

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Arquitectura

**ADOBE ESTABILIZADO COMO MATERIAL DE
CONSTRUCCIÓN**

Tesis para obtener el título de Arquitecta presenta:

Mitzi Geovanna Ruvalcaba Flores

Asesores:

Mtra. Perla Rafael Santa Ana Lozada

Dra. Lucia Santa Ana Lozada

Arq. Roberto González López

Ciudad Universitaria, CD. MX, Abril 2023





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por ser mi apoyo incondicional más grande, por ser mi mayor motivación e inspiración y por darme las herramientas necesarias para afrontar cada situación que se me presenta. Gracias por darme la fortaleza y el ánimo para cumplir mis objetivos y metas.

A mi madre **Alicia Flores**. Por ayudarme y apoyarme durante toda la carrera, por acompañarme en mis muchos desvelos y echarme la mano con mis proyectos cuando yo ya no podía más. Te amo, ma.

A mi padre **Raúl Ruvalcaba**. Por apoyarme y por estar siempre al pendiente de que no me faltara nada durante toda la carrera, por llevarme de un lado al otro sin importar el lugar y la hora y por no dejarme sola durante el mayor reto que tuve en la carrera. Te amo, pa.

A mi hermano **Uriel**. Por ser mi compañero incondicional y por recordarme siempre que la vida es más simple y sencilla de lo que creo. Te amo, hermano.

A mis amigos de la facultad, en especial a **Valentina O., Carlos F., Mariana M., Omar V. y Lizzbeth G.** Por haber hecho el camino más ameno, alegre y divertido, por ser un apoyo y una motivación y por convertirse en mi familia.

A mi asesora de tesis la **Mtra. Perla Rafael Santa Ana Lozada**. Por el apoyo a mi tema de tesis, por orientarme y compartir sus conocimientos para que la realización de este trabajo fuera posible.

Al programa de movilidad de la facultad, por darme la oportunidad de tener un crecimiento tanto personal como académico fuera de México y por confiar en mi para dar una imagen positiva de la Universidad en el extranjero.

Y a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo para poder alcanzar esta meta, a la **Facultad de Arquitectura** y a la **Universidad Nacional Autónoma de México**.

ÍNDICE:

Introducción	5
1. Capítulo 1. Clasificación de materiales	9
1.1. Propiedades de los materiales	12
1.1.1. Propiedades químicas	12
1.1.2. Propiedades físicas	13
1.1.3. Propiedades mecánicas	14
1.1.4. Propiedades térmicas	15
1.2. Materiales metálicos	15
1.3. Materiales poliméricos	18
1.4. Materiales compuestos	20
1.5. Materiales cerámicos	22
1.5.1. Cerámicas tradicionales	23
1.5.2. Cerámicas avanzadas	30
1.5.3. Proceso de fabricación de los cerámicos	34
2. Capítulo 2. El adobe	41
2.1. Antecedentes históricos	43
2.2. El adobe y su composición	46
2.3. Proceso de fabricación	50
2.4. El adobe como material	54
2.5. Ventajas y desventajas	56
2.6. Adobe estabilizado	57

2.6.1. Tipos de estabilización	58
2.6.2. Estabilizadores empleados en el adobe	59
3. Capítulo 3. Estabilizadores en el adobe	73
3.1. Estabilizadores naturales	74
3.2. Estabilizadores sintéticos	81
3.3. Viruta	88
3.3.1. La viruta como estabilizador en el adobe	90
3.3.2. Estudio n°1	91
3.3.3. Estudio n°2	96
3.3.4. Estudio n°3	101
3.3.5. Conclusiones generales	107
3.3.6. Tabla de comparación	109
3.4. Polímeros naturales	111
3.4.1. El polímero natural como estabilizador en el adobe	113
3.4.2. Estudio n°1	114
3.4.3. Estudio n°2	120
3.4.4. Estudio n°3	125
3.4.5. Conclusiones generales	132
3.4.6. Tabla de comparación	134
3.5. Fibras vegetales	136
3.5.1. Las fibras vegetales como estabilizadores en el adobe	138
3.5.2. Estudio n°1	139
3.5.3. Estudio n°2	143

3.5.4. Estudio n°3	149
3.5.5. Estudio n°4	153
3.5.6. Estudio n°5	159
3.5.7. Estudio n°6	165
3.5.8. Conclusiones generales	169
3.5.9. Tabla de comparación	172
3.6. Cal	175
3.6.1. La cal como estabilizador en el adobe	177
3.6.2. Estudio n°1	178
3.6.3. Estudio n°2	185
3.6.4. Estudio n°3	191
3.6.5. Conclusiones generales	198
3.6.6. Tabla de comparación	200
3.7. PET	204
3.7.1. El PET como estabilizador en el adobe	206
3.7.2. Estudio n°1	206
3.7.3. Estudio n°2	212
3.7.4. Conclusiones generales	218
3.7.5. Tabla de comparación	220
3.8. Cemento Portland	222
3.8.1. El cemento como estabilizador en el adobe	225
3.8.2. Estudio n°1	226
3.8.3. Estudio n°2	233

3.8.4. Estudio n°3	237
3.8.5. Estudio n°4	244
3.8.6. Estudio n°5	249
3.8.7. Estudio n°6	258
3.8.8. Conclusiones generales	265
3.8.9. Tabla de comparación	267
3.9. Emulsión asfáltica	281
3.9.1. La emulsión asfáltica como estabilizadora en el adobe	285
3.9.2. Estudio n°1	286
3.9.3. Estudio n°2	290
3.9.4. Estudio n°3	296
3.9.5. Estudio n°4	301
3.9.6. Conclusiones generales	306
3.9.7. Tabla de comparación	307
Conclusiones	310
Bibliografías / Referencias	314

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el campo de la arquitectura y la construcción está lleno de una gran cantidad y variedad de materiales, de los cuales los más destacables y empleados son los industrializados, es decir, materiales que se han obtenido gracias a distintos procesos no naturales y con ayuda del hombre. Todos estos materiales nos han ayudado a construir espacios en donde podemos realizar nuestras actividades, son materiales que han ido evolucionado con el tiempo para poder cumplir con nuestras necesidades y caprichos que se buscan actualmente.

Es evidente que todos estos materiales industrializados nos han aportado mucho en nuestro campo, pues como se mencionó anteriormente, van evolucionando junto con nuestro estilo de vida, sin embargo, gracias a todos estos nuevos materiales se han ido olvidando materiales que en su momento y por mucho tiempo fueron una buena propuesta constructiva y arquitectónica, como es el caso de los materiales hechos de tierra, y se han ido olvidando por varios factores, algunos de los principales son que tienen una resistencia menor a la de los nuevos materiales, no están dentro de los estándares estéticos que marcan la arquitectura y construcción moderna, visualmente llegan a generar una cierta desconfianza en cuanto a la seguridad, no logran cumplir con los espacios amplios y abiertos que se buscan hoy en día, entre otras cosas. A pesar de no presentar las mismas características que los materiales industrializados, es importante mencionar y reconocer que los materiales hechos de tierra han cumplido un papel muy importante en la arquitectura y construcción, ya que de cierto modo fueron el comienzo de la construcción, y por mucho tiempo cumplieron con aportar sitios seguros y confortables en donde se pudiera habitar.

La pregunta que surge es *¿Si ya tenemos mejores materiales, por que usar materiales “antiguos” que son hechos de tierra?* Hay varias razones por las que se debería considerar el uso de estos tipos de materiales en la actualidad, una de ellas es que no generan un impacto ambiental dañino, como sabemos hoy en día estamos enfrentando un gran problema de contaminación, y no es de sorprenderse

que nuestra profesión cause un impacto negativo para el medio ambiente, esto debido a varios factores, en el que nos enfocamos para este trabajo es el impacto negativo que causan los materiales más empleados en la arquitectura moderna, como el concreto, el acero, los cerámicos, la madera, etc., ya que el impacto al medio ambiente se genera en distintos momentos de la fabricación de estos materiales, el primero ocurre en la obtención de la materia prima, esto porque en varias ocasiones sucede una alteración/destrucción del sitio natural de donde se consigue dicha materia, el proceso con mayor impacto ambiental negativo es el proceso de elaboración de los materiales, ya que estos se elaboran en fábricas industriales que llegan a generar grandes cantidades de CO_2 , y algunos de estos materiales al terminar su tiempo de vida no pueden ser reciclados ni reutilizados, dejándolos simplemente como residuos basura. Si bien es cierto que frente a esta problemática hemos tomado medidas que ayudan a reducir dicho impacto, como usar energías renovables, tener una conciencia de generar ventilaciones cruzadas y vanos que puedan aprovechar de la manera más amplia la luz solar, se han ido implementando materiales novedosos que se han hecho a base del reciclaje de residuos y se ha procurado respetar, en medida de lo posible, el área o el terreno para que este no sufra un cambio de suelo tan drástico, entre otras cosas.

Es importante el crear nuevos materiales que cumplan con lo que se está buscando actualmente, que sean resistentes, económicos, amigables con el ambiente, etc., pero al momento de enfocarnos en realizar algo nuevo, dejamos de lado el hecho de que ha habido técnicas que cumplen con varios aspectos que se quieren cumplir en un material, como es el caso del **adobe**.

El **adobe** ha sido de las técnicas más utilizadas a lo largo del tiempo, y no es una técnica exclusiva de algún sitio, ya que esta técnica se expandió por distintas partes del mundo, y México no fue la excepción, era muy común que en el paisaje de nuestro país se encontraran casa de adobe, esto debido a la accesibilidad del material, fácil de conseguir y económico, y la facilidad para fabricar las piezas y hacer construcciones con ellas, ya que no es una técnica de gran complejidad. Hoy en día aún se pueden encontrar casas de adobe en ciertos estados de la república

en las zonas rurales, esto se da gracias a que es una técnica que la podemos considerar tradicional para ciertas familias, ya que la técnica se va transmitiendo entre los pobladores y las familias, dando una solución accesible y económica.

Esta parte cultural se ha ido perdiendo con el paso del tiempo, construcciones antiguas que fueron hechas con adobe se han ido perdiendo gracias a la falta de interés que recibe esta técnica, se considera que por el hecho de ser un material hecho de tierra es pobre y deficiente, sin embargo, es importante saber que el adobe es un material con excelente aislamiento térmico y acústico, es económico, accesible, tiene una técnica sencilla, se le puede dar forma redondeada, es amigable con el medio ambiente y en las condiciones adecuadas es duradero.

Ahora bien *¿Si el adobe presenta buenas características como material de construcción, porque no se llega a considerar al momento de elegir materiales para un proyecto?* Si bien el adobe tiene grandes ventajas, al ser un material “antiguo” también tiene ciertas desventajas la cual la mayor y la más importante es que presenta poca capacidad sísmica y una baja resistencia a la humedad, lo que hace que el adobe se debilite y pierda fuerza y durabilidad, esta es la problemática más grande que se tiene con respecto a este material.

A pesar de tener esta problemática, el adobe puede ser mejorado para poder reducir estas desventajas, esto se logra al incorporarle a su composición tradicional otros materiales. Hay estudios que lo hacen con materiales puramente naturales, esto para conservar al adobe como un material 100% natural, aunque esta propuesta es buena, tenemos que entender que si este material quiere volver a agarrar fuerza dentro del campo de la construcción no se puede quedar como un material 100% natural, por lo que hay estudios en donde los materiales que se le incorporan al adobe tradicional son de tipo sintéticos.

En este trabajo se realizará una comparación entre varios tipos de materiales, tanto naturales como sintéticos, que se emplean como estabilizadores dentro del adobe, que lo que buscan es fortalecer a este material. Esto con los objetivos de:

- Formar una base/guía para futuras investigaciones en donde se busque la estabilización del adobe, dando una premisa de cómo reaccionan ciertos materiales al ser incorporados al adobe, destacando en qué condiciones se emplearon dichos materiales, dejando ver los pros y contras que pueden tener, además de dejar abierta la posibilidad de que ciertos materiales pueden funcionar mejor si se les combina con otro material.
- Dar a conocer que el adobe no debe seguir en la idea de ser un como material antiguo, al mejorarlo se puede considerar como una alternativa constructiva, sin que pierda su esencia como material, que es que sea económico, accesible y simple de hacer.

CAPÍTULO 1

CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

La arquitectura siempre ha sido caracterizada por ser la profesión del *diseño espacial*, nosotros como arquitectos estamos con esa noción de que nuestros proyectos tengan un diseño diferente y contemporáneo. Desde que empezamos la carrera nos dicen que la cualidad que tiene un arquitecto es su imaginación, es pensar fuera de la caja “convencional”. Sin embargo, muchas veces nos vamos con el concepto de que el diseño solo va relacionado con la forma de un proyecto, lo cual no es así. Hay que entender que el concepto de diseño dentro de la arquitectura abarca forma, espacialidad, funcionalidad, estructura y materiales.

En muchas ocasiones lo último que se deja para el diseño es pensar en los materiales para la envolvente o la estructura, o se escogen solo por el hecho de ser “estéticos”, pasando por alto las ventajas o desventajas de su elección, pues hay varios factores que pueden hacer que un material realce un proyecto para bien o mal. Se debe considerar que cada material es diferente, por lo que cada uno tiene propiedades diferentes, estas se deben considerar dependiendo de lo que se quiere lograr y tomando en cuenta las condiciones a las que se enfrentara el proyecto, como lo son condiciones climáticas o de posible movimiento sísmico, entre otras. Por lo que es casi una obligación el conocer las propiedades de los materiales que pretendemos emplear en nuestros distintos proyectos.

Desde el momento en que la humanidad comenzó la fabricación de armas, herramientas y refugios para poder defenderse y resguardarse, se ha tenido una conciencia acerca de una clasificación de materiales, ya que en base a lo que se quería lograr, se decidía que material era óptimo para dicha tarea. Pasando desde los materiales “primitivos” como piedra y tierra, hasta llegar a los materiales más complejos que hoy conocemos como el metal, el concreto, etc.

En general hay muchas maneras en las que se pueden clasificar los materiales, ya sea por origen, producción, aplicación, tipo, entre otras. En este trabajo estaremos tomando la clasificación de materiales procesados o de producción.

Estos materiales son aquellos fabricados por el hombre, proviene de los materiales naturales, sin embargo, a diferencia de los naturales, a estos se les realiza un

proceso industrial, químico o biológico. Creando así un material nuevo que no se encuentra como tal en la naturaleza.

Dentro de esta, los materiales los podemos clasificar en cuatro grupos: metálicos, cerámicos, poliméricos y materiales compuestos (Güemes & Martín, 2012).

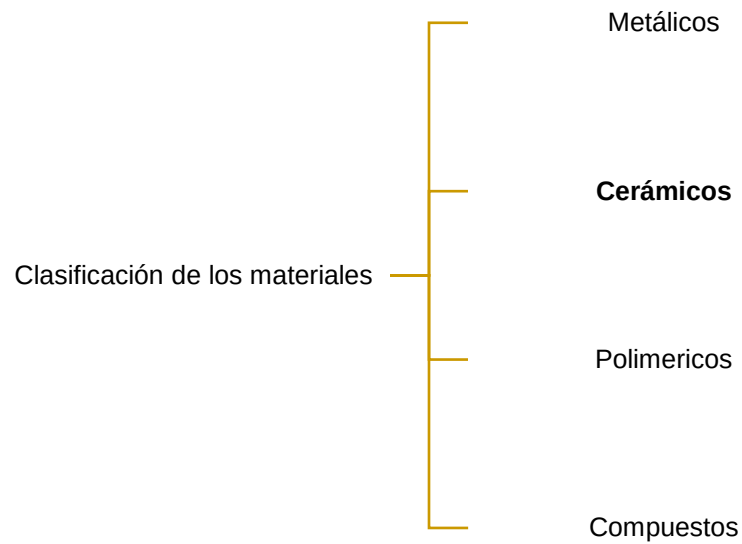


Diagrama 1. Clasificación general de los materiales procesados. Referencia del libro: *Ciencia de materiales para ingenieros*

1.1. Propiedades de los materiales.

Cada uno de los grupos, mencionados anteriormente, cuenta con distintas propiedades que los caracterizan en el campo de la construcción, comenzaremos por definir lo que es una propiedad y posteriormente en definir de manera general de que consta cada una de las propiedades.

La Real Academia Española (2019) define el termino *propiedad*, en nuestro caso, como atributo o cualidad esencial de alguien o algo.

Con esto podemos definir las propiedades de los materiales como un conjunto de cualidades que generan un cierto comportamiento del material ante la exposición de factores diferentes. Estas propiedades las clasificaremos en físicas, químicas, mecánicas y térmicas.

En base a lo anterior, entendemos como propiedades, a esas características que definen a un material, y como sabemos los materiales están compuestos por distintos elementos que son parte de la tabla periódica. Estos elementos al unirse crean enlaces, ya sean covalentes, iónicos o metálicos, que conforman a la estructura interna del material, generando así las primeras características de este. Es importante conocer los elementos que conforman al material, pues su composición influye en cómo serán sus propiedades y como se comportarán al unirse con otros materiales y ante elementos externos.

1.1.1. Propiedades químicas:

Cuando un material es sometido ante agentes químicos, ya sean de tipo natural o artificial, se genera una reacción química que produce cambios irreversibles en la estructura molecular de dicho material, es decir, la composición química original desaparece y se crea una composición química nueva. A estas reacciones se le conocen como *propiedades químicas* (Güemes & Martín, 2012).

Por lo general los agentes naturales son los más frecuentes a los que el material se debe someter, ya que este se pone bajo la exposición del sol, de la lluvia, de la contaminación, etc.

Las más comunes en presentarse son:

- **Oxidación:** El proceso consiste en que el átomo pierde electrones, esto generado por la combinación del oxígeno con otros elementos, normalmente cuando se produce oxidación en un material, solo es de tipo superficial, pues esta se puede eliminar al pulirlo.
- **Corrosión:** Es el deterioro de un material al estar expuesto a agentes químicos, como lo ácidos, sales, alcalinos, etc., o electroquímicos, que pueden ser oxígeno, contaminación, humedad, lluvia acida, etc. Este se puede entender como la continuación de la oxidación, pues esta es irreversible y daña a la estructura interna del material, afectando así a la resistencia.

1.1.2. Propiedades físicas:

Las *propiedades físicas* son aquellas que se pueden ver e incluso medir, se podría decir que son con las que se puede describir al material de forma física, es decir, son las propias del material. Y a diferencia de las propiedades químicas, en las físicas el material no sufre cambios ni alteraciones en su estructura molecular, puesto que no se generan sustancias nuevas (Chang & Goldsby, 2017).

Las propiedades físicas principales son:

- **Densidad:** En la densidad se ven involucrados dos conceptos, masa y volumen. Definiendo a la masa como la cantidad de materia en una sustancia y al volumen como la longitud elevada al cubo. La densidad es la cantidad que se obtiene a partir de dividir la masa de un material con el volumen que este ocupa ($\rho = m/V$), es decir, la densidad determina cuanta masa se encuentra en el volumen de una sustancia medida en kg/m³.
- **Absorción:** Es la facilidad que tiene un material de soportar una cantidad de agua después de llegar al punto de su máxima saturación.
- **Porosidad:** Es la cantidad de espacios vacíos, conocidos como cavidades, que tiene un volumen. Lo que ocurre con esta propiedad, es que les permite a elementos como el aire, agua, calor, sonidos e incluso microorganismos,

atravesar al material. Esta influye de manera directa con la resistencia del material.

- **Permeabilidad:** Es la capacidad que tiene un material de ser atravesado por un fluido, ya sea agua o vapor, sin que este altere su estructura interna.
- **Maleabilidad:** Es la capacidad de un material de ser moldeado en la forma deseada o requerida.

1.1.3. Propiedades mecánicas:

Las *propiedades mecánicas* se manifiestan cuando al material se le aplican fuerzas externas, lo que significa que son las reacciones / comportamientos de este ante fuerzas de tracción, compresión, flexión, torsión o de impacto. Estas ayudan a comprobar su capacidad de soportar o transmitir las fuerzas y cargas (Güemes & Martín, 2012).

Las propiedades dadas ante la aplicación de la fuerza sobre los materiales son:

- **Elasticidad:** Ciertos materiales al ser sometidos a fuerzas externas llegan a sufrir deformaciones de forma permanente. Sin embargo, lo que sucede con esta propiedad es que, al momento de dejar de ejercer esa fuerza externa sobre el material, este vuelve a su forma original, creando así una *deformación reversible*.
- **Plasticidad:** A diferencia de la elasticidad, la plasticidad es la capacidad del material para deformarse de manera permanente e irreversible y sin romperse, aunque a este se le retiren las fuerzas externas aplicadas.
- **Ductilidad:** Es la capacidad que tiene un material para soportar un grado de deformación, sin que este llegue a la ruptura, al ser dúctiles se tiene la capacidad de formar al material en forma de hilos.
- **Fragilidad:** La fragilidad es la característica que tienen ciertos materiales de romperse con el mínimo intento de deformación, lo que quiere decir que su *resistencia* a las fuerzas es muy baja.
- **Dureza:** Esta propiedad se ve relacionada con la resistencia que un material llega a presentar para evitar la deformación ante fuerzas aplicadas.

- **Tenacidad:** Es la capacidad que tiene un material para absorber la energía durante el proceso de deformación, evitando así su ruptura.

1.1.4. Propiedades térmicas:

Las *propiedades térmicas* nos indican el comportamiento de los materiales cuando son sometidos a variaciones de la temperatura, ya sea al aumento o a la deficiencia del calor al cual se le exponga al material. Estas propiedades influyen a las propiedades mecánicas y físicas, ya que estas dependen de la temperatura (Askeland, Fulay, Wrigth, 2012).

Las principales de estas son:

- **Capacidad calorífica o térmica:** Es la cantidad de calor o energía que un material requiere para que su temperatura se eleve 1°C. Este aumento se da gracias a que el material absorbe calor del medio que lo rodea.
- **Conductividad térmica:** Es la capacidad que tiene los materiales para poder transferir calor de su cuerpo a otro con el que esté en contacto. Lo que mide esta propiedad es la rapidez con la que esta transferencia de calor se realiza.
- **Coeficiente de dilatación:** Al tener un aumento de temperatura en los materiales, estos en ciertas ocasiones llegan a presentar cambios físicos, los cuales son que sus medidas tienen un cierto crecimiento, es decir, estos tienen un aumento de volumen de su forma original.
- **Fusibilidad:** Es la capacidad y facilidad que tiene un material para fundirse ante ciertas temperaturas.

1.2. Materiales metálicos:

Los materiales metálicos son aquellos que se forman a partir de elementos metálicos, es decir, aquellos que tienen sus átomos unidos por enlaces metálicos, y estos elementos provienen de los minerales. Algunos de estos elementos son: plata, oro, hierro, níquel, zinc, cobre, platino, aluminio, titanio, paladio, plomo, etc.

Dentro de este grupo, podemos encontrarlos en su estado puro, como los elementos antes mencionados, o también se encuentran las aleaciones, que son sólidos que están compuestos por dos o más metales o también por dos o más metales con dos o más no metales. Suelen ser de alta utilidad en el sector de la construcción para aplicaciones estructurales (Askeland et al, 2012).

Estos materiales se pueden dividir en 3 grupos:

- *Aleaciones férreas*, que son aquellas que son a base del hierro.
- *Aleaciones no férreas*, donde encontramos materiales como zinc, cobre, níquel, plomo, estaño, metales refractarios y preciosos.
- *Aleaciones ligeras*, que son aquellas que tiene como base el aluminio, titanio, magnesio y berilio.



Diagrama 2. Clasificación de materiales metálicos. Referencia del libro: *Ciencia de materiales para ingenieros*

En la ilustración 1, se puede observar un ejemplo de los materiales metálicos empleados, en su mayoría, en el campo de la construcción, los cuales forman parte de las aleaciones férreas.



Ilustración 1. Materiales metálicos férreos. *Imagen tomada de la web para fines académicos*

Propiedades químicas: Este tipo de materiales son susceptibles a la oxidación, ya que estos reaccionan ante el oxígeno, tanto del agua como del aire, provocando una capa de óxido en el metal. Posteriormente esa reacción puede hacerse más progresiva hasta llegar a una corrosión de tipo electroquímica.

Propiedades físicas: Los metales son de aspecto brillante, esto lo podemos interpretar como reflejantes de luz, en su mayoría son lisos al tacto, se presentan como sólidos, a excepción del mercurio, a temperatura ambiente, tienen un alto coeficiente de maleabilidad y una alta densidad a comparación de los demás grupos de materiales.

Propiedades mecánicas: Son altamente plásticos, son dúctiles y tenaces, esto quiere decir que tienen la capacidad de resistir fuerzas para evitar la ruptura y la deformación, son rígidos y presentan una alta resistencia ante diferentes tipos de fuerzas.

Propiedades térmicas: Presentan una alta conductividad térmica y eléctrica, ante temperaturas altas estos se llegan a dilatar, y cuando la temperatura disminuye se contraen.

1.3. Materiales poliméricos:

Estos por lo general son materiales sintéticos y orgánicos, ya que la molécula principal es el carbono, y se les conoce también como *plásticos*. Estos materiales son sólidos que están compuestos por moléculas muy grandes, donde los átomos están unidos mediante enlaces covalentes hasta lograr presentarse como molécula individual, su composición está más que nada constituida por elementos no metálicos. Este proceso se le conoce como polimerización. Dentro de este grupo podemos encontrar a los cauchos y a los adhesivos.

Se pueden dividir por:

- Origen, esto quiere decir por su procedencia pueden ser *naturales*, donde encontramos celulosa, caucho y/o proteínas, o *sintéticos*, que son los hechos por el hombre y son derivados del petróleo.
- Estructura molecular, ya sean lineales, donde la estructura está compuesta por una sola cadena, o ramificados, donde se encuentran cadenas primarias y secundarias.
- Tecnología, dividiéndose en *termoplásticos*, *termoestables* y *elastómeros*, estos dependen de su comportamiento termo mecánico.

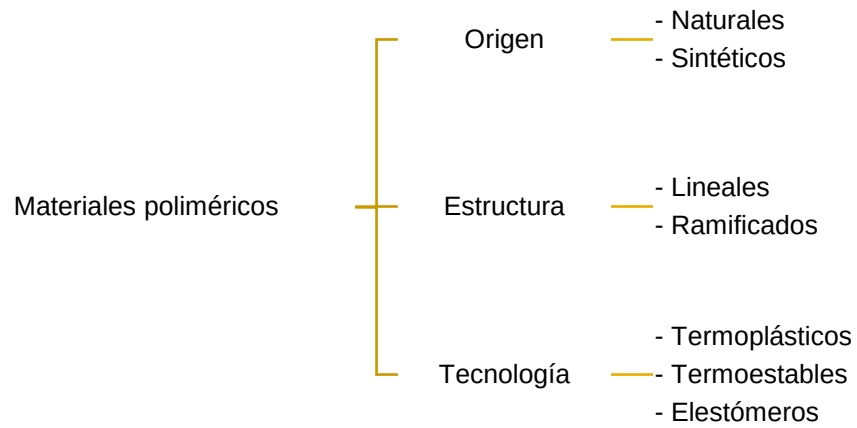


Diagrama 3. Clasificación de materiales poliméricos. Referencia del libro: *Ciencia de materiales para ingenieros*

En la ilustración 2 se muestra un ejemplo de los materiales poliméricos empleados en el campo de la construcción, son principalmente utilizados para la parte de las instalaciones.



Ilustración 2. Materiales poliméricos. Imagen tomada de la web para fines académicos

Estos materiales varían en sus propiedades según su composición, como propiedades generales podemos presentar las siguientes:

Propiedades químicas: Presentan una buena resistencia ante la corrosión, ataques químicos y pueden ser disueltos en el agua o en solventes orgánicos.

Propiedades físicas: Estos pueden llegar a tener un cierto grado de transparencia, son sólidos, presentan una baja densidad y permeabilidad, y al estar expuestos a altas temperaturas pierden resistencia.

Propiedades mecánicas: Al tener varias funciones, sus propiedades mecánicas pueden ser muy variadas según el tipo, pues pueden ser tanto plásticos como elásticos, hay algunos rígidos, que llegan a tener una buena resistencia ante impacto, y otros son frágiles, y pueden llegar a ser dúctiles o maleables.

Propiedades térmicas: Tienen una baja conductividad térmica, lo que los hace buenos aislantes térmicos y eléctricos.

1.4. Materiales compuestos:

La combinación de dos o más materiales, de los grupos metálicos, poliméricos y cerámicos, dan como resultado a los materiales compuestos. Lo que se busca es combinar las diferentes propiedades de los materiales para obtener propiedades nuevas y mejores que no se podrían dar en los materiales sencillos. Usualmente usando un material que funciona como refuerzo y otro como ligante.

Los materiales que se empleen para dicha composición deben ser visibles en el resultado final, es decir se deben poder distinguir de manera física, por lo que se debe evitar que estos se disuelvan o fusiones para no crear un material homogéneo.

Estos se pueden clasificar en:

- *Compuesto por matriz natural*, estos son dados de la naturaleza sin intervención del hombre, como la madera y el tejido animal y vegetal.
- *Compuestos por matriz cerámica*, que mejoran la resistencia y la tenacidad de las cerámicas tradicionales, un ejemplo de esto es el concreto.

- *Compuesto por matriz metálica*, suelen ser de alta resistencia y de una densidad más baja.
- *Compuesto por matriz polimérica*, son aquellos que mejoran las propiedades mecánicas, se les da un aumento de resistencia ante la corrosión y los ataques químicos.

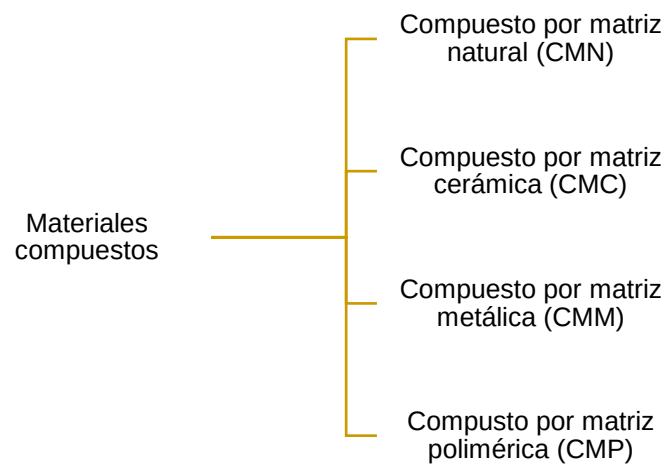


Diagrama 4. Clasificación de materiales compuestos. Referencia del libro: *Ciencia de materiales para ingenieros*

En la ilustración 3 se muestra un ejemplo de un material compuesto por matriz polimérica, que es la fibra de carbono, algunos de los usos que tiene es dentro de la industria automovilística y aeronáutica.



Ilustración 3. Fibra de carbono. Imagen tomada de la web para fines académicos

Propiedades químicas: Presentan una alta resistencia ante la corrosión y a los ataques químicos y electroquímicos.

Propiedades físicas: Son de baja densidad, y los materiales que lo componga deben ser visibles físicamente.

Propiedades mecánicas: Gracias a la combinación de materiales, se presentan compuestos de alta resistencia a la deformación y a la ruptura, además de que tienen una cierta flexibilidad con respecto a la forma.

Propiedades térmicas: Tiene buena resistencia ante las altas temperaturas y se presentan como buenos conductores térmicos y aislantes eléctricos.

1.5. Materiales cerámicos:

Son materiales solidos inorgánicos no metálicos que son expuestos a altas temperaturas para poder conseguir una *estructura cristalina*. Estos consisten en la unión de uno o más elementos metálicos, principalmente el silicio y el germanio, con uno o más elementos no metálicos como lo son el carbono, nitrógeno, oxígeno, fósforo, azufre y selenio, o con la unión de únicamente elementos no metálicos. Estos materiales ceramios están conformados por enlaces iónicos y/o covalentes, creando así su estructura cristalina (Güemes & Martín, 2012).

Estos se pueden dividir de la siguiente manera:

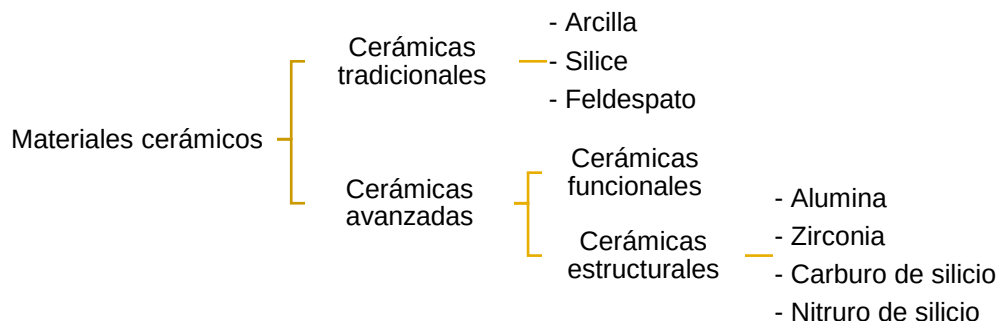


Diagrama 5. Clasificación de materiales metálicos. Referencia del libro: *Ciencia de materiales para ingenieros*

1.5.1. Cerámicas tradicionales:

Las cerámicas tradicionales están constituidas por materia prima, teniendo como componentes base a las arcillas, sílices y feldespatos, los cuales yacen en los depósitos naturales (Smith & Hashemi, 2006).

En base a estos elementos, su composición microestructural consta de granos gruesos y de alta porosidad, ya que estos no pasan por un control de impurezas, de hecho, su proceso suele ser más que nada artesanal.

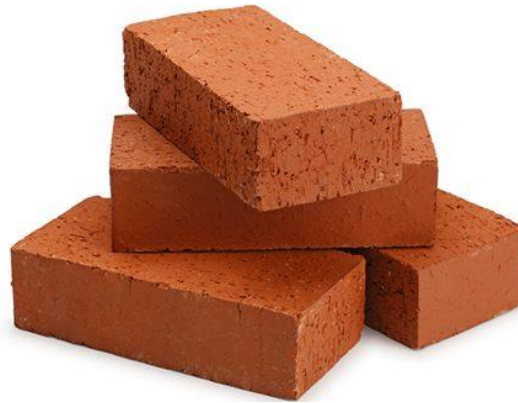


Ilustración 4. Ladrillo rojo recocido, ejemplo de un material cerámico tradicional. *Imagen tomada de la web para fines académicos*

Estas se pueden dividir como:

- Cerámica porosa.
- Cerámica compacta.
- Cerámica refractaria.

Las propiedades generales de estas cerámicas tradicionales son:

Propiedades químicas: Son materiales que presentan alta resistencia a la oxidación, la corrosión y a los ataques químicos.

Propiedades físicas: Son muchos menos densos que los metales, pero más que los poliméricos y son maleables en su estado previo a la cocción. Dependiendo de qué tipo de cerámica se esté trabajando, estas pueden ser porosas, permeables o impermeables.

Propiedades mecánicas: Son materiales duros, tienen una alta fragilidad, presentan un índice bajo de tenacidad y de ductilidad, son materiales plásticos antes de la cocción, una vez pasados por su proceso de cocción, estos ya no pueden ser deformados.

Propiedades térmicas: Presentan una conductividad térmica baja, por lo que son buenos aislantes tanto térmicos como eléctricos, son resistentes ante altas temperaturas, sin embargo, no presentan esa misma resistencia ante el choque térmico, provocando así la ruptura.

Como se mencionó anteriormente, las materias primas base que se tienen en las cerámicas tradicionales, son la arcilla, sílices y feldespatos.

Arcilla:

La arcilla la podemos considerar como el material más conocido y más antiguamente utilizado para la fabricación de los cerámicos, su uso más recurrente se encuentra dentro de las cerámicas porosas, donde se tienen materiales como los ladrillos, baldosas, tejas, adobes, entre otros.



Ilustración 5. Tejas elaboradas con arcilla. *Imagen tomada de la web para fines académicos*

Las arcillas son rocas sedimentarias, esto quiere decir que se trata de rocas que se forman gracias a la acumulación de sedimentos formados por partículas finas menores a 2 micras. Estas rocas al ser mezcladas con agua se vuelven una materia con un alto índice de maleabilidad y plasticidad, lo que nos permite moldearla en la forma que se requiera. Una vez que se ha secado, gracias a una exposición al calor, esta se endurece, creando un material con dureza, una resistencia a las fuerzas externas y dejan de ser plásticos, convirtiéndose así en cerámicos.

Estas pueden originar en medio marinos o lacustres, y se pueden clasificar en *arcillas primarias*, que son aquellas que se encuentran en el mismo yacimiento donde la misma se originó, es decir que no ha sido trasladada por el agua o por los vientos, y las *arcillas secundarias*, estas, a diferencia de las primarias, ya han sido desplazadas de su sitio de origen.



Ilustración 6. Material arcilla, rocas sedimentarias. *Imagen tomada de la web para fines académicos*

Otra manera de clasificarla es por sus usos, algunas de las que podemos encontrar son:

- Arcilla de bola.
- Caolín.
- Arcillas de gres.
- Arcillas refractarias.
- Arcillas de loza.

En la tabla 1 se pueden observar los principales minerales arcillosos utilizados para los materiales cerámicos, donde podremos observar que la arcilla se compone principalmente de silicatos de aluminio hidratados acompañados de otros óxidos.

Mineral	Formula química	Tipo de arcilla
Calcita	$CaCO_3$	Secundaria
Dolomita	$CaMg(CO_3)_2$	Secundaria
Caolinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Primaria
Illita	$(K, H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}$	Secundaria
Clorita	$(Mg, Fe)_3(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot (Mg, Fe)_3(OH)_6$	Secundaria
Vermiculita	$(Mg, Fe, Al)_3(Al, Si)_4O_{10}(OH) \cdot 4H_2O$	Secundaria
Óxidos de hierro	Fe_2O_3	Secundaria
Montmorillonita	$(Na, Ca)_{0,3}(Al, Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$	Secundaria

Tabla 1. Minerales arcillosos para materiales cerámicos. Referencia del artículo Galán, E. Aparicio, P. (s.f). *Materias primas para la industria cerámica*.

Sílice:

Se le conoce como sílice a la composición formada por el oxígeno y el silicio, otra manera de llamarlo es óxido de silicio (SiO_2). La sílice es un sólido vítreo, en su mayoría es incoloro o blanco e insoluble en agua, en forma de mineral se puede presentar como cuarzo, tridita y cristobalita.



Ilustración 7. Cuarzo, ejemplo de mineral de sílice. Imagen tomada de la web para fines académicos

La sílice la podemos clasificar por su forma presentada ante la naturaleza, en:

- *Puras*, donde se encuentran los minerales antes mencionados.
- *Arenas no consolidadas*, estas se presentan como la arena sílica, que es un material mineral desprendido de las rocas.
- *Rocas consolidadas*, que son las rocas de donde se puede obtener el material mineral compuesto por la sílice.

La utilización de este dentro de los materiales cerámicos es en la presentación del cuarzo, el cual también es su forma cristalina más abundante en el medio natural. Se puede encontrar como su forma “pura”, tal cual como es el cuarzo, o se puede obtener de rocas ricas en este mineral, las cuales pueden ser de rocas intrusivas, extrusivas o sedimentarias. Para la fabricación los cerámicos, el cuarzo se usa molido, es decir se debe hacer polvo. El uso más común de la sílice en los cerámicos es para la fabricación del vidrio, utilizando el cuarzo molido.



Ilustración 8. Cuarzo, ejemplo de mineral de sílice. *Imagen tomada de la web para fines académicos*

Feldespatos:

Este es un grupo de minerales que están formados a base de silicatos de aluminio, y pueden estar combinados con potasio ($KAlSiO_3$), sodio ($NaAlSiO_3$) o calcio ($CaAlSiO_3$). Los feldespatos suelen ser sólidos vitreos, pueden ser incoloros o blancos, e inclusive se pueden encontrar de tonos suaves de rosa, amarillo, verde o rojo.



Ilustración 9. Ortoclasa, ejemplo de mineral feldespato. *Imagen tomada de la web para fines académicos*

Los minerales que forman parte de este grupo y pueden ser utilizados para los cerámicos son ortoclasa, microclina y plagioclasas, y pueden ser obtenidas de pegmatitas y de arenas de descomposición de granitos y gneises.

Estos minerales feldespatos, se usan principalmente para la fabricación de materiales cerámicos vitrificados, dentro del campo de la construcción encontramos a los ladrillos, azulejos, baldosas, entre otros, creando así materiales con un índice mayor de resistencia ante los impactos y a la corrosión. Otros materiales vitrificados son, fuera del campo de la construcción, la procela sanitaria y eléctrica, utensilios, accesorio de plomería, entre otros.



Ilustración 10. Azulejo, como ejemplo de materiales de feldespatos. *Imagen tomada de la web para fines académicos*

1.5.2. Cerámicas avanzadas:

A diferencia de las cerámicas tradicionales, que como hemos mencionado se componen de materia prima en un estado sin control de pureza, las cerámicas avanzadas son productos obtenidos a partir de materia prima, natural o sintética, en un estado puro o casi puro, esto quiere decir que para su obtención se debe tener un control, tanto en la composición de la estructura, donde esta pasa por un proceso de sintetizado, como en su proceso de fabricación, que por lo general es un proceso ya industrializado. En su mayoría los compuestos de estas cerámicas son óxidos, nitruros y carburos, obteniendo así una microestructura de grano fino (Güemes & Martín, 2012).

Lo que se busca con este tipo de cerámicas, es mejorar las propiedades físicas y mecánicas de una cerámica tradicional, conservando o incluso mejorando las propiedades térmicas de estas.

Las propiedades generales de estas, con respecto a las cerámicas tradicionales, son:

Propiedades químicas: Presentan una mayor resistencia ante ambientes corrosivos y ataques químicos, incluso ante altas temperaturas.

Propiedades físicas: Tienen una densidad menor, son maleables previo a la cocción y son materiales no porosos e impermeables.

Propiedades mecánicas: Una vez que pasan por el proceso de cocción, se vuelven materiales plásticos, presentan niveles altos de dureza y rigidez, tiene una mayor resistencia ante la fractura.

Propiedades térmicas: Son resistentes ante las altas temperaturas, pueden o no presentar conductividad térmica y eléctrica, y son resistentes ante el choque térmico.

Se menciono anteriormente que estas cerámicas, están constituidas por compuestos de óxidos, nitruros y carburos, en su mayoría, los compuesto más comunes y utilizadas dentro de estas son:

Alúmina:

La alúmina es óxido de aluminio (Al_2O_3), que es una composición de oxígeno con aluminio, es de las materias más utilizadas dentro de la fabricación de estos cerámicos, este se puede encontrar en el medio natural en forma de los minerales corindón y esmeril.

Las propiedades que aporta la alúmina a las cerámicas es que es un material con baja densidad, con un bajo índice de dilatación, presenta una alta resistencia ante las altas temperaturas y a la corrosión, es un aislante eléctrico, tiene buena conductividad térmica, resistencia mecánica y alta dureza.

Al principio su uso más común dentro de los cerámicos era para la fabricación de tubos refractarios y crisoles, esto para poder contener a los materiales que se encuentran a altas temperaturas. Otros usos que se le ha dado en la actualidad son como aislante para las bujías, receptáculos, dentro del campo de la medicina y la odontología.



Ilustración 11. Crisoles de alúmina. *Imagen tomada de la web para fines académicos*

Nitrato de silicio:

El nitrato de silicio es la composición formada por la unión entre el nitrógeno y el silicio (Si_3N_4), y se obtiene a partir de la reacción entre amoníaco y cloruro de silicio. Es un material que se caracteriza por presentar una alta tensión mecánica tanto en

temperaturas elevadas como en temperaturas ambiente, siendo una de las materias más convenientes dentro de la cerámica avanzada, pues con respecto a la alúmina, el nitrato de silicio es mucho más resistente a las fracturas.

Aporta a las cerámicas fabricadas con él, una alta dureza, mayor resistencia ante la oxidación, corrosión y la abrasión ante temperaturas elevadas, resistencia al choque térmico, baja densidad e inercia.

Sus usos más frecuentes son para los componentes de motores de última tecnología, fabricando materiales cerámicos como rotores, turbinas de gas, válvulas, componentes de pistones, entre otros.



Ilustración 12. Rotores de nitrato de silicio. *Imagen tomada de la web para fines académicos*

Carburo de silicio:

El carburo de silicio es un compuesto artificial también conocido como carborundo, es un carburo refractario duro compuesto por carbono y silicio (SiC), este se logra obtener al sintetizar la arena de sílice y el carbono. Tiene una estructura muy similar al diamante, por lo que tiene una dureza excepcional, comparte propiedades muy similares con el nitrato de silicio, además de que trabaja como un semiconductor.

Al fabricar cerámicos con carburo de silicio se obtiene una menor densidad, una extraordinaria dureza y resistencia al choque térmico, a la oxidación y a la corrosión en temperaturas elevadas, estas propiedades químicas son mucho mayores al

nitrito de silicio, tienden a ser buenos conductores térmicos, sin embargo, su resistencia es un poco menor con respecto al nitrito de silicio.

Dada a sus extraordinarias propiedades térmicas, el uso común de las cerámicas fabricadas con este compuesto es para el recubrimiento de materiales que necesitan ser protegidos de temperaturas extremas, como pueden ser accesorios para horno o para componentes de motores, y otro uso es que sirve como un refuerzo fibroso ante materiales compuestos de matriz metálica.



Ilustración 13. Inyectores de carburo de silicio. *Imagen tomada de la web para fines académicos*

Zirconia:

La zirconia es óxido de zirconio (ZrO_2), el cual es un compuesto de oxígeno y zirconio, es posible obtener de manera natural este compuesto a partir de los minerales beddeleyita y zircón. Cuando este se estabiliza combinándolo con otros óxidos refractarios, se logra tener buenas propiedades mecánicas ante la temperatura ambiente.

Por lo general la cerámica de zirconia son de alta dureza, dentro de las cerámicas avanzadas este componente se ve reflejado como el más fuerte, a comparación de las demás cerámicas avanzadas, tiene una alta tenacidad, lo que quiere decir que tiene una buena resistencia ante la rotura, se comporta como un buen aislante

térmico y tiene un alto coeficiente de dilatación, lo que genera que uno de sus usos sea para unir un cerámico con un acero.

Este tipo de cerámicas se usan comúnmente para la fabricación de refractarios, componentes de motores que deben resistir la corrosión y a la temperatura, para piezas resistentes al desgaste, como lo son las hojas para cuchillos o tijeras, y actualmente se está usando para piezas dentales.



Ilustración 14. Cuchillo de zirconia. *Imagen tomada de la web para fines académicos*

1.5.3. Proceso de fabricación de los cerámicos:

La fabricación de los materiales cerámicos, tanto en las tradicionales como en las avanzadas, consisten en que los elementos que conformarán al material pasan por un proceso de unión para poder crear materiales compactos, esto se consigue elaborando una mezcla homogénea con dichos elementos la cual posteriormente pasara por un proceso de moldeado, para terminar en un tratamiento térmico en donde gracias a las altas temperaturas los elementos se podrán unir (Smith & Hashemi, 2006). Para poder visualizarlo o entenderlo de una manera más sencilla y clara, a este proceso de fabricación lo podemos comparar con el proceso de elaboración del pan.

Este proceso lo podemos dividir, de manera general, en los siguientes pasos:

- I. La preparación del material.

- II. El conformado.
- III. El tratamiento térmico.

I. Preparación del material:

Una vez conseguida la materia que compondrá al material, esta debe pasar por un proceso de preparación, el cual consiste en obtener partículas de la materia en un tamaño óptimo (Güemes & Martín, 2012). Para poder obtenerlas la materia debe ser molida, dando como resultado a un polvo homogéneo, este se puede obtener por diferentes procesos. En el caso de las cerámicas tradicionales, normalmente se utilizan molinos de bolas, estos son en donde se hace la molienda, mientras que, por otra parte, con las cerámicas avanzadas, para la obtención del polvo, se suelen usar técnicas químicas o equipos especializados para poder obtener un mayor control de pureza.

Posteriormente el producto obtenido pasa por un proceso de tamizado para seleccionar las partículas con el tamaño adecuado. Ya obtenido el polvo final, y para terminar la preparación del material, se procede a la compactación en seco o húmedo de estas partículas, esto se logra al agregar aglutinantes o aditivos, para esto es común que se agregue agua, formando así una masa homogénea.

II. Conformado:

Ya teniendo el material listo, se procede a la fase del conformado, esto quiere decir que pasara por un proceso de moldeado, en donde se dice que la materia está en estado "verde" (Güemes & Martín, 2012). Podemos tener distintas maneras de conformado, las cuales son por:

- Prensado.
- Moldeo de vaciado de suspensión.
- Extrusión.

Prensado:

Este método consiste en compactar la mezcla, ya preparada, por medio de someterle presión. Este proceso se puede hacer en condiciones secas, plásticas o húmedas, y se puede realizar en frío o en caliente, en frío es decir que se compactan los polvos y posteriormente se lleva a la cocción, mientras que en caliente el proceso de prensado y cocción es simultáneo, creando así piezas de altas densidad y con mejores propiedades mecánicas. Dentro de este método se pueden tener distintos tipos de prensados:

Prensado uniaxial:

Esta técnica consiste en ejercer presión en una sola dirección sobre el polvo obtenido, lo que quiere decir que es una compactación, dentro de un molde, de forma uniaxial, en donde se agregan cantidades pequeñas de agua (por lo general menos del 4%) o de aglutinantes orgánicos para que la masa sea más espesa y así tengan una mayor resistencia los materiales producidos (Smith & Hashemi, 2006). Como ejemplo para visualizarlo, este proceso podríamos decir que es similar a la preparación de las tortillas, en donde a la harina se le añade un poco de agua para crear una masa “firme” que posteriormente pasa a la prensa.

Con este método se pueden fabricar piezas uniformes con gran rapidez y precisión, es mayormente utilizado para la fabricación de refractarios estructurales y cerámicos electrónicos.

Las desventajas que este método puede llegar a presentar es que el tamaño de las piezas llega a ser limitado y puede haber variaciones de densidad.

Prensado isostático:

En este otro tipo de prensado, el polvo se introduce en un recipiente hermético flexible que va dentro de una cámara de fluido hidráulico, es decir, que este recipiente hermético se sumerge en un contenedor a presión lleno de agua a temperatura ambiente.

Una vez colocado el polvo, se aplica la presión para poder compactarlo en todas direcciones, de manera que se forme un producto final uniforme que logre tener la forma del recipiente en donde se colocó.

La ventaja que tiene este tipo de prensado es que la pieza puede tener formas muy variadas y complejas, gracias a la flexibilidad del recipiente, además de que por la presión se da una compactación de igual densidad homogénea entre las piezas. Es usual que con este método se fabriquen ladrillos, refractarios y bujías.

Moldeado de vaciado de suspensión:

Este proceso consta de crear una mezcla entre el polvo cerámico y un líquido, que por lo general es agua, que quede en un estado de suspensión. Esta mezcla obtenida se vierte en un molde poroso, generalmente hecho de yeso (Smith & Hashemi, 2006).

Dentro de este se pueden tener dos tipos de moldeo, por drenado o en sólido.

En el moldeo por drenado, una vez que la mezcla se ha vertido en el molde, se deja reposar para que la parte líquida de la mezcla, sea absorbida por el molde, para así poder formarse una capa firme en la superficie de este. Ya que esta capa se formó se procede a drenar el exceso de la suspensión, dejando así una pieza hueca.

A diferencia del moldeo por drenado, el moldeo sólido no requiere que la suspensión sea drenada, si no que solo se deja que el moldeo continúe para, valga la redundancia, obtener una pieza sólida.

Cual sea el moldeo empleado, se debe dejar secar la mezcla en el molde para que se gane una cierta resistencia que permita que la pieza sea retirada del molde de una forma sencilla y que posteriormente sea llevado a la cocción. Usualmente este método es funcional para la fabricación de piezas que requieran paredes delgadas con una forma compleja y de grosor uniforme.

Extrusión:

Como ultimo método de conformado tenemos la extrusión, que consiste en poder obtener piezas a partir de la materia en estado plástico, el cual se obtiene a partir de que a los polvos cerámicos se les agrega algún aglutinante (normalmente agua). Teniendo lista esta mezcla plástica se procede a pasarla a la cámara de extrusión, en donde a la materia se le fuerza el paso, ejerciéndole una presión, en un flujo continuo hacia la boquilla de salida, donde la pieza obtendrá la forma deseada, para posteriormente poder ser llevadas al proceso de cocción (Güemes & Martín, 2012). Este proceso es similar al que se tiene con las mangas y ducas pasteleras.

Con esta técnica podemos obtener secciones transversales que pueden llegar a ser huecas, teniendo así piezas de formas no complejas. Es común usar este método para poder fabricar ladrillos macizos o huecos, tubos, perfiles, entre otros.

III. Tratamiento térmico:

Este es el último y el más importante paso para la obtención total de un material cerámico, pues este tratamiento es para que el material termine de adquirir todas las propiedades que lo caracterizaran. Este tratamiento consiste en dos etapas, la del secado y la del cocido.

Secado:

Como se pudo ver durante cualquiera de los métodos de conformado, para que se pueda dar el moldeado del material, se le debe poner algún tipo de líquido aglutinante, debió a esto el material puede presentar exceso de líquido, lo cual no daría una cocción adecuada (Güemes & Martín, 2012). Por lo que el secado es el paso previo antes de exponer al material a altas temperaturas para la cocción, el cual consiste en eliminar ese exceso de líquido, esto se logra calentando a una cierta temperatura, la cual debe estar controlada, y dejándolo reposar durante un cierto tiempo ante dicha temperatura. Es necesario tener controlada la velocidad de

este proceso, pues en caso de que la pérdida sea muy rápida, el material se puede llegar a agrietar.

Por lo general para poder eliminar el exceso de agua el material puede estar expuesto hasta 24hrs ante una temperatura de 100°C o menor, y en el caso de aglutinantes orgánicos, el material se expone a una temperatura de 200°C o 300°C. Durante este proceso el material al perder humedad se contrae, disminuyendo de manera proporcional a la cantidad de líquido perdido (Smith & Hashemi, 2006).

Cocción:

La cocción es la segunda y última etapa del tratamiento térmico, esta consiste en someter al material a altas temperaturas para poder formar un producto cerámico sólido con una resistencia permanente. Se puede tener dos tipos de cocción, la sinterización y la vitrificación.

Sinterización:

La sinterización consiste en densificar a la materia que se encuentra en su estado “verde”, generando así un material en donde la porosidad se ve reducida. Esto ocurre cuando al material se le expone ante altas temperaturas, las cuales deben estar por debajo de su punto de fusión, provocando reacciones en estado sólido, donde las partículas, estando en un estado individual, se van uniendo con otras para poder crear partículas más grandes, a esto se le conoce como combinación por difusión. A medida que se van uniendo las partículas, se va formando una red de enlaces insoluble que lo que genera es una compactación del material.

Se puede realizar una sinterización reactiva, lo que cambia en este es que durante el proceso se hace circular un gas que reaccione para que este rellene los huecos que no se logran llenar por completo, haciendo así más denso al material. Este tipo de cocción es usual aplicarla en las cerámicas avanzadas.

Vitrificación:

En la vitrificación ocurre lo mismo que en la sinterización, sin embargo, en esta la materia contiene componentes que se encuentra en una fase vítrea por lo que el

material se puede llegar a exponer a temperaturas mucho más altas que en la sinterización. Esto se debe a que los componentes en fase vítrea actúan como fundantes, rellenando así los poros y reaccionando con componentes refractarios. Una vez que se enfrían los fundantes, se forma una estructura sólida vítrea que hace una unificación con los componentes no fundidos, generando así un material mucho menos poroso y de mejor calidad.

CAPÍTULO 2

EL ADOBE

Anteriormente se vio que hay distintos tipos de materiales, sin embargo, a pesar de que en esta época lo que predomina en el campo de la construcción son los materiales industrializados, es importante saber que estos no son la única alternativa para la construcción, pues estos son materiales que han ido evolucionado a partir de materiales utilizados desde la época prehispánica, como son la tierra, la piedra, la madera, entre otros que les proporcionaba la naturaleza.

Las técnicas en tierra han sido olvidadas y subestimadas, por lo que es importante hacer destacar que ha sido un material noble con la capacidad de enfrentar grandes retos que el tiempo le ha ido poniendo, es verdad que no se puede dejar solo en técnicas tradicionales, sin embargo, la fama que se le ha dado a este material y a sus técnicas, personalmente considero que no han sido las adecuadas, por lo que estamos perdiendo una gran parte de cultura e historia con respecto a esta arquitectura.

Enfocándonos en el adobe, en México ha sido un material que nos ha acompañado con el paso del tiempo en la construcción, este material actualmente se ha empleado mucho en las zonas rurales, un ejemplo es en Yecapixtla Morelos, lo que deja como consecuencia que el adobe quede como un material destinado solo para gente de bajos recursos, lo cual es un error, y se ha dejado de lado este gran material biodegradable y de grandes cualidades térmicas. Es imposible el negar que este material tiene varias limitaciones con respecto a la zona donde se quiere utilizar y también limitaciones constructivas. La consecuencia de dejar de lado este material es que no se le ha dado un estudio más a fondo acerca de cómo se puede adaptar a los nuevos medios, las nuevas temperaturas y a catástrofes naturales comunes, como lo son los sismos en México.

2.1. Antecedentes históricos.

El edificar surge desde la era prehistórica, cuando el hombre abandona los refugios naturales para poder establecerse en un sitio en específico en donde posteriormente realizaría diferentes tipos de actividades para garantizar su supervivencia.

Para poder generar los nuevos refugios, que más adelante se les conocería como viviendas, se empezó a utilizar la materia que se tuviese a la mano, que utilizada por mucho tiempo fue la tierra cruda en varias partes del mundo y por distintas civilizaciones. La tierra ha sido usada como un material de construcción desde hace 10,000 años, por lo que lo podemos considerarla como de los materiales más antiguos, se han aprovechado todas las virtudes de este para poder levantar construcciones que cumplieran con el objetivo principal que se necesitaba en un comienzo, que era el poder habitar y resguardarse de las amenazas del exterior que presentaba la naturaleza (Stevens, 1983).

Por lo que la tierra se puede considerar como el material madre de la construcción, ya que como se ha mencionado, desde el inicio de la construcción las personas han utilizado los materiales que tienen a su alcance para poder construir sus refugios, además de que es el material que más abunda en el planeta. Aparte de ser la técnica de construcción más antigua, es probablemente la más usada en todo el mundo, pues es un material bastante fácil de manipular, y al unirse con otros materiales naturales se logra formar uno mucho más resistente en varios aspectos.

De las técnicas más comunes empleadas en este tipo de material son (Yuste, 2016):

- *Adobe*: Mezcla de tierra arcillosa con arena y paja, de cuya mezcla se producen bloques macizos.
- *Tapial*: Muros de tierra compactada con un pisón entre dos tabloncillos.
- *Bloques de tierra comprimidos (BTC)*: Son ladrillos que se obtienen a través del prensado, y tienen un índice bajo absorción de agua.
- *Cob*: Piezas de tierra cortadas del suelo que se mezclan con agua y paja y son moldeadas a mano.

- *Revestimientos:* La mayoría de las veces se trata de morteros de barro.

Es importante mencionar que estas técnicas de construcción con tierra no tienen como base conocimientos tan técnicos y elaborados, pues son conocimientos básicos de la construcción, que hacen que la mayoría de estas sean obras de la autoconstrucción. Son técnicas empleadas que se han transmitido en generaciones de los mismos habitantes, de hecho, la arquitectura con tierra se puede llegar a considerar como construcción popular.

Durante mucho tiempo la tierra era el material utilizado para grandes construcciones, con el paso del tiempo se ha reducido para construcciones comúnmente de vivienda o espacios de reunión de proporciones no muy grandes. De alguna manera se le ha dado una mala fama en esta época a la arquitectura de tierra, o para ser más específicos al material en sí, pues hoy en día se han puesto a la cabeza de la construcción materiales industrializados, como lo son diferentes tipos de tabique, el concreto, el acero, entre otros., mientras que la tierra se ha dejado de lado, dándole la fama de ser un material pobre y para zonas rurales, un material que se deja a la vista como algo de baja calidad. Es cierto que con el tiempo este material ha empezado a carecer características que se buscan en la actualidad, como puede ser una resistencia mayor a los sismos, obtener claros más grande y alturas mayores sin correr el riesgo de que la construcción se venga abajo.

Sin embargo, la tierra tiene muchas ventajas como material, pues este es un material sustentable, ya que no altera de un modo significativo el medio en el que se lleva a cabo la construcción, además de que se tiene un bajo costo en las construcciones, tiene un buen aislamiento térmico y no se requiere de un proceso energético para su elaboración y/o transformación (Meraz L, Guerrero L, Soria J, 2010).

Ahora bien, de las técnicas de tierra antes mencionada, la más utilizada, y la que nos importa en este trabajo, es el adobe. El adobe surgió en el octavo milenio en construcciones neolíticas en el Jericó, siendo uno de los materiales “primitivos” que

hasta la fecha se sigue empleando, esto debido principalmente por su accesibilidad, bajo costo y fácil manejo, y es importante mencionar que no perjudica al medio, es un material sustentable, que es algo que hoy en día es muy importante de tomar en cuenta en la arquitectura nueva (Meraz L, et al., 2010).

Al principio la técnica consistía en bolas de arcillas que eran puestas como base para poder hacer construcciones ligeras, posteriormente se comenzó a hacer con el adobe viviendas redondas, para finalmente pasar a las viviendas y edificaciones que conocemos hechas con los ladrillos de adobe (Stevens, 1983).



Ilustración 15. Ciudad de Chan Chan, Perú. La ciudad más grande de adobe en América.
Imagen tomada de la web para fines académicos

La forma en la que se emplea el adobe, es decir, su técnica, las medidas, el uso, han ido variando con el paso del tiempo, y esto va dependiendo del sitio y la cultura que lo estuviera empleando, por lo que no es un material que tenga una “formula” precisa, ya que su elaboración y uso se puede decir que pasa de generación en generación. La evolución que se ha ido dando para el adobe, es causada para poder enfrentar de mejor manera los puntos débiles que este presentaba ante varios factores.

Con el paso del tiempo, como se mencionó anteriormente, el adobe ha logrado permanecer como un material de uso en la actualidad, sin embargo, al quedarse “estancado” en su forma tradicional, no logra ser un material para considerar de uso

común para las nuevas edificaciones, pues es un material que debe evolucionar conforme a las nuevas necesidades que se van dando con el tiempo, por lo que su técnica y producción debe mejorar. Pese a todo esto es un material que no se puede hacer de lado, dejándolo como un material pobre y olvidado, pues si bien requiere mejoras podemos ver que es un material noble, ya que varias construcciones de adobe han prevalecido hasta la fecha. Hay una frase que me parece muy acertada sobre las construcciones de este tipo, se trata de una inscripción de una pirámide de tierra cruda, citada por Stevens (1983) “No me desdeñen cuando me comparen con las pirámides de piedra: estoy tan por encima de ellas como Júpiter lo está por encima de otros dioses, porque fui construida con ladrillos hechos de barro que salía den fondo del lago”.



Ilustración 16. Zona arqueológica de Paquimé, México. *Imagen tomada de la web para fines académicos*

2.2 El adobe y su composición.

Como se mencionó con anterioridad, el adobe es una técnica de construcción basada en tierra cruda, dentro de estas técnicas esta es la de mayor difusión debido a su sencillez tanto de producción como de aplicación.

A la técnica del adobe la podemos definir, de una manera sencilla, como la fabricación de bloques macizos/ladrillos de una mezcla de barro con paja, que posteriormente son secados al sol.

De forma tradicional el bloque de adobe se compone de:

1. Suelo:

El suelo o tierra es el componente, de materia prima, principal dentro del adobe. Es muy importante conocer el suelo con el que se trabajará, pues un suelo que sea carente de ciertas especificaciones requeridas se verá reflejado en un mal comportamiento del adobe.

El suelo es la capa superior de la corteza terrestre, y este se compone de elementos gaseosos, líquidos y sólidos. Los elementos gaseosos y líquidos son el aire y el agua, los cuales cumplen la función de llenar los espacios que quedan entre los elementos sólidos, los cuales son los minerales que le dan la forma al suelo.

Esta fase mineral se trata de partículas de distintos tamaños que encontramos en la composición del suelo, las cuales son grava, arena, limo y arcillas. Donde la grava es la de mayor tamaño y la arcilla es la de menor tamaño. Dentro de estas la grava y la arena son consideradas como materiales de relleno e inertes, siendo los elementos que dan estructura y resistencia, mientras que el limo y la arcillas son materiales de cohesión, es decir que son los que dan la unión con otras partículas y elementos al interactuar.

Tipo de suelo	Tamaño de partícula
Grava	Mayor de 2 mm
Arena	Entre 0.02 y 2mm
Limo	Entre 2 y 20µm
Arcilla	Menor de 2µm

Tabla 2. Diámetros de partículas de suelo. Referencia del libro: Proyecto regional de patrimonio cultura y desarrollo PNUD/UNESCO (1983). *El adobe: Simposio internacional y curso sobre conservación del adobe*. Perú: ICCROM

Para obtener el adobe funcional y tradicional que conocemos, es necesario que el suelo utilizado este lo más libre de impurezas posibles, es decir que se trata de retirar restos de plantas o animales, piedras, entre otras cosas, y deberá contar con dos elementos uno que sirva de relleno y uno como aglutinante, pues la interacción de materias con estas características genera una mezcla que puede ser plástica y resistente, estos elementos serán **la arena y la arcilla**.

La arena y la arcilla son las partículas indicadas, pues se busca tener una mezcla homogénea y de fácil manipulación, al mezclar la arena y la arcilla se obtiene esta masa de la que se habla, las proporciones de arcillas y arena varían según el sitio, la costumbre, etc., por lo que no hay una regla de proporción exacta como tal, sin embargo, aunque los porcentajes de material pueden variar, la mezcla debe ser más arena que arcilla y el promedio de porcentaje puede ser 60 – 80% de arena y 20 – 40% de arcilla, se debe poner más arena porque esta es la que le dará estructura y resistencia al adobe, mientras que la arcilla solo le dará la plasticidad y la unificación a todos los elementos empleados para el adobe. Es importante mencionar que en algunos casos también se llegan a emplear cantidades pequeñas de limos (Chiari, 1983).



Ilustración 17. Suelo de arenas y arcillas. *Imagen tomada de la web para fines académicos*

Para poder tener control y conocer mejor el suelo con el que se trabajara, se realiza un análisis de granulometría, este método consiste en separar las partículas que no

nos aportaran algo al adobe. Es separar gravas y limos de la mezcla de arena y arcilla, este procedimiento es en seco y es bastante sencillo, para las partículas más grandes, que son la grava y la arena, se utiliza granulometría por tamizado, y para las partículas más pequeñas, que son de limos y arcilla, se utiliza la granulometría por sedimentación.

Y una vez mezclados estos elementos se agrega el agua hasta que se obtenga el barro. Es importante controlar la cantidad de agua que se le ponga a la mezcla, ya que el exceso de agua puede provocar que la pieza se contraiga al momento del secado, lo que llega a provocar fisuras / fracturas. Y si se tiene una carencia de agua, eso afecta el proceso de moldeado, por la falta de plasticidad y cohesión que se pueda generar.

Al momento de la incorporación del agua se deberá tomar en cuenta que la propiedad de plasticidad que tiene la arcilla va a ser caracterizada y dada por el límite líquido y el límite plástico. Donde el *límite líquido (LL)* representa la cantidad de agua requerido para pasar del estado semilíquido al estado plástico y viceversa, mientras que el *límite plástico (LP)* representa la cantidad de agua requerido para pasar del estado plástico al estado semisólido y viceversa. El resultado de estos dos factores da el *índice de plasticidad* (Alva, Teutónico, 1983).

A este tipo de análisis se le conoce como de *límites de Atterberg*, el cual nos ayuda a entender el comportamiento del suelo.

2. Fibras:

Por si sola la mezcla de arcilla y arena llega a ser inestable, pues al momento del secado esta puede presentar dilatación o contracción, para evitar esto y lo que se recomienda y hace es agregarle a la mezcla cantidades de fibras.

Al añadirle fibras estas se adhieren a la mezcla y se forman una especie de “redes”, esto ayuda que haya un aumento de cohesión, las cuales actúan como una *articulación* que ayuda a controlar el desplazamiento ante sismos, la dilatación y

contracción al momento del secado, evitando que se agriete y mejore la resistencia a corte, compresión y flexión (Arteaga, Gutiérrez, Humberto, 2011).

Este agregado de fibras lo podemos ver como el primer “mejoramiento” que se le realiza al adobe, considerando a esta mejora como una estabilización física, pues estas fibras ayudan a darle estabilidad al volumen.

La fibra más común dentro de la composición del adobe es la paja, sin embargo, no es la única que se puede agregar a la mezcla, pues las fibras pueden ser de origen animal o vegetal. Las más comunes dentro de las de origen vegetal encontramos paja, pasto, viruta o ceniza de madera, tallos y cascara, y lo más comunes de origen animal encontramos lana, excremento y pelo. La fibra que se elija deberá tener el mismo objetivo, es que darle más estabilidad al adobe.

2.3. Proceso de fabricación.

El adobe tradicional tiene un proceso de fabricación bastante sencillo y económico, lo que provoca que sea un material muy accesible. Es un proceso que no requiere de materiales prefabricados o de equipo especial para su elaboración. Consiste en elaborar una mezcla, con los elementos antes mencionados, que posteriormente será moldeada para pasar a un proceso de secado, dando como resultado los bloques compactados de adobe que conocemos. Podemos dividir este proceso en los siguientes pasos:

- I. Obtención de la tierra.
- II. Preparación de la mezcla.
- III. Conformado.
- IV. Secado.

I. Obtención de la tierra.

Como se mencionó anteriormente el adobe es elaborado con tierra (arena y arcilla) la cual, comúnmente, se consigue en el mismo sitio en donde se planea levantar la

construcción. Será importante hacer una buena elección del suelo con el que se trabajara, pues un suelo que no cumpla con las características requeridas para el adobe puede generar una baja resistencia y un fácil agrietamiento.

Esta es extraída retirando la capa superior de la tierra, es decir, nuestro suelo óptimo para la fabricación de adobe se obtiene en la capa intermedia, la cual normalmente esta entre los 50cm a 2m de profundidad. Por lo general se trata de tierra de un color claro, se puede diferenciar de la capa superior ya que esta llega a ser de un color oscuro (Guerrero, 2007).



Ilustración 18. Método de extracción de la tierra de forma manual. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

II. Preparación de la mezcla.

Una vez que la tierra ha sido seleccionada y se ha preparado, es decir se ha “limpiado” retirando piedras, desperdicios y restos de plantas y animales, se procede a realizar la mezcla de barro. De forma tradicional la tierra es apilada en el sitio, donde se mezcla la arcilla y la arena hasta lograr una mezcla lo más homogénea posible entre estas dos partículas, durante este mezclado se agrega la fibra seleccionada (tradicionalmente paja), tanto la tierra como la fibra deben estar en seco.

Ya que la mezcla en seco esta lista, se le incorpora el agua, es decir, se humedece para que las partículas y la fibra se unan, obteniendo así una mezcla de constancia pastosa que da como resultado ser una mezcla de barro. Todo este proceso de mezclado, en la forma tradicional, puede ser de manera manual o con la ayuda de animales.



Ilustración 19. Barro para la elaboración de adobe. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

III. Conformado.

Cuando la mezcla de barro se tiene lista, es momento de que pase por el proceso de moldeado, el cual consiste en colocar el barro en un molde, que puede ser de madera o en algunos casos de metal, donde será compactado lo mejor posible. El tamaño de los moldes varia dependido de las zonas y las costumbres que se tengan.

En el momento en que ya se tenga perfectamente comprimido el barro, se procede a desmontar el molde, podríamos decir que se realiza un vaciado. Para esto el molde, previo a la colocación del barro, debe ser humedecido y espolvoreado con un poco de arena para que sea sencillo el desmoldado. Será importante que el bloque comprimido se desmolde de manera cuidadosa para evitar los mayores daños posibles al mismo, además de que durante el desmoldado el bloque no debe presentar deformación ni agrietamiento, si esto pasa significa hay un exceso o una falta de agua.



Ilustración 20. Moldeado del adobe. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

IV. Secado.

La superficie en donde sean desmoldados y colocados los bloques, deberá ser una superficie plana, libre de impurezas y que no absorba demasiada humedad, normalmente se le espolvorea arena en la superficie donde serán colocadas las piezas.

El secado es el último paso para que los bloques de adobe estén listos, este consiste en colocar los bloques en una superficie que se encuentre a la intemperie para poder ser secado al sol, se debe tomar en cuenta que una cantidad excesiva de sol puede provocar un secado brusco, lo que puede generar agrietamiento, por lo que en muchas ocasiones se recomienda tener un tipo de cubierta.

Ya colocados los bloques en la superficie de secado, aproximadamente de 3 a 5 días las piezas pueden ser colocadas en canto, esto para un secado más rápido y uniforme. Posteriormente para que el secado este completo y las piezas estén listas para ser usadas, en esta posición se debe dejar pasar un tiempo de aproximadamente 3 semanas (Ruiz, 2019).



Ilustración 21. Secado del adobe. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

2.4. El adobe como material.

En un inicio se habló sobre la clasificación de los materiales, dentro de los cuatro grupos de materiales que se presentaron, metálicos, cerámicos, poliméricos y compuestos, el adobe lo clasificamos como un material de tipo cerámico. Sabemos que los cerámicos son productos obtenidos a partir de un proceso térmico, el adobe no pasa como tal por un proceso térmico, pues anteriormente se mencionó que ese proceso consiste en el secado y en el cocido. El adobe si pasa por el proceso del secado, sin embargo la parte del cocido no se presenta, pues este sólo se deja secar al sol, a la intemperie, para que logre formar su estructura cristalina.

Al ser un material cerámico y de tipo tradicional, podemos decir que cuenta con las siguientes propiedades:

Propiedades químicas: Tiene resistencia ante la corrosión y los ataques químicos.

Propiedades físicas: Es un material poroso lo que hace que sea muy sensible a la humedad, esto debido a que los espacios vacíos que quedan en el adobe son un conducto en donde el agua lo puede llegar traspasar, debido a esto cuenta con una alta capacidad de absorción de agua, dando como consecuencia que sea un

material permeable. Su nivel de absorción llega a variar entre 0% a 4% (Moscoso, s.f).

Propiedades mecánicas: La mezcla previa al secado, es bastante plástica y maleable, una vez consolidado el adobe, se convierte en un material duro y con un alto índice de fragilidad, por lo que tiene un índice bajo de ductilidad y tenacidad.

Propiedades térmicas: Una de sus características principales y mejor conocidas, es que el adobe tiene una baja conductividad térmica, lo que lo hace un buen aislante térmico, además de acústico, el material puede llegar a presentar un coeficiente de dilatación debido a la temperatura y a su capacidad de absorción.

Todo material tiene factores que lo pueden llegar a dañar y a deteriorar, en el caso del adobe son los siguientes, principalmente (Chiari, 1983):

1. *Agua:* Al ser un material con gran capacidad de absorción, las lluvias o cantidad considerables de agua, pueden llegar a causar que el adobe tenga agrietamiento, erosión y disgregación. Esto da como consecuencia que la pieza pierda estabilidad, resistencia y durabilidad.
2. *Movimientos telúricos:* Pueden llegar a provocar grietas estructurales, y en el peor de los casos el colapso completo de la construcción. Esto se lo podemos ver como una consecuencia de su baja resistencia y alta fragilidad, esto en relación con los poros que quedan en la estructura interna de la pieza, es por ello por lo que de igual forma no es conveniente tener construcciones verticales de este material.
3. *Sales solubles:* Es importante que el agua que este dentro de la composición del adobe no presente grandes cantidades de estas sales, pues en caso de que se presente evaporación, estas pueden llegar a causar eflorescencia y exfoliación, debilitando así al material.
4. *Plantas y animales:* Las plantas pueden llegar a crecer en la estructura, provocando grietas y fisuras, y en el caso de los animales como pájaros,

insectos y roedores, llegan a hacer huecos en la estructura para poder hacer sus nidos.

2.5. Ventajas y desventajas.

El adobe tiene sus cosas buenas y sus cosas malas, las cuales se puede ver a partir de como el adobe se comporta como material.

Ventajas:

1. *Material accesible:* Ya que los elementos para su elaboración, es decir la tierra y la fibra, se pueden obtener en el mismo sitio en donde se ejecuta la construcción.
2. *Bajo costo:* Esto debido a que el material se obtiene en el mismo sitio y que el proceso de elaboración puede ser realizado de manera sencilla y sin el uso de maquinaria especial.
3. *Baja contaminación ambiental:* Al usar materiales orgánicos y ya que su elaboración no requiere de un proceso industrializado, el impacto que genera al ambiente es casi nulo.
4. *Aislante térmico y acústicos:* Esto nos ayuda a regular las temperaturas que se den en la zona, ayudando a que no se genere un consumo de energía excesivo, pues esto evita el uso de aparatos de acondicionamiento.
5. *Técnica de construcción:* Es una técnica que no necesita de conocimientos de construcción avanzados ni de una ejecución especial, por lo que lo hace una de las técnicas más usada para la autoconstrucción.

Desventajas:

1. *Vulnerable a la humedad:* Esta es la desventaja más grande que tiene el adobe, pues es un material que tiene un alto índice de absorción, provocando que el material se debilite y presente fallas estructurales.

2. *Vulnerable a los sismos*: Son construcciones sensibles a los movimientos telúricos, esto se debe principalmente a su baja resistencia, a su fragilidad y a su elevado peso.
3. *Tiempo de fabricación*: El tiempo de elaboración de los adobes es tardado, pues el proceso tarda aproximadamente un mes.
4. *Construcción vertical*: Debido al peso que las piezas tienen, no es recomendable para construcciones que busquen grandes alturas. Estas construcciones son por lo general de un piso.

2.6. Adobe estabilizado.

El adobe como podemos ver presenta problemas que llegan a ser graves para tener una construcción óptima, como todo material este debe evolucionar y mejorar según sus problemáticas y fallas. Desde los inicios del uso del adobe se puede ver que se han usado *estabilizadores*, pues en la era prehispánica se añadían diferentes componentes orgánicos, como es el caso de la paja, ya que, si tomáramos el adobe como un material compuesto solo de arcilla y arena, este no tendría la misma resistencia y estabilidad necesaria para ser un material de construcción.

Con el paso del tiempo es evidente que el adobe tradicional ya no puede cumplir con las necesidades y expectativas que se requieren actualmente, es aquí en donde se hace presente el llamado *adobe estabilizado*, este consiste en mejorar la matriz del material, y esto se logra mejorando la durabilidad, la resistencia a compresión y a la humedad, es decir, es darle *estabilidad al volumen* (Benites, (2017).

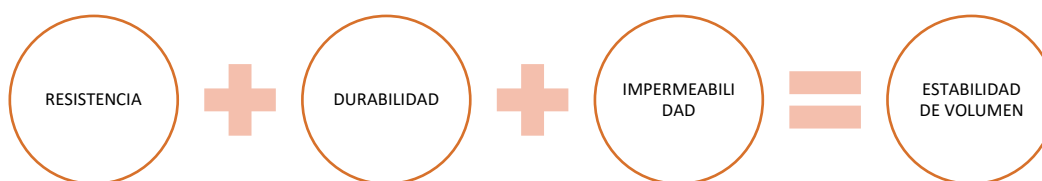


Diagrama 6. Aspectos de adobe estabilizado. Referencia de la tesis: Benites, V. (2017). *Adobe estabilizado con extracto de cabuya (Furcraea andina)*. Perú: Universidad de Piura

2.6.1. Tipos de estabilización.

Esta estabilidad al volumen se puede dar por medio de estabilizadores de origen mineral, natural o sintético, cada uno de estos da como resultado distintos tipos de estabilización, los cuales se pueden dividir en (Amoros, 2011):

1. *Estabilización física*: Estos tipos de estabilizadores lo que buscan es mejorar los aspectos físicos del volumen, es decir, darle una forma más estable físicamente al adobe, y esto se hace por medio de un “cambio” en su textura, hay dos maneras en las que esta estabilización se puede dar:

- *Por granulometría*: Esto se lleva a cabo cuando la tierra está presentando una carencia de cohesión, así que para mejorar esta situación lo que se hace es generar un equilibrio de partículas, agregando diferentes cantidades de cada una para que se obtenga una mezcla optima, podemos decir que básicamente es el tener una mezcla con tierras que estén bien estudiadas y analizadas, y cuidando las cantidades que tendrán, pues una buena mezcla de tierra va a hacer que el adobe tenga “cuerpo”.
- *Por fibras*: Como se mencionó anteriormente, las fibras lo que harán es crear una especie de red interna, lo cual evitara que la pieza presente desplazamiento, dilatación y retracción, funcionando como un *estabilizante por ficción* (García, 2017).

2. *Estabilización química*: Se busca modificar la estructura granular del adobe, por lo que estos hacen es aumentar la cohesión, disminuir la plasticidad y la permeabilidad. Algunos de estos tipos de estabilizadores pueden ser:

- *Para aglutinar y disminuir la plasticidad*, que es aquí en donde encontramos a los *estabilizantes consolidantes*, que tienen como principal objetivo el ayudar a tener de una mejor aglutinación (García, 2017).
Algunos de estos son: Polímeros vegetales, proteínas animales, cal, cemento, yeso, etc.
- *Para la impermeabilidad*, a estos estabilizadores los llamamos *estabilizantes por impermeabilización* que lo que buscan es crear una capa protectora

alrededor de las partículas de tierra para que el suelo pueda tener un mejor control al contacto con el agua (García, 2017).

Algunos de estos son: Asfalto, grasas animales y vegetales, aceites naturales, resinas, cal, cemento, yeso, etc.

3. *Estabilización mecánica*: Esto consiste en aumentar la compactación del adobe, lo cual se logra por medio de la compactación. La compactación se logra al aplicarle fuerza/energía al suelo, lo que provoca esta acción es que se eliminan, en medida de lo posible, los espacios vacíos, es decir, los poros, lo que da como resultado que haya un aumento de densidad en el material, esto ayudara a mejorar la capacidad de carga y a reducir la contracción y la absorción de agua.

Algunos de los tipos de compactación que hay son:

- *Por amasado*: Esto se hace por medio de presiones elevadas, las cuales son dadas como un tipo de aplanado.
- *Por impacto*: Se lleva a cabo con un método de golpes repetitivos a gran frecuencia.
- *Por vibración*: Se emplean vibraciones de alta frecuencia, las cuales son transmitidas de manera directa al suelo.
- *Por presión*: También conocida como *compactación estática*, se realiza por medio de maquinaria, lo que sucede es que se ejerce presión directa para obtener una compactación total de todas las partículas que compongan el suelo.
- *Dinámica*: Esta se logra hacer por medio de impactos que son obtenidos de la caída de una “masa” sobre la superficie del suelo.

2.6.2. Estabilizadores empleados en el adobe.

1. Polímeros:

Como vimos, los polímeros son materiales que están compuestos por macromoléculas, y estos pueden ser tanto naturales como sintéticos.

Lo que hacen estos, al ser un añadido del adobe, es que disminuyen la permeabilidad y la porosidad. El polímero funciona como una capa que recubre a las partículas de tierra, disminuyendo así la absorción del agua lo más posible, y al llenar los poros vacíos da como consecuencia que el adobe se haga más denso, aumentando así su resistencia (Benites, 2017).

Los polímeros se pueden añadir de dos maneras, una es en forma de que la polimerización, que es el proceso que forma a los polímeros, se haga dentro de la mezcla, es decir que se añaden monómeros y un catalizador, y la otra manera, que es la más sencilla, es añadiendo a la mezcla el polímero ya formado en el estado que se encuentre (Alday, 2014).

Según con los efectos que causan en la tierra, a estos los podemos considerar como una estabilización química. Algunos de los polímeros que se han llegado a emplear como estabilizantes en el adobe, o en la tierra en general, son:

Proteínas animales:

Las proteínas animales que sirven como estabilizante son la leche, la sangre y el huevo, estos se presentan como estabilizantes consolidantes, es decir, que ayudan aglutinar mejor a la mezcla y también son estabilizantes impermeabilizantes, pues ayudan a crear una capa protectora en las partículas.

Grasas de origen animal o vegetal:

Como sabemos, las grasas y aceites son elementos que repelen el agua, por lo que la principal aportación al incorporálas a la tierra, es que crean la capa protectora sobre las partículas de la que hemos hablado, lo que hace que la impermeabilidad aumente, disminuyendo así la capacidad absorción de agua. Otras aportaciones de las grasas y aceite, es que mejoran la resistencia mecánica y aumentan la densidad (Alday, 2014).

Caucho natural/Látex natural:

El caucho natural se presenta como una emulsión lechosa obtenida a partir de la savia de las plantas, y tiene un aspecto semisólido y elástico. La principal mejora que tiene el adobe con respecto este material, es que aumenta su resistencia ante al agua, es decir, lo hace más impermeable (Benites, 2017).

También se ha llegado a presentar el caso de utilizar el caucho sintético, este como un tipo de fibra, obtenido a partir de los neumáticos, en este caso la mejora que se presenta es que hay un aumento de resistencia a la fuerza se compresión y al agua (Mantilla, 2018).



Ilustración 22. Caucho natural y caucho artificial. *Imágenes tomadas de la web para fines académicos.*

Resinas naturales:

Las resinas son productos que se pueden extraer de árboles y plantas, físicamente la podemos describir como una secreción de textura entre pastosa y sólida, un ejemplo de estas resinas es el ámbar.

En el adobe las principales cualidades que este estabilizante aporta son una mejora ante la permeabilidad y la absorción de agua, esto debido a que es un material con resistencia al agua, además de que presenta un rápido fraguado (García, 2017).

Las desventajas son que no siempre se hace presente la resistencia ante el agua, es un material costoso debido a que su proceso de obtención es bastante elaborado.



Ilustración 23. Resina natural. *Imágenes tomadas de la web para fines académicos.*

Resinas acrílicas:

La resina acrílica es un polímero de origen sintético, es un aditivo que, en su uso común, sirve para aumentar la capacidad adherente en mezclas de cemento, morteros y concretos. Otras de las cualidades que tiene este material es que mejora las propiedades mecánicas y disminuye la permeabilidad.

Debido a estas características, el adobe mejora en su resistencia a compresión y disminuye su permeabilidad, sin embargo, se ha presentado el caso en donde la resina queda en la superficie de la pieza, creando una especie de capa que posteriormente llega a desprenderse, esta reacción la podríamos considerar como un rechazo por una falta de compatibilidad entre la resina y la tierra (García, 2017).



Ilustración 24. Resina acrílica. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

Goma de tuna y mucilago de nopal:

La goma de tuna y el mucilago de nopal son sustancias viscosas muy semejantes, se han empleado principalmente en los morteros que son utilizados como revoques para poder proteger muros y cubiertas. Ambos presentan, de forma general, las mismas cualidades, la principal es aumentar la impermeabilidad.

Sin embargo, al usarlos como estabilizadores del adobe, lo que hacen, además de aumentarle la impermeabilidad, es que también ayudan a aumentar su resistencia ante la compresión y la flexión (Bolaños, 2016).



Ilustración 25. Obtención del mucilago de nopal. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

Asfalto:

El asfalto es un material que comúnmente es utilizado para pavimentar calles o revestir muros y techo, su función principal es el impermeabilizar.

En el adobe, este material actúa como un estabilizante para aglutinar, aumentando así la cohesión en la mezcla, y como impermeabilizante, disminuyendo el grado de absorción de agua. Además de que se han notado algunas mejoras sobre la capacidad de carga, ya que hay un aumento de resistencia a la compresión y de resistencia al desgaste y la rotura, esto se da como consecuencia del aumento de cohesión e impermeabilidad (Vilela, 2010).

El asfalto de uso tradicional, físicamente lo encontramos como un tipo de gravilla, y se ha recomendado que en caso de querer incorporarlo al adobe es mejor hacerlo en forma de emulsión, pues esto facilita el mezclado y da mejores resultados (Arteaga & Loja, 2018).



Ilustración 26. Asfalto y emulsión asfáltica. *Imágenes tomadas de la web para fines académicos.*

2. Fibras:

Las fibras son un estabilizante físico por fricción, ya que como hemos dicho controlan el desplazamiento, la dilatación y la retracción de la pieza.

Algunas de las fibras que se han utilizado como estabilizantes en el adobe son:

Paja:

La paja es la fibra más utilizada en la elaboración de adobe de manera tradicional, pues es un material sencillo de obtener y puede ser de cualquier tipo de cosecha. Esta ayuda a que no haya un agrietamiento durante y después del secado, además de que ayuda a acelerar ese proceso.



Ilustración 27. Paja. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

Excremento de animal:

El excremento lo consideramos como un tipo de “fibra”, debido a que contiene partículas fibrosas. Aunque ha sido un material empleado para estabilizar el adobe, no presenta grandes mejoras, pues reduce la resistencia a compresión, de manera muy insignificante ayuda a la resistencia contra el agua. Se ha llegado a proponer el sustituir el agua con orina, pues esta tiene propiedades que ayudan contra el agrietamiento y aumenta la resistencia a la erosión, otra ventaja que tiene el usar estos elementos, es que ayudan a repeler a los insectos (García, 2017).

Por razones higiénicas y culturales, en algunas ocasiones, se ha tenido que descartar este tipo de estabilizador.

Viruta / Aserrín:

La viruta y el aserrín son elementos residuales que se obtienen al cepillar o cortar madera. La diferencia entre estos dos elementos es el tamaño de las partículas, ya que la viruta es de un tamaño más grande y se trata de formas laminares curvadas o espirales, mientras que el aserrín es de un menor tamaño y se presenta en forma de “polvo”.

En ambos casos estos elementos ayudan a la retracción del material, además de que llegan mejorar la resistencia a compresión (Arteaga & Loja, 2018).



Ilustración 28. Viruta de madera. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

Fibras de coco:

Esta propuesta se realiza para aprovechar el material fibroso que se puede obtener en los sitios costeros, que es donde se puede encontrar una gran cantidad de restos del coco y sus componentes.

Se ha demostrado que el incorporar este tipo de fibras ayuda a incrementar la resistencia del adobe ante la compresión y compactación, ya que la fibra aglutina bastante bien la mezcla. Sin embargo, no realiza una mejora ante la permeabilidad y la absorción de agua (De la Cruz & Paredes, 2017).



Ilustración 29. Coco y fibra de coco. *Imágenes tomadas de la web para fines académicos.*

Fibra de platanal:

Este tipo de fibra se obtiene a partir de los pliegues del platanal, que es el tronco del árbol de plátano. Se ha visto que la fibra de platanal es compatible con el adobe y se presentan mejoras considerables, si bien no hay un aumento tan visible en la mejora a compresión, se puede ver un aumento en la durabilidad y de propiedades mecánicas, además de que es un material económico (Hernández, 2016).



Ilustración 30. Árbol de plátano y fibra de platanal. *Imágenes tomadas de la web para fines académicos.*

Fibras de diferentes tipos de agaves:

Estas fibras se obtienen del tallado de las pencas de diferentes tipos de plantas pertenecientes a los agaves.

Aparte de controlar la retracción y dilatación de las piezas de adobe, ayudan a que la resistencia a la compresión aumente, además de que aligera al material con respecto de adobe tradicional. Una desventaja que estas fibras representan es que tienen un índice de absorción de agua mayor (Ruiz, 2019).



Ilustración 31. Agave y fibra de agave. *Imágenes tomadas de la web para fines académicos.*

Cascara de arroz.

La cascara de arroz es un desecho que por su alto contenido de sílice no puede ser comestible, por lo que se ha trata de aprovechar para la fabricación de algunos cerámicos y morteros.

Sin embargo, al introducirlo como un componente del adobe se presenta ciertas desventajas, pues el inconveniente que tiene la cascara de arroz como fibra, es que es muy pequeña, lo que evita que se forme la “red” interna de la que hemos hablado, lo que da como consecuencia que la cohesión sea menor, que haya fisuras mínimas

y que sea menor la resistencia a compresión, aunque una ventaja es que disminuye la permeabilidad (De la Cruz & Paredes, 2017).



Ilustración 32. Cáscara de arroz. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

3. De origen mineral:

Los minerales son sustancias naturales inorgánicas, estos se presentan como formas geométricas que puede llegar a ser cristalinas, son muy similares a las rocas.

La mayoría de estos estabilizadores son de tipo consolidantes, realizando así una estabilización química. Dentro de los productos de origen mineral más empelados para la estabilización del adobe, podemos encontrar:

Cal:

La cal es una materia que está constituida por óxido de calcio, el cual es obtenido de la calcinación de piedras calizas.

Básicamente este material es utilizado para estabilizar mezclas de cemento y tierra, por lo que, al ser incorporado al adobe, los resultados suelen ser muy favorables con respecto a la resistencia de compresión, esto se debe a que la cal ayuda a reducir la plasticidad del adobe, ayudando a que tenga una mejor compactación y

reduciendo la porosidad, se da la relación de que entre más cantidad de cal tiene el adobe, mayor será su resistencia (Quiteño, 2015).



Ilustración 33. Cal. *Imágenes tomadas de la web para fines académicos.*

Cemento Portland:

Como sabemos, el cemento portland es un material conglomerante, es decir, es un material que tiene la capacidad de aglomerar y dar cohesión a los elementos de una mezcla, y que, al tener interacción con el agua, este se fragua y se endurece, también es conocido como cemento hidráulico gracias a la reacción que tiene con el agua, este tipo de cementos son usados para la formación del concreto.

Debido a las características que este material posee, es considerado un buen estabilizador del suelo. En el caso del adobe, al incorporarlo a la mezcla, este presenta mejoras considerables a comparación del adobe tradicional, pues al aumentar a aglomeración y la cohesión, la plasticidad se ve reducida y el material se presenta con una menor porosidad, lo que deja como consecuencia que se tenga un aumento de durabilidad y de resistencia a compresión y tracción, además de que se disminuye la permeabilidad (Vilela, 2010).



Ilustración 34. Cemento Portland. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

Yeso:

El yeso es un material compuesto por sulfato de calcio, lo encontramos como un polvo que al tener contacto con el agua se vuelve una mezcla de textura pastosa y plástica, sus usos más comunes son para acabados, aplanados, emboquillados y para paneles de yeso. Ha sido empleado en el campo de la construcción gracias a sus propiedades térmicas y a su capacidad de regular la humedad.

Lo que aporta como estabilizador en el adobe es que aumenta la cohesión, haciendo que disminuya la tracción y se tiene un aumento de resistencia a compresión. Puede llegar a reducir la permeabilidad si se apoya con algún otro elemento, ya que por sí solo no logra hacer una mejora sobre ello. Su efecto es mejor en suelos arenosos (Arteaga & Loja, 2018).



Ilustración 35. Yeso. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

Silicato de sodio:

El silicato de sodio, también conocido como vidrio soluble, es un producto químico inorgánico soluble en agua, el cual se forma con la reacción entre el carbonato de sodio y el dióxido de silicio.

Este producto es utilizado para la fabricación de pigmentos y pinturas, adhesivos, jabones y detergentes, cerámicos, cementos y refractarios, textiles y para la consolidación de suelos.

Como estabilizador, este trabaja como un impermeabilizante y mejora la compresión, sin embargo, se ha recomendado que más que agregarlo a la mezcla, se utilice como un recubrimiento superficial (García, 2017).



Ilustración 36. Silicato de sodio, “vidrio soluble”. *Imágenes tomadas de la web para fines académicos.*

CAPÍTULO 3

ESTABILIZADORES EN EL ADOBE

Anteriormente se mencionaron algunos materiales que se han empleado para estabilizar el adobe, esto para dar ejemplo de los tipos de estabilizadores que podemos encontrar. Algunos de estos materiales han dado grandes resultados, mientras que otros no.

A pesar de que el tiempo y las tecnologías han ido avanzando, en muchos casos aún se quiere mantener el adobe como un material puramente natural, buscando distintas propuestas con materiales naturales, sin embargo, también se han encontrado propuestas de materiales sintéticos que han ayudado a mejorar. A continuación, mencionaremos los materiales que se han propuesto para la estabilización del adobe, dando a conocer un poco de cada material y el saber de manera muy superficial por qué se han propuesto como estabilizadores.

3.1. Estabilizadores naturales.

1. Extracto de cabuya.

Se le conoce como aguamiel y se obtiene del corazón del agave, es decir del tronco. Para poder obtenerlo realiza en el tronco un orificio, al cual se le ira raspando las paredes de manera diaria para que se vaya formando el aguamiel.

- *Propiedades:*

Es un líquido semitransparente, tiene resistencia a la corrosión y ataques químicos al ser un material polímero tiene una baja densidad y permeabilidad, podría llegar a perder resistencia al estar expuesto a altas temperaturas.

- *Usos más comunes:*

El aguamiel es una bebida previa al pulque, es decir, esta se vuelve pulque una vez que se fermenta.

- *Como estabilizador:*

Al ser un polímero, este ayuda a que el adobe gane una resistencia significativa ante el agua, es decir, hace que se tenga cierta impermeabilidad en el material, además de que, aunque no es mucho, se tiene un aumento su resistencia a la compresión.

2. Viruta.

Es el residuo que se obtienen al cepillar madera. La viruta tiene mayor tamaño al aserrín (un residuo también de la madera) y está en forma de lámina curvada o en espiral.

- *Propiedades:*

Son residuos frágiles, y al ser madera, estos pueden llegar a absorber agua provocando que su tamaño aumente, se puede decir que es un material poroso.

- *Usos más comunes:*

Elaboración de madera aglomerada, protección de paquetes, lecho para mascotas y ganado, y elaboración de composta.

- *Como estabilizador:*

La viruta como estabilizador ayuda a aumentar la resistencia ante la compresión y flexión, sin embargo, la desventaja que presenta es que la adición de esta hace que aumente la absorción de agua, lo cual puede llegar a debilitar más rápido la pieza.

3. Goma de tuna.

Se trata de un polímero natural, el cual se obtiene al remojar nopal en agua durante máximo 25 días, consiguiendo hace una sustancia viscosa a la que se le llama goma.

- *Propiedades:*

Es un líquido transparente, es resistente a la corrosión, oxidación y ataques químicos, y al ser un material polímero tiene una baja densidad y permeabilidad, podría llegar a perder resistencia al estar expuesto a altas temperaturas.

- *Usos más comunes:*

También se le llama baba o mucilago de nopal, este se ha usado para la elaboración de estuco, y se han hecho investigaciones para implementarlo en cosméticos y en medicinas.

- *Como estabilizador:*

Como polímero cumple la principal función de este que es ser utilizado como un impermeabilizante, por lo que ayuda a que el adobe gane una resistencia significativa ante el agua, y también logra aumentar su resistencia a la compresión.

4. Fibra de platanal.

Esta se obtiene del tronco del plátano, al cual se le llama platanal, este tronco tiene unos pliegues que es en donde se sacan las fibras.

- *Propiedades:*

Es un material ligero, flexible, retiene el agua y es elástico, y al estar en conjunto se vuelve un material de alta resistencia a la ruptura.

- *Usos más comunes:*

Al ser una fibra se puede utilizar para la industria textil, elaborando con ella cuerdas, hilos, bolsas, papel, etc.

- *Como estabilizador:*

La fibra del platanal es compatible con el adobe, es decir, que al momento de juntarlos no se genera un rechazo. Se presenta mejoras mecánicas, de termicidad

y de permeabilidad, no son mejoras muy significativas, y su resistencia a la compresión de igual manera no presenta una mejora tan grande.

5. Fibra de coco.

Esta fibra se obtiene de la cáscara del coco, es decir, son los "pelitos" que se pueden ver en la cáscara.

- *Propiedades:*

Es un material ligero, flexible, retiene el agua y es elástico, y al estar en conjunto se vuelve un material de alta resistencia a la ruptura.

- *Usos más comunes:*

Su uso principal es ser un buen fertilizante para la jardinería, Al ser una fibra se puede utilizar para la industria textil, elaborando con ella cuerdas, hilos, bolsas, papel, etc.

- *Como estabilizador:*

Esta fibra aumenta considerablemente la resistencia ante la compresión, de igual forma aumenta su resistencia a la compactación, es decir, que este tipo de fibra crea su malla interna de una manera en la que el material dura más y es más difícil que se desintegre. No presenta una mejora significativa ante la absorción de agua.

6. Cáscara de arroz.

La cáscara de arroz es la cubierta de este tipo de grano, y se obtiene como el resultado del proceso de molienda del grano de arroz, es un subproducto.

- *Propiedades:*

Es ligero, frágil a la deformación y a la ruptura, y puede tener una cierta impermeabilidad.

- *Usos más comunes:*

Se usa normalmente para la floricultura y como lechos para animales de ganado, se han hecho investigaciones para implementarlo en materiales cerámicos.

- *Como estabilizador:*

Se tienen dos posturas sobre este material para estabilizar, en una se demuestra que al ser la cascara muy chica, no permite que se tenga una buena cohesión debilitando al adobe, teniendo una menor resistencia a compresión de uno tradicional. Y la otra nos marca que sí llega a dar un aumento a la resistencia, sin embargo, la cascara hace que aumente la capacidad de absorción de agua.

7. Estiércol.

Es el excremento de los animales, el cual se usa como un fertilizante.

- *Propiedades:*

Es un producto maleable, se puede clasificar como una fibra.

- *Usos más comunes:*

Se usa como fertilizante para los cultivos.

- *Como estabilizador:*

Se puede considerar como un tipo de “fibra”, debido a que contiene partículas fibrosas. No presenta grandes mejoras, pues puede aumentar insignificadamente su resistencia a compresión, o incluso puede disminuirla, y de manera muy insignificante ayuda a la resistencia contra el agua. Tiene mejor comportamiento al juntarlo con otros elementos.

8. Residuos de agave.

Estos residuos son las fibras y el bagazo, las cuales se obtiene durante el proceso de elaboración de la mezcla, las fibras de las hojas de agave y el bagazo durante el paso de la destilación.

- *Propiedades:*

Es un material ligero, flexible, permeable y elástico, y al estar en conjunto se vuelve un material de alta resistencia a la ruptura.

- *Usos más comunes:*

Las fibras se pueden utilizar para la industria textil, elaborando con ella cuerdas, hilos, bolsas, papel, etc. Mientras que el bagazo puede llegarse a usar para la elaboración de biocombustibles.

- *Como estabilizador:*

Los residuos del agave aportan una mayor resistencia ante la compresión con respecto a uno tradicional. Al estabilizarlo con los residuos las piezas de adobe se vuelven más ligeras, la desventaja es que pueden llegar a tener un aumento de capacidad de absorción.

9. Resina natural.

Las resinas son productos que se pueden extraer de árboles y plantas, físicamente la podemos describir como una secreción de textura entre pastosa y sólida.

- *Propiedades:*

Tienen una alta resistencia al agua, lo que lo hace un impermeabilizante, y tiene resistencia a la corrosión, oxidación y ataques químicos.

- *Usos más comunes:*

Suele usarse como un elemento de decoración, un ejemplo de ello es el ámbar.

- *Como estabilizador:*

Aporta al adobe un incremento de resistencia a la compresión y a la flexión, de igual forma aumenta la impermeabilidad. Para mejores resultados en incrementos mayores, se ha recomendado que se le puede combinar con otros materiales, el estiércol es un ejemplo.

10. Látex natural.

También conocido como caucho natural, es una sustancia que se presenta como una emulsión lechosa, esta se obtiene de los árboles.

- *Propiedades:*

Sustancia de aspecto lechoso, actúa como un impermeabilizante natural, tiene flexibilidad y elasticidad y puede reducir su resistencia ante altas temperaturas.

- *Usos más comunes:*

Se ha llegado a usar como un impermeabilizante para tejidos.

- *Como estabilizador:*

Al momento de incorporar el látex a mezcla de adobe, se pueden llegar a generar grumos lo que hace que no se tenga una mezcla homogénea., y esto podría llegar a presentar problemas. Sin embargo, presenta una buena mejoría ante la resistencia mecánica y de absorción de agua.

11. Malla de maguey.

Es una malla elaborada de manera artesanal con la fibra del maguey.

- *Propiedades:*

Es ligera, pero puede ser de mayor peso a comparación de una geomalla, puede llegar a ser maleada según la superficie donde se quiera cubrir, tiene buena resistencia a la ruptura.

- *Usos más comunes:*

Su fibra se utiliza para la industria textil, con ella se fabrican cuerdas, hilos, sacos, hamacas, alfombras, bolsas, entre otras cosas. La idea de es fabricar una malla que sirva como una geomalla.

- *Como estabilizador:*

La idea es ser usada como una geomalla, la única diferencia es que esta es hecha con elementos naturales para conservar la "pureza" natural del adobe, la malla cubre ambos lados del muro, y para finalizar se les tarrajean con barro y paja. Aumente la resiente y la estabilización de la estructura, sin embargo, no de forma uniforme.

3.2. Estabilizadores sintéticos.

1. Cemento.

Es un material conglomerante, es decir, es un material que tiene la capacidad de aglomerar y dar cohesión a los elementos de una mezcla.

- *Propiedades:*

Es un polvo fino grisáceo, no sufre de oxidación y tiene una alta resistencia ante ataques químicos, es un material no poroso, lo que logra dar impermeabilidad ya que tiene poca absorción de agua, al incorporarle agua se convierte en una pasta altamente maleable.

- *Usos más comunes:*

Morteros, restauración decoración, concreto armado, decoración, afinados de piso.

- *Como estabilizador:*

Ayuda a aumentar la aglomeración y la cohesión, por lo que la plasticidad se ve reducida y el material se presenta con una menor porosidad, aumentando así la

durabilidad y la resistencia a compresión y tracción, además de que se disminuye la permeabilidad.

2. Emulsión asfáltica.

Es la versión "liquida" del asfalto común, es un material que comúnmente es utilizado para pavimentar calles o revestir muros y techo, su función principal es el impermeabilizar.

- *Propiedades:*

Tiene una baja densidad, es altamente resistente al agua, proporciona durabilidad y resistencia ante la compresión, y no sufre de oxidación y tiene una alta resistencia ante ataques químicos.

- *Usos más comunes:*

Tratamiento superficial para pavimentos, sellador de grietas, impermeabilizante, estabilizador de suelos y recubrimiento de tuberías.

- *Como estabilizador:*

Aumenta la cohesión en la mezcla, creando piezas menos porosas, lo que disminuye el grado de absorción de agua. Además de que se han notado algunas mejoras sobre la capacidad de carga, ya que hay un aumento de resistencia a la compresión y de resistencia al desgaste y la rotura.

3. Cal.

Material constituido por óxido de calcio, el cual es obtenido de la calcinación de piedras calizas.

- *Propiedades:*

Es un polvo fino de color blanco, es un material no poroso, lo que logra dar impermeabilidad, al incorporarle agua se convierte en una pasta altamente maleable.

- *Usos más comunes:*

Morteros, restauración, pinturas para decoración, acabados, revoques y estabilización del suelo.

- *Como estabilizador:*

Aumenta la resistencia a compresión con respecto al aumento de porcentaje de cal que se le agrega a la mezcla. Se reduce la capacidad de absorción de agua, es decir que reduce la permeabilidad y se aumenta la estabilidad dimensional, es decir, se tiene un bloque con menos deformaciones.

4. Fibra de caucho.

Es un material polimérico cuya propiedad más característica y/o principal es la elasticidad. Este material lo encontramos en los neumáticos.

- *Propiedades:*

Es un material polímero, tiene una alta elasticidad y permeabilidad, tiene una buena ductilidad y tenacidad, y su resistencia se puede reducir ante altas temperaturas.

- *Usos más comunes:*

Neumáticos, guantes, botas, tapetes, pisos y artículos de seguridad que tienen como prioridad el ser aislantes de electricidad.

- *Como estabilizador:*

Este tipo de fibras aumentan la resistencia ante la compresión y flexión, además de que esta ayuda a disminuir la absorción de agua con respecto a un adobe tradicional.

5. Varilla de fibra de vidrio.

Este tipo de varilla está compuesta de con finos filamentos de vidrio que son aglomerados con una resina.

- *Propiedades:*

Es un material ligero con una alta resistencia a la corrosión, oxidación y ataques químicos, es impermeable, tiene alta resistencia a la deformación y a la ruptura.

- *Usos más comunes:*

Se llegan a utilizar para rehabilitar o reforzar estructuras deterioradas. La fibra de vidrio como tal se usa principalmente en las industrias de construcción, automotriz, aeroespacial y marítima.

- *Como estabilizador:*

Lo que se propone aquí es no usar la varilla como tal un sistema constructivo, ya que las varilla va dentro de las piezas de adobe como un refuerzo, y van en diferentes cantidades y acomodos. La varilla de fibra de vidrio presenta un incremento de resistencia a la compresión y flexión importante. Sin embargo, en la parte de absorción de agua se puede decir que queda de cierta manera igual a la del adobe tradicional.

6. Geomalla.

La geomalla es una malla a la cual se le conoce así ya que es un elemento geo sintético, estos están fabricados por derivados del petróleo, y son utilizados para la mejora del suelo.

- *Propiedades:*

Es un material ligero de tipo polímero, es resistente a la corrosión y oxidación, su peso es ligero y tiene una alta resistencia a la tensión y al corte.

- *Usos más comunes:*

Incrementa la vida útil de los pavimentos y ayuda a dar estabilización a los suelos blandos.

- *Como estabilizador:*

El uso de geomalla lo podemos considerar como un tipo de sistema constructivo del adobe, ya que la idea de usar este material es que con la malla se cubra el sobrecimiento, y posteriormente a los muros de adobe se les cubrirá por completo con esta malla, lo que ayuda a darle más estabilidad y resistencia, para terminar las paredes se tarrajean con barro, para aumentar la resistencia y proteger de la humedad al muro.

7. Malla de cuerda.

Es una malla elaborada con cuerda driza, este tipo de cuerda es normalmente utilizada para izar bandera o para las cortinas de las ventanas.

- *Propiedades:*

Es ligera, pero puede ser de mayor peso a comparación de una geomalla, puede llegar a ser maleada según la superficie donde se quiera cubrir, tiene buena resistencia a la ruptura.

- *Usos más comunes:*

Tiene uso como cuerda para el campo náutico, de construcción, sujeción de mercancía de todo tipo y como cuerda deportiva. La idea de es fabricar una malla que sirva como una geomalla.

- *Como estabilizador:*

Se usa como una geomalla, la diferencia es en el momento de montarla, ya que las cuerdas se colocan sobre los adobes cada 3 hiladas, y una vez que se termina de montar el muro, con otra cuerda que cubra la altura del muro, los trozos de cuerda que quedan sobresaliendo del muro se van amarrado con dicha cuerda, formando

así la cuerda. Posteriormente los muros se les tarrajean con barro. Aumente la resiente y la estabilización de la estructura, sin embargo, no de forma uniforme.

8. Jabón.

El jabón es un material que se fabrica a base de grasas y aceites.

- *Propiedades:*

Es de baja densidad y repele el agua, lo que lo convierte en un impermeabilizante.

- *Usos más comunes:*

Se usa como un producto de higiene personal y para el cuidado de la piel.

- *Como estabilizador:*

Como estabilizante en el adobe le jabón no presenta mejoría en cuanto a su resistencia de compresión y flexión, mejora un poco la absorción de agua, pero es una mejora mínima, la ventaja es que con el jabón se puede lograr una mezcla homogénea.

9. PET.

El tereftalato de polietileno, mejor conocido como PET (sus siglas en inglés) es un plástico que se obtiene a partir del proceso de polimerización, es decir, es un material polímero de tipo sintético, este puede ser reciclable. Su fórmula de composición química es $(C_{10}H_8O_4)_n$.

- *Propiedades:*

Es un material con un cierto grado de transparencia, es resistente a la corrosión y a ataques químicos. Tiene una baja densidad, es impermeable, al estar expuesto a altas temperaturas puede llegar a perder resistencia. Es un material plástico, dúctil y maleable.

- *Usos más comunes:*

Su uso más común es para envases y empaques de bebidas y comida, también se usa en la industria textil, para hilos, tejidos, telas, etc., fabricación de papel fotográfico o de rayos x.

- *Como estabilizador:*

En estudios realizados se puede ver una mejoría en cuanto al aumento de resistencia de compresión y durabilidad de las piezas de adobe, con estos resultados se puede decir que también hay una mejora en la impermeabilidad.

10. Fibras de polipropileno.

El polipropileno es un termoplástico, es decir, es un plástico que a altas temperaturas se puede fundir, este se obtiene a partir del proceso de polimerización del propileno, catalogándolo como un material polímero de tipo sintético. Su fórmula de composición química es $(C_3H_6)_n$.

- *Propiedades:*

Es resistente a la corrosión y a ataques químicos. Tiene una alta resistencia ante la flexión y fatiga, lo que lo hace altamente dúctil, su densidad es baja y es un material impermeable.

- *Usos más comunes:*

Fabricación de juguetes, material de construcción, piezas para automóviles, recipiente para almacenamiento de comida y bebidas, se usa también para la industria textil para la fabricación de ropa, bolsas y alfombras.

- *Como estabilizador:*

Se ve un aumento de resistencia ante la compresión y tracción, en rasgos generales tanto las propiedades físicas como las mecánicas mejoran, y se ve una relación

entre el incremento de mejoría con el incremento de fibras que se le agregue a la pieza, además de que la pieza gana más estabilidad dimensional.

11. Residuos de polímeros reforzados con fibra de vidrio / fibra de vidrio.

Es un material de tipo compuesto ya que está conformado con fibra de vidrio y resina, al ser un material compuesto se vuelve un material altamente resistente.

- *Propiedades:*

Tiene alta resistencia ante la corrosión y los ataques químicos. Son de baja densidad, son impermeables y tienen alta resistencia ante la deformación y la ruptura, es decir que son dúctiles y de alta dureza, y conservan dicha resistencia aun estando ante temperaturas elevadas.

- *Usos más comunes:*

Se llegan a usar para la fabricación de tornillos, rejas, puertas, tablas de surf, contenedores, etc., es común que se usen para la fabricación de materiales dentro de la industria náutica y de construcción.

- *Como estabilizador:*

En pruebas realizados con este tipo de material, se muestra que al incorporar estas fibras se puede llegar un ligero aumento de resistencia ante la compresión y flexión, sin embargo, si se le pone de demasiada fibra, las piezas llegan a perder resistencia.

Algunos de los materiales antes mencionados han tenido pocos estudios sobre cómo funcionan como estabilizadores. A continuación, se hará una comparativa entre los materiales que más se han propuesto para funcionar como estabilizadores, es decir, los más populares, tanto de origen natural como sintético, dando a conocer un poco más sobre cada uno de los materiales, cuál es su comportamiento como estabilizador en distintas investigaciones y estudios, formando así una guía para futuras pruebas que se quieran realizar sobre este material de construcción.

3.3. Viruta.

La viruta es una composición de pequeños fragmentos residuales que provienen de cualquier tipo de madera. Esta se obtiene al realizar trabajos con la madera, especificaste cuando se le cepilla, desbasta y/o perfora.

A diferencia del aserrín, que igualmente es un residuo de la madera, la viruta no se dispersa por el aire, esto debido a que tiene un peso mayor al aserrín, otra diferencia con el aserrín es la forma, ya que el aserrín es un polvo fino, mientras que la viruta tiene forma laminar ya sea curvada o en espiral.



Ilustración 37. Viruta. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

La viruta entra dentro del tipo de estabilización física, ya que se considera como un tipo de fibra porque la idea de ser incorporada a la mezcla de adobe es que actúe como una red interna que dé más fuerza y estabilidad a adobe, tal como lo hacen las fibras.

Propiedades de la viruta.

Sus propiedades pueden variar dependiendo del tipo de madera de que provenga la viruta, sin embargo, las que más se destacan son:

Propiedades químicas: Es un material con la capacidad de resistir la corrosión y oxidación, y de igual forma resiste a los ataques químicos.

Propiedades físicas: Es higroscopia, es decir, que tiene la capacidad de absorber la humedad que se encuentra en el ambiente, y se puede expandir o contraer dependiendo de dicha humedad, es de muy baja densidad, estaba como madera resulta ser un material de alta maleabilidad, sin embargo, ya como viruta no es maleable, y es altamente combustible.

Propiedades mecánicas: En su forma de madera tenaz, dúctil y flexible, en forma de viruta conserva lo flexible si se le deforma en dirección a las fibras, de lo contrario se pueden romperse fácilmente, sin embargo, se vuelve más frágil.

Usos de la viruta.

A pesar de ser un material residual que muchas veces se puede considerar como “basura” este no es el caso, ya que se le tiene varios usos, entre ellos están:

- Madera aglomerada.
- Lecho para mascotas y ganado.
- Material de asilamiento.
- Protección para paquetes.
- Composta para jardinería.

Ventajas y desventajas de la viruta.

Como todo material la viruta tiene tanto sus cosas buenas como malas, en este listado nos enfocaremos en la madera ya en forma de viruta, no en la madera en su forma “pura”.

Ventajas:

1. Material accesible: Probablemente no sea un material tan de uso común, pero al ser residuo de un material que sí es de uso común, es bastante fácil de conseguir.

2. *Bajo costo*: Por la misma cuestión de ser un material residual, es accesible económicamente.

3. *Amigable con el ambiente*: Tiene un índice bajo de contaminación y es sostenible.

4. *Aislante térmico*: Tiene una buena capacidad para el aislamiento térmico, lo que puede ayudar a crear piezas más confortables.

Desventajas:

1. *Fragilidad*: Si llegan a ser muy cortas en dirección a las fibras se pueden romper con facilidad, y de igual forma pasa si son largas en dirección contraria a las fibras.

2. *Absorción de humedad*: Esta capacidad puede alterar el estado físico del material, ya que puede hincharse o contraerse, y en cualquiera de los casos hacer que se pierda resistencia.

3.3.1. La viruta como estabilizador en el adobe.

Esta parte de la investigación se estará basando en estudios que ya se han realizado algún tipo de investigación práctica sobre este tema.

La idea principal de utilizar la viruta en la mezcla de adobe es que favorezca a las propiedades físico-mecánicas del este, dándole una mayor resistencia ante la comprensión y flexión, además de ayudar a mantener o a disminuir la absorción de agua, dándole así al adobe una mayor durabilidad.

Por lo tanto, lo que se busca es poder determinar que tanto influye la viruta al ser utilizada como un estabilizador, es decir, analizar que propiedades físico-mecánicas tienen una mejoría, y determinar con qué porcentaje de agregado de viruta se consigue optimizar el adobe y en qué condiciones esta puede ser apta (Márquez, 2018).

Se escoge la viruta como un posible estabilizador gracias a que esta materia prima es fácil acceso y de bajo costo, además de que se tiene considerado como un

material natural que no contamina, dejando al adobe como un material “puro” (Márquez, 2018).

3.3.2. Estudio nº1. Adobe estabilizado con viruta de tornillo.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación “*Variación de las propiedades físico-mecánicas del adobe al incorporar viruta y caucho*” de Jhon Cristian Mantilla Calderón.

Lo primero que se determinó fueron los distintos porcentajes que se le incorporaran a las piezas de adobe, una vez que se determina esto se contemplan ciertas piezas para poder hacer las pruebas. en este estudio la cantidad de piezas de adobe y de porcentaje de viruta fueron los siguientes:

PIEZAS	TIPO DE ADOBE
35	Adobe con adición de viruta de 2% en peso.
35	Adobe con adición de viruta de 3% en peso.
35	Adobe con adición de viruta de 5% en peso.

Tabla 3. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo Variación de las propiedades físico-mecánicas del adobe al incorporar viruta y caucho.*

Es importante mencionar que para este estudio se tomaron las siguientes medidas para las piezas de adobe: **Ancho 15cm, largo 30cm y espesor 8cm.**

Obtención del material.

Suelo:

Este se obtiene de la cantera o sitio más cercano al terreno en donde se levantará la construcción con adobe, esto para que el transporte no genere un cargo extra.

Antes de que se prepare la mezcla es necesario analizar y determinar si el suelo es apto para poder elaborar los adobes, es decir, deben cumplir con los porcentajes adecuados de arcilla, limo y arena.

Para poder determinar esto se realizan distintos tipos de pruebas (Mantilla, 2018):

Contenido de humedad: 11.13%

Análisis granulométrico.

Límite líquido: 32%

Límite plástico: 22%

Tipo de suelo: Arenoso arcilloso.

Para poder realizar estas pruebas se tamiza y se deja secar el suelo, esto para poder eliminar partículas que no cumplan con la granulometría adecuada para este tipo de trabajo.

Viruta:

La viruta empleada proviene de la madera de Tornillo, esta se obtiene del cepillado de dicha madera, la podemos cepillar mostos mismos o conseguir ya la viruta lista en otro sitio.

Elaboración de adobe con adición de viruta.

Una vez que se tienen los componentes adecuados del adobe, se procede a su elaboración con los siguientes pasos:

Mezclado:

En este estudio la tierra se dejó remojada durante 24hr antes de que se hiciera el mezclado, esto con la finalidad de que el mezclado fuera más sencillo y rápido, en este paso se mezcla la tierra con la viruta, agregándole agua con medida para poder generar una mezcla “firme” y homogénea. Como se puede ver la viruta es la única fibra que se agrega a esta mezcla.

Encofrado y desencofrado:

La mezcla se colocó en la adobera que previamente ha sido engrasada con aceite para que el desencofrado sea más sencillo, es importante resaltar que al hacer la adobera se debe tomar en cuenta que el adobe, al momento de secado se va a contraer, por lo que no es recomendable que una adobera que sea justo de las medidas en las que se quiere la pieza de adobe. Y el desencofrado se realizó 24hrs después del encofrado.

Secado y almacenamiento:

El sitio donde los adobes sería secado fue en una superficie horizontal, limpia y libre de impurezas orgánicas y sales, además d que fue en una zona techada para que no se tuviera contacto directo con el sol, ya que sabemos que si esto ocurre los adobes pueden presentar agrietamiento. El proceso de secado consistió en que 3 días después de desencofrad, las piezas de adobe fueron colocadas en posición de canto, y este proceso duro 60 días.

Dosificación:

En un principio se mencionó que para este estudio se eligieron los porcentajes de 2%, 3% y 5% de adición de viruta con respecto al peso de suelo seco, por lo que las cantidades fueron las siguientes:

PORCENTAJE	PESO DE SUELO SECO (gr)	PESO DE VIRUTA (gr)
2% de viruta	6,600	132
3% de viruta	6,600	198

5% de viruta	6,600	330
--------------	-------	-----

Tabla 4. Dosificación para la investigación. *Tabla tomada del trabajo Variación de las propiedades físico-mecánicas del adobe al incorporar viruta y caucho.*

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con viruta.

En este estudio las pruebas que se les realizaron a las muestras de adobe fueron para determinar su resistencia a compresión, a flexión, su capacidad de absorción de agua y su saturación total.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA (Kg/cm ²)
Adobe tradicional	22.22
Adobe estabilizado con 2% de viruta	29.75
Adobe estabilizado con 3% de viruta	30.25
Adobe estabilizado con 5% de viruta	27.38

Tabla 5. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo Variación de las propiedades físico-mecánicas del adobe al incorporar viruta y caucho.*

Resistencia a la flexión:

TIPO DE ADOBE	MÓDULO DE RUPTURA (Kg/cm ²)
Adobe tradicional	8.01

Adobe estabilizado con 2% de viruta	8.08
Adobe estabilizado con 3% de viruta	8.35
Adobe estabilizado con 5% de viruta	7.78

Tabla 6. Resistencia a flexión *Tabla tomada del trabajo Variación de las propiedades físico-mecánicas del adobe al incorporar viruta y caucho.*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional	17.97
Adobe estabilizado con 2% de viruta	19.02
Adobe estabilizado con 3% de viruta	20.13
Adobe estabilizado con 5% de viruta	21.17

Tabla 7. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo Variación de las propiedades físico-mecánicas del adobe al incorporar viruta y caucho.*

Saturación total:

TIPO DE ADOBE	SATURACIÓN	DESGASTE (%)
Adobe tradicional	Ligera	2.74
Adobe estabilizado con 2% de viruta	Moderada	3.56
Adobe estabilizado con 3% de viruta	Moderada	3.99

Adobe estabilizado con 5% de viruta	Severa	4.52
--	--------	------

Tabla 8. Saturación. *Tabla tomada del trabajo Variación de las propiedades físico-mecánicas del adobe al incorporar viruta y caucho.*

Conclusiones.

En este caso el material empleado fue viruta de madera de Tornillo, es importante resaltar el tipo de madera que se usó ya que dependiendo del tipo de madera puede haber variaciones, los resultados son favorables sólo en una parte de las pruebas, es decir, no hubo una mejora total en todos los aspectos.

Como puede verse la viruta ayuda de buena manera a que la resistencia a flexión y a compresión aumentara, donde la mejor adición fue la de 3%, ya que en la resistencia a compresión hubo un incremento del 36% con respecto al adobe tradicional, mientras que en la resistencia a flexión hubo un incremento de 4%. Es importante mencionar que como se mostró en el estudio, en caso de que se le llegue a agregar más viruta, la resistencia, tanto a compresión como a flexión, se verá reducida.

La parte mala de este estabilizador es que absorción y saturación de agua fue mayor a la de un adobe tradicional, esto puede dar como consecuencia que las piezas pierdan durabilidad y estabilidad.

3.3.3. Estudio n°2. Adobe estabilizado con viruta de eucalipto.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación “*Estabilización del adobe con adición de viruta de Eucalipto, Chíncha 2018.*” de Jhazmin Mallory Márquez Domínguez.

Una vez que se determinó que el estabilizador a usar sería la viruta, y en este caso viruta proveniente de madera de eucalipto, se establecieron los porcentajes de viruta que se le agregarán a las piezas de adobe, y de igual forma se determinó la cantidad de piezas que se tendrán que elaborar para las pruebas.

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
18	Adobe tradicional.
18	Adobe con adición de viruta de 1.5% en peso.
18	Adobe con adición de viruta de 3% en peso.
18	Adobe con adición de viruta de 4.5% en peso.

Tabla 9. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo Estabilización del adobe con adición de viruta de Eucalipto, Chíncha 2018.*

Para cada tipo de prueba se tienen contemplados 6 piezas de los 4 tipos de adobe, es decir el tradicional, con adición de 1.5%, con adición de 3% y con adición de 4.5%,

En este estudio las piezas de adobe son de las siguientes medidas: **Ancho 20cm, largo 30cm y espesor 7cm.**

Obtención del material.

Suelo:

El suelo para la elaboración de estos adobes se obtuvo de las canteras de la ciudad de Chíncha, Perú, se sugiere que dichas canteras estén cerca del sitio de construcción para que el transporte no genere un cargo extra.

El siguiente proceso se repetirá siempre cuando se esté realizando un estudio sobre el mejoramiento de algún material, en este caso del adobe.

Una vez que se obtiene el suelo, se procede a analizar lo para poder determinar si el suelo escogido cumple con lo necesario para elaborar las piezas de adobe, ya que en caso de que no sea apto, el adobe puede presentar problemas desde antes de que se use.

Para poder determinar esto se realizan distintos tipos de pruebas (Márquez, 2018):

Contenido de humedad: 18.30%

Análisis granulométrico: Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 27.15%

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 18.28%*
- *Límite plástico: NP*

Tipo de suelo: Arena limosa.

Viruta:

La viruta usada para este estudio proviene de la madera del *Eucalipto*, se obtiene del cepillado de la madera, la podemos conseguir nosotros mismos o conseguirla ya lista como un residuo.

Elaboración de adobe con adición de viruta.

Ya que se hizo el análisis de suelo y se determina que es óptimo para la elaboración de los adobes, se procesa a la producción de estos:

Mezclado:

Se realiza primero la mezcla de suelo y agua, una vez que se tiene bien mezclado se procede a agregar la viruta, y se vuelve a mezclar para obtener una mezcla lo más homogénea posible.

Encofrado y desencofrado:

Ya lista la mezcla de adobe, se procede a agregar dicha mezcla a la adobera, a la cual se le agrega algo de arena para que el desmontaje sea más sencillo. La mezcla se agrega a la adobera y se nivela, para que quede lo más perfecta posible, y posteriormente se comprime de manera manual.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con viruta.

En este estudio las pruebas que se les realizaron a las muestras de adobe fueron para determinar su resistencia a compresión, a flexión y su capacidad de absorción de agua.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	26.05
Adobe estabilizado con 1.5% de viruta	43.43
Adobe estabilizado con 3% de viruta	38.09
Adobe estabilizado con 4.5% de viruta	50.77

Tabla 10. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo Estabilización del adobe con adición de viruta de Eucalipto, Chíncha 2018.*

Resistencia a la flexión:

TIPO DE ADOBE	MÓDULO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	3.27

Adobe estabilizado con 1.5% de viruta	2.48
Adobe estabilizado con 3% de viruta	1.85
Adobe estabilizado con 4.5% de viruta	1.85

Tabla 11. Resistencia a flexión. *Tabla tomada del trabajo Estabilización del adobe con adición de viruta de Eucalipto, Chíncha 2018.*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional	18.98
Adobe estabilizado con 1.5% de viruta	20.78
Adobe estabilizado con 3% de viruta	20.92
Adobe estabilizado con 4.5% de viruta	22.62

Tabla 12. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo Estabilización del adobe con adición de viruta de Eucalipto, Chíncha 2018.*

Conclusiones.

En este estudio el material que se empleo fue viruta de madera de Eucalipto, como se puede ver, en los resultados de las distintas pruebas realizadas, hay una mejora solamente en uno de los aspectos marcados.

Como podemos ver la viruta aumento de manera excelente la resistencia ante la compresión, en todos los casos hubo un aumento considerable a comparación del adobe tradicional, en donde el aumento más favorable fue con la adición de viruta fue la de 4.5%, dando un incremento del 94% con respecto al adobe tradicional.

Mientras que en la resistencia a flexión las pruebas fueron desfavorables, ya que en todos los casos la resistencia fue menor con respecto al adobe tradicional, se pudo ver que mientras más viruta se agrega menor es la resistencia a flexión.

Y, por último, en las pruebas de absorción de agua las piezas estabilizadas no resultaron favorables, ya que en todos los casos el porcentaje de absorción aumento con respecto al adobe tradicional, y al igual que en el caso de la resistencia a flexión, mientras más viruta se incorpore a la mezcla más aumenta la absorción.

3.3.4. Estudio n°3. Adobe estabilizado con viruta de eucalipto.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación *“Propiedades mecánicas y físicas del adobe compactado con adición de viruta y aserrín, Cajamarca 2016”* de Jhenifer Thajana Carhuanambo Villanueva

Lo primero que se establece para poder empezar a hacer los adobes y las pruebas, es el porcentaje de viruta que se le agregara a las piezas, además se debe determinar la cantidad de piezas que se tendrán que elaborar para las distintas pruebas.

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
27	Adobe tradicional.
27	Adobe con adición de viruta de 1.5% en peso.
27	Adobe con adición de viruta de 3% en peso.
27	Adobe con adición de viruta de 4.5% en peso.

Tabla 13. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Propiedades mecánicas y físicas del adobe compactado con adición de viruta y aserrín, Cajamarca 2016”.*

En este estudio se tienen consideradas 15 piezas de cada tipo de adobe para la prueba de compresión, 6 piezas de cada tipo para la prueba de flexión y 6 piezas de cada tipo para la prueba de absorción de agua.

Las piezas de adobe para este estudio son de las siguientes medidas: **Ancho 15cm, largo 30cm y espesor 11cm.**

Obtención del material.

Suelo:

El suelo para la elaboración de estos adobes se obtuvo de una cantera ubicada en provincia de Cajamarca. Perú, se recomienda que la cantera este cerca del sitio de construcción.

Como se ha mencionado anteriormente el suelo se analiza para determinar si es un suelo apto que cumpla con los requisitos necesarios para ser usado para la elaboración de adobe.

Para poder determinar esto se realizan distintos tipos de pruebas (Márquez, 2018):

Contenido de humedad: 12.61%

Análisis granulométrico: Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 27.33%

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 29.9%*
- *Límite plástico: 19.8%*
- *Índice de plasticidad: 10.2%*

Tipo de suelo: Arena arcillosa.

Viruta:

La viruta para este estudio proviene de la madera del *Eucalipto*, la cual se obtiene del cepillado de la madera, la podemos conseguir nosotros mismos o conseguirla ya lista como un residuo.

Dosificación:

Aquí se sacaron dos tablas de dosificaciones, una para el agua a usar en la mezcla y otra la adición de viruta.

Agua:

Se saco la dosificación para obtener las cantidades apropiadas para que las mezclas fueran lo más optimas posibles. Las cantidades obtenidas fueron las siguientes:

PORCENTAJE	PESO DE SUELO SECO (Kg)	AGUA (ml)
Adobe tradicional	11	1487.20
1.5% de viruta	11	1760.00
3% de viruta	11	1936.00
4.5% de viruta	11	1990.01

Tabla 14. Dosificación para la investigación. *Tabla tomada del trabajo "Propiedades mecánicas y físicas del adobe compactado con adición de viruta y aserrín, Cajamarca 2016".*

Viruta:

Como sabemos para este estudio se eligió un porcentaje de 1.5%, 3% y 4.5% de adición de viruta con respecto al peso de suelo seco, las cantidades fueron las siguientes:

PORCENTAJE	PESO DE SUELO SECO (Kg)	PESO DE VIRUTA (gr)
1.5% de viruta	11	165
3% de viruta	11	330

4.5% de viruta	11	495
----------------	----	-----

Tabla 15. Dosificación para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Propiedades mecánicas y físicas del adobe compactado con adición de viruta y aserrín, Cajamarca 2016”.*

Elaboración de adobe con adición de viruta.

Una vez realizado el análisis del suelo, podemos comenzar el proceso de elaboración de los adobes, el cual en este estudio fue de la siguiente manera:

Tamizado:

Antes de hacer el mezclado, se tamizó el suelo para poder evitar lo más posible la presencia de elementos como piedras, grumos, basuras, etc., que no son beneficios para la elaboración de los adobes.

Mezclado:

Para la elaboración de los adobes se siguió la tabla de dosificaciones de agua y de la adición de viruta, para esta parte se está considerando que para cada adobe se tendría un peso de tierra seca de 11kg.

Una vez que ya se tiene la dosificación para cada tipo de adobe, se procede a hacer la mezcla, en donde primero se mezcla el agua con el suelo, para posteriormente agregar la viruta correspondiente. El mezclado se realiza hasta tener una mezcla lo más homogénea posible.

Es importante mencionar que, para este estudio, al parecer, la mezcla se fue haciendo de adobe por adobe.

Prensado:

En estudios anterior hemos podido ver que para la elaboración de los adobes se utiliza una adobera, que es el molde de madera en donde se pone la mezcla, en este caso se usó una prensa manual.

La mezcla fue colocada en el molde de la prensa, se nos recomienda hacer presión con las manos en bordes y esquinas. Y una vez que la mezcla esta lista en el molde, se comienza a prensar el material por medio de manipular la palanca.



Ilustración 38. Prensa manual. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

Almacenamiento y secado:

Una vez que se desmontan los adobes de la prensa, se colocan en una superficie plana, seca, limpia y techada, y una semana y media después de su elaboración se les volteo para tener un secado uniforme, el proceso de secado fue de 28 días.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con viruta.

Las pruebas realizadas a las muestras de adobe estabilizado fueron de resistencia a compresión, a flexión y absorción de agua.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm²)
Adobe tradicional	21.174
Adobe estabilizado con 1.5% de viruta	28.040
Adobe estabilizado con 3% de viruta	29.737

Adobe estabilizado con 4.5% de viruta	30.937
---------------------------------------	--------

Tabla 16. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Propiedades mecánicas y físicas del adobe compactado con adición de viruta y aserrín, Cajamarca 2016”.*

Resistencia a la flexión:

TIPO DE ADOBE	MÓDULO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	18.107
Adobe estabilizado con 1.5% de viruta	20.671
Adobe estabilizado con 3% de viruta	19.378
Adobe estabilizado con 4.5% de viruta	23.343

Tabla 17. Resistencia a flexión. *Tabla tomada del trabajo “Propiedades mecánicas y físicas del adobe compactado con adición de viruta y aserrín, Cajamarca 2016”.*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional	15.69
Adobe estabilizado con 1.5% de viruta	19.39
Adobe estabilizado con 3% de viruta	20.15
Adobe estabilizado con 4.5% de viruta	20.95

Tabla 18. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Propiedades mecánicas y físicas del adobe compactado con adición de viruta y aserrín, Cajamarca 2016”.*

Conclusiones:

En este estudio el adobe estabilizado con viruta de Eucalipto tuvo resultados favorables en 2 de 3 de los aspectos analizados.

En la prueba a compresión la viruta ayudo a aumentar la resistencia, en los 3 casos de adobe se tiene una mejora significativa a comparación del adobe tradicional, se puede observar que mientras más sea la adición de viruta a la mezcla, mayor es la resistencia ante la compresión. El aumento más favorable fue en el adobe con la adición de viruta de 4.5%, el cual presento un incremento del 46% con respecto al adobe tradicional.

De igual forma en la prueba de resistencia a flexión dio resultados favorables, en los 3 casos hubo un aumento de resistencia por sobre la resistencia del adobe tradicional, podemos ver que mientras más adición de viruta tenga la mezcla mayor es la resistencia a flexión. El mayor aumento fue en el adobe con la adición de 4.5%, en donde hubo un incremento del 29% de resistencia con respecto al adobe tradicional.

Por último, la prueba de absorción de agua no dio resultados favorables, ya que hubo un aumento de capacidad de absorción en los 3 casos con respecto al adobe tradicional, mientras más viruta tenga la mezcla mayor es su capacidad de absorción, lo cual puede llegar a debilitar las piezas y deteriorarlas más rápido.

3.3.5. Conclusiones generales sobre los estudios de viruta.

Como se pudo ver, la viruta resulto aportar varias mejoras al adobe en cuanto a su resistencia a compresión y flexión, sin embargo, el problema que se representa es que aumenta de manera considerable su capacidad de absorción de agua, lo que pone en riesgo la resistencia que se había ganado, ya que el agua al causar un daño mayor, a comparación de un adobe tradicional, deteriorara más rápido las piezas.

También será importante para que el adobe tenga la capacidad de resistir distintas fuerzas, ya que como pudimos observar en el estudio n°2 el suelo fue distinto al de los otros dos estudios, y a pesar de que la viruta había presentado buenos resultados al aumentar la resistencia del adobe, en el caso del estudio n°2 la tierra no ayudó a que hubiera un aumento en las dos pruebas de resistencia.

Y otro punto para considerar es que, al elaborar las piezas de adobe por medio del prensado, aporta una mayor estabilidad, ya que se compacta de mejor manera la tierra, mejorando su resistencia tanto en el adobe tradicional como en el estabilizado con viruta.

A pesar de la gran desventaja que presentó la viruta como estabilizador, se debe reconocer que aportó mucho a la resistencia, por lo que no se debería descartar como un estabilizador para el adobe, probablemente se podría mejorar la parte de absorción de agua al incorporarle otro tipo de material que cubra este factor, dándole un equilibrio para tener una disminución en la capacidad de absorción, dejándola igual o en el mejor de los casos menor a la del adobe tradicional.

ESTUDIO n° 1 Adobe estabilizado con viruta de madera de Tornillo

Propiedades del suelo

Cantidad de humedad		Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad	Tipo de suelo
11.13%	41.80%	32%	22%	10%	Arenoso arcilloso

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado

Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso suelo seco (kg)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)	Deterioro
Adobe tradicional	30 x 15 x 8	35	6.6	-	22.22	8.01	Ligera
Estabilizado con 2% de viruta	30 x 15 x 8	35	6.6	132	29.75	8.08	Moderada
Estabilizado con 3% de viruta	30 x 15 x 8	35	6.6	198	30.25	8.35	Moderada
Estabilizado con 5% de viruta	30 x 15 x 8	35	6.6	330	27.38	7.78	Severa

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 2% de viruta	Estabilizado con 3% de viruta	Estabilizado con 5% de viruta
Las piezas tuvieron un aumento en su resistencia tanto a compresión como a flexión, sin embargo, su capacidad de absorción y su deterioro ante el agua incremento, lo que hace que su resistencia se pierda con mayor velocidad.	Las piezas tuvieron un aumento en la resistencia a compresión y a flexión, sin embargo, de igual manera hubo un aumento en la capacidad de absorción y deterioro ante el agua, esto debilita la pieza con mayor velocidad.	Las piezas tuvieron un aumento en la resistencia a compresión, sin embargo, esta fue menos que en los otros dos porcentajes y su resistencia a flexión fue menos, y su capacidad de absorción y su deterioro contra el agua presento gran incremento, afectando gravemente a la pieza.

Conclusiones generales

Las piezas con mejores resultados fueron las de 3% de viruta, ya que con esta se tuvo un aumento considerable de resistencia a compresión y flexión con respecto al adobe tradicional, esto debido a que, al momento de incorporar más cantidad de viruta, la resistencia disminuía. El inconveniente es que, en los 3 casos de porcentajes de adición de viruta, la capacidad de absorción aumentaba con respecto al adobe tradicional. Para poder considerar la viruta como un posible estabilizador es necesario acompañarlo con otro material que funcione como un impermeabilizante.

ESTUDIO n° 2 Adobe estabilizado con viruta de madera de Eucalipto

Propiedades del suelo

Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite liquido	Limite plástico	Índice de plasticidad	Tipo de suelo
18.30%	27.15%	18%	-	-	Arena limosa

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado

Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso suelo seco (kg)	Peso de viruta (gr)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)	Deterioro
Adobe tradicional	30 x 20 x 7	18	-	-	26.05	3.27	18.98	-
Estabilizado con 1.5% de viruta	30 x 20 x 7	18	-	-	43.43	4.48	20.78	-
Estabilizado con 3% de viruta	30 x 20 x 7	18	-	-	38.09	1.85	20.92	-
Estabilizado con 4.5% de viruta	30 x 20 x 7	18	-	-	50.77	1.85	22.62	-

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 1.5% de viruta	Estabilizado con 3% de viruta	Estabilizado con 4.5% de viruta
La pieza tuvo un aumento significativo en su resistencia a compresión, y en dicha la prueba no presento un desmoronamiento en todo su cuerpo, lo más afectado fueron los bordes, que se desmoronaron levemente, su resistencia a flexión también tuvo un aumento, y en la prueba la ruptura que se obtuvo fue "limpia", sin embargo, su capacidad de absorción también aumento, a pieza presento agrietamiento y tuvo un desgaste y descomposición mayor.	La resistencia a compresión fue mayor a la del adobe tradicional, sin embargo, con respecto al adobe con adición de 1.5% de viruta hubo una ligera disminución de resistencia, y en la prueba los bordes se desmoronaron un poco, pero el cuerpo no sufrió daños, la residencia a flexión fue menor a la del adobe tradicional, y en la prueba la ruptura tuvo más desmoronamiento, y por último su capacidad de absorción aumento, y en la prueba la pieza se agrieto y tuvo mayor descomposición.	Esta pieza fue la que mejor resistencia a compresión tuvo, y en la prueba no se desmorono ni se agrieto le centro de la pieza, sólo los borde tuvieron un ligero desmoronamiento, sin embargo, su resistencia a flexión fue menor a la del adobe tradicional, y en la prueba la ruptura tuvo más desmoronamiento, por último, su capacidad de absorción fue la mayor, haciendo que a piezas se agrietaran y descompusieran casi por completo.

Conclusiones generales

Las piezas con mejores resultados fueron las estabilizadas con 1.5% de viruta, a pesar de no ser el porcentaje que mayor resistencia a compresión tuvo, fue la que aumento tanto en la resistencia a compresión como flexión con respecto al adobe tradicional, y fue la que menor capacidad de absorción tuvo, aunque fue mayor a la del adobe tradicional. Mientras más adición de viruta se incorporó a la mezcla, la resistencia a compresión y la capacidad de absorción aumentaran y la resistencia a flexión disminuirá. Es importante resaltar que se uso suelo tipo arena limosa, lo cual pudo afectar a que la única mejora fuera con respecto a la resistencia a compresión. Para poder considerar la viruta como un posible estabilizador es necesario acompañarlo con otro material que funcione como un impermeabilizante y plantearse si el tipo de suelo es el óptimo para la elaboración de adobe.

ESTUDIO n° 3 Adobe estabilizado con viruta de madera de Eucalipto

Propiedades del suelo

Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Límite líquido	Límite plástico		Índice de plasticidad		Tipo de suelo	
12.61%	26.42%	29.9%	19.8%		10.20%		Arenoso arcilloso	
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado								
Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso suelo seco (kg)	Peso de viruta (gr)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)	Deterioro
Adobe tradicional	30 x 15 x 11	27	11	-	21.74	18.107	15.69	-
Estabilizado con 1.5% de viruta	30 x 15 x 11	27	11	166	28.04	20.671	19.39	-
Estabilizado con 3% de viruta	30 x 15 x 11	27	11	330	29.737	19.378	20.15	-
Estabilizado con 4.5% de viruta	30 x 15 x 11	27	11	495	30.937	23.343	20.95	-
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado								
Estabilizado con 1.5% de viruta			Estabilizado con 3% de viruta			Estabilizado con 4.5% de viruta		
La pieza tuvo un incremento en la resistencia a compresión y a flexión, sin embargo, también la capacidad de absorción aumento, lo que desgasta y debilita la pieza.			La pieza tuvo un incremento tanto en su resistencia a compresión como a flexión, aunque su resistencia a flexión fue menos con respeto a la obtenida en la adición de 1.5%. De igual forma su capacidad de absorción aumento, lo que desgasta y debilita a la pieza.			La pieza tuvo la mayor resistencia tanto a compresión a como a flexión por sobre todo los casos, sin embargo, también fue la que mayor capacidad de absorción tuvo, debilitando la pieza.		
Conclusiones generales								
Las piezas con mejores resultados fueron las de adición de 4.5% de viruta, ya que en estas se presenta la mayor resistencia tanto de compresión como de flexión, el único inconveniente es que su capacidad de absorción fue mayor a la de todos los casos. Es importante mencionar que pesar de que las piezas, en todos los caros, tuvieron un aumento de capacidad de absorción, no perdieron su forma, es decir no sufrieron deformaciones graves, y resultados nos muestran que mientras mayor porcentaje de adición de viruta se incorpore a la mezcla mayor será la resistencia y desafortunadamente también será mayor la capacidad de absorción de agua. Probablemente dichos resultados graduales se deban a que estas piezas fueron realizadas por medio del prensado, lo que fortalece a las piezas gracias a que se compactan más haciendo que los poros se reduzcan. Para poder considerar la viruta como un posible estabilizador es necesario acompañarlo con otro material que funcione como un impermeabilizante.								

3.4. Polímeros naturales.

Los polímeros son materiales/sustancias que se destacan por su composición química, la cual consiste en una estructura compuesta por macromoléculas, es decir, por moléculas grandes, las cuales son formadas por monómeros, que son moléculas más chicas que se encuentran unidas por medio de enlaces covalentes, a este proceso se le conoce como polimerización.

Los polímeros se pueden clasificar de distintas formas, ya sea por origen, estructura o tecnología. La clasificación que nos interesa es la de por origen, la cual se clasifica entre sintéticos y naturales.

En esta sección solo nos enfocaremos en los naturales, los cuales provienen del reino vegetal o animal, es decir, son aquellos que se encuentran en la naturaleza.

Dentro de los polímeros naturales más utilizados como estabilizadores para el adobe, se encuentran:

- Látex natural.
- La goma de tuna / mucilago de nopal.
- Extracto de Cabuya

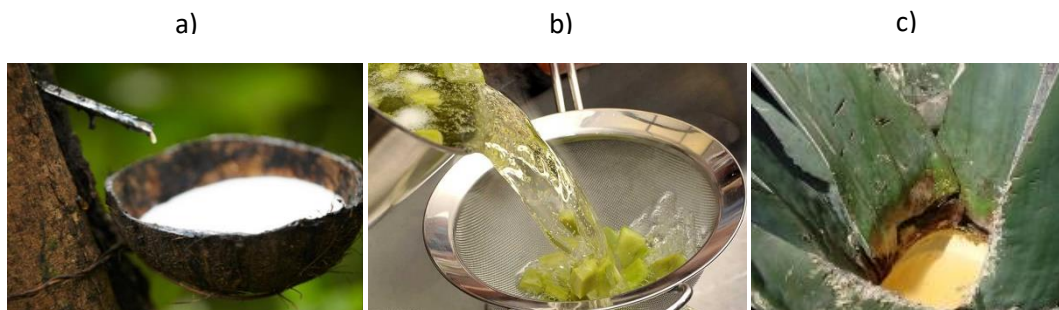


Ilustración 39. a) Látex natural, b) Goma de tuna, c) Extracto de Cabuya. *Imágenes tomadas de la web para fines académicos.*

Propiedades de los polímeros naturales.

Pueden destacar ciertas propiedades dependiendo de que tipo de polímero natural se trate, en este caso se mencionaran las propiedades generales de los polímeros naturales antes mencionadas (látex natural, goma natural y extracto de Cabuya):

Propiedades químicas: Estos materiales son resistencia a corrosión y a la oxidación, y de igual forma son capaces de resistir de gran manera ataques químicos.

Propiedades físicas: Su apariencia física puede ser opaca, transparente o translúcida, normalmente se encuentran en forma líquida y “viscosa”, son de baja densidad, tiene una alta resistencia al agua, es decir que tienen una alta impermeabilidad.

Propiedades mecánicas: Estos materiales al encontrarse en forma líquida no se puede decir cuáles son sus propiedades mecánicas, sin embargo, se destaca que al ser incorporados a otros materiales pueden aumentar la durabilidad y dureza de dichos materiales.

Usos de los polímeros naturales.

No son materiales de uso común, ya que su obtención es un poco complicada y laboriosa, los usos que se le llegan a dar son más de tipo artesanal.

Látex natural: Se ha implementado como un impermeabilizante natural para distintos tipos de tejidos.

Goma de tuna: Ha sido utilizada en la fabricación de morteros, los cuales son usados como revoques para la protección de muros y cubiertas.

Extracto de Cabuya: A este también se le conoce como aguamiel, y es una bebida previa al pulque.

Ventajas y desventajas de la viruta.

Nos enfocaremos en las ventajas y desventajas de específicamente los polímeros naturales antes mencionados, no en los polímeros naturales generales.

Ventajas:

1. *Amigable con el ambiente:* Tienen un índice bajo de contaminación, ya que proviene de la misma naturaleza, por lo que es biodegradable.
2. *Resistencia al agua:* Tienen una alta resistencia al agua, lo que los hace materiales impermeabilizantes.
3. *Material versátil:* Es fácil de manipular y de incorporar a las composiciones de otros materiales.

Desventajas:

1. *Difícil accesibilidad:* Conseguir este tipo de materiales se vuelve un poco complicado, esto se debe a que no son materiales que se puedan conseguir en cualquier tipo de tienda, sino que se deben obtener de manera directa.
2. *Procedimiento de obtención:* Puede que no se algo tan laboriosa, sin embargo, son procedimientos laboriosos y que conllevan bastante tiempo.

3.4.1. El polímero natural como estabilizador en el adobe.

En base a las propiedades de los polímeros naturales, la idea principal que tiene el uso de polímeros naturales en el adobe es que su absorción de agua se reduzca, esto como consecuencia de que, como se vio anteriormente, una de las propiedades más destacables de este material es que funciona como un impermeable.

Se quiere determinar si esta teoría es cierta y si se puede considerar de buena manera al polímero natural como un componente que ayude con la absorción, y de

igual manera determinar si se tiene un aumento de resistencia ante la compresión y flexión, dando como resultado un material más duradero y resistente.

A pesar de que no es un material tan sencillo de obtener, por lo laborioso que puede llegar a ser el proceso de obtención, se toma en cuenta ya que puede aportar grandes mejoras al adobe, además de que lo mantiene en una forma “natural”.

A continuación, se mostrarán distintos estudios que se han hecho con este tipo de material como estabilizador en adobe, para mostrar su comportamiento.

3.4.2. Estudio n°1. Adobe estabilizado con extracto de cabuya.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación *“Adobe estabilizado con extracto de cabuya (furcraea andina)” de Verónica Benites-Zapata.*

Lo primero que se decidió fue el sitio en donde el duelo sería obtenido, además de determinar cómo sería usado el extracto de Cabuya, para este estudio se decidió que el extracto sería de la misma cantidad en los distintos tipos de adobes estabilizados, lo que cambia es el tiempo en que se deja reposar el extracto al momento de obtenerlo, y los tiempos que se decidieron fueron de 5 días, 10 días y 20 días.

Las piezas de adobe para este estudio fueron de dos tamaños con las siguientes medidas:

Tamaño 1: **Ancho 15.5cm, largo 30.5cm y espesor 7.62cm.**

Tamaño 2: **Ancho 5cm, largo 5cm y espesor 5cm.**

Obtención del material.

Suelo:

El suelo se obtuvo en una cantera en la zona de Sapillica de la provincia de Ayabaca, Perú, la razón de extraer el suelo de este sitio para los adobes fue que los pobladores y los fabricantes de adobe de la zona consideran que es de los suelos más apto para la elaboración de ellos. A pesar de esos testimonios de igual forma se realizó el análisis de suelo para determinar si era adecuado para la elaboración de los adobes.

Los resultados de dichos análisis fueron los siguientes (Benites, 2017):

Contenido de humedad: 9.3%

Análisis granulométrico: 65% de finos arcillosos y 35% de arena fina.

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 27%*
- *Límite plástico: 15%*
- *Índice plástico: 12%*

Tipo de suelo: Arcilla de baja plasticidad arenosa.

Extracto de Cabuya:

La planta de cabuya en México se le conoce como planta del maguey, y para poder obtener el extracto lo que se debe hacer es realizar un orificio en el tronco, se recomienda cortar hojas para liberar el “camino” hacia el centro, es decir, el tronco. Una vez que se realiza el orificio en el tronco, se debe raspar varias veces las paredes del orificio para ir generando el extracto, y este se recolecta diariamente durante aproximadamente 20 días.

Una vez recolectada la cantidad necesaria para la elaboración de los adobes, el extracto se deja reposar durante algunos días, para este estudio se tuvieron tres extractos con distintos días de reposo, que fueron 5, 10 y 20 días.

Elaboración de adobe con extracto de Cabuya:

Mezclado:

Ya analizado el suelo que se usara para la fabricación de los adobes, se procedió a determinar la cantidad de agua adecuada para que la mezcla fuera optima, se decidió que la cantidad optima es un 28% de agua con respecto al peso del suelo seco.

Se realizo el mezclado de suelo y agua, y una vez que se obtuvo una mezcla homogénea, se agregó el extracto de Cabuya, y para dichas mezclas el 50% del agua utilizada se reemplaza por el extracto de cabuya correspondiente para cada mezcla.

Encofrado y desencofrado:

Ya teniendo listas las mezclas, se procedió a elaborar loa adobes, para esto los moldes se remojaron en agua para facilitar el desencofrado y para que los moldes no absorbieran el agua de la mezcla. Una vez colocada la mezcla en el molde, se compacto lo más posible haciendo presión con las manos y se empareja, y por último se procede a desencofrar la pieza.

Secado y almacenamiento:

Las piezas fueron colocadas en una superficie plana y limpia, 10 días después de que comenzó el secado, se les color en canto para completar el secado, este proceso duro 3 semanas.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con extracto de Cabuya:

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para determinar su resistencia a compresión, a flexión y su inmersión.

Resistencia a la compresión:

Las piezas para esta prueba fueron las de forma cubica, con medidas de 5cm x 5cm x 5cm.

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	24.92
Estabilizado con extracto reposado durante 5 días	21.92
Estabilizado con extracto reposado durante 10 días	27.32
Estabilizado con extracto reposado durante 20 días	27.10

Tabla 19. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Adobe estabilizado con extracto de cabuya (furcraea andina)”.*

Resistencia a la flexión:

Las piezas para esta prueba fueron de forma rectangular, con medidas de 30.5cm x 15.5cm x 7.62cm.

TIPO DE ADOBE	MÓDULO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	4.30
Estabilizado con extracto reposado durante 5 días	6.79
Estabilizado con extracto reposado durante 10 días	11.34

Estabilizado con extracto reposado durante 20 días	10.05
--	-------

Tabla 20. Resistencia a flexión. *Tabla tomada del trabajo “Adobe estabilizado con extracto de cabuya (furcraea andina)”.*

Prueba de inmersión:

Las piezas para esta prueba fueron de forma rectangular, con medidas de 30.5cm x 15.5cm x 7.62cm.

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional	Severo
Estabilizado con extracto reposado durante 5 días	Moderado
Estabilizado con extracto reposado durante 10 días	Ligero
Estabilizado con extracto reposado durante 20 días	Moderado

Tabla 21. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Adobe estabilizado con extracto de cabuya (furcraea andina)”.*

Conclusiones.

Como se puede ver los resultados obtenidos en las distintas pruebas, el extracto de Cabuya presento resultados favorables con respecto a la estabilización del adobe, en los 3 aspectos analizados hubo mejoras considerables.

En la prueba a compresión dos de tres de los distintos tipos de adobe estabilizado presentaron una resistencia superior a la del adobe tradicional. El que tuvo un mejor resultado fue el adobe estabilizado con extracto reposado durante 10 días, con un incremento del 10% con respecto al adobe tradicional. Se puede ver que mientras más tiempo se deje en reposo el extracto, se va reduciendo la resistencia, aunque se siga siendo mayor a la del adobe tradicional.

En la prueba a flexión en los tres tipos del adobe estabilizado presentaron una resistencia mayor a la del adobe tradicional. El que tuvo mejores resultados fue el adobe estabilizado con extracto reposado durante 10 días, con un incremento del 164% con respecto al adobe tradicional, lo cual es un incremento bastante significativo. Lo mismo pasa en esta prueba que en la de compresión mientras más tiempo se deje en reposo el extracto, se va reduciendo la resistencia, aunque se siga siendo mayor a la del adobe tradicional.

Y en la prueba de inmersión todos los tipos de adobe fueron sumergidos en agua durante 24hrs, los resultados de su deterioro fueron favorables, ya que el deterioro se redujo en los distintos tipos de adobe estabilizado con respecto al adobe tradicional. El mejor resultado se obtuvo en el adobe estabilizado con extracto reposado durante 10 días, ya que en este el deterioro fue ligero.

Se puede concluir que el tiempo óptimo de reposo para que el extracto de Cabuya adquiriera las propiedades necesarias para estabilizar al adobe es de 10 días, ya que con 5 días de reposo la resistencia era menor a la del adobe tradicional o no aumentaba de manera significativa, mientras que en el de 20 días era más resistente al tradicional, pero era menor a los resultados de resistencia con respecto al de 10 días.

3.4.3. Estudio n°2. Adobe compactado estabilizado con goma de tuna.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación *“Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna”* de Juan Bolaños Rodríguez.

Para comenzar se decidieron los porcentajes de adición para las piezas adobe y la cantidad que se elaboraran para las pruebas, además de establecer que sería adobe compactado, es decir, en lugar de usar una adobera y hacer presión con las manos, se usaría una prensa manual para la elaboración de estas. Los porcentajes de estabilizador fueron:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
24	Adobe tradicional.
24	Adobe con adición de goma de tuna de 5% en peso.
24	Adobe con adición de goma de tuna de 10% en peso.
24	Adobe con adición de goma de tuna de 15% en peso.

Tabla 22. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna”.*

De cada tipo de adobe se elaboraron 24 piezas, de las cuales 10 son para la prueba a compresión, 8 para la prueba a flexión y 6 para la prueba de absorción.

Las piezas de adobe para este estudio son de las siguientes medidas: **Ancho 15cm, largo 30cm y espesor 11cm.**

Obtención del material.

Suelo:

El suelo para la elaboración de las piezas se obtuvo de una cantera ubicada en Cajamarca, Baños de Inca en Perú, la extracción del suelo se realizó mediante una excavación manual, y para la transportación del suelo a los laboratorios para el análisis, se optó poner el suelo en sacos y cubrirlo en bolsas para no alterar la humedad de este y que no se contaminara durante el transporte.

Se realizó el análisis de suelo, en donde se tuvieron los siguientes resultados (Bolaños, 2016):

Contenido de humedad: 9.3%

Análisis granulométrico: Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 29.34%

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 26%*
- *Límite plástico: 15%*
- *Índice plástico: 11%*

Tipo de suelo: Arena arcillosa.

Goma de tuna:

La planta de tuna, mejor conocida aquí en México como nopal, se obtuvo directamente de un campo, y una vez que se tuvieron todos los nopales necesarios, se procedió a retirar las espinas para un uso más seguro.

El método que se usó para la obtención de la tuna, principalmente por cuestiones de tiempo ya que es el más rápido, fue partir por la mitad y raspar el producto para extraer el material “baboso, para posteriormente licuarlo y así formar la goma, también conocida como mucilago de nopal (Bolaños, 2016).

Elaboración de adobe con adición goma de tuna.

El proceso de elaboración de las piezas de adobe estabilizado con goma de tuna fue realizado en una ladrillera por cuestiones de espacio, y fue de la siguiente manera:

Mezclado:

La mezcla se realizó en carretillas, esto con el propósito de que fuera más sencillo el mezclado y para no contaminar dicha mezcla y tenerla lo más pura posible. En este paso se agregó la cantidad de tuna correspondiente para cada mezcla de adobe, y se mezcló hasta obtener una mezcla lo más homogénea posible.

Prensado:

Una vez que la mezcla esta lista, se hace la compactación en la prensa manual, y se trata de aplicar una fuerza uniforme para que las piezas de adobe no sufran deformaciones.

Secado y almacenamiento:

Las piezas se colocaron en una superficie techada, plana, limpia y libre de impurezas orgánicas, además de que se cubrió con una manta para evitar rajaduras provocadas con el viento. El proceso de secado duro 28 días.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con goma de tuna.

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para determinar su resistencia a compresión a flexión y su capacidad de absorción de agua.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	19.19

Estabilizado con 5% de goma de tuna	21.90
Estabilizado con 10% de goma de tuna	25.27
Estabilizado con 15% de goma de tuna	27.56

Tabla 23. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna”.*

Resistencia a la flexión:

TIPO DE ADOBE	MÓDULO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	4.77
Estabilizado con 5% de goma de tuna	6.47
Estabilizado con 10% de goma de tuna	6.81
Estabilizado con 15% de goma de tuna	6.11

Tabla 24. Resistencia a flexión. *Tabla tomada del trabajo “Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna”.*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional	-
Estabilizado con 5% de goma de tuna	12.68
Estabilizado con 10% de goma de tuna	14.62

Estabilizado con 15% de goma de tuna	-
--------------------------------------	---

Tabla 25. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna”.*

Conclusiones.

Los resultados con este material como estabilizador fueron bastante favorables, en los 3 aspectos que se analizaron y estudiaron hubo mejoras considerables con respecto al adobe tradicional.

En las pruebas de resistencia a compresión la goma ayudo a aumentarla, en los 3 casos de porcentajes hubo un aumento de resistencia en comparación al adobe tradicional. La adición que tuvo mejor resultado fue el de 15% de goma de tuna, ya que, con respeto a la resistencia a compresión del adobe tradicional, tuvo un incremento del 44%, con los resultados de esta prueba podemos considerar que mientras más adición de goma de tuna tenga el adobe, mayor será la resistencia a compresión.

En el caso de las pruebas de resistencia a flexión los resultados de igual forma fueron favorables, en los 3 porcentajes hubo un aumento de resistencia a comparación del adobe tradicional. El mejor resultado que se tuvo fue con la adición del 10% de goma de tuna, ya que se tuvo un aumento del 43% con respecto al adobe tradicional. A pesar de que la resistencia en los 3 casos de adobe con goma de tuna fue mayor a la del tradicional, es importante resaltar que en el de adición de 15% hubo una disminución con respecto al de 10%, lo que significa que mientras más goma de tuna tenga la resistencia a flexión ira disminuyendo, pero aun así será mayor al de un adobe tradicional.

Y, por último, en el caso de la prueba a absorción, el adobe tradicional no resistió la prueba al sumergido durante 24hrs, mientras que en los adobes estabilizados con el 5% y 10% hubo un aumento de resistencia favorable, y el adobe estabilizado con

15% de goma de tuna, al igual que el adobe tradicional, no resistió la prueba al estar sumergido durante 24hrs en agua. Estos resultados nos dejan ver que, a mayor adición de goma de tuna, la absorción será mayor o incluso simplemente no resistirá.

3.4.4. Estudio n°3. Adobe estabilizado con mucílago de penca de tuna.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación *“Adobe estabilizado con mucílago de penca de tuna, resistentes al contacto con el agua para la construcción de viviendas populares empleados en la sierra del Perú”* de Lucero Antuhane Nieto Palomino y Edna Florencia Tello Pérez.

Lo primero que se hizo establecer el poblado en donde se realizarían los adobes, y se tomó en cuenta que el lugar es practicante de la construcción con adobe, luego se decidieron los porcentajes para las pruebas de adobe estabilizado con mucílago, además de determinar las piezas que serían elaboradas para la realización de las pruebas, los porcentajes y las piezas fueron las siguientes:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
40	Adobe tradicional.
28	Adobe con adición de mucílago de 8.5%.
28	Adobe con adición de mucílago de 11.3%.
28	Adobe con adición de mucílago de 13%.
28	Adobe con adición de mucílago de 18%.

40	Adobe con adición de mucílago de 20.5%.
----	---

Tabla 26. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Adobe estabilizado con mucílago de penca de tuna, resistentes al contacto con el agua para la construcción de viviendas populares empleados en la sierra del Perú”*

Las piezas de adobe para este estudio son de las siguientes medidas: **Ancho 20cm, largo 40cm y espesor 13cm.**

Obtención del material.

Suelo:

El suelo que se usó para la elaboración de los adobes se obtuvo del distrito de Huarochirí, Perú en dos canteras distintas, esto debido a que se sacaron dos muestras de suelo, para determinar cuál sería óptimo para los adobes.

Una vez que se obtuvieron las dos muestras de suelo, se procedió a hacer los siguientes análisis:

Se realizó el análisis de suelo, en donde se tuvieron los siguientes resultados (Nieto & Tello, 2019):

1. Muestra n°1:

Contenido de humedad: 0.60%

Análisis granulométrico: Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 27.2%

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 32.625%*
- *Límite plástico: 19.77%*

Tipo de suelo: Arcilla con grava o arena.

1. Muestra n°2:

Contenido de humedad: 0.45%

Análisis granulométrico: Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 29%

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 31.186%*
- *Límite plástico: 24.26%*

Tipo de suelo: Arcilla limosa.

Mucilago de penca de tuna:

La penca de tuna es mejor conocida en México nopal, y para este estudio el nopal se obtuvo de un campo en el distrito de Huarochirí, una vez que se cortaron los nopales suficientes, se procedió a limpiarlos quitándoles las espinas que pudiesen tener. Para obtener el mucilago, el procedimiento que se llevó a cabo fue el siguiente, ya que se tienen los nopales limpios, se cortaron en trozos pequeños y se dejaron remojados en agua durante 15 días, y esto fue para cada concentración.

Las cantidades que se usaron para conseguir el mucilago fueron 3.4kg, 4.5kg, 5.2kg, 7.2kg y 8.2kg, y se remojaron en 40Lt de agua.

Elaboración de adobe con adición goma de tuna.

Dosificación:

Previo a la elaboración de las piezas, se determinaron las cantidades que corresponden para cada mezcla. Las cantidades que se muestran en la siguiente tabla son con respecto a la mezcla necesaria para la realización de todas las piezas que se piden para cada tipo de adobe:

PORCENTAJE	NOPAL (kg)	SUELO SECO (kg)	PAJA (gr)
------------	------------	-----------------	-----------

Adobe tradicional	-	400	700
8.5% de mucilago	3.4	280	500
11.3% de mucilago	4.5	280	500
13% de mucilago	5.2	280	500
18% de mucilago	7.2	280	500
20.5% de mucilago	8.2	400	700

Tabla 27. Dosificación para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Adobe estabilizado con mucilago de penca de tuna, resistentes al contacto con el agua para la construcción de viviendas populares empleados en la sierra del Perú”*

Mezclado:

La mezcla se realizó en un espacio plano, lo primero que se mezcla es el suelo y el agua, y una vez que se tiene lista se deja reposar por una hora, para posteriormente agregar el mucilago en la cantidad correspondiente. Para finalizar la mezcla se agrega la paja, la cual tiene aproximadamente de 10cm de longitud.

Encofrado y desencofrado:

Al tener lista la mezcla se procedió a llenar la adobera con ella, previamente dicha adobera fue remojada en agua para que esta no absorbiera agua de la mezcla y para facilitar el desencofrado. Una vez agreda la mezcla en la adobera, se hace presión para y se remueve el exceso de mezcla, esto con la finalidad de tener pieza sin deformaciones.

Secado y almacenamiento:

Ya teniendo las piezas, estas se colocan en una superficie plana, limpia y cubierta, para no estén expuestas a los rayos de sol y así evitar fisuras. Las piezas se colocan

con la cara mayor hacia arriba, y 5 días después, de la colocación para el secado, se les puso en canto para continuar con el secado.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con goma de tuna.

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para determinar su resistencia a compresión a flexión, su capacidad de absorción de agua y su inmersión.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	18.83
Estabilizado con 8.5% de mucilago	18.87
Estabilizado con 11.3% de mucilago	19.91
Estabilizado con 13% de mucilago	21.32
Estabilizado con 18% de mucilago	25.20
Estabilizado con 20.5% de mucilago	23.30

Tabla 28. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo "Adobe estabilizado con mucilago de penca de tuna, resistentes al contacto con el agua para la construcción de viviendas populares empleados en la sierra del Perú"*

Resistencia a la flexión:

TIPO DE ADOBE	MÓDULO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	17.58
Estabilizado con 8.5% de mucilago	17.59

Estabilizado con 11.3% de mucilago	17.59
Estabilizado con 13% de mucilago	17.60
Estabilizado con 18% de mucilago	17.61
Estabilizado con 20.5% de mucilago	17.62

Tabla 29. Resistencia a flexión. *Tabla tomada del trabajo “Adobe estabilizado con mucílago de penca de tuna, resistentes al contacto con el agua para la construcción de viviendas populares empleados en la sierra del Perú”*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional	-
Estabilizado con 8.5% de mucilago	12.64
Estabilizado con 11.3% de mucilago	11.90
Estabilizado con 13% de mucilago	11.04
Estabilizado con 18% de mucilago	11.43
Estabilizado con 20.5% de mucilago	10.99

Tabla 30. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Adobe estabilizado con mucílago de penca de tuna, resistentes al contacto con el agua para la construcción de viviendas populares empleados en la sierra del Perú”*

Saturación total:

TIPO DE ADOBE	SATURACIÓN
---------------	------------

Adobe tradicional	Severa
Estabilizado con 8.5% de mucilago	Moderada
Estabilizado con 11.3% de mucilago	Moderada
Estabilizado con 13% de mucilago	Moderada/Ligera
Estabilizado con 18% de mucilago	Moderada
Estabilizado con 20.5% de mucilago	Moderada/Ligera

Tabla 31. Saturación. *Tabla tomada del trabajo “Adobe estabilizado con mucilago de penca de tuna, resistentes al contacto con el agua para la construcción de viviendas populares empleados en la sierra del Perú”*

Conclusiones.

Se puede ver que los resultados fueron bastante favorables y prometedores, ya que en los 4 aspectos que se analizaron hubo mejoras con respecto a los resultados que presenta el adobe tradicional en este estudio.

En las pruebas a compresión el mucilago tuvo grandes resultados, ya que en todos los casos la resistencia fue mayor a comparación de adobe tradicional. El mejor resultado fue en el adobe estabilizado con 18% de mucilago, ya que este tuvo un aumento del 37% con respecto al adobe tradicional. A pesar de que en todos los casos el resultado fue mayor al del adobe tradicional, es importante resaltar que en el adobe estabilizado con 20.5% el resultado fue disminuyendo, lo que nos hace pensar que en porcentajes mayores al 18% de adición de mucilago, se comenzará a disminuir de poco a poco la resistencia a compresión, pero seguirá por sobre la resistencia del adobe tradicional.

En la prueba a flexión los resultados aumentaron, sin embargo, se mantuvieron estables con respecto al adobe tradicional, ya que como se puede ver no se presenta un incremento de resistencia significativo, prácticamente se queda en el

mismo valor que tiene un adobe tradicional, pero es importante resaltar que mientras más porcentaje de mucilago se le incorpore al adobe, mayor será su resistencia a flexión.

En la prueba de absorción los resultados fueron favorables, esto debido a que el adobe tradicional no resistió esta prueba de ser sumergirlo en agua durante 24hrs, y en los otros adobes resistió y mientras mayor era el porcentaje de mucilago menor era el porcentaje de absorción. El mejor resultado estuvo en el adobe estabilizado con el 20.5% de mucilago.

3.4.5. Conclusiones generales sobre los estudios de polímeros naturales.

Con los resultados que se vieron en los distintos estudios analizados, podemos decir que los polímeros naturales aportan al adobe, de una gran manera, propiedades impermeabilizantes, ya que en todos los estudios se vio una mejora en la capacidad de absorción de agua, debido a que se redujo su porcentaje, lo que también dio como consecuencia que el deterioro en las pruebas de inmersión se redujera, haciendo que las piezas no sufrieran deformación ni descomposición, en conclusión, se presentan como una buena propuesta para aumentar la resistencia ante el agua del adobe.

Los mejores resultados se dieron en el estudio n°1 de adobe estabilizado con extracto de cabuya, ya que la resistencia incremento tanto a compresión como a flexión, y la absorción se logró reducir bastante bien.

Y en el caso de los estudios del mucilago de nopal, en ambos hubo mejoras considerables en cuanto a la capacidad de absorción y a la resistencia a compresión, sin embargo, la resistencia a flexión se mantuvo prácticamente igual a la inicial que se obtuvo en los adobes tradicionales de cada estudio.

Es importante, mencionar que además de ser dos polímeros distintos con los que se hicieron pruebas, el extracto de cabuya y el mucilago, también fueron distintos métodos de dosificación, ya que en el caso del extracto lo que se midió fue el tiempo

en que el extracto lograba generar sus propiedades estabilizadoras para el adobe, mientras que, en el caso del mucilago, lo que se mide es la cantidad de mucilago que se le agrega a la mezcla para que esta reaccione de la mejor manera en el adobe. En base a esto, se podría considerar para futuras investigaciones el aplicar el método de reposo del extracto en el mucilago, esto para probar que en caso de dejar en reposo el mucilago este pueda generar sus propiedades estabilizadoras con mayor fuerza, y hacer que la resistencia a flexión pueda aumentar.

COMPARACIÓN DE ADOBES ESTABILIZADOS CON POLÍMEROS NATURALES								
ESTUDIO n° 1 Adobe estabilizado con extracto de Cabuya								
Propiedades del suelo								
Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite liquido	Limite plástico		Índice de plasticidad		Tipo de suelo	
9.30%	-	27%	15%		12%		Arcilla de baja plasticidad arenosa	
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado								
Tipo de adobe	Medida	Piezas	% de agua para la mezcla	Cantidad de extracto	Compresión (Kg/cm²) Piezas de 5 x 5 x5	Flexión (Kg/cm²) Piezas de 30.5x15.5x7.62	Absorción de agua (%)	Deterioro
Adobe tradicional	30.5 x 15.5 x 7.62 // 5x5x5	-	28% con respecto al peso del suelo seco	-	24.92	4.3	-	Severa
Estabilizado con extracto reposado durante 5 días	30.5 x 15.5 x 7.62 // 5x5x5	-	28% con respecto al peso del suelo seco	50% del agua de la mezcla se reemplaza con extracto	21.92	6.79	-	Moderada
Estabilizado con extracto reposado durante 10 días	30.5 x 15.5 x 7.62 // 5x5x5	-	28% con respecto al peso del suelo seco	50% del agua de la mezcla se reemplaza con extracto	27.32	11.34	-	Ligera
Estabilizado con extracto reposado durante 20 días	30.5 x 15.5 x 7.62 // 5x5x5	-	28% con respecto al peso del suelo seco	50% del agua de la mezcla se reemplaza con extracto	27.1	10.05	-	Moderada
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado								
Estabilizado con extracto reposado durante 5 días			Estabilizado con extracto reposado durante 10 días			Estabilizado con extracto reposado durante 20 días		
La resistencia a compresión fue menor a la del adobe tradicional, y en la prueba el agrietamiento que se presentó no causo deformaciones significativas, sin embargo, si causa un ligero desmoronamiento, en la resistencia a flexión se tuvo un incremento, y por la prueba de inmersión en donde se tuvo como resultado que el deterioro fue menor al del adobe tradicional, podemos deducir que su capacidad de absorción disminuyó..			La resistencia a compresión fue mayor a la del adobe tradicional, y en la prueba el agrietamiento que se presentó no causo deformaciones significativas, sin embargo, si causa un ligero desmoronamiento, de igual forma la resistencia a flexión tuvo un aumento significativo, y por último el deterioro fue menor, por lo que las piezas no sufren una deformación o desintegración, por lo que se deduce que la capacidad de absorción disminuye.			La resistencia a compresión y a flexión fue mayor a la del adobe tradicional, sin embargo, tuvo una ligera disminución a la del adobe estabilizado con extracto reposado durante 10 días, y lo mismo ocurre en el deterioro de las piezas, ya que sufren un deterioro menor al del adobe tradicional, pero mayor al del adobe estabilizado con extracto reposado durante 10 días.		
Conclusiones generales								
Las piezas con mejores resultados fueron las estabilizadas con extracto reposado durante 10 días, ya que la resistencia a compresión y flexión fue superior a todos los tipos de adobe, y fue el que menor capacidad de absorción y deterioro presento. Los resultados nos dejan ver que el tiempo de reposo óptimo para que el extracto de Cabuya genere sus propiedades "estabilizadoras" es de 10 días, ya que antes de ese tiempo la resistencia es menor a la del adobe tradicional, sin embargo, se logran activar las propiedades de impermeabilización en un corto tiempo, y en el caso de reposar el extracto por más de 10 días, la resistencia disminuye y la capacidad de absorción aumenta a comparación del reposado durante 10 días, pero sigue teniendo mejores resultados que el adobe tradicional. Es posible que, si se deja más tiempo de reposo, a partir de los 10 días, el extracto vaya perdiendo las propiedades que pudo haber generado durante los primeros 10 días. A pesar de los tiempos de reposo, podemos ver que este tipo de polímero ayuda bastante a que el agua no ataque de manera tan agresiva al material.								
ESTUDIO n° 2 Adobe compactado estabilizado con goma de tuna (mucílago/baba de nopal)								
Propiedades del suelo								
Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite liquido	Limite plástico		Índice de plasticidad		Tipo de suelo	
9.30%	29.34%	26%	15%		11%		Arena arcillosa	
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado								
Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso suelo seco (kg)	Peso de goma de tuna	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)	Deterioro
Adobe tradicional	30 x 15 x 11	24	-	-	19.19	4.77	-	-
Estabilizado con 5% de goma de tuna	30 x 15 x 11	24	-	-	21.90	6.47	12.68	-
Estabilizado con 10% de goma de tuna	30 x 15 x 11	24	-	-	25.27	6.81	14.62	-
Estabilizado con 15% de goma de tuna	30 x 15 x 11	24	-	-	27.56	6.11	-	-
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado								
Estabilizado con 5% de goma de tuna			Estabilizado con 10% de goma de tuna			Estabilizado con 15% de goma de tuna		
La resistencia a compresión y a flexión tuvieron un incremento con respecto al adobe tradicional. Y hubo una mejora significativa en su resistencia ante el agua, ya que el adobe tradicional que no logro resistir ante el agua, es decir, la pieza sufrió descomposición casi por completo, mientras que las piezas con el 5% resistieron y conservaron su forma.			La resistencia a compresión y flexión fue la más favorable de todos los tipos de adobe, pero su capacidad de absorción aumento ligeramente con respecto al adobe estabilizado con el 5%, sin embargo, las piezas logran resistir al agua y conversan su forma, lo cual es superior a los resultados de absorción en el adobe tradicional.			La resistencia a compresión fue la mayor obtenida de los distintos tipos de adobe, y su resistencia a flexión disminuyo ligeramente con respecto a la obtenida en el estabilizado con el 10%, sin embargo, el resultado fue superior al del adobe tradicional. El inconveniente que se tuvo en este adobe es que no presentó resistencia ante el agua, y al igual que el adobe tradicional, la pieza sufrió descomposición casi por completo.		

Conclusiones generales

Las piezas con mejores resultados fueron las estabilizadas con 10% de goma de tuna, ya que a pesar de que no fueron las de mayor resistencia a compresión y menor capacidad de absorción, son las más "estables". Y esto se está considerando debido a que las piezas de 15%, a pesar de tener una resistencia a compresión superior, no tienen nada de resistencia ante el agua, esto se podría solucionar implementado a la mezcla otro tipo de material que sirva como impermeabilizante, sin embargo, su resistencia a flexión empezó a disminuir, lo que nos hace considerar si el porcentaje de goma sobrepasa el 10%, menor será la resistencia a flexión. Se debe resaltar que en este caso el haber elaborado las piezas por medio del prensado, no hizo una mejora significativa a la resistencia y a la capacidad de absorción.

ESTUDIO n° 3 Adobe estabilizado con mucilago de penca de tuna (mucilago/baba de nopal)

Propiedades del suelo

Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite liquido	Limite plástico	Índice de plasticidad	Tipo de suelo
12.61%	26.42%	29.9%	19.8%	10.20%	Arenoso arcilloso

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado

Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso suelo seco (kg)	Peso de nopal (kg)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)	Deterioro
Adobe tradicional	40 x 20 x 13	40	400	-	18.83	17.58	-	Severa
Estabilizado con 8.5% de mucilago	40 x 20 x 13	28	280	3.4	18.87	17.59	12.64	Moderada
Estabilizado con 11.3% de mucilago	40 x 20 x 13	28	280	4.5	19.91	17.59	11.90	Moderada
Estabilizado con 13% de mucilago	40 x 20 x 13	28	280	5.2	21.32	17.6	11.04	Moderda/Ligera
Estabilizado con 18% de mucilago	40 x 20 x 13	28	280	7.2	25.20	17.61	11.43	Moderada
Estabilizado con 20.5% de mucilago	40 x 20 x 13	40	400	8.2	23.30	17.62	10.99	Moderada/Ligera

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 8.5% de mucilago	Estabilizado con 11.3% de mucilago	Estabilizado con 13% de mucilago	Estabilizado con 18% de mucilago	Estabilizado con 20.5% de mucilago
La resistencia a compresión y a flexión prácticamente quedo igual a la del adobe tradicional, la diferencia que ocurre es por pocas décimas. Y en el caso de la capacidad de absorción y el deterioro hubo una mejora, ya que el adobe tradicional no logro resistir ante el agua, descomponiendo la pieza, mientras que en este caso el adobe resiste y se mantiene en su forma.	La resistencia a compresión aumento ligeramente, y en el caso de la resistencia a flexión esta se mantiene en los mismos resultados, no aumenta ni se reduce, mientras que en la capacidad de absorción y el deterioro se ve una mejora ya que en este caso vuelve a bajar el porcentaje, lo que provoca que la pieza se mantenga resistente ante el agua sin deformar ni perder su forma.	La resistencia a compresión aumento favorablemente, mientras que la resistencia a flexión se sigue manteniendo prácticamente en los mismos resultados. En el caso de la capacidad de absorción y el deterioro los resultados mejoraron, ya que el porcentaje se redujo, manteniendo a las piezas resistentes ante el agua, evitando deformaciones, el deterioro lo podemos ubicar en un nivel entre moderado y ligero.	La resistencia a compresión tuvo un aumento considerable, mientras que la resistencia a flexión se sigue manteniendo prácticamente en los mismos resultados. En el caso de la capacidad de absorción y de deterioro, los resultados aumentaron ligeramente, sin embargo, se mantienen como una mejora positiva, ya que es un porcentaje menor al que se registra en el adobe tradicional, que prácticamente se descompuso.	La resistencia a compresión se redujo con respecto a la obtenida en el adobe con 18% de mucilago, pero es superior a la del adobe tradicional, por lo que no se presenta como un problema la reducción, en la resistencia a flexión el resultado no varía mucho ya que sólo hay decimas de diferencia. En la capacidad de absorción y el deterioro los resultados mejoraron, ya que el porcentaje se redujo, provocando que las piezas se ubiquen en un nivel de deterioro entre moderado y ligero, evitando deformaciones causados por el agua.

Conclusiones generales

Las piezas que se consideran que dieron los mejores resultado fueron las estabilizadas con 20.5% de mucilago, ya que a pesar de la ligera reducción de resistencia a compresión que se tuvo con respecto al estabilizado con 18% de mucilago, es el que logro presentar un poco más de resistencia a flexión aunque fuera por unas décimas, y lo más importante es que este, junto con el adobe con 13% de mucilago, fue el que tuvo la mayor reducción de porcentaje de absorción de agua, lo que hace que las piezas se presenten más resistentes ante el agua, evitando que estas se deformen y descompongan. Como se ve en los resultados, prácticamente mientras más porcentaje de mucilago se le agregue a las mezclas, mayor será la resistencia a compresión y menor será la capacidad de absorción, sería necesario el realizar otros estudios donde se consideren porcentajes mayores al 20.5%, para verificar si esta hipótesis es cierta, ya que como se mencionó, en este porcentaje hubo una ligera reducción. Se puede considerar que, para poder tener un aumento significativo en la resistencia a flexión, sería necesario la incorporación de otro tipo de material dentro de la mezcla de adobe estabilizado con mucilago. Este material presento buenos resultados para la impermeabilización del adobe.

3.5. Fibras vegetales.

Las fibras vegetales son materiales de tipo filamentosos, es decir, son hilos finos y de origen biológico, las cuales provienen de las plantas y vegetales. Su grosor y dimensión puede variar según el producto del que se obtengan.

Estos tipos de fibras han sido muy importantes a lo largo de la historia, ya que gracias a este material se han podido realizar materiales que ayudan en la vida cotidiana.

Para esta sección nos enfocaremos en las siguientes fibras vegetales:

- Fibra de coco.
- Fibra de platanal.
- Fibra de agave.



Ilustración 40. a) Fibra de coco, b) Fibra de platanal, c) Fibra de agave. *Imágenes tomadas de la web para fines académicos.*

Propiedades de las fibras vegetales.

Las propiedades generales de este tipo de material son las siguientes:

Propiedades químicas: Tienen resistencia a la corrosión y a la oxidación.

Propiedades físicas: Son de muy baja densidad, son resistentes al agua y las pueden llegar a retener, puede llegar a ser maleable sólo cuando se las tienen en conjuntos, es decir, cuando se las entrelaza.

Propiedades mecánicas: Como individuales resultan ser vulnerables a la ruptura, sin embargo, al estar entrelazadas se forma una “cuerda” la cual es bastante resistente y puede ser elástica, en esta forma son dúctiles y tenaces.

Tipos y usos de las fibras naturales.

Las fibras naturales las podemos dividir en dos tipos, las de origen vegetal y las de origen animal.

Origen vegetal: Paja, pasto, algodón, tallos y fibras de distintos tipos de plantas.

Origen animal: Cabello, pelaje, sangre, excremento y lana.

Nos enfocaremos en las de tipo vegetal, en donde su uso principal se lleva dentro de la industria textil, en donde se utiliza principalmente para la elaboración de:

- Telas.
- Cuerdas.
- Hilos.
- Bolsas.
- Ropa.
- Papel.

Otro uso es para la elaboración de fertilizantes de jardinería.

Ventajas y desventajas de las fibras vegetales.

Para las fibras naturales tienen las siguientes ventajas y desventajas.

Ventajas:

1. *Amigable con el ambiente*: Al ser un material natural no produce contaminación, y de la misma forma su método de obtención no es un proceso que genere contaminación.

2. *Material manipulable*: Es un material sencillo de usar, ya que no se requiere de otro proceso para poder ser utilizado.

3. *Material accesible*: Esto va a depender del tipo de fibra que se quiera utilizar, ya que algunas fibras a pesar de no ser un material de uso común son accesibles para poder obtenerlo, ya que también se puede considerar a como un “desecho” de algunas cosechas. Y hay casos en los que se puede llegar a vender bolsas de este producto.

Desventajas:

1. *Difícil acceso*: Así como hay fibras a las que se les tiene un fácil acceso para poder adquirirlas, hay otras que por el tipo de producto se vuelve más complicado, ya que se tendría que conseguir el producto y uno mismo debería de obtener las fibras.

2. *Procedimiento de obtención*: En caso de tener que obtener por uno mismo las fibras de cierto producto, el procedimiento resulta ser un poco tardado y laborioso.

3. *Resistencia*: En caso de usarlas como fibras en “individual”, la resistencia se verá afectada, ya que serán más vulnerables a la ruptura al estar en esta forma.

3.5.1. Las fibras vegetales como estabilizador en el adobe.

En base a las propiedades antes mencionadas sobre este tipo de fibras, podemos decir que el principal objetivo que se tiene al usar este material como un estabilizante es que las fibras formen una especie de red interna, lo que le daría una mayor resistencia a la tierra, buscando una relación similar a la del cemento con la varilla. Al formarse una red interna, la porosidad de la mezcla de tierra disminuye,

lo que ayuda que la absorción de agua sea menor, esto dando como resultado un favorecimiento a sus propiedades físico-mecánicas y un aumento a su durabilidad.

La fibra vegetal se elige un posible estabilizador dado que es una materia prima de fácil acceso, bajo costo y mantiene al adobe como un material 100% natural, además de que sabemos que forman parte de la composición tradicional del adobe. Al querer mejorar el adobe lo que se propone es probar distintos tipos de fibras vegetales, realizando un análisis de cada tipo de fibra para determinar cómo influye cada tipo de fibra en la composición del adobe, logrando obtener el resultado más óptimo, tanto de tipo de fibra como de cantidad.

A continuación, se mostrarán y analizarán los estudios más interesantes sobre adobes que han sido estabilizados con distintos tipos de fibras vegetales, esto con el objetivo de ver el comportamiento que presentan como material.

3.5.2. Estudio n°1. Adobe estabilizado con fibra de platanal.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación *“Block de adobe con fibra de platanal aplicado al proyecto Centro de rehabilitación en Palenque Chiapas”* de Israel Hernández Pascual.

Para la realización de estos adobes, lo primero que se determinó fueron las dimensiones de las piezas y los porcentajes de materiales que componen al adobe, además de que se decidió que solamente se fabricarían 10 piezas para las pruebas.

Todas las piezas producidas fueron con la misma cantidad de material y con el mismo porcentaje de adición de fibra de platanal, es decir, sólo hubo una propuesta de porcentaje de adición de este tipo de fibra. La adición de fibra de platanal que se propuso en este estudio fue el **10%**.

Las dimensiones que se determinaron para las piezas de este estudio fueron de **Ancho 20cm, largo 40cm y espesor 15cm.**

Obtención del material.

Suelo:

En este estudio no se menciona la ubicación de donde se obtuvo el suelo para la elaboración de estos adobes, sin embargo, basándonos en estudios previos, es de creer que el suelo se obtuvo de una cantera cercana al sitio de construcción.

A diferencia de otros estudios que se han analizado en este trabajo, en este estudio no se incluyeron los resultados sobre el análisis del suelo para determinar si el suelo es apto para la fabricación de los adobes, por lo que no conocemos las características del suelo utilizado para este estudio.

Contenido de humedad: Se desconoce

Análisis granulométrico: Se desconoce

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: Se desconoce*
- *Límite plástico: Se desconoce*
- *Índice de plasticidad: Se desconoce*

Tipo de suelo: Se desconoce

Fibra de platanal:

Ya que el proyecto de estudio se realizó en Chiapas, la fibra de platanal se obtuvo de uno de los municipios de dicho estado, el cual fue el municipio de Suchiate, se decidió obtener la fibra de este lugar debido a la alta producción de plátano que se genera en ese sitio, lo que hace más accesible y factible el poder conseguir el material fibroso. Y para obtenerla lo que se hace es cortar el tallo e ir desmenuzándolo, una vez que se termina ese proceso, las fibras obtenidas se

deben colgar y exponer al sol durante 15 días para que estas estén secas por completo y así poder usarlas.

Dosificación:

Para la fabricación de estos adobes se utilizó la siguiente dosificación, en donde se marca el porcentaje y la cantidad de cada material usado para la elaboración, estas son las cantidades para un solo adobe. Las cuales son las siguientes:

MATERIAL	PORCENTAJE (%)	CANTIDAD (kg)
Arcilla	60	4.30
Arena	20	1.32
Fibra de platanal	10	3.20
Agua	10	-

Tabla 32. Dosificación para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Block de adobe con fibra de platanal aplicado al proyecto Centro de rehabilitación en Palenque Chiapas”.*

Elaboración de adobe con fibra de platanal.

Una vez que se analiza el suelo y se congio el material fibroso que se decidido usar en este estudio, se precede a la elaboración de las piezas. El procedimiento es el siguiente:

Mezclado:

Lo primero que se realiza es el mezclado de suelo con agua, y una vez que estos dos elementos se mezclan por completo, se añade la fibra de platanal y se vuelve mezclar hasta obtener una mezcla lo más homogénea posible.

Encofrado y desencofrado:

Una vez que la mezcla se tiene lista se coloca en la adobera, la cual está hecha de madera, se presiona la mezcla de manera en que esta esté lo más compacta posible, para posteriormente desencostrarla y colocarla en el sitio donde se llevara a cabo el secado.

Secado:

Las piezas se colocaron en una superficie lisa, limpia y cubierta, y el secado fue de 32 días.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con fibra de platanal.

Las pruebas realizadas en este estudio no fueron individualmente por pieza, en este caso las pruebas fueron sobre muretes, los cuales fueron conformados por 4 pizas de adobe, con juntas de 1.5cm.

Y a diferencia de otros estudios analizados, en este estudio únicamente se realizó una prueba, la cual fue la de resistencia a compresión, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm²)
Adobe tradicional	14
Adobe estabilizado con fibra de platanal (en murete)	14.44

Tabla 33. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Block de adobe con fibra de platanal aplicado al proyecto Centro de rehabilitación en Palenque Chiapas”.*

Conclusiones.

En este estudio el material empelado como estabilizador fue la fibra de platanal, la cual fue considerada gracias a la accesibilidad de este.

Como se demostró en la tabla sobre la prueba de compresión, el aumento de resistencia fue mínimo, dando una leve mejora.

En dicha prueba, los resultados que presentaron las piezas fueron:

- Las piezas del murete no presentaron rupturas abruptas, es decir, las piezas no “explotan”, lo que ocurre es se expanden y poco a poco van formándose las fisuras que posteriormente se convierten en rupturas.
- La fibra retraso el proceso de ruptura, comparación con el de un adobe tradicional.

Desgraciadamente al no tener más información sobre las demás pruebas, como la de resistencia a flexión y absorción de agua, y al no tener una comparativa entre porcentajes distintos de adición de la fibra, es difícil el determinar si es conveniente el aumentar el porcentaje de fibra de platanal para conseguir una mayor mejora en las propiedades de las piezas.

3.5.3. Estudio n°2. Adobe estabilizado con fibra de hoja de plátano.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación “*Estudio de permeabilidad en el adobe implementando agregados naturales*” de Itzel García Gómez.

En este estudio se utilizaron distintos tipos de estabilizadores, nos enfocaremos en las muestras a las que se les incluyó la fibra de hoja de plátano.

Una vez que se determinaron cuáles serían los estabilizadores naturales que se emplearan, se decidieron los porcentajes que serían utilizados para este estudio y la cantidad de piezas a elaborar para realizar las pruebas.

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
9	Adobe tradicional.
9	Adobe con adición de 5% hoja de plátano.

Tabla 34. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Estudio de permeabilidad en el adobe implementando agregados naturales”.*

Para este estudio las piezas que en un inicio se analizaron fueron de forma cubica con las dimensiones de: **5 cm x 5cm x 5cm**.

Para una siguiente fase después del análisis de las piezas cubicas, se realizó un segundo análisis con piezas en dimensiones más tradicional del adobe: **Ancho 22cm, largo 30cm y espesor 10cm**. Sin embargo, estas piezas no fueron realizadas para los adobes estabilizados con fibra de hoja de plátano, que es el estabilizador que nos interesa de este estudio.

Obtención del material.

Suelo:

El suelo para la elaboración de las piezas se obtuvo del municipio San Agustín Yatareni, Oaxaca, se decidió extraer el suelo de las canteras ubicadas en ese sitio debido a que el suelo es arcilloso, además de que está respaldado por gente de la zona que se dedica a la elaboración de adobes y ladrillos.

Una vez que el suelo se obtiene, se procede a analizarlo para determinar qué tan apto es para poder elaborar las piezas de adobe, es decir, debe cumplir con las características necesarias para que las piezas de adobe puedan ser funcionales.

Los resultados para el suelo que de uso en este estudio fueron (García, 2017):

Contenido de humedad: 15.18% (?)

Análisis granulométrico: 49% de finos arcillosos.

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 28.29%*
- *Límite plástico: 17.27%*
- *Índice de plasticidad: 11.02%*

Tipo de suelo: Arcilloso de baja plasticidad (CL).

Fibra de hoja de plátano.

Se decidió usar la hoja de plátano como estabilizador ya que se presenta la hipótesis de que este material aumenta la resistencia a la erosión y reduce la absorción de agua en las piezas de adobe, además de que es un material de fácil acceso, en este caso las hojas de plátano se consiguieron en mercados y tiendas de conveniencia ubicadas en la ciudad.

Una vez que se consigue la hoja de plátano, estas se muelen para conseguir una consistencia de fibra.

Elaboración de adobe con fibra de hoja de plátano.

Dosificación:

Previo a la elaboración de las piezas, se determinó la dosificación que se debería tener para la fabricación de las piezas propuestas, la cual fue la siguiente

Para las 3 piezas que se requieren de cada tipo de adobe para las pruebas de absorción de agua, la dosificación fue:

PORCENTAJE	SUELO SECO (gr)	HOJA DE PLÁTANO (gr)
Adobe tradicional	700	-
5% de hoja de plátano	700	35

Tabla 35. Dosificación para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Estudio de permeabilidad en el adobe implementando agregados naturales”.*

Y para las 6 piezas que se requieren de cada tipo de adobe para las pruebas de absorción de agua, la dosificación fue:

PORCENTAJE	SUELO SECO (gr)	HOJA DE PLÁTANO (gr)
Adobe tradicional	1400	-
5% de hoja de plátano	1400	70

Tabla 36. Dosificación para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Estudio de permeabilidad en el adobe implementando agregados naturales”.*

Una vez que se decidió la dosificación y se analizó el suelo y se determinó que sería el adecuado para la elaboración de las piezas, se realizó el siguiente procedimiento para la fabricación:

Mezclado:

Ya teniendo listo el suelo, se le fue agregando de poco a poco agua hasta que se consiguió la consistencia deseada y adecuada, y se agrega la fibra y se vuelve a mezclar hasta obtener una mezcla lo más homogénea posible.

Encofrado y desencofrado:

Una vez que la mezcla se tiene lista se pasa al molde de las piezas (de madera en este caso) pero sólo se llena hasta la mitad, para posteriormente aplicar presión a la mezcla agregada, y ya que se hizo ese proceso se vuelve a poner otra capa de mezcla que llene por completo el molde y se le vuelve a aplicar presión. El estudio nos marca que a cada capa de mezcla se le aplicaron 32 golpes para ejercer presión por medio de un pisón. Posteriormente se desencofran las piezas para ser colocadas en el sitio de secado.

Secado:

Las piezas se colocaron en una superficie lisa y limpia, y las piezas tuvieron un secado de 28 días.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con fibra de hoja de plátano.

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para determinar su resistencia a compresión y su tiempo de degradación en agua.

Resistencia a compresión:

Es importante mencionar que la unidad de medida que se utiliza en este estudio es en Megapascal (MPa) por lo que en este trabajo se realizó la conversión de unidad para que estuviera en Kg/cm².

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm²)
Adobe tradicional	33.55
Estabilizado con 5% de hoja de plátano	29.57

Tabla 37. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Estudio de permeabilidad en el adobe implementando agregados naturales”.*

Tiempo de degradación en agua:

TIPO DE ADOBE	TIEMPO DE DEGRADACIÓN (hr)
Adobe tradicional	0.45
Estabilizado con 5% de hoja de plátano	0.32

Tabla 38. Tiempo de degradación en agua. *Tabla tomada del trabajo “Estudio de permeabilidad en el adobe implementando agregados naturales”.*

Conclusiones:

Como se puede ver en los resultados de las dos pruebas realizadas para este estabilizador, no hay mejora en ninguno de los casos. Es importante resaltar que las pruebas realizadas fueron en piezas de 5cm x 5cm x 5cm, y debido a que los primeros resultados no fueron óptimos en las primeras pruebas, el estudio decidió no hacer otras pruebas en piezas que tuvieran el tamaño de un adobe convencional, además de que desafortunadamente en las pruebas realizadas no se incluyó la prueba de resistencia a flexión y la de absorción de agua.

Teniendo estos inconvenientes, es difícil el poder decir si la cantidad de fibra de hoja de plátano podría dar mejores resultados si se añade en un porcentaje mayor a la mezcla, o si el tamaño de las piezas de 5cm x 5cm x 5cm influyo en que los resultados fueran bajos.

Lo que se recomienda en este caso es el hacer otras pruebas donde haya una mayor variedad de porcentaje con respecto a la adición de fibra de hoja de plátano, para poder formar un comparativo del comportamiento del adobe con este material, además de incluir las pruebas de resistencia a flexión y de absorción de agua, y las prueba tendría que ser realizadas en piezas que tengan las dimensiones de un adobe convencional.

3.5.4. Estudio n°3. Adobe estabilizado con fibra de coco.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación “*Estudio de estabilizadores en el adobe*” de Gloria Magdalena De la Cruz Arce y Freddy Leoncio Paredes Áviles.

En este estudio se analizaron distintitos tipos de materiales que se manejaron como estabilizadores para el adobe, sin embargo, solo se tomaran los resultados del adobe estabilizado con fibra de coco, junto con la comparativa con respecto a un adobe tradicional.

Lo primero que se hizo fue determinar los distintos porcentajes que se le añadirían a las piezas de adobe y cuantas piezas se elaborarían para las pruebas. Las piezas y porcentajes para analizar fueron las siguientes:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
5	Adobe tradicional.
5	Adobe con adición de 5% de fibra de coco.
5	Adobe con adición de 10% de fibra de coco.
5	Adobe con adición de 15% de fibra de coco.
5	Adobe con adición de 20% de fibra de coco.

Tabla 39. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Estudio de estabilizadores en el adobe”.*

Las dimensiones que se determinaron para las piezas de este estudio fueron de **Ancho 15cm, largo 20cm y espesor 10cm.**

Obtención del material.

Suelo:

El suelo para la elaboración de las piezas se obtuvo en la ciudad de Quito, Ecuador, de una zona en donde antes se fabricaban adobes, ladrillos y teja, por lo que se puede decir que el suelo se encuentra respaldado por ese antecedente.

Ya que se obtuvo el suelo, se procede a analizarlo para determinar si el suelo es apto para poder elaborar las piezas de adobe.

Los resultados del suelo fueron (De la Cruz & Paredes, 2017):

Contenido de humedad: Se desconoce.

Análisis granulométrico: 4.82% de grava, 51.4% de arena y 43.94% de finos arcillosos.

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 38.10%*
- *Límite plástico: 29.99%*
- *Índice de plasticidad: 8.11%*

Tipo de suelo: Limo de baja plasticidad (ML).

Fibra de coco.

Estas fibras obtienen de la cáscara de coco, y una vez que se tiene se procesa a desmenuzar finamente para luego cortarla en tramos de aproximadamente 10 cm.

Elaboración de adobe con fibra de coco.

Al ya haber analizado el suelo que se decidió usar, y ya considerado que es apto para la elaboración de los adobes, se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

Mezclado:

Ya tenido listo el suelo, se procede a añadirle agua y se mezcla hasta obtener la consistencia adecuada, y una vez que se tiene lista se le agrega la fibra de coco y se mezcla hasta que esta se incorpore por completo a la mezcla de tierra y se vea lo más homogénea posible.

Encofrado y desencofrado:

La mezcla se coloca en una adobera (que este caso fue hecho de madera) la cual previamente se dejó remojada durante 12 horas, esto con el fin de que la adobera absorbiera suficiente agua para que al momento de desmontar lo adobes estos no se quedaran pegados. Ya listas las piezas, se procedió al desencofrado para ser colocadas en el sitio de secado.

Secado:

Las piezas se colocan en una superficie limpia, lisa y cubierta, y se dejan reposar por 4 días después de su elaboración para proceder a darles vuelta, y este proceso se llevó a cabo de manera periódica, lo que nos da a entender que cada 4 días las piezas eran volteadas. Este proceso de secado duro 30 días.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con fibra de coco.

Para este estudio la única prueba que se realizó fue la de la resistencia a compresión, y es importante mencionar que la unidad de medida que se utiliza en este estudio es en Megapascal (MPa) por lo que en este trabajo se realizó la conversión de unidad para que estuviera en Kg/cm².

TIPO DE ADOBE	MPa	ESFUERZO DE RUPTURA (Kg/cm²)
Adobe tradicional	4.06	41.40
Estabilizado con 5% de fibra de coco	4.13	42.11

Estabilizado con 10% de fibra de coco	4.79	48.84
Estabilizado con 15% de fibra de coco	4.63	47.21
Estabilizado con 20% de fibra de coco	4.90	49.97

Tabla 40. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Estudio de estabilizadores en el adobe”.*

Conclusiones:

Como se puede ver en los resultados de la resistencia a compresión, todas las piezas de adobe estabilizadas con la fibra de coco superan la resistencia del adobe tradicional. El mejor resultado se obtuvo en el adobe estabilizado con 20% de fibra de coco, lo que nos da como hipótesis que entre más porcentaje de fibra tenga el adobe, mayor será esta resistencia. Sin embargo, esta hipótesis queda incompleta, que solo conocemos los resultados de resistencia compresión, al no tener resultados de otras pruebas como a resistencia a flexión y la capacidad de absorción de agua, es difícil decir que en efecto el añadir más fibra de coco es beneficioso.

Algo que si nos comenta el estudio es que, al momento de agregar más fibra de coco a la mezcla, el proceso de mezclado se dificultaba un poco, esto se puede interpretar como que la fibra crea una red fuerte desde el momento del mezclado, dando como resultado el aumentó de resistencia.

Se recomienda hacer las pruebas de resistencia a flexión y de capacidad de absorción de agua con los mismos porcentajes propuestos en este estudio.

3.5.4. Estudio n°4. Adobe compactado estabilizado con fibra de coco.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación “*Propiedades físico y mecánicas del adobe compactado con incorporación de fibras de coco, Cajamarca 2018*” de Janeth Yolanda Chavez Alataya.

Lo primero que se determinó fueron los distintos porcentajes que se le incorporaran a las piezas de adobe y la cantidad de estas a fabricar para realizar las pruebas. En este estudio los porcentajes y el número de piezas fueron:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
17	Adobe tradicional.
17	Adobe con adición de 0.25% de fibra de coco.
17	Adobe con adición de 0.50% de fibra de coco.
17	Adobe con adición de 0.75% de fibra de coco.

Tabla 41. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Propiedades físico y mecánicas del adobe compactado con incorporación de fibras de coco, Cajamarca 2018”.*

Para cada tipo de adobe se elaboraron 17 piezas, de las cuales 6 fueron para la prueba de resistencia a compresión, 6 para la de resistencia a flexión y 5 para la de absorción de agua.

Las piezas para este estudio se tuvieron en dos tamaños con las siguientes medidas:

Tamaño 1 (para pruebas de resistencia a compresión): **Ancho 14cm, largo 15cm y espesor 10cm.**

Tamaño 2 (para pruebas de resistencia a flexión y absorción de agua): **Ancho 14cm, largo 30cm y espesor 10cm.**

Obtención del material.

Suelo:

El suelo se obtuvo de una cantera ubicada en Cajamarca en el distrito de Baños de Inca, Perú.

Una vez que se extrajo el suelo requerido se le hizo un análisis para determinar si el suelo es apto para la elaboración de las piezas

Los resultados del suelo fueron (Chavez, 2019):

Contenido de humedad: 12.28%.

Análisis granulométrico: 4.82% de grava, 51.4% de arena y 43.94% de finos arcillosos.

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 38.10%*
- *Límite plástico: 29.99%*
- *Índice de plasticidad: 8.11%*

Tipo de suelo: Arena Arcilla (SC).

Fibra de coco.

Estas fibras se obtienen al desmenuzar la cáscara del coco.

Elaboración de adobe con fibra de coco.

Una vez que se determinó que el suelo es apto para la elaboración de los adobes, se llevó a cabo el siguiente proceso para su fabricación:

Dosificación:

Previo a la elaboración de las piezas, se determinaron las cantidades de material a usar para poder fabricar las piezas. La primera tabla marca las cantidades para la elaboración de una pieza de adobe de cada uno de los tipos.

TIPO DE ADOBE	SUELO SECO (kg)	FIBRA DE COCO (gr)
Adobe tradicional	10	-
0.25% de fibra de coco	10	25
0.50% de fibra de coco	10	50
0.75% de fibra de coco	10	75

Tabla 42. Dosificación para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Propiedades físico y mecánicas del adobe compactado con incorporación de fibras de coco, Cajamarca 2018”*

Esta segunda tabla marca las cantidades totales para la elaboración de todas las piezas para el estudio, es decir, para las 68 piezas.

MATERIAL	CANTIDAD
Suelo	560 kg
Fibra de coco	2.10 kg

Agua	65 L
------	------

Tabla 43. Dosificación para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Propiedades físico y mecánicas del adobe compactado con incorporación de fibras de coco, Cajamarca 2018”*

Mezclado:

Ya que se tienen listas las cantidades de la tierra y la fibra para cada tipo de adobe, lo que se hace es mezclar en seco la tierra junto con la fibra de coco hasta que estos dos elementos estén bien incorporados. Una vez que se tiene esa mezcla, se le incorpora el agua y se vuelve a mezclar hasta obtener la consistencia deseada.

Prensado:

Ya que se tiene la mezcla lista, se procede a hacer la compactación en la prensa manual. Al momento de aplacar fuera a la prensa, se trata de que esta fuerza sea uniforme para que la pieza no sufra deformaciones.

Secado:

Las piezas se colocaron en una habitación cubierta con una superficie plana y limpia, el proceso de secado y reposo para que los adobes estuvieran listos fue de 28 días.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con fibra de coco.

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para poder determinar la resistencia a compresión, flexión y la capacidad de absorción de agua.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm²)
---------------	-----------------------------

Adobe tradicional	28.21
Estabilizado con 0.25% de fibra de coco	36.83
Estabilizado con 0.50% de fibra de coco	32.72
Estabilizado con 0.75% de fibra de coco	23.30

Tabla 44. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Propiedades físico y mecánicas del adobe compactado con incorporación de fibras de coco, Cajamarca 2018”.*

Resistencia a la flexión:

TIPO DE ADOBE	MÓDULO DE RUPTURA(Kg/cm²)
Adobe tradicional	7.32
Estabilizado con 0.25% de fibra de coco	8.19
Estabilizado con 0.50% de fibra de coco	8.48
Estabilizado con 0.75% de fibra de coco	8.27

Tabla 45. Resistencia a flexión. *Tabla tomada del trabajo “Propiedades físico y mecánicas del adobe compactado con incorporación de fibras de coco, Cajamarca 2018”.*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional	No resistió
Estabilizado con 0.25% de fibra de coco	No resistió
Estabilizado con 0.50% de fibra de coco	No resistió

Estabilizado con 0.75% de fibra de coco	No resistió
---	-------------

Tabla 46. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Propiedades físico y mecánicas del adobe compactado con incorporación de fibras de coco, Cajamarca 2018”.*

Conclusiones.

La fibra de coco como estabilizador presento resultados favorables con respecto al adobe tradicional en 2 de las 3 pruebas realizadas.

En la prueba de resistencia a compresión los adobes con mejores resultados fueron los estabilizados con 0.25% y 0.50% de fibra de coco, ya que ambos superaron la resistencia a compresión que presento el adobe tradicional. De estos dos porcentajes el que dio el resultado más favorable fue el estabilizado con el 0.25%, ya que se tuvo un aumento de resistencia del 31% aproximadamente, a comparación del tradicional. Lo que también podemos ver en estos resultados es que mientras más porcentaje de fibra tenga el adobe, la resistencia ira disminuyendo. En el caso del porcentaje de 0.75% de fibra, la resistencia fue menor al del adobe tradicional.

En la prueba de resistencia a flexión los 3 tipos de adobe tuvieron una resistencia mayor con respecto al adobe tradicional, es decir, los resultados fueron favorables. El mejor resultado se presentó en el adobe estabilizado con 0.50% de fibra de coco, ya que este tuvo un aumento del 16% en la resistencia. En los resultados podemos ver que a partir del porcentaje del 0.50, la resistencia empieza a disminuir al incorporar más fibra de coco, sin embargo, sigue siendo mayor a la de adobe tradicional.

Con respecto a la prueba de absorción de agua, las piezas tanto de adobe tradicional como los estabilizadas no soportaron el estar sometidas ante el agua, lo cual presenta una gran desventaja, ya que esto hace se debiliten y se desgaten las piezas más rápido de lo que deberían.

Podemos ver que la fibra de coco es un buen estabilizador para aumentar la resistencia de compresión y flexión, sin embargo, no presenta una buena resistencia ante el agua, lo que se recomienda para esto es incorporar otro tipo de estabilizador junto con la fibra de coco para mejorar la capacidad de absorción.

3.5.5. Estudio nº5. Adobe estabilizado con fibra de maguey.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación *“Influencia de la fibra de maguey en la compresión, tracción y absorción del adobe”* de Anylu Vilma Condori Taipe y Yair Anderson Solano Peñaloza.

Antes de comenzar con el proceso de elaboración y obtención de material, lo primero que se hizo fue determinar los porcentajes de fibra de maguey y el número de piezas fabricar para las distintas pruebas, los cuales fueron:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
18	Adobe tradicional.
18	Adobe con adición de 8% de fibra de maguey.
18	Adobe con adición de 16% de fibra de maguey.
18	Adobe con adición de 33% de fibra de maguey.

Tabla 47. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Influencia de la fibra de maguey en la compresión, tracción y absorción del adobe”.*

En total se requirieron de 72 piezas, cada tipo de adobe requirió de 18 piezas, de las cuales 6 fueron para la prueba a resistencia, 6 para la de resistencia a flexión y 6 para la de absorción de agua.

Las piezas para este estudio se tuvieron en tres tamaños con las siguientes medidas:

Tamaño 1 (para pruebas de resistencia a compresión): **12cm x 12cm x 12cm.**

Tamaño 2 (para pruebas de resistencia a flexión): **Ancho 10cm, largo 40cm y espesor 10cm.**

Tamaño 3 (para pruebas de absorción de agua): **Ancho 30cm, largo 40cm y espesor 10cm.**

Obtención del material.

Suelo:

El suelo se obtuvo de una cantera ubicada en la localidad de Lirio, Perú.

Una vez que se extrajo el suelo requerido se le hizo un análisis para determinar si el suelo es apto para la elaboración de las piezas

Los resultados del suelo fueron (Condori & Solano, 2019):

Contenido de humedad: Se desconoce.

Análisis granulométrico: 1.09% de grava, 33.36 de limo, 55.52% de arena y 11.12% de arcilla.

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: Se desconoce.*
- *Límite plástico: Se desconoce.*
- *Índice de plasticidad: Se desconoce.*

Tipo de suelo: Se desconoce.

Fibra de maguey.

La fibra se obtiene de la penca de maguey, y esta se obtuvo de la localidad de Lirio. Una vez que se cortaron las pencas se les retiran las espinas y se “aplastan” con el fin de reducir el ancho de estas. Ya que se hace ese proceso, se le hace un cepillado a penca para ir obteniendo tiras finas de donde se van despegando las fibras. Al extraer las fibras necesarias estas se lavan y se dejan secar para poder hacer uso de ellas.

Elaboración de adobe con fibra de maguey.

Una vez que se determinó que el suelo es apto para la elaboración de los adobes, se llevó a cabo el siguiente proceso para su fabricación:

Dosificación:

Para este estudio la medida que se tomó como referencia de cantidad para la dosificación de los adobes fue de “baldes”, es importante mencionar que no se dio la capacidad que el balde tiene. Las cantidades fueron las siguientes:

TIPO DE ADOBE	SUELO SECO (baldes)	FIBRA DE MAGUEY (baldes)
Adobe tradicional.	6	-
Adobe con adición de 8% de fibra de maguey.	5 1/2	1/2
Adobe con adición de 16% de fibra de maguey.	5	1
Adobe con adición de 33% de fibra de maguey.	4	2

Tabla 48. Dosificación para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Influencia de la fibra de maguey en la compresión, tracción y absorción del adobe”*

Mezclado:

Para empezar la mezcla lo primero que se hace es añadir agua a la tierra hasta conseguir la consistencia del barro que se desea, una vez que se tiene se deja reposar por 24hrs.

Pasado ese tiempo se le agrega al barro la fibra de maguey y se mezcla hasta que se incorporan los elementos dejando una mezcla lo más homogénea posible.

Encofrado y desencofrado:

Ya que la mezcla se tiene se procede a elaborar las piezas de adobe, antes de colocar la mezcla en las adoberas, estas se humedecen para evitar que el adobe quede pegado al molde. La mezcla coloca en la adobera se compactado lo mejor posible, y una vez que esta lista se procede a desencofrar las piezas para colocarlas en el sitio de secado.

Secado:

Las piezas se colocaron en una superficie limpia, plana y cubierta. El proceso de secado fue mínimo de 3 semanas.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con fibra de maguey.

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para poder determinar la resistencia a compresión, flexión y la capacidad de absorción de agua.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional.	11.34
Adobe con adición de 8% de fibra de maguey.	29.95

Adobe con adición de 16% de fibra de maguey.	38.26
Adobe con adición de 33% de fibra de maguey.	46.54

Tabla 49. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Influencia de la fibra de maguey en la compresión, tracción y absorción del adobe”.*

Resistencia a la flexión:

TIPO DE ADOBE	MÓDULO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional.	2.90
Adobe con adición de 8% de fibra de maguey.	7.47
Adobe con adición de 16% de fibra de maguey.	8.41
Adobe con adición de 33% de fibra de maguey.	11.87

Tabla 50. Resistencia a flexión. *Tabla tomada del trabajo “Influencia de la fibra de maguey en la compresión, tracción y absorción del adobe”.*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional.	No resistió

Adobe con adición de 8% de fibra de maguey.	No resistió
Adobe con adición de 16% de fibra de maguey.	No resistió
Adobe con adición de 33% de fibra de maguey.	24.88

Tabla 51. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Influencia de la fibra de maguey en la compresión, tracción y absorción del adobe”.*

Conclusiones.

La fibra de maguey como estabilizador en el adobe presento resultados favorables en los 3 aspectos que se analizaron.

En la prueba de resistencia a compresión los 3 tipos de adobe estabilizado con la fibra de maguey tuvieron una mayor resistencia con respecto al del adobe tradicional. El mejor resultado se dio en el estabilizado con 33% de fibra, ya que este tuvo un aumento del 310% en la resistencia, ya que paso de resistir 11.34 kg/cm² a resistir 46.54 kg/cm². Es importante resaltar que como se puede ver en los resultados, entre más porcentaje de fibra de maguey tenga, mayor será la resistencia a compresión.

En la prueba de resistencia a flexión paso lo mismo que con la de compresión, ya que en los 3 tipos de adobe estabilizado con la fibra de maguey tuvieron una mayor resistencia con respecto al del adobe tradicional. El menor resultado se tuvo en el estabilizado con 33% de fibra, ya que se tuvo un aumento del 309%, ya que la resistencia paso del 2.90 kg/cm² al 11.87 kg/cm². Como se puede ver en los resultados, entre más porcentaje de fibra de maguey tenga el adobe, mayor será su resistencia a flexión.

En la prueba de absorción de agua solo uno de los adobes pudo resistir la prueba, tanto el adobe tradicional como los estabilizados con 8% y 16% de fibra de maguey se desintegraron a las pocas horas de estar sumergidos en agua, mientras que el adobe estabilizado con 33% tuvo una absorción del 24.88%, dando una ligera mejora al adobe en este aspecto analizado.

La fibra de maguey se presentó como un buen estabilizador natural, ya que se puede ver que le da un gran aumento a la resistencia de compresión y flexión, y da una mejora a la absorción de agua, sin embargo, para tener un mejor resultado en estos 3 aspectos, se recomienda el agregarle otro material al adobe estabilizado con esta fibra de maguey, un material que beneficie a la absorción de agua.

3.5.6. Estudio n°6. Adobe estabilizado con fibra y bagazo de maguey.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación “*Conformación de bloques de adobe con residuos de agave “Angustifolia Haw”. Estrategia para el desarrollo local sustentable en Santa María La Asunción, Zumpahuacán, Estado de México*” de Mauricio Ruiz Serrano.

Para poder comenzar el proceso de elaboración de los adobes lo primero que se hizo fue determinar los tipos de adobes que se realizaran, junto con la cantidad de piezas a elaborar para llevar cabo las prueba, los cuales fueron:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
2	Adobe tradicional.
2	Adobe con adición del 18% fibra de agave.

2	Adobe con adición de 18% bagazo de agave.
2	Adobe con adición del 18% fibra y bagazo de agave.

Tabla 52. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Angustifolia Haw”. Estrategia para el desarrollo local sustentable en Santa María La Asunción, Zumpahuacán, Estado de México”.*

Se elaboraron un total de 8 piezas, de las cuales fueron 2 piezas para cada tipo de adobe, de esas dos piezas una fue para la prueba de resistencia a compresión y otra para la de absorción de agua.

Las dimensiones de las piezas de adobe fueron: **Ancho 20cm, largo 40cm y espesor 14cm.**

Obtención del material.

Suelo:

El uso se obtuvo de la región de Santa María la Asunción, Estado de México. Este suelo se eligió por los antecedentes que se tiene de ella, ya que con ese suelo se han elaborado los adobes que son utilizados en la zona.

A diferencia de otros estudios, en este no se hizo un análisis del suelo para determinar si era apto para la elaboración de las piezas, son embargo, el maestro adobere que proporciono el suelo menciona que él ha hecho pruebas de granulometría y considera que el suelo es apto.

Fibra de maguey y bagazo.

La fibra se obtiene de las pencas del maguey, las culas de tomaron con una longitud de entre 40cm a 60cm, una vez que someten a un proceso de cepillado de donde se van desprendiendo las fibras que posteriormente se van extrayendo.

Y el bagazo se obtiene en uno de los pasos del proceso de la elaboración mezcal, estas pequeñas fibras se extraen después de la fermentación y destilación, estas son desechos de la molienda y la quema del corazón del maguey, y tiene un tamaño de aproximadamente 0.25mm a 2.5cm.

Elaboración de adobe con fibra de maguey y bagazo.

Una vez que se determinó que el suelo es apto para la elaboración de los adobes, se llevó a cabo el siguiente proceso para su fabricación:

Mezclado:

Para preparar la mezcla lo primero que se hace es agregarle agua al suelo obtenido para formar una mezcla que tenga una consistencia pastosa. Una vez que se consigue esa consistencia, se agregan las fibras y se vuelve a mezclar hasta que todo se incorpora y se ve lo más homogénea posible.

Encofrado y desencofrado:

Ya tenido la mezcla lista, se procede a agregar a la adobera (de madera en este caso) para poder formar las piezas de adobe, la adobera se debe humedecer y se le debe espolvorear un poco de arena, esto para que la mezcla no se pegue al molde. Se debe compactar bien la mezcla en el molde, y una vez que se tiene lista, se procede a desencofrar en el sitio de secado.

Secado:

Se colocan en una superficie limpia, plan, libre de impurezas y que no absorba excesivamente humedad de las piezas. Pasado 3 días después del desencofrado de las piezas, estas se pueden poner de canto para poder continuar su proceso de secado. Este proceso dura aproximadamente 3 semanas.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con fibra maguey y bagazo.

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para poder determinar la resistencia a compresión y la capacidad de absorción de agua.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional.	3.30
Adobe con adición del 18% fibra de agave.	3.34
Adobe con adición de 18% bagazo de agave.	4.47
Adobe con adición del 18% fibra y bagazo de agave.	4.15

Tabla 53. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo ““Angustifolia Haw”. Estrategia para el desarrollo local sustentable en Santa María La Asunción, Zumpahuacán, Estado de México”.*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional.	12.91
Adobe con adición del 18% fibra de agave.	13.26
Adobe con adición de 18% bagazo de agave.	13.37
Adobe con adición del 18% fibra y bagazo de agave.	13.79

Tabla 54. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo ““Angustifolia Haw”. Estrategia para el desarrollo local sustentable en Santa María La Asunción, Zumpahuacán, Estado de México”.*

Conclusiones.

Lo que se analizó fue más enfocado a distintas “recetas” de adobe para ver cuál tenía mejores resultados, y una de las 2 pruebas los resultados favorables con respecto al adobe tradicional.

En la prueba de resistencia a compresión los 3 tipos de adobes propuestos tuvieron una mayor resistencia a comparación a la del adobe tradicional. El mejor resultado se tuvo en el adobe estabilizado con 18% de bagazo, teniendo un aumento del 35% de resistencia con respecto al adobe tradicional.

En la prueba de absorción de agua, todos los adobes tanto los propuestos como en el tradicional, soportaron la prueba de ser sometidos al agua, en esta parte es importante mencionar que no se sumergieron por completo las piezas, sino que solo se sumergió a 2cm de altura durante 30min. El mejor resultado fue el del adobe tradicional, sin embargo, las otras piezas no tuvieron un incremento tan elevado de la absorción, dado que el que tuvo mayor absorción, que fue el estabilizado con 18% de fibra y bagazo de agave, solo aumentó un 7%.

Con los resultados podemos decir que hubo un mayor beneficio en el estabilizado con fibras más cortas, ya que como se mencionó anteriormente, el bagazo son fibras que van de 0.25mm a 2.5cm. Sería importante el realizar otras pruebas en donde el porcentaje de este pueda variar para ver los beneficios que tendría, además de realizar la prueba de resistencia a compresión. Y para el tema de absorción de agua se recomienda implantar otro material que sirva como impermeabilizante, e igual probar con otros porcentajes de bagazo de maguey.

3.5.7. Conclusiones generales sobre los estudios de fibras naturales.

Con los resultados que se vieron en los distintos estudios de las distintas fibras naturales como estabilizadores en el adobe, podemos ver que todas las fibras son buenas para el adobe.

En el caso de la fibra de plátano, esta mostró mejoras casi nulas, sin embargo, en caso de que se quiera tomar este material como un estabilizador, sería necesario el realizar más pruebas y comparar con distintos porcentajes, ya que los estudios analizados para este trabajo se mostraron con una exploración sobre este material muy vaga.

Con las otras fibras analizadas, que fueron la de coco y maguey, los resultados nos dejan ver que este tipo de fibras son benéficas en la parte de resistencia a compresión y flexión, lo que es un gran aporte al adobe, ya que al mejorar estas propiedades lo que ocurre es que las piezas de adobe tienen una mayor duración. Algo importante e interesante que se pudo ver con los resultados de todos los estudios analizados, es que probablemente el tamaño de las fibras influya en la resistencia, ya que, en el caso de las fibras de coco, que son las más cortas en comparación a del maguey y plátano, tuvieron resultados más “constantes” y favorables, es decir, en los dos estudios de fibra de coco la resistencia fue mayor a la del adobe tradicional correspondiente a cada estudio, mientras que en el del maguey de los dos estudios analizados solo uno presentó mejoría, mientras que en el otro estudio el mejor resultado fue en el de bagazo, que es fibra de maguey con una longitud mucho menor.

El menor resultado para la resistencia a compresión y a flexión fue en el estudio n°5. Adobe estabilizado con fibra de maguey, ya que este fue el que tuvo un aumento de dichas resistencias con respecto a su adobe tradicional.

La parte mala de usar estas fibras como un estabilizador para el adobe, es que absorben mucha agua, lo que hacen que el adobe pierda forma y resistencia, logrando que las piezas se deterioren más rápido y queden vulnerables ante la lluvia.

A pesar de que el estudio n°5. Adobe estabilizado con fibra de maguey, tuvo el mejor aumento de resistencia con respecto a su adobe tradicional, yo considero que la fibra que mejor funciona como estabilizador es la de fibra de coco, ya que como se dijo anteriormente, es la que tuvo resultados más constantes en ambos estudios

analizados, además que se exploró más en ese material, debido a que se hicieron distintas propuestas de porcentajes a agregar al adobe.

A pesar de la desventaja de la absorción de agua, es de reconocer que las fibras aumentaron, ya sea mucho o poco, la resistencia de las piezas, lo que hace que sean un material para considerar como estabilizador, lo que se recomienda es que, para mejorar la parte de la absorción de agua, lo más conveniente sería incorporar al adobe otro tipo de material que cubra ese factor.

COMPARACIÓN DE ADOBES ESTABILIZADOS CON FIBRA VEGETAL

ESTUDIO n° 1 Adobe estabilizado con fibra de platanal

Propiedades del suelo

Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite líquido	Limite plástico	Índice de plasticidad	Tipo de suelo
-	-	-	-	-	-

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado

Tipo de adobe	Medida	Piezas	Cantidad de suelo seco	Cantidad de fibra	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)	Deterioro
Adobe tradicional (murete)	40 x 20 x 15	5	80% = 50% arcilla, 30% arena	8% = paja	14	-	-	-
Estabilizado con 10% de fibra de platanal (murete)	40 x 20 x 15	5	80% = 60% arcilla, 20% arena	10% = fibra de platanal	14.44	-	-	-

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 10% de fibra de platanal

En este caso la prueba a compresión se realizó en piezas de adobe colocadas en forma de murete, y los resultados fueron ligeramente mejores que los del adobe tradicional. La fibra de platanal ayudó a que, al momento de ejercer fuerza en el murete, las piezas no explotaran, sino que se fueran agrietando de forma gradual.

Conclusiones generales

La fibra de platanal ayuda a retardar el momento de ruptura en las piezas, sin embargo, la diferencia entre la resistencia de este y la del tradicional es mínima, lo ideal es ver como reacciona el adobe al incorporar un porcentaje mayor de adición de esta fibra, además de realizar la prueba de resistencia a flexión y la prueba de absorción de agua, esto con el fin de conocer si la fibra no perjudica en alguno de estos dos aspectos.

ESTUDIO n° 2 Adobe compactado estabilizado con fibra de hoja de plátano

Propiedades del suelo

Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite líquido	Limite plástico	Índice de plasticidad	Tipo de suelo
15.18%	49% de finos arcillosos	28.29%	17.27%	11.02%	Arcilla de baja plasticidad (CL)

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado

Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso suelo seco (gr)	Peso de fibra de hoja de plátano (gr)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Tiempo de degradación en agua	Deterioro
Adobe tradicional	5 x 5 x 5	9	2100	-	33.55	-	0.45 hr	Severa
Estabilizado con 5% de fibra de hoja de plátano	5 x 5 x 5	9	2100	105	29.57	-	0.32 hr	Severa

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 5% de fibra de hoja de plátano

La resistencia a compresión fue menor, y su tiempo de deterioro en el agua fue más rápido, ya que al momento de sumergir en agua las piezas, estas tardaron 19 minutos en perder su forma por completo y en quedar como n apila de tierra, mientras que el adobe tradicional tardo 27 minutos.

Conclusiones generales

Con los resultados que se dieron, se puede ver que la fibra de hoja de plátano no es un buen material estabilizador para el adobe, sin embargo, hay que hacer mención de que la fibra de hoja de plátano se colocó en la mezcla como una fibra molida, y esto pudo influir en que no aportara una mejora a la pieza. Sería necesario hacer las pruebas de resistencia a flexión y de absorción de agua, aunque por el tiempo de deterioro de agua, nos podemos hacer la idea de que el porcentaje de absorción de agua en este estudio es alto, y también habría que hacer pruebas en piezas donde la fibra no se introdujera a la mezcla como "molida", sino como una fibra en su totalidad.

ESTUDIO n° 3 Adobe estabilizado con fibra de coco

Propiedades del suelo

Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite líquido	Limite plástico	Índice de plasticidad	Tipo de suelo
-	4.82% grava, 51.4% arena y 43.94% finos arcillosos.	38.10%	29.99%	8.11%	Limo de baja plasticidad (ML)

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado

Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso suelo seco	Peso de fibra de coco	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)	Deterioro
Adobe tradicional	20 x 15 x 10	40	-	-	41.40	-	-	-
Estabilizado con 5% de fibra de coco	20 x 15 x 10	28	-	El peso no se especifica, pero la fibra incomparada debe tener una longitud de 10cm	42.11	-	-	-
Estabilizado con 10% de fibra de coco	20 x 15 x 10	28	-		48.84	-	-	-
Estabilizado con 15% de fibra de coco	20 x 15 x 10	28	-		47.21	-	-	-
Estabilizado con 20% de fibra de coco	20 x 15 x 10	28	-		49.97	-	-	-

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 5% de fibra de coco		Estabilizado con 10% de fibra de coco		Estabilizado con 15% de fibra de coco		Estabilizado con 20% de fibra de coco	
La resistencia a compresión fue mayor a la de adobe tradicional por un 1%, no es un aumento tan significativo en cuestión de números, sin embargo, nos ayuda a ver que la fibra de coco si ayuda a mejorar la resistencia del adobe.		La resistencia a compresión fue mayor con respecto al adobe tradicional y al estabilizado con 5% de fibra, este resultado nos indica que para que empiece a haber una resistencia considerablemente mayor a la del adobe tradicional, se debe tener un porcentaje mayor al 10% de fibra.		La resistencia a compresión fue mayor al del adobe tradicional y al estabilizado con 5% de fibra, sin embargo, fue menor a la del estabilizado con 10% de fibra, con una diferencia de, aproximadamente, 4%.		Este fue el tipo de adobe con mejor resultado, ya que su resistencia a compresión fue mayor a todos los tipos de adobe, Recupero resistencia después de que el estabilizado con 15% presentara una disminución de esta..	
Conclusiones generales							
La pieza con mejor resultado fue la del adobe estabilizado con 20% de fibra de coco, siendo la superior en resistencia a compresión con respecto a todos los tipos de adobes analizados. Con los resultados se puede ver que, a mayor cantidad de fibra, mayor será la resistencia, es necesario realizar otras pruebas en donde se tenga un porcentaje mayor al 20% de fibra, esto con el fin de conocer si la resistencia sigue en aumento o si empieza a reducirse, como ocurrió en el caso del adobe estabilizado con 15% de fibra. Para conocer más a fondo cómo se comporta la fibra de coco en el adobe, sería necesario realizar la prueba de resistencia a flexión y la prueba de absorción de agua, ya que, como se puede ver, la fibra de coco ayuda de buena manera a que el adobe tenga una mayor resistencia a compresión, sin embargo, en este estudio se desconoce si ocurre lo mismo en otros aspectos o si la fibra de coco puede llegar a ser no benéfica para estabilizar al adobe como material de construcción.							

ESTUDIO n° 4 Adobe compactado estabilizado con fibra de coco								
Propiedades del suelo								
Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite liquido	Limite plástico		Índice de plasticidad	Tipo de suelo		
12.28%	4.82% grava, 51.4% arena y 43.94% finos arcillosos.	38.10%	29.99%		8.11%	Arena arcilla (SC)		
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado								
Tipo de adobe	Medida	Piezas	Cantidad de suelo seco (Kg)	Cantidad de fibra de coco (Kg)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)	Deterioro
Adobe tradicional	15 x 14 x 10	17	10	-	28.21	7.32	No resistió	Severa
Estabilizado con 0.25% de fibra de coco	15 x 14 x 10	17	10	25	36.83	8.19	No resistió	Severa
Estabilizado con 0.50% de fibra de coco	15 x 14 x 10	17	10	50	32.72	8.48	No resistió	Severa
Estabilizado con 0.75% de fibra de coco	15 x 14 x 10	17	10	75	23.30	8.27	No resistió	Severa
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado								
Estabilizado con 0.25% de fibra de coco			Estabilizado con 0.50% de fibra de coco			Estabilizado con 0.75% de fibra de coco		
La resistencia a compresión y a flexión fue mayor a la del adobe tradicional, sin embargo, en la prueba de absorción de agua, la pieza no resistió, ya que al estar sumergida en agua durante 24hrs, terminó desintegrándose por competo.			La resistencia a compresión fue mayor a la del adobe tradicional, sin embargo, fue menor a la del estabilizado con 0.25% de fibra, y en la prueba de resistencia a compresión la pieza siguió incrementando su resistencia con respecto a los adobes anteriores a este. Y de igual forma que en el estabilizado con 0.25% de fibra, la pieza no pasó a prueba de absorción de agua, ya que esta se desintegro por completo al estar sumergida durante 24 hrs.			La resistencia a compresión se disminuyó mucho y terminó siendo menor a la del adobe tradicional, y su resistencia a flexión fue menor a la del estabilizado con 0.50% de fibra, pero mayor a la del adobe tradicional y al estabilizado con 0.25%. Y en la prueba de absorción de agua ocurrió lo mismo que en los otros tipos de adobes, la pieza no resistió la prueba y se desintegro.		
Conclusiones generales								
La fibra de coco resulto ser benéfica para conseguir un aumento de resistencia a compresión y a flexión, sin embargo, no ayudó a que este disminuyera su porcentaje de capacidad de absorción de agua. Con los resultados podemos ver que la fibra de coco absorbe demasiada agua, lo que hace que las piezas no tengan una durabilidad adecuada y optima al estar expuestas ante el factor del agua. Es importante resaltar que, a partir de un cierto porcentaje de adición de fibra, la resistencia tanto a compresión como a flexión empieza a disminuir, para tener una resistencia a compresión optima, el porcentaje de fibra no debe ser mayor al 0.25%, mientras que para la resistencia a flexión no debe ser mayor a 0.50%. El mejor resultado se dio en el adobe estabilizado con 0.25% de fibra de coco. La fibra de e coco si puede llegar a ser empleada como un estabilizador para el adobe, sin embargo, debe ser acompañada por otro material estabilizador, el cual ayude a la pieza a no tener un porcentaje de absorción de agua severo.								

ESTUDIO n° 5 Adobe estabilizado con fibra de maguey								
Propiedades del suelo								
Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite liquido	Limite plástico		Índice de plasticidad	Tipo de suelo		
-	1.09% grava, 33.36% limo, 55.52% arena y 11.12% arcilla	-	-		-	-		
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado								
Tipo de adobe	Medida	Piezas	Suelo seco (baldes)	Fibra de maguey (baldes)	Compresión (Kg/cm²) Piezas de 12 x 12 x 12	Flexión (Kg/cm²) Piezas de 40 x 10 x 10	Absorción de agua (%) Piezas de 40 x 30 x 10	Deterioro
Adobe tradicional	12 x 12 x 12 40 x 10 x 10 40 x 30 x 10	18	6	-	11.34	2.90	No resistió	Severa
Estabilizado con 8% de fibra de maguey	12 x 12 x 12 40 x 10 x 10 40 x 30 x 10	18	5 1/2	1/2	29.95	7.47	No resistió	Severa

Estabilizado con 16% de fibra de maguey	12 x 12 x 12 40 x 10 x 10 40 x 30 x 10	18	5	1	38.26	8.41	No resistió	Severa	
Estabilizado con 33% de fibra de maguey	12 x 12 x 12 40 x 10 x 10 40 x 30 x 10	18	4	2	46.54	11.87	24.88	Moderada	
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado									
Estabilizado con 8% de fibra de maguey			Estabilizado con 16% de fibra de maguey			Estabilizado con 33% de fibra de maguey			
La resistencia a compresión y a flexión tuvo un aumento considerable con respecto al del adobe tradicional, sin embargo, en la prueba de absorción de agua el resultado no fue favorable, ya que la pieza se desintegro por completo después de estar sumergida durante 24hrs en agua, tal como ocurrió en el adobe tradicional.			La resistencia a compresión y a flexión fue mayor a la del estabilizado con 16% de fibra, y muy superior a la del adobe tradicional. En la prueba de absorción de agua el resultado fue el mismo en los otros casos, ya que la pieza no resistió, sin embargo, esta no se desintegró por completo como ocurrió en los otros casos, sino que se pudo conservar una pequeña parte de ella, esto lo podemos tomar como una ligera "mejora" aunque no sea el resultado óptimo.			La resistencia a compresión y a flexión fueron las más altas sobre todos los otros casos, y fue el único adobe que pudo pasar la prueba de absorción de agua, ya que después de tener a la pieza sumergida en agua durante 24hrs, esta salió completa, dando como resultado una pieza con un deterioro moderado.			
Conclusiones generales									
La fibra de maguey ayudó a tener un gran aumento de resistencia a compresión y a flexión, retrasando la ruptura y/o dando un agrietamiento gradual y no espontaneo. De igual forma mejora su capacidad de absorción de agua, ya que, si bien en 2 de los 3 tipos de adobes estabilizados las piezas no lograron resistir y se desintegraron, las piezas iban teniendo una ligera mejora al tener un porcentaje mayor de adición de fibra en su composición. Los resultados nos dejan ver que mientras mayor sea el porcentaje de adición de fibra de maguey, mayor será su resistencia a compresión y a flexión, y su porcentaje de absorción será mejor, sería necesario hacer más pruebas con porcentajes mayores para conocer hasta que punto se puede obtener un resultado más favorable en la absorción de agua. El mejor resultado fue el del adobe estabilizado con 33% de fibra de maguey, ya que este tuvo la resistencia a compresión y flexión más alta y fue el único capaz de resistir el factor de agua. Con estos resultados podemos decir que la fibra de maguey puede ser utilizada como un estabilizador para el adobe, y lo más recomendado sería acompañar a la fibra con otro material estabilizador para tener un mejor resultado en la capacidad de absorción de agua.									
ESTUDIO n° 6 Adobe estabilizado con fibra y bagazo de maguey									
Propiedades del suelo									
Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite líquido	Limite plástico		Índice de plasticidad		Tipo de suelo		
-	-	-	-		-		-		
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado									
Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso suelo seco	Peso de fibra y bagazo de maguey	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)	Deterioro	
Adobe tradicional	40 x 20 x 14	2	-	-	3.30	-	12.91	Moderada/Severa	
Estabilizado con 18% de fibra de agave	40 x 20 x 14	2	-	-	3.34	-	13.26	Moderada/Severa	
Estabilizado con 18% de bagazo de agave	40 x 20 x 14	2	-	-	4.47	-	13.37	Moderada/Severa	
Estabilizado con 18% de fibra y bagazo de agave	40 x 20 x 14	2	-	-	4.15	-	13.79	Moderada/Severa	
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado									
Estabilizado con 8% de fibra de agave			Estabilizado con 18% de bagazo de agave			Estabilizado con 18% de fibra y bagazo de agave			
Se tuvo un aumento de resistencia muy bajo con respecto al adobe tradicional, podemos considerar que prácticamente quedo igual la resistencia inicial. Y en la prueba de absorción de agua, la fibra de agave no favoreció al adobe, ya que tuvo un aumento de porcentaje en la capacidad de absorción. Es importante resaltar que la prueba realizada para obtener ese resultado en la absorción fue solamente sumergir 2cm de la pieza por 30 minutos, ya que al sumergir la pieza por completo durante 24hrs, esta se desintegro por completo.			La resistencia a compresión fue mayor a la del adobe tradicional y al estabilizado con fibra de agave, sin embargo, en la prueba de absorción de agua, el porcentaje fue mayor al del adobe tradicional y al estabilizado con fibra. Y al igual que en la prueba de absorción del anterior, la pieza solamente se sumergió 2cm en un tiempo de 30 minutos, ya que al sumergir la pieza por completo durante 24hrs, esta se desintegro por completo.			La resistencia a compresión fue mayor a la del adobe tradicional, pero menor a la del estabilizado con bagazo. Su desventaja más clara fue en la prueba de absorción de agua, ya que este tuvo el porcentaje más alto de absorción, lo que hace la pieza sufra un deterioro más temprano. Y en dicha prueba sucedió lo mismo que en las pruebas anteriores, la pieza solamente se sumergió 2cm en un tiempo de 30 minutos, ya que al sumergir la pieza por completo durante 24hrs, esta se desintegro por completo.			
Conclusiones generales									
El mejor resultado de este estudio fue el adobe estabilizado con 18% de bagazo de agave, ya que este tuvo la mayor mejora en la resistencia a compresión, sin embargo, tuvo un mayor porcentaje de absorción de agua que el adobe tradicional, pero de los tipos de adobes estabilizados no fue el que tuvo un porcentaje de absorción mayor.									
Es importante resaltar que la prueba de absorción la pudieron pasar los distintos tipos de adobe porque no se sumergieron las piezas en su totalidad, ya que al momento de hacerlo se desintegran totalmente, por lo que se decidió hacer la prueba de absorción de agua de la forma en la que ya se ha descrito anteriormente.									
Con los resultados presentados en este estudio, podemos decir que la fibra y bagazo de agave (maguey) no es un material apto para la estabilización del adobe, ya que la resistencia aumentada es mínima y su capacidad de absorción de agua aumenta, y en caso de que se quiera usar alguno de estos dos, el "mejor" es el bagazo de agave acompañada de otro tipo de material estabilizado que contrarresté los efectos negativos que el bagazo puede presentar en el adobe.									

3.6. Cal.

La cal es uno de los materiales de construcción más empleado hoy en día, y se trata de una sustancia que está constituida por óxido de calcio, el cual es obtenido a partir de calcinar rocas calizas, es decir, a estas rocas se les expone a altas temperaturas para poder obtener óxido de calcio (CaO). Al igual que el cemento, la cal es un material conglomerante, lo que significa que tiene la capacidad de dar cohesión. Dependiendo como se le realizase el proceso, puede ser cal viva o cal apagada.

Los elementos que la componen son los siguientes:

Caliza: La caliza es una roca de tipo sedimentaria, esta roca es el componente principal para obtener la cal, y está compuesta de carbonato de calcio (CaCO_3).

Agua: En caso de que se quiera elaborar cal apagada, es necesario agregar agua a la cal viva.



Ilustración 41. Cal. imagen tomada de la web para fines académicos.

Propiedades de la cal.

Las propiedades más importantes para destacar de este material son las siguientes:

Propiedades químicas: Este material no sufre de oxidación ni de corrosión, y es resistente ante ataques químicos.

Propiedades físicas: Lo encontramos como un polvo fino en color blanco, es un material con baja porosidad, lo cual ayuda a que no tenga un índice alto de absorción de agua, dando como consecuencia una alta impermeabilidad, aumenta la cohesión al momento de ser incorporada en otras mezclas, lo que ayuda a aumentar la resistencia.

Propiedades mecánicas: Tiene un alto índice de plasticidad, y al aportar cohesión a ciertas mezclas puede aumentar la resistencia ante la compresión, y dando tenacidad y dureza.

Tipos y usos de la cal.

La cal cuenta con distintos tipos, estas cambian ya sean por la presentación en la que se encuentran o por el proceso que se llevó a cabo para su obtención, sin embargo, todas cuentan con las mismas propiedades base. Los tipos de cal que encontramos son:

1. *Cal viva:* Es aquella que se obtiene al calcinar la piedra caliza, es decir, es la que se obtiene desde un comienzo al querer obtener cal.
2. *Cal apagada:* Esta se obtiene al agregar agua a la cal viva, por esta razón también se le conoce como cal hidratada.
3. *Cal hidráulica:* Este tipo de cal se obtiene al agregar compuestos hidráulicos a la cal apagada/hidratada, con el objetivo de ganar resistencia a corto plazo y de endurecerse en trabajos que estén expuestos al agua.
4. *Cal aérea:* Esta se consigue al calcinar la piedra caliza a más de 900 grados.
5. *Cal dolomita:* Es una cal que se obtiene al combinar carbono de calcio y carbonato de magnesio.

Los usos más comunes de este material que podemos encontrar son:

- Morteros.
- Revestimientos interiores y exteriores.

- Acabados.
- Pinturas para decoración.
- Estabilización del suelo.

Ventajas y desventajas de la cal.

Dentro de los pros y contras que tiene este material, mencionarnos los siguiente:

Ventajas:

1. *Material accesible:* Lo tenemos como un material de uso común, lo que hace que lo podamos conseguir sin problema en cualquier parte.
2. *Bajo costo:* Por lo mismo de ser un material de uso común y ser muchas veces una base para ciertas cuestiones en la construcción, su costo es accesible.
3. *Resistencia al agua:* Lo que ayuda a que sea un material de larga duración.
4. *Material conglomerante:* Aporta cohesión y adherencia a las mezclas, dando como resultado materiales con mayor resistencia.

Desventajas:

1. *Dañino para la piel:* La cal el polvo puede llegar a producir calor, lo que presenta daños en la piel.
2. *Calor producido:* Si se usa como estabilizador para la tierra, y llega a producir calor, el suelo puede llegar a secarse de manera apresurada, lo que provocaría dilatación.

3.6.1. La Cal como estabilizador en el adobe.

Teniendo como base las propiedades antes mencionadas sobre la cal, podemos decir que la cal, al ser utilizada como un estabilizador para el adobe, tiene como

objetivo principal el aportar impermeabilidad a dicho material, es decir, darle una resistencia mayor ante el agua. Y al ser un material conglomerante, el objetivo es que, al contar con dicha propiedad, al ser incorporado al adobe, este se compacte más, reduciendo la porosidad y teniendo como consecuencia que el adobe logre aumentar su resistencia como material de construcción.

Al utilizar la cal como estabilizador, se han propuesto distintos tipos de cal, sin embargo, el de uso más común para este tipo de trabajos es el de cal apagada. Una vez que se determina qué tipo de cal se usara, es importante realizar el análisis sobre la cantidad que se necesita para tener un resultado favorable en el adobe, es importante el conocer si a mayor cantidad de cal mayor será la resistencia, o si a mayor cantidad la resistencia se disminuye.

A continuación, se mostrarán y analizarán los estudios más interesantes sobre adobes que han sido estabilizados con cal, esto con el objetivo de ver el comportamiento que presenta como material estabilizador.

3.6.2. Estudio n°1. Adobe estabilizado con cal apagada.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación “*Análisis de la resistencia a compresión del adobe estabilizado con cal en la ciudad de Cajamarca*” de Oscar Virgilio Altamirano Carrasco.

Lo primero que se hizo fue establecer la cantidad de piezas a realizar para las pruebas, y también se determinaron los porcentajes que se manejaran para los distintos tipos de adobe, los cuales fueron:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
--------	----------------

76	Adobe tradicional.
76	Adobe con adición del 6% cal apagada.
76	Adobe con adición del 12% cal apagada.
76	Adobe con adición del 18% cal apagada.

Tabla 55. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Análisis de la resistencia a compresión del adobe estabilizado con cal en la ciudad de Cajamarca”.*

De las 76 piezas elaboradas para cada tipo de adobe, 12 son para la prueba de resistencia a compresión por pieza, 16 para la prueba de resistencia a compresión por pila y 48 para la prueba de resistencia a compresión diagonal por murete, de esas 48 piezas 6 son de una dimensión y 6 de otra.

Para este estudio se tuvieron piezas de 4 tamaños, los cuales fueron:

Tamaño 1 (para pruebas de resistencia a compresión por pieza): **10cm x 10cm x 10cm.**

Tamaño 2 (para pruebas de resistencia a compresión por pila): **Ancho 15cm, largo 46cm y espesor 10cm.**

Tamaño 3 (para pruebas de resistencia a compresión diagonal por murete): **Ancho 20cm, largo 40cm y espesor 10cm.**

Tamaño 4 (para pruebas de resistencia a compresión diagonal por murete): **Ancho 20cm, largo 28cm y espesor 10cm.**

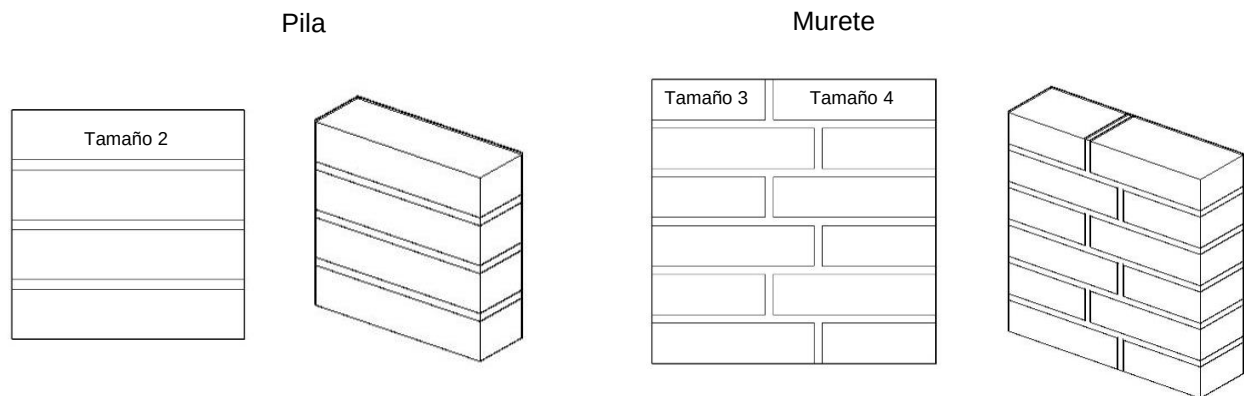


Ilustración 42. Pila de adobe de piezas de 46 x 15 x 10 y murete con piezas de 40 x 20 x 10 y 28 x 20 x 10.

Obtención del material.

Suelo:

El suelo se extrajo de una cantera adobera, llamada “Cruz blanca”, ubicada en la ciudad de Cajamarca, Perú. Se decidió extraer el suelo de este sitio debido a sus antecedentes en la fabricación de adobes.

Una vez que se extrajo el suelo requerido se le hizo un análisis para determinar si el suelo es apto para la elaboración de las piezas.

Los resultados del suelo fueron (Altamirano, 2018):

Contenido de humedad: 4.58%.

Análisis granulométrico: Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 36.13%

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 18%*
- *Límite plástico: 15%*
- *Índice de plasticidad: 3%*

Tipo de suelo: Arena Limosa (SM).

Paja:

Se obtuvo de la cantera adobera de donde se extrajo el suelo, y se corta en longitudes entre 4cm y 6cm.

Cal:

Se usó cal apagada, la cual para este estudio se consiguió de una empresa, llamada “Empresa Minera El Proceso S.R.L”.

Elaboración de adobe con cal apagada.

Una vez que se determinó que el suelo es apto para la elaboración de los adobes, se llevó a cabo el siguiente proceso para su fabricación:

Dosificación:

No se especifican las cantidades a usar de cada material, pero nos indican los porcentajes con respecto al peso del suelo seco, los cuales son:

TIPO DE ADOBE	PAJA	CAL
Adobe tradicional.	1% del peso del suelo seco	-
Adobe con adición del 6% cal apagada.	1% del peso del suelo seco	6% del peso del suelo seco
Adobe con adición del 12% cal apagada.	1% del peso del suelo seco	12% del peso del suelo seco
Adobe con adición del 18% cal apagada.	1% del peso del suelo seco	18% del peso del suelo seco

Tabla 56. Dosificación para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Análisis de la resistencia a compresión del adobe estabilizado con cal en la ciudad de Cajamarca”*

Mezclado:

Una vez que se tiene listo el suelo que se usara para los adobes, se remoja y se dejar reposar el suelo húmedo por 48hrs. Pasado ese tiempo se deja secar al sol la tierra y se añade la cal apagada, y se mezccla hasta que se obtiene una mezcla homogénea.

Ya que se tiene la mezcla de suelo-cal lista, se añade la paja y el agua hasta obtener una forma trabajable.

Encofrado y desencofrado:

Ya teniendo lista la mezcla, se procede a pasarla a las adoberas. Las adoberas antes de ser usadas, a las caras interiores se les pasa un trapo húmedo con shampoo, esto con el fin de que la mezcla no se pegue a la adobera al momento de hacer el desencofrado, y esto se hace cada vez que se añade mezcla a la adobera. Las piezas se desencofran y se colocan en la superficie donde se llevará el proceso de secado.

Secado:

Se colocan en una superficie limpia, plana y nivelada, la cual se mantiene cubierta. Después de 16 días las piezas se colocan en posición de canto durante dos semanas más. El proceso de secado dura 30 días.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con cal apagada.

Para este estudio sólo se realizó la prueba de resistencia a compresión en 3 tipos distintos, los cuales fueron por pieza, por pila y por murete en diagonal.

Resistencia a la compresión por pieza:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
---------------	--

Adobe tradicional.	13.03
Adobe con adición del 6% cal apagada.	5.58
Adobe con adición del 12% cal apagada.	4.25
Adobe con adición del 18% cal apagada.	2.96

Tabla 57. Resistencia a compresión por pieza. *Tabla tomada del trabajo “Análisis de la resistencia a compresión del adobe estabilizado con cal en la ciudad de Cajamarca”.*

Resistencia a la compresión por pila:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional.	10.20
Adobe con adición del 6% cal apagada.	3.66
Adobe con adición del 12% cal apagada.	3.06
Adobe con adición del 18% cal apagada.	2.60

Tabla 58. Resistencia a compresión por pila. *Tabla tomada del trabajo “Análisis de la resistencia a compresión del adobe estabilizado con cal en la ciudad de Cajamarca”.*

Resistencia a la compresión diagonal por murete:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
---------------	--

Adobe tradicional.	0.48
Adobe con adición del 6% cal apagada.	0.21
Adobe con adición del 12% cal apagada.	0.14
Adobe con adición del 18% cal apagada.	0.07

Tabla 59. Resistencia a compresión diagonal por murete. *Tabla tomada del trabajo “Análisis de la resistencia a compresión del adobe estabilizado con cal en la ciudad de Cajamarca”.*

Conclusiones.

Como se puede ver en los resultados, la cal apagada no funciona como un material estabilizador para el adobe. En cada prueba las piezas con estabilizadas con cal apagada tuvieron una menor resistencia a comparación del adobe tradicional, y mientras más porcentaje de cal apagada se le agrega al adobe, menor es la resistencia.

A pesar de que los resultados no fueron favorables para el adobe, sería importante el realizar las pruebas de resistencia a flexión y de absorción de agua, para ver cómo afecta o beneficia la cal apagada al adobe en esos aspectos.

También sería importante el considerar y analizar si los resultados obtenidos en estas pruebas realizadas se deben a una falta de compatibilidad entre la cal apagado con el tipo de suelo que se usó, el cual fue arena limosa.

3.6.3. Estudio n°2. Adobe compactado y estabilizado con cal apagada.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación “*Análisis de la resistencia mecánica del adobe estabilizado con cal y compactado para construcciones ecológicas-económicas en Cajamarca*” de Kelvin Raphael Cáceres Vásquez.

Lo primero que se hizo fue el determinar los tipos de adobes que se analizarían, es decir, decidir los porcentajes de cal a usar, además de también determinar la cantidad de piezas a elaborar para cada tipo, los cuales fueron:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
14	Adobe tradicional.
14	Adobe compactado con adición del 5% cal apagada.
14	Adobe compactado con adición del 10% cal apagada.
14	Adobe compactado con adición del 15% cal apagada.
14	Adobe compactado con adición del 20% cal apagada.

Tabla 60. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Análisis de la resistencia mecánica del adobe estabilizado con cal y compactado para construcciones ecológicas-económicas en Cajamarca”.*

De las 14 piezas para cada tipo de adobe, 6 son para la prueba de resistencia a compresión, 6 para la de resistencia a flexión y 2 para la de absorción de agua.

Para este estudio se usaron 2 tamaños para las piezas, los cuales fueron:

Tamaño 1 (para pruebas de resistencia a compresión y absorción de agua): **10cm x 10cm x 10cm.**

Tamaño 2 (para pruebas de resistencia a flexión): **Ancho 20cm, largo 35cm y espesor 10cm.**

Obtención del material.

Suelo:

El suelo se extrajo de una cantera llamada “Maraypampa”, ubicada en Cajamarca en la provincia de San Pablo, Perú.

Una vez que se extrajo el suelo requerido se le hizo un análisis para determinar si el suelo es apto para la elaboración de las piezas.

Los resultados del suelo fueron (Cáceres,2017):

Contenido de humedad: 5.11%.

Análisis granulométrico: Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 55.52%

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 48%*
- *Límite plástico: 27.56%*
- *Índice de plasticidad: 20.44%*

Tipo de suelo: Arcilla arenosa (CL).

Paja:

Se obtuvo de la cantera de donde se obtuvo el suelo para el adobe, y se cortó en trozos de una longitud de entre 5cm y 10cm.

Cal:

Se usó cal apagada, la cual se obtuvo de una cantera llamada “Cal Puyllucana”, ubicada en la provincia de Cajamarca, distrito Baños del Inca, Perú.

Elaboración de adobe compactado con cal apagada.

Una vez que se determinó que el suelo es apto para la elaboración de los adobes, se llevó a cabo el siguiente proceso para su fabricación:

Mezclado:

Ya que se tiene listo el suelo para los adobes, este se mezcla con la cal tipo apagada y se revuelve hasta que se obtiene una mezcla uniforme y homogénea.

Una vez que esa mezcla esta lista, se va agregando el agua poco a poco y se bate obtener la consistencia deseada y adecuada.

Prensado:

Como hemos visto en otros estudios, cuando se elaboran adobes compactados por medio del prensado, usualmente se utiliza una prensa manual, en este caso no se obtuvo dicha máquina, por lo que, para asemejar la acción de la prensa manual, se utilizó una maquina universal de compresión.

Ya que la mezcla se tiene lista, se pasa al molde, el cual es engrasado previamente con el fin de evitar que le mezcla se pegue él. Una vez que se tiene listo el molde con la mezcla, se coloca en la maquina universal de compresión y se le aplica una carga de compactación, formando así piezas compactadas.

Se procede a desmoldar las piezas y se colocan en el sitio donde se llevará a cabo el proceso de secado.



Ilustración 43. Maquina Universal de Compresión. *Imágenes tomadas de la web para fines académicos.*

Secado:

Se colocan en una superficie limpia y plana. Durante los primeros 8 días del secado, los adobes deben ser regados de manera muy ligera con agua dos veces al día, pasados esos 8 días se dejan secar durante 20 días.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con cal apagada.

Para este estudio las pruebas que se realizaron fueron la de resistencia a compresión, resistencia a flexión y la de capacidad de absorción de agua.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional.	14.08
Adobe compactado con adición del 5% cal apagada.	15.39
Adobe compactado con adición del 10% cal apagada.	15.99
Adobe compactado con adición del 15% cal apagada.	16.95
Adobe compactado con adición del 20% cal apagada.	18.57

Tabla 61. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Análisis de la resistencia mecánica del adobe estabilizado con cal y compactado para construcciones ecológicas-económicas en Cajamarca”.*

Resistencia a la flexión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional.	7.45
Adobe compactado con adición del 5% cal apagada.	7.91
Adobe compactado con adición del 10% cal apagada.	8.71
Adobe compactado con adición del 15% cal apagada.	9.14
Adobe compactado con adición del 20% cal apagada.	9.79

Tabla 62. Resistencia a flexión. *Tabla tomada del trabajo “Análisis de la resistencia mecánica del adobe estabilizado con cal y compactado para construcciones ecológicas-económicas en Cajamarca”.*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional.	No soporte
Adobe compactado con adición del 5% cal apagada.	14.40
Adobe compactado con adición del 10% cal apagada.	13.97
Adobe compactado con adición del 15% cal apagada.	13.66
Adobe compactado con adición del 20% cal apagada.	13.99

Tabla 63. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Análisis de la resistencia mecánica del adobe estabilizado con cal y compactado para construcciones ecológicas-económicas en Cajamarca”.*

Conclusiones.

Como podemos ver, los resultados de este estudio fueron favorables en los 3 aspectos analizado.

En la prueba de resistencia a compresión la cal apagada resultó benéfico, en los 4 tipos de adobe compactados propuestos con distintos porcentajes de cal, la resistencia fue mayor con respecto a la del adobe tradicional. El mejor resultado se obtuvo del estabilizado con 20% de cal, ya que este tuvo un aumento del 31.88% de resistencia. Con los resultados presentados es importante destacar que mientras más porcentaje de cal tenga la pieza, mayor será su resistencia a compresión.

En la prueba de resistencia a flexión la cal apagada beneficio a las piezas, en los 4 tipos de adobe compactados propuestos con distintos porcentajes de cal, la resistencia fue mayor con respecto a la del adobe tradicional. El mejor se tuvo en el adobe estabilizado con 20% de cal, con un aumento del 32.41% de resistencia. Y al igual que ocurrió en la prueba de resistencia a compresión, en esta prueba mientras más porcentaje de cal tiene la pieza, mayor es su resistencia a flexión.

Y en la prueba de absorción de agua la cal apagada ayudó a que las piezas no fueran vulnerables ante el agua, el adobe tradicional no soportó la prueba y se desintegro, mientras que en los 4 tipos de adobe compactados propuestos con distintos porcentajes de cal soportaron el contacto con el agua. El mejor resultado fue en el estabilizados con 20% de cal, ya que en este el porcentaje se redujo en comparación con los otros tipos de adobes. Y aquí ocurre lo mismo que con las otras pruebas, mientras más porcentaje de cal tenga la pieza, mayor será la mejora.

La cal tipo apagada presento mejoras bastante gratificantes, lo que nos hace poder considérala como un estabilizante completo. La combinación de la cal junto a que la tierra esta compactada da resultados favorables. Podemos ver que la cal, al quererla usar como un estabilizador para el adobe, no sería necesario el incluirle otros materiales que cubra alguna “deficiencia”, ya que por sí sola refuerza al adobe de buena manera.

3.6.4. Estudio n°3. Adobe estabilizado con cal, cemento arena y cáscara de arroz.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación *“Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”* de José Freddy Moreira Portillo.

En este estudio el adobe no solo se estabiliza con cal, sino que se le agregan otros componentes, que son el cemento y la cáscara de arroz, esto con el fin de obtener una estabilización más completa.

Lo primero que se hizo fue determinar los distintos tipos de adobe con adición de cal, junto con los otros componentes, que se tendrían.

Se tuvieron 2 tipos de adobes distintos, los cuales se subdividen por los distintos porcentajes de material que los componen, los cuales fueron:

ARCILLA, CÁSCARA DE ARROZ, CEMENTO Y CAL
Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 5% de cemento y 5% de cal.
Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 7% de cemento y 7% de cal.
Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 9% de cemento y 9% de cal.
Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 11% de cemento y 11% de cal.

Tabla 64. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.*

ARCILLA, CÁSCARA DE ARROZ, CEMENTO, CAL Y ARENA
Adobe con 95% de arcilla, 5% de cáscara de arroz, 5% de cemento, 5% de cal y 5% de arena.
Adobe con 95% de arcilla, 5% de cáscara de arroz, 7% de cemento, 7% de cal y 7% de arena.
Adobe con 95% de arcilla, 5% de cáscara de arroz, 9% de cemento, 9% de cal y 9% de arena.
Adobe con 95% de arcilla, 5% de cáscara de arroz, 11% de cemento, 11% de cal y 11% de arena.

Tabla 65. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.*

ARCILLA, CÁSCARA DE ARROZ, CEMENTO, CAL Y ARENA
Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 5% de cemento, 5% de cal y 5% de arena.
Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 7% de cemento, 7% de cal y 7% de arena.
Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 9% de cemento, 9% de cal y 9% de arena.
Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 11% de cemento, 11% de cal y 11% de arena.

Tabla 66. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.*

ARCILLA, CÁSCARA DE ARROZ, CEMENTO, CAL Y ARENA
Adobe con 87.5% de arcilla, 12.5% de cáscara de arroz, 5% de cemento, 5% de cal y 5% de arena.
Adobe con 87.5% de arcilla, 12.5% de cáscara de arroz, 7% de cemento, 7% de cal y 7% de arena.
Adobe con 87.5% de arcilla, 12.5% de cáscara de arroz, 9% de cemento, 9% de cal y 9% de arena.
Adobe con 87.5% de arcilla, 12.5% de cáscara de arroz, 11% de cemento, 11% de cal y 11% de arena.

Tabla 67. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.*

No se marca la cantidad de piezas que se elaboraron para cada tipo de adobe. Para las pruebas las piezas se elevaron en forma cilíndrica, sin embargo, no se especifican las medidas.

Obtención del material.

Suelo:

Este se obtuvo en un banco de arcilla en San Isidro de Matagalpa, Nicaragua, y se consiguió a 1.5m de profundidad.

Una vez que se extrajo el suelo requerido se le hizo un análisis para determinar si el suelo es apto para la elaboración de las piezas.

Los resultados del suelo fueron (Moreira, 2017):

Contenido de humedad: 16.81% en promedio.

Análisis granulométrico: Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 70%

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 32.02%*
- *Límite plástico: 21.53%*
- *Índice de plasticidad: 10.49%*

Tipo de suelo: Arcilla arenosa (CL).

Cal y cemento:

Esto se consigue en cualquier casa de materiales, o incluso en ladrilleras y adoberas. La cal utilizada para este estudio es de tipo apagada.

Cáscara de arroz:

No se especifica donde se consiguió para este estudio, pero la cáscara de arroz se obtiene del proceso de molienda de este, y la llegan vender por costales. Así que se pueden conseguir ya sea directamente de la molienda o adquirirla en tiendas que manejen ese tipo de productos.

Elaboración de adobe con adición de cascara de arroz, cal, arena y cemento.

Una vez que se determinó que el suelo es apto para la elaboración de los adobes, se llevó a cabo el siguiente proceso para su fabricación:

Mezclado:

Los distintos materiales que compondrán al adobe se deben mezclar en seco, y una vez que se mezclan de tal manera que todo se incorporen entre sí, se incorpora el agua y se vuelve a mezclar hasta conseguir la consistencia deseada.

Prensado:

Ya que se tiene lista la mezcla, en el molde se coloca la mezcla hasta llenar un tercio de este, para posteriormente ejercer presión con un pistón para compactar la mezcla, el pisto se deja caer a una altura de 30cm sobre la mezcla, y estos se repite 25 vece, es decir, se dan 25 golpes. Ya que se compacta el primero tercio de la

mezcla, se procede a hacer los mismo con los otros dos tercios de la mezcla. Una vez que se tiene lista se desmolda con la ayuda de un extractor.

Saturado:

Una vez que se desmoldaron las piezas, estas fueron puestas en bolsas de manera individual, y se dejaron ahí durante 7 días de saturación.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con cal apagada.

Para este estudio solamente se realizó la prueba de resistencia a compresión.

Resistencia a la compresión de adobe con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal y cemento.

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe con adición de 5% de cemento y 5% de cal.	12.13
Adobe con adición de 7% de cemento y 7% de cal.	14.12
Adobe con adición de 9% de cemento y 9% de cal.	14.51
Adobe con adición de 11% de cemento y 11% de cal.	21.13

Tabla 68. Resistencia a compresión de adobe con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal y cemento. Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.

Resistencia a la compresión de adobe con 95% de arcilla y 5% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe con adición de 5% de cemento, 5% de cal y 5% de arena.	8.38
Adobe con adición de 7% de cemento, 7% de cal y 7% de arena.	11.25
Adobe con adición de 9% de cemento, 9% de cal y 9% de arena.	10.66
Adobe con adición de 11% de cemento, 11% de cal y 11% de arena.	22.02

Tabla 69. Resistencia a compresión de adobe con 95% de arcilla y 5% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena. Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.

Resistencia a la compresión de adobe con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe con adición de 5% de cemento, 5% de cal y 5% de arena.	16.27
Adobe con adición de 7% de cemento, 7% de cal y 7% de arena.	14.22

Adobe con adición de 9% de cemento, 9% de cal y 9% de arena.	19.15
Adobe con adición de 11% de cemento, 11% de cal y 11% de arena.	21.13

Tabla 70. Resistencia a compresión de adobe con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena. Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.

Resistencia a la compresión de adobe con 87.5% de arcilla y 12.55% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe con adición de 5% de cemento, 5% de cal y 5% de arena.	9.08
Adobe con adición de 7% de cemento, 7% de cal y 7% de arena.	10.17
Adobe con adición de 9% de cemento, 9% de cal y 9% de arena.	16.59
Adobe con adición de 11% de cemento, 11% de cal y 11% de arena.	21.92

Tabla 71. Resistencia a compresión de adobe con 87.5% de arcilla y 12.5% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena. Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.

Conclusiones.

Como podemos ver en los resultados, no hubo una comparativa entre un adobe tradicional y los distintos tipos de adobes propuestos, si no que se hace la comparación entre los distintos porcentajes que se manejan en las distintas mezclas propuestas.

Se tienen 4 mezclas distintas, de las cuales se subdividen en 4 tipos en donde se modifican los porcentajes de cal, cemento y arena. En todas las mezclas se tuvo una mejora en la resistencia a compresión con respecto al porcentaje de adición más bajo de cada tipo de mezcla.

El mejor resultado se dio en el adobe con 95% de arcilla, 5% de cáscara de arroz, 11% de cal, 11% de cemento y 11% de arena, ya que este fue el resultado más alto tanto en su grupo como de los otros 3 grupos, teniendo una resistencia de 22.02 kg/cm².

Para tener un análisis más completo, sería conveniente realizar las pruebas de resistencia a flexión y de absorción de agua, esto para comprobar que, entre más porcentaje de cal, cemento y arena, la resistencia a flexión y al agua aumentaría al igual que en la de compresión. Gracias a lo que sabemos sobre la cal, podemos dar la hipótesis de que la cal ayudaría a aumentar la resistencia al agua, dando como resultado piezas más resistentes y duraderas.

3.6.5. Conclusiones generales sobre los estudios de cal.

Como podemos ver, en dos de los tres estudios analizados, la cal resultó benéfica para el adobe.

Hay distintas variables que pudieron afectar en que en uno de los estudios el adobe no presentara mejora con la adición de cal, sino que su resistencia disminuye con respecto a la de un adobe tradicional. Podemos considerar que las variables que más influenciaron para esto fueron el tipo de suelo y la elaboración de los adobes,

en la parte del encofrado, ya que el suelo del estudio n°1. Adobe estabilizado con cal apagada, es de tipo arcilla limosa, mientras que en los otros estudios de tipo arcilla arenosa, además de que en este estudio fue el único en donde las piezas se fabricaron de forma “manual” por medio del método de encofrado, ya que en los otros estudios las piezas se fabricaron por medio del prensado por máquina, esto pudo influir a que se tuvieron piezas más compactadas, dando un aumento a la resistencia.

En general los mejores resultados se presentaron en el estudio n°3. Adobe con cal, cemento y cáscara de arroz, ya que en base a los resultados se tiene un mayor aumento de resistencia a compresión, sin embargo, sería necesario realizar más pruebas de este estudio, en donde se analice la resistencia a flexión y a absorción de agua. De igual forma es importante resaltar que en este estudio no sólo se tiene a la cal como estabilizador, sino que hay otros materiales que pueden estar influenciando a que se tenga un alto aumento en la resistencia compresión

Sin embargo, a pesar de que el estudio n°3 tiene otros materiales estabilizadores, además de la cal, no debemos de descartar que la cal por si sola ayuda a que el adobe tenga una mejora, y esto se puede ver en el estudio n°2. Adobe compactado y estabilizado con cal apagada, en donde se muestra que la cal mejora la resistencia a compresión y flexión y disminuye la capacidad de absorción de agua.

Dado a todo esto, podemos considerar a cal como un buen estabilizador para la elaboración de adobe, ya que da una mejora completa, es decir, aumenta la resistencia a fuerza de compresión y flexión, y ataca al problema de baja resistencia ante el agua que tiene el adobe, además de que es un material económico y de fácil acceso.

COMPARACIÓN DE ADOBES ESTABILIZADOS CON CAL								
ESTUDIO n° 1 Adobe estabilizado con cal apagada								
Propiedades del suelo								
Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Límite líquido	Límite plástico		Índice de plasticidad		Tipo de suelo	
4.58%	36.13%	18%	15%		3%		Arena limosa (SM)	
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado								
Tipo de adobe	Medida	Piezas	Cantidad de paja	Cantidad de cal apagada	Compresión (Kg/cm²) Por pieza (10x10x10)	Compresión (Kg/cm²) Por pila (46x15x10)	Compresión (Kg/cm²) Diagonal po murete (40x20x10 y 28x20x10)	Deterioro
Adobe tradicional	10 x 10 x 10 46 x 15 x 10 40 x 20 x 10 28 x 20 x 10	76	1% del peso del suelo seco	-	13.03	10.20	0.48	-
Estabilizado con 6% de cal apagada	10 x 10 x 10 46 x 15 x 10 40 x 20 x 10 28 x 20 x 10	76	1% del peso del suelo seco	6% del peso del suelo seco	5.58	3.66	0.21	-
Estabilizado con 12% de cal apagada	10 x 10 x 10 46 x 15 x 10 40 x 20 x 10 28 x 20 x 10	76	1% del peso del suelo seco	12% del peso del suelo seco	4.25	3.06	0.14	-
Estabilizado con 18% de cal apagada	10 x 10 x 10 46 x 15 x 10 40 x 20 x 10 28 x 20 x 10	76	1% del peso del suelo seco	18% del peso del suelo seco	2.96	2.60	0.07	-
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado								
Estabilizado con 6% de cal apagada			Estabilizado con 12% de cal apagada			Estabilizado con 18% de cal apagada		
En las 3 pruebas realizadas en este adobe, la resistencia a compresión fue muy menor a la del abobe tradicional, presentando un agrietamiento más marcado, sin embargo, no se ve una pérdida total de la pieza. En pila las piezas presentaron un agrietamiento más profundo, y en la prueba de murete en diagonal, la grieta formada se presentó justamente en donde se aplicó la fuerza, con un ligero desplazamiento hacia uno de los lados y de punto a punto de apoyo, mientras que el murete de adobe tradicional tuvo un agrietamiento en el centro de este, sin llegar a los puntos de apoyo.			En las 3 pruebas realizadas en este adobe, la resistencia fue menor a la del estabilizado con 6% de cal, las piezas (de forma individual) presentaron grietas y rupturas más profundas y en dirección a la fuerza aplicada, es decir, de forma vertical. En pila, las piezas presentaron un agrietamiento más severo en donde se ve que en la pila comienza a desmoronarse y a colapsar, y en la prueba de murete en diagonal, el murete presenta agrietamiento justamente en donde se aplicó la fuerza, y va de un punto de apoyo a otro.			En las 3 pruebas realizadas en este adobe, la resistencia a compresión fue menor a las del estabilizado con 12% de cal, haciéndolo el adobe con peores resultados de este estudio. Las piezas (de forma individual) presentaron rupturas graves, hubo desprendimiento de partes de la pieza, además de que estas rupturas aparecieron no solo en dirección vertical a la fuerza aplicada, sino que también de forma diagonal. En pila, las piezas prensaron gritas en un tiempo más corto y de forma más severa, y en la prueba de murete en diagonal, el murete presentó múltiples grietas en todo el cuerpo de este, mientras que en los otros adobes solamente había surgido una grieta.		
Conclusiones generales								
Con los resultados de este estudio, podemos decir que la cal apagada no es un buen material para ser utilizado como estabilizador en el adobe, ya que redujo significativamente la resistencia a compresión con respecto a la del adobe tradicional, además de que podemos ver que, a mayor porcentaje de adición de cal, menor es la resistencia a compresión. Para poder tener un panorama más claro de la reacción de la cal en el adobe es necesario hacer también las pruebas de resistencia a flexión y la de absorción de agua. Sería interesante conocer cómo reacciona la cal en este estudio en la prueba de absorción de agua, ya que una de las características de la cal es que sirve como un impermeabilizante.								
ESTUDIO n° 2 Adobe compactado estabilizado con fibra de hoja de plátano								
Propiedades del suelo								
Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Límite líquido	Límite plástico		Índice de plasticidad		Tipo de suelo	
5.11%	55.52%	48%	27.56%		20.44%		Arcilla arenosa (CL)	
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado								
Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso de suelo seco	Peso de cal apagada	Compresión (Kg/cm²) Piezas de 10 x 10 x 10	Flexión (Kg/cm²) Piezas de 35 x 20 x 10	Absorción de agua (%) Piezas de 10 x 10 x 10	Deterioro
Adobe tradicional	10 x 10 x 10 // 35 x 20 x 10	14	-	-	14.08	7.45	No resistió	Severa
Estabilizado con 5% de cal apagada	10 x 10 x 10 // 35 x 20 x 10	14	-	-	15.39	7.91	14.40	Moderada/Severa
Estabilizado con 10% de cal apagada	10 x 10 x 10 // 35 x 20 x 10	14	-	-	15.99	8.71	13.97	Moderada
Estabilizado con 15% de cal apagada	10 x 10 x 10 // 35 x 20 x 10	14	-	-	16.95	9.14	13.66	Moderada
Estabilizado con 20% de cal apagada	10 x 10 x 10 // 35 x 20 x 10	14	-	-	18.57	9.79	13.99	Moderada

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado			
Estabilizado con 5% de cal apagada	Estabilizado con 10% de cal apagada	Estabilizado con 15% de cal apagada	Estabilizado con 20% de cal apagada
La resistencia a compresión y a flexión tuvieron una mejora con respecto al adobe tradicional, y en la prueba de absorción de agua el porcentaje de absorción se redujo, lo cual ayudó a que la pieza estabilizada pudiera mantener mejor su compasión y forma al estar en agua, ya que en el adobe tradicional, la pieza no resistió y se desintegro por completo al estar en contacto con el agua.	La resistencia a compresión tuvo una ligera mejora, muy insignificante, con respecto al estabilizado con 5% de cal, sin embargo, la resistencia a flexión tuvo un aumento más significativo. Y en la prueba de absorción de agua, el porcentaje de cal empleado ayudó a que el porcentaje de absorción fue mejor al del estabilizado con 5%, lo que hace que pieza se mantenga más completa al momento de terminar dicha prueba.	La resistencia a compresión y a flexión tuvieron una mejora más significativa con respecto al estabilizado con 10% de cal. Y en la prueba de absorción de agua también hubo mejora, ya que el porcentaje de absorción se redujo, sin embargo, la mejora es muy pequeña, es decir, no se ve una diferencia significativa en el comportamiento de la pieza en esta prueba, con respecto al estabilizado con 10% de cal.	Este adobe tuvo la mejor resistencia a compresión y a flexión. La resistencia a compresión tuvo un aumento significativo con respecto al estabilizado con 15% de cal, mientras que el aumento de resistencia a flexión no fue tan significativo. En el caso de la prueba de absorción de agua, el porcentaje de absorción aumentó con respecto al del estabilizado con 15%, y si bien no es un aumento tan grande, es importare notar que a partir de un porcentaje de 20% de adición de cal, el porcentaje de absorción comienza a aumentar.

Conclusiones generales

La cal apagada ayudó a aumentar la resistencia a compresión y a flexión con respecto al adobe tradicional, lo que significa que da como resultado un material más fuerte y resistente, y en este aspecto de la resistencia podemos ver que mientras más porcentaje de cal se tenga en la composición de la pieza de adobe, mayor será su resistencia tanto a compresión como a flexión. En la prueba de absorción de agua no ocurre los mismo, ya que, si bien la cal apagada ayudó a que las piezas de adobe generaran resistencia al estar ante un factor como el agua, es importante mencionar que a partir del 20% de adición de cal, el porcentaje de absorción empieza a aumentar, lo cual significa que la pieza absorbe más agua y puede llegar a ser contraproducente, sin embrago, a pesar de ese ligero aumento en el porcentaje en la capacidad de absorción de agua, este sigue siendo menor a la del adobe tradicional.

La cal apagada puede ser empleada como un material estabilizador para el adobe, ya que ayudara a que la resistencia a compresión y a flexión aumente, y lo más recomendable es que tener a otro material, que sea de tipo impermeabilizante, junto con la cal para que se tenga un mejor control en la capacidad de absorción.

ESTUDIO n° 3 Adobe estabilizado con cal, cemento y cáscara de arroz								
Propiedades del suelo								
Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Límite líquido	Límite plástico		Índice de plasticidad		Tipo de suelo	
16.81%	70%	32.02%	21.53%		10.49%		Arcilla arenosa (CL)	
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado con con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal y cemento.								
Tipo de adobe	Medida	Peso de suelo seco (kg)	Cáscara de arroz (kg)	Peso de cemento (kg)	Peso de cal (kg)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)
Estabilizado con 5% de cal y 5% de cemento	Pieza cilíndrica	4.602	0.511	0.255	0.255	12.23	-	-
Estabilizado con 7% de cal y 7% de cemento	Pieza cilíndrica	4.602	0.511	0.358	0.358	14.12	-	-
Estabilizado con 9% de cal y 9% de cemento	Pieza cilíndrica	4.602	0.511	0.460	0.460	14.51	-	-
Estabilizado con 11% de cal y 11% de cemento	Pieza cilíndrica	4.602	0.511	0.562	0.562	21.13	-	-
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado								
Estabilizado con 5% de cal y 5% de cemento		Estabilizado con 7% de cal y 7% de cemento		Estabilizado con 9% de cal y 9% de cemento			Estabilizado con 11% de cal y 11% de cemento	
Este adobe se toma como la base comparativa de los resultados de todos los demás adobes pertenecientes a esta sección, esto debido a que no se cuenta con la resistencia que tendría un adobe tradicional en las condiciones de ese estudio.		La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 5% de cal y cemento.		La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 7% de cal y cemento, sin embargo, el aumento fue muy insignificante, dejando su comportamiento prácticamente igual al del 7%.			La resistencia a compresión tuvo un aumento bastante significativo con respecto al estabilizado con 9% de cal y cemento, haciéndolo el adobe con mejor resultado de este grupo.	
Conclusiones de piezas de adobe estabilizado con con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal y cemento.								
Los resultados nos dejan ver que mientras mayor sea el porcentaje de cal y cemento añadido en el adobe, mayor será su resistencia a compresión, es interesante ver como se da un aumento bastante considerable de resistencia del adobe estabilizado con 9% al estabilizado con11%. Lo más recomendable sería hacer en estas piezas la prueba de resistencia a flexión y la de absorción de agua, para conocer si se tiene la misma reacción que en la resistencia a compresión.								
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado con 95% de arcilla y 5% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.								
Tipo de adobe	Medida	Peso de suelo seco (kg) + Peso de arena (kg)	Cáscara de arroz (kg)	Peso de cemento (kg)	Peso de cal (kg)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)
Estabilizado con 5% de cal, 5% de cemento y 5% de arena	Pieza cilíndrica	4.858 + 0.255	0.255	0.255	0.255	8.38	-	-

Estabilizado con 7% de cal, 7% de cemento y 7% de arena	Pieza cilíndrica	4.858 + 0.358	0.255	0.358	0.358	11.25	-	-
Estabilizado con 9% de cal, 9% de cemento y 9% de arena	Pieza cilíndrica	4.858 + 0.460	0.255	0.460	0.460	10.66	-	-
Estabilizado con 11% de cal, 11% de cemento y 11% de arena	Pieza cilíndrica	4.858 + 0.562	0.255	0.562	0.562	22.02	-	-
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado								
Estabilizado con 5% de cal, 5% de cemento y 5% de arena	Estabilizado con 7% de cal, 7% de cemento y 7% de arena		Estabilizado con 9% de cal, 9% de cemento y 9% de arena			Estabilizado con 11% de cal, 11% de cemento y 11% de arena		
Este adobe se toma como la base comparativa de los resultados de todos los demás adobes pertenecientes a esta sección, esto debido a que no se cuenta con la resistencia que tendría un adobe tradicional en las condiciones de ese estudio.	La resistencia a compresión tuvo un bue aumento con respecto a la resistencia del estabilizado con 5% de cal, cemento y arena..		La resistencia a compresión fue menor a la del estabilizado con 7% de cal, cemento y arena, sin embargo, apedar de que hubo una reducción, su resistencia fue mayor a la de estabilizado con 5% de cal, cemento ya arena.			A pesar de lo que se pudo haber pensado con el resultado del adobe estabilizado con 9% de cal, cemento y arena, en donde la resistencia tuvo una disminución, este adobe fue el que obtuvo la mejor resistencia a compresión de este grupo, además de que fue el que tuvo el incremento de resistencia más significativo y restaurando la resistencia que se había perdido en el estabilizado con 9% de cal, cemento y arena.		
Conclusiones de piezas de adobe estabilizado con 95% de arcilla y 5% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.								
Los resultados no dejan en claro la relación entre la cantidad de porcentaje de los materiales estabilizadores con la resistencia compresión, es decir, en el adobe estabilizado con 9% de cal, cemento y arena, la resistencia se redujo y en el estabilizado con 11% de cal, cemento ya rena, tuvo un incremento considerable, siendo así el adobe con mayor resistencia de este grupo. Se tendría que hacer pruebas en un adobe con un porcentaje mayor al 11% de materiales estabilizadores para conocer si la resistencia sigue incrementando o si empieza a descender. Lo más recomendable sería hacer en estas piezas la prueba de resistencia a flexión y la de absorción de agua, para conocer si se tiene la misma reacción que en la resistencia a compresión.								
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.								
Tipo de adobe	Medida	Peso de suelo seco (kg) + Peso de arena (kg)	Cáscara de arroz (kg)	Peso de cemento (kg)	Peso de cal (kg)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)
Estabilizado con 5% de cal, 5% de cemento y 5% de arena	Pieza cilíndrica	4.602 + 0.255	0.511	0.255	0.255	16.21	-	-
Estabilizado con 7% de cal, 7% de cemento y 7% de arena	Pieza cilíndrica	4.602 + 0.358	0.511	0.358	0.358	14.22	-	-
Estabilizado con 9% de cal, 9% de cemento y 9% de arena	Pieza cilíndrica	4.602 + 0.460	0.511	0.460	0.460	19.15	-	-
Estabilizado con 11% de cal, 11% de cemento y 11% de arena	Pieza cilíndrica	4.602 + 0.562	0.511	0.562	0.562	21.13	-	-
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado								
Estabilizado con 5% de cal, 5% de cemento y 5% de arena	Estabilizado con 7% de cal, 7% de cemento y 7% de arena		Estabilizado con 9% de cal, 9% de cemento y 9% de arena			Estabilizado con 11% de cal, 11% de cemento y 11% de arena		
Este adobe se toma como la base comparativa de los resultados de todos los demás adobes pertenecientes a esta sección, esto debido a que no se cuenta con la resistencia que tendría un adobe tradicional en las condiciones de ese estudio.	La resistencia a compresión fue menos a la del estabilizado con 5% de cal, cemento y arena.		En este adobe se tuvo un aumento de resistencia mayor tanto en el estabilizado con 7% de cal, cemento y arena, como en el estabilizado con 5% de cal cemento y arena. En este se pudo recuperar la resistencia perdida en el estabilizado con 7%.			Este fue el adobe con mayor resistencia a compresión dentro de este grupo, lo que nos deja como hipótesis que a mayor porcentaje de material estabilizador se tenga en el adobe, mayore será su resistencia.		
Conclusiones de piezas de adobe estabilizado con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.								
La cal, el cemento y la arena dieron buenos resultados para tener una mejora en la resistencia a compresión del adobe. A pesar de que en el estabilizado con 7% de cal, cemento y arena se tuvo una reducción en la resistencia, con respecto al estabilizado con 5% de cal, cemento ya rena, a partir del 9% de adición de material estabilizador se tuvo un aumento significativo en la resistencia lo que nos hace la idea de que, a mayor porcentaje de material estabilizador, mayor será la resistencia a compresión. Lo más recomendable sería hacer en estas piezas la prueba de resistencia a flexión y la de absorción de agua, para conocer si se tiene la misma reacción que en la resistencia a compresión.								
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado con 87.5% de arcilla y 12.55% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.								

Tipo de adobe	Medida	Peso de suelo seco (kg) + Peso de arena (kg)	Cáscara de arroz (kg)	Peso de cemento (kg)	Peso de cal (kg)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)
Estabilizado con 5% de cal, 5% de cemento y 5% de arena	Pieza cilíndrica	4.474 + 0.255	0.639	0.255	0.255	9.08	-	-
Estabilizado con 7% de cal, 7% de cemento y 7% de arena	Pieza cilíndrica	4.474 + 0.358	0.639	0.358	0.358	10.17	-	-
Estabilizado con 9% de cal, 9% de cemento y 9% de arena	Pieza cilíndrica	4.474 + 0.460	0.639	0.460	0.460	16.59	-	-
Estabilizado con 11% de cal, 11% de cemento y 11% de arena	Pieza cilíndrica	4.474 + 0.562	0.639	0.562	0.562	21.92	-	-
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado								
Estabilizado con 5% de cal, 5% de cemento y 5% de arena	Estabilizado con 7% de cal, 7% de cemento y 7% de arena		Estabilizado con 9% de cal, 9% de cemento y 9% de arena			Estabilizado con 11% de cal, 11% de cemento y 11% de arena		
Este adobe se toma como la base comparativa de los resultados de todos los demás adobes pertenecientes a esta sección, esto debido a que no se cuenta con la resistencia que tendría un adobe tradicional en las condiciones de ese estudio.	La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 5% de cal y cemento.		La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 7% de cal, cemento y arena, y este incremento fue mucho mayor al que ocurrió en el estabilizado con 7% de cal, cemento y arena con respecto al estabilizado con 5% de cal, cemento y arena.			Este fue el adobe con mayor resistencia a compresión dentro de este grupo, y tuvo un incremento muy similar al estabilizado con 9% de cal, cemento y arena, con respecto al estabilizado con 7% de cal, cemento y arena.%		
Conclusiones de piezas de adobe estabilizado con 87.5% de arcilla y 12.55% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.								
Estos materiales estabilizadores dieron buenos resultados para tener un aumento de resistencia a compresión en el adobe. Con los resultados obtenidos, podemos ver que se mantuvo la constante de que mientras mayor sea el porcentaje de adición de materiales estabilizadores en el adobe, mayor será su resistencia a compresión. Lo más recomendable sería hacer en estas piezas la prueba de resistencia a flexión y la de absorción de agua, para conocer si se tiene la misma reacción que en la resistencia a compresión.								
Conclusiones de generales								
De manera gradual y constante, podemos decir que el grupo con mejores resultados fue el de los adobes estabilizados con 87.5% de arcilla y 12.55% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena, ya que en este grupo fue constante el aumento de resistencia ,es decir, en ninguno de los adobes con distintos tipos de porcentajes de material estabilizador hubo una reducción en la resistencia, además de que en cada tipo de adobe hubo un aumento significativo de resistencia, mientras que en los otros grupos el aumento era mínimo en algunos tipos. A pesar de que en dicho grupo hubo grandes resultados, en general, el mejor resultado de entre todos los grupos fue el adobe estabilizado con 95% de arcilla y 5% de cáscara de arroz, 11% de cal, 11% de cemento y 11% arena.								
Con solo la prueba realizada de resistencia a compresión, podemos decir que la cal, junto con el cemento, la arena y la cáscara de arroz, en conjunto son buenos materiales estabilizadores para tener una mejora en el adobe, sin embargo, desconocemos como se comportarían las piezas ante una prueba de resistencia a flexión y una de absorción de agua.								

3.7. PET.

El PET es el plástico que probablemente mejor conocemos, esto debido a los usos que le damos hoy en día, lo encontramos de manera cotidiana en nuestra vida. El PET es un polímero de origen sintético, y como hemos visto los polímeros se obtienen mediante un proceso de polimerización, y en este caso se obtiene al polimerizar tereftálico y etilenglicol, dando como resultado el tereftalato de polietileno.



Ilustración 44. PET en botellas de plástico. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

Propiedades del PET.

Las propiedades más importantes para destacar de este material son las siguientes:

Propiedades químicas: Son altamente resistentes a la corrosión y al desgaste.

Propiedades físicas: Este tipo de plástico lo podemos encontrar como un material con transparencia y puede ser de distintos colores, son de baja densidad, y son materiales completamente impermeables y altamente maleables.

Propiedades mecánicas: Es un material altamente plástico y presenta una buena resistencia ante la ruptura, lo que lo hace dúctil y tenaz.

Usos del PET.

El PET es uno de los materiales plásticos que más ocupamos en nuestra vida cotidiana, algunos de los usos más comunes que le damos a este material son los siguientes:

- Envases y botellas de plástico.
- Películas fotográficas.
- Artículos para la fabricación de artículos de iluminación.
- Textiles.
- Fabricación de aparatos electrónicos.
- Fabricación de maquinaria.

Ventajas y desventajas del PET.

Como todo material, el PET tiene tanto sus ventajas como desventajas, de las cuales mencionaremos las siguientes:

Ventajas:

1. *Material accesible:* Al ser de los materiales más abundantes en la actualidad, lo podemos encontrar en todas partes, lo que lo hace bastante accesible.
2. *Bajo costo:* Al ser un material de uso común, su costo se mantiene accesible.
3. *Reciclable:* Una de las grandes ventajas que tiene el PET es que lo podemos reciclar de distintas formas, lo que hace que su impacto al medio ambiente sea menor.

Desventajas:

1. *Generador de basura:* Es muy común que la gente tire en la calle, en mar, en los paisajes, etc., este tipo de material, lo que hace que la cantidad de basura aumente.
2. *No es biodegradable:* En caso de que no se quiera reciclar el PET, queda como basura que tarda años en poder desaparecer, contribuyendo así a la contaminación ambiental.

3. *Temperatura*: Al estar expuesto a altas temperaturas, este puede llegar perder resistencia.

3.7.1. PET como estabilizador en el adobe.

La razón principal de emplear este material como un posible estabilizador es que pueda ser reutilizado, ayudando así a reducir, en manera de lo posible, el impacto ambiental.

La idea que se tiene al usar este material es agregarlo al adobe en forma de fibra, por lo cual este debería de actuar muy similar a la fibra vegetal, ya que al igual que en la vegetal, la fibra de PET tendría que actuar como una red interna en el adobe, lo que daría mayor resistencia al adobe, esto debido a que la porosidad se disminuye, lo cual crea una mayor compactación.

A diferencia de a fibra vegetal, se puede pensar que la fibra de PET “favorecerá” al adobe en la resistencia ante el agua, ya que la fibra vegetal llego a perjudicar dicha resistencia, esto debido a que la fibra absorbía mucha agua, mientras que el PET al ser un plástico no tendría esa capacidad de absorción y no afectaría al adobe.

A continuación, se mostrarán y analizaran dos estudios sobre adobes que han sido estabilizados con fibra de PET, esto con el objetivo de ver el comportamiento que presenta como material estabilizador.

3.7.2. Estudio n°1. Adobe estabilizado con fibra de PET.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación “*Influencia del plástico*”

reciclado en las propiedades físicas y mecánicas del adobe en el distrito de Santa – Ancash - 2018” de Guillermo Joel Aznáran Monzón.

Lo primero que se hizo fue determinar los porcentajes de fibra de PET que se le incorporarían a la mezcla, además de la cantidad de piezas a elaborar para las pruebas y las dimensiones de estas, las cuales fueron:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
30	Adobe tradicional.
30	Adobe con adición del 0.5% fibras de PET.
30	Adobe con adición del 1% fibras de PET.
30	Adobe con adición del 2% fibras de PET.

Tabla 72. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Influencia del plástico reciclado en las propiedades físicas y mecánicas del adobe en el distrito de Santa – Ancash - 2018”.*

De las 30 piezas para cada tipo de adobe, 18 son para la prueba de resistencia a compresión, 6 para la de resistencia a tracción y 6 para la de absorción de agua.

Para este estudio se usaron 3 tamaños para las piezas, los cuales fueron:

Tamaño 1 (para pruebas de resistencia a compresión): **10cm x 10cm x 10cm.**

Tamaño 2 (para pruebas de resistencia a tracción): Estas piezas fueron de forma cilíndrica, **altura de 12” (30.48cm) y con una base de 6” de diámetro (15.24cm).**

*Tamaño 3 (para pruebas de absorción de agua): Estas piezas fueron de forma cilíndrica con un **Ancho 15cm, largo 30cm y espesor 9cm.**

Obtención del material.

Suelo:

El suelo para este estudio se obtuvo de la cantera “La llave”, ubicada en el departamento de Ancash, distrito Santa, Perú.

Una vez que se extrajo el suelo requerido se le hizo un análisis para determinar si el suelo es apto para la elaboración de las piezas.

Los resultados del suelo fueron (Aznarán, 2018):

Contenido de humedad: 12.51%

Análisis granulométrico: 79.24% de arena y 20.76% de finos arcilla. Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 11.82%

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 26%*
- *Límite plástico: 12%*
- *Índice de plasticidad: 24%*

Tipo de suelo: Arena arcillosa (SC).

Fibra de PET:

Las fibras se obtuvieron de elementos de PET que se encontraban en un centro de reciclaje, y se cortaron en tiras de 8cm de largo con un ancho de 0.5cm. Las tiras se obtuvieron con la ayuda de una maquina especial para conseguir fibras de elementos de PET.

Elaboración de adobe con fibra de PET.

Una vez que se analiza el suelo y se congio el material fibroso que se decidido usar en este estudio, se precede a la elaboración de las piezas. El procedimiento es el siguiente:

Mezclado:

Lo primero que se hizo fue agregarle agua a la tierra, y se mezcla hasta obtener la consistencia deseada, similar a la del barro, y posteriormente se le agregan las fibras de PET y se vuelve a mezcla hasta que todos se incorpore lo mejor posible.

Encofrado y desencofrado:

Ya que se tiene lista la mezcla, esta se coloca en las adoberas, y de forma manual se le ejerce presión para obtener piezas lo más compacta posible. Y aunque no se especifica, es posible que a las adoberas se les haya aplicado un método para que la mezcla no se pegara al molde al momento de desencofrar. Una vez que se obtienen las piezas, se colocan en el sitio de secado,

Secado:

No se nos especifica como es el sitio en donde se llevará a cabo el secado, sin embargo, tendría a que ser una superficie plana, limpia y cubierta, y el tiempo de secado es de 28 días. En el caso de las piezas para la prueba de resistencia a compresión, algunas tendrán un tiempo de secado de 7 y 14 días.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con fibra de PET.

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para poder determinar la resistencia a compresión, tracción y la capacidad de absorción de agua.

Resistencia a la compresión:

Para esta prueba se tuvieron piezas con 7, 14 y 28 días de secado.

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
Adobe tradicional.	15.30	17.50	18.25

Adobe con adición del 0.5% fibras de PET.	15.45	17.83	18.60
Adobe con adición del 1% fibras de PET.	16.38	18.43	20.13
Adobe con adición del 2% fibras de PET.	15.75	17.95	18.88

Tabla 73. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Influencia del plástico reciclado en las propiedades físicas y mecánicas del adobe en el distrito de Santa – Ancash - 2018”.*

Resistencia a la tracción:

Para esta prueba todas las piezas tuvieron 28 días de secado.

TIPO DE ADOBE	MÓDULO DE RUPTURA(Kg/cm²)
Adobe tradicional.	1.01
Adobe con adición del 0.5% fibras de PET.	1.25
Adobe con adición del 1% fibras de PET.	1.82
Adobe con adición del 2% fibras de PET.	1.63

Tabla 74. Resistencia a flexión. *Tabla tomada del trabajo “Influencia del plástico reciclado en las propiedades físicas y mecánicas del adobe en el distrito de Santa – Ancash - 2018”.*

Absorción de agua:

Para esta prueba todas las piezas tuvieron 28 días de secado.

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional.	16.56
Adobe con adición del 0.5% fibras de PET.	18.92
Adobe con adición del 1% fibras de PET.	19.88
Adobe con adición del 2% fibras de PET.	18.30

Tabla 75. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Influencia del plástico reciclado en las propiedades físicas y mecánicas del adobe en el distrito de Santa – Ancash - 2018”.*

Conclusiones.

Como podemos ver, la fibra de PET tuvo buenos resultados en 2 de los 3 aspectos analizados.

En la prueba de resistencia a compresión, se analizaron las ideas con distintos tiempos de secado, de 7, 14 y 28 días. En los tres tiempos de secado se pudo ver que la resistencia a compresión del adobe estabilizado con fibra de PET aumenta con respecto a la del adobe tradicional. De los tres tiempos de secado, los mejores resultados se dieron en las piezas con 28 días, esto debido a que, con un mayor tiempo de secado, mayor fortaleza adquirirá la pieza, ya que para este punto el agua de la mezcla ya fue eliminada.

El mejor resultado, para la resistencia a compresión, se dio en el adobe estabilizado con adición de 1% de fibra de PET con 28 días de secado, ya que este tuvo un aumento del 10% con respecto al adobe tradicional. Es importante mencionar que a partir del 1% de adición de fibra de PET, la resistencia empieza disminuir.

En la prueba de resistencia a tracción, todos los adobes estabilizados tuvieron una resistencia mayor a la de adobe tradicional, y a diferencia de la prueba a compresión, todas las piezas tuvieron un tiempo de secado de 28 días. El mejor

resultado se dio en el adobe estabilizado con adición de 1% de fibra de PET, ya que este tuvo un aumento del 80% con respecto al adobe tradicional. Y al igual que ocurrió en la prueba a compresión, a partir del 1% de adición de fibra de PET, la resistencia empieza disminuir.

Y en la prueba de absorción de agua, la fibra de PET resultó ser no favorable, ya que los adobes estabilizados tuvieron un aumento de absorción de agua, lo cual no es bueno para el adobe, y que esto reduce su resistencia al enfrentarse al agua. Y al igual que en las pruebas de compresión y tracción, a partir del 1% de adición de fibra de PET, la absorción disminuye, y a diferencia de las otras pruebas, esto se presentaría como algo bueno, sin embargo, el porcentaje sigue siendo mayor a la del adobe tradicional.

La fibra de PET resulta ser un buen material estabilizador para los aspectos de resistencia a compresión y tracción, lo más recomendable es que en caso de querer utilizar este tipo de estabilizador, este se acompañe con otro material que sirva como un impermeabilizante, esto para reducir la absorción de agua que el PET no puede contrarrestar.

3.7.3. Estudio n°2. Adobe estabilizado con fibra de PET.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación *“Effect of recycled PET fibers inclusion on the shrinkage of adobe bricks”*.

Lo primero que se hizo fue determinar las mezclas que se elaborarían para las pruebas, es decir, se decidieron los porcentajes de fibra de PET y las dimensiones de las piezas:

TIPO DE ADOBES
Adobe tradicional con suelo 1.
Adobe con suelo 1, con adición del 0.5% fibras de PET.
Adobe tradicional con suelo 2.
Adobe con suelo 2, con adición del 0.25% fibras de PET.
Adobe con suelo 2, con adición del 0.5% fibras de PET.

Tabla 76. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo "Effect of recycled PET fibers inclusion on the shrinkage of adobe bricks".*

Para este estudio se usaron 2 tamaños para las piezas, los cuales fueron:

Tamaño 1 (para pruebas de contracción): **Ancho 5cm, largo 30cm y espesor 5cm.**

Tamaño 2 (para pruebas de resistencia a compresión): **10cm x 10cm x 10xcm.**

Obtención del material.

Suelo:

El suelo para este estudio se obtuvo en el Parque Nacional de Tijuca, en la ciudad de Rio de Janeiro. Y se extrajeron dos tipos de suelos que se utilizaron para la elaboración de las piezas de adobe.

Una vez que se extrajeron los 2 suelos requeridos, se les hizo un análisis para determinar si eran aptos para la elaboración de las piezas.

Los resultados del suelo fueron (Aznarán, 2019):

1. Suelo 1:

Contenido de humedad: 4.58%

*Análisis granulométrico: 66.50% de arena, 13.50% de limos y 20% de finos arcilla.
Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 11.82%*

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 36.29%*
- *Límite plástico: 21.29%*
- *Índice de plasticidad: 15%*

Tipo de suelo: Arena arcillosa (SC).

2. Suelo 2:

Contenido de humedad: 7.67%

*Análisis granulométrico: 57.50% de arena, 12.50% de limos y 30% de finos arcilla.
Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 11.82%*

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 42.06%*
- *Límite plástico: 23.21%*
- *Índice de plasticidad: 18.85%*
- *Tipo de suelo: Arena arcillosa (SC).*

Fibra de PET:

Para este estudio las fibras se obtuvieron de una empresa que distribuye fibras de PET, llamada M&G Fibras Brasil S.A. Las fibras utilizadas tienen una longitud de 3.2cm, aproximadamente, con un grosor de 0.014mm de diámetro. El tipo de fibras utilizadas son filamentos que se extraen de elementos de PET que son destinados al reciclaje.

Elaboración de adobe con fibra de PET.

Una vez que se analiza el suelo y se congio el material fibroso que se decidido usar en este estudio, se precede a la elaboración de las piezas. El procedimiento es el siguiente:

Mezclado:

Ya que se tiene el suelo listo, se le incorpora agua y se mezcla hasta que se obtenga la consistencia plástica deseada, posteriormente se le agregan las fibras de PET y se vuelve a revólver la mezcla, hasta que todo se incorporé bien.

Encofrado y desencofrado:

Con la mezcla ya lista, se procede a colocarla en el molde para formar las piezas de adobe. La adobera en este caso se fabricó de madera, y al colocar la mezcla en esta, se le ejerce presión para que la pieza salga lo más compactada posible. Cada que se colca mezcla en la adobera, esta se remoja en agua, esto para evitar que la mezcla se pegue y para que la madera no absorba el agua de la mezcla. Una vez que se desencofran las piezas, estas se colocan en el sitio de secado.

Secado:

Este proceso se llevó a cabo en un laboratorio, en donde las piezas estuvieron a una temperatura ambiente y estuvieron en una superficie plana y limpia. El tiempo de secado fue de 23 días.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con fibra de PET.

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para poder determinar la contracción de las piezas y la resistencia compresión.

Contracción:

Para esta prueba se tuvieron piezas con 7 y 23 días de secado.

TIPO DE ADOBE	Tiempo de secado	
	7 días (%)	23 días (%)
Adobe tradicional con suelo 1.	3.73	4.62
Adobe con suelo 1, con adición del 0.5% fibras de PET.	3.72	4.53
Adobe tradicional con suelo 2.	4.88	5.25
Adobe con suelo 2, con adición del 0.25% fibras de PET.	3.31	3.57
Adobe con suelo 2, con adición del 0.5% fibras de PET.	3.32	4.37

Tabla 77. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo "Effect of recycled PET fibers inclusion on the shrinkage of adobe bricks".*

Resistencia a la compresión:

Para esta prueba todas las piezas tuvieron 23 días de secado, y los resultados en el estudio se tiene en Megapascuales (MPa), por lo que se ha hecho una conversión para tener resultados en kg/cm². Es importante resaltar que los resultados en MPa son un aproximado, ya que el estudio no da los datos exactos, si no que sólo se marcan en un grafica.

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(MPa)	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional con suelo 1.	1.20	12.24
Adobe con suelo 1, con adición del 0.5% fibras de PET.	1.22	12.44
Adobe tradicional con suelo 2.	1.53	15.60

Adobe con suelo 2, con adición del 0.25% fibras de PET.	1.70	17.33
Adobe con suelo 2, con adición del 0.5% fibras de PET.	1.81	18.46

Tabla 78. Resistencia a flexión. *Tabla tomada del trabajo "Effect of recycled PET fibers inclusion on the shrinkage of adobe bricks".*

Conclusiones.

Con los resultados obtenidos en esta prueba, podemos ver que la fibra de PET resulta ser un estabilizador que beneficia al adobe en las dos pruebas realizadas.

En la prueba de contracción, el PET ayudo a reducir la contracción de las piezas, ya que tanto en las mezclas con PET con suelo 1 y las de PET con suelo 2, los resultados fueron menores con respecto a su adobe tradicional correspondiente.

Para esta prueba de contracción, el mejor resultado se tuvo en el adobe con suelo 2, con adición del 0.25% de fibra de PET, ya que este tuvo una reducción del 32% con respecto al adobe tradicional, sin embargo, al tener un porcentaje mayor de 1.25%, la contracción comienza a aumentar, pero se sigue mantenido por debajo a la del adobe tradicional. Es importante mencionar que a los 7 días los resultados son menores, lo cual es bueno, pero hay que recordar que no tienen el tiempo de secado suficiente, por lo que no sería conveniente hacer usos de piezas con ese corto tiempo de secado.

Y en la prueba de resistencia a compresión, de igual manera, la fibra de PET favoreció al adobe, ya que tanto las mezclas del suelo tanto en las mezclas con PET con suelo 1 y las de PET con suelo 2, los resultados fueron mayores con respecto a su adobe tradicional correspondiente. El mejor resultado se tuvo en el adobe con suelo 2, con adición del 0.5% fibras de PET, ya que este tuvo un aumento del 18%

con respecto a su adobe tradicional. Como podemos ver, mientras más porcentaje de fibra de PET tenga la mezcla, mayor será su resistencia a compresión

Como se puede ver, los mejores resultados se obtuvieron en las mezclas elaboradas con el suelo 2, ya que este tiene un mayor porcentaje de arcilla en su composición.

3.7.4. Conclusiones generales sobre los estudios de PET.

Como podemos ver en los dos estudios analizados, la adición de PET mejoró de gran manera la resistencia a distintas fuerzas en el adobe. Tanto a compresión como a flexión, la fibra de PET ayudó a que la resistencia aumentara con respecto a la de un adobe tradicional.

Es importante mencionar que ambos estudios tuvieron fibras de PET distintas, ya que, en el estudio n°1, la fibra consta en cortar en tiras botellas, recipientes, etc., de PET reciclado, mientras que, en el estudio n°2, es una fibra de PET más fina y que se consigne en un lugar especializado en este tipo de fibras. Sin embargo, ambas fibras fueron benéficas para el adobe, en ninguno de los casos hubo una reducción de resistencia a compresión.



Ilustración 45. a) Fibra de PET del estudio 1, b) Fibra de PET del estudio 2. *Imágenes tomadas de cada estudio correspondiente para fines académicos.*

Los mejores resultados se fueron en el estudio n°2. Adobe estabilizado con fibra de PET, ya que en este la fibra tuvo un mayor aumento en la resistencia a compresión, sin embargo, en el estudio n°1. Adobe estabilizado con fibra de PET, se tuvo un mayor análisis, ya que no solo se analizó la resistencia a compresión, sino que también a flexión y la capacidad de absorción de agua.

La desventaja que se presenta al usar este material como estabilizador, es que no ayuda a que el adobe reduzca su absorción de agua, es decir, no cubre la parte en donde la resistencia ante el agua aumente. Sería importante hacer pruebas con el tipo de fibra del estudio n°2, para tener un esquema más completo.

A pesar de la desventaja ya mencionada, no podemos dejar de considerar a la fibra de PET como un posible material estabilizador para el adobe, ya que resulta benéfico para la resistencia de compresión y flexión, lo que se recomienda para cubrir todos los puntos débiles del adobe, es añadir a la mezcla de adobe con adición de fibra de PET, otro material que cumpla como un impermeabilizante.

COMPARACIÓN DE ADOBES ESTABILIZADOS CON PET

ESTUDIO n° 1 Adobe estabilizado con fibra de PET

Propiedades del suelo

Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite liquido	Limite plástico	Índice de plasticidad	Tipo de suelo
12.51%	79.24% arena y 20.76% finos arcilla	26%	12%	24%	Arena arcillosa (SC)

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado

Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso suelo seco	Peso de fibra de PET	Compresión (Kg/cm²) Piezas de 10x10x10	Tracción (Kg/cm²) Piezas cilíndricas	Absorción de agua (%) Piezas de 30x15x9	Deterioro
Adobe tradicional	10 x 10 x 10 30.48 x 15.24 (cilindro) 30 x 15 x 9	30	-	-	18.25	1.01	16.56	Moderada/Severa
Estabilizado con 0.5% de fibra de PET	10 x 10 x 10 30.48 x 15.24 (cilindro) 30 x 15 x 9	30	-	-	18.60	1.25	18.92	Severa
Estabilizado con 1% de fibra de PET	10 x 10 x 10 30.48 x 15.24 (cilindro) 30 x 15 x 9	30	-	-	20.13	1.82	19.88	Severa
Estabilizado con 2% de fibra de PET	10 x 10 x 10 30.48 x 15.24 (cilindro) 30 x 15 x 9	30	-	-	18.88	1.63	18.30	Severa

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 0.5% de fibra de PET	Estabilizado con 1% de fibra de PET	Estabilizado con 2% de fibra de PET
La resistencia a compresión y a flexión fueron ligeramente superiores a las del adobe tradicional, lo cual hace que la pieza una mejora, aunque se aligera. Yen la prueba de absorción de agua, la capacidad de absorción fue superior a la del tradicional, lo que afecta a las piezas y las llega a debilitar.	La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 0.5% de fibra de PET, y tuvo una mejora que fue superior a la que se tuvo en el estabilizado con 0.5% con respecto al adobe tradicional, y la resistencia a flexión también fue superior al del estabilizado con 0.5%, sin embargo, el aumento de esta no fue tan superior como en la resistencia a compresión. Desafortunadamente, la capacidad de absorción de agua también aumento, lo que afecta a las piezas en su resistencia.	En la resistencia compresión y a flexión hubo una reducción con respecto a las obtenidas en el estabilizado con 1% de fibra de PET, sin embargo, estas resistencias siguen siendo superiores a las del adobe tradicional y al estabilizado con 0.5% de fibra de PET. Y en la prueba de absorción también hubo una reducción de porcentaje de capacidad de absorción, lo cual se presenta como un beneficio, sin embargo, no es menor a la del adobe tradicional.

Conclusiones generales

La fibra de PET ayudó a mejorar la resistencia a compresión y a flexión, sin embargo, es importante hacer notar que al tener un porcentaje de adición de fibra de PET en el adobe mayor a 1%, la resistencia, tanto a compresión como a flexión, empieza a disminuir, aunque sigue siendo superior a las obtenidas en el adobe tradicional. En cuanto a la prueba de absorción de agua, la fibra perjudicó al adobe, ya que, en todos los casos de adobes estabilizados, tuvieron una mayor capacidad de absorción de agua, lo cual deterioraría más rápido a las piezas. Con los resultados presentados, podemos decir que la fibra de PET sí puede llegar a ser utilizada como un estabilizador óptimo para el adobe, sin embargo, estas fibras deberían de ir acompañadas con un material que mejore la capacidad de absorción de las piezas.

ESTUDIO n° 2 Adobe estabilizado con viruta de madera de Eucalipto

Propiedades del suelo

Cantidad de humedad Suelo 1 / Suelo 2	Análisis granulométrico Suelo 1 / Suelo 2	Límite líquido Suelo 1 / Suelo 2	Límite plástico Suelo 1 / Suelo 2	Índice de plasticidad Suelo 1 / Suelo 2	Tipo de suelo Suelo 1 / Suelo 2
4.58% // 7.67%	66.50% arena, 13.50% limos y 20% finos arcilla. 57.50% arena, 12.50% limos y 30% finos arcilla.	36.29% // 42.06%	21.29% // 23.21%	15% // 18.85%	Arena arcillosa (SC) // Arena arcillosa (SC)

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado

[illegible]

3.8. Cemento Portland.

El cemento, como sabemos, es el material más utilizado hoy en día en el campo de la construcción, ya que es un material sencillo de conseguir y que, tanto para el constructor como para el cliente, da la sensación de seguridad, lo podemos clasificar dentro de los materiales de tipo cerámico.

El cemento es un material conglomerante que de forma física lo encontramos como un polvo fino de color grisáceo, este tipo de materiales tienen la capacidad de dar adherencia y cohesión a elementos de una mezcla. En el caso del cemento, a este se le clasifica como un conglomerante hidráulico, esto se debe a que este tipo de conglomerantes tienden a reaccionar con el agua, lo que genera una masa que posteriormente se fragua y se endurece (Chinchón & Sanjuán, s.f.).

El cemento es una mezcla de varios componentes, los cuales son (Chinchón & Sanjuán, s.f.):

Clinker: Este es el componente principal del cemento, y se trata de una mezcla homogénea de elementos que pasan por un proceso de calcinación, estos elementos son la caliza, arcilla, arena y compuestos de hierro.

Escoria granulada de horno alto: La escoria es la impureza que se genera de la fusión de mena en un horno alto. La escoria granulada se obtiene a partir del enfriamiento rápido de la misma.

Puzolanas: Es un material que se compone de sustancias que tienen una composición de silíceas o de sílico-aluminosa, o una composición de ambas. Se le incorpora al cemento como un material molido de manera fina.

Cenizas volantes: Es el residuo de los polvos que acompañan a los flujos gaseosos de los hornos alimentados con carbón pulverizado.

Esquisto calcinado: El esquisto es un tipo de roca que se caracteriza por tener la propiedad de poder ser fragmentada en laminas. Para el cemento se utiliza esquisto sedimentario el cual se asar por la calcinación para obtener un producto molido.

Humo de sílice: Este es un polvo que se obtiene de la reducción de cuarzo con carbono.



Ilustración 46. Mezcla de cemento. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

Propiedades del cemento.

Las propiedades generales del cemento son:

Propiedades químicas: Es un material que no sufre de oxidación y presenta una alta resistencia ante los ataques químicos.

Propiedades físicas: Su densidad tiene un valor de 3.15gr/cm^3 , no presenta porosidad debido a su alta finura. Gracias a su falta de porosidad, este se convierte en un material con poca absorción de agua, dando como consecuencia una baja permeabilidad, además de que, una vez obtenida la masa de cemento, lo que ocurre al incorporarle agua, se vuelve un material con alta maleabilidad.

Propiedades mecánicas: Previo a su fraguado, se comporta como un material plástico, tiene un índice alto de ductilidad y tenacidad, esto se debe a su baja porosidad, lo que lo hace un material mucho más resistente ante la rotura y la fuerza de compresión.

Tipos y usos del cemento

Dentro de la categoría del cemento Portland se tienen varios tipos, estos presentan las mismas propiedades y objetivos bases, la diferencia entre cada uno es que tienen una característica que resalta sobre las otras. Los tipos son:

1. *Cemento Tipo I*: Este es el cemento de uso general, utilizado cuando no se tiene especificado el tipo de cemento, es decir que no exigen que se tengan propiedades especiales y específicas.

2. *Cemento Tipo II*: Tiene la capacidad de dar una moderada resistencia al sulfato y al calor de hidratación.

3. *Cemento Tipo III*: Desarrolla altas resistencias iniciales, es decir, ofrece una alta resistencia en una edad temprana. Este se usa cuando la estructura será puesta en servicio rápidamente o cuando se requiere un desencofrado temprano.

4. *Cemento Tipo IV*: Este se usa para minimizar la cantidad de calor generado por la hidratación.

5. *Cemento Tipo V*: Tiene la capacidad de generar una alta resistencia ante el sulfato.

El tipo de cemento que se decide usar en ciertos proyectos depende de la situación y los factores a los que este estará expuesto durante su vida de utilidad.

Este material tiene varios usos, no solo en el ambiente de las estructuras, algunos de ellos son:

- Morteros.
- Acabados.
- Afinados de piso.
- Concreto armado, que es empleado para losas, castillos y columnas, cimentaciones, etc.
- Elementos de decoración (macetas, estatuas, etc.).

Ventajas y desventajas del cemento.

El cemento Portland realmente tiene pocas desventajas, pues es un material muy noble que da solución a varios problemas comunes dentro de la construcción.

Ventajas:

1. *Material accesible*: Es un material tan común y de uso normal en cualquier parte del mundo, que su obtención no se ve restringida por ningún factor.
2. *Material versátil*: Su utilización es muy simple y de fácil manipulación.
3. *Bajo costo*: Al ser un material “común”, este es muy accesible en el aspecto económico.
4. *Material conglomerante*: Gracias a esta propiedad, aporta índices altos de cohesión y adherencia a la mezcla en donde es añadido, lo que provoca a que el resultado final sea un material bastante resistente.
5. *Resistencia a compresión y al agua*: Lo que lo hace un material de larga duración.
6. *Fácil mantenimiento*: No requiere de un mantenimiento especial.

Desventajas:

1. *Almacenamiento*: Su almacenamiento debe estar lejos de sitio con alta humedad, pues en caso de estar en un ambiente de este tipo, se puede dar un “fraguado”, haciendo al material inservible.
2. *Formas complejas*: Las formas complejas son difíciles de conseguir con este material.

3.8.1. El cemento como estabilizador en el adobe.

Gracias a las propiedades antes mencionadas del cemento, y en base a trabajos y pruebas hechas por otros autores con respecto al adobe estabilizado con cemento, podemos decir que el cemento al ser un material que tiene como principal función ser un conglomerante, la reacción que provoca al estar en mezcla con el suelo y al

momento de incorporar el agua, es que se crea una matriz pétreo que lo que hará es rellenar los poros del adobe, dando como resultado a un material más resistente ante la fuerza de compresión y de tracción. Además, al llenar los poros, y gracias a la propiedad que tiene el cemento de su poca absorción de agua, la permeabilidad del adobe disminuye considerablemente, todas estas mejoras hacen que el adobe tenga una mayor fuerza y durabilidad con respecto a un adobe tradicional.

3.8.2. Estudio n°1. Adobe comprimido estabilizado con cemento y fibra de coco.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación *“Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento Portland tipo I al 6% y reforzado con fibra de coco para muros de carga en Tampico”* de Rubén Salvador Roux Gutiérrez.

En este estudio se compararon piezas elaboradas con distintas máquinas para comprimir, unas elaboradas con prensa manual y otras con prensa hidráulica. Para poder comenzar el proceso de elaboración de los adobes lo primero que se hizo fue determinar los tipos de adobes que se realizaran, junto con la cantidad de piezas a elaborar para llevar cabo las prueba, los cuales fueron:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
25	Adobe con prensa manual con adición del 6% de cemento.
25	Adobe con prensa hidráulica con adición del 6% de cemento.

25	Adobe con prensa manual con adición del 6% de cemento y 0.50% fibra de coco.
25	Adobe con prensa hidráulica con adición del 6% de cemento y 0.50% fibra de coco.
25	Adobe con prensa manual con adición del 6% de cemento y 1% fibra de coco.
25	Adobe con prensa hidráulica con adición del 6% de cemento y 1% fibra de coco.
25	Adobe con prensa manual con adición del 6% de cemento y 1.50% fibra de coco.
25	Adobe con prensa hidráulica con adición del 6% de cemento y 1.50% fibra de coco.
25	Adobe con prensa manual con adición del 6% de cemento y 2% fibra de coco.
25	Adobe con prensa hidráulica con adición del 6% de cemento y 2% fibra de coco.

Tabla 79. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento Portland tipo I al 6% y reforzado con fibra de coco para muros de carga en Tampico”.*

Para cada tipo se elaboraron 25 piezas, de las cuales 5 son para la prueba de absorción de agua, 10 para la de resistencia a compresión y 10 para la resistencia a flexión.

Las dimensiones de las piezas de adobe fueron: **Ancho 14cm, largo 29cm y espesor 10cm.**

Obtención del material.

Suelo:

El estudio no nos especifica en que zona se obtuvo el suelo a usar, por otros estudios podemos creer que se extrajo de una cantera en donde se ha trabajado ya el adobe.

Los resultados del suelo fueron (Roux, 2002):

Contenido de humedad: Se desconoce.

Análisis granulométrico: Se desconoce.

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 32%*
- *Límite plástico: 30%*
- *Índice de plasticidad: 12%*

Tipo de suelo: Arena de baja plasticidad (CL).

Fibra de coco.

Estas fibras obtienen de la cáscara de coco, y una vez que se tiene se procede a desmenuzar finamente para obtener dichas fibras.

Cemento.

El cemento utilizado fue de Tipo 1, es decir, es el de uso general, y en este caso fue de la marca CEMEX.

Elaboración de adobe con cemento y fibra de coco.

Una vez que se determinó que el suelo es apto para la elaboración de los adobes, se llevó a cabo el siguiente proceso para su fabricación:

Mezclado:

Ya con el suelo listo lo primero que se hace es agregarle en seco el cemento, y se mezcla hasta que quede homogénea, ya que se tiene esa mezcla, se procede a agregarle agua y se bate hasta obtener una mezcla de consistencia pastosa. Una

vez que se tiene lista, se incorpora la fibra de coco y se vuelve a mezclar hasta que quede lo más integrada posible.

Prensado:

Ya con la mezcla lista, se procede a formar las piezas de adobe. Al ser piezas que se elaborara por medio del prensado, lo que se hace es colocar mezcla en el respectivo molde de cada tipo de máquina, y posteriormente se prensa la mezcla según el tipo de máquina. Ya listas las piezas se colocan en el sitio de secado.

Secado:

Las piezas se colocan en una superficie limpia, plana y cubierta. El estudio no especifica el tipo de secado en que se dejaron las piezas, pero basándonos en estudios anterior, se pude determinar que el proceso fue de aproximadamente de 3 semanas.

Pruebas y resultados en adobes con cemento y fibra de coco.

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para poder determinar la resistencia a compresión, a flexión y la capacidad de absorción de agua.

Los resultados en el estudio se dan en MPa, por lo que se hizo la conversión para tener el calor en Kg/cm².

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA			
	Prensa manual		Prensa hidráulica	
	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²
Adobe comprimido con adición del 6% de cemento.	2.17	22.18	5.15	52.51

Adobe comprimido con adición del 6% de cemento y 0.50% fibra de coco.	2.66	27.12	5.23	53.33
Adobe comprimido con adición del 6% de cemento y 1% fibra de coco.	2.06	21.01	5.64	57.51
Adobe comprimido con adición del 6% de cemento y 1.50% fibra de coco.	1.59	16.21	3.94	40.18
Adobe comprimido con adición del 6% de cemento y 2% fibra de coco.	2.06	20.01	6.31	64.34

Tabla 80. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento Portland tipo I al 6% y reforzado con fibra de coco para muros de carga en Tampico”.*

Resistencia a la flexión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA			
	Prensa manual		Prensa hidráulica	
	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²
Adobe comprimido con adición del 6% de cemento.	0.86	8.77	2.61	26.61
Adobe comprimido con adición del 6% de cemento y 0.50% fibra de coco.	1.43	14.58	2.03	20.70
Adobe comprimido con adición del 6% de cemento y 1% fibra de coco.	1.11	11.32	2.68	27.33
Adobe comprimido con adición del 6% de cemento y 1.50% fibra de coco.	1.07	10.91	2.78	28.35

Adobe comprimido con adición del 6% de cemento y 2% fibra de coco.	1.14	11.62	2.97	30.28
--	------	-------	------	-------

Tabla 81. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento Portland tipo I al 6% y reforzado con fibra de coco para muros de carga en Tampico”.*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)	
	Prensa manual	Prensa hidráulica
Adobe comprimido con adición del 6% de cemento.	10.34	7.71
Adobe comprimido con adición del 6% de cemento y 0.50% fibra de coco.	14.71	6.08
Adobe comprimido con adición del 6% de cemento y 1% fibra de coco.	12.37	9.91
Adobe comprimido con adición del 6% de cemento y 1.50% fibra de coco.	9.73	10.12
Adobe comprimido con adición del 6% de cemento y 2% fibra de coco.	10.54	10.54

Tabla 82. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento Portland tipo I al 6% y reforzado con fibra de coco para muros de carga en Tampico”.*

Conclusiones.

A pesar de que no se tiene una comparativa de un adobe tradicional con respecto a todos los adobes probados para este estudio, con base en estudios anteriores que se han analizado, podemos suponer que los resultados son superiores a los que tendría un adobe tradicional, ya que un adobe comprimido suele tener mayor resistencia, además de que sabemos que el cemento como estabilizador es beneficioso.

En la prueba de resistencia a compresión el mejor resultado se dio en el adobe elaborado con prensa hidráulica estabilizado con 6% de cemento y 2% de fibra de coco, teniendo un incremento del 22% con respecto al adobe in fibra de coco. Sin embargo, es importante mencionar que no necesariamente esto signifique que mientras más cantidad de fibra de coco tenga la mezcla, mayor será la resistencia a compresión, ya que en esta prueba la resistencia iba en aumento al tener más porcentaje de fibra de coco, pero al llegar al 1.5% de fibra, la resistencia tuvo una reducción del 31% con respecto a la del 1% de fibra y siendo menos resistente al adobe sin fibra de coco, y al llegar al 2% la resistencia volvió a incrementar.

En la prueba de resistencia a flexión el mejor resultado se dio en el adobe elaborado con prensa hidráulica estabilizado con 6% de cemento y 2% de fibra de coco, teniendo un incremento del 13% con respecto al adobe sin fibra de coco. Y a diferencia de la prueba a compresión, en la prueba a flexión el aumento de resistencia fue contante al ir incrementando el porcentaje de fibra de coco.

Y en la prueba de absorción de agua el mejor resultado se presentó en el adobe elaborado con prensa hidráulica estabilizado con 6% de cemento y 0.50% de fibra de coco. Los resultados marcan que a mayor porcentaje de fibra de coco tenga la mezcla, mayor será su porcentaje de adsorción de agua, sin embargo, ni uno de los adobes probados rebasa el 20% de absorción, el cual es el límite de lo permitido para la absorción.

Se puede ver que los mejores resultados se presentaron en las piezas elaboradas con prensa hidráulica, y a pesar de que el de 2% de fibra presento mejores

resultados, podemos concluir que el más estable es el adobe elaborado con prensa hidráulica estabilizado con 6% de cemento y 1% de fibra de coco, ya que queda la posibilidad de que, al incorporar más porcentaje de fibra, la resistencia a compresión se reduzca y la absorción de agua aumente. Una alternativa para corregir eso, es el aumentar el porcentaje de cemento en la mezcla.

3.8.3. Estudio n°2. Adobe estabilizado con cemento.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación *“Evaluación del comportamiento a compresión de las unidades de adobe convencional frente a las unidades de adobe estabilizado con cemento y asfalto, Caraz 2019”* de Orlandini Edwin Salvador Cano.

Para comenzar el proceso de elaboración y las pruebas sobre los adobes, lo primero que se hizo fue establecer los distintos porcentajes de cemento que se tendrían y la cantidad de piezas a elaborar, los cuales fueron:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
12	Adobe tradicional.
12	Adobe con adición del 3% de cemento.
12	Adobe con adición del 6% de cemento.
12	Adobe con adición del 9% de cemento.

Tabla 83. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Evaluación del comportamiento a compresión de las unidades de adobe convencional frente a las unidades de adobe estabilizado con cemento y asfalto, Caraz 2019”.*

Para cada tipo se elaboraron 12 piezas, de las cuales 9 son para la prueba de resistencia a compresión y 3 para la de absorción de agua.

Las 9 piezas para la prueba de resistencia a compresión se dividieron en 3, en donde 3 tuvieron un tiempo de secado de 7 días, otras 3 de 21 días y otras 3 de 28 días.

Las dimensiones de las piezas de adobe no se especifican en el estudio.

Obtención del material.

Suelo:

El suelo utilizado para este estudio se obtuvo de un campo especializado en la elaboración de materiales de tierra, ubicado en la ciudad de Caraz en el distrito de Cochamarca, Perú.

Los resultados del suelo fueron (Salvador, 2019):

Contenido de humedad: 7.8%.

Análisis granulométrico: Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 48.8%

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 24%*
- *Límite plástico: 20%*
- *Índice de plasticidad: 4%*

Tipo de suelo: Arena limo arcillosa (SC-SM).

Paja.

La paja se obtuvo del mismo sitio de donde se extrajo el suelo.

Cemento.

Es probable que el cemento utilizado haya sido el de Tipo 1, el cual es el de uso general.

Elaboración de adobe con cemento.

Una vez que se determinó que el suelo es apto para la elaboración de los adobes, se llevó a cabo el siguiente proceso para su fabricación:

Mezclado:

Para comenzar la mezcla, lo primero que se hace es que, en seco, se le agrega al suelo el cemento, y se mezcla hasta que todo quede homogéneo. Una vez que se tiene listo el suelo con cemento, se procede a agregarle el agua y la paja, y se mezcla hasta obtener una consistencia de barro en donde todo se integre lo mejor posible.

Para el adobe con 3% de cemento se agregaron 600gr de cemento, para el de 6% se agregaron 1200gr y para el de 9% se agregaron 1800gr.

Encofrado y desencofrado:

Ya que se tiene lista la mezcla, se procede a colocarla en la adobera de madera para poder formar las piezas de adobe, es importante espolvorear el molde de arena cada que se le coloque mezcla, esto para evitar que se quede pegada a él. Se coloca la mezcla y se comprime con las manos lo mejor que se pueda, y posteriormente se desencofra y se coloca en el sitio de secado.

Secado:

Las piezas se colocan en una superficie limpia, plana y cubierta. No todas las piezas tuvieron el mismo tiempo de secado, ya que para la prueba a compresión se analizarían no sólo los porcentajes de cemento, sino también el tiempo de secado, por lo que algunas piezas tuvieron un tiempo de 7 días, otras de 21 días y otros 28 días.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con cemento.

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para poder determinar la resistencia a compresión y la capacidad de absorción de agua.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA (Kg/cm ²)		
	7 días	21 días	28 días
Adobe tradicional	7.42	9.15	11.37
Adobe con adición del 3% de cemento.	7.86	9.91	11.56
Adobe con adición del 6% de cemento.	8.48	10.47	12.56
Adobe con adición del 9% de cemento.	9.33	10.97	13.80

Tabla. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Evaluación del comportamiento a compresión de las unidades de adobe convencional frente a las unidades de adobe estabilizado con cemento y asfalto, Caraz 2019”.*

Absorción de agua:

Para esta prueba todas las piezas tuvieron 28 días de secado.

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional	No resistió
Adobe con adición del 3% de cemento.	No resistió
Adobe con adición del 6% de cemento.	13.13
Adobe con adición del 9% de cemento.	10.25

Tabla 84. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Evaluación del comportamiento a compresión de las unidades de adobe convencional frente a las unidades de adobe estabilizado con cemento y asfalto, Caraz 2019”.*

Conclusiones.

La adición de cemento resultó benéfica en los dos aspectos analizados.

En la prueba de resistencia a compresión se analizaron piezas con distintos tiempos de secado. En los tres tiempos, y sin importar el porcentaje de adición de cemento, se puede ver que la resistencia a compresión de los adobes estabilizados fue mayor con respecto a la del adobe tradicional. Los mejores resultados se dieron en los adobes con mayor tiempo de secado, es decir, con 28 días. Y dentro de los resultados obtenidos en el tiempo de 28 días, el mejor resultado se tuvo en el adobe estabilizado con adición del 9% de cemento, ya que tuvo un aumento del 21% con respecto al adobe tradicional. Como se puede ver, mientras más adición de porcentaje de cemento tenga la mezcla, la resistencia a compresión ira aumentado.

Y en la prueba de absorción de agua sólo se analizaron las piezas con 28 días de secado, en donde el mejor resultado se dio en el adobe estabilizado con adición del 9% de cemento, siendo el que tuvo un menor porcentaje de absorción con respecto al adobe tradicional el cual no resistió dicha prueba. Y al igual que en la prueba de resistencia compresión, la adición de cemento mejoró los resultados con respecto al adobe tradicional, y de igual forma se puede observar que mientras más porcentaje de cemento tenga el adobe, su capacidad de absorción es menor.

3.8.4. Estudio n°3. Adobe estabilizado con cemento.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación “*Análisis comparativo de adobe convencional y adobe estabilizado con cemento con fines constructivos*” de Andrea Mishel Sánchez Chicana.

Para poder comenzar el análisis comparativo entre un adobe tradicional y el estabilizado con cemento, lo primero que se hizo, antes de comenzar el proceso de

elaboración de las piezas, fue determinar los distintos porcentajes de cemento que tendría cada tipo de adobe y la cantidad de piezas a realizar para llevar a cabo las pruebas. Los tipos de adobes a analizar y las piezas a elaborar fueron los siguientes:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
36	Adobe tradicional
36	Adobe estabilizado con 2% de cemento.
36	Adobe estabilizado con 4 de cemento.
36	Adobe estabilizado con 6% de cemento.
36	Adobe estabilizado con 8% de cemento.

Tabla 85. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Análisis comparativo de adobe convencional y adobe estabilizado con cemento con fines constructivos”.*

Para cada tipo se elaboraron 36 piezas, de las cuales 6 son para la prueba de absorción de agua, 6 para la de resistencia a compresión, 6 para la resistencia a flexión y 18 para una prueba de resistencia a compresión en pila.

Las dimensiones de las piezas de adobe fueron: **Ancho 20cm, largo 30cm y espesor 10cm.**

Obtención del material.

Suelo:

Para este estudio, el suelo se obtuvo de un sitio en donde se elaboran este tipo de materiales, llamado “El Milagro” ubicado en el distrito de Mesones Muro en

Ferreñafe, Perú. Este suelo fue recomendado por personas, que viven en la zona, con experiencia en la elaboración del adobe.

Los resultados del suelo fueron (Sánchez, 2020):

Contenido de humedad: 8.63%

Análisis granulométrico: Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 50%

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 34.05%*
- *Límite plástico: 18.78%*
- *Índice de plasticidad: 15.27%*

Tipo de suelo: Arena arcillosa (SC).

Paja.

La paja se obtuvo del mismo sitio de donde se extrajo el suelo.

Cemento.

Es probable que el cemento utilizado haya sido el de Tipo 1, el cual es el de uso general.

Elaboración de adobe con cemento.

Una vez que se determinó que el suelo es apto para la elaboración de los adobes, se llevó a cabo el siguiente proceso para su fabricación:

Mezclado:

Se realizó la mezcla de suelo y cemento en seco, y una vez que ambos materiales se integraron de manera homogénea se le agregó a dicha mezcla el agua y la paja, y se comienza a batir hasta obtener la consistencia deseada, que debe ser pastosa y similar a la del barro. La mezcla debe estar lo más integrada posible.

Encofrado/desencofrado:

Una vez que se tiene lista la mezcla, se procede a agregar a los moldes un poco de ella, y con las manos se compacta lo mejor posible, se sugiere que antes de agregar mezcla al molde, este se humedezca o se le espolvoree arena, estos con el fin de que al monto de desencobrar la pieza no se pegue o salga incompleta. Posteriormente se procede al desencofrado y las piezas se colocan en el sitio de secado.

Secado:

Las piezas se colocan en una superficie limpia, plana y cubierta. En este estudio el tiempo de sacado fue de 28 días.

Pruebas y resultados de los adobes estabilizados con cemento

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para poder determinar la resistencia a compresión, a flexión y la capacidad de absorción de agua.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm²)
Adobe tradicional	20.75
Adobe estabilizado con 2% de cemento.	22.80
Adobe estabilizado con 4% de cemento.	27.47
Adobe estabilizado con 6% de cemento.	24.81
Adobe estabilizado con 8% de cemento.	23.83

Tabla 86. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Análisis comparativo de adobe convencional y adobe estabilizado con cemento con fines constructivos”.*

Resistencia a la flexión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	7.05
Adobe estabilizado con 2% de cemento.	8.42
Adobe estabilizado con 4% de cemento.	9.06
Adobe estabilizado con 6% de cemento.	8.61
Adobe estabilizado con 8% de cemento.	7.91

Tabla 87. Resistencia a flexión. *Tabla tomada del trabajo “Análisis comparativo de adobe convencional y adobe estabilizado con cemento con fines constructivos”.*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional	22.01
Adobe estabilizado con 2% de cemento.	20.87
Adobe estabilizado con 4% de cemento.	19.47
Adobe estabilizado con 6% de cemento.	20.04
Adobe estabilizado con 8% de cemento.	20.19

Tabla 88. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Análisis comparativo de adobe convencional y adobe estabilizado con cemento con fines constructivos”.*

Resistencia a la compresión en pilas:

Para esta prueba se elaboraron 6 pilas de 3 piezas para cada uno de los distintos tipos de adobe.

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	5.02
Adobe estabilizado con 2% de cemento.	6.71
Adobe estabilizado con 4 de cemento.	8.10
Adobe estabilizado con 6% de cemento.	7.35
Adobe estabilizado con 8% de cemento.	6.95

Tabla 89. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Análisis comparativo de adobe convencional y adobe estabilizado con cemento con fines constructivos”.*

Conclusiones.

Con los resultados presentados, podemos decir que el cemento como un material estabilizador favoreció al adobe de gran manera, en las 4 pruebas realizadas.

En la prueba de resistencia a compresión, en los 3 casos de adobe con cemento la resistencia fue superior a la del adobe tradicional. El mejor resultado se presentó en el adobe estabilizado con 4% de cemento con un resultado de 27.47 Kg/cm², este tuvo un incremento, aproximadamente, del 32% con respecto a la del adobe tradicional con un resultado de 22.01 Kg/cm². En los resultados de esta prueba se puede ver que al tener un porcentaje mayor al 4% de agregado de cemento, la resistencia comienza a disminuir, sin embargo, a pesar de que esta disminuye, sigue siendo mayor a la resistencia del adobe tradicional y a la del adobe estabilizado con 2% de cemento.

Y esto mismo ocurrió al hacer esta prueba en las pilas de adobe, el mejor resultado se dio en la pila de adobes estabilizados con 4% de cemento, teniendo un incremento del 61% con respecto a la pila de adobes tradicionales.

En la prueba de resistencia a la flexión, en los 3 casos de adobe con agregado de cemento la resistencia fue mayor a la de adobe tradicional. El mejor resultado fue en el adobe estabilizado con 4% de cemento con un resultado de 9.06 Kg/cm², mientras que el adobe tradicional tuvo un resultado de 7.05 Kg/cm², lo que quiere decir que se tuvo un incremento del 28% en la resistencia. Y al igual que ocurrió en la prueba de resistencia a compresión, al tener un porcentaje mayor al 4% de cemento, la resistencia comienza a disminuir, sin embargo, a pesar de que esta disminuye, sigue siendo mayor a la resistencia del adobe tradicional. Es importante mencionar que el adobe con 8% de cemento tiene una resistencia muy cercana a la del adobe tradicional, por lo que se puede creer que, al poner un porcentaje mayor a este, la resistencia sería igual o incluso menor a la del adobe tradicional.

Y en la prueba de absorción de agua, en los 3 casos de adobe con agregado de cemento la capacidad de absorción fue menor a la del adobe tradicional. El mejor resultado fue en el adobe estabilizado con 4% de cemento con un resultado de 19.47% mientras que el adobe tradicional tuvo un resultado de 22.01%, lo que quiere decir que se tuvo una disminución de aproximadamente el 11%. Y al igual que en las pruebas anteriores, al tener un porcentaje mayor al 4% de cemento, la capacidad de absorción comenzó a aumentar, sin embargo, a pesar de que esta incrementa, sigue siendo menor a la del adobe tradicional.

Podemos ver que el adobe estabilizado con 4% de cemento fue el que tuvo los mejores resultados en cada una de las pruebas, y es el que, en este estudio analizado se estaría recomendado para la fabricación de adobes estabilizados.

3.8.5. Estudio nº4. Adobe estabilizado con cemento.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación *“Efecto de los estabilizadores en las propiedades físicas del adobe. Adobes utilizados para la reconstrucción”* de Patricio Antonio Alday Jaime.

Antes de comenzar la elaboración de las piezas, lo primero que se hizo fue determinar los porcentajes de agregado de cemento que se tendrán para los distintos tipos de adobes y la cantidad de piezas a realizar para cada prueba. Los tipos de adobes a analizar y las piezas a elaborar fueron los siguientes:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
15	Adobe tradicional
15	Adobe estabilizado con 2% de cemento.
15	Adobe estabilizado con 4 de cemento.
15	Adobe estabilizado con 6% de cemento.
15	Adobe estabilizado con 8% de cemento.

Tabla 90. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Efecto de los estabilizadores en las propiedades físicas del adobe. Adobes utilizados para la reconstrucción”.*

Para cada tipo se elaboraron 15 piezas, de las cuales 5 son para la prueba de absorción de agua, 5 para la de resistencia a compresión y 5 para la resistencia a flexión.

Las dimensiones de las piezas de adobe no se especifican en este trabajo, sin embargo, al igual que en otros estudios, se elaboraron piezas rectangulares.

Obtención del material.

Suelo:

El suelo se obtuvo de la Región Metropolitana de Santiago, Chile. Se decidió hacer uso de este debido a que construcciones con valor histórico de la zona, se han realizado con ese suelo.

Los resultados del suelo fueron (Alday, 2014):

Contenido de humedad: Se desconoce.

Análisis granulométrico: Se utilizó una malla de N°40.

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 23.19%*
- *Límite plástico: 20.49%*
- *Índice de plasticidad: 2.7%*

Tipo de suelo: Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media (CL).

Paja.

La paja se obtuvo del mismo sitio de donde se extrajo el suelo.

Cemento.

El cemento utilizado es el de grado general, es decir, el cemento Tipo 1.

Elaboración de adobe con cemento.

No se especifica el proceso de elaboración, sin embargo, al no especificar que se trata de adobes compactados, podemos suponer que el proceso es el tradicional, que es el siguiente:

Mezclado:

Se mezcla el suelo y el cemento en seco, ya que estos están bien integrados se le agrega el agua y de poco a poco la paja, y se bate la mezcla hasta conseguir una consistencia pastosa.

Encofrado/desencofrado:

Ya con la mezcla lista, esta se pasa una adobera, la cual debe estar humedecida o espolvoreada con arena para que la mezcla no se pegue al molde, una vez colocada la mezcla, esta se compacta lo mejor posible con las manos. Posteriormente se procede al desencofrado y las piezas se colocan en el sitio de secado.

Secado:

Las piezas de deben colocar en una superficie limpia, plana y cubierta. El estudio no nos marca el tiempo que se les dio para el proceso de secado, sin embargo, nos hace creer que es de 15 días, ya que nos dice que las pruebas en las piezas se hicieron a 15 días después de su elaboración.

Es importante recordar que se recomienda que el tiempo de secado sea de aproximadamente 28 días.

Pruebas y resultados de los adobes estabilizados con cemento

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para poder determinar la resistencia a compresión, a flexión y la capacidad de absorción de agua.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	11.43
Adobe estabilizado con 2% de cemento.	30.15
Adobe estabilizado con 4 de cemento.	52.69

Adobe estabilizado con 6% de cemento.	61.36
Adobe estabilizado con 8% de cemento.	83.24

Tabla 91. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Efecto de los estabilizadores en las propiedades físicas del adobe. Adobes utilizados para la reconstrucción”.*

Resistencia a la flexión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	0.10
Adobe estabilizado con 2% de cemento.	0.21
Adobe estabilizado con 4% de cemento.	0.36
Adobe estabilizado con 6% de cemento.	0.47
Adobe estabilizado con 8% de cemento.	0.60

Tabla 92. Resistencia a flexión. *Tabla tomada del trabajo “Efecto de los estabilizadores en las propiedades físicas del adobe. Adobes utilizados para la reconstrucción”.*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional	22
Adobe estabilizado con 2% de cemento.	17
Adobe estabilizado con 4 de cemento.	15
Adobe estabilizado con 6% de cemento.	11

Tabla 93. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Efecto de los estabilizadores en las propiedades físicas del adobe. Adobes utilizados para la reconstrucción”.*

Conclusiones.

Con los resultados presentados podemos ver como el cemento, como material estabilizador, favorecieron de gran manera a las propiedades del adobe en las 3 pruebas realizadas.

En todas las pruebas los mejores resultados se dieron en los adobes estabilizados con 8% de cemento, lo que nos deja ver que mientras más agregado de cemento tenga el adobe, mayor será su resistencia.

En la prueba de resistencia a compresión el adobe con 8% de cemento tuvo un incremento de resistencia del 628% con respecto al adobe tradicional, ya que el adobe tradicional tuvo un resultado de 11.43 Kg/cm² y el de 8% de cemento tuvo 83.24 Kg/cm².

En la prueba de resistencia a flexión el adobe con 8% de cemento tuvo un incremento en la resistencia del 500% con respecto al adobe tradicional, ya que el adobe tradicional tuvo un resultado de 0.10 Kg/cm² y el de 8% de cemento tuvo 0.60 Kg/cm².

Y en la prueba de absorción de agua, el adobe con 8% de cemento tuvo una disminución del 60% en la capacidad de absorción de agua con respecto al adobe tradicional, ya que el adobe tradicional tuvo una capacidad de absorción de 22% y el de 8% de cemento de 9%.

Como podemos ver, el cemento mejoro de gran manera al adobe, dando un material de construcción con una mayor resistencia y durabilidad. Sería recomendable realizar más pruebas en piezas de adobes que tengan un porcentaje mayor a 8%

de agregado de cemento, para conocer si en algún punto la resistencia se reduce, como ha sido en el caso de otros estudios, o si la resistencia sigue aumentando.

3.8.6. Estudio nº5. Adobe estabilizado con cal, cemento y cáscara de arroz.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación “*Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa*” de José Freddy Moreira Portillo.

Se volverá a tomar este trabajo como un referente para el adobe estabilizado con cemento, anteriormente se utilizó para el adobe estabilizado con cal, por lo que algunos de los datos se repetirán.

En este estudio el adobe no solo se estabiliza con cemento, sino que se le agregan otros componentes, que son la cal y la cáscara de arroz, esto con el fin de obtener una estabilización más completa.

Lo primero que se hizo fue determinar los distintos tipos de porcentajes de adición de cemento que se tendrían para los distintos tipos de adobe, junto con los otros componentes, los cuales fueron:

ARCILLA, CÁSCARA DE ARROZ, CEMENTO Y CAL
Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 5% de cemento y 5% de cal.
Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 7% de cemento y 7% de cal.

Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 9% de cemento y 9% de cal.
Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 11% de cemento y 11% de cal.

Tabla 94. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.*

ARCILLA, CÁSCARA DE ARROZ, CEMENTO, CAL Y ARENA
Adobe con 95% de arcilla, 5% de cáscara de arroz, 5% de cemento, 5% de cal y 5% de arena.
Adobe con 95% de arcilla, 5% de cáscara de arroz, 7% de cemento, 7% de cal y 7% de arena.
Adobe con 95% de arcilla, 5% de cáscara de arroz, 9% de cemento, 9% de cal y 9% de arena.
Adobe con 95% de arcilla, 5% de cáscara de arroz, 11% de cemento, 11% de cal y 11% de arena.

Tabla 95. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.*

ARCILLA, CÁSCARA DE ARROZ, CEMENTO Y ARENA
Adobe con 92.50% de arcilla, 7.50% de cáscara de arroz, 5% de cemento, 5% de cal y 5% de arena.

Adobe con 92.50% de arcilla, 7.50% de cáscara de arroz, 7% de cemento, 7% de cal y 7% de arena.
Adobe con 92.50% de arcilla, 7.50% de cáscara de arroz, 9% de cemento, 9% de cal y 9% de arena.
Adobe con 92.50% de arcilla, 7.50% de cáscara de arroz, 11% de cemento, 11% de cal y 11% de arena.

Tabla 96. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.*

ARCILLA, CÁSCARA DE ARROZ, CEMENTO, CAL Y ARENA
Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 5% de cemento, 5% de cal y 5% de arena.
Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 7% de cemento, 7% de cal y 7% de arena.
Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 9% de cemento, 9% de cal y 9% de arena.
Adobe con 90% de arcilla, 10% de cáscara de arroz, 11% de cemento, 11% de cal y 11% de arena.

Tabla 97. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.*

ARCILLA, CÁSCARA DE ARROZ, CEMENTO, CAL Y ARENA
--

Adobe con 87.5% de arcilla, 12.5% de cáscara de arroz, 5% de cemento, 5% de cal y 5% de arena.
Adobe con 87.5% de arcilla, 12.5% de cáscara de arroz, 7% de cemento, 7% de cal y 7% de arena.
Adobe con 87.5% de arcilla, 12.5% de cáscara de arroz, 9% de cemento, 9% de cal y 9% de arena.
Adobe con 87.5% de arcilla, 12.5% de cáscara de arroz, 11% de cemento, 11% de cal y 11% de arena.

Tabla 98. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.*

No se marca la cantidad de piezas que se elaboraron para cada tipo de adobe. Para las pruebas las piezas se elevaron en forma cilíndrica, sin embargo, no se especifican las medidas.

Obtención del material.

Suelo:

Este se obtuvo en un banco de arcilla en San Isidro de Matagalpa, Nicaragua, y se consiguió a 1.5m de profundidad.

Una vez que se extrajo el suelo requerido se le hizo un análisis para determinar si el suelo es apto para la elaboración de las piezas.

Los resultados del suelo fueron (Moreira, 2017):

Contenido de humedad: 16.81% en promedio.

Análisis granulométrico: Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 70%

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 32.02%*
- *Límite plástico: 21.53%*
- *Índice de plasticidad: 10.49%*

Tipo de suelo: Arcilla arenosa (CL).

Cemento y cal:

Esto se consigue en cualquier casa de materiales, o incluso en ladrilleras y adoberas. El cemento que se utilizó fue el de uso común, es decir, el Tipo 1.

Cáscara de arroz:

No se especifica donde se consiguió para este estudio, pero la cáscara de arroz se obtiene del proceso de molienda de este, y la llegan vender por costales. Así que se pueden conseguir ya sea directamente de la molienda o adquirirla en tiendas que manejen ese tipo de productos.

Elaboración de adobe con adición de cascara de arroz, cal, arena y cemento.

Una vez que se determinó que el suelo es apto para la elaboración de los adobes, se llevó a cabo el siguiente proceso para su fabricación:

Mezclado:

Los distintos materiales que compondrán al adobe se deben mezclar en seco, y una vez que se mezclan de tal manera que todo se incorporen entre sí, se incorpora el agua y se vuelve a mezclar hasta conseguir la consistencia deseada.

Prensado:

Ya que se tiene lista la mezcla, en el molde se coloca la mezcla hasta llenar un tercio de este, para posteriormente ejercer presión con un pistón para compactar la mezcla, el pisto se deja caer a una altura de 30cm sobre la mezcla, y estos se repite 25 vece, es decir, se dan 25 golpes. Ya que se compacta el primero tercio de la

mezcla, se procede a hacer los mismo con los otros dos tercios de la mezcla. Una vez que se tiene lista se desmolda con la ayuda de un extractor.

Saturado:

Una vez que se desmoldaron las piezas, estas fueron puestas en bolsas de manera individual, y se dejaron ahí durante 7 días de saturación.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados cemento, cal, arena y cáscara de arroz.

Para este estudio solamente se realizó la prueba de resistencia a compresión.

Resistencia a la compresión de adobe con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cemento y cal.

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe con adición de 5% de cemento y 5% de cal.	12.13
Adobe con adición de 7% de cemento y 7% de cal.	14.12
Adobe con adición de 9% de cemento y 9% de cal.	14.51
Adobe con adición de 11% de cemento y 11% de cal.	21.13

Tabla 99. Resistencia a compresión de *adobe con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cemento y cal. Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.*

Resistencia a la compresión de adobe con 95% de arcilla y 5% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cemento, cal y arena.

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe con adición de 5% de cemento, 5% de cal y 5% de arena.	8.38
Adobe con adición de 7% de cemento, 7% de cal y 7% de arena.	11.25
Adobe con adición de 9% de cemento, 9% de cal y 9% de arena.	10.66
Adobe con adición de 11% de cemento, 11% de cal y 11% de arena.	22.02

Tabla 100. Resistencia a compresión de adobe con 95% de arcilla y 5% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cemento, cal y arena. Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.

Resistencia a la compresión de adobe con 92.50% de arcilla y 7.50% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cemento y arena.

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe con adición de 5% de cemento y 5% de arena.	6.71
Adobe con adición de 7% de cemento y 7% de arena.	13.34

Adobe con adición de 9% de cemento y 9% de arena.	19.75
Adobe con adición de 11% de cemento y 11% de arena.	22.21

Tabla 101. Resistencia a compresión de adobe con 92.50% de arcilla y 7.50% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cemento y arena. Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.

Resistencia a la compresión de adobe con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe con adición de 5% de cemento, 5% de cal y 5% de arena.	16.27
Adobe con adición de 7% de cemento, 7% de cal y 7% de arena.	14.22
Adobe con adición de 9% de cemento, 9% de cal y 9% de arena.	19.15
Adobe con adición de 11% de cemento, 11% de cal y 11% de arena.	21.13

Tabla 102. Resistencia a compresión de adobe con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena. Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.

Resistencia a la compresión de adobe con 87.5% de arcilla y 12.55% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe con adición de 5% de cemento, 5% de cal y 5% de arena.	9.08
Adobe con adición de 7% de cemento, 7% de cal y 7% de arena.	10.17
Adobe con adición de 9% de cemento, 9% de cal y 9% de arena.	16.59
Adobe con adición de 11% de cemento, 11% de cal y 11% de arena.	21.92

Tabla 103. Resistencia a compresión de adobe con 87.5% de arcilla y 12.5% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena. Tabla tomada del trabajo “Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa”.

Conclusiones.

En este estudio no vemos una comparativa del adobe estabilizado con un adobe tradicional, sin embargo, nos ayuda ver como interactúa el cemento con otros elementos utilizados como estabilizadores.

Como se puede ver se hicieron distintos tipos de adobes con distintos elementos estabilizadores y porcentajes, y en todos los casos los mejores resultados se dieron en donde se tenía más porcentaje de cemento, cal y /o arena, es decir, en donde estos materiales tenían el 11%.

Y en general el mejor resultado se dio en el adobe con 97.50% de arcilla, 7.50% de cáscara de arroz, 11% de cemento y 11% de arena, teniendo un resultado de 22.21 Kg/cm².

Se puede apreciar como el adobe que no contenía cal, fue el que tuvo, ligeramente, resultados más favorables con respecto a los adobes que contiene tanto cemento como cal, esto es importante de considerar en caso de que se quieran elaborar piezas de este tipo, ya que, con base en los resultados, podemos pensar que la cal y el cemento al estar en conjunto, contrarrestan un poco sus propiedades, dando una mejora menor a como sería al estar por separado. También estos resultados nos dan una lectura de que el cemento puede ser un mejor estabilizador que la cal en el adobe, sería importante para poder confirmar esta hipótesis, hacer con estas piezas la prueba de resistencia a flexión y de absorción de agua para ver cómo reaccionan las piezas.

3.8.7. Estudio n°6. Adobe compactado estabilizado con cemento.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación “*Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado*” de Valentín Juventino Morales Domínguez, Margarito Ortiz Guzmán y Rafael Alavéz Ramírez.

Lo primero que se hizo fue determinar los porcentajes de cemento que se tendrían para elaborar los distintos tipos de adobes a analizar, y posteriormente se decidieron la cantidad de piezas que cada tipo de adobe tendría, los cuales fueron:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
5	Adobe tradicional compactado

5	Adobe compactado estabilizado con 2% de cemento.
5	Adobe compactado estabilizado con 4% de cemento.
5	Adobe compactado estabilizado con 6% de cemento.
5	Adobe compactado estabilizado con 8% de cemento.
5	Adobe compactado estabilizado con 10% de cemento.
5	Adobe compactado estabilizado con 12% de cemento.
5	Adobe compactado estabilizado con 14% de cemento.
5	Adobe compactado estabilizado con 16% de cemento.

Tabla 104. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado”.*

El estudio nos marca que, para cada tipo de adobe se elaboraron 5 piezas, sin embargo, no se nos especifica del todo si es en general o si son 5 piezas de cada tipo de adobe para cada una de las pruebas, es decir, que serían 15 piezas para cada tipo, en donde 5 serían para la prueba de absorción de agua, 5 para la de resistencia a compresión y 5 para la resistencia a flexión. Esto sería lo ideal para tener un esquema más completo para cada prueba.

Las dimensiones de las piezas de adobe no se especifican en este trabajo, sin embargo, al igual que en otros estudios, se elaboraron piezas rectangulares.

Obtención del material.

Suelo:

El suelo se obtuvo de un banco de material ubicado en los valles centrales de Oaxaca, México. Este suelo se caracteriza por ser utilizado comúnmente en la zona para construcciones de tierra

Los resultados del suelo fueron (Morales, Ortiz, Alavéz, 2007):

Contenido de humedad: 2.94%.

Análisis granulométrico: Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 1.31% de material fino.

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 23.3%*
- *Límite plástico: 15.8%*
- *Índice de plasticidad: 7.5%*

Tipo de suelo: Arena arcillosa (SC).

Cemento.

El cemento utilizado es el de grado genera, es decir, el cemento Tipo 1.

Elaboración de adobe compactado con cemento.

Mezclado:

La mezcla se elaboró en una revolvedora, en donde se colocaron los materiales que compondrán al adobe. El tiempo de mezclado fue de entre 5 y 10 minutos, una vez que termina el mezclado, se pasa a un depósito humedecido en donde se le retiran grumos que se podrían haber formado durante el mezclado. La mezcla lista se cubre con un paño humedecido para que esta no pierda humedad.

Prensado:

Ya con la mezcla lista, se coloca en el molde de la prensa la cantidad necesaria para elaborar una pieza, se aplica la fuerza necesaria a la prensa por medio de la palanca para poder elaborar de la mejor forma el adobe compactado, y se retira del

molde de forma muy cuidadosa. Las piezas ya listas se colocan en la zona de secado.

Secado:

Las piezas de deben colocar en una superficie limpia, plana y cubierta. El tiempo de secado de estas pizas fue de 28 días

Pruebas y resultados de los adobes estabilizados con cemento

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para poder determinar la resistencia a compresión, a flexión y la capacidad de absorción de agua.

Los resultados que se mostraran pueden variar por décimas, ya que los resultados que da el estudio se muestran en gráficas y no dan el número exacto.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm²)
Adobe tradicional compactado	38
Adobe compactado estabilizado con 2% de cemento.	33
Adobe compactado estabilizado con 4% de cemento.	49
Adobe compactado estabilizado con 6% de cemento.	62
Adobe compactado estabilizado con 8% de cemento.	83
Adobe compactado estabilizado con 10% de cemento.	86

Adobe compactado estabilizado con 12% de cemento.	99
Adobe compactado estabilizado con 14% de cemento.	103
Adobe compactado estabilizado con 16% de cemento.	105

Tabla 105. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado”.*

Resistencia a la flexión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional compactado	9.3
Adobe compactado estabilizado con 2% de cemento.	1.3
Adobe compactado estabilizado con 4% de cemento.	2.8
Adobe compactado estabilizado con 6% de cemento.	5.7
Adobe compactado estabilizado con 8% de cemento.	7.3
Adobe compactado estabilizado con 10% de cemento.	8
Adobe compactado estabilizado con 12% de cemento.	9
Adobe compactado estabilizado con 14% de cemento.	9.8

Adobe compactado estabilizado con 16% de cemento.	9.5
---	-----

Tabla 106. Resistencia a flexión. *Tabla tomada del trabajo “Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado”.*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional compactado	-
Adobe compactado estabilizado con 2% de cemento.	6.9
Adobe compactado estabilizado con 4% de cemento.	15.2
Adobe compactado estabilizado con 6% de cemento.	15.8
Adobe compactado estabilizado con 8% de cemento.	15.1
Adobe compactado estabilizado con 10% de cemento.	15
Adobe compactado estabilizado con 12% de cemento.	14.3
Adobe compactado estabilizado con 14% de cemento.	14.7
Adobe compactado estabilizado con 16% de cemento.	14.5

Tabla 107. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado”.*

Conclusiones.

Los resultados en este estudio no fueron del todo favorables en dos de las tres pruebas realizadas.

En la prueba de resistencia a compresión, a excepción de uno de los tipos de adobe estabilizado, todos tuvieron una mayor resistencia con respecto al adobe tradicional. El mejor resultado se dio en el adobe compactado estabilizado con 16% de cemento, ya que este tuvo una resistencia de, aproximadamente, 105 Kg/cm², mientras que el adobe tradicional tuvo una resistencia de 38 Kg/cm². Estos resultados nos dejan ver que el cemento favoreció de gran manera a la resistencia a compresión, y también podemos ver que mientras más porcentaje de cemento tenga la mezcla, mayor será su resistencia.

En la prueba de resistencia a flexión los resultados no fueron del todo favorables, ya que solo hubo dos tipos de adobe que tuvieron una resistencia, ligeramente, mayor a la del adobe tradicional. El mejor resultado se tuvo en el adobe compactado estabilizado con 14% de cemento, con una resistencia de 9.8 Kg/cm², sin embargo, este resultado fue ligeramente mejor al del adobe tradicional compactado, que tuvo una resistencia de 9.3 Kg/cm². Es importante resaltar que solamente hubo dos tipos de adobe que tuvieron resultados mayores al del adobe tradicional en que tuvo adición 14% y 16%, a que a partir de la adición de 16% la resistencia empezó a reducirse.

Y en la prueba de absorción de agua los resultados no fueron favorables, ya que el mejor resultado fue en el adobe tradicional compactado teniendo un porcentaje de absorción de 6.9%, mientras que los adobes con adición de cemento tuvieron un porcentaje mayor. Como se puede ver en los resultados de esta prueba, mientras más porcentaje de adición de cemento tiene el adobe, el porcentaje de absorción de agua se va reduciendo, sin embargo, ni uno de los resultados estuvo por debajo del porcentaje del adobe tradicional.

Los resultados de este estudio contrastan mucho con los resultados que hemos visto en estudios anteriores sobre el cemento como un estabilizador, ya que en este

caso el cemento no beneficio al adobe de una manera conveniente, sólo hubo resultados favorables en la resistencia a compresión. Sería importante considerar si las condiciones el suelo no fueron de todo aptas para que este tuviera una buena reacción con el cemento.

3.8.8. Conclusiones generales sobre los estudios de cemento.

Ya con los estudios analizados, podemos decir que el cemento funciona bien como un estabilizador para el adobe, ya que ayuda de gran manera al aumento de resistencia a compresión y a flexión, y reduce el porcentaje de absorción de agua, lo que hace el adobe sea un material más duradero.

En dos de los estudios se reemplazó la paja, en uno por fibra de coco y en otro por cáscara de arroz, en caso del Estudio n°1. “Adobe comprimido estabilizado con cemento y fibra de coco”, la fibra de coco tuvo la desventaja de que en la prueba de absorción de agua el porcentaje aumentara con respecto al del adobe tradicional, lo que hace al adobe más vulnerable ante el agua, mientras que en otros estudios en donde la paja se quedó como fibra, se tuvieron mejores resultados en las pruebas de absorción de agua. Esto genera la idea de que, al agregar otro tipo de fibra, estas pueden resultar contraproducentes en la parte de la absorción, sin embargo, con los resultados de esta prueba y de un estudio que se analizó en el apartado de “fibras vegetales” de adobe estabilizado con fibra de coco, podemos ver que el cemento ayuda a que se contrarreste la capacidad de absorción de agua que puede llegar a tener la fibra de coco, ya que en el Estudio n°1. “Adobe comprimido estabilizado con cemento y fibra de coco” el adobe sin cemento no resistió la prueba, y lo mismo ocurrió en el Estudio n°3. “Adobe estabilizado con fibra de coco”, del apartado de fibras vegetales, en donde el adobe con fibra de coco no resistió la prueba de absorción.

Para poder conocer de manera más acertada si la fibra optima debe ser la paja, habría que realizar en el Estudio n°5. “Adobe con cal, cemento y cáscara de arroz”

la prueba de absorción de agua, para ver si ocurre lo mismo que en la de fibra de coco.

De todos los estudios analizados, en este apartado, los mejores resultados se tuvieron en el Estudio n°4. “Adobe estabilizado con cemento”, ya que, en las pruebas realizadas, que fueron de resistencia a compresión y flexión, y de absorción de agua, los resultados fueron favorables, es decir, fueron mejores que los que presento el adobe tradicional, lo que nos deja ver que las piezas obtenidas de ese estudio tienen un mejoramiento en sus propiedades físico-mecánicas.

El gran mejoramiento de propiedades que se tuvo en el Estudio n°4. “Adobe estabilizado con cemento” puede estar relacionado con el tipo de suelo que se utilizó, que fue tipo arena de baja plasticidad. De igual forma en el Estudio n°1. “Adobe comprimido estabilizado con cemento y fibra de coco”, hubo muy buenos resultados en la resistencia a compresión, sin embargo, en la prueba de absorción no lo fueron, esto debido a lo que anteriormente se comentó de la fibra de coco. Los otros estudios tuvieron suelo tipo arena arcillosa, y a pesar de tener buenos resultados, en los estudios con suelo tipo arena de baja plasticidad la resistencia tuvo un incremento más considerable con respecto al adobe tradicional.

El cemento resulto ser un gran estabilizador para el adobe, ya que como se puede ver ayuda a incrementar la resistencia a compresión y a flexión, y reduce su capacidad de absorción, será importante considerar que tipo de fibra se quiere usar y el tipo de suelo, esto para poder elaborar piezas lo más optimas posibles que sean resistentes y duraderas.

COMPARACIÓN DE ADOBES ESTABILIZADOS CON CEMENTO				
ESTUDIO n° 1 Adobe comprimido estabilizado con cemento y fibra de coco.				
Propiedades del suelo				
Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite líquido	Limite plástico	
-	-	32%	30%	
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado				
Tipo de adobe	Medida	Piezas	Suelo seco (kg)	Cemento y fibra de coco (kg + %)
Estabilizado con 6% de cemento	29 x 14 x 10	25	-	-
Estabilizado con 6% de cemento y 0.5% de fibra de coco	29 x 14 x 10	25	-	-
Estabilizado con 6% de cemento y 1% de fibra de coco	29 x 14 x 10	25	-	-
Estabilizado con 6% de cemento y 1.5% de fibra de coco	29 x 14 x 10	25	-	-
Estabilizado con 6% de cemento y 2% de fibra de coco	29 x 14 x 10	25	-	-
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado				
Piezas elaboradas con prensa manual				
Estabilizado con 6% de cemento	Estabilizado con 6% de cemento y 0.5% de fibra de coco		Estabilizado con 6% de cemento y 1% de fibra de coco	
Este adobe se toma como la base comparativa de los resultados de todos los demás adobes.	La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 6% de cemento, y la resistencia a flexión también fue superior a la del estabilizado con 6 % de cemento, y tuvo un incremento superior a la que hubo en la resistencia a compresión. Y su capacidad de absorción de agua aumento a comparación de la del estabilizado con cemento.		Las resistencias a compresión y a flexión fueron menores a las del adobe estabilizado con cemento y 0.5% de fibra, además de que la resistencia a compresión fue también menor a la del estabilizado sólo con cemento, mientras que la resistencia a flexión aún sigue siendo superior a la del estabilizado sólo con cemento. Y su capacidad de absorción de agua fue menor al estabilizado con 0.5% de fibra, haciendo que la pieza tenga un deterioro ligeramente más moderado, sin embargo, su porcentaje es mayor al del estabilizado sólo con cemento.	
Piezas elaboradas con prensa hidráulica				
Estabilizado con 6% de cemento	Estabilizado con 6% de cemento y 0.5% de fibra de coco		Estabilizado con 6% de cemento y 1% de fibra de coco	
Este adobe se toma como la base comparativa de los resultados de todos los demás adobes.	La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 6% de cemento, mientras que la resistencia a flexión fue menos a la del estabilizado con 6 % de cemento, y tuvo un incremento superior a la que hubo en la resistencia a compresión. Y su capacidad de absorción de agua disminuyo, dando como resultados piezas con un deterioro menor.		La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con cemento y 0.5% de fibra, y la resistencia a flexión fue mayor a la del estabilizado con cemento y 0.5% de fibra, y superior también la del estabilizado sólo con cemento. Y la capacidad de absorción de agua fue superior a la de los dos tipos anteriores, aumentado su grado de deterioro.	
Conclusiones generales				
Las piezas con mejores resultados fueron las que se elaboradas con la prensa hidráulica, esto lo podemos interpretar como una consecuencia de que la prensa hidráulica compacta más la pieza y ayuda a que no haya tanta porosidad. La adición de cemento fue benéfica para el adobe, ya que ayudo a que se tuviera un aumento tanto de resistencia a compresión como a flexión, y en el caso de la fibra de coco ocurre lo mismo, ya que ayuda a que la resistencia aumente, sin embargo, la fibra de coco presenta una desventaja y es que esta absorbe mucha agua, lo cual no es benéfico para las piezas de abobe, ya que las puede llegar a debilitar y deteriorar más rápido que a un adobe tradicional. Con los resultados presentados podemos decir que el cemento sí es un buen material estabilizador para el adobe, y lo más recomendable sería hacer uso de otro tipo de fibra o hace pruebas en adobes con fibra de coco pero que tengan un porcentaje mayor al 6% de cemento, para conocer si al tener más cantidad de cemento se puede contrarrestar la absorción que provoca dicha fibra.				

COMPARACIÓN DE ADOBES ESTABILIZADOS CON CEMENTO				
ESTUDIO n° 1 Adobe comprimido estabilizado con cemento y fibra de coco.				
Propiedades del suelo				
Índice de plasticidad		Tipo de suelo		
12%		Arena de baja plasticidad (CL)		
Compresión (Kg/cm²) P. manual/P. hidráulica	Flexión (Kg/cm²) P. manual/P. hidráulica	Absorción de agua (%) P. manual/P. hidráulica	Deterioro	
22.18 // 52.51	8.77 // 26.61	10.34 // 7.71	Moderada // Ligera	
27.12 // 53.33	14.58 // 20.70	14.71 // 6.08	Severa // Ligera	
21.01 // 57.51	11.32 // 27.33	12.37 // 9.91	Moderada/Severa // Moderada	
16.21 // 40.18	10.91 // 28.35	9.73 // 10.12	Moderada // Moderada	
20.01 // 64.34	11.62 // 30.28	10.54 // 10.54	Moderada // Moderada	
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado				
Piezas elaboradas con prensa manual				
Estabilizado con 6% de cemento y 1.5% de fibra de coco		Estabilizado con 6% de cemento y 2% de fibra de coco		
Las resistencias a compresión y a flexión fueron menores a las del adobe estabilizado con cemento y 1% de fibra, además de que la resistencia a compresión fue también menor a la del estabilizado sólo con cemento, mientras que la resistencia a flexión aún sigue siendo superior a la del estabilizado sólo con cemento. Y su capacidad de absorción de agua fue menor a todos los adobes anteriores, logrando así una pieza con un deterioro moderado.		La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con cemento y 1.5% de fibra, pero menor a los demás tipos de adobe, y la resistencia a flexión fue mayor a todos los tipos de adobes. Y la capacidad de absorción fue mayor a la del estabilizado con cemento y 1.5% de fibra, sin embargo, no fue la pieza que tuvo el más alto porcentaje de absorción de agua.		
Piezas elaboradas con prensa hidráulica				
Estabilizado con 6% de cemento y 1.5% de fibra de coco		Estabilizado con 6% de cemento y 2% de fibra de coco		
La resistencia a compresión disminuyo considerablemente, y fue menor con respecto los adobes estabilizados anteriores, mientras que en la resistencia a flexión si tuvo un aumento, y la resistencia fue mayor a la de los estabilizados anteriores. Y la capacidad de absorción de agua fue superior a la de los anteriores, lo que aumenta ligeramente su de grado de deterioro.		Las resistencias a compresión y a flexión fueron las mayores que se presentaron en este grupo, y hubo un aumento de resistencia más significativo en la de compresión que en la de flexión. Y en la prueba de capacidad de absorción de agua también hubo un aumento y fue el mayor porcentaje sobre los adobe anteriores, lo cual es una desventaja para el deterioro de la pieza.		

ESTUDIO n° 2 Adobe estabilizado con cemento*Propiedades del suelo*

Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite liquido
7.80%	48.80%	24.00%

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado

Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso suelo seco
Adobe tradicional	Pieza rectangular	12	-
Estabilizado con 3% de cemento	Pieza rectangular	12	-
Estabilizado con 6% de cemento	Pieza rectangular	12	-
Estabilizado con 9% de cemento	Pieza rectangular	12	-

*Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado***Estabilizado con 3% de cemento**

La resistencia a compresión fue ligeramente mayor a la del adobe tradicional, pero se puede considerar que prácticamente quedo igual la resistencia. Y al igual que en adobe tradicional, la pieza no resistió la prueba de absorción de agua, ya que al someterla a dicha prueba esta se desintegro por completo.

Conclusiones generales

Como se puede ver en los resultados, mientras mayor sea el porcentaje de adición de cemento en el adobe, mayor será su resistencia a compresión y su porcentaje de absorción será menor, lo cual beneficia de gran manera al adobe. Para poder tener un panorama más completo de cómo reacciona el cemento en el adobe, sería necesario hacer la prueba de resistencia a flexión para conocer si ocurre lo mismo que en las dos pruebas realizadas en este estudio.

Con lo mostrado podemos decir que el cemento es un buen material estabilizador para el adobe, y que ayuda a aumentar la resistencia y reduce su capacidad de absorción de agua, lo que hace que la pieza se mantenga en condiciones optimas por más tiempo.

ESTUDIO n° 3 Adobe estabilizado con cemento*Propiedades del suelo*

Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite liquido
8.63%	50.00%	34.04%

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado

Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso suelo seco
Adobe tradicional	30 x 20 x 10	36	-
Estabilizado con 2% de cemento	30 x 20 x 10	36	-
Estabilizado con 4% de cemento	30 x 20 x 10	36	-
Estabilizado con 6% de cemento	30 x 20 x 10	36	-
Estabilizado con 8% de cemento	30 x 20 x 10	36	-

ESTUDIO n° 2 Adobe estabilizado con cemento				
Propiedades del suelo				
Limite plástico	Índice de plasticidad		Tipo de suelo	
20.00%	4.00%		Arena limo arcillosa (SC-SM)	
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado				
Peso de cemento (gr)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)	Deterioro
-	11.37	-	No resistió	Severa
600	11.56	-	No resistió	Severa
1200	12.56	-	13.13	Moderada/Severa
1800	13.80	-	10.25	Moderada
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado				
Estabilizado con 6% de cemento		Estabilizado con 9% de cemento		
La resistencia a compresión tuvo un aumento mayor al que hubo entre el adobe tradicional y el estabilizado con 3% de cemento, sin embargo, no es un aumento tan significativo. Y en la prueba de absorción de agua hubo un beneficio considerable, ya que la pieza salió entera después de dicha prueba.		Esta fue la pieza con mayor resistencia a compresión, y su aumento fue mayor al que hubo entre el estabilizado con 6% de cemento y 3% de cemento. Y en la prueba de absorción de agua también fue la pieza con mejores resultados, ya que la pieza salió completa y tuvo un porcentaje de capacidad de absorción menor al estabilizado con 6% de cemento.		

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado			
Estabilizado con 2% de cemento		Estabilizado con 4% de cemento	
La resistencia a compresión y a flexión fueron mayores a las del adobe tradicional, y hubo un mayor aumento de resistencia de compresión que de flexión. Y en la prueba de absorción de agua, su porcentaje de capacidad de absorción fue mayor al del adobe tradicional, lo cual se presenta como una desventaja.		La resistencia a compresión y a flexión fue mayor a la del adobe estabilizado con 2% de cemento, y el aumento fue mayor al que se tuvo entre el estabilizado con 2% y el adobe tradicional. Sin embargo en la absorción de agua, su porcentaje de capacidad de absorción volvió a aumentar.	
ESTUDIO n° 4 Adobe estabilizado con cemento			
Propiedades del suelo			
Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite liquido	
-	-	23.19%	
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado			
Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso de suelo seco
Adobe tradicional	Pieza rectangular	15	-
Estabilizado con 2% de cemento	Pieza rectangular	15	-
Estabilizado con 4% de cemento	Pieza rectangular	15	-
Estabilizado con 6% de cemento	Pieza rectangular	15	-
Estabilizado con 8% de cemento	Pieza rectangular	15	-
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado			
Estabilizado con 2% de cemento		Estabilizado con 4% de cemento	
Las resistencias a compresión y a flexión fueron mayores a las del adobe tradicional, y ambas resistencias tuvieron un aumento bastante considerable, ya que tuvieron un aumento de poco más del doble de resistencia. Y en la prueba de absorción de agua, su porcentaje de capacidad de absorción disminuyo, haciendo que la pieza saliera de la prueba en mejores condiciones.		Las resistencias a compresión y a flexión fueron mayores a las del estabilizado con 2% de cemento, y su aumento fue ligeramente mayor al que hubo entre el adobe tradicional y el estabilizado con 2%. Y su porcentaje de capacidad de absorción nuevamente disminuyo, y a diferencia de la resistencia, la disminución fue menor a la que hubo entre el adobe tradicional y el estabilizado con 2%.	
Conclusiones generales			
Con los resultados presentados en este estudio, podemos decir que el cemento es un buen material estabilizador para el adobe, ya que, aumenta considerablemente su resistencia tanto a compresión como a flexión, y reduce su porcentaje de absorción de agua, lo que reduce el riesgo de que la pieza se desintegre al estar expuestas a condiciones de agua extrema, como puede ser la lluvia. Y como se puede ver, mientras mayor porcentaje de adición de cemento tenga el adobe, mayor será su resistencia a compresión y a flexión y su capacidad de absorción será menor.			

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado				
Estabilizado con 6% de cemento			Estabilizado con 8% de cemento	
Tanto la resistencia a compresión como a flexión fueron menores a las del estabilizado con 4% de cemento, sin embargo, ambas resistencias siguen siendo superiores a las del adobe tradicional e incluso al estabilizado con 2% de cemento. Y en prueba de absorción de agua su porcentaje de capacidad de absorción disminuyo, sin embargo, sigue siendo mayor al del adobe tradicional, lo cual no es una mejora significativa.			Las resistencias a compresión y a flexión fueron menores a la del estabilizado con 6% de cemento, pero se mantiene por encima de las del adobe tradicional y del estabilizado con 2% de cemento. Y su porcentaje de capacidad de absorción fue menor al estabilizado con 6%, pero mayor al adobe tradicional, sin embargo, se acercó mucho al porcentaje que tuvo el tradicional.	
Conclusiones generales				
Las piezas con mejores resultados, con respecto a la resistencia, fueron las elaboradas con 4% de cemento, ya que estas tuvieron los valores más altos en cada una de las resistencias, sin embargo, también fueron las que tuvieron el mayor porcentaje de absorción de agua lo que da como consecuencia que las piezas se deteriore más rápidos que su resistencia también se vea afectada.				
Este estudio nos deja ver que, en este caso, al sobrepasar el 4% de adición de cemento en el adobe, la resistencia empieza a disminuir y que el porcentaje de absorción de agua empieza a mejorar. Podemos considerar que el cemento es un buen material estabilizador para darle mayor resistencia a las piezas de adobe, sin embargo, habría que considerar el agregar otro material que ayude para la absorción de agua, o verificar si el suelo es el mejor para la elaboración de las piezas ya que es inusual que el cemento haga que las piezas tengan una mayor capacidad de absorción de agua.				
ESTUDIO n° 4 Adobe estabilizado con cemento				
Propiedades del suelo				
Limite plástico	Índice de plasticidad		Tipo de suelo	
20.49%	2.70%		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media (CL)	
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado				
Peso de cemento	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)	Deterioro
-	11.43	0.10	22	Severa/Moderada
-	30.15	0.21	17	Severa/Moderada
-	52.69	0.36	15	Moderada
-	61.36	0.47	11	Moderada/Ligera
-	83.24	0.60	9	Ligera
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado				
Estabilizado con 6% de cemento			Estabilizado con 8% de cemento	
Tanto la resistencia a compresión como a flexión fueron mayores a las del estabilizado con 4% de cemento, y el aumento de resistencia fue muy similar al que se tuvo entre el adobe tradicional y el estabilizado con 2% de cemento. Y su porcentaje de capacidad de absorción nuevamente disminuyo, y a al igual que en la resistencia, la disminución fue similar a la que hubo entre el adobe tradicional y el estabilizado con 2%.			La resistencia a compresión y a flexión fue mayor a la del estabilizado con 6% de cemento, y tuvo un aumento de resistencia superior al que hubo entre el estabilizado con 2% de cemento y el estabilizado con 4% de cemento. Y el porcentaje de absorción fue menor al estabilizado con 6% de cemento, y su disminución fue similar a la que hubo entre el estabilizado con 2% de cemento y el estabilizado con 4% de cemento. Estas piezas fueron las que tuvieron los mejores resultados en las 3 pruebas realizadas.	

ESTUDIO n° 5 Adobe estabilizado con cemento, cal y cáscara de arroz			
Propiedades del suelo			
Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite líquido	
16.81%	70%	32.02%	
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cemento y cal.			
Tipo de adobe	Medida	Peso de suelo seco (kg)	Cáscara de arroz (kg)
Estabilizado con 5% de cal y 5% de cemento	Pieza cilíndrica	4.602	0.511
Estabilizado con 7% de cal y 7% de cemento	Pieza cilíndrica	4.602	0.511
Estabilizado con 9% de cal y 9% de cemento	Pieza cilíndrica	4.602	0.511
Estabilizado con 11% de cal y 11% de cemento	Pieza cilíndrica	4.602	0.511
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado			
Estabilizado con 5% de cal y 5% de cemento		Estabilizado con 7% de cal y 7% de cemento	
Este adobe se toma como la base comparativa de los resultados de todos los demás adobes pertenecientes a esta sección, esto debido a que no se cuenta con la resistencia que tendría un adobe tradicional en las condiciones de ese estudio.		La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 5% de cal y cemento.	
Conclusiones de piezas de adobe estabilizado con con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal y cemento.			
Los resultados nos dejan ver que mientras mayor sea el porcentaje de cal y cemento añadido en el adobe, mayor será su resistencia a compresión, es interesante ver como se da un aumento bastante considerable de resistencia del adobe estabilizado con 9% al estabilizado con 11%. Lo más recomendable sería hacer en estas piezas la prueba de resistencia a flexión y la de absorción de agua, para conocer si se tiene la misma reacción que en la resistencia a compresión.			
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado con 95% de arcilla y 5% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.			
Tipo de adobe	Medida	Peso de suelo seco (kg) + Peso de arena (kg)	Cáscara de arroz (kg)
Estabilizado con 5% de cal, 5% de cemento y 5% de arena	Pieza cilíndrica	4.858 + 0.255	0.255
Estabilizado con 7% de cal, 7% de cemento y 7% de arena	Pieza cilíndrica	4.858 + 0.358	0.255
Estabilizado con 9% de cal, 9% de cemento y 9% de arena	Pieza cilíndrica	4.858 + 0.460	0.255
Estabilizado con 11% de cal, 11% de cemento y 11% de arena	Pieza cilíndrica	4.858 + 0.562	0.255
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado			
Estabilizado con 5% de cal, 5% de cemento y 5% de arena		Estabilizado con 7% de cal, 7% de cemento y 7% de arena	
Este adobe se toma como la base comparativa de los resultados de todos los demás adobes pertenecientes a esta sección, esto debido a que no se cuenta con la resistencia que tendría un adobe tradicional en las condiciones de ese estudio.		La resistencia a compresión tuvo un buen aumento con respecto a la resistencia del estabilizado con 5% de cal, cemento y arena..	
Conclusiones de piezas de adobe estabilizado con 95% de arcilla y 5% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.			
Los resultados no dejan en claro la relación entre la cantidad de porcentaje de los materiales estabilizadores con la resistencia compresión, es decir, en el adobe estabilizado con 9% de cal, cemento y arena, la resistencia se redujo y en el estabilizado con 11% de cal, cemento ya rena, tuvo un incremento considerable, siendo así el adobe con mayor resistencia de este grupo. Se tendría que hacer pruebas en un adobe con un porcentaje mayor al 11% de materiales estabilizadores para conocer si la resistencia sigue incrementando o si empieza a descender. Lo más recomendable sería hacer en estas piezas la prueba de resistencia a flexión y la de absorción de agua, para conocer si se tiene la misma reacción que en la resistencia a compresión.			

ESTUDIO n° 5 Adobe estabilizado con cemento, cal y cáscara de arroz				
Propiedades del suelo				
Limite plástico	Índice de plasticidad		Tipo de suelo	
21.53%	10.49%		Arcilla arenosa (CL)	
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cemento y cal.				
Peso de cemento (kg)	Peso de cal (kg)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)
0.255	0.255	12.23	-	-
0.358	0.358	14.12	-	-
0.460	0.460	14.51	-	-
0.562	0.562	21.13	-	-
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado				
Estabilizado con 9% de cal y 9% de cemento			Estabilizado con 11% de cal y 11% de cemento	
La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 7% de cal y cemento, sin embargo, el aumento fue muy insignificante, dejando su comportamiento prácticamente igual al del 7%.			La resistencia a compresión tuvo un aumento bastante significativo con respecto al estabilizado con 9% de cal y cemento, haciéndolo el adobe con mejor resultado de este grupo.	
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado con 95% de arcilla y 5% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.				
Peso de cemento (kg)	Peso de cal (kg)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)
0.255	0.255	8.38	-	-
0.358	0.358	11.25	-	-
0.460	0.460	10.66	-	-
0.562	0.562	22.02	-	-
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado				
Estabilizado con 9% de cal, 9% de cemento y 9% de arena			Estabilizado con 11% de cal, 11% de cemento y 11% de arena	
La resistencia a compresión fue menor a la del estabilizado con 7% de cal, cemento y arena, sin embargo, a pesar de que hubo una reducción, su resistencia fue mayor a la de estabilizado con 5% de cal, cemento ya arena.			A pesar de lo que se pudo haber pensado con el resultado del adobe estabilizado con 9% de cal, cemento y arena, en donde la resistencia tuvo una disminución, este adobe fue el que obtuvo la mejor resistencia a compresión de este grupo, además de que fue el que tuvo el incremento de resistencia más significativo y restaurando la resistencia que se había perdido en el estabilizado con 9% de cal, cemento y arena.	

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.

Tipo de adobe	Medida	Peso de suelo seco (kg) + Peso de arena (kg)	Cáscara de arroz (kg)
Estabilizado con 5% de cal, 5% de cemento y 5% de arena	Pieza cilíndrica	4.602 + 0.255	0.511
Estabilizado con 7% de cal, 7% de cemento y 7% de arena	Pieza cilíndrica	4.602 + 0.358	0.511
Estabilizado con 9% de cal, 9% de cemento y 9% de arena	Pieza cilíndrica	4.602 + 0.460	0.511
Estabilizado con 11% de cal, 11% de cemento y 11% de arena	Pieza cilíndrica	4.602 + 0.562	0.511

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 5% de cal, 5% de cemento y 5% de arena	Estabilizado con 7% de cal, 7% de cemento y 7% de arena
Este adobe se toma como la base comparativa de los resultados de todos los demás adobes pertenecientes a esta sección, esto debido a que no se cuenta con la resistencia que tendría un adobe tradicional en las condiciones de ese estudio.	La resistencia a compresión fue menos a la del estabilizado con 5% de cal, cemento y arena.

Conclusiones de piezas de adobe estabilizado con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.

La cal, el cemento y la arena dieron buenos resultados para tener una mejora en la resistencia a compresión del adobe. A pesar de que en el estabilizado con 7% de cal, cemento y arena se tuvo una reducción en la resistencia, con respecto al estabilizado con 5% de cal, cemento y arena, a partir del 9% de adición de material estabilizador se tuvo un aumento significativo en la resistencia lo que nos hace la idea de que, a mayor porcentaje de material estabilizador, mayor será la resistencia a compresión. Lo más recomendable sería hacer en estas piezas la prueba de resistencia a flexión y la de absorción de agua, para conocer si se tiene la misma reacción que en la resistencia a compresión.

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado con 87.5% de arcilla y 12.55% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.

Tipo de adobe	Medida	Peso de suelo seco (kg) + Peso de arena (kg)	Cáscara de arroz (kg)
Estabilizado con 5% de cal, 5% de cemento y 5% de arena	Pieza cilíndrica	4.474 + 0.255	0.639
Estabilizado con 7% de cal, 7% de cemento y 7% de arena	Pieza cilíndrica	4.474 + 0.358	0.639
Estabilizado con 9% de cal, 9% de cemento y 9% de arena	Pieza cilíndrica	4.474 + 0.460	0.639
Estabilizado con 11% de cal, 11% de cemento y 11% de arena	Pieza cilíndrica	4.474 + 0.562	0.639

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 5% de cal, 5% de cemento y 5% de arena	Estabilizado con 7% de cal, 7% de cemento y 7% de arena
Este adobe se toma como la base comparativa de los resultados de todos los demás adobes pertenecientes a esta sección, esto debido a que no se cuenta con la resistencia que tendría un adobe tradicional en las condiciones de ese estudio.	La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 5% de cal y cemento.

Conclusiones de piezas de adobe estabilizado con 87.5% de arcilla y 12.55% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.

Estos materiales estabilizadores dieron buenos resultados para tener un aumento de resistencia a compresión en el adobe. Con los resultados obtenidos, podemos ver que se mantuvo la constante de que mientras mayor sea el porcentaje de adición de materiales estabilizadores en el adobe, mayor será su resistencia a compresión. Lo más recomendable sería hacer en estas piezas la prueba de resistencia a flexión y la de absorción de agua, para conocer si se tiene la misma reacción que en la resistencia a compresión.

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado con 90% de arcilla y 10% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.

Peso de cemento (kg)	Peso de cal (kg)	Compresión (Kg/cm ²)	Flexión (Kg/cm ²)	Absorción de agua (%)
0.255	0.255	16.27	-	-
0.358	0.358	14.22	-	-
0.460	0.460	19.15	-	-
0.562	0.562	21.13	-	-

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 9% de cal, 9% de cemento y 9% de arena	Estabilizado con 11% de cal, 11% de cemento y 11% de arena
En este adobe se tuvo un aumento de resistencia mayor tanto en el estabilizado con 7% de cal, cemento y arena, como en el estabilizado con 5% de cal cemento y arena. En este se pudo recuperar la resistencia perdida en el estabilizado con 7%.	Este fue el adobe con mayor resistencia a compresión dentro de este grupo, lo que nos deja como hipótesis que a mayor porcentaje de material estabilizador se tenga en el adobe, mayor será su resistencia.

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado con 87.5% de arcilla y 12.55% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cal, cemento y arena.

Peso de cemento (kg)	Peso de cal (kg)	Compresión (Kg/cm ²)	Flexión (Kg/cm ²)	Absorción de agua (%)
0.255	0.255	9.08	-	-
0.358	0.358	10.17	-	-
0.460	0.460	16.59	-	-
0.562	0.562	21.92	-	-

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 9% de cal, 9% de cemento y 9% de arena	Estabilizado con 11% de cal, 11% de cemento y 11% de arena
La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 7% de cal, cemento y arena, y este incremento fue mucho mayor al que ocurrió en el estabilizado con 7% de cal, cemento y arena con respecto al estabilizado con 5% de cal, cemento y arena.	Este fue el adobe con mayor resistencia a compresión dentro de este grupo, y tuvo un incremento muy similar al estabilizado con 9% de cal, cemento y arena, con respecto al estabilizado con 7% de cal, cemento y arena.%

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado con 92.50% de arcilla y 7.50% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cemento y arena.

Tipo de adobe	Medida	Peso de suelo seco (kg) + Peso de arena (kg)	Cáscara de arroz (kg)
Estabilizado con 5% de cemento y 5% de arena	Pieza cilíndrica	4.730 + 0.255	0.383
Estabilizado con 7% de cemento y 7% de arena	Pieza cilíndrica	4.730 + 0.358	0.383
Estabilizado con 9% de cemento y 9% de arena	Pieza cilíndrica	4.730 + 0.460	0.383
Estabilizado con 11% de cemento y 11% de arena	Pieza cilíndrica	4.730 + 0.562	0.383

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 5% de cemento y 5% de arena	Estabilizado con 7% de cemento y 7% de arena
Este adobe se toma como la base comparativa de los resultados de todos los demás adobes pertenecientes a esta sección, esto debido a que no se cuenta con la resistencia que tendría un adobe tradicional en las condiciones de ese estudio.	La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 5% de cemento y arena, tuvo un aumento de poco más del doble de resistencia.

Conclusiones de piezas de adobe estabilizado con 92.50% de arcilla y 7.50% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cemento y arena.

Estos materiales tuvieron buenos resultados como materiales estabilizadores en el adobe para tener un aumento de resistencia considerable. Como se puede ver, mientras mayor porcentaje de adición se tenga en el adobe, mayor será su resistencia, y lo más recomendable sería hacer en estas piezas la prueba de resistencia a flexión y la de absorción de agua, para conocer si se tiene la misma reacción que en la resistencia a compresión.

Conclusiones de generales

Los materiales empleados como estabilizadores dieron buenos resultados en todos los grupos, y en todos los casos podemos ver que mientras más porcentaje de adición de material estabilizador tenga en el adobe, mayor será su resistencia a compresión.

De todos los grupos los mejores resultados estuvieron en las piezas de adobes estabilizadas con 92.50% de arcilla y 7.50% de cáscara de arroz, y con distintos porcentajes de cemento y arena, ya que fue el grupo con las resistencias más altas, además de que entre cada adobe el aumento de resistencia fue mayor que en otros grupos. Y dentro de este, el mejor resultado fue en el adobe estabilizado con 92.50% de arcilla, 7.50% de cáscara de arroz, 7% de cemento y 7% de arena. Además que con estos resultados, podemos ver que la falta de cal en este grupo beneficio de mejor manera a las piezas.

Con solo la prueba realizada de resistencia a compresión, podemos decir que el cemento en conjunto con la arena y la cáscara de arroz, son buenos materiales estabilizadores para tener una mejora en el adobe, sin embargo, desconocemos como se comportarían las piezas ante una prueba de resistencia a flexión y una de absorción de agua.

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado con 92.50% de arcilla y 7.50% de cáscara de arroz, con distintos porcentajes de cemento y arena.

Peso de cemento (kg)	Peso de cal (kg)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)
0.255	-	6.71	-	-
0.358	-	13.34	-	-
0.460	-	19.75	-	-
0.562	-	22.21	-	-

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 9% de cemento y 9% de arena	Estabilizado con 11% de cemento y 11% de arena
La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 7% de cemento y arena, aunque este incremento fue ligeramente menor al que hubo entre el estabilizado con 5% y el estabilizado con 7%.	Este fue el adobe con mayor resistencia a compresión dentro de este grupo, sin embargo fue e que tuvo un menor aumento de resistencia entre adobe y adobe.

||
||
||

||
||
||

||
||
||

||
||
||

ESTUDIO n° 6 Adobe compactado estabilizado con cemento

Propiedades del suelo

Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite liquido
2.94%	1.31% de materia fina	23.30%

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado

Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso suelo seco
Adobe tradicional	Pieza rectangular	5	-
Estabilizado con 2% de cemento	Pieza rectangular	5	-
Estabilizado con 4% de cemento	Pieza rectangular	5	-
Estabilizado con 6% de cemento	Pieza rectangular	5	-
Estabilizado con 8% de cemento	Pieza rectangular	5	-
Estabilizado con 10% de cemento	Pieza rectangular	5	-
Estabilizado con 12% de cemento	Pieza rectangular	5	-
Estabilizado con 14% de cemento	Pieza rectangular	5	-
Estabilizado con 16% de cemento	Pieza rectangular	5	-

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 2% de cemento	Estabilizado con 4% de cemento
La resistencia tanto a compresión como a flexión fue menor con respecto a las que se tuvieron en el adobe tradicional. Y su porcentaje de absorción de agua también se redujo, lo cual en este aspecto es algo benéfico, ya que el adobe tradicional no resistió la prueba y se desmoronó por completo.	La resistencia a compresión fue mayor a la del adobe tradicional, sin embargo, la resistencia a compresión fue menor. Y en la prueba de absorción de agua, la pieza tuvo un aumento de capacidad de absorción con respecto al estabilizado con 2% de cemento, sin embargo, este porcentaje sigue siendo menor al del adobe tradicional, y la pieza se mantiene completa después de la prueba.
Estabilizado con 10% de cemento	Estabilizado con 12% de cemento
La resistencia a compresión y a flexión fue mayor a la del estabilizado con 8% de cemento, sin embargo, la resistencia a flexión es menor a la del adobe tradicional. Y en la prueba de absorción de agua, la capacidad de absorción quedó prácticamente igual a la del estabilizado con 8%, pero este porcentaje sigue siendo menor al del adobe tradicional, y la pieza se mantiene completa después de la prueba.	La resistencia a compresión y a flexión fue mayor a la del estabilizado con 10% de cemento, sin embargo, la resistencia a flexión es ligeramente menor a la del adobe tradicional. Y en la prueba de absorción de agua, la capacidad de absorción fue menor a la del estabilizado con 10%.

Conclusiones generales

La incorporación de cemento en el adobe resultó benéfico para tener un aumento de resistencia y para que su capacidad de absorción sea menor. Mientras mayor sea la adición de cemento en el adobe, mayor será su resistencia a compresión, y en el caso de la resistencia a flexión, podemos decir que pasa lo mismo, a mayor proporción de cemento mayor será su resistencia a flexión, sin embargo, para que la resistencia sea mayor a la del adobe tradicional, se debe incorporar un porcentaje de cemento superior al 12%, aunque es importante resaltar que después del 16% de adición de cemento, la resistencia a flexión comenzó a disminuir, aunque sigue siendo superior a la del adobe tradicional. Y para la absorción de agua, el cemento ayuda a que la pieza se mantenga entera al estar expuesta a este elemento, mientras que el adobe tradicional no soportó la prueba y se desintegró por completo.

Podemos decir que el cemento es un buen material estabilizador para el adobe, sin embargo, sería recomendable hacer más pruebas con piezas que tengan un porcentaje de adición de cemento mayor a 16%, para conocer hasta qué punto la resistencia a flexión y la absorción de agua siguen aumentando.

ESTUDIO n° 6 Adobe compactado estabilizado con cemento

Propiedades del suelo

Limite plástico	Índice de plasticidad	Tipo de suelo
15.80%	7.50%	Arena arcillosa (SC)

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado

Peso de cemento	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)	Deterioro
-	38	9.3	-	Severa
-	33	1.3	6.9	Ligera
-	49	2.8	15.2	Moderado/Severo
-	62	5.7	15.8	Moderado/Severo
-	83	7.3	15.1	Moderado/Severo
-	86	8	15	Moderado/Severo
-	99	9	14.3	Moderado
-	103	9.8	14.7	Moderado
-	105	9.5	14.5	Moderado

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 6% de cemento	Estabilizado con 8% de cemento
La resistencia a compresión y a flexión fue mayor a la del estabilizado con 4% de cemento, sin embargo la resistencia a compresión es menor a la del adobe tradicional. Y en la prueba de absorción de agua, la capacidad de absorción tuvo un ligero aumento con respecto aspecto a la del estabilizado con 4%, pero este porcentaje sigue siendo menor al del adobe tradicional, y la pieza se mantiene completa después de la prueba	La resistencia a compresión y a flexión fue mayor a la del estabilizado con 6% de cemento, sin embargo, la resistencia a flexión es menor a la del adobe tradicional. Y en la prueba de absorción de agua, la capacidad de absorción tuvo una ligera disminución con respecto aspecto a la del estabilizado con 6%, pero este porcentaje sigue siendo menor al del adobe tradicional, y la pieza se mantiene completa después de la prueba.
Estabilizado con 14% de cemento	Estabilizado con 16% de cemento
La resistencia a compresión y a flexión fue mayor tanto a la del estabilizado con 12% de cemento como a las del adobe tradicional. Y en la prueba de absorción de agua, la capacidad de absorción fue ligeramente mayor a la del estabilizado con 12%.	La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 14% de cemento, mientras que la resistencia a flexión fue ligeramente menor, sin embargo, esta fue mayor a la del adobe tradicional. Y en la prueba de absorción de agua, la capacidad de absorción fue ligeramente menor a la del estabilizado con 14%.

3.9. Emulsión asfáltica.

Una emulsión es una mezcla más o menos de tipo homogénea, en la que se crea una dispersión de un líquido en otro. Estos líquidos son inmiscibles entre sí, y ambos líquidos se encuentran en distintas fases líquidas, uno de ellos en fase continua, también llamada fase dispersante, y el otro en fase discreta, conocida también como fase dispersa. Otro componente dentro de esta mezcla es el emulsificante, también conocido como emulsionante o emulgente, lo que este hace es unir a ambos líquidos inmiscibles y estabilizar la emulsión (Castaño, Martínez, Rodríguez, 2001).

El líquido en fase continua es el predominante, es decir es en donde el segundo líquido se dispersa, por lo que este segundo líquido se encuentra en fase discreta.

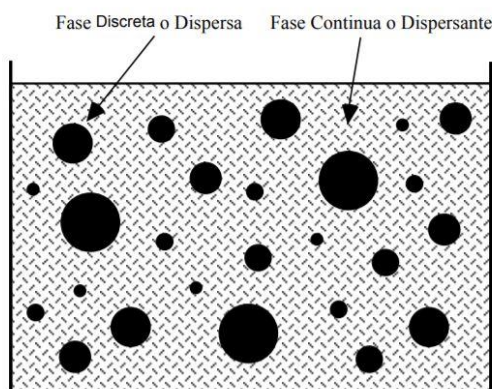


Ilustración 47. Esquema de componentes de una emulsión. *Imagen tomada del texto Castaño, V. Martínez, M. Rodríguez, R (2001). Emulsiones asfálticas.*

Una de las tantas emulsiones que podemos encontrar son las *emulsiones asfálticas*, este producto surge al inicio del siglo XX en Nueva York, para posteriormente ser empleado en el resto del mundo. El objetivo principal que tiene este material es el poder ser una alternativa del asfalto, esto debido a que es un producto que, a comparación del asfalto, es de menor costo, es más amigable con el ambiente y su manejo es más sencillo, la ventaja de este producto es que se puede trabajar en

frio, a diferencia del asfalto que, usualmente, conocemos que se debe exponer a altas temperaturas. De forma física lo encontramos como una sustancia de color negra de constancia liquida-viscosa.



Ilustración 48. Emulsión asfáltica. *Imagen tomada de la web para fines académicos.*

La emulsión asfáltica está compuesta por (Ulloa, 2012):

Asfalto: Es la mezcla del mineral bitumen con arena o grava, este es utilizado, de manera común, para la pavimentación de carreteras y como revestimiento impermeabilizante. En la mezcla de emulsión, el asfalto actúa como el líquido en fase discreta, pues este se agrega en forma de finas gotas. El 40%-70% de la emulsión asfáltica está compuesta por asfalto.

Agua: Como sabemos su composición se da con la unión de oxígeno e hidrogeno (H_2O), dentro de la emulsión asfáltica esta actúa como el líquido en fase continua, pues este será el líquido en donde las gotas de asfalto se dispersarán. La emulsión asfáltica contiene entre un 30% y 50% de agua.

Emulsificante: El emulsificante es el componente de la emulsión asfáltica que viene en menor proporción, ya que se tiene dentro de la composición entre un 0.20% y 0.25%. Sin embargo, es el elemento con mayor importancia dentro de este material,

pues es que le da unión al asfalto y al agua para que se forme una mezcla homogénea, además de ser el que da estabilidad a dicha mezcla.

Propiedades de la emulsión asfáltica.

Las propiedades más destacadas e importantes de este material son:

Propiedades químicas: Es un material que no sufre de oxidación ni corrosión y es resistente ante los ataques químicos.

Propiedades físicas: Es de una baja densidad, tiene un índice alto de resistencia ante el agua, lo que lo hace un material impermeabilizante.

Propiedades mecánicas: Tiene una plasticidad alta, tiene la capacidad de proporcionar durabilidad y resistencia ante la fuerza de compresión.

Tipos y usos de la emulsión asfáltica.

Este tipo de emulsiones las podemos clasificar en dos (Ulloa, 2012):

1. *Emulsiones asfálticas catiónicas:* El agente emulsionante le proporciona a la mezcla una carga positiva.
2. *Emulsiones asfálticas aniónicas:* El agente emulsionante le proporciona a la mezcla una carga negativa.
3. *Emulsiones asfálticas neutras:* Como su nombre lo plantea, son mezclas en donde su agente emulsionante busca que su carga sea neutra.

Tanto la de tipo catiónica como la aniónica, son las más empeladas para para la construcción y el revestimiento de las carreteras, que es el uso más común de este material, mientras que la de tipo neutra aún sigue en avances tecnológicos para que su so sea más recurrente y normal.

Otra forma de clasificar a las emulsiones asfálticas es por su nivel de estabilidad:

1. *Rompimiento rápido*: Este es utilizada mayormente para carpetas asfálticas que se elaboran por medio del riego de liga.

2. *Rompimiento medio*: Su utilización es para carpetas asfálticas, bacheos, renivelaciones y sobrecarpetas.

3. *Rompimiento lento*: Se utiliza para carpetas asfálticas de mezcla fría elaborada en planta.

Los usos que se le han dado a la emulsión asfáltica son:

- Sellador de grietas.
- Bacheo.
- Riego de liga o impresión.
- Adhesivo.
- Estabilizador de suelos y bases.
- Impermeabilizante.
- Recubrimiento de tuberías.
- Tratamiento superficial para pavimentos asfálticos.

Ventajas y desventajas de la emulsión asfálticas.

Como hemos visto, cada material tiene tantos su lado bueno como su lado malo, en el caso de la emulsión asfálticas son:

Ventajas:

1. *Económico*: El material no tiene un costo tan elevado considerado que el producto se aprovecha a su mayor capacidad, además de que es más económico con respecto con el asfalto convencional.

2. *Accesibilidad*: Es fácil de conseguir, ya que no se requiere de recurrir de sitio especiales para poder conseguirlo.

3. *Fácil manejo del material:* Su manipulación es muy sencilla, esto se debe a que su consistencia y estado de aplicación en frío, hacen que su uso no requiera de equipos especializados.

4. *Impermeabilidad:* Gracias a su propiedad de resistencia al agua, hace que el material tenga una mayor resistencia y durabilidad ante los factores exteriores.

5. *Seguro:* Su toxicidad es muy baja, esto se debe a que el asfalto se diluye en el agua, evitando así la producción de vapores tóxicos, además de que su uso, que es en frío, es menos peligroso que las técnicas que implican el asfalto en caliente.

6. *Amigable con el ambiente:* Su producción es mucho menos contaminante que el asfalto convencional, ya que su aplicación en frío ayuda a no alterar el medio, evitando la emisión de humo y gases. Es un ligante asfáltico no contaminante, ya que contiene del 35 al 40% de agua como solvente.

7. *Adhesión:* Tiene una buena adhesión a los materiales pétreos, aumentando así la resistencia.

Desventajas:

1. *Incompatibilidad:* Son incompatibles entre sí, es decir, las emulsiones catiónicas y aniónicas no se pueden mezclar. También son incompatibles con asfaltos rebajados y ligantes asfálticos, básicamente se puede decir que es incompatible con otros materiales asfálticos.

2. *Debilitamiento sobre temperaturas:* Si a la emulsión se le llega a exponer a temperaturas que la congelen o sobrecalienten, esta puede llegar a romperse.

3.9.1. La emulsión asfáltica como estabilizador en el cemento.

Como vimos anteriormente, lo que más podemos destacar de la emulsión asfáltica, es que tiene como función principal, el servir como un material impermeabilizante. Esta propiedad será importante dentro de la composición del adobe, ya que

sabemos que el adobe tiene un alto índice de permeabilidad, es decir, que es sensible al agua y al estar en contacto con ella el adobe se debilita. Además de que por otra parte la emulsión puede llegar a rellenar los poros que quedan dentro de la estructura del adobe, proporcionando así una mayor resistencia ante distintos esfuerzos.

3.9.2. Estudio n°1. Adobe estabilizado con emulsión asfáltica.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación “*Estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas de las unidades de adobe tradicional frente a las unidades de adobe estabilizado con asfalto*” de Vanessa Ingrid Romero Cuentas y Carlos Danilo Callasi Venero.

Lo primero que se hizo fue determinar los porcentajes de adición de emulsión que tendría cada tipo de adobe y las piezas a elaborar de cada tipo, los cuales fueron:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
12	Adobe tradicional.
12	Adobe con adición del 5% de emulsión asfáltica.
12	Adobe con adición del 10% de emulsión asfáltica.

Tabla 108. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas de las unidades de adobe tradicional frente a las unidades de adobe estabilizado con asfalto”.*

De las 12 piezas para cada tipo de adobe, 6 son para la prueba de resistencia a compresión y 6 para la de absorción de agua.

Las dimensiones que se determinaron para las piezas de este estudio fueron de **Ancho 30cm, largo 15cm y espesor 8cm.**

Obtención del material.

Suelo:

El suelo se extrajo del distrito de San Sebastián - Vía Expresa en Cuzco, Perú.

Una vez que se extrajo el suelo requerido se le hizo un análisis para determinar si el suelo es apto para la elaboración de las piezas.

Los resultados del suelo fueron (Romero & Callasi, 2017):

Contenido de humedad: Se desconoce.

Análisis granulométrico: 54.41% de arena, 38.65% de limos y 6.94% de arcilla.

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 23.70%*
- *Límite plástico: 20.13%*
- *Índice de plasticidad: 3.57%*

Tipo de suelo: Arenas Limosas (SM).

Paja:

Se obtuvo de la cantera de donde se extrajo el suelo para el adobe.

Emulsión asfáltica:

La emulsión se pudo conseguir en casas de materiales, y no se especifica el tipo de emulsión asfáltica, sin embargo, lo más probable es que sea el de uso común.

Elaboración de adobe con emulsión asfáltica.

Una vez que se determinó que el suelo es apto para la elaboración de los adobes, se llevó a cabo el siguiente proceso para la fabricación de las piezas:

Mezclado:

Se mezclan en seco el suelo y la paja, para posteriormente añadirles agua. Una vez que se hace la mezcla con agua, se precede a hacer el pisado de dicha mezcla hasta obtener la consistencia de barro.

Ya que se tiene listo el barro, se debe dejar reposar por lo menos 1 día, y una vez pasado ese tiempo se le agrega la emulsión asfáltica y se vuelve a mezclar hasta que todos los elementos estén incorporados lo mejor posible entre sí.

A la mezcla de adobe con 5% de emulsión asfáltica se le agrega 210ml de emulsión y a la de 10% se le agrega 420ml.

Encofrado/desencofrado:

Con la mezcla ya lista, se procede a añadirla en el molde de madera para formar las piezas, el molde previamente tiene que sumergir en agua para que la mezcla no se pegue a este. Ya que se tiene agregada la mezcla al molde, se le ejerce presión con las manos, y posteriormente se procede al desencofrado y las piezas se colocan en el sitio de secado.

Secado:

Las piezas se colocan en una superficie limpia y plana. El secado se dio en la intemperie y con un tiempo de una semana.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con emulsión asfáltica.

Para este estudio las pruebas que se realizaron fueron la de resistencia a compresión y la de capacidad de absorción de agua.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional.	9.759
Adobe con adición del 5% de emulsión asfáltica.	14.868
Adobe con adición del 10% de emulsión asfáltica.	17.679

Tabla 109. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas de las unidades de adobe tradicional frente a las unidades de adobe estabilizado con asfalto”.*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional.	No soporte
Adobe con adición del 5% de emulsión asfáltica.	6.666
Adobe con adición del 10% de emulsión asfáltica.	2.618

Tabla 110. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas de las unidades de adobe tradicional frente a las unidades de adobe estabilizado con asfalto”.*

Conclusiones.

Con los resultados se puede ver que la emulsión asfáltica funciona de buena manera como un estabilizador para el adobe, ya que en las dos pruebas realizadas los resultados fueron favorables y superiores a los del adobe tradicional.

En la prueba de resistencia a compresión, las resistencias de los dos tipos de adobe con adición de emulsión asfáltica fueron superiores a la resistencia del adobe tradicional. El mejor resultado se dio en el adobe con adición del 10% de emulsión asfáltica, con una resistencia de 17.679 Kg/cm² mientras que el adobe tradicional tuvo una resistencia de 9.759 Kg/cm², lo que significa que tuvo un aumento del 81%.

Y en la prueba de absorción de agua ocurrió lo mismo, los resultados de los dos tipos de adobe con adición de emulsión asfáltica fueron mejores que los del adobe tradicional. En esta prueba el adobe tradicional no resistió, y al estar sumergido en agua se desintegro por completo, y el mejor resultado se dio en el adobe con adición del 10% de emulsión asfáltica, ya que este tuvo un porcentaje de absorción de 2.618%.

Para poder tener un esquema más completo del compartimento de la emulsión asfáltica en el adobe, sería necesario realizar la prueba de resistencia a flexión.

3.9.3. Estudio n°2. Adobe estabilizado con emulsión asfáltica.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación *“Efecto de los estabilizadores en las propiedades físicas del adobe. Adobes utilizados para la reconstrucción”* de Patricio Antonio Alday Jaime.

Antes de comenzar la elaboración de las piezas, lo primero que se hizo fue determinar los porcentajes de agregado de cemento que se tendrán para los

distintos tipos de adobes y la cantidad de piezas a realizar para cada prueba. Los tipos de adobes a analizar y las piezas a elaborar fueron los siguientes:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
15	Adobe tradicional
15	Adobe con adición del 0.5% de emulsión asfáltica.
15	Adobe con adición del 1% de emulsión asfáltica.
15	Adobe con adición del 1.5% de emulsión asfáltica.
15	Adobe con adición del 2% de emulsión asfáltica.

Tabla 111. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Efecto de los estabilizadores en las propiedades físicas del adobe. Adobes utilizados para la reconstrucción”.*

Para cada tipo se elaboraron 15 piezas, de las cuales 5 son para la prueba de absorción de agua, 5 para la de resistencia a compresión y 5 para la resistencia a flexión.

Las dimensiones de las piezas de adobe no se especifican en este trabajo, sin embargo, al igual que en otros estudios, se elaboraron piezas rectangulares.

Obtención del material.

Suelo:

El suelo se obtuvo de la Región Metropolitana de Santiago, Chile. Se decidió hacer uso de este debido a que construcciones con valor histórico de la zona, se han realizado con ese suelo.

Los resultados del suelo fueron (Alday, 2014):

Contenido de humedad: Se desconoce.

Análisis granulométrico: Se utilizó una malla de N°40.

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 23.19%*
- *Límite plástico: 20.49%*
- *Índice de plasticidad: 2.7%*

Tipo de suelo: Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media (CL).

Paja.

La paja se obtuvo del mismo sitio de donde se extrajo el suelo.

Emulsión asfáltica.

La emulsión se pudo conseguir en casas de materiales, y no se especifica el tipo de emulsión asfáltica, sin embargo, lo más probable es que sea el de uso común.

Elaboración de adobe con emulsión asfáltica.

No se especifica el proceso de elaboración, sin embargo, al no especificar que se trata de adobes compactados, podemos suponer que el proceso es el tradicional, que es el siguiente:

Mezclado:

Se mezcla el suelo y el cemento en seco, ya que estos están bien integrados se le agrega el agua y de poco a poco la paja, y se bate la mezcla hasta conseguir una consistencia pastosa.

Encofrado/dsencofrado:

Ya con la mezcla lista, esta se pasa una adobera, la cual debe estar humedecida o espolvoreada con arena para que la mezcla no se pegue al molde, una vez colocada

la mezcla, esta se compacta lo mejor posible con las manos. Posteriormente se procede al desencofrado y las piezas se colocan en el sitio de secado.

Secado:

Las piezas de deben colocar en una superficie limpia, plana y cubierta. El estudio no nos marca el tiempo que se les dio para el proceso de secado, sin embargo, nos hace creer que es de 15 días, ya que nos dice que las pruebas en las piezas se hicieron a 15 días después de su elaboración.

Es importante recordar que se recomienda que el tiempo de secado sea de aproximadamente 28 días.

Pruebas y resultados de los adobes estabilizados con emulsión asfáltica.

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para poder determinar la resistencia a compresión, a flexión y la capacidad de absorción de agua.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm²)
Adobe tradicional	11.43
Adobe con adición del 0.5% de emulsión asfáltica.	15.85
Adobe con adición del 1% de emulsión asfáltica.	17.17
Adobe con adición del 1.5% de emulsión asfáltica.	17.62
Adobe con adición del 2% de emulsión asfáltica.	18.73

Tabla 112. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Efecto de los estabilizadores en las propiedades físicas del adobe. Adobes utilizados para la reconstrucción”.*

Resistencia a la flexión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	0.10
Adobe con adición del 0.5% de emulsión asfáltica.	0.16
Adobe con adición del 1% de emulsión asfáltica.	0.17
Adobe con adición del 1.5% de emulsión asfáltica.	0.17
Adobe con adición del 2% de emulsión asfáltica.	0.19

Tabla 113. Resistencia a flexión. *Tabla tomada del trabajo “Efecto de los estabilizadores en las propiedades físicas del adobe. Adobes utilizados para la reconstrucción”.*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional	22
Adobe con adición del 0.5% de emulsión asfáltica.	20
Adobe con adición del 1% de emulsión asfáltica.	18
Adobe con adición del 1.5% de emulsión asfáltica.	17
Adobe con adición del 2% de emulsión asfáltica.	16

Tabla 114. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Efecto de los estabilizadores en las propiedades físicas del adobe. Adobes utilizados para la reconstrucción”.*

Conclusiones.

La emulsión asfáltica dio buenos resultados en las 3 pruebas realizadas.

En la prueba de resistencia a compresión, todos los adobes con adición de emulsión asfáltica tuvieron una resistencia mayor a la del adobe tradicional. El mejor resultado se dio en el adobe con adición del 2% de emulsión asfáltica, con una resistencia de 18.73 Kg/cm², mientras que el adobe tradicional tuvo una resistencia de 11.43 Kg/cm², lo que significa que se tuvo un incremento del 64%. En esta prueba mientras más porcentaje de añadido de emulsión se tuvo, mayor fue la resistencia.

En la prueba de resistencia a flexión, todos los adobes con adición de emulsión asfáltica tuvieron una resistencia mayor a la del adobe tradicional. El mejor resultado se dio en el adobe con adición del 2% de emulsión asfáltica, con una resistencia de 0.19 Kg/cm², mientras que el adobe tradicional tuvo una resistencia de .10 Kg/cm², lo que significa que se tuvo un incremento del 90%. Y al igual que en la prueba de resistencia a compresión, mientras más porcentaje de añadido de emulsión se tuvo, mayor fue la resistencia.

Y en la prueba de absorción de agua ocurrió lo mismo, los adobes con adición de emulsión asfáltica tuvieron una mejor resistencia al agua a comparación del adobe tradicional. El mejor resultado estuvo en el adobe con adición del 2% de emulsión asfáltica, con una capacidad de absorción de 16%, mientras que el adobe tradicional tuvo una capacidad de absorción del 22%, lo que significa que tuvo una reducción del 27%. Y pasa lo mismo que con las pruebas anteriores, mientras más porcentaje de añadido de emulsión se tuvo mejor fue la capacidad de absorción, en este caso a mayor porcentaje de emulsión asfáltica, menor es el porcentaje de absorción.

Como estabilizador, la emulsión asfáltica beneficio de buena manera a las piezas de este estudio, aportándoles mayor resistencia y durabilidad.

3.9.4. Estudio n°3. Adobe estabilizado con emulsión asfáltica.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación “*Diseño de adobes estabilizados con emulsión asfáltica*” de Jaime Mauricio Arteaga Paucar y Luis Alejandro Loja Saula.

Lo primero que se hizo fue determinar los porcentajes de adición que tendría cada tipo de adobe a probar, además de la cantidad de piezas a elaborar, las cuales fueron:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
13	Adobe tradicional
13	Adobe con adición del 2.5% de emulsión asfáltica.
13	Adobe con adición del 5% de emulsión asfáltica.
13	Adobe con adición del 7.5% de emulsión asfáltica.
13	Adobe con adición del 10% de emulsión asfáltica.

Tabla 115. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Diseño de adobes estabilizados con emulsión asfáltica”.*

Para cada tipo se elaboraron 15 piezas, de las cuales 5 son para la prueba de resistencia a compresión, 5 para la de resistencia a flexión y 3 para la de absorción de agua.

Para este estudio se usaron 2 tamaños para las piezas, los cuales fueron:

Tamaño 1: **Ancho 20cm, largo 40cm y espesor 10cm.**

Tamaño 2 (para prueba de resistencia a compresión): **10cm x 10cm x 10xcm.**

Obtención del material.

Suelo:

El suelo se extrajo de una adobera ubicada en Sinicay, en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Se decide usar la tierra de este sitio por los antecedentes que se tienen sobre la fabricación de adobes.

Los resultados del suelo fueron (Arteaga & Loja, 2018):

Contenido de humedad: Se desconoce

Análisis granulométrico: 47.51% de arena, 51.89% de limos y arcilla Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 4.21%.

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 39.68%*
- *Límite plástico: 37.30%*
- *Índice de plasticidad: 2.4%*

Tipo de suelo: Arena graduada con finos (SW).

Paja.

La paja se obtuvo del mismo sitio de donde se extrajo el suelo.

Emulsión asfáltica.

La emulsión se pudo conseguir en casas de materiales, y no se especifica el tipo de emulsión asfáltica, sin embargo, lo más probable es que sea el de uso común.

Elaboración de adobe con emulsión asfáltica.

Mezclado:

Una vez que se tiene listo el suelo, se procede a remojarlo y dejarlo en reposo durante un día y debe de estar cubierto, se recomienda que la cantidad de agua añadida no sea mayor al 20% del peso del suelo en seco. Ya pasado el tiempo de

reposo se añade la paja y la emulsión asfáltica y se mezcla hasta obtener una mezcla lo más homogénea posible.

Encofrado/desencofrado:

Ya con la mezcla lista, se añade un poco en el molde, que en este caso es de madera, y se le ejerce presión con las manos para obtener piezas lo mejor comprimidas posible. El molde se humedece cada vez que elabora una pieza, y se lava cada 3 piezas. Antes de realizar el desencofrado, se deja la mezcla en el molde durante 5min, y pasado ese tiempo se extrae con cuidado el molde.

Secado:

Las piezas deben estar en una superficie plana, limpia y cubierta, y se deja pasar un tiempo de pre-secado para poder poner las piezas en canto, y posteriormente se iban volteando para tener un secado completo. El tiempo de secado fue de 28 días.

Pruebas y resultados de los adobes estabilizados con emulsión asfáltica.

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para poder determinar la resistencia a compresión, a flexión y la capacidad de absorción de agua.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	12.74
Adobe con adición del 2.5% de emulsión asfáltica.	12.40
Adobe con adición del 5% de emulsión asfáltica.	13.35
Adobe con adición del 7.5% de emulsión asfáltica.	15.28

Adobe con adición del 10% de emulsión asfáltica.	20.68
--	-------

Tabla 116. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Diseño de adobes estabilizados con emulsión asfáltico”.*

Resistencia a la flexión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA(Kg/cm ²)
Adobe tradicional	0.18
Adobe con adición del 2.5% de emulsión asfáltica.	0.20
Adobe con adición del 5% de emulsión asfáltica.	0.22
Adobe con adición del 7.5% de emulsión asfáltica.	0.25
Adobe con adición del 10% de emulsión asfáltica.	0.28

Tabla 117. Resistencia a flexión. *Tabla tomada del trabajo “Diseño de adobes estabilizados con emulsión asfáltico”.*

Absorción de agua:

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional	18.74

Adobe con adición del 2.5% de emulsión asfáltica.	5.05
Adobe con adición del 5% de emulsión asfáltica.	4.08
Adobe con adición del 7.5% de emulsión asfáltica.	2.28
Adobe con adición del 10% de emulsión asfáltica.	2.09

Tabla 118. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Diseño de adobes estabilizados con emulsión asfáltico”.*

Conclusiones.

La emulsión asfáltica tuvo buenos resultados en las 3 pruebas realizadas en este estudio.

En la prueba de resistencia a compresión, 3 de los 4 tipos de adobes con adición de emulsión tuvieron una resistencia superior a la del adobe tradicional. El mejor resultado lo tuvo el adobe con 10% de emulsión asfáltica con una resistencia de 20.68 Kg/cm², mientras que el adobe tradicional tuvo una resistencia de 12.74 Kg/cm², lo que significa que hubo un incremento del 62%. A partir del 5% de adición de emulsión, mientras más alto sea el porcentaje de emulsión en el adobe, mayor es la resistencia a compresión.

En la prueba de resistencia a flexión, todos los tipos de adobe con adición de emulsión tuvieron una resistencia superior a la de adobe tradicional. El mejor resultado lo tuvo el adobe con 10% de emulsión asfáltica con una resistencia de 0.28 Kg/cm², mientras que el adobe tradicional tuvo una resistencia de 0.18 Kg/cm. Con los resultados se puede ver que mientras más porcentaje de emulsión tenga el adobe, mayor es la resistencia a flexión.

Y en la prueba de absorción de agua, todos los tipos de adobe con adición de emulsión tuvieron una capacidad de absorción menor a la del adobe tradicional. El mejor resultado lo tuvo el adobe con 10% de emulsión asfáltica con una capacidad de absorción del 2.09%, mientras que el adobe tradicional tuvo una capacidad de absorción del 18.74%. Y al igual que en las pruebas anteriores, la emulsión benefició al adobe, ya que mientras más porcentaje de emulsión contiene el adobe menor es la absorción de la pieza.

La emulsión asfáltica funciona como un buen estabilizador para el adobe, sería necesario hacer pruebas en piezas que tengan un porcentaje mayor al 10%, para conocer si la resistencia sigue incrementando o si comienza a descender.

3.9.5. Estudio n°4. Adobe estabilizado con emulsión asfáltica.

* Los resultados, procedimientos y cantidades que se mostraran a continuación con respecto a este estudio, fueron obtenidos de la investigación “*Evaluación del comportamiento a comprensión de las unidades de adobe convencional frente a las unidades de adobe estabilizado con cemento y asfalto, Caraz 2019*” de Orlandini Edwin Salvador Cano.

Lo primero que se hizo fue establecer los distintos porcentajes de emulsión asfáltica que se tendrían y la cantidad de piezas a elaborar, los cuales fueron:

PIEZAS	TIPO DE ADOBES
12	Adobe tradicional.
12	Adobe con adición del 3% de emulsión asfáltica.
12	Adobe con adición del 6% de emulsión asfáltica.

12	Adobe con adición del 9% de emulsión asfáltica.
----	---

Tabla 119. Muestras para la investigación. *Tabla tomada del trabajo “Evaluación del comportamiento a compresión de las unidades de adobe convencional frente a las unidades de adobe estabilizado con cemento y asfalto, Caraz 2019”.*

Para cada tipo se elaboraron 12 piezas, de las cuales 9 son para la prueba de resistencia a compresión y 3 para la de absorción de agua.

Las 9 piezas para la prueba de resistencia a compresión se dividieron en 3, en donde 3 tuvieron un tiempo de secado de 7 días, otras 3 de 21 días y otras 3 de 28 días.

Las dimensiones de las piezas de adobe no se especifican en el estudio.

Obtención del material.

Suelo:

El suelo utilizado para este estudio se obtuvo de un campo especializado en la elaboración de materiales de tierra, ubicado en la ciudad de Caraz en el distrito de Cochamarca, Perú.

Los resultados del suelo fueron (Salvador, 2019):

Contenido de humedad: 7.8%.

Análisis granulométrico: Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 48.8%

Límites de Atterberg:

- *Límite líquido: 24%*
- *Límite plástico: 20%*
- *Índice de plasticidad: 4%*

Tipo de suelo: Arena limo arcillosa (SC-SM).

Paja.

La paja se obtuvo del mismo sitio de donde se extrajo el suelo.

Emulsión asfáltica;

La emulsión se pudo conseguir en casas de materiales, y no se especifica el tipo de emulsión asfáltica, sin embargo, lo más probable es que sea el de uso común.

Elaboración de adobe estabilizado con emulsión asfáltica.

Mezclado:

Una vez que se tiene listo el suelo, se procede a añadirle agua y se mezcla para obtener una masa de barro. Ya que se consigue esa consistencia, se agrega la paja y se vuelve a mezclar, y ya con esa mezcla lista se procede a agregar la emulsión asfáltica y se vuelve a mezclar hasta obtener una mezcla lo más uniforme posible.

Para el adobe con 3% de emulsión se agregaron 270ml de emulsión asfáltica, para el de 6% se agregaron 540ml y para el de 9% se agregaron 810ml.

Encofrado y desencofrado:

Ya que se tiene lista la mezcla, se procede a colocarla en la adobera de madera para poder formar las piezas de adobe, el molde debe de estar mojado previamente, para evitar que la mezcla se quede pegada a él. Se coloca la mezcla y se comprime con las manos lo mejor que se pueda, y posteriormente se desencofra y se coloca en el sitio de secado.

Secado:

Las piezas se colocan en una superficie limpia, plana y cubierta. No todas las piezas tuvieron el mismo tiempo de secado, ya que para la prueba a compresión se analizarían no sólo los porcentajes de cemento, sino también el tiempo de secado, por lo que algunas piezas tuvieron un tiempo de 7 días, otras de 21 días y otras 28 días.

Pruebas y resultados en adobes estabilizados con cemento.

Las pruebas realizadas en este estudio fueron para determinar la resistencia a compresión y la capacidad de absorción de agua.

Resistencia a la compresión:

TIPO DE ADOBE	ESFUERZO DE RUPTURA (Kg/cm ²)		
	7 días	21 días	28 días
Adobe tradicional.	7.42	9.15	11.37
Adobe con adición del 3% de emulsión asfáltica.	8.63	10.03	13.17
Adobe con adición del 6% de emulsión asfáltica.	9.32	11.06	14.38
Adobe con adición del 9% de emulsión asfáltica.	10.03	11.97	16.04

Tabla 120. Resistencia a compresión. *Tabla tomada del trabajo “Evaluación del comportamiento a compresión de las unidades de adobe convencional frente a las unidades de adobe estabilizado con cemento y asfalto, Caraz 2019”.*

Absorción de agua:

Para esta prueba todas las piezas tuvieron 28 días de secado.

TIPO DE ADOBE	ABSORCIÓN (%)
Adobe tradicional.	No resistió
Adobe con adición del 3% de emulsión asfáltica.	13.21

Adobe con adición del 6% de emulsión asfáltica.	10.08
Adobe con adición del 9% de emulsión asfáltica.	6.69

Tabla 121. Absorción de agua. *Tabla tomada del trabajo “Evaluación del comportamiento a compresión de las unidades de adobe convencional frente a las unidades de adobe estabilizado con cemento y asfalto, Caraz 2019”.*

Conclusiones.

La emulsión asfáltica dio buenos resultados en las dos pruebas realizadas.

En la prueba de resistencia a compresión se analizaron piezas con distintos tiempos de secado. En los tres tiempos, los adobes con adición de emulsión asfáltica tuvieron una resistencia superior la del adobe tradicional. Los mejores resultados se dieron en los adobes con un tiempo de secado de 28 días. Y dentro de los resultados obtenidos en dichas piezas con ese tiempo, el mejor resultado se tuvo en el adobe estabilizado con 9% de emulsión asfáltica, con una resistencia de 16.04 Kg/cm², mientras que el adobe tradicional tuvo una resistencia de 11.37 Kg/cm², lo que significa que tuvo un incremento del 41%. Como se puede ver en los resultados, mientras mayor porcentaje de emulsión tenga la pieza, mayor es la resistencia a compresión.

Y en la prueba absorción de agua solamente se analizaron las piezas con un tiempo de secado de 28 días. El mejor resultado se tuvo en el adobe estabilizado con 9% de emulsión asfáltica, con una capacidad de absorción de 6.69%, mientras que el adobe tradicional no resistió la prueba. Y al igual que en la prueba pasada, la emulsión asfáltica beneficio a los resultados con respecto al adobe tradicional, ya que mientras mayor porcentaje de emulsión tenga la pieza, menor será su capacidad de absorción de agua.

La emulsión asfáltica beneficia de gran manera al adobe, ya que aumenta la resistencia tanto a compresión como al agua, lo que da como resultado un material más duradero. Para tener un análisis más extenso, sería necesario hacer pruebas en piezas que tengan un porcentaje mayor al 9% de emulsión, para conocer si la resistencia sigue aumentando o si comienza a descender.

3.9.6. Conclusiones generales sobre los estudios de emulsión asfáltica.

Con los presentado en los estudios analizados, podemos concluir que la emulsión asfáltica beneficia al adobe de gran manera al ser utilizado como un estabilizador, ya que ayuda a mejorar sus propiedades físico-mecánicas, lo que da como resultado que la resistencia ante distintos factores sea mayor, generando un adobe más fuerte y duradero.

En los cuatro estudios analizados, los adobes estabilizados con emulsión asfáltica presentaron mejoría con respecto al adobe tradicional en cada una de las pruebas realizadas, que fueron la de resistencia a compresión, flexión y la absorción de agua, e independientemente de los resultados de cada estudio, en ningún caso se dieron resultados menores a los que se daban en el adobe tradicional.

Es importante resaltar que a pesar de que en cada estudio se tuvo un tipo de suelo distinto, eso no afectó a que la emulsión asfáltica actuara de una manera satisfactoria en el mejoramiento de adobe. Este es el aspecto que más pudo influir en los resultados, ya que en todos los estudios el proceso de elaboración de las piezas fue prácticamente el mismo, es decir, no hubo un estudio en donde se elaboraran piezas comprimidas, como ha sido en el caso de otros estudios analizados con otros materiales estabilizadores.

El mejor resultado se dio en el Estudio n°3. Adobe estabilizado con emulsión asfáltica, ya que fue el que presentó un mayor incremento en la resistencia a compresión y a flexión, y redujo el porcentaje de absorción de agua con respecto a los resultados del adobe tradicional. Hay que resaltar que en el Estudio n°2. Adobe

estabilizado con emulsión asfáltica, los porcentajes de adición de emulsión fueron los más bajos, ya que en este estudio el mayor porcentaje fue de 2%, mientras que en los otros estudios fue de aproximadamente 10%, y a pesar de eso las piezas tuvieron un incremento en resistencia muy similar a los otros estudios, solo hubo desventaja en la prueba de absorción, en donde no se vio una reducción de porcentaje tan significativa como en los otros estudios, sin embargo, sería interesante hacer pruebas con este estudio en donde se incorpore más porcentaje de adición de emulsión para conocer si a mayor porcentaje, la resistencia será mayor y si la absorción de agua será menor.

Podemos concluir que la emulsión asfáltica puede perfectamente ser utilizada como un estabilizador para el adobe, es importante mencionar que en todos los casos la fibra que se usó fue paja, habría que ver si hay cambios importantes al usar otro tipo de fibra, independientemente de eso, las piezas estabilizadas con emulsión son lo suficientemente óptimas para ser consideradas al momento de elegir un material de construcción accesible.

COMPARACIÓN DE ADOBES ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

ESTUDIO n° 1 Adobe estabilizado con emulsión asfáltica.

Propiedades del suelo

Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite liquido	Limite plástico	Índice de plasticidad	Tipo de suelo
-	54.41% arena, 38.65% limos y 6.94% arcilla	23.70%	20.13%	3.57%	Arena limosa (SM)

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado

Tipo de adobe	Medida	Piezas	Suelo seco (kg)	Emulsión asfáltica (ml)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)	Deterioro
Adobe tradicional	30 x 15 x 8	12	-	-	7.76	-	No resistió	Severa
Estabilizado con 5% de emulsión asfáltica	30 x 15 x 8	12	-	210	14.87	-	6.66	Moderada
Estabilizado con 10% de emulsión asfáltica	30 x 15 x 8	12	-	420	17.68	-	2.62	Ligera

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 5% de emulsión asfáltica	Estabilizado con 10% de emulsión asfáltica
La resistencia a compresión fue mayor a la del adobe tradicional, teniendo un aumento de poco menos del doble de resistencia, y al ser sometido a esta prueba, las piezas presentaron desprendimiento de material, principalmente en las los bordes. Y en la prueba de absorción de agua, la pieza presenta un menor porcentaje de capacidad de absorción, además que logró salir completa del agua, mientras que la pieza del adobe tradicional se desintegró por completo al estar sometida a esta prueba.	La resistencia fue mayor a la del estabilizado con 5% de emulsión asfáltica, sin embargo, el aumento de resistencia fue menor al que hubo entre el adobe tradicional y el estabilizado con 5%, y de igual forma que en adobe pasado, la pieza presentó desprendimiento de material en los bordes. Y en la prueba de absorción de agua, el porcentaje de capacidad de absorción fue menor al del estabilizado con 5%.

Conclusiones generales

Las piezas con mejores resultados fueron las estabilizadas con 10% de cemento, ya que fueron las que tuvieron la mayor resistencia a compresión y la menor capacidad de absorción de agua. Como se puede ver, en los resultados, mientras mayor sea la adición de emulsión asfáltica en el adobe, mayor será su resistencia a compresión y tendrá una menor capacidad de absorción.

Podemos decir que la emulsión asfáltica es un buen material estabilizador para el adobe, principalmente en la parte de absorción de agua, ya que el adobe tradicional el desintegro por completo al estar expuesto ante el agua, mientras que las piezas estabilizadas lograron salir enteras de la prueba, sin embargo, se tendría que hacer la prueba de resistencia a flexión para conocer si se tiene la misma reacción que en la de a compresión.

ESTUDIO n° 2 Adobe estabilizado con emulsión asfáltica.

Propiedades del suelo

Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite líquido	Limite plástico	Índice de plasticidad	Tipo de suelo
-	Malla de N°40	23.19%	20.49%	2.7%	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media (CL).

Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado

Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso suelo seco	Peso de emulsión	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)	Deterioro
Adobe tradicional	Pieza rectangular	15	-	-	11.43	0.10	22	Severa / Moderada
Estabilizado con 0.5% de emulsión asfáltica	Pieza rectangular	15	-	-	15.85	0.16	20	Severa / Moderada
Estabilizado con 1% de emulsión asfáltica	Pieza rectangular	15	-	-	17.17	0.17	18	Moderada
Estabilizado con 1.5% de emulsión asfáltica	Pieza rectangular	15	-	-	17.62	0.17	17	Moderada
Estabilizado con 2% de emulsión asfáltica	Pieza rectangular	15	-	-	18.73	0.19	16	Moderada

Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado

Estabilizado con 0.5% de emulsión asfáltica	Estabilizado con 1% de emulsión asfáltica	Estabilizado con 1.5% de emulsión asfáltica	Estabilizado con 2% de emulsión asfáltica
Tanto la resistencia a compresión como a flexión fueron mayores a las del adobe tradicional. Y su capacidad de absorción se redujo, aunque el porcentaje aún se puede seguir considerando como "alto", es decir, aún se tiene un deterioro severo, a pesar de que sea menor al del adobe tradicional.	Las resistencias a compresión y a flexión fueron mayores a las del estabilizado con 0.5% de emulsión asfáltica, aunque el aumento, en ambas resistencias, fue menor al que hubo entre el adobe tradicional y el estabilizado con 0.5%. Y su capacidad de absorción fue menor a la del estabilizado con 0.5%.	La resistencia a compresión fue ligeramente mayor a la del estabilizado con 1% de emulsión asfáltica, mientras que la resistencia a flexión quedó igual. Y su capacidad de absorción fue menor a la del estabilizado con 1%, sin embargo, la reducción fue menor a la que hubo entre el estabilizado con 0.5 y el estabilizado con 1%.	Tanto la resistencia a compresión como a flexión fueron mayores a las del estabilizado con 1.5% de emulsión asfáltica, y tuvieron un aumento superior al que hubo entre el estabilizado con 1% y el estabilizado con 1.5%. Y su capacidad de absorción fue menor a la del estabilizado con 1.5%, y la reducción fue igual al que hubo entre el estabilizado con 1% y el estabilizador con 1.5%

Conclusiones generales

Las mejores piezas fueron las estabilizadas con 2% de emulsión asfáltica, ya que dieron las resistencias más altas y el porcentaje de absorción más moderado. Como se puede ver, mientras mayor sea la adición de porcentaje de emulsión asfáltica en el adobe, la resistencia tanto a compresión como a flexión, serán mayores y su capacidad de absorción será menor, lo que hará que la pieza tenga una mayor resistencia ante el agua.

La emulsión asfáltica es un buen material estabilizador para el adobe, ya que ayuda tanto al aumento de resistencias, como a la parte de impermeabilización para mantener las piezas enteras.

ESTUDIO n° 3 Adobe estabilizado con emulsión asfáltica.

Propiedades del suelo								
Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite liquido	Limite plástico		Índice de plasticidad		Tipo de suelo	
-	47.51% arena, 51.89% limos y arcilla. Porcentaje que pasa por la malla (N°200): 4.21%.	39.68%	37.30%		2.4%		Arena graduada con finos (SW)	
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado								
Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso suelo seco (lt)	Peso de emulsión (lt)	Compresión (Kg/cm²) Piezas de 10x10x10	Flexión (Kg/cm²) Piezas de 40x20x10	Absorción de agua (%) Piezas de 40x20x10	Deterioro
Adobe tradicional	40 x 20 x 10 // 10 x 10 x 10	13	9.47	-	12.74	0.18	18.74	Moderado/Severo
Estabilizado con 2.5% de emulsión asfáltica	40 x 20 x 10 // 10 x 10 x 10	13	9.47	0.24	12.40	0.20	5.05	Ligera
Estabilizado con 5% de emulsión asfáltica	40 x 20 x 10 // 10 x 10 x 10	13	9.47	0.47	13.35	0.22	4.08	Ligera
Estabilizado con 7.5% de emulsión asfáltica	40 x 20 x 10 // 10 x 10 x 10	13	9.47	0.71	15.28	0.25	2.28	Ligera
Estabilizado con 10% de emulsión asfáltica	40 x 20 x 10 // 10 x 10 x 10	13	9.47	0.95	20.68	0.28	2.09	Ligera
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado								
Estabilizado con 2.5% de emulsión asfáltica		Estabilizado con 5% de emulsión asfáltica		Estabilizado con 7.5% de emulsión asfáltica		Estabilizado con 10% de emulsión asfáltica		
La resistencia a compresión fue ligeramente menor a la del adobe tradicional, mientras que la resistencia a flexión fue mayor. Y en la prueba de absorción de agua, se presentó un cambio radical, ya que la capacidad de absorción de redujo bastante, manteniendo a la pieza más entera y más resistencia al agua.		La resistencia a compresión y a flexión fueron superiores a las del estabilizado con 2.5% de emulsión asfáltica, aunque hubo un mayor aumento de resistencia en la de flexión que en la de compresión. Y su capacidad de absorción fue menor a de estabilizado con 2.5%, sin embargo, su disminución fue menor a la que hubo entre el adobe tradicional y el estabilizado con 2.5%.		La resistencia a compresión y a flexión fueron superiores a las del estabilizado con 5% de emulsión asfáltica, y en ambos casos hubo un aumento de resistencia mayor al que se tuvo entre el estabilizado con 2.5% y el estabilizado con 5%. Y su capacidad de absorción fue menor a del estabilizado con 5%, y esta reducción fue mayor a la que hubo entre el estabilizado con 2.5% y el estabilizado con 5%.		La resistencia a compresión y a flexión fueron superiores a las del estabilizado con 7.5% de emulsión asfáltica, y en ambos casos hubo un aumento de resistencia mayor al que se tuvo entre el estabilizado con 5% y el estabilizado con 7.5%. Y su capacidad de absorción fue ligeramente menor a del estabilizado con 7.5%.		
Conclusiones generales								
Las piezas con mejores resultados fueron las estabilizadas con 10% de emulsión asfáltica, ya que estas piezas tuvieron la mayor resistencia a compresión y a flexión con respecto a las del adobe tradicional. Y como se puede ver mientras mayor porcentaje de adición de emulsión asfáltica tenga el adobe, mayor será su resistencia a compresión y a flexión, y su capacidad de absorción de agua será menor. Podemos decir que la emulsión asfáltica es un buen material estabilizador para el adobe, y que si bien aumenta su resistencia, su mayor beneficio es que ayuda a reducir la absorción de agua en la pieza.								

ESTUDIO n° 4 Adobe estabilizado con emulsión asfáltica.								
Propiedades del suelo								
Cantidad de humedad	Análisis granulométrico	Limite liquido	Limite plástico		Índice de plasticidad		Tipo de suelo	
7.8%	48.8%	24%	20%		4%		Arena limo arcillosa (SC-SM)	
Resultados de pruebas en piezas de adobe estabilizado								
Tipo de adobe	Medida	Piezas	Peso de suelo seco	Peso de emulsión (ml)	Compresión (Kg/cm²)	Flexión (Kg/cm²)	Absorción de agua (%)	Deterioro
Adobe tradicional	Pieza rectangular	12	-	-	11.37	-	No resistió	Severa/Moderada
Estabilizado con 3% de emulsión asfáltica	Pieza rectangular	12	-	270	13.17	-	13.21	Moderada
Estabilizado con 6% de emulsión asfáltica	Pieza rectangular	12	-	540	14.38	-	10.08	Moderada
Estabilizado con 9% de emulsión asfáltica	Pieza rectangular	12	-	810	16.04	-	6.69	Moderada/Ligera
Comportamiento de las piezas de adobe estabilizado								
Estabilizado con 3% de emulsión asfáltica			Estabilizado con 6% de emulsión asfáltica			Estabilizado con 9% de emulsión asfáltica		
La resistencia a compresión fue mayor a la del adobe tradicional, y su capacidad de absorción fue menor a la del adobe tradicional, teniendo una mejora bastante significativa, ya que el adobe tradicional no resistió dicha prueba y de desintegro por completo durante ella.			La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 3% de emulsión asfáltica, aunque su aumento de resistencia fue menor a la que hubo entre el adobe tradicional y el estabilizado con 3%. Y su capacidad de absorción fue menor a la del estabilizado con 3%.			La resistencia a compresión fue mayor a la del estabilizado con 6% de emulsión asfáltica, y su aumento de resistencia fue similar a la que hubo entre el adobe tradicional y el estabilizado con 3%. Y su capacidad de absorción fue menor a la del estabilizado con 6%, su disminución fue ligeramente mayor a la que hubo entre el estabilizado con 3% y el estabilizado con 6%.		
Conclusiones generales								
Las piezas con mejores resultados fueron las estabilizadas con 9% de emulsión asfáltica, ya que su resistencia a compresión fue superior y su capacidad de absorción fue menor a la de todos los tipos de adobes de este estudio. El mayor aporte de la emulsión asfáltica en el adobe es que es un buen material impermeabilizante, por lo que la pieza se conserva en mejores condiciones al estar expuesta ante el agua. Podemos decir que la emulsión asfáltica es un buen material estabilizador para el adobe, y mientras mayor sea la adición de emulsión en el adobe, mayor será su resistencia a compresión y su capacidad de absorción de agua será menor. Sería recomendable hacer también la prueba de resistencia flexión para conocer si la reacción es la misma que en la resistencia a compresión.								

CONCLUSIONES

Con todo lo que se ha ido comentando y demostrando a lo largo de este trabajo, podemos decir que es óptimo mejorar el adobe para que sus deficiencias se reduzcan o en el mejor de los casos desaparezcan, y hay varias opciones para lograr esto.

Los materiales naturales como estabilizadores sin duda ayudan a mejorar las propiedades del adobe, al reemplazar la paja por otro tipo de fibra natural, en ciertos casos, presenta una mejora en cuanto a su resistencia ante distintas fuerzas, sin embargo, no basta con reemplazar la fibra, ya que ese elemento no proporciona una inmunidad contra los efectos agua en el adobe, y en varios de los estudios de fibras analizados, la fibra absorbía demasiada agua, lo que debilitaba a las piezas de adobe, mientras que, como pudimos ver, la incorporación de polímeros naturales en la composición del adobe presenta mayor resistencia a comparación de un adobe tradicional, destacando la mejora que se obtiene para reducir la absorción y el deterioro del adobe contra el agua.

Basándonos en los estudios analizados en este trabajo sobre los estabilizadores naturales, se llega a la conclusión de que en caso de que se quiera estabilizar el adobe y que siga siendo puramente natural, se recomienda el uso de los polímeros naturales, que son una buena opción para que funcionen como un impermeabilizante para el adobe, y para mayor resistencia la paja puede ser reemplazada por otros tipos de fibras naturales.

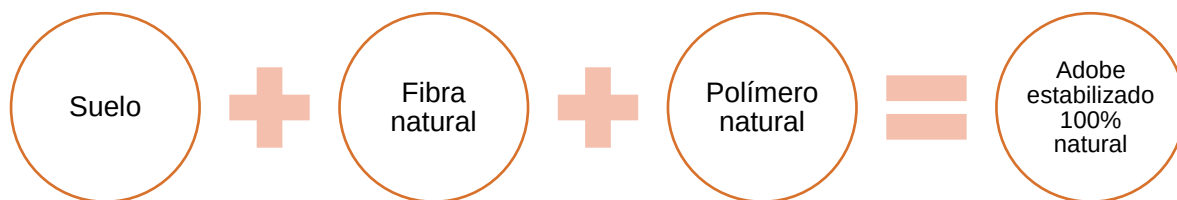


Diagrama 7. Propuesta propia para un adobe estabilizado 100% natural

Sin embargo, las desventajas que se presentan al usar materiales naturales como estabilizadores son:

- El proceso de obtención de algunos de estos materiales llega a ser laborioso y tardado.
- A pesar de tener mejoras, el adobe aún llega a presentar poca resistencia y durabilidad.

Por otro lado, en los estudios analizados sobre estabilizadores sintéticos los resultados fueron mejores que los de un adobe tradicional y de un adobe estabilizado con materiales naturales, en donde los estabilizadores más destacables son el cemento y la emulsión asfáltica, ya que gracias a sus propiedades aportan al adobe una resistencia mayor y se reduce el daño causado por el agua. Es evidente que este tipo de materiales fortalecen más al adobe gracias a su composición, ya que son materiales que fueron creados para atacar problemas específicos, y los materiales que se analizaron fueron aquellos que sirven principalmente como impermeabilizantes y que dan cohesión a la mezcla para que esta tenga la menor cantidad de poros. Si bien con estos materiales no se mantiene el adobe como un material puramente natural, es mejor que su estabilización se haga con ellos, ya que dan una resistencia y durabilidad mayor. La mejor propuesta para estabilizar el adobe es con este tipo de materias, e incluso podemos hacer un adobe estabilizado con un material natural y uno sintético.

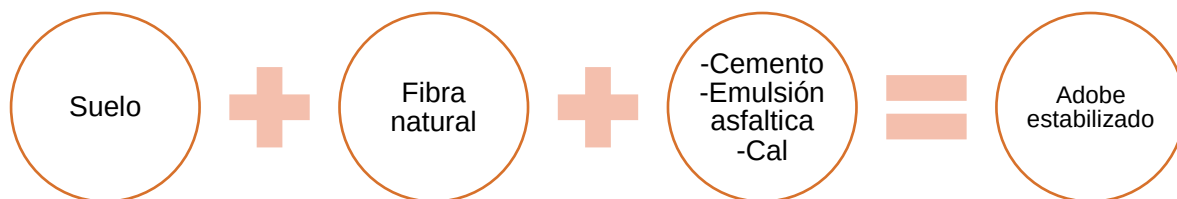




Diagrama 8. Propuestas propias para un adobe estabilizado.

Algunas otras ventajas que se tienen al usar estos tipos de materiales son:

- Facilidad de obtención de dichos materiales.
- El adobe se mantiene económicamente accesible.
- Sigue siendo menos dañino para el medio ambiente a comparación de otros materiales empleados en la construcción.

No podemos dejar al adobe como un material 100% natural, ya que si lo dejamos así pasa lo que está pasando con él actualmente, se hace a un lado y se puede llegar hasta el punto del olvido, ya que se queda como un material “antiguo” y “austero” que no podría cumplir con lo que se demanda hoy en día en la arquitectura y la construcción. Es necesario que este evolucione para que pueda cumplir, lo mejor posible, con una resistencia adecuada para poder construir viviendas y espacios confortables, seguros y duraderos, y que sea una opción accesible para todo tipo de usuario, es decir, una opción económica y segura.

Hay una gran discusión sobre que el adobe debería mantenerse en su forma tradicional, ya que en muchas ocasiones se piensa que los materiales de este tipo deben conservar su esencia original que va acompañada con su “historia”, pero sabemos que, si se mantiene así, las construcciones no duraran y no serán seguras del todo, haciendo que en cierto punto las familias pierdan sus hogares. Queremos que el adobe no se pierda en el tiempo y quede como un material del que solamente se sabrá de él por medio de libros de historia de arquitectura, al estabilizarlo con

materiales sintéticos, se logra conservar un material accesible y económico, y que forma parte de la cultura del pueblo mexicano, y logramos hacerlo más seguro, duradero y resistente, el adobe debe evolucionar para poder ser considerado dentro de la construcción y la arquitectura, siendo una opción sustentable y óptima para la elaboración de viviendas que no requieran de grandes claros y alturas, sin dejar de lado que sea estéticamente agradable, es un material que tiene mucha facilidad de uso, y al tenerlo estabilizado es una gran opción como material de construcción.

Referencias / Bibliografías:

1. Aguilar, B. (2012). *Una propuesta de estudios sobre las edificaciones de tierra, su necesidad y su planteamiento*. México: Bitácora Arquitectura N°25. 30-37.
2. Alday, P. (2014). *Efecto de los estabilizadores en las propiedades físicas del adobe. Adobes utilizados para la reconstrucción*. Chile: Universidad Andrés Bello.
3. Aliaga, S. Gonzales, E. (2020). *Propuesta de mallas de fibras de maguey para mejorar la resistencia de muros de adobe en el distrito de Colcabamba – Huancavelica*. Perú: Universidad peruana de ciencias aplicadas.
4. Alfaro, C. (2019). *Adobe estabilizado mediante el empleo de fibras sintéticas de polipropileno, tunanmarca-jauja*. Perú: Universidad Nacional del Centro de Perú.
5. Altamirano, O. (2018). *Análisis de la resistencia a compresión del adobe estabilizado con cal en la ciudad de Cajamarca*. Perú: Universidad nacional de Cajamarca.
6. Amoros, M. (2011). *Desarrollo de un nuevo ladrillo de tierra cruda, con aglomerantes y aditivos estructurales de base vegetal*. España: Universidad Politécnica de Madrid.
7. Aparicio, P. Galán, E. (s.f). *Materias primas para la industria cerámica*. España: Universidad de Sevilla.
8. Arteaga, K. Gutiérrez, J. Humberto, O. (2011). *Bloques de tierra comprimida como material constructivo*. Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Cedec.
9. Arteaga, J. Loja, L. (2018). *Diseño de adobes estabilizados con emulsión asfáltica*. Ecuador: Universidad de Cuenca.
10. Askeland, D. Fulay, P. Wright, W. (2012). *Ciencia e ingeniería de materiales*. México: Cengage.

11. Ayala, M. Chuya, E. (2018). *Comparación de parámetros mecánicos y físicos del adobe tradicional con adobe reforzado con fibra de vidrio*. Ecuador: Universidad de Cuenca.
12. Aznáran, G. (2018). *Influencia del plástico reciclado en las propiedades físicas y mecánicas del adobe en el distrito de Santa – Ancash – 2018*. Perú: Universidad César Vallejo.
13. Benites, V. (2017). *Adobe estabilizado con extracto de cabuya (Furcraea andina)*. Perú: Universidad de Piura.
14. Blanco, C. Morales, P. (s.f.) *Ficha técnica: sistema constructivo adobe/tapial*. Guatemala: Arquitectos Sen Fronteiras.
15. Bolaños, J. (2016). *Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna*. Perú: Universidad Privada del Norte.
16. Briseño, L. Marcos, A. (2019). *Efecto del porcentaje de la fibra tipo E sobre la resistencia a la compresión, flexión, absorción y estabilidad dimensional del adobe, Trujillo, 2018*. Perú: Universidad César Vallejo.
17. Cáceres, K. (2017) *Análisis de la resistencia mecánica del adobe estabilizado con cal y compactado para construcciones ecológicas-económicas en Cajamarca*. Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
18. Capel, J. Huertas, F. Linares, J. (s.f). *La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento*.
19. Carhuanambo, J. (2016). *Propiedades mecánicas y físicas del adobe compactado con adición de viruta y aserrín, Cajamarca 2016*. Perú: Universidad privada del norte.
20. Chang, R. Goldsby, K. (2017). *Química Doceava edición*. México: MacGraw-Hill.
21. Chavez, J. (2018). *Propiedades físico y mecánicas del adobe compactado con incorporación de fibras de coco*. Perú: Universidad privada del norte.

22. Chuna, A. (2020). *Elaboración del adobe adicionando cal y fibra de eucalipto para mejorar las propiedades mecánicas y termodinámicas, Chonta - Huancayo, Lima 2020*. Perú: Universidad César Vallejo.
23. Chur, G. (2010). *Evaluación del uso de la cascarilla de arroz como agregado orgánico en morteros de mampostería*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
24. Crespo, S. (2013). *Materiales de construcción para edificación y obra civil*. España: Editorial Club Universitario (ECU).
25. Condori, A. Solano, Y. (2019). *Influencia de la fibra de maguey en la compresión, tracción y absorción del adobe*. Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
26. De la Cruz, G. Paredes, F. (2017). *Estudio de estabilizadores en el adobe*. Ecuador: SPE Student Chapter, Universidad Central del Ecuador.
27. Díaz, L. (2016). *El mejoramiento físico del adobe para fines constructivos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
28. Dirección General de Desarrollo Minero (2014). *Perfil de mercado del feldespatos*. México: Secretaría de Economía
29. Dirección General de Desarrollo Minero (2017). *Perfil de mercado del sílice*. México: Secretaría de Economía.
30. Domínguez, M. Schifter, I. (2003). *Las arcillas: El barro noble*. México: La ciencia.
31. García, E. Suarez, M. (s.f). *Las arcillas: Propiedades y usos*. España: Universidad Complutense y Universidad de Salamanca.
32. García, I. (2017). *Estudio de permeabilidad en el adobe implementando agregados naturales*. México: Universidad Tecnológica de la Mixteca.
33. Guerrero, L. (2007). *Arquitectura en tierra: Hacia la recuperación de una cultura constructiva*. México: Apuntes. 182-201.

34. Guerrero, L. Meraz, L. Soria, J. (2010). *La arquitectura construida en tierra, Tradición e Innovación*. México: Universidad de Valladolid.
35. Guerrero, M. (2019). *Alternativas de estabilización del adobe para disminuir su contracción volumétrica y agrietamiento*. Colombia: Universidad de los Andes.
36. Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales de construcción*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
37. Hashemi, J. Smith, W. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. México: MacGraw-Hill.
38. Hernández, I. (2016). *Block de adobe con fibra de platanal aplicado al proyecto centro de rehabilitación en Palenque Chiapas*. México: Instituto Politécnico Nacional.
39. Loaiza, E. Viela, D. (2017). *Ensayos preliminares de mezcla suelo-cemento, mejoran la estabilización de adobes para la construcción rural*. Ecuador: Universidad de Loja.
40. Magalhães, M. (2019). *Effect of recycled pet fibers inclusion on the shrinkage of adobe brick*. Reino Unido.
41. Mantilla, J. (2018). *Variación de las propiedades físico-mecánicas del adobe al incorporar viruta y caucho*. Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
42. Márquez, J. (2018). *Estabilización del adobe con adición de viruta de Eucalipto, Chíncha 2018*. Perú: Universidad César Vallejo.
43. Martín, P. Güemes, A. (2012). *Ciencia de materiales para ingenieros*. Madrid: Pearson.
44. Martínez, L. (2015). *Fabricación de adobe estabilizado “Evaluación de la resistencia a la compresión”*. México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP).

45. Montes, J. (2009). *Estudio del efecto del de la fibra de bagazo de Agave angustifolia Haw en la resistencia a flexión y compresión del adobe compactado*. México: Instituto Politécnico Nacional.
46. Moreira, J. (2017). *Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio de San Isidro, Sebaco y Matagalpa*. Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería.
47. Moscoso, M. (s.f). *El adobe, sus características y el confort térmico*. Ecuador: Universidad de Cuenca.
48. Newell, J. (2009). *Ciencia de materiales. Aplicaciones en ingeniería*. México: Alfomega.
49. Nieto, L. Tello, E. (2019). *Adobe estabilizado con mucílago de penca de tuna, resistentes al contacto con el agua para la construcción de viviendas populares empleados en la sierra del Perú*. Perú: Universidad peruana de ciencias aplicadas.
50. Pinto, A, (2011). *Materiales y materias primas*. Argentina: Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
46. Proyecto regional de patrimonio cultura y desarrollo PNUD/UNESCO (1983). *El adobe: Simposio internacional y curso sobre conservación del adobe*. Perú: ICCROM.
51. Quispe, N. (2017). *Evaluación del esfuerzo admisible del adobe estabilizado con fibras de PET triturado en la zona de Mollepata provincia de huamanga departamento de ayacucho – 2016*. Perú: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
52. Quiteño, A. (2015). *La cal como elemento que mejora la resistencia en la producción del ladrillo de adobe en el departamento de Ahuchapán*. El Salvador: Universidad Católica de El Salvador.
53. Ríos, E. (2010). *Efecto de la adición de látex natural y jabón en la resistencia mecánica y absorción dl adobe compactado*. México: Instituto Politécnico Nacional.

54. Romero, V. Callasi, C. (2017). *Estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas de las unidades de adobe tradicional frente a las unidades de adobe estabilizado con asfalto*. Perú: Universidad Andina del Cusco.
55. Roux, R. (2002). *Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cementos Portland tipo I al 6% y reforzados con fibra de coco para muros de carga en Tampico*. Universidad de Sevilla.
56. Ruiz, M. (2019). *Conformación de bloques de adobe con residuos de agave "Angustifolia Haw". Estrategia para el desarrollo local sustentable en Santa María La Asunción, Zumpahuacán, Estado de México*. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
57. Salvador, O. (2019). *Evaluación del comportamiento a compresión de las unidades de adobe convencional frente a las unidades de adobe estabilizado con cemento y asfalto, Caraz 2019*. Perú: Universidad César Vallejo
58. Sanchez, M. (2020). *Análisis comparativo de adobe convencional y adobe estabilizado con cemento con fines constructivos*. Perú: Universidad Señor de Sipán.
59. Shackelford, J. (2005). *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. México: Pearson.
60. Torres, R. (2016). *Las fibras naturales como refuerzo sísmico en la edificación de viviendas de adobe en la costa del departamento de ICA*. Perú: Universidad nacional agraria la molina.
61. Vilela, D. (2010). *Estabilización de suelos dirigida a la fabricación de bloques de adobe, propuesta metodológica*. Ecuador: Universidad Nacional de Loja / Área de la Energía, las Industrias y los Recursos No Renovables.
62. Yuste, B. (s.f.). *Arquitectura de tierra: Caracterización de los tipos edificatorios*. España: Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).