bailón-Espinoza & Huatuco-Cordova, 2021; Campos-Barboza et al., 2019; Ccansaya-Saldaña & Piña-Pereyra, 2021; Farias-Solano, 2019; Illampas et al., 2014; Islam et al., 2022; Khalid et al., 2020; Pérez-Collantes, 2021; Pérez-Pérez & Zamora-Fernández, 2020; Piñeros-Moreno & Herrera-Muriel, 2018; Sandoval-Saucedo & Guzmán-Hasegawa, 2019). Los valores promedio son $\sigma_{cc} = 14.56$ MPa, $\sigma_{cm} = 17.65$ MPa y $\Delta\sigma_c = 25.24\%$. Individualmente, el mayor valor $\sigma_{cm} = 41.30$ MPa se presenta en el estudio de Khalid et al. (2020), donde se utiliza como refuerzo desecho de Conduit (sin cobre) al 0.5 %, a la vez que el menor $\sigma_{cm} = 5.19$ MPa se presenta en el estudio de Piñeros-Moreno & Herrera-Muriel (2018) utilizando como refuerzo PET triturado al 25 %. El mayor $\Delta\sigma_c = 126.07\%$, se da para el estudio de Pérez-Pérez & Zamora-Fernández (2020) cuyo $\sigma_{cm} = 6.73$ MPa, en bloques reforzados con fibra PET al 20 %, mientras que el menor $\Delta\sigma_c = -6.06\%$ es para el estudio de Illampas et al. (2014), usando como refuerzo 5 % PP triturado, el cual llega a un valor de $\sigma_{cm} = 11.37$ MPa.

En la categoría $AS + O$, se analizaron 16 estudios (Araya-Letelier et al., 2020; Ascencios-Mostacero, 2020; Binshad et al., 2018; Calatan et al., 2016; Chib & Sharma, 2021; Correa-Carlos & Puican-Cumpa, 2021; El-Emam & Al-Tamimi, 2022; Galán-Marín et al., 2013; Gandia et al., 2019; Kasinikota & Tripura, 2021; Oliveira-Metzker et al., 2022; Rabello & da Conceição-Ribeiro, 2021; Salih et al., 2020a; Serrano et al., 2016; Sujatha & Selsia-Devi, 2018; Wang et al., 2020). Los valores promedio son de $\sigma_{cc} = 2.53$ MPa, $\sigma_{cm} =$

4.72 MPa y $\Delta\sigma_c = 110.58\%$. Individualmente, el mayor $\sigma_{cm} = 18.04$ MPa es para adobe reforzado con yute al 1 %

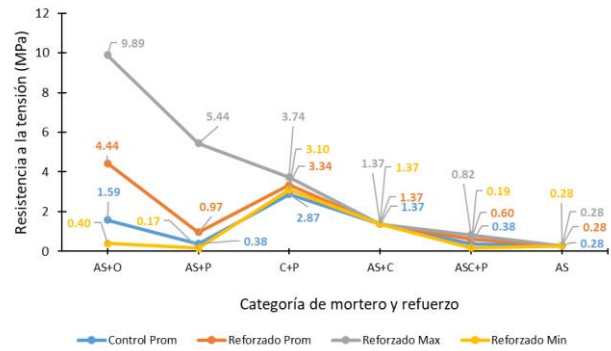


Figura 2. Resistencia a la tensión acorde a las categorías de refuerzo

(Sujatha & Selsia-Devi, 2018). La menor $\sigma_{cm} = 1.35$ MPa se presenta en el estudio de Oliveira-Metzker et al. (2022) para adobe reforzado con desecho neumático y 10 % cemento. El mayor $\Delta\sigma_c = 555.22\%$ se da en el estudio de Gandia et al. (2019), para adobe reforzado con fibra de vidrio al 10 %, pasando de $\sigma_{cc} = 1.34$ MPa a $\sigma_{cm} = 8.78$ MPa mientras que el menor valor de $\Delta\sigma_c = -44.32\%$, es para el estudio de Serrano et al. (2016) usando como refuerzo de hueso de aceituna al 5 %, pasando de $\sigma_{cc} = 2.90$ MPa a $\sigma_{cm} = 1.61$ MPa.

5.2 Resistencia a la tensión.

La resistencia a tensión σ_t (MPa) de adobes-suelo simple se obtiene en una proporción menor a la resistencia a la compresión. Esta propiedad se suele obtener por varios tipos de prueba: tensión directa, tensión bajo flexión o también llamada “bending tensile” bajo el método de ensayo “three-point bending” acorde a la norma EN 1015-11 (European Committee for Standardization, 2019), el ensayo brasileño a la tensión o “Indirect Split Tensile” (Wang et al., 2020; Muntohar et al., 2013), que consiste en comprimir un cilindro e inferir su resistencia a la tensión. La expresión para determinarla mediante este último método es:

$$\sigma_t = \frac{2P_{max}}{\pi \cdot L \cdot D} \quad (2)$$

Donde P_{max} (N) es la carga de compresión ruptura, L (m) es la longitud del cilindro y D (m) es el diámetro del cilindro. Sujatha & Selsia-Devi (2018) simplifica esta expresión a $\sigma_t = \frac{0.648 P_{max}}{L \cdot D}$; o bien, para efectos prácticos, en algunos estudios sometidos a la norma peruana E.080, se redondea a $\sigma_t = \frac{0.5 P_{max}}{L \cdot D}$ (Aznarán-Monzón, 2018; Barturen-Payano, 2020).

Para el análisis, se compara la resistencia a la tensión del sujeto de control σ_{tc} (MPa) vs la resistencia a la tensión del sujeto reforzado σ_{tm} (MPa) para obtener la variación porcentual de resistencia a la tensión $\Delta\sigma_t$ (%). Al igual que en las pruebas de compresión, se clasifican los estudios por categorías de refuerzo: AS , $AS + P$, $AS + C$, $ASC + P$, $C + P$ y $AS + O$.

Para la categoría AS , se tiene únicamente al estudio de Yetgin et al. (2008), cuya $\sigma_t = 0.27$ MPa. Esto contrasta con la categoría $AS + P$, caracterizada por 6 estudios (Aznarán-

Monzón, 2018; Barturen-Payano, 2020; Muntohar et al., 2013; Salaou et al., 2021; Subramania-Prasad, 2013; Sujatha & Selsia-Devi, 2018), cuyos valores promedio son $\sigma_{tc} = 0.37$ MPa y $\sigma_{tm} = 0.96$ MPa y $\Delta\sigma_t = 187.51$ %. La σ_{tm} promedio asciende a 1.12 MPa si se descarta el estudio de Muntohar et al. (2013), que caracteriza a un suelo no drenado reforzado con fibra de PP. Es de desatacar este estudio, pues a pesar de su baja resistencia a la tensión, el valor de $\Delta\sigma_t = 766.66$ % es el mayor dentro la categoría. El menor valor de $\Delta\sigma_t = 65.49$ % se presenta en el estudio de Aznarán-Monzón (2018), que caracteriza adobe reforzado con fibra PET. Los máximos valores de σ_{tc} y σ_{tm} por categoría de refuerzo, así como los valores promedio, se indican en la Figura 2.

Para el caso de $AS + C$, se tiene un único estudio (Ruiz et al., 2018), el refuerzo es cemento al 6 %. No se caracteriza un sujeto de control, por lo que se tiene únicamente $\sigma_{tm} = 1.37$ MPa. Este valor es 260 % mayor al promedio de $\sigma_{tc} = 0.38$ MPa de la categoría $ASC + P$, cuando debería ser similar dado que en ambos casos es un ladrillo ASC .

Para esta categoría $ASC + P$, se tienen 2 fuentes. El estudio de Subramania-Prasad (2013), en la que ensaya con mortero AS y cemento al 15 %, con refuerzos de fibra PET y bolsa de plástico, ambos al 0.2 % y el estudio de Consoli et al. (2002), que caracteriza mortero AS y cemento al 6.42 %, ensayando con refuerzo de fibra de plástico genérico al 0.78 %. Los promedios son $\sigma_{tc} = 0.38$ MPa $\sigma_{tm} = 0.60$ MPa y $\Delta\sigma_t = 54.82$ %. La mayor $\sigma_{tm} = 0.82$ MPa se da en el estudio de Subramania-Prasad (2013), y el menor valor de $\sigma_{tm} = 0.18$ MPa en el estudio de Consoli et al. (2002), realizada para un suelo no drenado reforzado con fibra de bolsa de plástico al 0.78 %.

La categoría $AS + O$ se representa por los estudios de Salih et al. (2020a), lo que caracteriza como refuerzos pluma de pollo y bagazo de caña de azúcar de Sujatha & Selsia-Devi (2018), que determinan como refuerzos fibra de vidrio AR y fibra de yute, y de Wang et al. (2020) especificando fibra de banana y fibra de basalto como refuerzo. Los promedios son $\sigma_{tc} = 1.58$ MPa (contrasta que sea 476 % mayor que el σ_t de AS y 63.58 % mayor que el σ_{tc} promedio de $AS + P$, cuando en los 3 casos se trata de AS sin refuerzo), $\sigma_{tm} = 4.44$ MPa y $\Delta\sigma_t = 156.57$ %. Para esta categoría, el mayor valor de $\sigma_{tm} = 9.89$ MPa y de $\Delta\sigma_t = 415.10$ % es para el estudio de Sujatha & Selsia-Devi (2018), cuyo refuerzo es yute al 1 %. Este valor de σ_{tm} es mayor que el de los $AS + P$ y $ASC + P$, e inclusive que la resistencia del $C + P$.

En la categoría $C + P$, se tienen los estudios de Khalid et al. (2020) en que se usa conduit al 0.5 % como refuerzo, e Islam et al. (2022), en que se usa refuerzo de fibra de PP nueva y usada, ambas al 0.5 %, los valores promedios son $\sigma_{tc} = 2.87$ MPa, $\sigma_{tm} = 3.34$ MPa y $\Delta\sigma_t = 17.58$ %. El mayor valor de $\sigma_{tm} = 3.74$ MPa se da en el estudio de Khalid et al. (2020) y el menor valor de $\sigma_{tm} = 3.10$ MPa en el estudio de Islam et al. (2022).

5.3 Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión σ_f (MPa) se determina por el ensayo de flexión a 3 puntos. La ecuación para calcularla de acuerdo a la UNE-EN 196-1 (UNE, 2018) es:

$$\sigma_f = 1.5 \cdot F_f \cdot l_f / b^3 \quad (3)$$

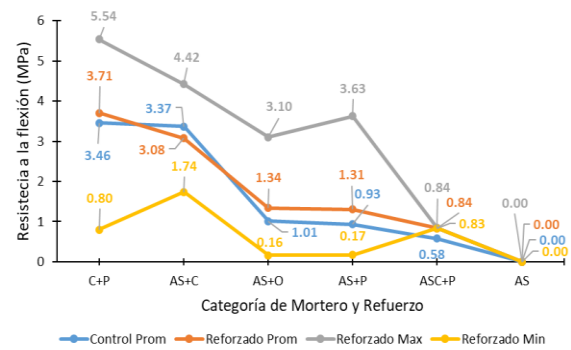


Figura 3. Resistencia a la flexión acorde a las categorías de refuerzo

donde F_f (N) es la fuerza de flexión al punto de ruptura, l_f (m) es la distancia entre los soportes y b (m) es la sección cuadrada del prisma. Esta norma establece que la σ_f mínima para bloques AS es de 0.35 MPa. Para el análisis, se compara la resistencia a la flexión del sujeto de control σ_{fc} (MPa) vs la resistencia a la flexión del sujeto reforzado σ_{fm} (MPa) para obtener la variación porcentual de resistencia a la flexión $\Delta\sigma_f$ (%). Nuevamente, se clasifican los estudios por categorías de refuerzo: $AS + P$, $AS + C$, $ASC + P$, $C + P$ y $AS + O$ (se omite AS , al no encontrarse estos ensayos en la literatura revisada).

Para la categoría $AS + P$, se contemplan 9 estudios (Ahmad et al., 2022; Araya-Letelier et al., 2019a; Ascencios-Mostacero, 2020; Bertelsen et al., 2021; Burbano-García et al., 2022; Candenas-Tacac et al., 2018; Correa-Carlos & Puican-Cumpa, 2021; Onochie & Balkis, 2021; Serrano et al., 2016). Son los valores promedio de $\sigma_{fc} = 0.93$ MPa, $\sigma_{fm} = 1.30$ MPa y $\Delta\sigma_f = 31.09$ %, con el mayor valor de $\sigma_{fm} = 3.62$ MPa y $\Delta\sigma_f = 105.55$ % para el estudio de Candenas-Tacac et al. (2018), que determina el refuerzo fibra PET al 25 %; a su vez, el estudio de Serrano et al. (2016) especifica pellet de PU al 10 % como refuerzo, tiene el menor valor de $\sigma_{fm} = 0.17$ MPa y $\Delta\sigma_f = -42.14$ %. Los máximos valores de σ_{fc} y σ_{fm} por categoría de refuerzo, así como los valores promedio, se indican en la Figura 3.

En la categoría $AS + C$, se tienen dos estudios (Goutsaya et al., 2021; Ruiz et al., 2018). Los valores promedio son $\sigma_{fc} = 3.37$ MPa y $\sigma_{fc} = 3.37$ MPa a una $\sigma_{fm} = 3.08$ MPa, con un valor máximo de $\sigma_{fc} = 3.37$ MPa para el primer estudio, reportando a su vez un $\Delta\sigma_f = 31.15$ % a una concentración 8 % de cemento.

De la categoría $ASC + P$ representada por los estudios de Donkor & Obonyo (2015) y Donkor et al. (2021) (en ambos el mortero usa cemento al 8 % y fibra de PP como refuerzo al 0.4 % y 0.6 % respectivamente), los valores promedio son $\sigma_{fc} = 0.57$ MPa, y $\sigma_{fm} = 0.83$ MPa (271 % menor a la σ_{fm} de $AS + C$, a pesar de tratarse del mismo mortero) y $\Delta\sigma_f = 50.39$ %. Los valores de σ_{fm} de ambos estudios son prácticamente idénticos (0.83 MPa y 0.84 MPa respectivamente), confirmando la consistencia de los estudios.

En la categoría $AS + O$, se tienen 7 estudios (Araya-Letelier et al., 2020; Ascencios-Mostacero, 2020; Calatan et al., 2016; Correa-Carlos & Puican-Cumpa, 2021; Galán-Marín et al., 2013; Kasinikota & Tripura, 2021; Serrano et al., 2016). Los valores promedio son $\sigma_{fc} = 1.01$ MPa, $\sigma_{fm} = 1.34$ MPa y $\Delta\sigma_f = 26.52\%$. El mayor valor de $\sigma_{fm} = 3.1$ MPa se da en el estudio de Calatan et al. (2016), que caracteriza cáñamo al 15 % como refuerzo. El mayor $\Delta\sigma_f = 102.34\%$ es para el estudio de Serrano et al. (2016), que utiliza festuca al 1 %, a la vez que el menor valor de $\sigma_{fm} = 0.164$ MPa y $\Delta\sigma_f = -45.15\%$ se caracteriza también en este estudio, con hueso de aceituna como refuerzo al 5 % (valor similar de $\Delta\sigma_f$ en el mismo estudio para pruebas de compresión).

Para la categoría $C + P$, se tienen los estudios de Di Marco-Morales & León-Téllez (2017), Islam et al. (2022), Márquez-Domínguez et al. (2018) y Meza-de Luna et al. (2021). Los valores promedio son $\sigma_{fc} = 3.46$ MPa, $\sigma_{fm} = 3.70$ MPa y $\Delta\sigma_f = 26.76\%$. El valor máximo de $\sigma_{fm} = 5.54$ MPa se da en el estudio de Márquez-Domínguez et al. (2018), con tiras PET como refuerzo (no se indica la concentración). Este valor es el mayor de σ_{fm} en todas las categorías de esta prueba. Individualmente, el mayor valor de $\Delta\sigma_f = 100\%$ está en el estudio de Meza-de Luna et al. (2021), que caracteriza como refuerzo fibra PET al 25 %, y el menor $\Delta\sigma_f = -17.30\%$ se tiene en el estudio de Di Marco-Morales & León-Téllez (2017), que caracteriza fibra PET al 20 % como refuerzo.

5.4 Resistencia a cortante

La resistencia a la cortante σ_s (MPa) comúnmente se determina de manera indirecta por la prueba de compresión diagonal, acorde a Cerna-Livia & Velásquez (2021) y a la norma peruana NTP E.080. La expresión para determinar σ_s es:

$$\sigma_s = \frac{P}{2 \cdot a \cdot e_m} \quad (4)$$

Donde P (N) es la carga diagonal, aplicada al bloque o al murete (cuadrado), a (m) es la medida de uno de los lados del murete y e_m (m) es el grosor del murete. La resistencia mínima es de 0.25 kg/cm^2 (2.45×10^{-2} MPa), acorde a la Norma Peruana E.080. La prueba anteriormente mencionada es aplicada en los estudios de las categorías $AS + P$, $C + P$, y en el estudio de Correa-Carlos & Puican-Cumpa (2021) de la categoría $AS + O$. En los estudios de las otras categorías, σ_s se determina mediante las pruebas UCS y de cortante directa. Para el presente análisis, se considera la comparativa de la resistencia a cortante de los sujetos de control σ_{sc} (MPa) vs la resistencia a cortante de los sujetos mejorados σ_{sm} (MPa), para obtener la variación porcentual de resistencia a cortante $\Delta\sigma_s$ (%). Dada la escasez de estudios para este tipo de prueba, únicamente se consideran las 3 categorías anteriormente mencionadas.

En la categoría $AS + P$ se abordan 7 estudios (Candenas-Tacac et al., 2018; Cerna-Livia & Velásquez, 2021; Correa-Carlos & Puican-Cumpa, 2021; Menon & Ravikumar, 2019; Mir & Shah, 2019; Muntohar et al., 2013; Salaou et al., 2021). Son los valores promedio de $\sigma_{sc} = 0.49$ MPa, $\sigma_{sm} = 0.93$ MPa y $\Delta\sigma_s = 708.67\%$. El menor valor de σ_s es para el estudio de

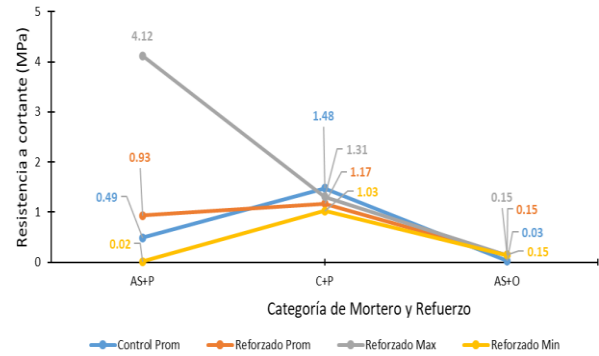


Figura 4. Resistencia a cortante acorde a las categorías de refuerzo

Mir & Shah (2019), en el que se utilizan 3 tiras de PET como refuerzo resultando en una $\sigma_{sc} = 6.40 \times 10^{-3}$ MPa y $\sigma_{sm} = 1.75 \times 10^{-2}$ MPa. Esta baja resistencia se debe quizá a que el mortero base es arena; sin embargo, para este caso se puede observar un $\Delta\sigma_s = 173\%$, casi el doble que la $\Delta\sigma_s$ promedio de la categoría, lo que indica que el refuerzo con PET aplicado a arena tiene un gran efecto en el aumento de resistencia a cortante. Los máximos valores de σ_{sc} y σ_{sm} por categoría de refuerzo, así como los valores promedio, y se indican en la Figura 4, destacando que el mayor valor de $\sigma_{sm} = 4.11$ MPa dentro de esta y todas las categorías es para el estudio de Candenas-Tacac et al. (2018) con fibra PET al 30 % como refuerzo y un $\Delta\sigma_s = 90.91\%$, respecto a $\sigma_{sc} = 2.15$ MPa. Sin embargo, el mayor $\Delta\sigma_s = 4454.54\%$, se da en el estudio de Muntohar et al. (2013) caracterizando refuerzo de fibra de polipropileno al 0.4 % para un estudio de suelo no drenado. La categoría $C + P$ es representada por los estudios de Illampas et al. (2014) y de Pérez-Collantes (2021) en donde el refuerzo es polipropileno triturado al 5 % y PET triturado al 10 %, respectivamente. Los valores promedio son $\sigma_{sc} = 1.47$ MPa, $\sigma_{sm} = 1.16$ MPa y $\Delta\sigma_s = -21.03\%$. Este caso de reducción en las dos referencias podría indicar que los refuerzos plásticos reducen la resistencia cortante en el concreto, aunque se deben realizar más estudios al respecto. En la categoría $AS + O$, se tiene únicamente al estudio de Correa-Carlos & Puican-Cumpa (2021) en que el refuerzo es fibra de cabuya (maguey) al 4 %. Se pasa de $\sigma_{sc} = 0.03$ MPa a $\sigma_{sm} = 0.14$ MPa, (un $\Delta\sigma_s = 358\%$), mayor al $\Delta\sigma_s$ promedio general de la categoría $AS + P$ (a pesar que en ésta se encuentra el mayor valor de σ_{sm} debido al estudio de Candenas-Tacac et al. (2018), pero menor aún al $\Delta\sigma_s$ del estudio de Muntohar et al. (2013).

5.5 Otras pruebas: Densidad, aislamiento térmico, y absorción de agua

Las pruebas de desempeño físico, a pesar de ser de secundarias, por lo general cobran especial relevancia cuando se elaboran prototipos destinados a condiciones específicas de vivienda y zona de aplicación.

5.5.1 Densidad

La densidad ρ (kg/m^3) se determina por la ecuación:

$$\rho = m/V \quad (5)$$

Donde m (kg) es la masa del espécimen de prueba: adobe, masa de suelo o ladrillo seco o, en su caso, de suelo no drenado; y V (m^3) es el volumen del sujeto. La ρ se obtiene tanto para el sujeto de control ρ_c (kg/m^3), así como para el sujeto reforzado ρ_m (kg/m^3) y la variación porcentual de densidad $\Delta\rho$ (%). Asimismo, se obtienen los valores promedio para las categorías analizadas AS, AS + P, ASC + P, C + P y AS + O. Se considera que un sujeto reforzado obtiene un desempeño favorable si ρ_m se reduce respecto a ρ_c ; es decir, se desea un valor negativo de $\Delta\rho$.

Para la categoría AS se resaltan los estudios de Gama-Castro et al. (2012) y de Gutiérrez-Villalobos et al. (2021) (éste último realizado para adobes del centro y sudeste de México en pruebas destructivas y no destructivas). El promedio de ρ es $\rho = 1361.13 \frac{kg}{m^3}$. La categoría AS + P es caracterizada por 6 estudios (Bertelsen et al., 2021; Burbano-García et al., 2022; Noa-Huaman & Ordoñez-Claros, 2022; Subramania-Prasad, 2013; Subramania-Prasad et al., 2011; Sujatha & Selsia-Devi, 2018), siendo los valores promedio de $\rho_c = 1852.28 kg/m^3$ (35.64 % mayor a ρ_c de la categoría AS), $\rho_m = 1738.57 kg/m^3$ y $\Delta\rho = -6.29$ %. El estudio con mejor desempeño para esta categoría es el de Noa-Huaman & Ordoñez-Claros (2022), el cual incorpora 6 % de fibras PET, con la mayor reducción de densidad $\Delta\rho = -16.33$ % y con el menor valor de $\rho_m = 1280 kg/m^3$ de esta clasificación. El mayor valor de $\rho_m = 1897 kg/m^3$ en esta categoría lo tiene el estudio de Subramania-Prasad (2013), para refuerzo de fibra PET al 0,2%, esto se debe a que el adobe fue manufacturado con una presión de moldeado de 7.5 MPa. Los máximos valores de ρ_c y ρ_m por categoría de refuerzo, así como los valores promedio, se indican en la Figura 5.

La categoría ASC + P se representa por 4 estudios (Guio-Pérez, 2019; Oliveira-Metzker et al., 2022; Subramania-Prasad, 2013; Subramania-Prasad et al., 2011), siendo los valores promedio de $\rho_c = 1781.25 kg/m^3$, $\rho_m = 1748.50 kg/m^3$ y $\Delta\rho = -1.88$ %. En todos los casos, se observa reducción de la densidad, con el mayor valor para el estudio de Guio-Pérez (2019), que incorpora fibra PET al 1 %, con 6 % de contenido de cemento, con $\Delta\rho = -3.63$ %. Esto es consistente con la tendencia indicada por Radwan et al. (2021), donde se indica que a mayor cantidad de incorporación de cemento, se incrementa la densidad del adobe (a partir del 10 % de contenido de cemento, se observa $\Delta\rho_m$ de 100 kg/m^3 , por cada 10 % de incremento de contenido de cemento).

Para la categoría C + P, se tiene únicamente el estudio de Farias-Solano (2019), que evalúa como refuerzo la fibra PET al 30 %, con valores de $\rho_c = 2180 kg/m^3$, $\rho_m = 2060 kg/m^3$ y $\Delta\rho = -5,50$ %. Es de destacar que el valor de ρ_c es 37.56 % mayor que el correspondiente del adobe puro.

Finalmente, para AS + O se tienen 7 estudios (Araya-Letelier et al., 2020; Calatan et al., 2016; Gandia et al., 2019; Oliveira-Metzker et al., 2022; Rabello & da Conceição-Ribeiro, 2021; Salih et al., 2020a; Sujatha & Selsia-Devi, 2018), siendo el valor promedio de $\rho_c = 1630.60 kg/m^3$, $\rho_m = 1433.67 kg/m^3$ y $\Delta\rho = -12.56$ %. En todos los casos, existe una reducción del valor de densidad, con el mejor desempeño para el estudio de Calatan et al. (2016) ($\Delta\rho = -25.59$ %), con 40 % de incorporación de paja como refuerzo (en este caso, la

incorporación no se da en porcentaje de peso seco como en el resto de los estudios, sino como porcentaje de volumen). Es de notar que la paja como refuerzo de AS proporciona el mejor desempeño de reducción de densidad, incrementando también su resistencia a la flexión en 51.51 % pero reduciendo en

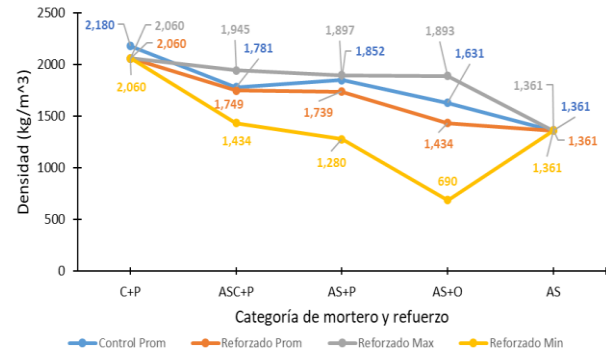


Figura 5. Densidad acorde a las categorías de refuerzo

4.87 % su resistencia a la compresión, por lo que no necesariamente el mejoramiento de propiedades físicas está ligado al mejoramiento de propiedades mecánicas (ver Figura 8).

5.5.2 Aislamiento térmico

Este parámetro no es siempre determinable bajo los mismos términos, en algunos estudios (Noa-Huaman & Ordoñez-Claros, 2022; Núñez-Aldás et al., 2021; Oliveira-Metzker et al., 2022) se caracteriza como conductividad térmica o aislamiento térmico, que se evalúa como la cantidad de calor que pasa por unidad de volumen; se representa por el coeficiente de conductividad térmica λ ($w/m \cdot K$), expresado en la siguiente ecuación, acorde a las normas NCh 851 (Instituto Nacional de Normalización, 2008) y ABNT 2008 (ABNT, 2008).

$$\lambda = \frac{d \cdot P}{A \cdot \Delta t} \quad (6)$$

Donde: d (m) es el grosor del espécimen, P (W/m^2) es la radiación por unidad de área, A (m^2) es el área de la sección transversal y Δt (K) o ($^{\circ}C$) es la variación de temperatura entre las caras opuestas del espécimen.

Las pruebas de transferencia de calor/aislamiento térmico tienen como propósito la reducción del valor del coeficiente obtenido; pues entre menor sea este valor, se considera a la unidad de construcción como un mejor aislante. Por lo tanto, para el análisis, se compara el aislamiento térmico del sujeto de control λ_c ($w/m K$) contra la el aislamiento térmico del sujeto reforzado λ_m ($w/m K$) en las categorías AS + P, ASC + P, C + P y AS + O, a través del porcentaje de reducción de conductividad térmica ($\Delta\lambda$), que es el cambio porcentual entre λ_c y λ_m . El comportamiento general de las categorías analizadas para $\Delta\lambda$, se muestra en la Figura 6.

En la categoría AS + P, no se analizan las mismas unidades para estos estudios. En los trabajos de Noa-Huaman & Ordoñez-Claros (2022), Núñez-Aldás et al. (2021), y de Rabello & da Conceição-Ribeiro (2021), se analiza en ($w/m K$), mientras que Inga Castro (2019) utiliza ($^{\circ}C/h$). Sin

embargo, es posible obtener un valor promedio para la categoría de $\Delta\lambda = -43.81\%$, cuyo mejor desempeño se presenta en el estudio de Rabello & da Conceição-Ribeiro (2021) con $\Delta\lambda = -93\%$ usando como refuerzo vermiculita aligerada reforzada con resina de poliuretano vegetal al 10 %.

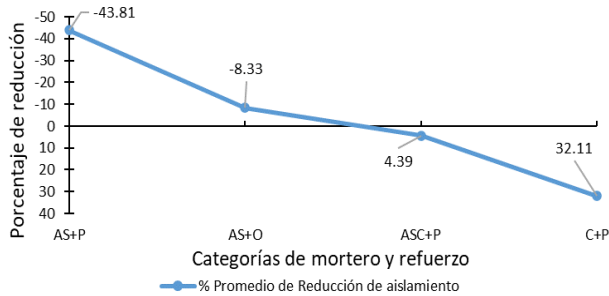


Figura 6. Porcentaje promedio de reducción de aislamiento térmico acorde a las categorías de refuerzo

En la categoría $ASC + P$, se tiene al estudio de Oliveira-Metzker et al. (2022) en donde se caracteriza como refuerzo tiras PET al 1.5 % cuyo contenido de cemento en el mortero es 10 %; se observa $\Delta\lambda = -11.94\%$. También se tiene el estudio de Binici et al. (2007), que caracteriza dos tipos de refuerzo: fibra de plástico genérico al 0.2 % y tela de PET al 0.4 %, con 10 % de contenido de cemento en el mortero, con $\Delta\lambda = 13.02\%$ y $\Delta\lambda = 12.09\%$, respectivamente. El promedio para la categoría es de $\Delta\lambda = 4.39\%$. Este comportamiento de incremento de λ se da también para el único estudio de la categoría $C + P$, (Dueñas et al., 2021), que analiza el cemento reforzado con plástico (PET) en días soleados y nubosos, con valores de $\Delta\lambda = 35.1\%$ y $\Delta\lambda = 27.5\%$, respectivamente, resultando en un promedio de $\Delta\lambda = 31.8\%$ para la categoría. En este caso, el desempeño del refuerzo no es el esperado.

En la categoría $AS + O$, se analizan los estudios de Calatan et al. (2016), Gandía et al. (2019) y Oliveira-Metzker et al. (2022). En los tres trabajos, se presentan valores negativos para los diferentes refuerzos, siendo estos $\Delta\lambda = -20.93\%$ para fibra de vidrio, $\Delta\lambda = -18.42\%$ para paja y $\Delta\lambda = -10.14\%$ para neumático triturado con cemento respectivamente. En el trabajo de Calatan et al. (2016), se presenta un segundo estudio de adobe- suelo con cáñamo como refuerzo, donde se tiene un $\Delta\lambda = 16.15\%$, resultando en un valor promedio $\Delta\lambda = -8.33\%$ para la categoría. La comparativa entre el promedio de $\Delta\lambda$, se agrega también en comparación con otros porcentajes de incremento en la Figura 8.

5.5.3 Porcentaje de absorción de agua

El porcentaje de absorción de agua W_A (%) es una propiedad adimensional que mide la cantidad de agua que una unidad de construcción puede absorber, respecto a su peso seco. De acuerdo con Onochie & Balkis (2021), W_A se calcula con la siguiente fórmula:

$$W_A = ((M_H - M_S)/M_S) \times 100 \quad (7)$$

donde M_H (kg) es el peso húmedo del adobe y M_S (kg) es el peso seco. Para el caso de esta propiedad, el objetivo es reducir el valor de W_A , a fin de evitar efectos nocivos como degradación por erosión hídrica, acumulación de humedad en la construcción y disminución de resistencia mecánica. La reducción de este valor (favorable en caso de ser negativo) se cuantifica también de manera porcentual y se expresa como ΔW_A (%), en referencia al valor del sujeto de control W_{AC} (%) vs el mejorado W_{AM} (%). Las categorías analizadas son AS , $AS + P$, $ASC + P$, $C + P$ y $AS + O$.

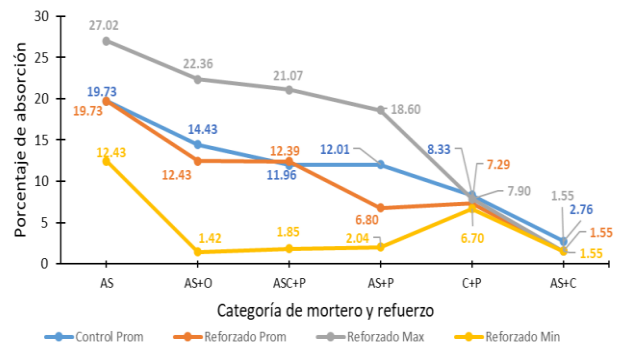


Figura 7. Porcentaje de absorción acorde a las categorías de refuerzo

Para la categoría AS , el estudio de Gama-Castro et al. (2012) es el único caracterizado, con 2 diferentes presiones de moldeado, observándose la directa influencia de este tratamiento para reducir W_A . Se pasa de $W_A = 27.02\%$ a 3.30×10^{-2} MPa de presión de moldeado a $W_A = 12.43\%$ a 1.50 MPa de presión de moldeado. El valor promedio es considerado como de control y mejorado, dado que se trata del mismo espécimen. Dentro de todas las categorías, los valores más altos de absorción los tienen los adobes simples, tal como se puede observar en la Figura 7

En la categoría $AS + P$, se analizan 9 estudios (Abad-Flores, 2020; Ascencios-Mostacero, 2020; Correa-Carlos & Puican-Cumpa, 2021; Noa-Huaman & Ordoñez-Claros, 2022; Paucar-Sevillano, 2018; Salaou et al., 2021; Sujatha & Selsia-Devi, 2018; Vignesh et al., 2021). Particularmente en el estudio de Salaou et al. (2021), que caracteriza a fibra de polipropileno al 0.4 %, no se determina W_A , sino un parámetro conocido como tasa de absorción de agua, con valores de $0.41 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{min}}$ y $0.18 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{min}}$ para el sujeto de control y mejorado respectivamente, por lo que no se analiza en conjunto con los otros estudios. Para el resto de los ellos, el W_{AC} promedio es de 12.01 % y W_{AM} promedio de 6.80 %, con un promedio de ΔW_A de -37.31% . El mayor valor de reducción de $\Delta W_A = -71.42\%$, se obtiene para el estudio de Vignesh et al. (2021), que caracteriza adobe reforzado con monofilamentos PET al 0.5 % y presión de moldeado de 15 MPa. En el estudio de Abad-Flores (2020) $\Delta W_A = -89.10\%$; sin embargo, se debe resaltar que se trata de una extrapolación de los resultados presentados por Paucar-Sevillano (2018). El peor desempeño es para el estudio de Correa-Carlos & Puican-Cumpa (2021), con $\Delta W_{AM} = 67.28\%$, para adobe reforzado con fibras de PET al 2 %, sin indicar una presión de moldeado específica. El único estudio de absorción de agua para $AS + C$ es el de Goutsaya et al. (2021) reforzado al 8 % con una presión de

moldeado de 3 MPa. Se obtiene $\Delta W_A = -43.84\%$, pasando de $W_{AC} = 2.76\%$ a $W_{AM} = 1.55\%$.

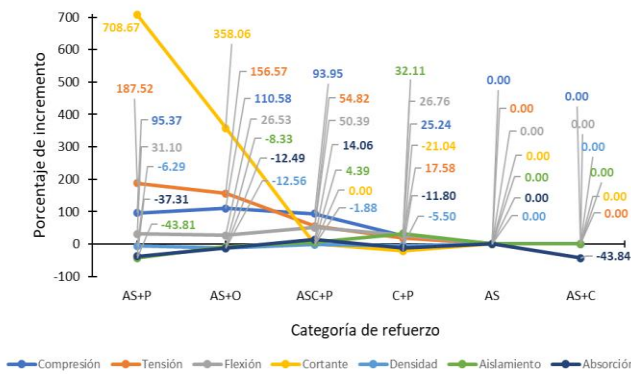


Figura 8. Comparativa de variación de las propiedades físico-mecánicas respecto al tipo de refuerzo

La categoría *ASC + P* la representan 5 estudios (Jayaram et al., 2021; Oliveira-Metzker et al., 2022; Paschoalin-Filho et al., 2016; Subramania-Prasad, 2013; Subramania-Prasad et al., 2014). En este caso, W_{AC} promedio es de 11.96 %, W_{AM} promedio de 12.38 % y un promedio de $\Delta W_A = 14.05\%$. Esto se debe a que en los últimos 3 estudios la incorporación de fibras tiene un efecto no favorable en el adobe, incrementando W_{AM} , a pesar de la alta presión de 7.5 MPa de moldeado a la que se someten los especímenes. El peor desempeño se presenta en el estudio de Subramania-Prasad (2013) y en el estudio de Subramania-Prasad et al. (2014), con $\Delta W_A = 29.28\%$ que pasa de $W_{AC} = 7\%$ a $W_{AM} = 9.05\%$, al reforzar ASC al 15 % de cemento y con fibra PET reciclado de 1 cm al 0.1 % en ambos casos. En el estudio de Jayaram et al. (2021), donde el refuerzo es plástico virgen al 2 % y el contenido de cemento en el mortero del 16.7 %, no se aplica presión de moldeado. Este último estudio tiene los valores más pequeños de W_{AC} y W_{AM} (1.52 % y 1.85 % respectivamente), aun cuando no se aplica presión de moldeado. El mejor desempeño en esta categoría se da en el estudio de Paschoalin-Filho et al. (2016) en el que se estudia el refuerzo de hojuela de PET triturado al 10 % en mortero ASC con 25 % de contenido de cemento, con una $\Delta W_A = -10.28\%$, pasando de $W_{AC} = 21.4\%$ a $W_{AM} = 19.2\%$.

Los estudios de Campos-Barboza et al. (2019), Ccansaya-Saldaña & Piña-Pereyra (2021), Di Marco-Morales & León-Téllez (2017) y Farias-Solano (2019) y de representan la categoría *C + P*. El valor promedio de W_{AC} y W_{AM} es de 8.32 % y de 7.28 %, respectivamente, y el promedio $\Delta W_A = -11.79\%$, con reducción para todos los estudios. En ninguno de los especímenes se aplica presión de moldeado, dadas las condiciones de moldeado y fraguado de concreto. El mejor desempeño es para el estudio de Farias-Solano (2019), con una ΔW_A de -26.37% , pasando de $W_{AC} = 9.1\%$ a $W_{AM} = 6.7\%$, usando PET triturado al 30 %.

En el caso de la categoría *AS + O* descrita por los estudios de Ascencios-Mostacero (2020), Correa-Carlos & Puican-Cumpa (2021), Gandia et al. (2019), Kasinikota & Tripura (2021), Oliveira-Metzker et al. (2022), Rabello & da Conceição-Ribeiro (2021), Salih et al. (2020a) y Sujatha & Selsia-Devi (2018), el valor promedio de W_{AC} es de 14.42 %, mientras que W_{AM} promedio es de 12.43 %, y un promedio $\Delta W_A = -12.49\%$. El peor desempeño en cuanto a reducción por

refuerzo lo muestra el estudio de Gandia et al. (2019) caracterizando suelo reforzado al 5 % con fibra de vidrio AR, con $\Delta W_A = 33.88\%$ pasando de $W_{AC} = 9.62\%$ a $W_{AM} = 12.88\%$, mientras que el mejor desempeño dentro de esta y todas las categorías es para vermiculita reforzada al 30 % con resina de poliuretano vegetal, pasando de $W_{AC} = 8.31\%$ a $W_{AM} = 1.42\%$, lo que da como resultado $\Delta W_A = -82.91\%$. Esto tal vez debido a que la resina permea dentro de los poros del bloque, impidiendo el paso del agua.

6. CONCLUSIONES

Mediante este trabajo de revisión se determinó la relación general entre la variación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de construcción de adobe-suelo-cemento y concreto ante la aplicación de refuerzos diversos. Esto será de utilidad en la investigación del efecto de nuevos tipos de refuerzo a especímenes de suelo y concreto, para mejorar el desempeño de los mismos, a la vez que se obtiene un criterio general de aplicación de los datos reportados, en aplicaciones diversas de construcción y de ingeniería. A continuación, se indican las conclusiones específicas por criterio de desempeño.

6.1 Resistencia a la compresión

De manera general, los valores promedio de los sujetos de control y los sujetos mejorados superan la σ_c establecida por norma. Con la incorporación de cemento en el mortero base y como refuerzo se obtienen los mayores valores σ_c , con valores cercanos a los necesarios por norma (6.86 MPa) para especímenes de concreto puro. La incorporación de refuerzos plásticos y otros diversos implican valores de $\Delta\sigma_c$ similares en especímenes de mortero *AS* y *ASC*, (con una variación entre ellos del 1.42 %) siendo ligeramente mayor al reforzar con vegetales (15.21 % y 16.63 % mejor respecto a refuerzos plásticos en morteros *AS* y *ASC* respectivamente). El efecto en el $\Delta\sigma_c$ al incorporar plásticos en concreto es menor al observado en especímenes *AS* y *ASC*, tal cual se observa en la Figura 8

6.2 Resistencia a la tensión

Los mayores valores de σ_{tm} promedio se dan en orden descendente en las categorías *AS + O*, *C + P*, *ASC + P*, *AS + C*, *AS + P*, y *AS*, respectivamente. De manera individual, el *AS* reforzado con yute ofrece el mayor valor de $\sigma_{tm} = 415.10\%$ y $\Delta\sigma_t = 415.10\%$ de todas las categorías analizadas. Se puede inferir que la incorporación general de refuerzos al *AS* tiene similares efectos de $\Delta\sigma_t$. No así para morteros *ASC* y *C*, notando que, a mayor cantidad de cemento, menor es el impacto de los refuerzos plásticos, tal como se muestra en las Figuras 2 y 8.

6.3 Resistencia a flexión

La mayor σ_{fm} promedio y σ_{fm} máxima (individual) por categorías es para *C + P*; seguido por *AS + C*, *AS + O*, *AS + P* y *ASC + P*, superando en lo general el valor de resistencia a la flexión mínima por norma (0.35 MPa). El promedio de

$\Delta\sigma_f$ para $AS + P$, $AS + C$ y $AS + O$ es similar, lo que se puede indicar que el aumento de resistencia a la flexión en especímenes AS es similar sin importar el tipo de refuerzo. La incorporación de plástico en el mortero ASC implica el $\Delta\sigma_f$ promedio más alto de todas las categorías (50.9 %), mientras que para especímenes de C es menor (26.76 %), y no se observa una clara relación en el mejoramiento de resistencia al incorporar de plástico en C y ASC , pero similar al incorporar plástico en C y refuerzos generales en AS (incremento de 26.76 % y 26.52 % respectivamente).

6.4 Resistencia cortante

En todas las categorías, los valores promedio de σ_{sc} y σ_{sm} superan el valor de la resistencia mínima por norma (2.45×10^{-2} MPa, excepto el estudio de Mir & Shah (2019b)). La categoría $AS + P$ tiene los estudios con mayor y menor resistencia (4.11 MPa y 0.0175 MPa, respectivamente), pero la mayor σ_{sm} promedio da en la categoría $C + P$ (1.16 MPa). A pesar de la escasa cantidad de estudios, se puede indicar que la incorporación de plásticos (y cabuya para las categorías $AS + O$) tiene un efecto positivo en el $\Delta\sigma_s$ del AS , en similar proporción al $\Delta\sigma_c$ para este mortero. En el caso del concreto, la incorporación de plásticos como refuerzo reduce la σ_{sm} (-21 %).

6.5 Densidad

La mayor ρ_m promedio e individual por categorías se da en $C + P$, seguido de $ASC + P$, $AS + P$, $AS + O$ y AS , lo que indica que el contenido de cemento es proporcional a la densidad, en tanto que, en lo general, todos los especímenes reforzados tienen menor densidad que los especímenes AS , tal como se puede observar en la Figura 8. Así, el efecto de refuerzos en todas las categorías tiende a ser a reducción tal como se pretende, siendo el menor $\Delta\rho$ en $AS + O$, seguido de $AS + P$, $C + P$ y $ASC + P$. (-12.56 %, -6.29 %, -5.50 % y -1.88 % respectivamente), por lo que la incorporación de vegetales tiende a ejercer un mayor efecto en la reducción de densidad, seguido de plásticos. A su vez, los plásticos tienen mayor efecto de reducción de densidad en morteros AS , C y ASC respectivamente.

6.6 Aislamiento térmico

En los estudios analizados, los valores de λ se plasman con unidades de medida no equivalentes, lo que dificulta su análisis, pero en todos los casos abordados se puede determinar el $\Delta\lambda$. El mejor desempeño por categoría es para $AS + P$, seguido de $AS + O$, $ASC + P$ y $C + P$ respectivamente (Figura 6), lo cual muestra que el contenido de cemento en el mortero base aumenta el valor de λ , por lo que no se recomienda como un material aislante.

6.7 Absorción de agua

Los mayores valores promedio de absorción para sujetos reforzados y de control se dan en adobes en AS , seguido de $AS + O$, $ASC + P$, $AS + P$, $C + P$ y $AS + C$. Esto se debe probablemente a que el suelo es más permeable que el

cemento, así como las fibras vegetales retienen mayor humedad, y las fibras plásticas son impermeables.

Por otro lado, los mayores valores promedio de ΔW_A se dan en $ASC + P$ (esta categoría tiene el único valor positivo), seguido de $C + P$, $AS + O$, $AS + P$ y $AS + C$, todos negativos con el último caso el de mejor desempeño (mayor reducción). No parece haber una tendencia hacia algún tipo de refuerzo a incrementar o reducir W_A . Es de destacar el estudio con mayor porcentaje de reducción de absorción ΔW_A , así como de $\Delta\rho$ y $\Delta\lambda$ (-82.91 %, -23.8 % y -18 %, respectivamente) es el de Rabello & da Conceição-Ribeiro (2021), lo que caracteriza vermiculita con resina de poliuretano vegetal. Como se observa en la Figura 8, la reducción o aumento de la absorción no parece tener una correlación entre otras propiedades mecánicas.

7. REFERENCIAS

- Abad-Flores, J. (2020). *Aplicación de poliestireno expandido para mejorar la resistencia mecánica del adobe en el sitio Arqueológico de Pachacamac -Lima -2020* [Tesis de Pregrado]. Universidad César Vallejo.
- ABNT. (2008). *ABNT. NBR 8800. Proyecto de estructuras de acero y de estructuras mixtas de acero y concreto de edificios*.
- Ahmad, A., Pekrioglu-Balkis, A., & Kurtis-Onochie, K. (2022). The use of shredded plastic wastes in Alker production and its effect on compressive strength and shrinkage properties. *Alexandria Engineering Journal*, 61(2), 1563–1570. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.06.062>
- Araya-Letelier, G., Concha-Riedel, J., Antico, F., & Sandoval, C. (2019a). Experimental mechanical-damage assessment of earthen mixes reinforced with micro polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, 198, 762–776. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.261>
- Araya-Letelier, G., Duy, E., Reidel, Ú., Kunze, S., Burbano, C., & Saavedra, E. (2019b). Bloques de adobe reforzados transversalmente con plástico de botellas recicladas. *Recuperación de Estructuras: Primeras Jornadas Internacionales de Estudiantes Investigadores*, 168–180. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/337227755_BLOQUES_DE_ADOBE_REFORZADOS_TRANSVERSALMENTE_CON_PLASTICO_DE_BOTELLAS_RECICLADAS
- Araya-Letelier, G., Gonzalez-Calderon, H., Kunze, S., Burbano-Garcia, C., Reidel, U., Sandoval, C., & Bas, F. (2020). Waste-based natural fiber reinforcement of adobe mixtures: Physical, mechanical, damage and durability performance assessment. *Journal of Cleaner Production*, 273, 122806. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122806>
- Ascencios-Mostacero, S. (2020). *Propiedades de un adobe estructural con adición de cascarilla de arroz y plástico reciclado molido aplicado a viviendas climatizadas en Alto Perú, Ancash-2019* [Tesis de Pregrado]. Universidad César Vallejo.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1984). *NBR 8492: 1984. Tijolo de Solo-cimento-Resistência e Absorção*.
- ASTM International. (2009). *ASTM D5102-09: Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil*.
- ASTM International. (2015a). *ASTM C127-15: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*.
- ASTM International. (2015b). *ASTM C349-15: Standard test method for compressive strength of hydraulic-cement mortars (using portions of prisms broken in flexure)*.
- ASTM International. (2015c). *ASTM D695-15: Standard test method for compressive properties of rigid plastics*.
- ASTM International. (2016). *ASTM C109/C109M-16a: Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm] cube specimens)*.
- ASTM International. (2017a). *ASTM D1633-17: Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders*.
- ASTM International. (2017b). *ASTM D6913-17: Standard test methods for particle-size distribution (gradation) of soils using sieve analysis*.
- ASTM International. (2017c). *ASTM D7928-17: Standard test method for particle-size distribution (gradation) of fine-grained soils using the sedimentation (hydrometer) analysis*.
- Aznarán-Monzón, G. (2018). *Influencia del plástico reciclado en las propiedades físicas y mecánicas del adobe en el distrito de Santa – Ancash - 2018* [Tesis de Pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Bailón-Espinoza, J., & Huatuco-Cordova, E. (2021). *Uso de plástico PET como agregado en la fabricación de unidades de albañilería ecológica para la construcción de muros de cerramiento en el sector Cooperativa Santa Isabel, distrito de Huancayo, al 2021* [Tesis de Pregrado]. Universidad Continental.
- Balan, K., Roja, S., & Thasneem, A. (2021). Soil Stabilization with Rubber Latex and Human Hair Fibre– An Overview Paper. *Journal of Advances in Geotechnical Engineering*, 4(1), 1–5. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4693807>
- Barriola, J., & Ginoccio, F. (1983). *Experiencias con los Métodos de Campo de Clasificación de Suelos para la Construcción de Adobe*. PUCP.
- Barturen-Payano, G. (2020). *Incorporación de fibras de plástico PET reciclado para mejorar el adobe tradicional en el Pueblo Joven El Nazareno-Chiclayo-2020* [Tesis de Pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Bertelsen, I., Belmonte, L., Fischer, G., & Ottosen, L. (2021). Influence of synthetic waste fibres on drying shrinkage cracking and mechanical properties of adobe materials. *Construction and Building Materials*, 286. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122738>
- Binici, H., Aksogan, O., Bodur, M., Akca, E., & Kapur, S. (2007). Thermal isolation and mechanical properties of fibre reinforced mud bricks as wall materials. *Construction and Building Materials*, 21(4), 901–906. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.11.004>
- Binici, H., Aksogan, O., & Shah, T. (2005). Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material. *Construction and Building Materials*, 19(4), 313–318. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.07.013>
- Binshad, A., Kavya, P., Sonij, P., Sreelal, C., & Shajeena, K. (2018). Study on stabilized earthen block reinforced with straw fibers. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(5), 1–4. Recuperado de: <https://www.irjet.net/archives/V5/i5/IRJET-515399.pdf>
- Brito-del Pino, J., Santamaría-Herrera, N., Macas-Peñarand, C., & Tasán-Cruz, D. (2021). Elaboración de adobe sostenible. *DAYA. Diseño, Arte y Arquitectura*, 11, 59–79. <https://doi.org/10.33324/daya.vi11.459>
- Burbano-Garcia, C., Araya-Letelier, G., Astroza, R., & Silva, Y. (2022). Adobe mixtures reinforced with fibrillated polypropylene fibers: Physical/mechanical/fracture/durability performance and its limits due to fiber clustering. *Construction and Building Materials*, 343, 128102. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128102>
- Bureau of Indian Standards. (1980). *IS 2710: Methods of test for soil-cement blocks*.
- Bureau of Indian Standards. (1982). *IS 1725 (1982): Soil based blocks used in general building construction*.
- Bureau of Indian Standards. (1986). *IS 2720-13: Methods of test for soils, Part 13: Direct shear test*.
- Bureau of Indian Standards. (1992). *IS 3495. Methods of tests of burnt clay building bricks*.
- Calatan, G., Hegyi, A., Dico, C., & Mircea, C. (2016). Determining the Optimum Addition of Vegetable Materials in Adobe Bricks. *Procedia Technology*, 22, 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.077>
- Campos-Barboza, K., Gomez-Montalban, F., Montero-Nuñez, M., Pantoja-Guillen, F., & Pasco-Soto, J. (2019). *Diseño del Proceso de Producción de Ladrillos Basados en Plástico Reciclado* [Tesis de Pregrado]. Universidad de Piura
- Candenas-Tacac, J., Huancachoque-Leon, R., & Juanpedro-Cisneros, W. (2018). *Uso de fibras de polietileno tereftalato para el refuerzo del adobe tradicional* [Tesis de Pregrado]. Universidad San Ignacio de Loyola.
- Ccansaya-Saldaña, K., & Piña-Pereyra, D. (2021). *Diseño Sismorresistente de Vivienda de Albañilería Confinada Utilizando Bloques de Concreto con Polímeros Plásticos, Villa El Salvador – 2021* [Tesis de Pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Cerna-Livia, M., & Velásquez, C. (2021). *Estudios de propiedades mecánicas del adobe con adición de viruta de madera y tereftalato de polietileno en Aquia – Ancash 2021*. [Tesis de Pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Chib, N., & Sharma, T. (2021). Experimental Investigation on Mechanical Properties of Compressed Soil Blocks Manufactured Using Waste Materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 889(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/889/1/012012>
- Consoli, N., Montardo, J., Prietto, P., & Pasa, G. (2002). Engineering Behavior of a Sand Reinforced with Plastic Waste. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 128(6), 462–472.

- [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2002\)128:6\(462\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2002)128:6(462))
- Cordell, L. (1996). *Ancient Pueblo Peoples (Exploring the ancient world)*. Smithsonian.
- Correa-Carlos, A., & Puican-Cumpa, P. (2021). *Caracterización física y mecánica del adobe incorporando fibras de cabuya y polímero reciclado PET en la ciudad de Ferreñafe, Lambayeque* [Tesis de Pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Cuitiño-Rosales, M., Rotondaro, R., & Esteves, A. (2020). Comparative analysis of thermal aspects and mechanical resistance of building materials and elements with earth. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 22(1), 138–151. <https://doi.org/10.14718/revarq.2020.2348>
- Deboucha, S., & Hashim, R. (2011). A review on bricks and stabilized compressed earth blocks. *Scientific Research and Essays*, 6(3), 499–506. <https://doi.org/10.5897/SRE09.356>
- Di Marco-Morales, R., & León-Téllez, H. (2017). Ladrillos con adición de PET- una solución amigable para núcleos rurales del municipio del Socorro. *5to Simposio Internacional de Investigación En Ciencias Económicas 5to Simposio Internacional de Investigación En Ciencias Económicas, Administrativas y Contables - Sociedad y Desarrollo, Administrativas y Contables*, 1–42. <https://doi.org/10.18041/2027-1212/centauro.11.2016.2448>
- Donkor, P., & Obonyo, E. (2015). Earthen construction materials: Assessing the feasibility of improving strength and deformability of compressed earth blocks using polypropylene fibers. *Materials & Design*, 83, 813–819. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.06.017>
- Donkor, P., Obonyo, E., & Ferraro, C. (2021). Fiber Reinforced Compressed Earth Blocks: Evaluating Flexural Strength Characteristics Using Short Flexural Beams. *Materials*, 14(22), 6906. <https://doi.org/10.3390/ma14226906>
- Dueñas, B., Soto, W., & Carrera, E. (2021). Evaluation of the Thermic Efficiency of the Prototype at Scale of a Sustainable Housing that Uses Concrete with PET Fibers (CFP) and the Trombe System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1054(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1054/1/012006>
- El-Emam, M., & Al-Tamimi, A. (2022). Strength and Deformation Characteristics of Dune Sand Earth Blocks Reinforced with Natural and Polymeric Fibers. *Sustainability*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/su14084850>
- European Committee for Standardization. (2003). *UNE-EN 771-1:2003: Specification for masonry units - Part 1: Clay masonry units*. European Committee for Standardization.
- European Committee for Standardization. (2011). *EN 772-1:2011: Methods of test for masonry units - Part 1: Determination of compressive strength*. European Committee for Standardization.
- European Committee for Standardization. (2016). *EN 1052-2:2016: Geotextiles and geotextile-related products - Determination of the tensile properties - Part 2: Wide-width tensile test*. European Committee for Standardization.
- European Committee for Standardization. (2019). *EN 1015-11:2019. Test methods for mortars for masonry Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardener mortar*. European Committee for Standardization.
- Farias-Solano, M. (2019). *Influencia del porcentaje de polietileno tereftalato en las propiedades físicas y mecánicas del bloque de concreto - 2018* [Tesis de Pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Galán-Marín, C., Rivera-Gómez, C., & Bradley, F. (2013). Ultrasonic, Molecular and Mechanical Testing Diagnostics in Natural Fibre Reinforced, Polymer-Stabilized Earth Blocks. *International Journal of Polymer Science*, 2013, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2013/130582>
- Gama-Castro, J., Cruz, T., Pi-Puig, T., Alcalá-Martínez, R., Cabadas-Báez, H., Jasso-Castañeda, C., Díaz-Ortega, J., Sánchez-Pérez, S., López-Aguilar, F., & Vilanova, R. (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 64(2), 177–188. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2012v64n2a3>
- Gandia, R., Gomes, F., Corrêa, A., Rodrigues, M., & Mendes, R. (2019). Physical, mechanical and thermal behavior of adobe stabilized with glass fiber reinforced polymer waste. *Construction and Building Materials*, 222, 168–182. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.107>
- Goli, V., Mohammad, A., & Singh, D. (2020). Application of Municipal Plastic Waste as a Manmade Neo-construction Material: Issues & Wayforward. *Resources, Conservation and Recycling*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105008>
- Gordillo-Monteza, C. (2020). *Evaluación de la resistencia a compresión de ladrillos ecológicos con aplicación de tereftalato de polietileno, Moyobamba, 2020* [Tesis de Pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Goutsaya, J., Ntamack, G., Kenmeugne, B., & Charif-d'Ouazzane, S. (2021). Mechanical characteristics of compressed earth blocks, compressed stabilized earth blocks and stabilized adobe bricks with cement in the town of Ngaoundere - Cameroon. *Journal of Building Materials and Structures*, 8(2), 139–159. <https://doi.org/10.34118/jbms.v8i2.1441>
- Guio-Pérez, M. (2019). *Comportamiento mecánico de bloques comprimidos de suelo cemento al 6% con fibras sintéticas de PET* [Tesis de Pregrado]. Universidad Militar Nueva Granada.
- Gutiérrez-Villalobos, J., Moreno-Martínez, J., Catalán-Quiroz, P., & Galván-Chávez, A. (2021). Characterization of adobe bricks used in developing countries: Mexico as a case of study. *Journal of Architecture and Design*, 5(13), 1–12. <https://doi.org/10.35429/JAD.2021.13.5.1.12>
- Hejazi, S., Sheikhzadeh, M., Abtahi, S., & Zadhoush, A. (2012). A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers. *Construction and Building Materials*, 30, 100–116. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.045>
- Illampas, R., Ioannou, I., & Charmpis, D. (2014). Adobe bricks under compression: Experimental investigation and derivation of stress-strain equation. *Construction*

- and *Building Materials*, 53, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.103>
- Inga-Castro, A. (2019). *Diseño de un adobe con poliestireno expandido reciclado para una vivienda climatizada en la zona rural de Piruruyoc, Huaraz - Ancash, 2019* [Tesis de Pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1998). *NTC 3495: Bloques y ladrillos de concreto*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000). *NTC 4205. Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de Mampostería de Arcilla Cocida. Ladrillos y Bloques Cerámicos*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
- Instituto Nacional de Calidad. (2003). *NTP 330.613: Agua. Evaluación de la calidad*.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2005). *NTP 339.034: Resistencia a la compresión*. Instituto Nacional de Defensa Civil.
- Instituto Nacional de Normalización. (2008). *NCh 851:2008: Muros de contención de tierra armada*. Instituto Nacional de Normalización.
- Islam, M., Islam, K., Shahjalal, M., Khatun, E., Islam, S., & Razzaque, A. (2022). Influence of different types of fibers on the mechanical properties of recycled waste aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 337, 127577. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127577>
- Jannat, N., Hussien, A., Abdullah, B., & Cotgrave, A. (2020). Application of agro and non-agro waste materials for unfired earth blocks construction: A review. *Construction and Building Materials*, 254, 119346. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119346>
- Jayaram, M., Kastro-Kiran, V., & Karthik, T. (2021). Characteristics of Bricks with Virgin Plastic and Bottom Ash. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1057, 012080. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1057/1/012080>
- Kasinikota, P., & Tripura, D. (2021). Evaluation of compressed stabilized earth block properties using crushed brick waste. *Construction and Building Materials*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122520>
- Khalid, F., Saaidin, S., Shahidan, S., Othman, N., & Guntor, N. (2020). Strength of Concrete Containing Synthetic Wire Waste as Fiber Materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 713(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/713/1/012003>
- Kumar, R., Kumar, M., Kumar, I., & Srivastava, D. (2021). A review on utilization of plastic waste materials in bricks manufacturing process. *Materials Today: Proceedings*, 46, 6775–6780. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.337>
- Lozano-Rios, F., & Valle-Fernández, H. (2020). *Diseño de un bloque de adobe, utilizando fibras de botellas plásticas, para reducir el costo y mejorar la resistencia a la compresión, Lamas 2020* [Tesis de Pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Lucas, A., & Harris, J. (2011). *Ancient Egyptian Materials and Industries* (4th ed.). Dover Publications.
- Márquez-Domínguez, S., Mejía-Sánchez, E., & Renzano A. (2018). Soft Pre-stressed PET profiles as reinforcing fibers in structural elements made of concrete. *DYNA*, 85(206), 162–170. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.71805>
- Menon, J., & Ravikumar, M. (2019). Evaluation of Laterite Soil Stabilized using Polymer Sack Fibers. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 8(6), 682–685. [Recuperado de: https://www.ijitee.org/portfolio-item/e2948038519/](https://www.ijitee.org/portfolio-item/e2948038519/)
- Meza-de Luna, A., Gurbir, K., Preciado-Martínez, H., & Gutiérrez-López, I. (2021). Desempeño a Flexión del Concreto Reforzado con Fibras Plásticas Reciclad. *Conciencia Tecnológica*, 61. [Recuperado de: https://www.redalyc.org/comocitar.oi?id=94467989001](https://www.redalyc.org/comocitar.oi?id=94467989001)
- Ming, Y., Chen, P., Li, L., Gan, G., & Pan, G. (2021). A Comprehensive Review on the Utilization of Recycled Waste Fibers in Cement-Based Composites. *Materials*, 14(13), 3643. <https://doi.org/10.3390/ma14133643>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). *Norma Técnica E.080. Diseño y Construcción con Tierra Reforzada*.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2014). *Norma Técnica E.070: Albañilería*.
- Mir, B., & Shah, R. (2019). *How Stiffness of Reinforcement Affects the Type of Major Reinforcement Force Developed at Various Orientations in Reinforced Sand?* (pp. 137–151). https://doi.org/10.1007/978-3-030-01944-0_11
- Muntohar, A., Widiarti, A., Hartono, E., & Diana, W. (2013). Engineering Properties of Silty Soil Stabilized with Lime and Rice Husk Ash and Reinforced with Waste Plastic Fiber. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(9), 1260–1270. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000659](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000659)
- Nasrollahzadeh, K., & Zare, M. (2020). Experimental investigation on axially loaded adobe masonry columns confined by polymeric straps. *Construction and Building Materials*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119895>
- Noa-Huaman, M., & Ordoñez-Claros, D. (2022). *Adición de Fibras PET en el adobe para aumentar la capacidad resistente a la compresión, reducir la densidad, el porcentaje de absorción de agua y la conductividad térmica en las viviendas de la zona rural de Ayacucho-Perú* [Tesis de Pregrado]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Núñez-Aldás, G., López-Arboleda, A., Chérrez-Gavilanes, D., & Guevara-Robalino, J. (2021). Adición de botellas plásticas pet en la elaboración de bloques de adobe para viviendas unifamiliares y su efecto en la variación de temperatura y acondicionamiento acústico en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua. *Ciencia Digital*, 5(1), 197–218. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v5i1.1536>
- Oliveira-Metzker, S., Freire-Sabino, T., Farinassi-Mendes, J., Cornélio-Ribeiro, A., & Farinassi-Mendes, R. (2022). Soil-Cement bricks development using polymeric waste. *Environmental Science and Pollution Research Volume*,

- 29, 21034–21048. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-451591/v1>
- Onochie, K., & Balkis, A. (2021). Polypropylene fiber reinforced Alker as a structurally stable and sustainable building material. *Journal of Cleaner Production*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123600>
- Paschoalin-Filho, J., João, H., & Guerner-Dias, A. (2016). Evaluation of compressive strength and water absorption of soilcement bricks manufactured with addition of pet (polyethylene terephthalate) wastes. *Acta Scientiarum*, 38(2), 163–171. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v38i2.28458>
- Paucar-Sevillano, C. (2018). *Diseño de un adobe con adición de poliestireno para la construcción de viviendas climatizadas en la zona rural del distrito de Caraz, Ancash - 2018* [Tesis de Pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Paul, S., Islam, M., & Elahi, T. (2022). Comparative effectiveness of fibers in enhancing engineering properties of Earth as a building Material: A review. *Construction and Building Materials*, 332. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127366>
- Peña-Estrella, E., & Niño-Santos, J. (2019). *Análisis del comportamiento de muros en adobe reforzados con fleje plástico en polipropileno y tiras plásticas reciclables de botellas de PET* [Tesis de pregrado]. Universidad Militar Nueva Granada.
- Pérez-Collantes, D. (2021). *Influencia del plástico PET en las propiedades de ladrillos de concreto ecológicos para viviendas unifamiliares, Carabayllo – 2021* [Tesis de pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Pérez-Pérez, L. & Zamora-Fernández, H. (2020). *Diseño de bloques de concreto modificados con fibras de plástico reciclado para la reducción de cargas en edificaciones, Tarapoto, 2020* [Tesis de pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Piñeros-Moreno, M., & Herrera-Muriel, R. (2018). *Proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados de plástico reciclado (PET), aplicados en la construcción de vivienda* [Tesis de Pregrado]. Universidad Católica de Colombia.
- Quispe-Crisis, N. (2017). *Evaluación del esfuerzo admisible del adobe estabilizado con fibras de pet triturado en la zona de mollepatá provincia de Huamanga, Departamento de Ayacucho – 2016* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga.
- Rabello, L., & da Conceição-Ribeiro, R. (2021). A novel vermiculite/ vegetable polyurethane resin-composite for thermal insulation eco-brick production. *Composites Part B: Engineering*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109035>
- Radwan, M., Lee, F., Woon, Y., Yew, M., Mo, K., & Wai, S. (2021). A Study of the Strength Performance of Peat Soil: A Modified Cement-Based Stabilization Agent Using Fly Ash and Polypropylene Fiber. *Polymers*, 13(23), 4059. <https://doi.org/10.3390/polym13234059>
- Ramakrishnan, S., Loganayagan, S., Kowshika, G., Ramprakash, C., & Aruneshwaran, M. (2021). Adobe blocks reinforced with natural fibres: A review. *Materials Today: Proceedings*, 45, 6493–6499. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.377>
- Robalino-Sánchez, E. (2019). *La adición de botellas plásticas PET en la elaboración de bloques de adobe para viviendas unifamiliares y su efecto en la variación de temperatura y acondicionamiento acústico en el cantón Ambato provincia de Tungurahua* [Tesis de Pregrado]. Universidad Técnica de Ambato.
- Ruiz, G., Zhang, X., Edris, W., Cañas, I., & Garijo, L. (2018). A comprehensive study of mechanical properties of compressed earth blocks. *Construction and Building Materials*, 176, 566–572. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.077>
- Safiuddin, M., Jumaat, Z., Salam, M., Islam, M., & Hashim, R. (2010). Utilization of solid wastes in construction materials. *International Journal of the Physical Sciences*, 5, 1952–1963. Recuperado de: <https://academicjournals.org/journal/IJPS/article-full-text-pdf/1B5823B32355>
- Salaou, N., Thuo, J., Kabubo, C., & Gariy, Z. (2021). Performance of Polypropylene Fibre Reinforced Laterite Masonry Bricks. *Civil Engineering and Architecture*, 9(7), 2178–2186. <https://doi.org/10.13189/cea.2021.090707>
- Salazar-Saucedo, J., & Tejada-Escobedo, Y. (2021). *Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de adobe estabilizado bajo los criterios de la Norma E080, Trujillo 2021* [Tesis de Pregrado]. Universidad Privada del Norte.
- Salih, M., Osofero, A., & Imbabi, M. (2020a). Constitutive models for fibre reinforced soil bricks. *Construction and Building Materials*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117806>
- Salih, M., Osofero, A., & Imbabi, M. (2020b). Critical review of recent development in fiber reinforced adobe bricks for sustainable construction. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 14(4), 839–854. <https://doi.org/10.1007/s11709-020-0630-7>
- Sandoval-Saucedo, J., & Guzmán-Hasegawa, R. (2019). *Propuesta de elaboración y diseño de bloques de concreto simple y pet reciclado para muros de mampostería en la ciudad de Piura* [Tesis de Pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Serrano, S., Barreneche, C., & Cabeza, L. (2016). Use of by-products as additives in adobe bricks: Mechanical properties characterisation. *Construction and Building Materials*, 108, 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.044>
- Sharma, S., Sudhakara, P., Misra, S., & Singh, J. (2021). Critical review on the Solid-wastes issue: Generation, Composition, Disposal and their recycling potential for various applications. *Journal of Physics: Conference Series*, 1804(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1804/1/012147>
- Solís, M., Torrealva, D., Santillán, P., & Montoya, G. (2015). Análisis del comportamiento a flexión de muros de adobe reforzados con geomallas. *Informes de La Construcción*, 67(539), e092. <https://doi.org/10.3989/ic.13.141>
- Subramania-Prasad, C. (2013). *A Study on the Utilization of Plastic Wastes in Stabilized Masonry Blocks* [Doctoral Thesis]. Cochin University of Science and Technology.

- Subramania-Prasad, C., Abraham, B., & Kunhanandan-Nambiar, E. (2014). Sorption characteristics of stabilised soil blocks embedded with waste plastic fibres. *Construction and Building Materials*, 63, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.042>
- Subramania-Prasad, C., Kunhanandan-Nambiar, E., & Mathews-Abraham, B. (2011). Plastic Fibre Reinforced Soil Blocks as a Sustainable Building Material. *International Journal of Advancements in Research & Technology*, 1(5). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/258650289_Plastic_Fibre_Reinforced_Soil_Blocks_as_a_Sustainable_Building_Material
- Sujatha, E., & Selsia-Devi, S. (2018). Reinforced soil blocks: Viable option for low cost building units. *Construction and Building Materials*, 189, 1124–1133. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.077>
- Tavares, G., & Magalhães, M. (2019). Effect Of Recycled Pet Fibers Inclusion On The Shrinkage Of Adobe Brick. *3 Rd International Conference on Bio-Based Building Materials*, 37(2), 545–550. <https://doi.org/10.26168/icbbm2019.79>
- Thakare, A., Singh, A., Gupta, V., Siddique, S., & Chaudhary, S. (2021). Sustainable development of self-compacting cementitious mixes using waste originated fibers: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105250>
- UNE. (2018). *UNE-EN 196-1:2018. Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias*.
- Vázquez-Greciano, A. (2018). *Refuerzo estructural con PET reutilizado. Aplicación en adobe* [Tesis de Pregrado]. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- Vignesh, N., Arunachelam, N., Mahendran, K., & Dinesh Kumar, B. (2021). A Study on Polymeric Fibre Reinforced Stabilized Mud Blocks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1026(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1026/1/012010>
- Wang, S., Chen, F., Xue, Q., & Zhang, P. (2020). Splitting Tensile Strength of Cement Soil Reinforced with Basalt Fibers. *Materials*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/ma13143110>
- Yazici, M. F., & Keskin, N. (2021). A Review on Soil Reinforcement Technology by Using Natural and Synthetic Fibers. *Erzincan Üniversitesi Journal of Science and Technology*, 14(2), 631–663. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.874339>
- Yetgin, Ş., Çavdar, Ö., & Çavdar, A. (2008). The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes. *Construction and Building Materials*, 22(3), 222–227. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.08.022>

BIOGRAFÍAS



Adán, Jiménez-Montoya, Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional. Actualmente es profesor-investigador de tiempo completo en la División de Ingeniería Civil del Tecnológico Nacional de México- TES San

Felipe del Progreso. Su área de investigación es el diseño mecánico enfocado al desarrollo de materiales alternativos de construcción y fuentes alternas de energía.



Juan Benito, Pascual-Francisco, Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica por la Sección de Posgrados del Instituto Politécnico Nacional. Actualmente es profesor investigador de tiempo completo adscrito al Departamento de Mecatrónica de la Universidad Politécnica de

Pachuca. Su área de investigación es el diseño mecánico, la mecánica experimental y la aplicación de técnicas ópticas para la caracterización de propiedades mecánicas de materiales de ingeniería.



Gabriela, Sánchez-Ruiz, Ingeniero Industrial por parte del Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán y Maestra en Administración por la Universidad de Ixtlahuaca, es investigadora por el Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso, sus áreas de interés

son el desarrollo de materiales y técnicas sustentables en la construcción, innovación en materiales con residuos.



Jael Kaleb, Novelo-Ramos, Estudiante de Ingeniería Civil del Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso y miembro del capítulo estudiantil de la Sociedad Mexicana de Ingeniería en Geotecnia. Sus áreas de interés son la mecánica de suelos y geotecnia.



Ana Laura, Matías Molina, Estudiante de Ingeniería Civil del Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso y miembro del capítulo estudiantil de la Sociedad Mexicana de Ingeniería en Geotecnia. Sus áreas de interés son la mecánica de suelos y geotecnia.



María Guadalupe, Ríos-Ledezma, Estudiante de Ingeniería Civil del Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso. Sus principales áreas de interés son: materiales y procesos constructivos, Mecánica de materiales, y Tecnología del concreto.