

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

Angie Nayely Terrones Muñoz

ASESOR

Carmen Chilon Muñoz

<https://orcid.org/0000-0002-7644-4201>

Chiclayo, 2023

Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado

PRESENTADA POR

Angie Nayely Terrones Muñoz

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR

Juan Merino Roncero

PRESIDENTE

Justo David Pedraza Franco

SECRETARIO

Carmen Chilon Muñoz

VOCAL

Dedicatoria

Dedico esta investigación a mis padres, por su apoyo incondicional en cada paso de mi vida tanto a nivel personal como profesional, ellos son mi motivación principal para lograr cada objetivo trazado.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a cada uno de los profesionales que han sido partícipes de mi camino universitario, agradezco por cada uno de los conocimientos que me han sido impartidos ya que me han permitido llevar a cabo esta investigación.

TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

13%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
7	creativecommons.org Fuente de Internet	1%
8	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%

Índice

Resumen	6
Abstract	7
Introducción.....	8
Revisión de literatura.....	12
Materiales y métodos	40
Procedimientos	47
Resultados y discusión	70
Conclusiones	93
Recomendaciones	94
Referencias.....	95
Anexos	101

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo principal el estudio del comportamiento físico y mecánico de unidades de tierra reforzada con adición de acículas de pináceas al 1% y fibras de celulosa de cartón reciclado en diversos porcentajes: 2.5%, 5% y 7.5% con respecto al peso. Para ello, se elaboraron muestras y se realizaron diversos ensayos tanto en unidades patrón como en unidades con adición. Los resultados demuestran un incremento de la resistencia a la compresión y tracción hasta un 60% y 40% respectivamente, al finalizar los ensayos mecánicos se observa que el porcentaje óptimo de adición de celulosa es de 7.5% con respecto al peso. Adicionalmente, se ensayaron pilas y muretes que contenían el porcentaje óptimo encontrado, con el fin de estudiar su comportamiento. Por otra parte, la capacidad de retención de agua de la matriz de tierra es más elevada para mayores porcentajes de fibras celulósicas, incrementando la succión hasta un 140%, esto se atribuye a la naturaleza hidrófila de estas fibras provocando la disminución de la densidad y creando una mezcla con mayor volumen de vacíos. Finalmente, se concluye que, al incorporar acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado en unidades de adobe se logra optimizar sus propiedades mecánicas, además, la utilización de estas fibras en la construcción contribuye a reducir el deterioro ambiental representando una opción factible para la solución de problemas de falta de vivienda en sectores con bajos recursos.

Palabras clave: adobe, celulosa de cartón, acículas de pináceas, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción.

Abstract

This research has as its primary objective the evaluation of the behavior of adobe reinforced with Pinaceae needles at 1% and cellulose fibers made from recycled cardboard in various percentages: 2.5%, 5%, and 7.5% concerning weight. For this, samples were prepared, and various tests were carried out in standard units and units with addition. The results show an increase in compressive and tensile strength up to 60% and 40% respectively, at the end of the mechanical tests it is observed that the optimal percentage of cellulose addition is 7.5% concerning weight. Additionally, pile and low walls containing the optimum percentage found were tested, to study their behavior. . Besides, the water retention capacity of the earth matrix is higher for higher percentages of cellulosic fibers, increasing suction up to 140%, this is attributed to the hydrophilic nature of these fibers causing a decrease in density and creating a mixture with a higher volume of voids. Finally, it is concluded that, by incorporating pine needles and recycled cardboard cellulose in adobe units it is possible to optimize their mechanical properties. In addition, the use of these fibers in construction contributes to reducing environmental deterioration representing a feasible option for the solution problems of housing shortage in sectors with low resources.

Keywords: Adobe bricks, cardboard pulp, Pinaceae needles, compressive strength, tensile strength.

Introducción

Desde tiempos remotos, las casas y ciudades han sido construidas con tierra, siendo este un componente de construcción natural y a la vez económico. En la actualidad, los procesos constructivos implican gran demanda de energía y explotación de recursos naturales, además, este es uno de los sectores más perjudiciales para el medio ambiente, debido al uso de materia prima como insumo y a su generación propasada de residuos sólidos. Es de nuestro conocimiento, que los recursos naturales son limitados y una de las alternativas para disminuir su consumo es la práctica de acciones eco amigables como el reciclado y la reutilización de residuos sólidos.

Durante miles de años las comunidades indígenas del continente americano han utilizado el adobe como elemento constructivo, tanto en la zona suroeste de EE. UU como en Mesoamérica y el territorio andino de Sudamérica. En el siglo IX aproximadamente el 50% de las viviendas de todo el mundo estaban construidas a base de tierra, esta proporción aún sigue siendo muy representativa en la actualidad. El uso del adobe simboliza una opción factible para solventar las complicaciones de escasez de vivienda, mediante la propuesta de viviendas asequibles desde el punto de vista económico[1].

Según datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI,2017) en nuestro país se evidencia que el adobe es ampliamente utilizado como el segundo material de construcción más común después del ladrillo o bloques de cemento, representando aproximadamente a la tercera parte del total de viviendas construidas [2]. Es frecuente que la mayor parte de este tipo de construcciones se encuentren en la zona rural, donde residen alrededor de 6 millones 69 mil 991 personas que representan al 20,7% de la población censada [3].

Por otro lado, las estadísticas muestran que la pobreza en el Perú aumentó hasta un 2.7% en los últimos años, en tal sentido, cabe resaltar la importancia de llevar a cabo investigaciones sobre técnicas mejoradas que garanticen construcciones a base de tierra reforzada de buena calidad y con menores costos. Además, en el año 2019, a nivel nacional, el 1,9% de las viviendas ostenta déficit numérico de vivienda y el 8,3% de hogares presentan déficit habitacional cualitativo, estas viviendas son aquellas que exhiben material irrecuperable, están en estado de hacinamiento, o poseen servicios básicos muy deficientes [4].

Las construcciones ejecutadas con unidades de adobe poseen múltiples ventajas entre las cuales sobresale el hecho de que los materiales empleados para su elaboración no requieren sistemas de transformación industrial, lo cual resulta en una considerable disminución del recurso energético, además, tienen propiedades aislantes de sonido y son muy aptos para lugares que presentan condiciones de temperaturas extremas, de igual manera son muy resistentes al fuego [5]. Frente a tal situación, las casas hechas con adobe constituyen una opción altamente atractiva para lugares que presentan temperaturas extremas o muy bajas y para grupos con recursos económicos limitados.

La tierra, al ser un material de fácil disponibilidad, y teniendo en cuenta sus características térmicas, costo reducido y su valor ambiental, representa a uno de los materiales más aptos para ser empleado en la edificación de viviendas. En la actualidad existen muchas personas que no tienen un lugar donde vivir, la utilización de la tierra como material de construcción podría dar solución a esta dificultad, reanimando a retomar este tipo de técnicas de construcción. [6]

Además, las técnicas empleadas por este tipo de materia prima son sencillas y no demandan de un entendimiento sofisticado, por tal razón, las personas autóctonas pueden aplicarlas, proporcionando así facilidades para la autoconstrucción de sus propios hogares. De igual manera, las unidades de tierra son un material muy considerado con el medio ambiente ya que no produce CO₂ durante su elaboración y diligencia. Con estas características, hoy en día, el adobe nuevamente está adoptando gran importancia en países desarrollados [7].

Tanto en Perú, como en otros países, se vienen desarrollado gran variedad de investigaciones encaminadas a diseñar sistemas constructivos que mejoren la durabilidad de este tipo de viviendas y sus características resistentes ante las acciones externas a las que se encuentran expuestas.

La adición de fibras vegetales en el adobe funciona como estabilizador físico, lo que ayuda a controlar la aparición de grietas durante el secado, además, proporcionan un incremento en su resistencia mecánica [8]. La economía de muchos países en desarrollo requiere que los ingenieros y constructores en general apliquen nuevas tecnologías que les permita el uso de materiales innovadores y renovables, por ello es sustancial que busquen las técnicas más

eficientes para el uso de estas fibras naturales a fin de realizar materiales de buena calidad que puedan ser aplicados en obras sociales y de otros intereses.

Por otro lado, la sociedad actual es conocedora de la escasez creciente de recursos, así como de las deplorables consecuencias que se generan por la excesiva producción de residuos sólidos, es, así pues, que la necesidad de adoptar prácticas de uso eficiente de los recursos y convertirlas en hábitos es cada vez más apremiante.

El uso de celulosa de cartón y papel reciclado en materiales de construcción es una alternativa reciente que viene siendo utilizada en la elaboración de ladrillos y paneles, de manera que aportan al desarrollo de la construcción sostenible y, además, reducen el consumo de energía debido a los procesos necesarios para su fabricación [9].

De esta manera, la presente investigación busca innovar en cuanto a la generación de materiales constructivos, que contribuyan al cuidado del medio ambiente. El propósito planteado es analizar las propiedades físicas y mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa extraída de cartón reciclado en diferentes porcentajes a fin de promover la utilización de nuevos elementos que mejoren las propiedades de las unidades de construcción hechas a base de tierra.

De esta manera, la pregunta que corresponde a la formulación del problema es la siguiente, ¿De qué manera se mejorará las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado?

Cabe mencionar también, que esta investigación contribuye a generar materiales con la capacidad de innovar dentro de la industria de la construcción, buscando la producción de unidades de tierra reforzada con mejores características mecánicas y físicas logradas a partir de la estabilización con fibras, en este caso, agujas de pino, junto con un compuesto celulósico de cartón reciclado los cuales permitirán la ejecución de viviendas seguras y de buena calidad.

Una de las prioridades del país es que todas las personas gocen de una vivienda digna. Según datos del INEI, el 27.9% de viviendas en el Perú están construidas con tierra reforzada [2], esta investigación contribuye de manera positiva en el ámbito comunitario, ya que ayuda a la reducción de costos al utilizar recursos naturales locales como las acículas de pináceas, y junto

con ello el empleo de cartón que fácilmente puede ser reciclado en los hogares. Este elemento constructivo llegará a ser de gran utilidad en obras de interés social y otros afines, beneficiando a la población que cuenta con escasos recursos económicos.

La tierra, junto con las acículas de pináceas son materiales que se encuentran presentes en la naturaleza, además, al ser materiales locales conlleva a una considerable disminución en los costos, así mismo, la incorporación de residuos sólidos como el cartón que poseen la capacidad de ser reutilizados impulsa a desarrollar la economía circular dentro del país lo que genera la aparición de nuevos modelos de negocio.

Esta investigación contribuye a reducir el deterioro ambiental en el que nos encontramos sumergidos en la actualidad, reflejándose claramente en la aplicación de celulosa extraída del cartón reciclado para producir materiales innovadores y de calidad que puedan ser utilizados en proyectos de construcción sostenible. Además, se sabe que, los materiales de construcción generalmente requieren ser extraídos y transformados, lo que implica alteraciones en el medio y el consumo de gran cantidad de energía. Materiales tradicionales como la tierra son extraídos de manera natural y directamente elaborados sin necesidad de cocción o algún tipo de proceso químico, lo que representa un gran beneficio para el medio ambiente.

Por todas las razones expuestas se realiza la presente investigación cuyo objetivo general es **evaluar las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada con adición de acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado en diferentes porcentajes**. Para lograr este objetivo general se han formulado los siguientes objetivos específicos: Identificar las propiedades del suelo a utilizar en la elaboración de las muestras mediante ensayos de laboratorio; describir el procedimiento de selección adecuado para la obtención de las acículas de pináceas y del cartón que será empleado para la extracción de la celulosa; comparar las propiedades físicas y mecánicas de unidades de tierra reforzada elaboradas con acícula de pinácea al 1% y celulosa de cartón reciclado al 2.5%, 5% y 7.5% con respecto a una unidad de tierra convencional y comparar los costos de las unidades de tierra reforzada elaboradas con acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado con respecto a una unidad de tierra convencional.

Revisión de literatura

Antecedentes

[8] **Sandoval et al.** en su investigación “**Evaluación del comportamiento mecánico de tres variedades de agujas de pino como refuerzo natural del adobe**” afirmaron que, en las últimas décadas ha habido un creciente reconocimiento de la importancia de la sostenibilidad y utilización de recursos naturales lo cual nos han llevado a desarrollar numerosas investigaciones estrechamente vinculadas con técnicas no convencionales. Las construcciones hechas con adobe han sugerido un interés progresivo debido a sus características positivas en cuanto al aspecto económico y disponibilidad. Por ello, en su investigación se plantearon analizar de manera precisa el comportamiento de tres tipos de acículas de tres variedades de pino presentes en la Península Ibérica. En su metodología plantearon la elaboración de distintas muestras para ser ensayadas, una muestra patrón con adición de paja y 3 muestras con incorporación de fibras de distintos tipos de pino pn1, pn2, y pn3. En los resultados obtenidos encontraron que, la resistencia a la compresión de los adobes fabricados con fibras de pino es de 3,2 MPa, 3,3 MPa y 2,4 MPa, respectivamente, frente a los 2,7 MPa del adobe de paja, por otro lado, en el ensayo de humedad, la muestra pn3 sufre una mínima pérdida de la resistencia (2.3%), en cambio las otras 2 muestras presentan un comportamiento poco favorable. Finalmente concluyeron que, las agujas de pino pueden ser utilizadas como fibra vegetal para la fabricación de adobes, incrementando su resistencia hasta en un 24% frente a las unidades con incorporación de paja.

[10] **Muñoz et al.** en su investigación “**Ladrillos de adobe reforzados con desecho de papel y pulpa que mejoran las propiedades físicas y mecánicas**” mencionaron que, el elevado impacto de la industria del concreto y del ladrillo de arcilla cocida está provocando grandes cambios en el medio ambiente, por ello, el uso del adobe puede llegar a disminuir en gran magnitud la huella ecológica que genera el sector construcción y los materiales convencionales. Además, la utilización de fibras para reforzar el adobe también ha sobresalido como un factor clave para aumentar el rendimiento de este. Claramente, cuando los residuos reemplacen con eficacia estas fibras, se logrará una mayor reducción de la huella ecológica. Por tanto, esta investigación se orientó a la aplicación del estudio de unidades de tierra reforzado con restos de la fabricación de papel y con celulosa (PPR) con el fin de exponer la viabilidad de este nuevo material de construcción. Se realizaron distintas muestras en las cuales se iba variando el

porcentaje de incorporación hasta el 20% y se evaluaron características mecánicas y toxicidad. Finalmente, se concluyó que la resistencia a la compresión fue incrementada hasta en un 190% mientras que la conductividad térmica disminuyó aproximadamente 30% con 12,5% de sustitución de PPR. Además, el adobe obedece a los estándares relacionados con los valores de resistencia al agua y toxicidad.

[11] **Stanislas et al.** en su estudio “**Efecto de las fibras de pulpa de celulosa en el desempeño físico, mecánico y térmico de materiales extruidos a base de tierra**” afirmaron que, debido a la creciente preocupación por la deforestación, los materiales renovables son una excelente alternativa para el reemplazo de recursos madereros como elemento de refuerzo en materiales constructivos. Examinaron el efecto de la pulpa de celulosa en el comportamiento mecánico, físico y térmico de unidades a base de tierra estabilizada con cemento extruido. Se realizaron ensayos de laboratorio incluyendo dos tipos de fibras (pulpa extraída del bambú y del cartón reciclado) en diferentes porcentajes (0%, 5%, 7,5% y 10 %). Tras la experimentación encontraron que, la adición de pulpa extraída de cartón reciclado en la matriz de suelo mejoró significativamente su rendimiento en comparación con las unidades reforzadas con pulpa de bambú. Mostrando un auge en su resistencia a la flexión (56 %) y en el aislamiento térmico (36,35 %) en comparación con la muestra patrón. La inclusión de pulpa de cartón en una matriz a base de tierra aumenta la absorción de humedad. A partir de este estudio, se concluyó que, la pulpa de cartón reciclado tiene el potencial como refuerzo óptimo para la promoción de unidades de pared de tierra livianos reduciendo la densidad aparente hasta un 21 % después de la inclusión del 10 % de pulpa de cartón de desecho reciclada. Finalmente añaden, el uso de la pulpa de cartón de desecho reciclada en la industria de la construcción será una alternativa atractiva, ya que resolverá las preocupaciones tanto energéticas como ambientales.

[12] **Sharma et al.** en su estudio “**Mejora de la resistencia a la compresión del suelo utilizando fibras naturales**” mencionaron que, las casas rurales del distrito de Hamirpur de la nación de Himachal Pradesh, ubicadas en la zona norte de la india están construidas en su mayoría con adobe, por esto, mejorar las propiedades físicas y mecánicas de este es crucial para tener viviendas de calidad. Su propuesta consiste en la estabilización de unidades de tierra haciendo uso de fibras autóctonas vernáculas de *Grewia Optivia* (Beul) y *Pinus Roxburghii* (Chir Pine), se utilizaron proporciones variables de fibras de ambos tipos como 0.5%, 1%, 1.5% y 2% distribuidas de manera aleatoria en la muestra junto con 2.5% de cemento. Se prepararon 180 muestras en total, tanto estabilizadas como no estabilizadas y se ensayaron en el laboratorio

de acuerdo con los estándares indios para pruebas de compresión no confinada en un periodo de 7 días, 14 días, 28 días, 15 días y 90 días. Los resultados indicaron que el refuerzo con Beul y Chir Pine mejoró la resistencia a compresión del suelo en un 94% – 200% y 73% -137% respectivamente para las diferentes proporciones indicadas. Además, se encontró que la resistencia a la tracción que posee las fibras de Grewia Optivia (Beul) era mayor que la de Pinus Roxburghii, lo que resultaría en una medida eficaz para la construcción en áreas propensas a los movimientos sísmicos.

[13] **Medina**, en su investigación “**Propiedades físico mecánicas del adobe compactado con la adición de agujas de pino en diferentes porcentajes**” afirma que, el elemento natural de construcción más abundante y significativo es la tierra, además, la tercera parte de la población actual reside en casas realizadas a base de tierra, siendo este un elemento con múltiples beneficios tanto económicos como ambientales, sin embargo, estos materiales de construcción también presentan ciertos defectos como resistencia a la compresión y durabilidad baja. En la presente investigación se trazó el fin de evaluar las características físicas y mecánicas del adobe compactado al incorporar agujas de pino en distintas proporciones, se realizó una investigación del tipo experimental, para la obtención de resultados se elaboraron 72 unidades de tierra tomadas como espécimen para ser sometidas a los diferentes ensayos de laboratorio. Al finalizar los ensayos, se concluye que al añadir agujas de pino al 0.25% y 0.75% lograron aumentar en más del 20% la resistencia a la compresión, mientras que la adición del 0.5% aumentó solo un 16.61% esta propiedad mecánica, señala además que la permeabilidad no se pudo cuantificar debido a que las muestras se desintegraron después de estar sumergidas en el agua durante 24 horas, además la resistencia a la flexión aumentó con todas las dosificaciones en más del 20%, demostrándose así que las agujas de pino constituyen una buena alternativa como reforzamientos de adobes.

[14] **Vásquez**, en su investigación “**Resistencia a compresión, flexión, y absorción del adobe compactado con fibra de Pino, Cajamarca, 2019**” atestigua que, el adobe es un material constructivo usado desde tiempos remotos, además, hoy en día, una parte representativa de la población aún vive en casas construidas a base de adobe, debido a ello, en su investigación se planteó estudiar la resistencia a compresión, flexión y permeabilidad de unidades de tierra con adición de fibras de pino al 2.5 %, 5 % y 7 %, con lo que se pretendió lograr un incremento en las características mecánicas y físicas en relación a un adobe habitual. Para la aplicación de los ensayos de laboratorio se elaboraron 100 muestras en total, 8 muestras para cada porcentaje de

adición y para cada ensayo, además del espécimen patrón fabricado con fibra de ichu al 2.5%, en los resultados hallados a partir de los ensayos se encontró que al añadir fibras de pino al 2.5 %, 5 % y 7 % la resistencia proporciona un valor de 35.65 kg/cm², 34.68 kg/cm² y 28.95 kg/cm² respectivamente, por otra parte, en la resistencia a la flexión se obtuvieron valores menores con respecto a la muestra patrón, siendo de 27.07 kg/cm² , 25.20 kg/cm² y 26.00 kg/cm² para las dosificaciones de incorporación indicadas, finalmente en el ensayo de permeabilidad se obtuvo que las unidades de tierra con 5% de fibra de pino tienen un comportamiento más óptimo en comparación con los otros porcentajes de adición y muestra patrón.

[15] **López**, en su trabajo “**Estudio de materiales compuestos obtenidos a partir de lodos celulósicos de la industria papelera, cemento y arcilla**” alude que, los residuos de la manufactura papelera representan un inconveniente a nivel mundial debido a su elevada producción, además, señala que en los últimos años el lodo celulósico está siendo sujeto a muchas investigaciones para posibles afanes en el sector construcción. El objetivo planteado en su estudio es el análisis de las características de matrices conformadas por lodos obtenidos a partir de papel, arcilla bentonita sódica y cemento. Para llevar a cabo este trabajo se aplicó el método experimental, en los resultados encontrados presentan que la flexión aumenta a medida que la presencia de papel es más elevada, variando desde 8.79MPa para una adición de lodo de papel al 40%, hasta 9,55 MPa para 55% de incorporación de lodo de papel. La mezcla compuesta por 30% de lodos de la industria papelera, 50% de aglomerante de cemento y 20% de bentonita tuvo un mejor comportamiento en cuanto a su resistencia a la compresión, obteniéndose un resultado medio de 30.9 MPa, pudiendo ser aplicada en la elaboración de unidades de albañilería de concreto, arcilla y también adoquines. Finalmente, se infiere que por la naturaleza hidrófila de la celulosa de cartón la absorción del agua crece conforme se va agregando mayor cantidad de lodos de papel, a diferencia de la bentonita sódica que permite la disminución de la absorción mediante se va aumentando su proporción de concentración en la mezcla.

Bases teóricas

Definición de adobe

Unidad de tierra cruda, es posible que se encuentre combinada con paja para potenciar sus propiedades, estas unidades son aplicadas para construir muros y paredes de viviendas [16].

El reglamento peruano NTP. E. 080 Adobe, concreta a los adobes como un sólido de tierra sin cocción, que incluye en su composición paja u otro elemento que acrecienta su durabilidad contra agentes exteriores.

El adobe puede poseer varios significados como: “ladrillo de barro desecado al sol”, “formación de barro” o simplemente “ladrillos de barro” [17].

Propiedades mecánicas del adobe

Resistencia mecánica: Pese a que la resistencia de estos elementos puede ser inferior en comparación con otros empleados en la industria de la construcción, esta es suficiente y con un proceso constructivo eficiente, siguiendo los requisitos de la norma vigente, pueden efectuarse edificaciones resistentes y en condiciones óptimas para sus usuarios. En teoría, con un mantenimiento adecuado, una construcción hecha a base de tierra reforzada podría llegar hasta los 100 años de vida útil [18].

Resistencia al desgaste provocado por lluvias: Esta característica es adquirida por las unidades de tierra debido a que poseen la capacidad de resistir las acciones provocadas por precipitaciones continuas sin llegar a una modificación en cuanto a su funcionalidad [19].

Resistencia al fuego: Brindando un adecuado mantenimiento las construcciones hechas con unidades de tierra podrían tener una resistencia indefinida. Debido a su naturaleza física y química la tierra en su estado crudo posee un comportamiento óptimo frente al fuego, siendo superior en este aspecto a otro tipo de materiales [19].

Propiedades físicas del adobe

Variabilidad dimensional: Es la varianza de las caras contrarias de las unidades de tierra, ya sea en alto, largo o ancho. Las medidas son características geométricas que difícilmente mantienen de manera correcta las unidades de tierra [20].

Higroscopicidad: La humedad interior del aire es un factor que altera la calidad y confort de los ocupantes de una vivienda, frente a esto, los tabiques hechos con tierra son congruentemente

permeables y capaces de impregnar o redimir la humedad que se presenta en el ambiente, manteniendo así una humedad adecuada de 40 – 65% [21].

Inercia térmica: Es la capacidad de acopiar energía en el interior de la edificación para regresarla luego. Esto permite que las viviendas a base de tierra sean espacios adecuados para ser utilizados en cualquier condición climática. Una pared de tierra que se ha encontrado expuesta al sol en el día, en la noche empieza a desprender el calor acumulado, dicho proceso perdura aproximadamente 10 horas y avala temperaturas agradables dentro del espacio íntimo de la vivienda [21].

Aislamiento acústico: La tierra es un elemento que transmite de manera deficiente las vibraciones del sonido, de manera que se convierte en una barricada frente al ruido no deseado. A comparación de los muros convencionales, los muros de tierra son mucho mejores en cuanto al aislamiento acústico [21].

Características de la tierra como material de construcción

Habitabilidad: Una vivienda construida a base de tierra goza de climas interiores de elevada calidad, esto debido a sus excelentes propiedades, la tierra es un regulador eficaz de la humedad y conjuntamente posee la capacidad de mantener el clima interior de manera equilibrada y de almacenar el calor [21].

Sostenibilidad: La tierra al ser un elemento natural, puede ser reducido a su fase original y acumulado sin riesgo de contaminación en cualquier sitio [21].

Salud: Por sus características la tierra es un material no nocivo para la salud de las personas, por ende, tampoco lo es para el medio ambiente una vez que termina su vida útil, se puede incorporar al ambiente sin ninguna alteración perjudicial [21].

Composición del adobe

Limos: Son compuestos secos que no poseen cohesión, sin embargo, con la presencia de agua esta propiedad incrementa, además, poseen una mayor permeabilidad en comparación con las arcillas, pueden ser colapsables y no son expansivos [17].

Arcillas: Compuesto que proporciona cohesión a los adobes, sin embargo, en presencia del agua pueden presentar variaciones muy severas en la constitución del suelo, debido a su inestabilidad [17].

Arena: Son partículas minerales, pese a su estabilidad no poseen cohesión al secar, no tienen desplazamientos apreciables entre sus partículas, sin embargo, poseen una fuerte fricción interna [17].

Agua: Es un elemento esencial para brindar hidratación al adobe y para el incremento de sus cualidades, por lo que, debe obedecer a los requerimientos para cumplir con su papel en el proceso químico, sin causar alteraciones en caso de que contenga sustancias dañinas. Principales funciones del agua en el adobe:

- Reaccionar con la tierra para hidratarla.
- Favorecer a la trabajabilidad de la mezcla actuando como un lubricante.

Para el uso del agua en unidades de tierra reforzada se debe verificar que cumpla con los límites nominales de referencia conforme a la presencia de materiales orgánicos y sulfatos [19].

Paja: Este componente reduce de manera efectiva las contracciones que se producen debido al proceso de secado de los adobes que se realiza al aire libre, además, incrementa su cohesión con otros compuestos, logrando optimizar las características de las unidades de tierra reforzada al aumentarse la unión con el mortero. La paja generalmente se corta con 5cm de largo [17].

Fabricación del adobe

Elección del suelo: La granulometría del suelo se deberá encontrar aproximadamente entre las siguientes proporciones: arcilla 10%-20%, arena 55%-70% y limo 15%-25%, no se utilizará ningún tipo de suelo orgánico. Además, se debe quitar aquellas piedras con tamaños que superen los 5 mm y cualquier otro elemento extraño [22].

Hidratación previa: El suelo debe mantenerse en reposo y humedecido durante 24 horas, con el fin de verificar que esté en buen estado luego de la hidratación se confirmará haciendo un rollo con un puño de tierra que baste en la mano. Si es posible elaborar rollitos con dimensiones entre 5 cm a 15 cm, entonces el suelo se considera como bueno. En caso de que el rollito mida más de 15 cm la tierra es arcillosa, por ende, se recomienda incorporar un poco de arena. Por el contrario, si el rollito se despedaza antes de llegar a los 5 cm significa que la tierra no es

adecuada para la elaboración de los especímenes de tierra reforzada, por lo tanto, no debe ser usada [22].

Dimensionamiento: Las unidades de adobe pueden ser fabricadas de manera rectangular o cuadrada, las dimensiones deben estar sujetas a lo siguiente:

- Para el caso de adobes de forma rectangular, el largo será de manera aproximada igual a dos veces su ancho.
- La correlación entre largo y altura deberá ser de 4 a 1.
- Se recomienda una altura mayor a 8 cm [22].

Preparación de la adobera: Es recomendable que la adobera tenga las siguientes dimensiones: 40 cm x 40 cm x 8 cm.

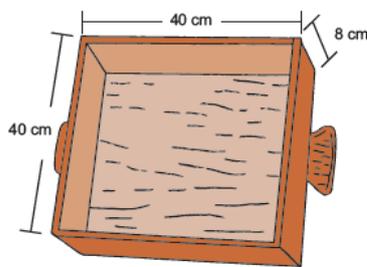


Figura 1. Dimensiones de la adobera [22].

Preparación del barro: El barro es preparado y dejado en reposo durante 2 días antes de moldear los adobes.

Mezclado: Previamente se procede a añadir la paja para que los adobes no se rajen. Luego se realiza el mezclado ya sea manualmente o de forma mecánica según el volumen del material con el que se está trabajando y la disposición del trabajador. Se llena la adobera lanzando con fuerza la mezcla, esta debe encontrarse humedecida y rociada con arena fina para facilitar el retiro posterior de los adobes.

Moldeo: Una vez llenada la adobera se procede a moldear y verificar que la mezcla se encuentre al ras de esta, se empareja la superficie haciendo uso de una regla.

Secado: Se deja secar la mezcla de adobes en las adoberas por un tiempo promedio entre 24 a 48 horas.

Preparación del terreno: El terreno en el cual se depositarán los adobes es preparado, se verifica que este se encuentre seco y plano, además, se rocía previamente con una capa de arena.

Retiro de la adobera: Se realiza el retiro de la adobera, levantando con ambas manos mediante las agarraderas y volteándolo rápidamente, cuidando que el adobe no pierda su forma.

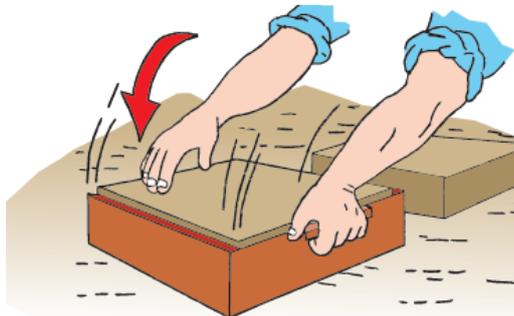


Figura 2. Retiro de la adobera [22].

Secado y almacenamiento del adobe: Se debe hacer un tendal para proteger al adobe del sol durante los primeros dos días. Luego de 3 o 5 días debe ser colocado de canto para afinar el proceso de secado. Finalmente, se dejan secar los adobes durante un mes.

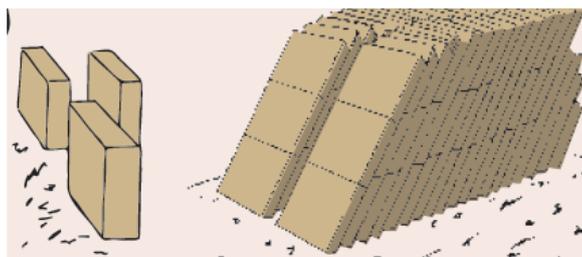


Figura 3. Secado de los adobes [22].

Adobe estabilizado

A lo largo de la historia una gran variedad de instituciones y personas en general han pretendido optimizar las características de las unidades de tierra, añadiendo a la mezcla de tradicional otros materiales ya sean naturales o industriales con el fin de otorgar a las unidades una mayor resistencia estructural y buscando su transformación en elementos que posean una mayor impermeabilidad [23].

En tiempos remotos, el hombre prehispánico buscaba incorporar diversos componentes de origen orgánico y litológico, llamados anti plásticos o desgrasantes. Con el uso de estos productos transformaba, vigilaba y les daba estabilidad a las diversas peculiaridades congénitas al material. Un claro modelo de esta invención es la adición de elementos orgánicos tales como: algas marinas, pasto, grasas animales, entre otros, dentro de la mezcla de suelo, esto daba lugar a una correcta adhesión, resistencias altas a agentes externos y, además, impedía que las unidades al ser solidificadas sean propensas al agrietamiento [1].

La norma E.080 precisa que el adobe estabilizado es aquel en el cual se ha llevado a cabo la incorporación de elementos adicionales (cemento, cal, asfalto, etc.) con el fin de optimizar sus circunstancias de resistencia a la compresión y permanencia cuando estén expuestos a la humedad.

En la actualidad tenemos a nuestra disposición una gran cantidad de estabilizantes, ya sean naturales o artificiales. La selección del estabilizante más conveniente deriva de factores como: el constructor responsable, el acceso o disposición de este en la zona, y también de las propiedades que se busquen optimizar con la aplicación de la estabilización.

Tipos de estabilización

Existen diferentes maneras de brindar estabilidad a los suelos, por una parte, la estabilización mecánica que busca optimizar el suelo mediante el proceso de compactación, luego la estabilización física que combina diferentes materiales, y finalmente la estabilización química que hace uso de diferentes aditivos cementantes.

a. Mecánica

Mediante este tipo de estabilización se incrementa la compacidad de la mezcla, esto se consigue a través de la compactación del suelo, logrando incrementar la densidad de los bloques de adobe, acrecentando de esta manera su resistencia, debido a la disminución de los poros presentes en el adobe [23].

b. Física

Consiste en una estabilización ya sea granulométrica o a base de fibras con las que se pretende optimizar las propiedades y el comportamiento de los especímenes de tierra reforzada.

Estabilización con fibras

Las fibras cumplen la función de crear un esqueleto interno que incrementa la repartición de tensiones dentro de la matriz de tierra, mejorando así la resistencia a flexión y cortante, además, se logra la reducción de fisuras provocadas por contracción de secado debido a variaciones de humedad y temperatura. La cantidad de paja a utilizar debe ser la mayor posible siempre y cuando admita un apropiado mezclado [24].

Las fibras forman una estructura tipo malla a la que se aglutinan las partículas que conforman el suelo controlando así su movimiento, retracción y dilatación en el proceso de secado. Es posible utilizar elementos fibrosos de origen vegetal como: pajas de distintas gramíneas, viruta

de madera, cáscara de coco, acículas de pináceas, entre otros. Conjuntamente, también es común el uso de elementos de origen animal procedentes de lana de cabras u ovejas, crines de caballos, pelo de cerdo o hasta el uso de cabello humano.

La estabilización de unidades de tierra haciendo uso de fibras tiene múltiples ventajas como el hecho de que evita la presencia de fisuras durante el secado, además, con el paso de los años continúa trabajando en las construcciones al funcionar como articulaciones que se encargan de flexibilizar las estructuras frente a posibles fallas producidas por sobrecargas o por movimientos telúricos. De la misma manera, las fibras realizan una modificación de la textura de los elementos de construcción convirtiéndolas en más ásperas, como resultado de esto se consigue un incremento significativo de la adhesión entre las partículas de suelo con los otros elementos estructurales y revestimientos. [25]

Existe una tradición bastante divulgada que consiste en el uso de estiércol de camélidos, caprinos o equinos, basado en que estos materiales optimizan la adhesión y plasticidad de las mezclas, Sin embargo, su función primordial radica en añadir fibras vegetales que han sido procesadas por los animales y que son de fácil acceso en zonas rurales.

Es de gran importancia tener en cuenta que las fibras deben ser utilizadas en condiciones secas ya que en presencia del agua están propensas a pudrirse y con ello se inducirá a posteriores desperfectos en las estructuras debido a los microorganismos generados. La elección de la fibra a utilizar dependerá de la disponibilidad de cada región [25].

Este material ha sido evaluado de manera rigurosa y se ha evidenciado que ostenta extensas condiciones de plasticidad, durabilidad, y resistencia. Es recomendable hacer uso de la paja cortada en longitudes de aproximadamente 10 cm y en una dosificación de 1% con respecto al peso, lo que representa una correlación de un volumen de paja por dos volúmenes de tierra [25].

Estabilización granulométrica

Por otra parte, la estabilización granulométrica se puede presentar cuando el suelo seleccionado para la elaboración de los especímenes posee una cohesión disminuida, esto a causa de que las arcillas presentes en la misma son escasamente activas o su proporción es insuficiente comparadas con las cantidades de limos y arena. Para alcanzar un equilibrio el suelo puede ser estabilizado incorporando mayor cantidad de arcilla hasta lograr condiciones adecuadas.

Por el contrario, si nos encontramos con un suelo con presencia excesiva de arcilla, es posible que se presenten fisuras en el proceso de secado como efecto de la retracción volumétrica y del hinchamiento. En tal caso se debe estabilizar añadiendo arenas o limos para obtener un equilibrio en el conjunto.

c. Química

En este caso el elemento que se agrega altera la estructura granular, brindando una mayor cohesión y disminuyendo la plasticidad excesiva, se suelen utilizar: aceites naturales, productos puzolánicos, cemento, yeso, polímeros, resinas, etc.

Para lograr una reducción óptima del contenido de agua es posible hacer uso de plastificantes industriales empleados en las mezclas de concreto como sulfonatos de naftalenos o ligninas. Las grasas provenientes de animales y vegetales conforman una capa protectora alrededor de las partículas de arcilla, regularizando así su contacto con el agua y conjuntamente sus variaciones dimensionales.

Los polímeros obtenidos de vegetales se desempeñan también como aglutinantes. Las sustancias químicas más comunes son la cal y el cemento, donde el cemento acrecienta la resistencia y la cal se encarga de reducir la plasticidad en el caso de suelos arcillosos [23].

Familia Pinaceae

La familia *Pinaceae* posee una amplia distribución, tuvo sus orígenes en el hemisferio norte. El género *Pinus* es el que tiene una contribución más grande que otros géneros de esta familia. El estado de México es reconocido como tierra de *Pinus* en cuestión de variedad de especies y cantidad de bosques [26].

Es preciso hacer referencia a dos de las principales y más abundantes especies de pino que se encuentran en Perú: *Pinus Radiata* y *P. Patula*. Además, se sabe que, Cajamarca es la región con mayor cantidad de áreas reforestadas con estos géneros de pinos, teniendo alrededor de 10 000 hectáreas [27].

Acículas de pináceas

También conocidas como agujas de pino, son generalmente largas, delgadas y puntiagudas, conforman una gran fuente de materia orgánica, debido a que suministra de nutrientes

esenciales e incrementa la capacidad del suelo para retener humedad. Pese a que las hojas de pino poseen un pH entre 3.2 y 3.8, una vez que caen del árbol adquieren un pH casi neutro [28].

Propiedades físicas y químicas del papel y cartón

La composición elemental del papel y cartón es un almacén de fibras de celulosa unidas a través de enlaces de hidrógeno. Al ser apartadas de los otros elementos no celulósicos por medio del proceso de elaboración del papel, estas fibras poseen una elevada resistencia frente a esfuerzos de tracción, además, impregnan los aditivos utilizados para la transformación de la pasta en papel y cartón, adicionalmente, son elásticos y químicamente estables [29].

Ensayos de materiales

Pruebas para la selección del suelo

Análisis In Situ

d. Prueba de Color

Esta prueba se aplica para descubrir el tipo de suelo con el que nos encontramos a partir del color percibido, esta es una prueba sensorial.



Figura 4. Prueba de color [30].

Se tomará el material seco. Los suelos inorgánicos se distinguen por tener colores brillantes y claros, mientras que los suelos orgánicos suelen presentar colores verdes, castaño oscuro o negro.

e. Prueba de granulometría (Prueba de la botella)

Esta prueba se lleva a cabo con el fin de comprobar la proporción de los componentes principales del suelo, como limo, arena y arcilla.

Equipos:

- Botella de boca ancha.

- Muestra de suelo.
- Regla.

Procedimiento

- Se llena una botella con tierra tamizada hasta la parte media de su alto.
- Se llena con agua la mitad restante.
- Se agita enérgicamente la botella hasta lograr la suspensión de todas las partículas de tierra.
- Reposar la botella hasta que las partículas sosieguen en la base. Las arenas se asentarán rápidamente, mientras que los limos y las partículas de arcilla lo harán gradualmente a lo largo de unas horas.
- Finalmente se procede a tomar las medidas de las capas formadas para descubrir la relación de los limos y arenas con la arcilla. Se recomienda que la suma de arena esté entre 1.5 a 3 veces la presencia de arcillas y limos.

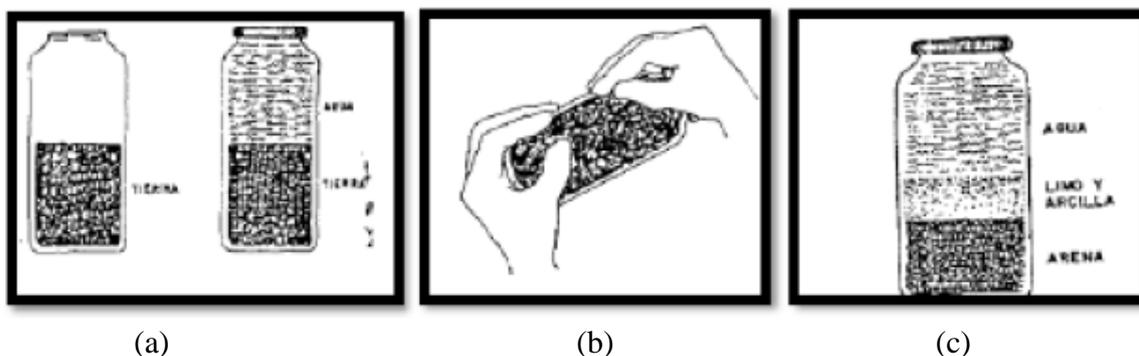


Figura 5. Simulación de la Prueba in situ. (a) Llenado del material en la botella, (b) Manera de agitar la botella, (c) Proporción de capas [31].

f. Prueba de cinta de barro

Esta prueba se realiza con el fin de tener una valoración inicial sobre la presencia de arcilla en una matriz de suelo, se ejecuta en un periodo de 10 minutos.

Se hace uso de una muestra de suelo con una presencia de agua que facilite la formación de un cilindro de 12 mm de diámetro, luego se va aplanando con los dedos pulgar e índice, de tal manera que se forme una cinta de 4 mm de espesor y posteriormente se deja que la cinta se deslice libremente. Si la cinta logra alcanzar medidas de 20 cm a 25 cm, significa que el suelo es demasiado arcilloso, en cambio, si se rompe a los 10 cm o incluso antes, entonces posee poco contenido de arcilla [32].

g. Prueba “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca”

Se forman 4 bolitas con la tierra en estudio agregándole una mínima cantidad de agua, verificando que no se deformen de manera significativa, al secarse. Las cuatro bolitas formadas deben secarse por un periodo de 48 horas, asegurándonos de que no se mojen por difusiones de agua o debido a lluvias. Una vez secas se presionan las bolitas fuertemente con el dedo pulgar e índice tal como está representado en la figura. Si al menos una de las bolitas formadas se rompe o agrieta esta prueba debe volver a realizarse.

Si en el segundo intento la bolita formada se vuelve a agrietar la cantera seleccionada debe ser desechada o también se puede mezclar el suelo con arcilla. La cantera seleccionada es apta para la obtención de materiales constructivos cuando ninguna de las bolitas se rompe o agrieta luego de la prueba [32].



Figura 6. Formación de bolita. (a) Prueba de resistencia seca. (b) [32].

Análisis y ensayos de laboratorio

a. Límite líquido

Definición

Se utiliza para precisar el contenido de humedad en términos porcentuales, para tal valor el suelo se encuentra en el límite entre los estados plástico y líquido. Para este ensayo se calcula la humedad de un suelo realizando un surco que se va cerrando a distancias de 13 mm (1/2”) aproximadamente al soltar la cuchara de Casagrande 25 veces desde 1 cm de alto a razón de 2 caídas por cada segundo. Este ensayo proporciona información sobre la plasticidad y fluidez del material en función a su contenido de humedad.

Normativa

NTP 339.129 SUELOS: Método de ensayo para determinar el Límite líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad del Suelo.

Instrumentos y equipos

- Un recipiente para almacenar la muestra.

- Una espátula de hoja flexible
- Cuchara de Casagrande
- Ranurador o acanalador
- Vernier
- Depósitos
- Balanza con aproximación de 0.01 gramos
- Horno con temperatura permanente de 105°C
- Malla N°40

Procedimiento

- Se coloca el suelo en el recipiente y se agrega de 15 a 20 ml de agua destilada, revolviendo y aglutinando la muestra de manera consecutiva. De ser necesario, se agrega más agua en adiciones de 1 a 3 ml.
- Una fracción de la mezcla obtenida es colocada en la cuchara, se comprime hacia la parte inferior, esparciendo la tierra hasta generar la posición de media luna. Después haciendo uso de la espátula se pule el suelo emparejándolo a una profundidad aproximada de 1 cm en el punto donde el espesor es el mayor.
- Posteriormente, se golpea la cuchara rodando la manija del aparato, con velocidades de 1.9 a 2.1 golpes por cada segundo, esto se realiza hasta que ambas mitades de la mezcla de suelo se junten, a lo largo de una distancia aproximada de 13 mm. Se registra el número de golpes necesarios para lograr el cierre completo de la ranura.
- Se procede a retirar una tajada de la mezcla, se toma una porción igual al ancho de la espátula, tomándola de ambos lados y con un ángulo de 90 grados con la ranura, se incluye, además, la fracción de la muestra que se cerró luego de los golpes, la muestra tomada es colocada en recipientes adecuados para llevarlos al horno [33].

Cálculo

Ecuación 1: Ecuación para obtener el contenido de humedad con 15,25 y 35 golpes

$$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100\%$$

Donde:

w_w : Peso de la mezcla húmeda.

w_s : Peso de la mezcla seca.

b. Límite plástico

Definición

El límite de plástico se determina a través de la formación de cilindros utilizando la palma de la mano encima de una superficie lisa, utilizando una muestra de suelo. Estos cilindros tienen un diámetro de 3,2 mm y una longitud de 25 a 30 cm. Una vez formados, se cortan los cilindros en trozos de aproximadamente 6 mm. Cuando los trozos alcanzan esta dimensión, se considera que se ha alcanzado la humedad correspondiente al límite plástico.

Normativa

NTP 339.129 SUELOS: Método de ensayo para determinar el Límite líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad del Suelo.

Instrumentos y equipos

- Una espátula de hoja flexible
- Depósitos
- Balanza con aproximación a 0.01 g
- Horno regulable a 110 ± 5 °C
- Tamiz N° 40
- Agua destilada
- Vidrios de reloj
- Superficie de rodadura

Procedimiento

- Se coloca la muestra en el depósito y se combina con 15 a 20 ml de agua destilada, revolviéndola y moldeándola, haciendo uso de una espátula de manera iterativa y variada.
- Una vez que la mezcla está bien formada se procede a la formación de pequeños cilindros con diámetros de 3.2 mm con la planta de la mano sobre una superficie correctamente nivelada.
- Si al formar los cilindros estos se desmoronan o presentan pequeñas fisuras, se considera que el proceso ha finalizado. En caso contrario, se repite el procedimiento las veces que sea necesario hasta obtener rollitos que muestren fisuras. Esto indica que se ha alcanzado el límite de plástico del suelo.

- Posteriormente las porciones desmoronadas o fisuradas son colocadas en depósitos hasta obtener un peso de al menos 6 gr. Finalmente, la muestra es colocada en el horno durante un día, luego se pesa y se realizan los cálculos respectivos.

Cálculo

Ecuación 2: Ecuación para obtener el límite plástico.

$$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100\%$$

Donde:

w_w : Peso de la mezcla húmeda.

w_s : Peso de la mezcla seca.

c. Índice de plasticidad

Definición

Se define como el rango de contenido de humedad en el cual la tierra muestra una conducta plástica. Matemáticamente, se calcula este valor como la discrepancia entre el límite plástico y el líquido.

Normativa

NTP 339.129 SUELOS: Método de ensayo para determinar el Límite líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad del Suelo.

Cálculo

Ecuación 3: Ecuación para obtener el índice de plasticidad del suelo.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP : Índice de plasticidad.

LL : Límite líquido.

LP : Límite plástico.

d. Granulometría

Definición

La granulometría es un método de análisis físico utilizado para establecer la distribución de las dimensiones de partículas en una muestra representativa de suelo. Este análisis se realiza mediante el uso de una serie de tamices que están ordenados de mayor a menor abertura.

Normativa

NTP 339.128 SUELOS: Método de ensayo para el Análisis Granulométrico del suelo.

Instrumentos y equipos

- Un juego de mallas (N°6, N°8, N°10, N°16, N°20, N°30, N°40, N°60, N°80, N°100, N°200 y fondo)
- Balanza con aproximación a 0.1 gr
- Charolas

Procedimiento

- Se toma una porción de suelo que ha sido previamente secado en el horno, se pesa y se registra el dato obtenido.
- Para realizar el tamizado, la muestra es colocada en los tamices seleccionados. Se lleva a cabo un movimiento lateral y vertical, acompañado de pequeños golpeteos, con el fin de mantener la muestra en constante movimiento.
- Posteriormente, se lleva a pesar el suelo que quedó retenido en cada tamiz y se registra el valor para luego ser procesado.
- Todo lo mencionado anteriormente se debe realizar hasta la malla N°04 y con el suelo pasante, se obtiene una muestra de suelo representativa de 500 a 1000 gr.
- La muestra obtenida se seca totalmente hasta que se enfríe y se toma una porción de 200 gr., la misma que es colocada en un recipiente de aluminio, se llena con agua y se procede con el lavado del suelo.
- El proceso de lavado implica agitar el suelo utilizando un alambrón con punta redondeada, generando movimientos en forma de figura "ocho" durante un período de 15 segundos. Posteriormente, se vierte el líquido resultante en el tamiz N°200 con el objetivo de eliminar las partículas finas que pasan a través de esta malla. Luego, se añade más agua al recipiente y se repite el proceso de agitación descrito anteriormente. Este procedimiento se realiza con el objeto de eliminar los componentes más finos.

- El proceso de lavado se realiza las veces que sean necesarias hasta que el agua utilizada quede muy clara.
- La muestra obtenida del proceso de lavado es secada en el horno, luego se deja enfriar para iniciar con el tamizado desde la malla N°8 hasta la N°200.
- Se procede a pesar la cantidad de muestra que ha sido retenida en cada tamiz. Luego, se realizan los cálculos y con estos datos se dibuja la curva granulométrica.
- Finalmente, se calculan los porcentajes de grava, finos y arena.

Cálculo

Ecuación 4: Ecuación para obtener el porcentaje retenido en cada tamiz.

$$\%Retenido = \frac{W_R}{W_S} \times 100\%$$

Donde:

W_R : Peso retenido.

W_S : Peso seco de la muestra.

e. Contenido de humedad

Definición

El propósito de este ensayo es la determinación de la cantidad de agua presente en una muestra de suelo. Se define como la relación, expresada en término porcentuales, entre el peso del agua y el peso de las partículas sólidas de dicho suelo.

Normativa

NTP 339.127 SUELOS: Método de Ensayo para determinar el Contenido de Humedad de un suelo.

Instrumentos y equipos

- Horno que mantenga la temperatura constante a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Balanza de precisión 0.1 gr.
- Recipientes apropiados para las muestras.

Procedimiento

- El proceso inicia con la determinación y registro del peso de un recipiente limpio y en estado seco.
- Se coloca la fracción de muestra seleccionada en estado húmedo en el depósito y se procede a pesar en la balanza, se registra el dato obtenido.

- Las muestras con el suelo húmedo son sometidas a un tiempo de secado en el horno a 110°C durante 24 horas. Después de este período, se retirarán las muestras y se les permitirá enfriarse a temperatura normal.
- Se procede al pesado de la muestra retirada, lo cual nos proporciona el peso de la muestra seca sumado a la tara.
- Por último, se llevan a cabo los cálculos necesarios para la determinación del valor de contenido de humedad de la tierra en estudio.

Cálculo

Ecuación 5: Ecuación para obtener el contenido de humedad del suelo.

$$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100\%$$

Donde:

w_w : Peso del suelo húmedo.

w_s : Peso del suelo seco.

Ensayos realizados a las unidades de tierra reforzada

a. Ensayo de succión

Definición

La NTP 399.613 instaure los requisitos para el ensayo de succión en albañilería. Sin embargo, con el fin de abordar las necesidades prácticas de esta investigación, se adaptará dicho ensayo para ser aplicado a las muestras de tierra específicas de este estudio. El propósito principal de este ensayo consiste en la determinación de la capacidad de absorción temprana de una muestra específica. Se pretende obtener el valor que representa el total de agua que el suelo es capaz de absorber en un intervalo de tiempo de 1 minuto, con un margen de error aceptable de +/- 1 segundo.

Normativa

El procedimiento para determinar el periodo inicial de absorción o succión de las unidades de albañilería de tierra sigue las pautas establecidas en la Norma NTP 399.613.

Instrumentos y equipos

- Bandejas o recipientes
- Soportes para las unidades
- Balanza

- Especímenes de prueba

Procedimiento

- Para iniciar con la prueba se debe colocar el depósito en una superficie limpia y correctamente nivelada.
- Después, se colocan los soportes encima del depósito o fuente y se añade agua hasta que el nivel en la fuente se mantenga constante a una altura de $3 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$ sobre los soportes.
- A continuación, se realiza la toma de datos de las dimensiones de las caras de la muestra que están en contacto con el agua.
- Luego, se coloca el espécimen encima de los soportes en un lapso de $1 \text{ minuto} \pm 1 \text{ segundo}$. Durante este tiempo, es importante asegurarse que el agua se mantenga a un nivel constante.
- A continuación, retirar la muestra y quitar el exceso de agua con una tela para retornar a pesarla, este peso incluirá el agua succionada, las muestras deberán ser secadas en el rango de los 10 segundos posteriores a ser retirados y deberán ser pesadas dentro de los 2 minutos siguientes.

Cálculo

La succión es calculada utilizando la siguiente la expresión:

Ecuación 6: Ecuación para hallar la succión en las unidades de adobe

$$\text{Succión} = \frac{(W_h - W_s)}{A} \times 200 \text{ (gr/200 cm}^2 \text{ - min)}$$

Donde:

W_h = Peso después del ensayo (gr)

W_s = Peso seco del espécimen (gr)

A = Área de contacto del espécimen con el agua (cm²)

b. Variación dimensional

Definición

En este ensayo, se realizarán registros de las siguientes medidas para cada muestra: largo, ancho y altura. Estas medidas se obtendrán con una precisión de 1 mm. Para el cálculo, se tomará el promedio de las cuatro mediciones realizadas en los puntos medios de los bordes de cada cara de la muestra.

Normativa

Para este ensayo se sigue el procedimiento establecido en las normas NTP 399.613 y NTP 399.604.

Instrumentos y equipos

- Brocha
- Regla de acero graduada
- Especímenes de prueba

Procedimiento

- Se medirá cada unidad de manera individual.
- Registrar la medida del ancho tomando en cuenta los extremos y las dos caras, midiendo desde el punto medio de los bordes que delimitan dichas caras.
- Registre estas cuatro dimensiones con aproximación de 1 mm y posteriormente tome datos del ancho como el promedio de las medidas, con aproximación de 0,5 mm.
- Para realizar la medición de altura y de largo se realiza el mismo procedimiento descrito anteriormente.

Cálculo

Ecuación 7: Ecuación para obtener la variación dimensional del largo

$$V\% = \frac{(D_f - D_p)}{D_f} \times 100\%$$

Donde:

V = Porcentaje de variación dimensional

D_f = Medidas de diseño

D_p = Medidas promedio en mm

c. Resistencia a la compresión

Definición

Este ensayo establece la capacidad por unidad de área de las unidades de tierra reforzada al ser sometidas a una carga axial, la fuerza compresiva es resultado de las presiones aplicadas en un sólido, en este caso, una unidad de adobe.

Normativa

Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.080: “Diseño y Construcción con Tierra Reforzada”, 2017.

Instrumentos y equipos

- Máquina compresora
- Especímenes de prueba

Procedimiento

La medición de la compresión se realiza en unidades de 10 cm de arista. El esfuerzo se obtendrá en base al área de contacto, la resistencia última f_0 se calcula en base al promedio de las 4 mejores muestras de 6 ensayadas, la norma indica que el valor mínimo para f_0 es igual a 10.2 kgf/cm^2 . El procedimiento por seguir es el siguiente:

- Identificar cada una de las muestras a ser ensayadas
- Registrar las medidas del área de contacto de cada muestra
- Colocar el espécimen en la máquina para iniciar con el ensayo

Cálculo

Ecuación 8: Ecuación para obtener la resistencia a compresión de unidades de adobe

$$f'b = \frac{P_U \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)}{A}$$

Donde:

$f'b$ = Resistencia a la compresión (kg/cm²)

P_U = Carga perpendicular aplicada hasta la rotura (kg)

A = Área de contacto (cm²)

d. Resistencia a la tracción

Definición

La metodología utilizada en este ensayo tiene como objetivo medir la resistencia por compresión diametral de una muestra en forma de cilindro, que forma parte de la unidad de tierra reforzada. Esto se logra aplicando una carga axial a la muestra y evaluando su resistencia a la tracción en esa dirección.

Normativa

Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.080: “Diseño y Construcción con Tierra Reforzada”, 2017.

Instrumentos y equipos

- Máquina compresora
- Especímenes de prueba

Procedimiento

La resistencia a la tracción se cuantifica en probetas cilíndricas de 6" x 12" de diámetro y largo. El resultado se obtiene promediando las 4 mejores muestras de un total de 6 muestras sometidas a ensayo, el resultado debe ser igual o mayor a la resistencia última de $0.08MPa = 0.81kgf/cm^2$. El procedimiento por seguir es el siguiente:

- Identificar debidamente cada una de las muestras a ser ensayadas
- Registrar las medidas del diámetro y la altura
- Colocar el espécimen en la máquina para iniciar con el ensayo

Cálculo

El procedimiento de cálculo a seguir se describe a continuación:

Ecuación 9: Ecuación para obtener la resistencia a la tracción de unidades de adobe

$$F = \frac{2 \times P_U}{\pi \times D \times L}$$

Donde:

F = Resistencia última a tracción (kg/cm²)

P_U = Carga máxima (kg)

D = Diámetro de la muestra cilíndrica (cm)

L = Altura de la muestra cilíndrica (cm)

e. Ensayo del murete a la compresión

Definición

En este ensayo se realiza una prueba de compresión sometiendo al murete a una carga axial desde cero hasta llegar a la carga de falla, el ensayo se realiza en muretes o pilas de adobe que deben cumplir con una relación entre la altura y la menor dimensión de la base, siendo la altura aproximadamente tres veces la menor dimensión de la base, la resistencia última de este ensayo es de 6.12 kgf/cm².

Normativa

RNE, Norma E.080: "Diseño y Construcción con Tierra Reforzada", 2017

Instrumentos y equipos

- Máquina Compresora
- Muretes o pilas para ensayar

Procedimiento

- Seleccionar las dimensiones adecuadas de las unidades
- Construcción de pilas con las dimensiones descritas.
- Secado de las muestras por un periodo de 28 días.
- Ensayar los muretes o pilas con la dosificación óptima encontrada.
- Realizar la toma de datos y posteriormente el análisis de resultados.

Cálculo

Ecuación 10: Ecuación para obtener el esfuerzo de compresión admisible del murete

$$f'm = \frac{P}{a \times b} \Rightarrow fm = 0.40f'm$$

Esfuerzo admisible de compresión por aplastamiento = 1.25fm

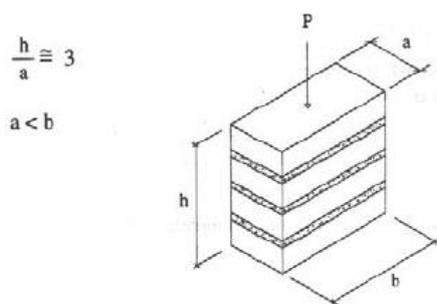


Figura 7. Dimensiones del murete para ensayo de compresión.

Donde:

P= Carga aplicada.

a=Menor dimensión de la base

b=Mayor dimensión de base

f. Ensayo del murete a tracción indirecta o compresión diagonal

Definición

En el ensayo de compresión diagonal se somete al murete a una carga axial hasta llegar a la carga de falla y se busca garantizar una distribución uniforme. Este ensayo se aplica en muretes de 0,65 m. x 0.65 m. x x_e m. La resistencia última de este ensayo es de 0.25 kgf/cm².

Normativa

RNE, Norma E.080: “Diseño y Construcción con Tierra Reforzada”, 2017.

Instrumentos y equipos

- Máquina de Compresión Diagonal
- Muretes

Procedimiento

- Elegir las dimensiones adecuadas de las unidades de tierra
- Construcción de muretes de 0,65 m. x 0.65 m. x x_e m.
- Se uniformiza la superficie que se encontrará en contacto con la carga.
- Dejar secar las muestras por un periodo de 28 días.
- Ensayar los muretes con la dosificación óptima encontrada.
- Realizar la toma de datos y posteriormente el análisis de resultados.

Cálculo

Ecuación 11: Esfuerzo admisible al corte del muro

$$V_m = 0.4 f't$$

Donde:

$f't$ = Esfuerzo último del murete de ensayo:

Ecuación 12: Esfuerzo último del murete

$$f't = \frac{P}{2 \times a \times e_m}$$

P= carga aplicada

a= ancho de las unidades de tierra

e_m = espesor de muretes

Bases legales

Normas Técnicas Peruanas (NTP)

Norma E.050: Suelos y Cimentaciones

Esta norma instauro los criterios o exigencias para la ejecución de los EMS. Estos ensayos de suelos se llevarán a cabo con la finalidad de aseverar la seguridad y estabilidad de las obras [34].

Norma E.070: Albañilería

Esta norma abarca todos los requisitos mínimos y criterios para el diseño, análisis, control de calidad y reconocimiento de construcciones de albañilería que se encuentran constituidas por muros confinados y armados [34].

Norma E.080: Diseño y Construcción con Tierra Reforzada

Esta norma conforma los parámetros para tener en cuenta en la realización de obras a base de adobe tradicional o estabilizado [34].

NTP 339.089: Suelos. Obtención en laboratorio de muestras representativas

Esta norma engloba todos los procesos necesarios que deben llevarse a cabo en el laboratorio con el fin de obtener una muestra representativa de la muestra inicial. [34].

NTP 339.127: Método de Ensayo para la determinación del Contenido de Humedad de un Suelo

Esta norma provee el procedimiento necesario para la obtención del valor que representa al contenido de humedad de un suelo [34].

NTP 339.128: Método de Ensayo de Análisis Granulométrico de un Suelo

En esta norma se presenta la metodología para determinar la distribución de las partículas de los agregados según su tamaño utilizando el método de tamizado [34].

NTP 339.129: Método de ensayo para determinar el Límite Líquido, Límite Plástico, e Índice de Plasticidad de suelos

La norma indica la prueba para definir el límite plástico, límite líquido e índice de plasticidad para una muestra de suelo [34].

NTP 339.134: Método para la clasificación unificada de suelos

Contiene el sistema o método utilizado para clasificar los suelos minerales y los suelos orgánicos minerales con fines ingenieriles, mediante la evaluación de características como la granulometría, los límites líquidos y el índice plástico en un entorno de laboratorio. [34]

NTP 339.613: Unidades de Albañilería: Métodos de muestreo y ensayos de ladrillos de arcilla usados en albañilería

La norma se compone por los procesos precisos para realizar el muestreo y ensayos de unidades de arcilla cocida, utilizados en albañilería.

Esta norma define de manera detallada el proceso necesario para la obtención de resultados en los ensayos de absorción temprana o succión en unidades de albañilería [34].

NTP 399.615:2016: Unidades de Albañilería: Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la tracción por compresión de las unidades de albañilería

En esta norma se establece el procedimiento para determinar la resistencia a la tracción por compresión de las unidades de albañilería. [34].

NTP 399.621:2004: Unidades de Albañilería: Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería

Esta norma describe la metodología de ensayo para determinar la resistencia a la compresión diagonal (corte) en muros de albañilería con dimensiones mínimas de 60 cm x 60 cm. El ensayo implica aplicar una carga de compresión a lo largo de una diagonal del murete, lo que resulta en una falla por tracción diagonal [34].

Materiales y métodos**Tipo y nivel de investigación****Tipo de investigación**

De acuerdo con el fin que se persigue pertenece a un tipo de investigación aplicada, ya que busca solucionar una realidad problemática mediante la aplicación de una propuesta. Según el tipo de datos analizados es una investigación cuantitativa porque se desea alcanzar datos numéricos en cuanto a los resultados de los diversos ensayos que se aplicarán a las unidades de tierra reforzada para conocer sus propiedades incluyendo las variables de estudio. Finalmente,

de acuerdo con la metodología es una investigación experimental puesto que se manipulará la variable independiente en cuestión [35].

Nivel de investigación

Esta investigación se realizará a nivel exploratorio debido a que se busca examinar un tema poco estudiado, en este caso, indagar sobre la incidencia de la incorporación de acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado en la optimización de las propiedades mecánicas y físicas de unidades de tierra reforzada.

Diseño de investigación

El diseño de esta investigación pertenece a la clasificación de un diseño experimental, puesto que, se busca manipular de manera deliberada las variables, en este caso, con la adición de acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado se pretende analizar y establecer el resultado que tendrá en una unidad de tierra reforzada. Estos resultados se conseguirán con la ejecución de ensayos que se trazaron con el fin de establecer el comportamiento de los especímenes añadiendo los componentes elegidos.

Población, muestra de estudio y muestreo

Población

La población objeto de estudio de esta investigación está comprendida por todas las unidades de tierra reforzada de la ciudad de Cutervo.

Muestra

Conformada por elementos que pertenecientes al conjunto establecido como población. Para la presente investigación la muestra se encuentra comprendida por las 216 unidades de tierra reforzada con incorporación de acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado en diferentes porcentajes a fin de evaluar sus propiedades físicas y mecánicas.

Muestreo

Para la presente investigación se ha aplicado un muestreo no probabilístico por conveniencia para la selección de las unidades de tierra reforzada que serán fabricadas con el fin de realizar un estudio para la dosificación fija de acículas de pináceas y las diversas dosificaciones de celulosa de cartón reciclado.

Criterios de selección

El reglamento establecido en la norma E.080: Diseño y construcción con tierra reforzada, da a conocer los alcances y especificaciones para tener en cuenta en cada ensayo, igualmente, recomienda la cantidad de especímenes mínimos que corresponde ensayar.

a. Ensayo de Resistencia a la Compresión: La norma E.080 detalla que se deben estudiar un mínimo de 6 unidades en cubos de 10 cm de arista para la resistencia a la compresión a los 28 días de secado.

b. Ensayo de Resistencia a la Tracción: La norma E.080 detalla que se deben estudiar un mínimo de 6 unidades de forma cilíndrica de 6'' de diámetro con 12'' de largo a los 28 días de secado.

c. Ensayo de Succión: Los procedimientos de muestreo y determinación de la absorción inicial o succión de unidades de tierra reforzada, se adaptan al acápite 11 de la NTP 399.613.

d. Ensayo de Variación Dimensional: Los procedimientos de muestreo y determinación de la medida de la variación dimensional, se adaptan del acápite 16 de la NTP 399.613.

e. Ensayo de Resistencia del murete a la compresión: La norma E .080 detalla que el ensayo se debe hacer en muretes de una altura aproximada igual a tres veces la menor dimensión de la base, se ensayará 6 muestras para hallar la resistencia última.

f. Ensayo de Resistencia del murete a la tracción indirecta o compresión diagonal: La norma E .080 detalla que la resistencia se debe medir en muretes de $65\text{ cm} \times 65\text{ cm} \times e_m$. Se someterá a tracción indirecta 6 muretes.

En resumen, se muestran los siguientes cuadros:

Tabla 1. Cuantificación de muestras para ensayo de resistencia a la compresión de las unidades de tierra reforzada

ENSAYO	GRUPO PATRÓN	GRUPO EXPERIMENTAL			TOTAL
		Porcentaje fijo: Acículas de pináceas 1%			
		Dosificación de celulosa			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	0%	2.5%	5%	7.5%	24
	6	6	6	6	

Tabla 2. Cuantificación de muestras para ensayo de resistencia a la tracción de las unidades de tierra reforzada

ENSAYO	GRUPO PATRÓN	GRUPO EXPERIMENTAL			TOTAL
		Porcentaje fijo: Acículas de pináceas 1%			
		Dosificación de celulosa			
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	0%	2.5%	5%	7.5%	24
	6	6	6	6	

Tabla 3. Cuantificación de muestras para ensayo de succión de las unidades de tierra reforzada

ENSAYO	GRUPO PATRÓN	GRUPO EXPERIMENTAL			TOTAL
		Porcentaje fijo: Acículas de pináceas 1%			
		Dosificación de celulosa			
SUCCIÓN	0%	2.5%	5%	7.5%	24
	6	6	6	6	

Tabla 4. Cuantificación de muestras para ensayo de medición dimensional de las unidades de tierra reforzada

ENSAYO	GRUPO PATRÓN	GRUPO EXPERIMENTAL			TOTAL
		Porcentaje fijo: Acículas de pináceas 1%			
		Dosificación de celulosa			
VARIACIÓN DIMENSIONAL	0%	2.5%	5%	7.5%	24
	6	6	6	6	

Tabla 5. Cuantificación de muestras para ensayo de resistencia del murete a la compresión

ENSAYO	GRUPO PATRÓN	GRUPO EXPERIMENTAL		TOTAL
		Porcentaje fijo: Acículas de pináceas 1%		
		Dosificación de celulosa: Porcentaje óptimo		
RESISTENCIA DEL MURETE A LA COMPRESIÓN	0%	7.5%		36
	18	18		

Tabla 6. Cuantificación de muestras para ensayo de resistencia del murete a la tracción

ENSAYO	GRUPO PATRÓN	GRUPO EXPERIMENTAL		TOTAL
		Porcentaje fijo: Acículas de pináceas 1%		
		Dosificación de celulosa: Porcentaje óptimo		
RESISTENCIA DEL MURETE A LA TRACCIÓN	0%	7.5%		180
	90	90		

TOTAL DE UNIDADES	288
--------------------------	------------

Las unidades muestrales serán elaboradas en moldes con las dimensiones siguientes 10cm x 10cm x 10cm , 10cm x 15cm x 10cm , y cilindros de 6” x 12”. Además, para los ensayos de muretes se fabricarán adobes de 8cm x 8cm x 16cm y 12cm x 24cm x 8cm. Los adobes convencionales que formarán parte de la muestra patrón serán fabricados con el mismo suelo y agua potable, y los adobes objeto de la investigación serán fabricados con adición del 1% de acículas de pináceas y 2.5%, 5% y 7.5% de celulosa de cartón reciclado con respecto al peso. Adicionalmente, al finalizar los ensayos de unidades se seleccionará una dosificación (la óptima) para realizar los ensayos de resistencia del murete a la compresión y de resistencia del murete a la tracción indirecta.

Hipótesis y operacionalización de variables

Hipótesis:

Con la incorporación de acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado se mejorará las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de tierra reforzada.

Variables:

Variables independientes

- Acículas de pináceas
- Celulosa de cartón reciclado

Variable dependiente

- Propiedades físicas y mecánicas de las unidades de tierra reforzada.

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN

Formulación del problema	Hipótesis	Variables independientes	Variable dependiente	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	índice
¿De qué manera influirá la incorporación de acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado en diferentes porcentajes en las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de tierra reforzada?	Con la incorporación de acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado se mejorará las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de tierra reforzada.	Acículas de pináceas	Propiedades físicas y mecánicas de las unidades de tierra reforzada	Ensayos In Situ	Prueba de color	Registro en campo	-
					Prueba de la botella	Registro en campo	-
					Prueba de solidez	Registro en campo	-
					Prueba "Cinta de barro"	Registro en campo	-
					Prueba "Resistencia seca"	Registro en campo	-
				Ensayos de Laboratorio	Contenido de humedad	NTP 339.127	%
					Granulometría	NTP 339.128	
					Límite líquido	NTP 339.129	%
					Límite plástico	NTP 339.129	%
		Índice de plasticidad			NTP 339.129	%	
		Ensayos Físicos		Variación dimensional	NTP 339.613	cm	
				Permeabilidad	NTP 339.613	gr/min	
		Ensayos Mecánicos		Resistencia a la compresión	E. 080	kg/cm ²	
Resistencia a la tracción	E. 080		kg/cm ²				

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Observación directa:

Se realiza mediante de los sentidos, se busca captar la realidad que se quiere investigar.

Experimentos:

Debido a que las variables de estudio estarán sometidas a diversos ensayos de laboratorio para así determinar su comportamiento.

Instrumentos

Libreta de apuntes:

Será aplicada cuando se obtenga información de los ensayos previos In situ (prueba de color, prueba de la botella, prueba de solidez, cinta de barro, resistencia seca) que se aplicarán al suelo seleccionado.

Formatos de laboratorio:

Serán utilizados para el registro de datos necesarios para la obtención de los resultados de cada uno de los ensayos a los cuales estarán sometidos las muestras de estudio.

Fotografías:

Este instrumento será utilizado como evidencia de cada uno de los procedimientos de los diferentes ensayos que se realizarán en esta investigación.

Procedimientos

Obtención de las acículas de pináceas

Proceso de selección

Las acículas de pino que se utilizarán en esta investigación serán recolectadas del cerro Ilucán de la Provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca, los criterios para tener en cuenta al momento de seleccionarlas serán los siguientes.

- Recolectar las agujas o acículas de pináceas que se encuentren en estado seco.
- Verificar las medidas de las acículas y cortar en dimensiones adecuadas, la longitud recomendada para adición de fibras en unidades de tierra es de 10 cm aproximadamente.
- Agrupar el material seleccionado y almacenar en un lugar adecuado a temperatura ambiente.



Figura 8. Pesado y picado de las acículas de pináceas.

Obtención de la celulosa de cartón reciclado

En la planta de reciclaje de la Municipalidad Provincial de Cutervo se recolecta una gran variedad de residuos sólidos, para esta investigación se contará con el apoyo de la Sub-Gerencia de Residuos Sólidos, quienes proporcionarán el cartón necesario para realizar el proceso de extracción de celulosa, para ello es importante tener en cuenta ciertos aspectos en el desarrollo de selección del material para la obtención de las unidades de tierra reforzada.

Proceso de selección

- Se seleccionó el cartón de manera cuidadosa, para esta investigación se recolectó cartones limpios, secos y en un estado adecuado.

- Se retiró materiales ajenos que se encontraban adheridos a los cartones, tales como, grapas metálicas, cintas adhesivas, entre otros.



Figura 9. Selección y pesado del cartón.

Elaboración de la celulosa de cartón reciclado

- Una vez que el cartón ha sido seleccionado de manera cuidadosa se realizó el rasgado del cartón en partes muy pequeñas.



Figura 10. Rasgado del cartón.

- Se sumergió el cartón rasgado en recipientes con agua y se dejó reposar durante 24 horas.



Figura 11. Remojado del cartón.

- Pasado este tiempo, se procedió a licuar el cartón húmedo aproximadamente por 30 segundos.



Figura 12. Licuado del cartón.

- Se llevó el cartón licuado a un recipiente con agua durante un minuto.
- Posteriormente se realizó un tamizado o colado donde se extrajo la mayor cantidad de agua posible.



Figura 13. Colado del cartón

- El cartón colado se deja en el horno por 10 minutos para reducir su humedad.



Figura 14. Secado de fibras de celulosa de cartón en el horno

- Una vez seco se pasó nuevamente por la licuadora durante 20 segundos y las fibras obtenidas en este proceso son el resultado final de la celulosa.



Figura 15. Fibras de celulosa de cartón

Pruebas de selección y control del suelo

Análisis y Ensayos In Situ

a. Prueba de color

Se aplica para la determinación de la naturaleza del suelo, ya sea orgánica o inorgánica mediante la observación del color de la muestra de suelo. Se toma la muestra en estado seco para evitar posibles cambios en el color que podrían ocurrir si se tomara en su estado natural y se dejara expuesta durante cierto tiempo.



Figura 16. Prueba de color.

b. Prueba de granulometría (Prueba de la botella)

Se realizó el tamizado de la tierra para luego llenar la botella hasta la media parte de su alto, la mitad restante se llenó de agua limpia.

Se procedió a agitar la botella energicamente para asegurar que todas las partículas se encontraran en suspensión. Posteriormente, se dejó reposar para que las partículas se

asentaran en el fondo. Se observó que las partículas de arena, al ser más pequeñas, se asentaron primero, seguidas de los limos y finalmente las arcillas.



Figura 17. Prueba de la botella.

Finalmente, se midieron las capas para identificar la cantidad de arena, limos y arcillas, posteriormente los datos serán procesados.

c. Prueba de cinta de barro

Se tomó una muestra de material y se humedeció hasta obtener la consistencia necesaria para formar un cilindro de aproximadamente 12 milímetros de diámetro. Posteriormente, se colocó este cilindro en la mano y se aplastó suavemente hasta obtener una cinta de aproximadamente 4 milímetros de espesor. A continuación, se dejó que la cinta se descolgara libremente.



Figura 18. Prueba de cinta de barro.

Según la NTP E.080: Adobe, si la cinta llega a extenderse de 20 a 25 cm, el suelo es clasificado arcilloso, pero, si, al contrario, tiene una dimensión menor de 10 cm, se considera con pobre contenido de arcilla.

d. Prueba “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca”

Se formaron cuatro bolitas con la tierra humedecida con una cantidad mínima de agua.

Se dejó secar las cuatro bolitas durante 48 horas asegurándonos de que no se mojen o alteren por agentes externos.



Figura 19. Prueba de Resistencia seca.

Después de que las muestras se secaron, se procedió a ejercer presión sobre cada bolita utilizando el pulgar y el índice de una mano.



Figura 20. Prueba de Resistencia seca.

Análisis y Ensayos de laboratorio

a. Límite líquido

Normativa: NTP 339.129 o ASTM D4318

Para iniciar con este ensayo se manipula la muestra del suelo, luego se realiza el cuarteo para obtener una muestra representativa.



Figura 21. Cuarteo del suelo

Se realiza el tamizado de la muestra pasándola por la malla N°40 y para este ensayo se selecciona la porción que pasa la malla antes mencionada.



Figura 22. Tamizado de la muestra por la malla N°40

Posteriormente la mezcla fue colocada en un recipiente para ser mezclada con agua destilada y luego se amasó de manera repetida.



(a)



(b)

Figura 23. Colocación de agua destilada (a). Amasado de la muestra (b)

Con una espátula se procedió a la colocación de la muestra a ensayar en la cuchara de casa grande en forma de media luna.

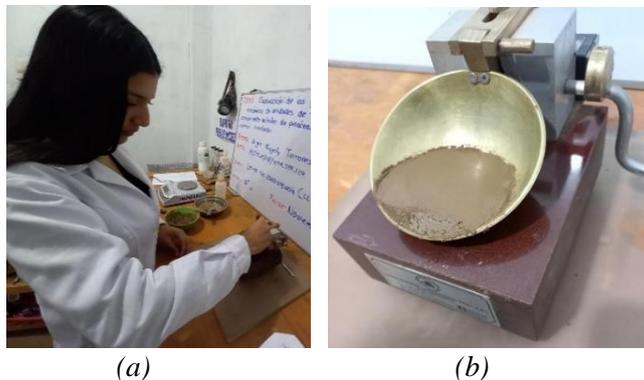


Figura 24. Colocación de la muestra en la cuchara de casa grande

A continuación, se aplicaron de 15 a 35 golpes y se tomó una porción de muestra (la parte que se ha cerrado) para luego colocarla en un recipiente.

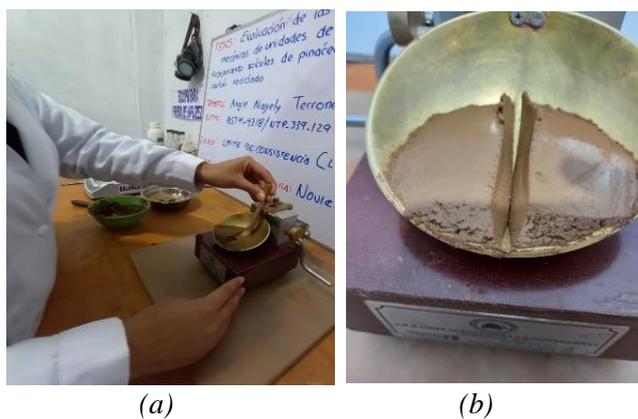


Figura 25. Golpes realizados a la muestra de suelo

Posteriormente la muestra tomada y colocada en un depósito será utilizada para hallar su humedad y obtener así el límite líquido.



Figura 26. Muestra tomada para contenido de humedad

Finalmente, se repitieron todos los pasos anteriores para tener dos pruebas adicionales y las muestras fueron llevadas al horno por un periodo de 24 horas para la determinación del límite líquido del suelo.

b. Límite plástico

Normativa: NTP 339.129 o ASTM D4318

Se tomó una muestra de 20 a 30 gramos de la preparada anteriormente y se dividió en varias fracciones para amasarla y constituir cilindros de aproximadamente 3 mm de diámetro.

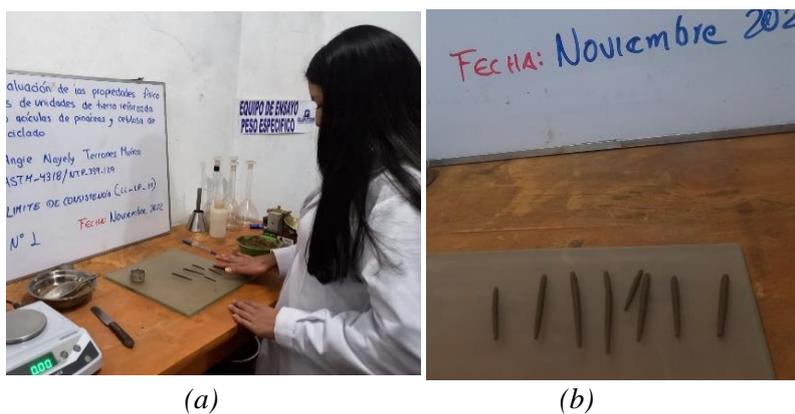


Figura 27. Formación de cilindros de 3 mm de diámetro

Luego, se pesaron las muestras para obtener el peso de la tara más suelo húmedo, a continuación, se llevaron las muestras al horno y pasadas las 24 horas se obtuvo el peso de la tara más el suelo seco.

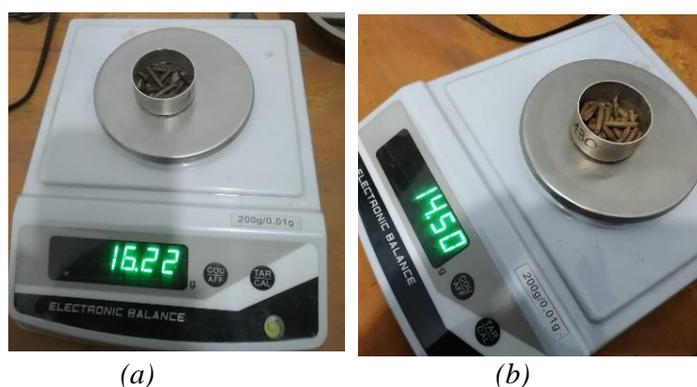


Figura 28. Peso de cilindros para cálculo de límite plástico.

c. Análisis granulométrico por tamizado

Normativa: NTP 339.128 o ASTM D422

Para empezar, se pesa el depósito o tara a ser utilizado .



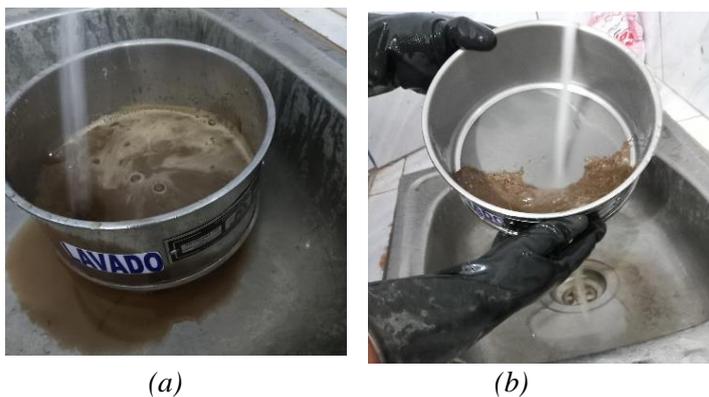
Figura 29. Peso de recipiente para Ensayo Granulométrico

Luego, pesamos 300 gramos de suelo como muestra representativa.



Figura 30. Peso de la muestra representativa para ensayo

Se procede a realizar el lavado de finos con abundante agua hasta que esta quede muy clara.



(a)

(b)

Figura 31. Lavado de finos

La muestra obtenida del lavado de finos es colocada en un depósito para luego llevarla al horno por un periodo de 24 horas.

Después de retirar la muestra se deja enfriar para luego pesarla y obtener el peso del suelo en estado seco. A continuación, se ordenan las mallas a utilizar, para el ensayo granulométrico son las siguientes:



Figura 32. Tamices para utilizar.

Se empieza con el tamizado vaciando la muestra, luego se procede a agitar los tamices para obtener la porción de muestra retenida en cada tamiz.



Figura 33. Tamizado de la muestra

Luego, se realiza el pesado de la muestra retenida en cada tamiz .



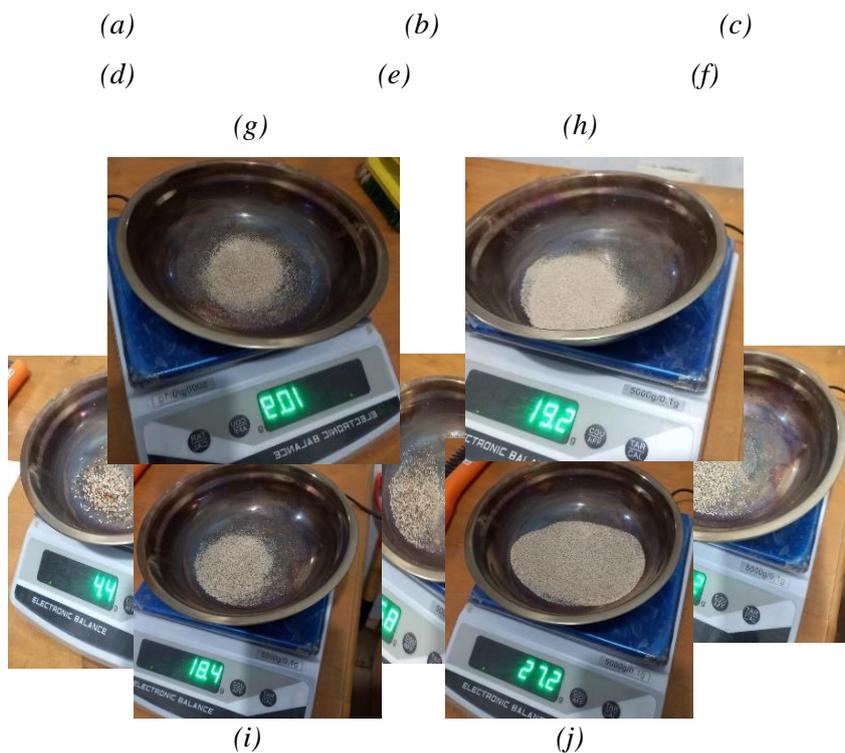


Figura 34. Pesos del suelo retenido en cada tamiz.

Luego siguiendo los parámetros de la ecuación N°4 indicada anteriormente se procesan los datos obtenidos.

d. Contenido de humedad del suelo

Normativa: NTP 339.127 o ASTM D2216

En primer lugar, se pesa el depósito y se obtiene así el peso de la tara.



Figura 35. Peso de la tara para ensayo de humedad.

Luego, se pesa la muestra en su estado natural obteniéndose así el peso de la muestra húmeda más tara



(a)

(b)

Figura 36. Peso de la muestra en su estado natural

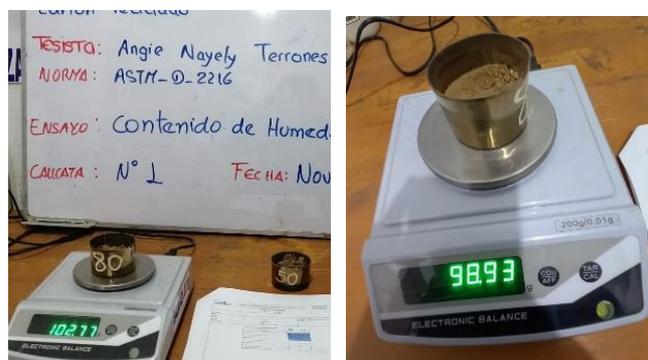
Se procede a colocar la muestra en el horno a 110°C por un periodo de 24 horas.



Figura 37. Traslado de la muestra al horno

Pasadas las 24 horas la muestra es retirada del horno y se deja enfriar. Se pesa la muestra retirada del horno obteniéndose así el peso de la muestra seca.

Finalmente, se realizan los cálculos correspondientes con la ecuación N°5 para encontrar el contenido de humedad del suelo expresado en porcentaje.



(a)

(b)

Figura 38. Peso de la muestra seca en el horno

Fabricación de unidades de tierra reforzada

Se calcularon los porcentajes de fibras de celulosa de cartón reciclado con los que se mezclará el suelo. Estos porcentajes se calcularon con respecto al peso de la muestra de tierra, para ello se realizaron adobes de prueba con la finalidad de determinar su peso aproximado.

Adobes de prueba

Se mezcló el material con agua para amasarlo y se dejó reposar por un día. Posteriormente se colocó la mezcla de barro en el molde de adobe, el cual fue previamente humedecido para que la mezcla no se adhiera con el molde y su retiro se realice de manera adecuada.



Figura 39. Fabricación de adobes de prueba

Se retiró el molde y se dejó secar a la intemperie por un periodo de dos semanas para posteriormente realizar su pesado y encontrar así las cantidades de adición que se utilizarán.

Dosificación

Tomando como referencia el peso aproximado de la unidad de tierra reforzada de prueba, se realizó el cálculo para las 3 dosificaciones de celulosa según los porcentajes con respecto a su peso, además, se calculó también la cantidad de agujas de pino a incorporar.

Procedimiento de elaboración de unidades

Una vez definidas las cantidades de incorporación para cada dosificación (2.5%, 5% y 7.5%) siendo calculadas en kilogramos se procedió a la separación del material y posteriormente a la elaboración de las unidades de adobes.

- Se preparó la mezcla de suelo y se dejó reposar por un periodo de 24 horas, posteriormente se procedió a la elaboración de las unidades de adobe con cada dosificación, para ello, se realizaron tres grupos de matriz de tierra.



Figura 40. Preparación de la mezcla

- Previamente a la realización de las unidades se preparó el terreno donde se dejarán reposar los adobes.



Figura 41. Preparación del terreno

- Posteriormente, se realizó la combinación de la mezcla de barro con los dos componentes adicionales según las cantidades previstas.



(a)



(b)

Figura 42. Adición de la celulosa de cartón. (a) Adición de las acículas de pináceas. (b)

- A continuación, se colocó la mezcla en el molde realizando presión para que no queden espacios vacíos, luego se retiraron las unidades y se dejarán secar por un periodo de 28 días. Este procedimiento es el que se seguirá para la fabricación de cada una de las muestras según las dimensiones establecidas en la normativa.



Figura 43. Almacenamiento de las unidades de adobe.

Ensayos realizados a las unidades de tierra reforzada

Ensayo de resistencia a la compresión en unidades

Para la ejecución de este ensayo se utilizaron unidades de tierra reforzada con dimensiones aproximadas de 10x10x10 cm como indica la norma E.080.

Procedimiento

Se identificó cada una de las muestras de manera correspondiente a la dosificación de fibras de celulosa de cartón reciclado empleada para cada grupo.

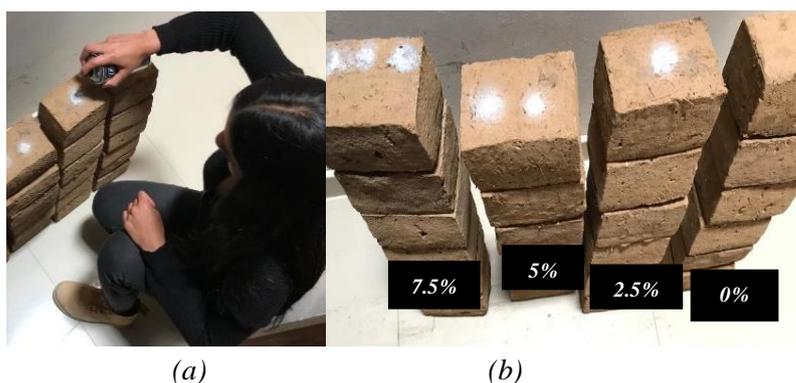


Figura 44. Identificación de las muestras para ensayo de compresión.

Se registró las medidas del área de contacto: el largo y ancho, de cada muestra a ensayar

La normativa E.080 indica que los resultados del ensayo de resistencia a la compresión deben cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras de seis muestras ensayadas supere a la resistencia última de 10.2 kgf/cm².

Se procedió a ensayar las unidades de tierra reforzada a los 28 días de secado, considerando que adicionalmente a las muestras con las 3 dosificaciones planteadas, se ensayará también unidades de adobe convencional con el fin de comparar los resultados.

Para llevar a cabo el ensayo se aplica una carga de manera perpendicular al área de contacto de cada una de las unidades y se registra la carga máxima aplicada hasta llegar a la rotura, posteriormente estos datos serán procesados con la ecuación N°8 para la determinación del f'_{b} del adobe.

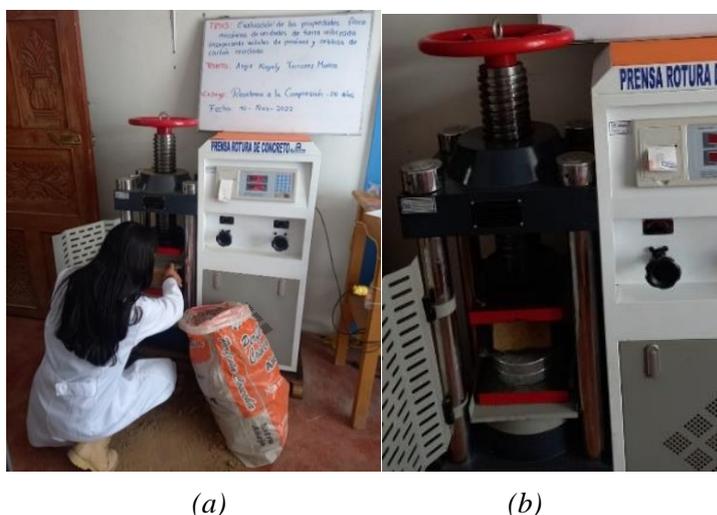


Figura 45. Colocación de las muestras en la máquina compresora.

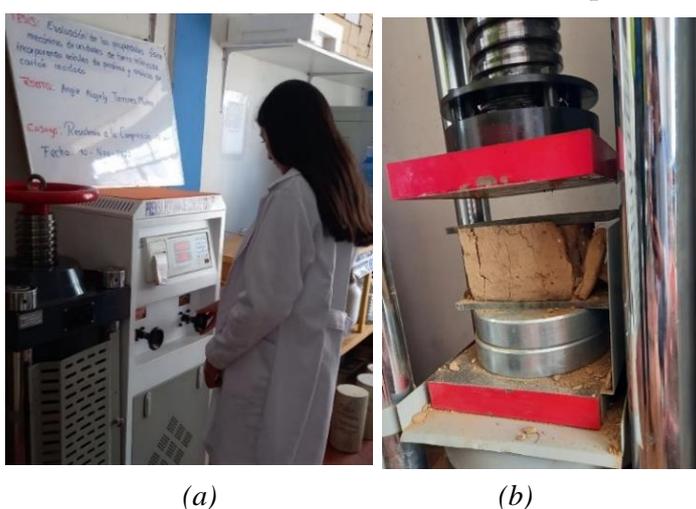


Figura 46. Ensayo de resistencia a la compresión 28 días.



Figura 47. Muestras tras ensayo de compresión.

Ensayo de resistencia a la tracción en unidades

Para este ensayo se elaboraron muestras cilíndricas de 6''x12'' de diámetro y altura respectivamente, las muestras fueron ensayadas a los 28 días de secado.

Se fabricaron seis unidades para cada dosificación y adicionalmente seis muestras con una mezcla convencional.



Figura 48. Muestras para ensayo de tracción

Las muestras cilíndricas fueron sometidas a tracción, tal y como se muestra en la imagen, aplicándose una fuerza axial.

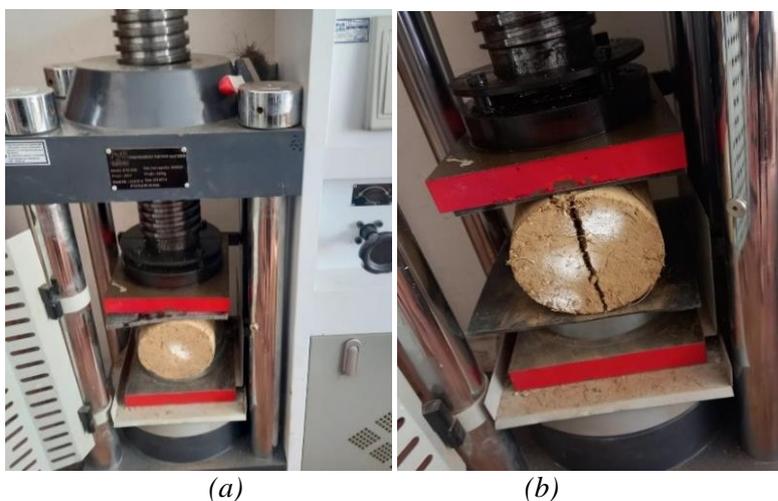


Figura 49. Ensayo de las muestras de tierra a tracción.

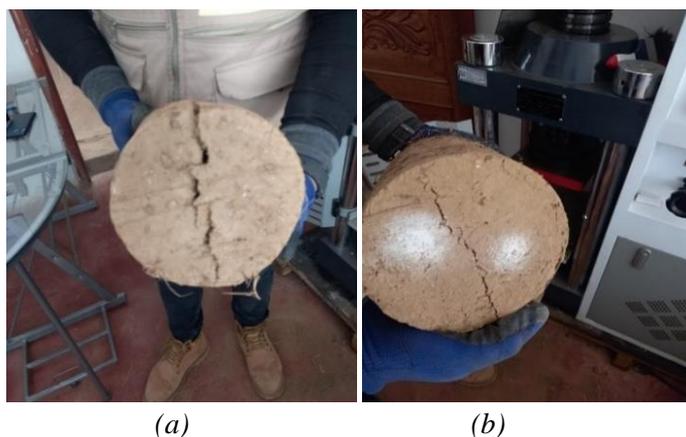


Figura 50. Falla característica de las unidades tras ensayo de tracción.

Ensayo de succión

Se utilizó una bandeja para contener el agua, además, se contó con unos soportes para la colocación de las unidades, con el fin de facilitar la medición de la porción de adobe que ha sido sumergido en el agua.

En primer lugar, se mide el largo y el ancho de las unidades a ensayar, luego se procede a obtener el peso seco en una balanza electrónica con una precisión de 0.1 g.

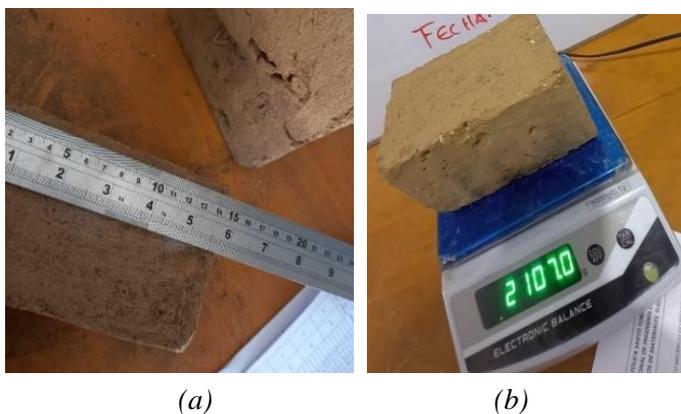


Figura 51. Medición de unidades. (a) Determinación del peso seco. (b)

Posteriormente, la bandeja fue ubicada sobre de una superficie nivelada, colocamos los soportes y agregamos agua hasta un nivel de 3.18 mm sobre la base sumergida de cada unidad, en esta parte del ensayo es importante verificar que el nivel de agua permanezca constante durante un periodo de 1 min +/- 1 seg.



Figura 52. Muestras sometidas a ensayo de succión. (a) y (b)

Pasado el tiempo antes mencionado se retira la unidad del agua, se seca con un trapo y se vuelve a pesar el adobe dentro de los 2 minutos siguientes, este peso incluye el agua absorbida por el periodo de un minuto.

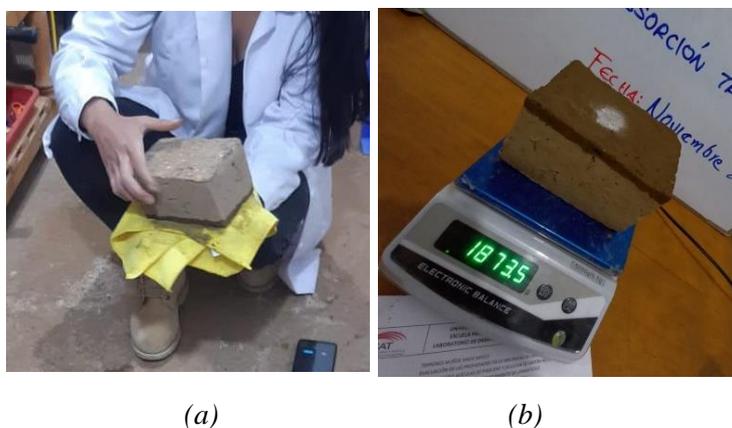


Figura 53. Secado de la muestra. (a) Pesado de la muestra sumergida en agua. (b)

Con todos los datos recolectados en este ensayo se procede al cálculo de la succión promedio de cada grupo experimental mediante la ecuación N°6.

Medición dimensional de las unidades de tierra reforzada

Debido a que no existe normativa para el ensayo de medición dimensional en unidades de tierra reforzada, se ha optado por realizar una adaptación de este ensayo a la normativa correspondiente a unidades de albañilería de tierra cocida NTP 339.613. Para llevar a cabo este ensayo se hizo uso de una regla metálica, tomando las medidas de cada cara de la unidad en la parte central de esta. Los datos obtenidos serán posteriormente procesados haciendo uso de la ecuación N°7.



(a)

(b)

Figura 54. Medición de las aristas de las unidades de tierra reforzada. (a) y (b)

Ensayo de resistencia a la compresión del murete

Para este ensayo se elaboraron muestras con las siguientes dimensiones 8cm x 16cm x 8cm, esto para cumplir con el parámetro de la norma E.080 que nos dice que la altura debe ser aproximadamente tres veces la menor dimensión de la base.

Las pilas fueron fabricadas con 3 unidades de adobe unidas por mortero, tal y como se muestra en la figura 55, se elaboraron en total 6 pilas de unidades patrón y 6 pilas con unidades que contenían la incorporación de las adiciones en estudio, en este caso las unidades experimentales contenían el porcentaje óptimo de adición de fibras celulósicas (7.5%) y el porcentaje fijo de acículas de pináceas (1%) las pilas fueron ensayadas a los 28 días de secado al sol.



Figura 55. Colocación de pilas en la máquina compresora.



Figura 56. Rotura de pilas sometidas a compresión.

Ensayo de resistencia a la tracción indirecta o compresión diagonal del murete

Para realizar este ensayo se siguió con lo establecido en la norma NTP 339.621 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería.

Para ello, se fabricaron 6 muretes tanto con unidades patrón como muretes con unidades de tierra con adición del porcentaje óptimo de celulosa encontrado (7.5%) y el porcentaje fijo de acículas de pináceas que se viene trabajando desde el inicio (1%).

Los muretes se asentaron de tal manera que sus medidas se ajusten a las especificadas en la norma E.080 $65\text{cm} \times 65\text{cm} \times e_m$, además, se iba aplomando a medida que se asentaba cada hilera de adobes, esto con el fin de verificar que la verticalidad del muro sea la adecuada, adicionalmente a ello, también se realizó el alineado en cada hilera, las juntas de mortero variaban de 1.5 cm a 2 cm.



Figura 57. Fabricación de muretes.

Una vez finalizada la fase de elaboración los muros se dejaron secar al sol por un periodo de 28 días, para luego ser sometidos a compresión diagonal. En el ensayo se empleó una máquina de compresión con la capacidad de aplicar una carga de forma constante, sin interrupciones y sin generar impacto. Además, se emplearon dos escuadras de acero para permitir la transferencia de la carga desde la maquina hacia el murete.



Figura 58. Rotura de muretes sometidos a compresión diagonal

Resultados y discusión

Pruebas de selección y control del suelo

Análisis y Ensayos In Situ

a. Prueba de color

En la siguiente tabla se muestran los resultados tras la prueba de color realizada a las muestras de suelo seleccionadas.

Tabla 7. Resultados de la prueba de color.

Muestra de suelo	Colores claros: Suelo inorgánico	Colores oscuros: Suelo orgánico	Resultado
1	NO	SI	Apto
2	NO	SI	Apto

Se observa, que tanto la muestra de suelo 1 como la muestra de suelo 2 son aptas para la fabricación de unidades de tierra reforzada.

b. Prueba de granulometría (Prueba de la botella)

Tabla 8. Resultados de la prueba de granulometría.

Muestra de suelo	Arena	Limos y arcillas	Resultado
1	80%	20%	No apto
2	60%	40%	Apto

Se observa, que según la proporción de arenas limos y arcillas la muestra de suelo 2 es apta para la fabricación de unidades de tierra reforzada, por el contrario, la muestra de suelo 1 no es apta según esta prueba.

c. Prueba de cinta de barro

Tabla 9. Resultados de la prueba cinta de barro.

Muestra de suelo	Elongación de la cinta (cm)	Rango (cm)	Clasificación
1	10	≤ 10	Poco contenido de arcilla
2	22	20 - 25	Suelo muy arcilloso

Se observa, que la muestra de suelo 2 tiene un contenido de arcilla adecuado para la fabricación de unidades de tierra reforzada.

d. Prueba “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca”

Tabla 10. Resultados de la prueba Resistencia seca.

Muestra de suelo	N° de bolitas rotas o agrietadas	Resultado
1	1	No apto
2	0	Apto

Se observa, que para la muestra de suelo 1 una de las cuatro bolitas ensayadas se rompe o agrieta, por ende, es un suelo no adecuado por su poco contenido de arcilla, por el contrario, la muestra de suelo 2 tiene un buen comportamiento en esta prueba debido a que, ninguna de las cuatro bolitas ensayadas se rompió o agrietó.

Análisis y Ensayos de laboratorio

a. Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

Tabla 11. Resultados de ensayos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico		
N° de tarro	45	15	5	2	130	Promedio
N° de golpes	15	25	35			
Tarro + suelo húmedo	61.7	56.71	59.2	16.4	16.22	16.31
Tarro + suelo seco	55.57	51.25	53.15	14.71	14.5	14.605
Agua	6.13	5.46	6.05	1.69	1.72	1.705
Peso del tarro	40.67	37.32	37.3	7.59	7.49	7.54
Peso del suelo seco	14.9	13.93	15.85	7.12	7.01	7.065
Porcentaje de humedad	41.14	39.20	38.17	23.74	24.54	24.14

Los resultados de este ensayo nos muestran que, para 25 golpes la humedad de la muestra es de 39 %. En la tabla 12 se muestran los valores obtenidos para la consistencia física de la muestra, para el límite plástico se tiene un valor de 24%, y el resultado del Índice de Plasticidad es 15%. Siendo éste un factor determinante para la aceptación o elección del suelo.

Tabla 12. Consistencia física de la muestra

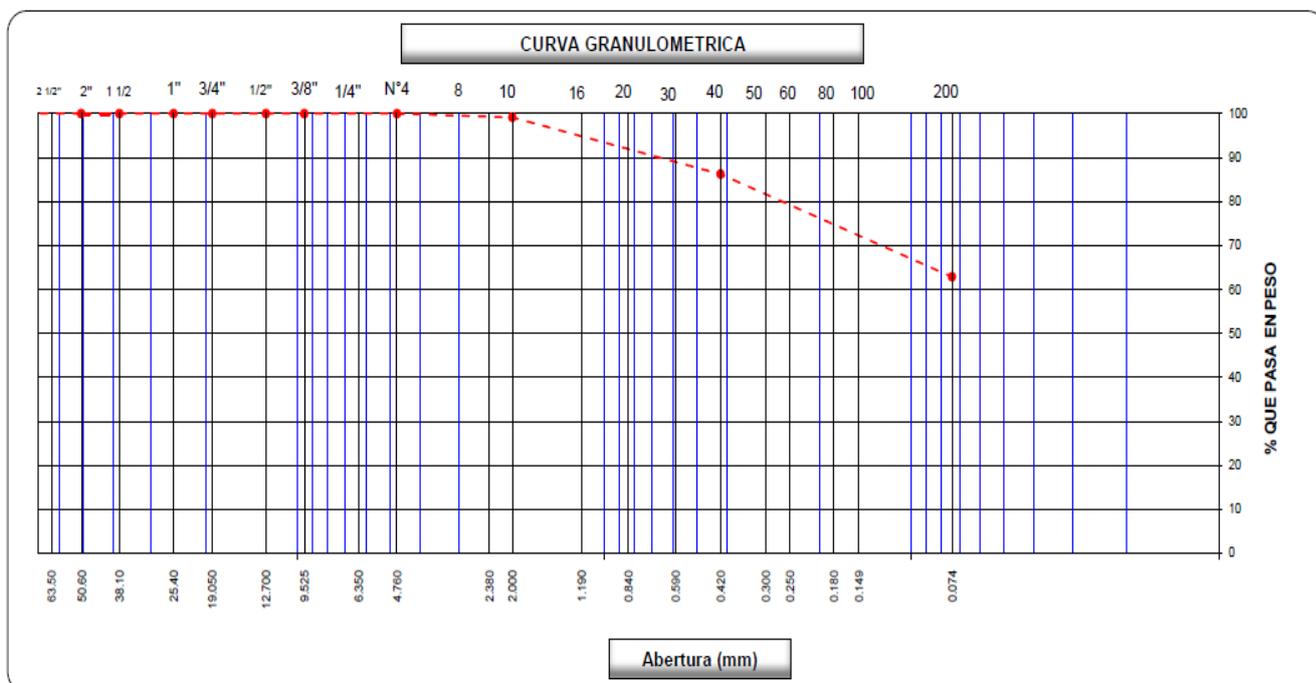
Consistencia física de la muestra	
Límite Líquido	39
Límite Plástico	24
Índice de Plasticidad	15

b. Análisis granulométrico

Tabla 13. Resultados de análisis granulométrico

N° Tamiz	Abertura(mm)	% Acumulados	
		Retenido	Que pasa
N°6	4.750	0.3	99.7
N°8	2.360	0.8	99.4
N°10	2.000	2.3	99.2
N°16	1.190	4.2	97.7
N°20	0.850	7.6	95.8
N°30	0.600	13.8	92.4
N°40	0.420	22.8	86.2
N°50	0.300	26.5	77.2
N°60	0.250	32.9	73.5
N°80	0.180	35.1	67.1
N°100	0.150	37.1	64.9
N°200	0.074	0.0	62.9
Fondo	-	100.0	0.0

Tabla 14. Distribución granulométrica.



Con este ensayo se logró obtener la composición granulométrica del suelo con el fin de conocer la gradación de este, observándose la distribución granulométrica concluimos que efectivamente se trata de un suelo con una importante presencia de arcillas y limos.

Adicionalmente, se observa la ausencia de partículas con tamaños mayores a 0.25, es decir, arenas gruesas, y se evidencia que más del 80% de las partículas del suelo tienen un tamaño de 0.4 mm a 0.1 mm.

c. Contenido de humedad

Tabla 15. Resultados del contenido de humedad del suelo.

Descripción	Recipiente N°80	Recipiente N°50
Peso de la tara (gr)	49.46	48.13
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	102.76	107.71
Peso de la tara + muestra seca (gr)	98.93	104.01
Peso del agua contenida (gr)	3.83	3.7
Peso de la muestra seca (gr)	49.47	55.88
Contenido de humedad (%)	7.74	6.62
Contenido de humedad promedio (%)	7.18	

Es importante tener en cuenta la humedad del suelo a utilizar en la elaboración de las muestras, ya que, de ella depende la cantidad de agua que se va a incorporar en la mezcla, además, se debe tener en cuenta que el porcentaje máximo que indica la norma E.080 es del 20% .

d. Método para la Clasificación Unificada de Suelos SUCS - NTP 339.134 o ASTM D2487

Tabla 16. Clasificación del suelo

<i>Ensayo de Límite de Atterberg</i>	
Límite líquido (LL)	39.31 (%)
Límite Plástico (LP)	24.14 (%)
Índice Plástico (IP)	15.17 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	CL
Descripción del suelo	
<i>Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad</i>	
Clasificación (AASHTO)	A-6 (7)
Descripción	
BUENO	

Finalmente, el suelo es clasificado por el método SUCS como un CL, este suelo será empleado para la elaboración de todas las unidades de este estudio.

Ensayos realizados a las unidades de tierra reforzada

Ensayo de resistencia a la compresión

Denominación de las muestras:

- M0-C0-A0: Indica unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas.
- M1-C2.5-A1: Indica unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas.
- M2-C5-A1: Indica unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas
- M3-C7.5-A1: Indica unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas.

Tabla 17. Resultados de resistencia a la compresión en muestras de 10 cm de arista con 0% de celulosa de cartón reciclado + 0% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F'b (kg/cm ²)
01	M0-C0-A0	84.63	579.22	6.84
02	M0-C0-A0	81.88	602.31	7.36
03	M0-C0-A0	82.72	612.65	7.41
04	M0-C0-A0	82.65	768.98	9.30
05	M0-C0-A0	82.72	758.58	9.17
06	M0-C0-A0	86.45	695.79	8.05
Promedio				8.48

Tabla 18. Resultados de resistencia a la compresión en muestras de 10 cm de arista con 2.5% de celulosa de cartón reciclado + 1% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F'b (kg/cm ²)
01	M1-C2.5-A1	81.7	853.84	10.45
02	M1-C2.5-A1	85.44	851.19	9.96
03	M1-C2.5-A1	82.77	715.84	8.65
04	M1-C2.5-A1	80.75	770.23	9.54
05	M1-C2.5-A1	84.63	885.79	10.47
06	M1-C2.5-A1	87.4	881.71	10.09
Promedio				10.24

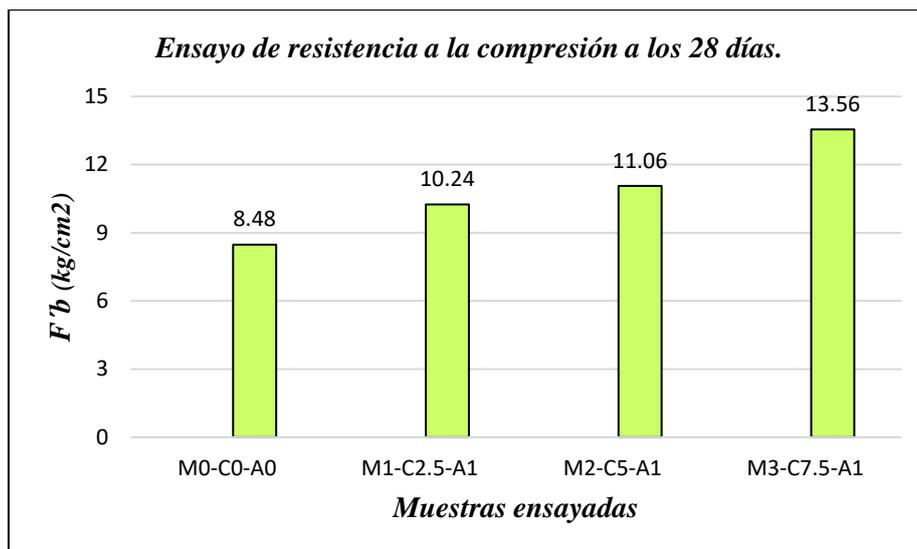
Tabla 19. Resultados de resistencia a la compresión en muestras de 10 cm de arista con 5% de celulosa de cartón reciclado + 1% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F'b (kg/cm ²)
01	M2-C5-A1	83.72	907.55	10.84
02	M2-C5-A1	85.54	782.46	9.15
03	M2-C5-A2	79.05	809.65	10.24
04	M2-C5-A2	92.16	706.32	7.66
05	M2-C5-A3	85.5	1052.35	12.31
06	M2-C5-A3	85.54	926.58	10.83
Promedio				11.06

Tabla 20. Resultados de resistencia a la compresión en muestras de 10 cm de arista con 7.5% de celulosa de cartón reciclado + 1% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F'b (kg/cm ²)
01	M3-C7.5-A1	81.78	923.18	11.29
02	M3-C7.5-A1	92.15	934.74	10.14
03	M3-C7.5-A1	78.3	1019.71	13.02
04	M3-C7.5-A1	83.6	1195.11	14.30
05	M3-C7.5-A1	82.65	1052.35	12.73
06	M3-C7.5-A1	75.53	1070.7	14.18
Promedio				13.56

Las tablas presentadas muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión realizado en unidades de 10 cm de arista tal como especifica la norma E.080, el valor mínimo para la resistencia última es de 10.2 kgf/cm^2 , las unidades ensayadas tienen en su composición la adición de dos materiales, acículas de pináceas al 1% como porcentaje fijo y celulosa de cartón reciclado al 2.5%, 5% y 7.5% con respecto a su peso, para calcular la resistencia promedio de cada grupo experimental se tomó el promedio de las 4 mejores muestras de 6 muestras ensayadas, los valores obtenidos para cada grupo experimental se muestran en el siguiente gráfico de barras.



Se observa, que la resistencia promedio de las muestras patrón con 0% de adición de ambos materiales es 8.48 kg/cm², un valor que no cumple con la resistencia última mínima especificada en la norma E.080, además, se observa que para una adición de 2.5% de fibras de celulosa de cartón reciclado la resistencia aumenta considerablemente llegando a un valor de 10.24 kg/cm² cumpliendo con la resistencia última especificada por la norma, por consiguiente, mientras se va aumentando el porcentaje de adición de celulosa de cartón reciclado la resistencia última promedio también va aumentando llegando a un valor de 13.56 kg/cm² para la mayor adición de 7.5% con respecto al peso.

Ensayo de resistencia a la tracción

Denominación de las muestras:

- P0-C0-A0: Indica unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas.
- P1-C2.5-A1: Indica unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas.
- P2-C5-A1: Indica unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas
- P3-C7.5-A1: Indica unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas.

Tabla 21. Resultados de resistencia a la tracción en probetas cilíndricas con 0% de celulosa de cartón reciclado + 0% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F'b (kg/cm ²)
01	P0-C0-A0	674.19	623.05	0.92
02	P0-C0-A0	658.20	606.73	0.92
03	P0-C0-A0	642.39	717.88	1.12
04	P0-C0-A0	685.76	976.89	1.42
05	P0-C0-A0	667.32	844.32	1.27
06	P0-C0-A0	671.94	652.62	0.97
Promedio				1.19

Tabla 22. Resultados de resistencia a la tracción en probetas cilíndricas con 2.5% de celulosa de cartón reciclado + 1% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F'b (kg/cm ²)
01	P1-C2.5-A1	667.13	931	1.40
02	P1-C2.5-A1	665.01	897.35	1.35
03	P1-C2.5-A1	649.08	813.73	1.25
04	P1-C2.5-A1	662.78	836.17	1.26
05	P1-C2.5-A1	678.84	949.36	1.40
06	P1-C2.5-A1	653.66	806.6	1.23
Promedio				1.35

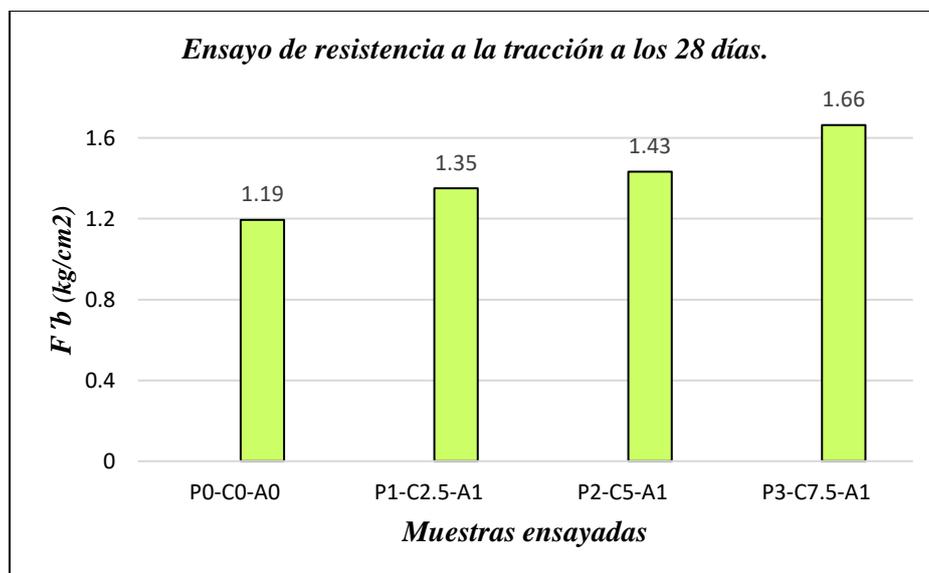
Tabla 23. Resultados de resistencia a la tracción en probetas cilíndricas con 5% de celulosa de cartón reciclado + 1% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F'b (kg/cm ²)
01	P2-C5-A1	667.32	971.79	1.46
02	P2-C5-A1	658.20	914.69	1.39
03	P2-C5-A2	674.19	900.41	1.34
04	P2-C5-A2	681.08	886.13	1.30
05	P2-C5-A3	646.92	942.22	1.46
06	P2-C5-A3	640.16	912.65	1.43
Promedio				1.43

Tabla 24. Resultados de resistencia a la tracción en probetas cilíndricas con 7.5% de celulosa de cartón reciclado + 1% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F'b (kg/cm ²)
01	P3-C7.5-A1	665.08	1119.65	1.68
02	P3-C7.5-A1	642.39	1017.68	1.58
03	P3-C7.5-A1	655.90	1101.29	1.68
04	P3-C7.5-A1	669.54	981.99	1.47
05	P3-C7.5-A1	653.70	916.72	1.40
06	P3-C7.5-A1	653.66	1114.55	1.71
Promedio				1.66

Las tablas presentadas muestran los resultados del ensayo de resistencia a la tracción realizado en unidades cilíndricas de 6'' x 12'' de diámetro y altura respectivamente tal como especifica la norma E.080, el valor mínimo para la resistencia última es de 0.81 kgf/cm^2 , las unidades ensayadas tienen en su composición la adición de dos materiales, acículas de pináceas al 1% como porcentaje fijo y celulosa de cartón reciclado al 2.5%, 5% y 7.5% con respecto a su peso, para calcular la resistencia promedio de cada grupo experimental se tomó el promedio de las 4 mejores muestras de 6 muestras ensayadas tal y como se muestran en el siguiente gráfico de barras.



Se observa, que la resistencia promedio de las muestras patrón con 0% de adición de ambos materiales es 1.19 kg/cm^2 , un valor que cumple con la resistencia última mínima especificada en la norma E.080, además, se observa que para una adición de 2.5% de fibras de celulosa de

cartón reciclado la resistencia aumenta llegando a un valor de 1.35 kg/cm², por consiguiente, mientras se va aumentando el porcentaje de adición de celulosa de cartón reciclado la resistencia última promedio también va aumentando llegando a un valor de 1.66 kg/cm² para la mayor adición de 7.5% con respecto al peso.

Ensayo de succión

Denominación de las muestras:

- S0-C0-A0: Indica unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas.
- S1-C2.5-A1: Indica unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas.
- S2-C5-A1: Indica unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas
- S3-C7.5-A1: Indica unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas.

Tabla 25. Resultados de ensayo de succión en muestras de 10x10x15 cm con 0% de celulosa de cartón reciclado + 0% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área de contacto (cm²)	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Succión (g/cm²)
01	S0-C0-A0	13299.00	2047.3	2054.20	0.10
02	S0-C0-A0	13064.00	2107	2112.10	0.08
03	S0-C0-A0	13818.00	2043.2	2045.70	0.04
04	S0-C0-A0	13870.00	2008.1	2020.60	0.18
05	S0-C0-A0	13536.00	2031.7	2039.10	0.11
06	S0-C0-A0	13775.00	1978.8	1985.50	0.10
Succión promedio					0.10

Tabla 26. Resultados de ensayo de succión en muestras de 10x10x15 cm con 2.5% de celulosa de cartón reciclado + 1% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área de contacto (cm ²)	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Succión (g/cm ²)
01	S1-C2.5-A1	13490.00	1862.4	1873.50	0.16
02	S1-C2.5-A1	13824.00	1933.4	1944.80	0.16
03	S1-C2.5-A1	13485.00	1880.2	1895.60	0.23
04	S1-C2.5-A1	13680.00	1916.9	1931.00	0.21
05	S1-C2.5-A1	13113.00	1904.8	1917.00	0.19
06	S1-C2.5-A1	13395.00	1919.9	1930.60	0.16
Succión promedio					0.18

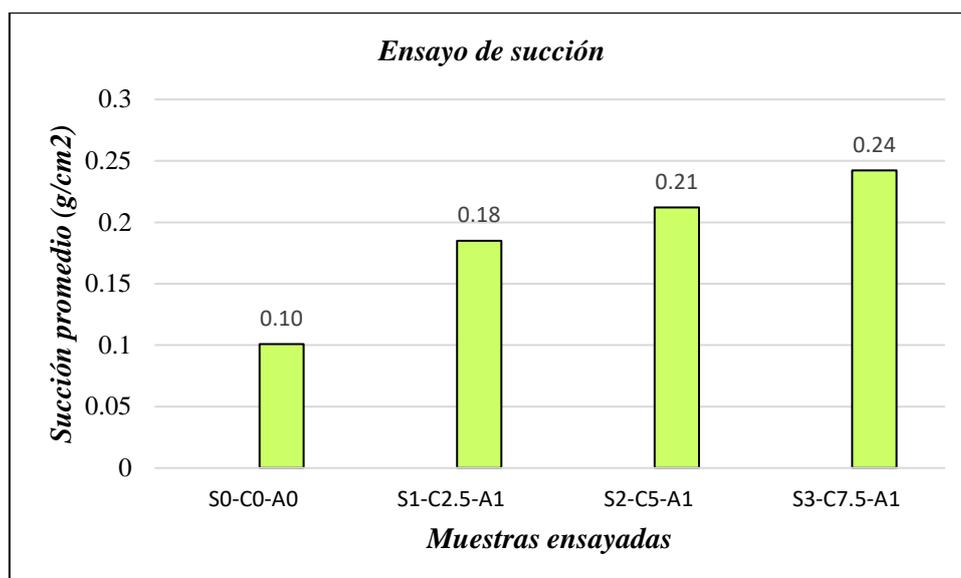
Tabla 27. Resultados de ensayo de succión en muestras de 10x10x15 cm con 5% de celulosa de cartón reciclado + 1% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área de contacto (cm ²)	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Succión (g/cm ²)
01	S2-C5-A1	13064.00	1914.7	1923.30	0.13
02	S2-C5-A1	13160.00	1814.6	1831.80	0.26
03	S2-C5-A1	13485.00	1864.2	1877.60	0.20
04	S2-C5-A1	13728.00	1804.7	1817.40	0.19
05	S2-C5-A1	13680.00	1854	1871.30	0.25
06	S2-C5-A1	13348.00	1829.2	1845.40	0.24
Succión promedio					0.21

Tabla 28. Resultados de ensayo de succión en muestras de 10x10x15 cm con 7.5% de celulosa de cartón reciclado + 1% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área de contacto (cm ²)	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Succión (g/cm ²)
01	S3-C7.5-A1	13254.00	1801	1819.90	0.29
02	S3-C7.5-A1	13680.00	1753.9	1775.90	0.32
03	S3-C7.5-A1	13050.00	1774.8	1777.80	0.05
04	S3-C7.5-A1	13300.00	1785.9	1805.70	0.30
05	S3-C7.5-A1	13205.00	1787.8	1799.90	0.18
06	S3-C7.5-A1	12558.00	1791.6	1811.70	0.32
Succión promedio					0.24

Para determinar los resultados de la cantidad de agua succionada por las unidades de tierra reforzada, se verificó que el nivel de agua se mantenga constante durante el ensayo y, además, se controló el tiempo de manera cuidadosa para que no sobre pase los límites que indica la norma.



Se observa, que la succión promedio para las muestras patrón con 0% de adición de ambos materiales es 0.10 g/cm², además, mientras se va aumentando el porcentaje de adición de celulosa de cartón reciclado la succión promedio también va aumentando, para un 2.5% de adición de fibras de celulosa la succión promedio de las muestras es de 0.18 g/cm², llegando a un valor de 0.24 g/cm² para la mayor adición de 7.5% con respecto al peso.

Medición dimensional de las unidades de tierra reforzada

Denominación de las muestras:

- M1: Indica unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas.
- M2: Indica unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas.
- M3: Indica unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas
- M4: Indica unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas.

Tabla 29. Resultados de medición dimensional en muestras de 10x10x15 cm con 0% de celulosa de cartón reciclado + 0% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra control: 0% de celulosa de cartón+0% de acículas de pináceas	91	93	143
02		89	92	142
03		88	94	147
04		87	95	146
05		88	94	144
06		91	95	145
PROMEDIO		89.00	93.83	144.50
VARIACIÓN (%)		-11.00%	-6.17%	-3.67%
C.V.		1.72%	1.14%	1.18%

Tabla 30. Resultados de medición dimensional en muestras de 10x10x15 cm con 2.5% de celulosa de cartón reciclado + 1% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra control: 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	86	95	142
02		89	96	144
03		89	93	145
04		85	95	144
05		91	93	141
06		92	95	141
PROMEDIO		88.67	94.50	142.83
VARIACIÓN (%)		-11.33%	-5.50%	-4.78%
C.V.		2.81%	1.18%	1.10%

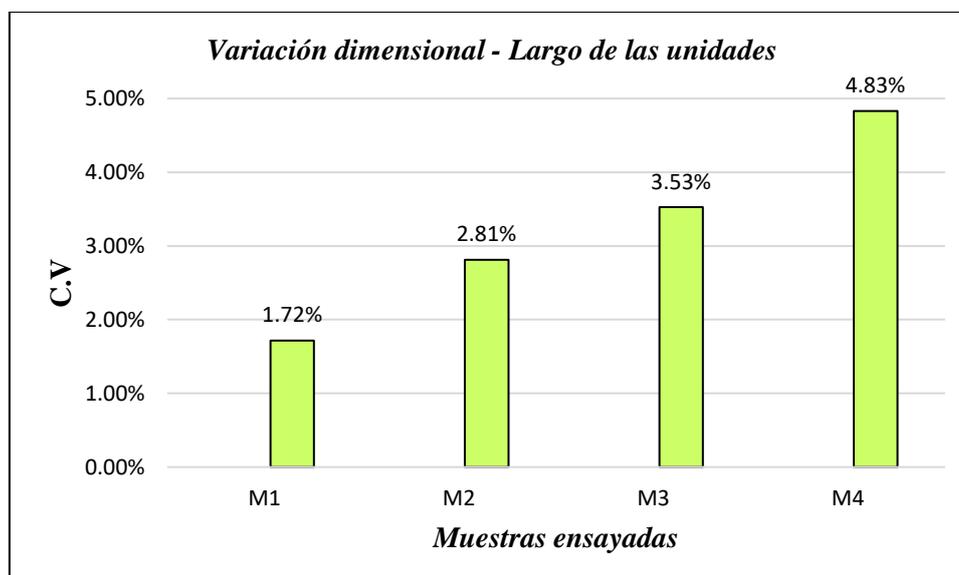
Tabla 31. Resultados de medición dimensional en muestras de 10x10x15 cm con 5% de celulosa de cartón reciclado + 1% de acículas de pináceas.

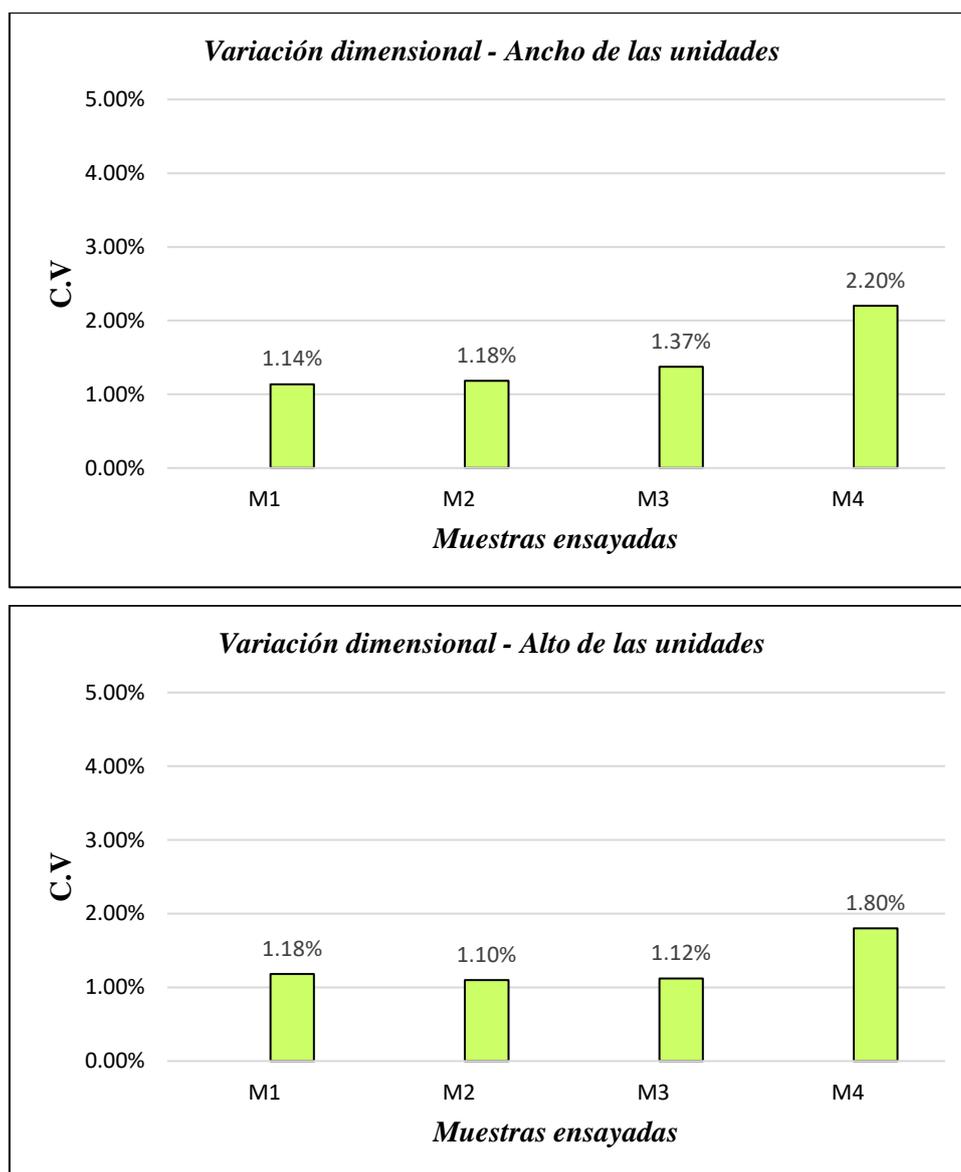
Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra control: 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	91	92	142
02		91	94	140
03		85	93	145
04		96	96	143
05		90	95	144
06		91	94	142
PROMEDIO		90.67	94.00	142.67
VARIACIÓN (%)		-9.33%	-6.00%	-4.89%
C.V.		3.53%	1.37%	1.12%

Tabla 32. Resultados de medición dimensional en muestras de 10x10x15 cm con 7.5% de celulosa de cartón reciclado + 1% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01		87	94	141
02	Muestra control: 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	97	95	144
03		87	90	145
04		88	95	140
05		87	95	139
06		83	91	138
PROMEDIO		88.17	93.33	141.17
VARIACIÓN (%)		-11.83%	-6.67%	-5.89%
C.V.		4.83%	2.20%	1.80%

En las tablas anteriores se muestran los resultados del ensayo de Variación Dimensional realizado en las unidades de tierra reforzada de 10x10x15 cm. A continuación, se presentan gráficos de barras con el fin de una mejor visualización de los resultados obtenidos para cada una de las dosificaciones ensayadas.





Ensayo del murete a la compresión

Denominación de las muestras:

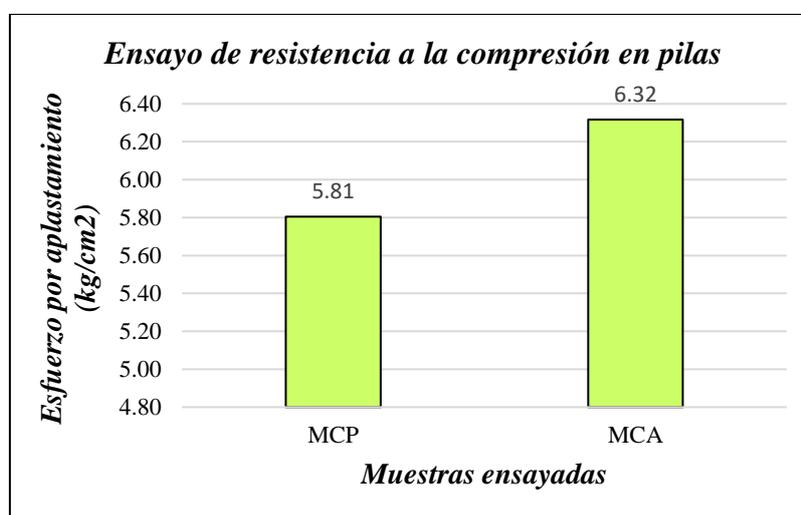
- MCP: Indica murete o pila de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas.
- MCA: Indica murete o pila de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas.

Tabla 33. Resultados de resistencia a la compresión en pilas de unidades con 0% de celulosa de cartón reciclado + 0% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F'm (kg/cm ²)	Fm (kg/cm ²)	Esfuerzo por aplastamiento
01	MCP	124.0	1373	11.08	4.43	5.54
02	MCP	126.4	1385	10.96	4.38	5.48
03	MCP	122.4	1390	11.35	4.54	5.68
04	MCP	120.1	1405	11.70	4.68	5.85
05	MCP	120.8	1400	11.59	4.64	5.80
06	MCP	119.9	1414	11.80	4.72	5.90
Promedio						5.81

Tabla 34. Resultados de resistencia a la compresión en pilas de unidades con 7.5% de celulosa de cartón reciclado + 1% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F'm (kg/cm ²)	Fm (kg/cm ²)	Esfuerzo por aplastamiento
01	MCA	121.6	1455	11.97	4.79	5.98
02	MCA	121.6	1460	12.01	4.80	6.00
03	MCA	117.7	1474	12.53	5.01	6.26
04	MCA	120.9	1485	12.28	4.91	6.14
05	MCA	122.4	1523	12.45	4.98	6.22
06	MCA	121.7	1615	13.27	5.31	6.64
Promedio						6.32



Se observa, que el esfuerzo por aplastamiento promedio de las pilas fabricadas con unidades patrón y con 0% de adición de ambos materiales es 5.81 kg/cm², además, se observa que las pilas con unidades que poseen adición de 7.5% de fibras de celulosa de cartón reciclado y 1% de acículas de pináceas muestran un esfuerzo por aplastamiento de 6.32 kg/cm², lo que representa un aumento en cuanto a esta propiedad.

Ensayo del murete la tracción indirecta o compresión diagonal

Denominación de las muestras:

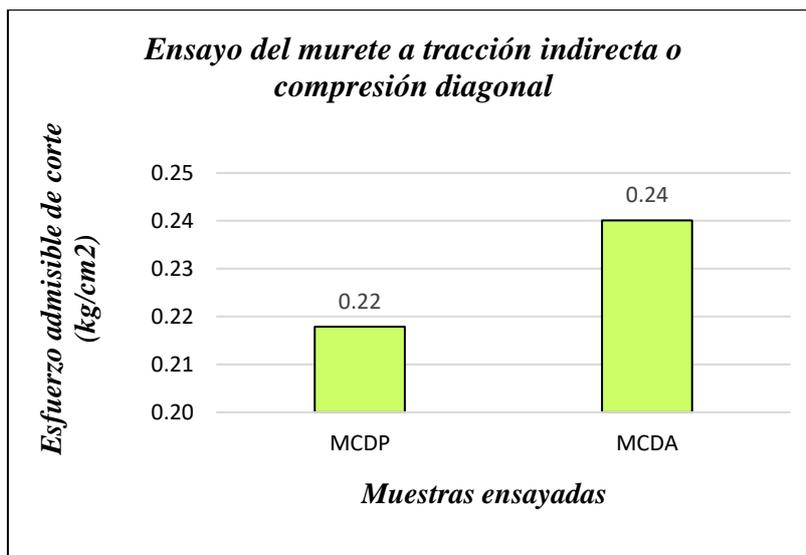
- MCDP: Indica murete de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas.
- MCDA: Indica murete de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas.

Tabla 35. Resultados de resistencia a la compresión diagonal en muretes de unidades con 0% de celulosa de cartón reciclado + 0% de acículas de pináceas

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia a compresión	Vm (kg/cm ²)
01	MCDP	728.4	765	0.53	0.21
02	MCDP	721.2	768	0.53	0.21
03	MCDP	726.0	769	0.53	0.21
04	MCDP	723.6	781	0.54	0.22
05	MCDP	734.4	831	0.57	0.23
06	MCDP	732.1	796	0.54	0.22
Promedio					0.22

Tabla 36. Resultados de resistencia a la compresión diagonal en muretes de unidades con 7.5% de celulosa de cartón reciclado + 1% de acículas de pináceas.

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia a compresión	Vm (kg/cm ²)
01	MCDA	725.9	822	0.57	0.23
02	MCDA	713.9	831	0.58	0.23
03	MCDA	722.2	883	0.61	0.24
04	MCDA	739.3	887	0.60	0.24
05	MCDA	743.0	872	0.59	0.23
06	MCDA	713.9	861	0.60	0.24
Promedio					0.24



En el gráfico se observa, que el esfuerzo por corte promedio de los muretes elaborados con unidades patrón y con 0% de adición de ambos materiales es 0.22 kg/cm², se observa también que los muretes con unidades que poseen adición de 7.5% de fibras de celulosa de cartón reciclado y 1% de acículas de pináceas muestran un esfuerzo por corte de 0.24 kg/cm², lo que indica un aumento respecto al esfuerzo admisible de corte.

Análisis económico

Para realizar el análisis comparativo de los costos de unidades de tierra con adición de acículas de pináceas y fibras de celulosa de cartón reciclado con respecto a unidades de tierra convencionales se elaboraron análisis de precios unitarios, dentro de los APU se consideró los costos de adquisición de materiales, así como también, los costos de la mano de obra, para los cálculos, se tomó como referencia adobes con dimensiones de 24cm x12cm x8cm, los resultados se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 37. Análisis de precios unitarios para una unidad de tierra convencional.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PARTIDA:	Unidad de tierra convencional					
RENDIMIENTO:	250	und/día	HORAS:	8		
Costo directo por:					und	0.60
DESCRIPCIÓN	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario S/.	Parcial S/.	Total S/.
MANO DE OBRA						0.58
Oficial	hh	1.00	0.032	18.00	0.58	
MATERIALES						0.00
Suelo arcilloso	m3		0.0013		0.00	
Agua	m3		0.0003		0.00	
Paja	kg		0.0250		0.00	
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						0.03
Herramientas Manuales	%MO		5.00	0.58	0.03	

Tabla 38. Análisis de precios unitarios para una unidad reforzada con acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PARTIDA:	Unidad de tierra reforzada con acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado					
RENDIMIENTO:	250	und/día	HORAS:	8		
Costo directo por:					und	0.70
DESCRIPCIÓN	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario S/.	Parcial S/.	Total S/.
MANO DE OBRA						0.58
Oficial	hh	1.00	0.032	18.00	0.58	
MATERIALES						0.09
Suelo arcilloso	m3		0.0013		0.00	
Agua	m3		0.0003		0.00	
Acículas de pino	kg		0.0250		0.00	
Fibras de celulosa	kg		0.1875	0.5	0.09	
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						0.03
Herramientas Manuales	%MO		5.00	0.58	0.03	

En las tablas se observa un aumento del costo por unidad de adobe del 15.5% (de 0.6 soles a 0.7 soles) cuando se incorpora en la matriz de suelo 1% de acículas de pináceas y 7.5% de celulosa de cartón que es el porcentaje óptimo de adición encontrado después de la aplicación de los diferentes ensayos.

Adicionalmente a ello, se elaboró también un análisis de precios unitarios de los gastos que se generarían en la construcción de 1 m² de muro convencional para comparar este resultado con los precios unitarios de 1m² de muro reforzado con las adiciones de este estudio.

Tabla 39. Análisis de precios unitarios para 1m2 de muro convencional.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
PARTIDA:	Muro convencional						
RENDIMIENTO:	6	m2/día	HORAS:	8			
					Costo directo unitario por:	m2/día	70.39
DESCRIPCIÓN	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Total S/.	
MANO DE OBRA							
Oficial	hh	1.00	1.3333	18.00	24.000		
Peón	hh	1.00	1.3333	15.00	20.000		
MATERIALES							
Unidad de tierra convencional	und		40.000	0.60	24.192	24.19	
EQUIPO Y HERRAMIENTAS							
Herramientas Manuales	%MO		5.00	44.00	2.20	2.20	

Tabla 40. Análisis de precios unitarios para 1m2 de muro reforzado con acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
PARTIDA:	Muro reforzado con acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado						
RENDIMIENTO:	6	m2/día	HORAS:	8			
					Costo directo unitario por:	m2/día	74.14
DESCRIPCIÓN	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Total S/.	
MANO DE OBRA							
Oficial	hh	1.00	1.3333	18.00	24.000		
Peón	hh	1.00	1.3333	15.00	20.000		
MATERIALES							
Unidad de tierra reforzada	m3		40.000	0.70	27.942	27.94	
EQUIPO Y HERRAMIENTAS							
Herramientas Manuales	%MO		5.00	44.00	2.20	2.20	

Los resultados del análisis de precios unitarios realizados para 1m2 de muro de adobe, muestran que el costo incrementa en un 5.3% al comparar el costo de un muro reforzado con respecto al costo por m2 de un muro de adobes de tierra convencionales.

Discusión de ensayos realizados a las unidades de tierra reforzada

Ensayo de resistencia a la compresión

En los resultados de este ensayo se observa que, mientras se va aumentando el porcentaje de adición de celulosa de cartón reciclado junto con la presencia de agujas de pino la resistencia última promedio también aumenta, para la mayor adición de 7.5% con respecto al peso de la unidad la resistencia a la compresión aumenta hasta un 60% (es decir, de 8.48kg/cm2 a 13.56 kg/cm2). Este incremento está orientado a que la presencia de celulosa en la matriz de tierra

favorece a la homogeneidad de la mezcla y a la reducción de porosidad del adobe, tal y como han indicado autores anteriores [10] quienes en su investigación encontraron que, para un porcentaje de adición del 10% de residuos de la industria papelera y PPR la resistencia a la compresión de la unidad aumenta un 25%, además, la presencia de acículas de pináceas es un factor determinante para el comportamiento final del adobe, incrementando su ductilidad debido a la flexibilidad de las fibras, tal y como ha sido demostrado por otros autores [8] quienes encontraron que la adición de las agujas de pino como fibra vegetal en el adobe mejora su resistencia hasta en un 24% en comparación con los especímenes que contenían paja. Fibras similares han sido estudiadas en otras investigaciones [36] los resultados obtenidos en este estudio muestran que la adición de fibras de bambú aumenta la resistencia a la compresión de bloques de tierra en un 43.6% para un contenido óptimo de fibras de 0.5% con respecto al peso. Además [37] encontraron que al agregar fibras de polietileno reciclado (R-PE) se genera un aumento de la resistencia a la compresión del 33% en comparación con unidades no reforzadas. Igualmente [38] en su estudio evaluaron ladrillos de tierra adicionando residuos de aserrín de madera reciclada, sus hallazgos muestran un aumento de la resistencia a la compresión del 25%. Del mismo modo [39] alcanzaron a mejorar la resistencia en un 30% al agregar pastos marinos en una proporción de 1.5% a 3% dentro de la matriz de suelo en comparación con especímenes no reforzados.

Ensayo de resistencia a la tracción

Los resultados del ensayo de resistencia a la tracción muestran un aumento de hasta un 40% (de 1.19 kg/cm² a 1.66 kg/cm²) esto se atribuye a la presencia de ambas fibras, ya que, crean una matriz de suelo más resistente con una mayor capacidad de deformación antes de llegar a la rotura, mostrando un comportamiento más elástico. En investigaciones semejantes [40] se constata que la incorporación de fibras, en este caso, fibras de sisal en bloques de tierra logran mejorar su resistencia hasta en un 150%. Además, [41] en su estudio lograron probar que a mayor contenido de fibra de palma se logró alcanzar mayor módulo de ruptura aumentando la resistencia a la tracción de la unidad hasta un 104% con 1% de adición en relación con las muestras control. [42] evaluaron adobes reforzados con fibras de pseudotallo de plátano en proporciones de 0.5% a 0.75% registrando una mejora del 53% en cuanto a su resistencia a la tracción. Así mismo, cabe mencionar también que otros autores [11] evaluaron otras propiedades mecánicas como la resistencia a la flexión de las unidades con incorporación de pulpa de cartón de desecho, que es la variable en estudio, incrementando en un 56% lo que

representa una mejora significativa del rendimiento en comparación con matrices reforzadas con fibras de pulpa de bambú.

Ensayo de succión

Los resultados de este ensayo indican que la adición de agujas de pino junto con las fibras de celulosa de cartón aumenta la capacidad de retención de agua de las unidades de tierra, esto debido a su naturaleza hidrofílica, llegando a incrementar este valor hasta un 140% con respecto a las unidades patrón sin adición. En investigaciones anteriores se demostró que, al aumentar el contenido de fibra celulósica disminuye la densidad aparente e incrementa la absorción de agua, así como el volumen de vacíos, esto evidencia que el espacio de transición fibra- matriz se vuelve cada vez más significativa [11].

Esta observación coincide con investigaciones previas sobre bloques de tierra con otro tipo de fibras naturales [36] quienes en su estudio incorporaron fibras de bambú en bloques de tierra, demostrando un aumento en la absorción de agua cuando el contenido de fibra era mayor, hasta un valor de 27.6% para la adición del 1%, atribuyendo esto al carácter poroso e hidrofílico del material de adición. Así mismo [40] en su investigación comprobaron que las fibras de sisal también muestran un comportamiento parecido, ya que, al añadirlas a los bloques la absorción capilar queda incrementada en un 81%. Igualmente, [43] detectaron que al introducir fibras de bagazo de caña en bloques de tierra se produce un aumento de la absorción de agua debido a que las fibras se distribuyen de manera aleatoria dentro de la mezcla ocasionando mayor variabilidad en la capilaridad. Así mismo, la paja de avena [44] y otras fibras [45] constatan una elevada capacidad de retención de agua, debido a su ligereza y características hidrofílicas elevadas.

Ensayo del murete a la compresión

Los resultados obtenidos en este ensayo demuestran que el esfuerzo último por aplastamiento en pilas elaboradas con adobes reforzados con acículas de pinos y celulosa de cartón es mayor en comparación con las pilas hechas con adobes convencionales, se logró incrementar esta propiedad de 5.81 kg/cm² a 6.32 kg/cm² para la dosificación óptima encontrada, representando un aumento del 8.8%. En otras investigaciones también se evaluó esta propiedad de los adobes [33] en este estudio se hizo una comparación de las propiedades de unidades patrón con respecto a unidades estabilizadas con cenizas de carbón y cal logrando aumentar el esfuerzo hasta en un 19.4% para un 12% de adición, otros autores [47] estudiaron el comportamiento de las pilas

con adición de fibras de lana de oveja, en esta investigación se logró un aumento del 16%, estos resultados se atribuyen a que la presencia de fibras en las unidades de tierra mejoran su estabilidad y su resistencia frente a la aplicación de cargas.

Ensayo del murete a compresión diagonal o tracción indirecta

Tras realizar los ensayos de compresión diagonal los resultados muestran que la resistencia a corte de un muro reforzado con la incorporación de acículas de pináceas y el porcentaje óptimo de celulosa de cartón reciclado es mayor con respecto a un muro con adobe convencional, esta propiedad fue aumentada en un 9.1%, el conocimiento de esta propiedad es crucial, ya que, nos brinda información sobre la capacidad del muro para resistir fuerzas laterales, similares resultados fueron encontrados por [46] quienes estudiaron otro tipo de fibras naturales, en este caso, las fibras de queñoa, manifestando un aumento de la resistencia a corte del 2% para un porcentaje de adición de 3.20%. En otras investigaciones [47] se estudió también la resistencia a corte de muros elaborados con fibras de lana de oveja, en sus resultados encontraron una mejora del 25% con respecto a los muros patrón, demostrando así, que la adición de fibras naturales en unidades de adobe mejora su resistencia a corte permitiendo obtener muros de mampostería con mejores comportamientos mecánicos.

Conclusiones

- A partir de los análisis de laboratorio realizados en la muestra representativa de suelo se encontró que, el suelo manifiesta tener una plasticidad moderada, al incorporar fibras celulósicas y acículas de pináceas se logró modificar esta propiedad, ya que, estos elementos aportan mayor elasticidad a las matrices de suelo permitiendo que tengan un mejor comportamiento al someterse a cargas.
- Se logró describir el proceso de selección para la adquisición de las agujas de pino o acículas de pináceas, así como también, los criterios a tener en cuenta al momento de seleccionar el cartón para la extracción de las fibras celulósicas, esto, es esencial para garantizar la calidad y eficiencia del comportamiento de las fibras en la mezcla de suelo.
- Se evaluó las propiedades mecánicas de los especímenes tanto de las unidades patrón como de las unidades con adición de 1% de agujas pino y 2.5%, 5% y 7.5% de celulosa de cartón, en todas las pruebas mecánicas se observó un incremento en cuanto a su resistencia conforme el porcentaje de adición de celulosa era mayor, concluyendo finalmente que, el porcentaje óptimo de incorporación de fibras celulósicas es del 7.5% con respecto al peso de una unidad.
- La resistencia a la compresión aumentó hasta un 60% y la resistencia a la tracción hasta un 40% en comparación con las muestras patrón, esto se logra con una adición de 7.5% de fibras celulósicas junto con el 1% de agujas de pino, este incremento se debe a la flexibilidad propia de las fibras incorporadas lo que conlleva a un aumento en la ductilidad del adobe al ser sometido a cargas.
- Al evaluar la resistencia a la compresión del murete, en pilas de adobe con la dosificación óptima encontrada se obtuvo un aumento en el esfuerzo por aplastamiento del 8.8% con respecto a una pila elaborada con unidades convencionales.
- El esfuerzo admisible de corte de los muretes con adición fue mayor al esfuerzo obtenido para los muros patrón, sin embargo, no superó el valor mínimo establecido por la norma E.080.
- Quedó demostrado que la presencia de celulosa de cartón en la matriz de tierra aumenta también su capacidad de retención de agua llegando a incrementar este valor hasta un 140% con respecto a las unidades patrón, atribuyendo este resultado a la higroscopicidad característica de las fibras provocando que se creen espacios entre ellas y el suelo, lo que aumenta la porosidad de las muestras.

- Los resultados obtenidos a partir del análisis económico indican que la incorporación de celulosa de cartón reciclado en la mezcla de suelo tiene un impacto económico adicional, incrementando los costos, sin embargo, al tomar decisiones sobre la elección de materiales es importante tener en cuenta tanto el desempeño estructural como los aspectos económicos.

Recomendaciones

- Se recomienda explorar con diversas técnicas de producción para las fibras de celulosa de cartón reciclado, esto con el fin de reducir los tiempos de fabricación y acrecentar así la viabilidad de su aplicación en la construcción sostenible.
- Con base en los resultados encontrados en el comportamiento mecánico de las unidades de tierra con adición de acículas de pináceas y fibras celulósicas de cartón reciclado, y tomando en cuenta que los valores aumentaban conforme el porcentaje de adición de celulosa era mayor, se sugiere la investigación de la resistencia de los adobes incorporando porcentajes superiores a los considerados en este estudio, es decir, con dosificaciones de fibras de celulosa mayores a 7.5% con respecto al peso.
- A partir del comportamiento físico de las unidades con adición de acículas de pináceas y fibras celulósicas de cartón reciclado, se sugiere investigar otros elementos con características hidrófobas que al ser incorporados como recubrimiento en la superficie de las unidades actúe como una barrera impermeable y evite de esta manera la penetración del agua en el adobe reduciendo así su capacidad de succión o absorción.
- Se recomienda continuar promoviendo futuras investigaciones que reaviven el uso de las unidades de tierra como recurso sostenible para la construcción de viviendas de bajo costo.
- Se sugiere futuras investigaciones tomando en cuenta el análisis de ciclo de vida y huella de carbono de las fibras de celulosa de cartón reciclado aplicadas en materiales de construcción.

Referencias

- [1] Gama Castro, J. E., Cruz y Cruz, T., Pi Puig, T., Alcalá Martínez, R., Cabadas Báez, H., Sánchez Pérez, S., López Aguilar, F. y Vilanova de Allende, 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. Disponible en: <https://doi.org/10.18268/bsgm2012v64n2a3>
- [2] C. Gutiérrez Espino, “Perú: Características de las viviendas particulares y los hogares. Acceso a servicios básicos”, INEI, Perú, informe 2018 [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/9b9h>
- [3] E. Dávila Tanco, “Perú: Perfil sociodemográfico Informe Nacional”, INEI, Perú, informe 2018 [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/96m>
- [4] “Perú: Déficit habitacional XIII”, INEI, Perú, informe 2018 [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/4j6wz>
- [5] P. F. Quizhpe Vacacela, "Propuesta de mejoramiento del sistema constructivo bahareque en Galluchaqui, para la vivienda tradicional de la cultura Saraguro", Tesis de maestría, Universidad de Cuenca, Cuenca, 2016. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24776>
- [6] M. A. Alfonso Alvarenga, “Adobe: constructive method and thermic characteristics”, 6th international conference on the conservation of earthen architecture, 1990, p.361
- [7] Benites Zapata, V. (2017). Adobe estabilizado con extracto de cabuya (*Furcraea Andina*). Universidad de Piura.
- [8] F. Jové-Sandoval, M. M. Barbero-Barrera y N. Flores Medina, "Assessment of the mechanical performance of three varieties of pine needles as natural reinforcement of adobe", *Construction and Building Materials*, vol. 187, pp. 205–213, octubre de 2018.

Accedido el 20 de mayo de 2022. [En línea].
Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.187>

[9] Camargo Torres, E. y García Guilianny, J. (2018). Innovación, Desarrollo Tecnológico y Gestión: Una construcción desde la investigación. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA.

[10] P. Muñoz, V. Letelier, L. Muñoz y M. A. Bustamante, "Adobe bricks reinforced with paper & pulp wastes improving thermal and mechanical properties", *Construction and Building Materials*, vol. 254, p. 119314, septiembre de 2020. Accedido el 20 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119314>

[11] T. T. Stanislas et al., "Effect of cellulose pulp fibres on the physical, mechanical, and thermal performance of extruded earth-based materials", *Journal of Building Engineering*, vol. 39, p. 102259, julio de 2021. Accedido el 24 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102259>

[12] V. Sharma, H. K. Vinayak y B. M. Marwaha, "Enhancing compressive strength of soil using natural fibers", *Construction and Building Materials*, vol. 93, pp. 943–949, septiembre de 2015. Accedido el 24 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.065>

[13] B. M. Medina Terrones, "Propiedades físico mecánicas del adobe compactado con la adición de agujas de pino en diferentes porcentajes", Trabajo de grado, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, 2019. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/23569>

[14] L. Vásquez Vásquez, "Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con fibra de pino; Cajamarca 2019", Trabajo de grado, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, 2021. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/28243>

[15] J. López Mayo, "Estudio de materiales compuestos obtenidos a partir de lodos celulósicos de la industria papelera, cemento y arcilla", Trabajo de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2014. Disponible en: <https://n9.cl/0lv1k>

[16] Redacción. "¿Qué es Adobe?» Su Definición y Significado [2022]". Concepto de - Definición de. <https://conceptodefinicion.de/adobe/> (accedido el 24 de mayo de 2022).

[17] D. De la Peña Estrada, "Adobe, características y sus principales usos en la construcción", Instituto tecnológico de la construcción, México. Disponible en: <https://n9.cl/2ra62o>

[18] A. Prieto. Construir con Adobe: fundamentos, reparación de daños y diseño contemporáneo, México: Trillas, 2008.

[19] D. L. Quintana Choqueluque y M. O. Vera Salazar, "Evaluación de la Erosión y la Resistencia a Compresión de Adobe con Sustitución parcial y total de Agua en Peso por Mucílago de Tuna en porcentajes del 0%, 25%, 50%, 75% y 100%", Universidad Andina del Cusco, Perú. Disponible en: <https://n9.cl/duqv5>

[20] V. I. Romero Cuentas y C. D. Callasi Venero, "Estudio comparativo de las propiedades físico mecánicas de las unidades de adobe tradicional frente a las unidades de adobe estabilizado con asfalto", Universidad Andina del Cusco, Perú. 2017.

[21] F. Gatti, "ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION EN TIERRA Estudio comparativo de las técnicas contemporánea en tierra", Tesina, Universidad Politécnica de Catalunya Departamento de Construcción Arquitectónica I, Barcelona, 2012. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/41807254.pdf>

[22] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2010, Manual de construcción: Edificaciones antisísmicas de adobe, Lima. Disponible en: <https://n9.cl/mwqt8>

[23] V. Benites Zapata, "ADOBE ESTABILIZADO CON EXTRACTO DE CABUYA (FURCRAEA ANDINA)", Universidad de Piura, Piura, 2017.

[24] M. Amorós García, "Desarrollo de un nuevo ladrillo de tierra cruda, con aglomerantes y aditivos estructurales de base vegetal", Tesis (Máster), Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2011.

- [25] L. F. Guerrero Baca, "Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva", APUNTES, vol. 20, n.º 2, p. 21, 2007. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/apun/v20n2/v20n2a02.pdf>
- [26] A. Farjon y D. Filer, Atlas of the World's Conifers: An Analysis of Their Distribution, Biogeography, Diversity and Conservation Status. BRILL, 2013.
- [27] LÍNEA DE BASE DE ESPECIES FORESTALES (Pinus sp y Eucalyptus sp.) CON FINES DE BIOSEGURIDAD, Ministerio del Ambiente, Lima, 2019. Disponible en: <https://n9.cl/j9uvm>
- [28] "Cómo usar la pinocha o acículas de pino para el compost - La Villa - El Blog de Garden Center Ejea". La Villa - El Blog de Garden Center Ejea. <https://blog.gardencenterejea.com/usar-pinocha-aciculas-de-pino/> (accedido el 9 de junio de 2022).
- [29] K.-D. González-Velandia, D. Daza-Rey, P.-A. Caballero-Amado y C. Martínez-González, "Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel.", Luna Azul, vol. 43, pp. 499–517, mayo de 2016. Accedido el 9 de junio de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.21>.
- [30] J. Borges Ramos, "Construcción con tierra: Ensayos de campo", Universidad de los Andes, Mérida - Venezuela, 2010. Disponible: <https://docplayer.es/7101645-Construccion-con-tierra-ensayos-de-campo.html>
- [31] R. Morales Morales. Manual para la construcción de viviendas de Adobe, Lima: UNI.
- [32] Norma Técnica Peruana E.080 Adobe, Lima, 2016.
- [33] G. D. Sandoval Alvarado, "Evaluación de la erosión y la resistencia del adobe adicionado con cenizas de carbón y cal", Trabajo de grado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2021.
- [34] Reglamento Nacional de Edificaciones, 2016.

- [35] H. Hernández Sampieri, *Metodología de la Investigación*, México: MC.Draw Hill, 2010.
- [36] D. Abessolo, A. B. Biwole, D. Fokwa, B. M. Ganou Koungang y Y. B. Baah, "Physical, Mechanical and Hygroscopic Behaviour of Compressed Earth Blocks Stabilized with Cement and Reinforced with Bamboo Fibres", *Int. J. Eng. Res. Afr.*, vol. 59, pp. 29–41, marzo de 2022. Accedido el 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.4028/p-spbskv>
- [37] I. M. G. Bertelsen, L. J. Belmonte, G. Fischer y L. M. Ottosen, "Influence of synthetic waste fibres on drying shrinkage cracking and mechanical properties of adobe materials", *Construction Building Mater.*, vol. 286, p. 122738, junio de 2021. Accedido el 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122738>
- [38] B. Guimarães et al., "WC-Co/316L stainless steel joining by laser powder bed fusion for multi-material cutting tools manufacturing", *Int. J. Refractory Met. Hard Mater.*, p. 106140, enero de 2023. Accedido el 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2023.106140>
- [39] E. Olacia, A. L. Pisello, V. Chiodo, S. Maisano, A. Frazzica y L. F. Cabeza, "Sustainable adobe bricks with seagrass fibres. Mechanical and thermal properties characterization", *Construction Building Mater.*, vol. 239, p. 117669, abril de 2020. Accedido el 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117669>
- [40] Y. Labiad, A. Meddah y M. Beddar, "Performance of sisal fiber-reinforced cement-stabilized compressed-earth blocks incorporating recycled brick waste", *Innovative Infrastruct. Solutions*, vol. 8, n.º 3, febrero de 2023. Accedido el 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01078-w>
- [41] A. Eslami, H. Mohammadi y H. Mirabi Banadaki, "Palm fiber as a natural reinforcement for improving the properties of traditional adobe bricks", *Construction Building Mater.*, vol. 325, p. 126808, marzo de 2022. Accedido el 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126808>

[42] N. Jannat, A. Hussien, B. Abdullah y A. Cotgrave, "Application of agro and non-agro waste materials for unfired earth blocks construction: A review", *Construction Building Mater.*, vol. 254, p. 119346, septiembre de 2020. Accedido el 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119346>

[43] N. Kumar y M. Barbato, "Effects of sugarcane bagasse fibers on the properties of compressed and stabilized earth blocks", *Construction Building Mater.*, vol. 315, p. 125552, enero de 2022. Accedido el 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125552>

[44] S. Tizapa, G. De la Cruz, A. Sandoval, A. Lozano, A. Dimas y L. Patiño, *Materials characterization and compressive strength of compressed earth blocks reinforced with oat straw*. 2023.

[45] N. Jannat, A. Hussien, B. Abdullah y A. Cotgrave, "Application of agro and non-agro waste materials for unfired earth blocks construction: A review", *Construction Building Mater.*, vol. 254, p. 119346, septiembre de 2020. Accedido el 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119346>

[46] G. Y. Baez Mamani, ""Análisis de las propiedades físico mecánicas del adobe reforzado con fibra de queñoa en el distrito de San Miguel, Juliaca - 2022""", Trabajo de grado, Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2022.

[47] P. V. Martha Helen, "Influencia de la fibra de lana de oveja en las unidades de adobe para mejorar las propiedades mecánicas de la mampostería", Trabajo de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, 2020.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
 Fecha de emisión : Chiclayo, Noviembre del 2022

ENSAYO : Análisis Granulométrico Suelos Global
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 : SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 NORMA DE REFERENCIA : SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Método para la clasificación de suelos
 : SUELOS. Método para la clasificación de suelos para uso en vías de transporte

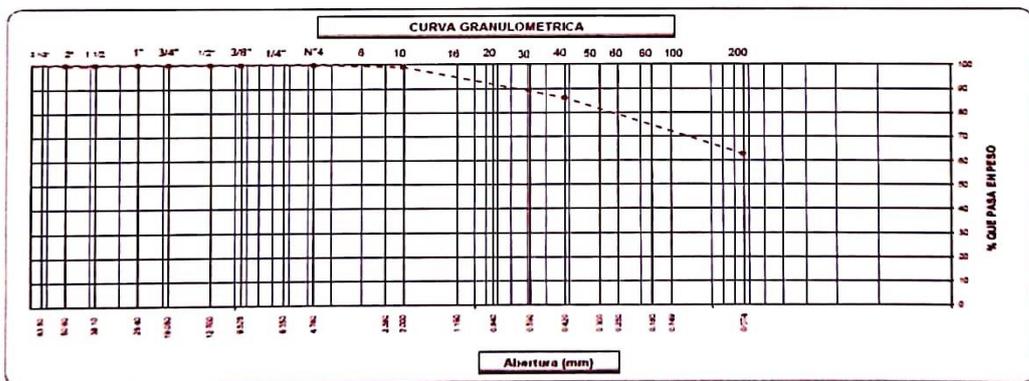
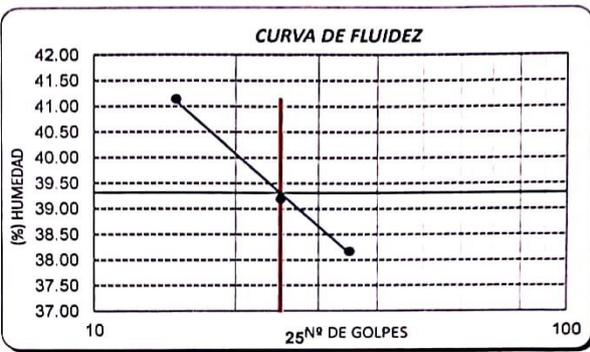
Calicata: A Muestra: M-1 Profundidad: 1.60 m.

Análisis Granulométrico por tamizado			
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		Retenido	Que pasa
N°6	4.750	0.3	99.7
N°8	2.360	0.8	99.4
N°10	2.000	2.3	99.2
N°16	1.190	4.2	97.7
N°20	0.850	7.6	95.8
N°30	0.600	13.8	92.4
N°40	0.420	22.8	86.2
N°50	0.300	26.5	77.2
N°60	0.250	32.9	73.5
N°80	0.180	35.1	67.1
N°100	0.150	37.1	64.9
N°200	0.074	0.0	62.9
Fondo	-	100.0	0.0

Distribución granulométrico			
% Grava	G.G. %	0.5	
	G.F %	3.4	3.9
	A.G %	3.4	
% Arena	A.M %	12.7	
	A.F %	8.6	24.7
	% Arcilla y Limo	64.9	64.9
Total		93.5	

Ensayo de Límite de Atterberg	
Límite líquido (LL)	39 (%)
Límite Plástico (LP)	24 (%)
Índice Plástico (IP)	15 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	CL
Descripción del suelo	
Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad	
Clasificación (AASHTO)	A-6 (7)
Descripción	
BUENO	

Contenido de Humedad	
	7.18





(Pág. 01 de 04)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
Fecha : 10 de noviembre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la compresión
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra Nº	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F _b (kg/cm ²)
01	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	85	579	6.8441
02	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	82	602	7.3560
03	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	83	613	7.4063
04	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	83	769	9.3041
05	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	83	759	9.1705
06	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	86	696	8.0485

Promedio	8.4823
----------	---------------

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 0.10m de arista
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F_b: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 10/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio





(Pág. 02 de 04)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
Fecha : 10 de noviembre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la compresión
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra Nº	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F' _b (kg/cm ²)
01	Unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	82	854	10.4509
02	Unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	85	851	9.9624
03	Unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	83	716	8.6485
04	Unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	81	770	9.5385
05	Unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	85	886	10.4666
06	Unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	87	882	10.0882

Promedio	10.2420
----------	---------

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 0.10m de arista
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F'_b: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 10/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 03 de 04)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
Fecha : 10 de noviembre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la compresión
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F _b (kg/cm ²)
01	Unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	84	908	10.8403
02	Unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	86	782	9.1473
03	Unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	79	810	10.2423
04	Unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	92	706	7.6641
05	Unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	86	1052	12.3082
06	Unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	86	927	10.8321

Promedio	11.0557
----------	---------

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 0.10m de arista
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F_b: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 10/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 04 de 04)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
Fecha : 10 de noviembre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la compresión
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra Nº	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F' _b (kg/cm ²)
01	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	82	923	11.2886
02	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	92	935	10.1437
03	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	78	1020	13.0231
04	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	84	1195	14.2956
05	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	83	1052	12.7326
06	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	76	1071	14.1758

Promedio	13.5568
----------	----------------

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 0.10m de arista
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F'_b: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 10/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio





(Pág. 01 de 04)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
Fecha : 12 de noviembre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la tracción
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F _b (kg/cm ²)
01	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	674	623	0.9242
02	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	658	607	0.9218
03	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	642	718	1.1175
04	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	686	977	1.4245
05	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	667	844	1.2652
06	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	672	653	0.9712

Promedio	1.1946
----------	--------

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 6"X12"
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F_b: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio





(Pág. 02 de 04)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
Fecha : 12 de noviembre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la tracción
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F _b (kg/cm ²)
01	Unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	667	931	1.3955
02	Unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	665	897	1.3494
03	Unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	649	814	1.2537
04	Unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	663	836	1.2616
05	Unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	679	949	1.3985
06	Unidad de tierra reforzada + 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	654	807	1.2340

Promedio	1.3513
----------	--------

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 6"X12"
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F_b: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio





(Pág. 03 de 04)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
Fecha : 12 de noviembre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la tracción
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra N°	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F _b (kg/cm ²)
01	Unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	667	972	1.4563
02	Unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	658	915	1.3897
03	Unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	674	900	1.3356
04	Unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	681	886	1.3011
05	Unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	647	942	1.4565
06	Unidad de tierra reforzada + 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	640	913	1.4257

Promedio	1.4320
----------	--------

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 6"X12"
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F_b: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 04 de 04)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
Fecha : 12 de noviembre del 2022

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del material tierra a la tracción
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra Nº	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	F _b (kg/cm ²)
01	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	665	1120	1.6835
02	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	642	1018	1.5842
03	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	656	1101	1.6790
04	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	670	982	1.4667
05	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	654	917	1.4024
06	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	654	1115	1.7051

Promedio	1.6630
----------	--------

NOTA:

- Ensayo realizado en unidades de tierra reforzada de 6"X12"
- Se promedian los 4 mejores resultados.
- F_b: Resistencia a la compresión en unidad entera.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 02/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio





(Pág. 01 de 02)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
Fecha : 10 de noviembre del 2022

ENSAYO : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería
REFERENCIA : NORMA N.T.P. 399.613 : 2005

Fabricante: ARTESANAL

Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra control: 0% de celulosa de cartón+0% de acículas de pináceas	91.00	93.00	143.00
02		89.00	92.00	142.00
03		88.00	94.00	147.00
04		87.00	95.00	146.00
05		88.00	94.00	144.00
06		91.00	95.00	145.00
PROMEDIO		89.00	93.83	144.50
VARIACIÓN (%)		-11.00%	-6.17%	-3.67%
C.V.		1.72%	1.14%	1.18%

Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra control: 2.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	86.00	95.00	142.00
02		89.00	96.00	144.00
03		89.00	93.00	145.00
04		85.00	95.00	144.00
05		91.00	93.00	141.00
06		92.00	95.00	141.00
PROMEDIO		88.67	94.50	142.83
VARIACIÓN (%)		-11.33%	-5.50%	-4.78%
C.V.		2.81%	1.18%	1.10%

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de albañilería de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Los resultados obtenidos de cada medida corresponden al promedio de 06 unidades por muestra.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización expresa del laboratorio.



USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 TÉCNICO DE LABORATORIO



(Pág. 02 de 02)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
Fecha : 10 de noviembre del 2022

ENSAYO : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería
REFERENCIA : NORMA N.T.P. 399.613 : 2005

Fabricante: ARTESANAL

Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra control: 5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	91.00	92.00	142.00
02		91.00	94.00	140.00
03		85.00	93.00	145.00
04		96.00	96.00	143.00
05		90.00	95.00	144.00
06		91.00	94.00	142.00
PROMEDIO		90.67	94.00	142.67
VARIACIÓN (%)		-9.33%	-6.00%	-4.89%
C.V.		3.53%	1.37%	1.12%

Muestra N°	Descripción de la unidad	LARGO (mm) (e)	ANCHO (mm) (l)	ALTO (mm) (h)
01	Muestra control: 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	87.00	94.00	141.00
02		97.00	95.00	144.00
03		87.00	90.00	145.00
04		88.00	95.00	140.00
05		87.00	95.00	139.00
06		83.00	91.00	138.00
PROMEDIO		88.17	93.33	141.17
VARIACIÓN (%)		-11.83%	-6.67%	-5.89%
C.V.		4.83%	2.20%	1.80%

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de albañilería de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Los resultados obtenidos de cada medida corresponden al promedio de 06 unidades por muestra.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 01 de 04)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
 Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
 Fecha : 10 de noviembre del 2022

ENSAYO : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Periodo inicial de absorción (Succión)
 REFERENCIA : NORMA N.T.P. 399.613 : 2005

Muestra N°	Denominación de la unidad	G4 (g)	G3 (g)	S (g/cm2)
01	Muestra control: 0% de celulosa de cartón+0% de acículas de pináceas	2054	2047	0.1
02	Muestra control: 0% de celulosa de cartón+0% de acículas de pináceas	2112	2107	0.1
03	Muestra control: 0% de celulosa de cartón+0% de acículas de pináceas	2046	2043	0.1
04	Muestra control: 0% de celulosa de cartón+0% de acículas de pináceas	2021	2008	0.1
06	Muestra control: 0% de celulosa de cartón+0% de acículas de pináceas	2039	2032	0.1

Promedio	0.1
----------	-----

DONDE:

G4 : ES LA MASA DEL ESPECIMEN SATURADO LUEGO DE 1 MIN DE INMERSION EN AGUA FRIA, EXPRESADO EN GRAMOS.

G3 : ES LA MASA DEL ESPECIMEN SECO, EXPRESADO EN GRAMOS.

S : ES EL PERIODO INICIAL DE ABSORCIÓN DE AGUA, EXPRESADA EN GRAMOS POR CM2

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- La disminución de la masa de los especímenes en estado saturado se debe a la erosión del agua.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 02 de 04)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
 Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
 Fecha : 10 de noviembre del 2022

ENSAYO : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Periodo inicial de absorción (Succión)
 REFERENCIA : NORMA N.T.P. 399.613 : 2005

Muestra Nº	Denominación de la unidad	G4 (g)	G3 (g)	S (g/cm2)
01	Muestra control: 2.5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1874	1862	0.2
02	Muestra control: 2.5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1945	1933	0.2
03	Muestra control: 2.5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1896	1880	0.2
04	Muestra control: 2.5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1931	1917	0.2
05	Muestra control: 2.5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1917	1905	0.2
06	Muestra control: 2.5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1931	1920	0.2

Promedio	0.2
----------	-----

DONDE:

G4 : ES LA MASA DEL ESPECIMEN SATURADO LUEGO DE 1 MIN DE INMERSION EN AGUA FRIA, EXPRESADA EN GRAMOS
 G3 : ES LA MASA DEL ESPECIMEN SECO, EXPRESADO EN GRAMOS.
 S : ES EL PERIODO INICIAL DE ABSORCIÓN DE AGUA, EXPRESADA EN GRAMOS POR CM2

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.





(Pág. 03 de 04)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
Fecha : 10 de noviembre del 2022

ENSAYO : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Periodo inicial de absorción (Succión)

REFERENCIA : NORMA N.T.P. 399.613 : 2005

Muestra N°	Denominación de la unidad	G4 (g)	G3 (g)	S (g/cm ²)
01	Muestra control: 5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1923	1915	0.1
02	Muestra control: 5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1832	1815	0.3
03	Muestra control: 5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1878	1864	0.2
04	Muestra control: 5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1817	1805	0.2
05	Muestra control: 5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1871	1854	0.3
06	Muestra control: 5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1845	1829	0.2

Promedio	0.2
----------	-----

DONDE:

G4 : ES LA MASA DEL ESPECIMEN SATURADO LUEGO DE 1 MIN DE INMERSION EN AGUA FRIA, EXPRESADO EN GRAMOS.

G3 : ES LA MASA DEL ESPECIMEN SECO, EXPRESADO EN GRAMOS.

S : ES EL PERIODO INICIAL DE ABSORCIÓN DE AGUA, EXPRESADA EN GRAMOS POR CM2

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.





(Pág. 04 de 04)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
 Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
 Fecha : 10 de noviembre del 2022

ENSAYO : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Periodo inicial de absorción (Succión)
 REFERENCIA : NORMA N.T.P. 399.613 : 2005

Muestra N°	Denominación de la unidad	G4 (g)	G3 (g)	S (g/cm2)
01	Muestra control: 7.5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1820	1801	0.3
02	Muestra control: 7.5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1776	1754	0.3
03	Muestra control: 7.5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1778	1775	0.0
04	Muestra control: 7.5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1806	1786	0.3
05	Muestra control: 7.5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1800	1788	0.2
06	Muestra control: 7.5% de celulosa de cartón+1% de acículas de pináceas	1812	1792	0.3

Promedio	0.2
----------	-----

DONDE:

G4 : ES LA MASA DEL ESPECIMEN SATURADO LUEGO DE 1 MIN DE INMERSION EN AGUA FRIA, EXPRESADO EN GRAMOS

G3 : ES LA MASA DEL ESPECIMEN SECO, EXPRESADO EN GRAMOS.

S : ES EL PERIODO INICIAL DE ABSORCIÓN DE AGUA, EXPRESADA EN GRAMOS POR CM2

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 01 de 02)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
Fecha : 19 de mayo del 2023

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del murete a la compresión
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo admisible de la pila (kg/cm ²)	Esfuerzo por Aplastamiento (kg/cm ²)
Nº					
01	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	124	1373	4.430	5.538
02	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	126	1385	4.383	5.479
03	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	122	1390	4.541	5.677
04	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	120	1405	4.680	5.850
05	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	121	1400	4.638	5.797
06	Unidad de tierra reforzada + 0% de celulosa de cartón + 0% de acículas de pináceas	120	1414	4.718	5.898

Promedio

5.805

NOTA:

- Ensayo realizado en pilas de 3 unidades de adobe
- Se promedian los 4 mejores resultados.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 19/05/2023
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 02 de 02)

Tesista : TERRONES MUÑOZ ANGIE NAYELY
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
Ubicación : Chiclayo, Lambayeque
Fecha : 19 de mayo del 2023

ENSAYO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. Resistencia del murete a la compresión
REFERENCIA : NORMA E.080

Muestra Nº	Denominación de la unidad	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo admisible de la pila (kg/cm ²)	Esfuerzo por Aplastamiento (kg/cm ²)
01	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	122	1455	4.786	5.983
02	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	122	1460	4.803	6.003
03	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	118	1474	5.011	6.264
04	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	121	1485	4.914	6.142
05	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	122	1523	4.979	6.223
06	Unidad de tierra reforzada + 7.5% de celulosa de cartón + 1% de acículas de pináceas	122	1615	5.310	6.637

Promedio	6.317
----------	-------

NOTA:

- Ensayo realizado en pilas de 3 unidades de adobe
- Se promedian los 4 mejores resultados.

OBSERVACIONES :

- Muestreo de unidades de tierra reforzada realizado por el solicitante.
- Muestras ensayadas el día 10/11/2022
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio



LABORATORIO

Solicitud de Ensayo : **0106A-23/ LEMS W&C**
 Solicitante : Terrones Muñoz Angie Nayely
 Proyecto / Obra : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
 Ubicación : Disto. Pimentel, Prov.Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de Apertura : Jueves, 01 de junio del 2023.
 Fecha de ensayo : Jueves, 01 de junio del 2023.
 Ensayo : ADOBE. Esfuerzo de rotura mínima para medir la resistencia del murete a compresión diagonal.
 Referencia : NORMA E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada - 2017.

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Esesor	Longitud	Altura	Área	Altura / esesor	P	Resistencia Compresión
					cm	cm	cm	cm2		kgf	kgf/cm2
01	Murete muestra patrón	01/05/2023	01/06/2023	28	12.1	60.2	58.6	728.420	4.8	765	0.53
02	Murete muestra patrón	01/05/2023	01/06/2023	28	12.0	60.1	58.8	721.200	4.9	768	0.53
03	Murete muestra patrón	01/05/2023	01/06/2023	28	12.1	60.0	58.4	726.000	4.8	769	0.53
04	Murete muestra patrón	01/05/2023	01/06/2023	28	12.1	59.8	58.9	723.580	4.9	781	0.54
05	Murete muestra patrón	01/05/2023	01/06/2023	28	12.2	60.2	58.7	734.440	4.8	831	0.57
06	Murete muestra patrón	01/05/2023	01/06/2023	28	11.9	61.5	58.6	732.148	4.9	796	0.54
PROMEDIO DE LAS 4 MEJORES MUESTRAS									0.54		(Kg/cm2)

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
 TÈC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS




Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : **0106A-23/ LEMS W&C**
 Solicitante : Terrones Muñoz Angie Nayely
 Proyecto / Obra : Evaluación de las propiedades físico mecánicas de unidades de tierra reforzada incorporando acículas de pináceas y celulosa de cartón reciclado
 Ubicación : Disto. Pimentel, Prov.Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de Apertura : Jueves, 01 de junio del 2023.
 Fecha de ensayo : Jueves, 01 de junio del 2023.
 Ensayo : ADOBE. Esfuerzo de rotura mínima para medir la resistencia del murete a compresión diagonal.
 Referencia : NORMA E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada - 2017.

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Espesor	Longitud	Altura	Área	Altura / espesor	P	Resistencia Compresion
					cm	cm	cm	cm2		kgf	kgf/cm2
01	Murete 7.5% de adición	01/05/2023	01/06/2023	28	11.9	61.0	58.8	725.900	4.9	822	0.57
02	Murete 7.5% de adición	01/05/2023	01/06/2023	28	11.8	60.5	58.7	713.900	5.0	831	0.58
03	Murete 7.5% de adición	01/05/2023	01/06/2023	28	11.8	61.2	58.1	722.160	4.9	883	0.61
04	Murete 7.5% de adición	01/05/2023	01/06/2023	28	12.1	61.1	59.1	739.310	4.9	887	0.60
05	Murete 7.5% de adición	01/05/2023	01/06/2023	28	12.2	60.9	59.2	742.980	4.9	872	0.59
06	Murete 7.5% de adición	01/05/2023	01/06/2023	28	12.1	61.1	58.6	739.310	4.8	861	0.58
PROMEDIO DE LAS 4 MEJORES MUESTRAS									0.60	(Kg/cm2)	

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
 TÈC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS




Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904