UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**“Propuesta de mallas de fibras de maguey para
mejorar la resistencia de muros de adobe en el distrito
de Colcabamba - Huancavelica”**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Aliaga Campos, Susana (0000-0002-6502-0032)

Gonzales Orihuela, Eugenia María (0000-0002-9949-6709)

ASESOR DE TESIS

Eyzaguirre Acosta, Carlos Augusto (0000-0001-9769-2135)

Lima, 05 de marzo de 2020

DEDICATORIA

En primer lugar, dedicamos este trabajo de investigación a Dios que ha sido nuestra fuente de motivación, asimismo a nuestras familias que nos orientaron en nuestra forma de vivir y nos brindaron su apoyo incondicional. Del mismo modo, a todas las personas relacionados con nosotras que estuvieron apoyándonos en nuestros momentos más difíciles en esta etapa de nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo constante de nuestro asesor Carlos Augusto Eyzaguirre que nos brindó el enfoque adecuado para el desarrollo del mismo. Asimismo, a Ronald Gavidia que nos tuvo paciencia y por sus sugerencias de mejora durante los procedimientos y ensayos de laboratorio. También a nuestros familiares que aportaron con los materiales e insumos para la elaboración de los especímenes a ensayar. Del mismo modo, agradecemos a nuestros amigos y compañeros que nos ayudaron en el desarrollo de esta tesis.

RESUMEN

El adobe es un material de construcción que ha sido empleado tanto en países desarrollados como no desarrollados. En el caso del Perú, el uso de este material es muy empleado en zonas altoandinas y de bajos recursos, pese al elevado índice de viviendas construidos con este material, los principales problemas se ven reflejados en la baja resistencia y la durabilidad. Según estudios de investigación, la adición de refuerzos mejora la resistencia a la tracción de los elementos de adobe disminuyendo la aparición de fisuras retardando los colapsos ante movimientos telúricos. Por este motivo, el presente trabajo tiene como finalidad presentar una propuesta sostenible y económica para el refuerzo a base de fibras naturales de maguey que mejore la resistencia de muros de viviendas de adobe haciendo uso de la norma E.080 (Diseño y Construcción con Tierra Reforzada).

Para evaluar los parámetros mecánicos de la propuesta, se realizaron ensayos de tracción a diversos prototipos de mallas biaxiales con aberturas cuadradas espaciadas, de los cuales las características que variaron fueron espaciamientos y diámetros de cuerdas. Como resultado, el prototipo que resistió mayores cargas fue el de dimensiones de 2.00 m x 0.70 de ancho y largo respectivamente, y con aberturas cuadradas espaciadas cada 2 centímetros, con cuerdas de diámetro de 5 milímetros. Estos revestirán los muros de viviendas de adobe interna y externamente con el fin de asegurar la compatibilidad de ambos elementos para resistir los esfuerzos, donde las mallas tomarán las tracciones y los muros de adobe las compresiones. La resistencia a tracción es de 5.0KN/m.

Palabras Claves: Adobe, maguey, refuerzo, ensayo de tracción

ABSTRACT

Adobe is a construction material that has been used in both developed and non-developed countries. In the case of Peru, the use of this material is widely used in high Andean and low-resource areas, despite the high rate of housing built with this material, the main problems are reflected in low resistance and durability. According to research studies, the addition of reinforcements improves the tensile strength of the adobe elements, decreasing the appearance of fissures, delaying collapses in the face of telluric movements. For this reason, the present work aims to present a sustainable and economic proposal for reinforcement based on natural maguey fibers that improve the strength of adobe housing walls using the E.080 standard (Design and Construction with Reinforced Earth).

To evaluate the mechanical parameters of the proposal, tensile tests were carried out on several prototypes of biaxial meshes with spaced square openings, of which the characteristics that varied were spacing and diameters of ropes. As a result, the prototype that withstood the heaviest loads was the dimensions of 2.00 m x 0.70 in width and length respectively, and with square openings spaced every 2 centimeters, with ropes of 5 mm diameter. These will cover the walls of adobe houses internally and externally in order to ensure the compatibility of both elements to resist the efforts, where the meshes will take the tractions and the adobe walls the compressions. The tensile strength is 5.0 KN / m.

Keywords: Adobe, maguey, reinforcement, tensile test

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
Antecedentes.....	14
Realidad problemática	16
Formulación del problema.....	23
Hipótesis	23
Objetivo general	23
Objetivos específicos.....	24
Descripción del contenido	24
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	26
1.1 Adobe	26
1.1.1 Definición	26
1.1.2 Características del adobe	27
1.1.3 Factores que influyen en la baja resistencia del adobe.....	28
1.1.4 Disponibilidad de materiales para elaborar adobe en Colcabamba.....	28
1.1.5 Proceso de elaboración de adobe empírico.....	29
1.1.6 Proceso de elaboración de adobe aplicando la Norma E0.80 Diseño y Construcción con tierra reforzada.....	30
1.1.7 Refuerzos para el adobe.....	31
1.1.7.1 Refuerzo Externo.....	31
1.1.7.2 Refuerzo de adobe según la Norma E. 080 (Diseño y Construcción con Tierra Reforzada).....	32
1.2 Maguey	34
1.2.1 Definición y características	34
1.2.2 Propiedades físico mecánicas del maguey.....	35
1.2.3 Consideraciones de la malla de maguey	36
1.2.3.1 Procedencia del recurso maguey	36
1.2.3.2 Extracción de las fibras de maguey	37
1.2.3.2 Elaboración de la malla de maguey	38
1.3 Ensayos de laboratorio.....	40
1.3.1 Ensayo de compresión	40

1.3.2. Ensayo de tracción.....	41
1.4 Evaluación económica.....	42
1.4.1 Métodos de análisis para la evaluación económica.....	43
1.4.2 Tipos de análisis económico.....	43
CAPÍTULO 2: MATERIAL Y MÉTODOS	44
2.1 Material.....	44
2.1.1 Población	44
2.1.2 Muestra	45
2.2 Método.....	46
2.2.1 Nivel de Investigación.....	46
2.2.2 Diseño de Investigación.....	46
2.2.3 Variable de estudio y operacionalización.....	46
2.2.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	48
2.2.5 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	49
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE ENSAYOS.....	50
3.1 Plan de Ensayos.....	50
3.2 Procedimientos	51
3.2.1 Ensayos del adobe	51
3.2.2 Ensayos a la malla de maguey	55
CAPÍTULO 4: PROPIEDADES DE LA MEZCLA DE ADOBE.....	57
4.1 Diseño de mezcla tradicional de adobe	57
4.1.1 Muestreo, observaciones, encuestas	57
4.2 Propuesta de diseño de mezcla de adobe.....	57
4.2.1 Selección de material.....	57
4.2.2 Establecimiento de proporciones.....	58
4.2.3 Diseño de mortero para las juntas.....	60
4.3 Análisis de muestra.....	60
4.3.1 Ensayos de materiales.....	61
4.3.2 Preparación de la mezcla	68
4.3.3 Elaboración de las unidades de adobes	69
CAPÍTULO 5: PROPUESTA DE REFORZAMIENTO PARA MUROS DE ADOBE.....	74
5.1 Fundamento de la propuesta de reforzamiento.....	74
5.2 Estructura de la propuesta de reforzamiento	75

5.2.1 Malla de maguey	75
5.2.2.1 Descripción del pre-diseño de malla de maguey	75
5.2.2 Materiales para la mezcla de adobe	76
5.2.2.1 Unidades de adobe:.....	77
5.2.2.2 Mortero	77
5.3 Desarrollo de los componentes de la propuesta de reforzamiento	78
5.3.1 Pre-diseño de la malla de maguey	78
5.3.2.1 Detalle de los prototipos de la malla maguey	78
5.3.2.2 Ensayos de resistencia de las mallas de maguey	80
5.3.2 Construcción de muro.....	93
5.4 Modelo final de la propuesta	94
CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS DEL REFUERZO DE MAGUEY	96
6.1 Evaluación socio-económica de viviendas de adobe reforzadas con maguey.....	96
6.1.1 Beneficios de una vivienda de adobe reforzada	97
6.1.2 Costos del proyectos de viviendas reforzadas con adobe.....	98
6.2 Análisis económico comparativo del refuerzo de maguey	100
6.2.1 Análisis de precio unitario de la malla de maguey	101
6.2.2 Comparativo de precios de malla de fibra de maguey – geosintético	103
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES.....	105
CAPÍTULO 8: RECOMENDACIONES.....	108
ANEXOS	114
ANEXO N°1 – FORMATO DE ENCUESTA SOBRE LAS VIVIENDAS.....	115
ANEXO N°2 – DATOS OBTENIDOS DE LA ENCUESTA	117
ANEXO N°3 – FLUJOGRAMA BLOQUES DE ADOBE	119
ANEXO N°4 – FLUJOGRAMA MALLA DE MAGUEY.....	120
ANEXO N°5 – PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PROTOTIPOS DE MALLA	121
ANEXO N°6 – NORMA E.080 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Viviendas particulares según material predominante en las paredes exteriores en zonas rurales, 2007 -2016. INEI.....	17
Tabla 2. Viviendas particulares con ocupantes presentes, por material predominante en las paredes exteriores, según departamento.....	18
Tabla 3. Huancavelica: Viviendas particulares con ocupantes presentes, por material predominante	19
Tabla 4. Patologías comunes observadas en edificios de adobe.....	22
Tabla 5. Dimensión de la esbeltez de los muros de adobe que necesitan refuerzo	33
Tabla 6. Propiedades físicas de las fibras de coco, Abacá y Maguey	35
Tabla 7. Valores medios de módulo de tracción (E), resistencia a la rotura (σ), deformación de rotura (ϵ) de fibras de Agave no tratadas	36
Tabla 8. Evolución de las viviendas particulares de adobe en Colcabamba – Huancavelica	44
Tabla 9. Proyección final de las viviendas al año 2024.....	45
Tabla 10. Tabla de variables dependientes e independientes de la presente tesis	47
Tabla 11. Plan de ensayos para el Adobe	50
Tabla 12. Plan de ensayos para la Malla de Maguey	51
Tabla 13. Proporciones para un diseño de mezcla ideal.....	58
Tabla 14. Proporciones de nuestro diseño de mezcla.....	59
Tabla 15. Tabla de equivalencias	60
Tabla 16. Tabla de los pesos de la muestra a ensayar	62
Tabla 17. Análisis granulométrico de la muestra	63
Tabla 18. Datos para la determinación del Límite Líquido.....	66
Tabla 19. Datos para la determinación del Límite Plástico.....	68
Tabla 20. Ensayo de resistencia a compresión del adobe tradicional y adobe con la propuesta.....	72
Tabla 21. Prototipos de la malla	78
Tabla 22. Propiedades físicas de los especímenes.....	83
Tabla 23. Propiedades mecánicas de las fibras ensayadas	85
Tabla 24. Resumen de las propiedades físicas de los prototipos de malla	89
Tabla 25. Resumen de las propiedades mecánicas de los prototipos de malla.....	90
Tabla 26. Resultados de resistencia a la tracción de los prototipos.....	92

Tabla 27. Consideraciones del costo directo	99
Tabla 28. Análisis de precio unitario del refuerzo de maguey	102
Tabla 29. Precios de geomallas en el mercado peruano	103
Tabla 30. Resultados comparativos de los refuerzos de muros de viviendas de adobe	104

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Rajaduras observadas en una casa de adobe. Adaptado de «Evaluación del comportamiento sísmico de casas consistoriales», por Ruiz, 2017.....	15
Ilustración 2. Malla tejida con fibras naturales. Adaptado de «El Cultivo de consistoriales», por Otero, 2000.....	15
Ilustración 3. Gráfica de prevalencia de viviendas de adobe en Huancavelica. Elaboración propia.....	20
Ilustración 4. Aproximación de la distribución del Agave americana en el Perú. Adaptado de «Aporte del Agave americana a los servicios ecosistémicos en la comunidad campesina de Joras-Piura», por Rivera, 2016.....	21
Ilustración 5. Bloques de adobe. Adaptado de «Edificaciones Antisísmicas de Adobe», por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010.....	26
Ilustración 6. Gaveras o moldes para la elaboración de los bloques de adobe. Adaptado de «Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas», por Blondet, 2010.	27
Ilustración 7. Mapa del distrito de Colcabamba y la trayectoria del Río Mantaro. Adaptado de «Recorrido del río Mantaro», por Google, 2019.	29
Ilustración 8. Procesos para la elaboración de los bloques de adobe. Adaptado de «Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas», por Blondet, 2010.	31
Ilustración 9. Producción de Maguey en Churcampá, Huancavelica. Adaptado de «Propiedades químicas y creencias curativas populares del Maguey o Cabuya» por (Pineda & Uribarri, 2014).....	34
Ilustración 10. Ubicación geográfica de la extracción de maguey. Fuente Propia.....	37
Ilustración 11. Planta de maguey in situ, Trituramiento de las hojas del bagazo y proceso de secado de las hojas. Fuente propia.....	38
Ilustración 12. Hilos secos y agrupación de los 35 hilos secos para la formación de una cuerda. Fotografías propias.....	39
Ilustración 13. Elaboración de las cuerdas para la malla. Fotografía propia.....	39
Ilustración 14. Malla tejida de fibras de maguey. Fotografía propia.....	40
Ilustración 15. Toma de muestra por cuarteo. Fotografía propia.	61
Ilustración 16. Peso seco de la muestra. Fotografía propia.	62
Ilustración 17. Lavado de material. Fotografía propia.	64
Ilustración 18. Curva granulométrica de la muestra. Elaboración propia.	64
Ilustración 19. Ensayo de límite líquido de la muestra. Fotografía propia.....	65

Ilustración 20. Gráfica de Límite Líquido. Elaboración propia.	66
Ilustración 21. Formación de rollos de 3mm de diámetro hasta la fractura. Fotografía propia.	67
Ilustración 22. Carta de plasticidad. Adaptado de «Clasificación de Suelos para propósitos de Ingeniería (SUCS)», por ASTM, 2002.	67
Ilustración 23. Adición de arena a la mezcla para que cumpla con la propuesta. Y mezcla de tierra, paja, arena, arcilla y agua. Fotografías propias.	69
Ilustración 24. Procesos de moldeado y secado de bloques de adobe. Fotografías propias.	70
Ilustración 25. Bloque de adobe siendo ensayado en la Máquina Compresora. Fotografía propia.	71
Ilustración 26. Prototipo de la malla. Elaboración propia.	76
Ilustración 27. Secuencia para realizar los nudos de la malla. Elaboración propia.....	76
Ilustración 28. Espesor de la cuerda de la malla.....	80
Ilustración 29. Máquina Instron 182. Fotografía propia.....	82
Ilustración 30. Conjunto de fibras siendo ensayado. Fotografía propia.	84
Ilustración 31. Curva deformación – esfuerzo de las cuerdas de fibras de maguey. Elaboración propia.....	86
Ilustración 32. Representación gráfica de los prototipos T8 y T9. Elaboración propia.	88
Ilustración 33. Ensayo de tracción realizados en las mallas de maguey según la Norma I.N.V. E – 901 – 07, Método GRAB. Fotografías propias.	91
Ilustración 34. Curva deformación – esfuerzo de las mallas de fibras de maguey.....	91
Ilustración 37. Ubicaciones inseguras para viviendas. Adaptado de « Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas», por Blondet, 2010.....	98
Ilustración 37. Imagen referencial de una vivienda de un ambiente, con el refuerzo de la malla de maguey en base a la cual se hizo el análisis de costos. Adaptado de «Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas», por Blondet, 2010.....	101

INTRODUCCIÓN

Actualmente, alrededor del 30-40% de la población mundial vive en construcciones hechas de tierra. En el caso del Perú, este no es ajeno a esta situación, tal lo indica el INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) en sus censos nacionales del 2007 debido a que presenta un 35%, y gran parte de esta población se localiza mayoritariamente en las zonas rurales del país debido a sus condiciones socioeconómicas que los conllevan a la práctica de la autoconstrucción de sus viviendas. El problema principal de las construcciones a base de tierra es la baja resistencia estructural que tienen las unidades de albañilería hechas de este material, originada por los procesos constructivos deficientes (la autoconstrucción), la naturaleza frágil del material y la ausencia de refuerzos.

Estas prácticas predominan en las zonas altoandinas y rurales del Perú. Según registros estadísticos del INEI, en la última década, del total de las viviendas rurales contabilizadas, un promedio de 72.7% tienen como material predominante al adobe. En el ámbito nacional, Huancavelica es uno de los departamentos que presenta mayor índice (86.5%) de viviendas a base de adobe reflejando el hecho de tener un proceso constructivo sencillo y económico. Asimismo, la provincia de Tayacaja presenta la condición más crítica debido que esta mantiene un 92% de viviendas a base del material de tierra, motivo por el que se escogió esta provincia. Asimismo, en el distrito de Colcabamba existe una elevada disponibilidad de la planta silvestre maguey que puede ser usado como reforzamiento para las construcciones de adobe.

Es por esto que el uso de refuerzos en construcciones de adobe es un tema de estudio de gran relevancia, tanto para mejorar la seguridad de nuevas viviendas como para la rehabilitación de viviendas pre-existentes. El presente trabajo de tesis sobre la propuesta de malla de fibras naturales de maguey para optimizar el desempeño de muros de adobe empleado la norma E0.80 tiene por objetivo presentar una propuesta de refuerzo sostenible y económica que mejore las propiedades mecánicas de los muros de adobe.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Desde épocas prehistóricas, el adobe ha sido uno de los materiales de construcción más antiguos y su uso es muy común en zonas de alto riesgo sísmico. Ante esto, surgieron algunos estudios de investigación enfocados en el mejoramiento de la resistencia del adobe a través del uso de refuerzos, uno de los estudios plantea un sistema de autoconstrucción sismorresistente (Orta, Adell, Bustamante, & Martínez, 2016) en el cual emplean un refuerzo basado en armadura prefabricada de acero galvanizado en forma de cerchas que se entrelazan entre sí permitiendo mejorar la resistencia de las viviendas de adobe frente a un sismo. Asimismo, el estudio de reforzamiento de viviendas de adobe con madera confinada (Ruiz, Silva, Cerón, & López, 2017) plantea el uso de refuerzos de madera para disminuir el riesgo de fisuramiento y agrietamiento de los muros de las viviendas frente a movimientos sísmicos tal como se observa en la Ilustración 1 (Ruiz, 2017). Sin embargo, en estas investigaciones se hace uso de materiales poco económicos, por lo que su metodología no será utilizada.

De la manera en que se han planteado reforzamientos del adobe con materiales fabricados, también se implementó la adición de fibras naturales, como es el caso del refuerzo natural de *Grewia Optiva*¹ y *Pinus Roxburghii*² con el fin de mejorar la durabilidad y resistencia a la compresión (Sharma, Marwaha, & Vinayak, 2016). Los autores realizaron ensayos de durabilidad como la prueba de humectación y secado, la prueba de absorción y entre otros; obteniendo resultados favorables y llegando a la conclusión que la incorporación de fibras naturales a la estructura de los bloques de adobe es ventajosa. De esta manera, se mejora la construcción de paredes rurales a base de bloques de adobe reforzados.

¹ Las hojas de *Grewia Optiva* son usadas como forraje para animales, presenta tallos fibrosos y sus ramas se tiran como material de desecho (Sharma, Marwaha, & Vinayak, 2016).

² Una especie de Pino

Ilustración 1. Rajaduras observadas en una casa de adobe. Adaptado de «Evaluación del comportamiento sísmico de casas consistoriales», por Ruiz, 2017.

El Perú no es ajeno a las construcciones informales de adobe, pues en las zonas rurales las viviendas de este material aún predominan sin asesoramiento técnico, por lo que la resistencia estructural no se ve asegurada y es necesario que los elementos sean reforzados. La aplicación de mallas hechas de henequén, véase la Ilustración 2 (Otero, 2000) en edificaciones de adobe mejoró las condiciones de estabilidad, reduciendo las probabilidades de colapso ante un movimiento telúrico (Torres, 2016). Este material solo crece en zonas áridas, por lo que es necesario identificar la disponibilidad de los recursos que serán empleados para motivos de este trabajo de investigación.

Ilustración 2. Malla tejida con fibras naturales. Adaptado de «El Cultivo de consistoriales», por Otero, 2000.

De igual modo, debido a su bajo costo las construcciones a base de adobe continuarán siendo usadas en las regiones pobres de nuestro país, de manera que se han planteado factores claves para mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones de adobe (Blondet, Villa, Brzev, & Rubiños, 2011). Una de ellas es el uso de tecnologías de construcción mejoradas con refuerzo externo sísmico. Entre estas tecnologías destacan la implementación de las vigas de amarre y el uso de las mallas poliméricas. El primer método consiste en la colocación de vigas anulares de amarre sobre todas las paredes de las viviendas de adobe, y su ancho debe coincidir con el ancho de la pared. Y todas las juntas son clavadas y atadas firmemente con alambre de acero galvanizado externamente. Por otro lado, el segundo método se basa en el uso de geosintéticos (geomallas) que son unidos a las paredes de adobe durante su proceso constructivo. Se demostró a través de ensayos de mesas vibratorias y cargas laterales cíclicas aplicadas en modelos de viviendas de escalas considerables tras el movimiento telúrico ocurrido en Pisco en el año 2007 que los refuerzos externos aumentan la rigidez e incrementan la resistencia de los muros de adobe debido a que le otorgan confinamiento. Sin embargo, el costo del uso de las tecnologías descritas toma un rol importante al ser elevado, tratándose de zonas donde la población carece de recursos.

Realidad problemática

En la actualidad, es usual la autoconstrucción de viviendas debido a la indispensable necesidad de un alojamiento para el desarrollo de las familias a un bajo costo. Estas prácticas predominan en las zonas altoandinas y rurales del Perú. Como se observa en la Tabla 1 (INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017), en la última década, del total de las viviendas contabilizadas en el Censo, un promedio de 72.7% tienen como material predominante al adobe. Este registro evidencia que este es un recurso muy disponible y utilizado en estas zonas, pese a que tiene una baja resistencia estructural (compresión).

Tabla 1. Viviendas particulares según material predominante en las paredes exteriores en zonas rurales, 2007 -2016. INEI

Material predominante en las paredes exteriores	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Rural	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ladrillo o bloque de cemento	5.5	5.5	5.6	5.9	6.3	6.2	6.9	7.3	7.3	7.3
Piedra o sillar con cal o cemento	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.4	0.3	0.4	0.3
Adobe o tapia	72.2	73	73.7	73.4	72.3	72.9	72.3	72.1	72.5	72.5
Quincha (caña con barro)	2.2	1.9	1.8	2.2	2	1.7	1.8	1.6	1.5	1.4
Piedra con barro	3.9	3.5	3	3.1	3.4	3.7	3.2	3.3	2.9	3
Madera	8.2	9	9.4	9.9	10.5	10.7	11.4	11.3	11.5	11.7
Estera	0.6	0.8	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3
Otro material	7	6	5.7	4.8	4.9	4.2	3.6	3.7	3.6	3.5

Nota. El material de las viviendas en la zona rural del Perú que predomina es el adobe, en promedio un 72.7%. Adaptado de «Viviendas, según material predominante en las paredes exteriores y área de residencia», por INEI, 2008.

En el caso del Perú, Huancavelica, es uno de los departamentos que presenta mayor índice (86.5%) de viviendas a base de adobe, como se observa en la Tabla 2 (INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2006). Además, es de vital importancia resaltar que en esta zona de estudio predomina la autoconstrucción con este material por el hecho de tener un proceso constructivo sencillo y económico. El adobe, siendo una unidad de tierra cruda (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017), presenta una baja resistencia a la compresión, por ello tiene una corta durabilidad y causa daños

estructurales a las viviendas. Del mismo modo, debido a la falta de conocimiento sobre su elaboración correcta y el caso omiso de las consideraciones técnicas brindadas por la Norma E. 080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada se pueden presentar varios problemas en las construcciones con bloques de adobe.

Tabla 2. Viviendas particulares con ocupantes presentes, por material predominante en las paredes exteriores, según departamento

Departamento	Material predominante en las paredes exteriores de la vivienda								
	Total	Ladrillo o bloque de cemento	Adobe o tapia	Madera (pona, tornillo, etc.)	Quincha (caña con barro)	Estera	Piedra con barro	Piedra o sillar con cal o cemento	Otro material
Total	6 400 131	2 991 627	2 229 715	617 742	183 862	144 511	106 823	33 939	91 912
Amazonas	89 030	10 563	49 909	18 575	5 518	168	922	108	3 267
Ancash	248 398	81 643	142 584	3 150	2 613	15 150	1 587	201	1 470
Apurímac	104 787	8 636	91 707	385	326	159	3 085	59	430
Arequipa	286 291	200 397	22 497	2 885	7 057	12 843	10 280	25 609	4 723
Ayacucho	158 261	24 675	108 648	8 216	1 406	1 579	11 697	399	1 641
Cajamarca	325 399	46 810	249 578	5 114	12 278	438	10 247	157	777
Prov. Const. del Callao	198 682	136 430	6 765	46 640	3 353	3 383	96	254	1 761
Cusco	293 584	38 161	223 575	14 024	986	517	12 818	1 247	2 256
Huancavelica	111 275	5 845	96 258	346	311	208	7 631	163	513
Huánuco	175 534	35 917	107 753	25 638	1 556	356	2 561	130	1 623
Ica	167 923	74 409	50 044	2 157	4 713	28 439	210	79	7 872
Junín	287 035	103 721	125 529	40 631	9 163	442	2 179	311	5 059
La Libertad	364 226	127 913	224 802	1 439	1 879	4 452	2 128	389	1 224
Lambayeque	241 271	108 583	121 605	852	6 964	2 141	236	159	731
Lima	1 921 949	1 505 535	171 766	153 375	14 671	41 765	3 393	2 751	28 693
Loreto	170 831	49 406	1 242	113 829	829	1 918	148	114	3 345
Madre de Dios	26 516	8 541	155	16 484	71	66	7	70	1 122
Moquegua	47 557	25 869	13 796	1 130	449	4 900	995	72	346
Pasco	64 782	18 310	28 923	13 772	773	136	1 250	186	1 432
Piura	372 187	152 528	121 128	17 171	58 632	12 986	944	383	8 415
Puno	353 838	79 390	229 548	4 076	343	549	32 641	408	6 883
San Martín	167 587	52 193	27 720	51 440	30 671	501	906	333	3 823
Tacna	80 251	58 905	8 865	661	647	9 869	527	107	670
Tumbes	48 638	20 336	4 621	2 618	18 199	325	267	129	2 143
Ucayali	94 299	16 911	697	73 134	454	1 221	68	121	1 693
Lima Metropolitana 1/	1 916 773	1 558 203	87 036	196 613	13 107	29 451	1 268	2 761	28 334
Lima Provincias 2/	203 858	83 762	91 495	3 402	4 917	15 697	2 221	244	2 120

Nota. Las viviendas con material adobe predominan en los departamentos del Perú. Adaptado de «Material de construcción de las viviendas», por INEI, 2008.

Según los datos obtenidos en la Tabla 3 (INEI, 2008), se puede observar que la mayor concentración de viviendas de adobe se encuentra en las provincias de Huancavelica y Tayacaja, donde los porcentajes de viviendas de adobe son casi el 100% del total, a esto se suma la situación económica que afronta su población. Tal como se visualiza en la Ilustración 3, la provincia de Tayacaja presenta la condición más crítica debido que esta localidad mantiene un 92% de viviendas a base del material de tierra, motivo por la que se escogió esta provincia. Asimismo, en el distrito de Colcabamba existe una elevada disponibilidad de la planta silvestre maguey.

Tabla 3. Huancavelica: Viviendas particulares con ocupantes presentes, por material predominante

Provincia	Material predominante en las paredes exteriores																	
	Total		Ladrillo o bloque de cemento		Adobe o tapia		Madera		Quincha		Estera		Piedra con barro		Piedra, sillar con cal o cemento		Otro material	
	1993	2007	1993	2007	1993	2007	1993	2007	1993	2007	1993	2007	1993	2007	1993	2007	1993	2007
Total	87 619	111 275	1 932	5 845	73 217	96 258	434	346	756	311	66	208	10 169	7 631	812	163	233	513
Huancavelica	22 606	33 548	1 111	4 183	17 541	26 530	67	92	91	27	8	44	3 374	2 491	312	105	102	76
Acobamba	9 864	14 895	73	217	8 544	14 265	12	13	181	17	4	9	966	345	77	8	7	21
Angaraes	10 326	13 518	365	466	8 067	11 587	32	24	142	60	1	20	1 609	1 205	61	18	49	138
Castrovirreyna	5 489	5 978	93	133	4 500	4 777	24	16	76	49	25	40	688	780	57	3	26	180
Churcampá	9 555	11 054	120	241	8 683	10 424	22	39	83	14	3	6	559	296	76	12	9	22
Huaytará	6 125	6 777	27	135	4 661	5 309	22	24	53	39	4	32	1 250	1 181	98	7	10	50
Tayacaja	23 654	25 505	143	470	21 221	23 366	255	138	130	105	21	57	1 723	1 333	131	10	30	26

Nota. Al año 2007. Adaptado de «Censos Nacionales de Población y Vivienda, 1993 y 2007», por INEI, 2008.

Ilustración 3. Gráfica de prevalencia de viviendas de adobe en Huancavelica. Elaboración propia

En vista de que en la localidad de estudio predominan las viviendas de adobe y muchos estudios han demostrado que los refuerzos con geomalla y mallas electrosoldadas (1) otorgan una mejor estabilidad, (2) incrementan la resistencia de los muros retrasando su colapso ante movimientos sísmicos y (3) controlan los desplazamientos, se plantea un tipo de refuerzo similar que no afecte la situación económica de los pobladores de la zona. Por este motivo, se propone realizar mallas de un material muy disponible en Huancavelica: el maguey. Asimismo, se cuenta con literatura (Sahu, 2017) que indica que este material tiene propiedades físicas y mecánicas que pueden desempeñar un comportamiento similar a los refuerzos ya mencionados.

En cuanto a la distribución geográfica de la planta silvestre del maguey (Agave Americana), se puede observar de la Ilustración 4 (Rivera, 2016) que en el departamento de Huancavelica la existencia en gran cantidad de este recurso natural es representativo.

Ilustración 4. Aproximación de la distribución del Agave americana en el Perú.
 Adaptado de «Aporte del Agave americana a los servicios ecosistémicos en la comunidad campesina de Joras-Piura», por Rivera, 2016.

Este problema conlleva a riesgos como fisuras, infiltraciones, humedad por capilaridad, hundimientos, hasta posibles colapsos de los predios y entre otras patologías como se observa en la Tabla 4 (Rodriguez, et al., 2014). Es por este motivo que asegurar una óptima resistencia de los bloques de adobe es indispensable para un ingeniero civil, pues se estaría conllevando a “(1) evitar pérdida de vidas humanas, (2) asegurar la continuidad de los servicios básicos y (3) minimizar los daños a la propiedad.” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

Tabla 4. Patologías comunes observadas en edificios de adobe.

Patología observada	Porcentaje de edificios dañados
Humedad en las paredes debido a la capilaridad	80%
Revestimientos internos de la pared desprendidos, con daños que cubren el 40-60% del área total, y principalmente en la mitad inferior de la pared	70%
Recubrimientos interiores de paredes desprendidas, con daños que cubren el 5-10% del área total, y principalmente sobre los zócalos de la pared	60%
Humedad en paredes debido a lluvias o salpicaduras	40%
Grietas oblicuas, casi 45 ° de apertura, debajo de los espacios de las ventanas	30%
Grietas horizontales en las paredes	30%
Daños generales en dinteles	20%
Grieta vertical sobre los dinteles de las puertas	10%
Grietas diagonales cerca de la esquina del dintel	10%
Grietas diagonales entre dinteles adyacentes	10%
Grieta vertical cerca del marco de la puerta	10%

Nota. Las viviendas de adobe presentan varias patologías, existen investigaciones respecto a las relacionadas con el contacto con el agua. Adaptado de «Some recommendations for the construction of walls using adobe bricks», por Rodriguez et al., 2014.

Formulación del problema

¿Cómo mejorar el desempeño mecánico de los muros de viviendas de adobe empleando la norma E.080 (Diseño y Construcción con Tierra Reforzada) en Colcabamba – Huancavelica?

Hipótesis

La presente propuesta de refuerzos mallas de fibras de maguey mejora el desempeño en resistencia de muros de adobe en el distrito de Colcabamba – Huancavelica.

Objetivo general

Crear una propuesta sostenible y económica para el refuerzo a base de fibras naturales de maguey que mejore el desempeño en resistencia de los muros de las viviendas de adobe haciendo uso de la norma E.080 (Diseño y Construcción con Tierra Reforzada) en Colcabamba – Huancavelica.

Objetivos específicos

Los objetivos específicos se indican a continuación:

- Determinar las características y propiedades mecánicas del suelo empleado en la elaboración de las viviendas de adobe del distrito de Colcabamba.
- Elaborar una propuesta de reforzamiento para muros de adobe que aporte resistencia.
- Evaluar los costos y beneficios de la propuesta de refuerzo de maguey a través de un análisis comparativo.

Descripción del contenido

En la primera parte se desarrollarán las generalidades del tema de investigación, teniendo en consideración los antecedentes, el planteamiento, formulación del problema y los objetivos.

En el segundo capítulo se presentará el sustento teórico de la investigación, así como las características y propiedades tanto del adobe y maguey, también los ensayos de laboratorio pertinentes como los de compresión y tracción.

Así, en la tercera parte se detalla la metodología del presente tema de investigación, abarcando los ensayos y descripción de estos para los diversos elementos de la propuesta de reforzamiento.

En la cuarta parte se abordarán las características y propiedades mecánicas del suelo empleado en la elaboración de las unidades de adobe para las viviendas del distrito de Colcabamba.

En la quinta parte se describe la propuesta, explicando el fundamento de la investigación, el pre diseño detallando los componentes y los distintos prototipos para el refuerzo de

fibras naturales de maguey. Asimismo, se realizan los ensayos de laboratorio de las propuestas planteadas de mallas de maguey determinando de esa forma su resistencia a la tracción.

En la sexta parte se desarrolla la evaluación económica del refuerzo de maguey, incluyendo el APU de la implementación del refuerzo de viviendas y la comparación de esta con el uso de geomallas.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se da a conocer el sustento teórico de la presente investigación relacionados con los cuatro objetivos, abarcando los temas desde el adobe, maguey, ensayos de laboratorio y la evaluación económica.

1.1 Adobe

1.1.1 Definición

Se define el adobe como una unidad de tierra cruda, véase la Ilustración 5 (MVCS, 2010), que puede estar mezclada con paja, arena gruesa u otro material para mejorar su resistencia a la compresión y durabilidad y a la vez favorecer su estabilidad ante la presencia de agentes externos (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017).

Ilustración 5. Bloques de adobe. Adaptado de «Edificaciones Antisísmicas de Adobe», por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010.

1.1.2 Características del adobe

El suelo usado para la conformación del adobe debe presentar la siguiente gradación: arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55-70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010); validándolo con la prueba “Cinta de Barro”³ y la prueba “Presencia de arcilla”⁴ con el fin de controlar y evitar las fisuras durante el secado. Asimismo, la adición de paja permite regular el agrietamiento del adobe y mortero.

Los bloques de adobe pueden ser cuadrados y rectangulares, generalmente de 40 x 40 x 10 cm y 40 x 20 x 10 cm respectivamente. El material es introducido en las gaveras de madera y presenta las siguientes dimensiones tal como se observa en la Ilustración 6 (Blondet, 2010).

Ilustración 6. Gaveras o moldes para la elaboración de los bloques de adobe. Adaptado de «Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas», por Blondet, 2010.

³ Consiste en elaborar un cilindro de 12 mm de diámetro con la muestra de barro a emplear y dejarla descolgar lo más que se pueda. Si la cinta alcanza una longitud entre 20 cm y 25 cm, el suelo es muy arcilloso. Si se corta a los 10 cm, el suelo presenta poco contenido arcilloso. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017)

⁴ Consiste en la formación de 4 esferas con la muestra de barro a emplear y dejarla secar por 48 horas. Después de este tiempo, se presionan con el dedo pulgar. Si una esfera se rompe o presenta grietas el material no es óptimo. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017)

Se utiliza la menor cantidad de agua que logre activar la arcilla existente con el fin de alcanzar la máxima resistencia seca de los muros, por lo que la cantidad de agua requerida para moldear las unidades de adobe, no debe pasar del 20% respecto al peso del contenido seco.

1.1.3 Factores que influyen en la baja resistencia del adobe

Las características de los suelos que tienen mayor influencia en la resistencia de las unidades de adobe son aquellas relacionadas con el proceso de contracción por secado o con la resistencia seca del material.⁵ Las características influyentes son:

Arcilla: el componente más importante del suelo; provee la resistencia seca y causa la contracción por secado del suelo.

Control de la microfisuración del mortero de barro debida a la contracción por secado: requerido para obtener albañilería de adobe fuerte.

Aditivos: paja y en una menor proporción arena gruesa son aditivos que controlan la microfisuración del mortero durante la contracción por secado y, por ende, mejoran la resistencia de la albañilería de adobe.

Construcción: la calidad de la mano de obra juega un papel importante en obtener una albañilería de adobe fuerte, resultando en variaciones de resistencia globales del orden del 100%.

1.1.4 Disponibilidad de materiales para elaborar adobe en Colcabamba

En el distrito de Colcabamba existe una gran disponibilidad de los recursos básicos para la construcción de viviendas de adobe. Según los datos obtenidos del Ministerio de Agricultura, en Huancavelica se cultiva a gran escala cebada y heno, los cuales son la

⁵ Blondet, Marcial. (2003) Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos: Tutor

materia prima para obtener la paja. Así también, de la forma en que se puede apreciar en la Ilustración 7 (Google, 2019) existe una suficiente disponibilidad de agua debido a la cercanía del Río Mantaro, riachuelos, puquíos y manantiales. Asimismo, en las zonas pantanosas aledañas al río y riachuelos existen depósitos aluviales de arcilla, arena y conglomerado.

Ilustración 7. Mapa del distrito de Colcabamba y la trayectoria del Río Mantaro.

Adaptado de «Recorrido del río Mantaro», por Google, 2019.

1.1.5 Proceso de elaboración de adobe empírico

En la actualidad en las zonas rurales del Perú la construcción de viviendas de adobe sigue siendo una práctica empírica y artesanal. Tanto es así que los mismos pobladores se encargan del diseño, la fabricación de las unidades de adobe y todo el proceso constructivo de las viviendas. El proceso de elaboración empírico es el siguiente: Primero se realiza el mezclado de la tierra, arcilla y agua. Este proceso puede realizarse con los pies y eventualmente con lampas. Luego, al barro elaborado se le agrega paja o ichu de tal manera que esta se mezcle uniformemente. Posteriormente, se deja descansar el barro

por dos o tres días y se procede al moldeo y secado. El moldeo se realiza utilizando moldes sin fondo y vaciando la mezcla en el molde directamente sobre el tendal.⁶ Además, en este tipo de prácticas constructivas no se realiza ningún ensayo de calidad en la selección de los materiales, “por lo que se utilizan muchas veces suelos muy ricos en arcilla y otras veces suelos con poca presencia de arcilla, lo cual hace que la unidad de albañilería sea de poca resistencia en ambos casos. El suelo utilizado otras veces es de cultivo y contiene residuos orgánicos, lo cual se refleja en la mala calidad del adobe”.⁷

1.1.6 Proceso de elaboración de adobe aplicando la Norma E0.80 Diseño y Construcción con tierra reforzada

El proceso de elaboración de bloques de adobe, tal como se puede apreciar a través de la Ilustración 8 (Blondet, 2010), presenta los siguientes pasos:

- a) Preparación del barro para los adobes: Zarandear la tierra para retirar partículas o piedras mayores a 5 mm y otros elementos extraños.
- b) Humedecer la tierra echándole agua para activar la mayor cantidad de partículas de arcilla por 48 horas como mínimo.
- c) Hacer la mezcla con el barro y la adición de paja de caña, trigo o ichu para luego introducirlo en las gaveras y emparejar la superficie usando una regla de madera húmeda.
- d) Colocar los bloques de adobe elaborados bajo tendales para protegerlos del sol y del viento. Asimismo, se debe espolvorear arena fina para eliminar restricciones durante el encogimiento de secado.

⁶ Irala, Carlos. (1986) Estudio sísmico experimental de muro de adobe.

⁷ Irala, Carlos. (1986) Estudio sísmico experimental de muro de adobe.

Ilustración 8. Procesos para la elaboración de los bloques de adobe. Adaptado de «Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas», por Blondet, 2010.

1.1.7 Refuerzos para el adobe

Para estos refuerzos se plantean:

1.1.7.1 Refuerzo Externo

Por un lado, se han establecido aquellos basados en la aplicación de mallas envolventes al muro, de diferentes tipos de materiales naturales o industriales. Por otro lado, hay un tipo de mejoramientos externos basados en revestimientos reforzados con aditivos.

- Refuerzos externos basados en el uso de mallas

En algunas ocasiones el comportamiento sísmico de la mampostería de adobe se caracteriza por el fallo repentino de los muros y el colapso se debe a su conducta frágil, puesto que carece de resistencia a los esfuerzos de tracción. A esto se suma las malas prácticas constructivas, que crean una deficiente unión entre el mortero y los bloques de los muros (Torrealva, Vargas, Blondet, 2006). Adicionalmente, la mampostería de adobe es masiva y pesada, generando altos niveles de fuerza sísmica (Blondet et al, 2007); todo ello provoca en los muros:

- Separaciones en las uniones entre muros adyacentes.

- Aparición de grietas en las esquinas de muros y vanos
- Desprendimientos de fragmentos de muro en forma de grandes bloques.
- Separación de la estructura de la cubierta.

La malla de refuerzo exterior, en varios ensayos de simulación sísmica en mesas inclinadas y vibratorias, aumentó la ductilidad y resistencia a la flexión de los muros y, en los casos de rotura de los mismos, el refuerzo mantuvo juntos los grandes bloques, evitando desplazamientos excesivos y aumentando la estabilidad (Tolles, Kimbro, & Ginell, 2002).

Asimismo, los refuerzos verticales de la malla limitan las flexiones hacia afuera del plano, los desplazamientos de corte del mismo, además retrasan la aparición de grietas y mejoran el vínculo del muro a la cimentación, así como a la viga collar. Los refuerzos horizontales restringen los esfuerzos de corte entre los muros adyacentes, transmiten las fuerzas exteriores del plano a los muros de corte y detienen las fisuras verticales.

- Revestimientos reforzados con aditivos

Existen refuerzos como las fibras naturales, el cemento y las mallas metálicas junto con el mortero de cemento para los revestimientos de muros. Por otro lado, estos revestimientos, además de proteger al muro de agentes como la humedad y las plagas, pueden aumentar rigidez del mismo y la resistencia inicial a la cizalladura, limitando los desplazamientos laterales y los agrietamientos.

1.1.7.2 Refuerzo de adobe según la Norma E. 080 (Diseño y Construcción con Tierra Reforzada)

La norma E.080 (Diseño y Construcción con Tierra Reforzada) indica que un factor importante que determina el uso de algún tipo de refuerzo depende de la esbeltez del

muro. Los refuerzos especiales tienen el objetivo de mejorar la conexión en los encuentros de muros o aumentar la ductilidad de los muros. Dentro de los refuerzos especiales más usados se tienen caña, madera o similares, malla de alambre y columnas de concreto armado (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017).

Tabla 5. Dimensión de la esbeltez de los muros de abobe que necesitan refuerzo

Esbeltez	Arriostres y Refuerzos Obligatorios	Espesor mín. Muro (m)	Altura mín. Muro (m)
$\lambda \leq 6$	Solera	0,4 - 0,5	2,4 - 3,0
$6 \leq \lambda \leq 8$	Solera + elementos de refuerzos horizontal y vertical en los encuentros de muros	0,3 - 0,5	2,4 - 4,0
$8 \leq \lambda \leq 9$	Solera + elementos de refuerzos horizontal y vertical en toda la longitud de los muros	0,3 - 0,5	2,7 - 4,5

Nota. Los refuerzos se usan de acuerdo a la esbeltez de los muros. Adaptado de «Norma E.080. Diseño y construcción con tierra reforzada», por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017.

Refuerzo con Caña madera o similares: Estos refuerzos serán tiras, colocadas horizontalmente cada cierto número de hiladas (máximo cada 4 hiladas) y estarán unidas entre sí mediante amarres adecuados en los encuentros y esquinas. Podrán usarse en los encuentros y esquineros de los muros o en toda la longitud de los muros, dependiendo de lo indicado en la Tabla 5 (MVCS, 2017).

Refuerzo con Malla de alambre: refuerzo exterior aplicado sobre la superficie del muro y anclado adecuadamente a él. Deberá estar protegido por una capa de mortero de cemento – arena de 4 cm aproximadamente. La colocación de la malla puede hacerse en una o dos caras del muro, en cuyo caso se unirá ambas capas mediante elementos de conexión a través del muro. Su uso es eficiente en las esquinas asegurado un traslape adecuado.

Refuerzo con Columnas y vigas de concreto armado: Este refuerzo debe utilizarse en casos en que el espesor del muro no exceda los 25 cm y se utilice para unir los adobes un mortero que contenga cemento para poder anclar alambre de ¼” cada tres hiladas con la finalidad de conseguir una adecuada transmisión de esfuerzos entre el muro y la columna.

1.2 Maguey

1.2.1 Definición y características

El Maguey, también conocido como Cabuya o Agave Americana, es una planta resistente de hojas en roseta, gruesas y carnosas, dispuestas sobre un tallo corto cuya piña inferior no sobresale de la tierra. Sus hojas están rígidas, con marginal y espinas del apical; guarda la insulina en el árbol y produce fructosa, como se observa en la Ilustración 9 (Pineda & Uribarri, 2014). Su uso principalmente es para fabricar sogas y cordelería, y actualmente se está usando para la elaboración de papel, filtros, colchones, tapetes y tapicería. Se usa cada vez más para reforzar materiales compuestos de plástico, en particular para partes de automóviles.

Ilustración 9. Producción de Maguey en Churcampa, Huancavelica. Adaptado de «Propiedades químicas y creencias curativas populares del Maguey o Cabuya» por (Pineda & Uribarri, 2014)

1.2.2 Propiedades físico mecánicas del maguey

Las fibras obtenidas de las plantas de Maguey presentan una buena resistencia a la tracción, y es relativamente alta con respecto a otras fibras como el benote (fibras de coco). A su vez, presenta un bajo alargamiento. Estos resultados se aprecian a continuación en la Tabla 6 (Lejano & Pineda, 2018).

Tabla 6. Propiedades físicas de las fibras de coco, Abacá y Maguey

Fibra	Resistencia a la tracción	Elongación
Fibra de Coco	112.6 N/g.m.	20.43%
Abacá	215.9 N/g.m.	2.59%
Maguey	232.3 N/g.m.	2.59%

Nota. Las fibras de maguey y de abacá tienen una elevada resistencia a la tracción. Adaptado de «Investigación de los efectos de diferentes fibras naturales en la fuerza de los bloques de tierra combinados estabilizados», por Lejano y Pineda, 2018.

Con respecto a las propiedades mecánicas (Módulo de elasticidad, esfuerzo a la ruptura) de la Agave Americana, tipo de Maguey disponible en Colcabamba, se puede observar los valores para el módulo de tracción son de 7-22 GPa y la resistencia a la tracción 340-700 MPa. Siendo estos valores significativamente altos, mientras que la tensión de ruptura (3-15%) sigue siendo inferior, véase la Tabla 7 (Bessadok, Marais, Roudesli, & Lixon, 2008). Es importante mencionar que estas diferencias dependen de la estructura y la composición de las fibras, del mismo modo de las condiciones de medición (temperatura, humedad, dimensión de las fibras, cumplimiento, etc.)

Tabla 7. Valores medios de módulo de tracción (E), resistencia a la rotura (σ), deformación de rotura (ϵ) de fibras de Agave no tratadas

Radio de fibras de Agave (μm)	σ (Mpa)	ϵ (%)	E (Gpa)
60 - 80	154 ± 47	16.4 ± 8.2	2.9 ± 1.2
80 - 100	65 ± 42	13.6 ± 11.9	1.9 ± 0.6
100 - 120	80 ± 12	22.3 ± 6.0	1.3 ± 0.2
120 - 140	70 ± 21	19.1 ± 10.7	1.4 ± 0.3
60 - 140	100 ± 32	19.3 ± 8.2	1.7 ± 1.1

Nota. Adaptado de « Influence of chemical modifications on water-sorption and mechanical properties of Agave fibres», por Bessadok et al., 2008.

1.2.3 Consideraciones de la malla de maguey

Para entender la propuesta del reforzamiento hecho con fibras de maguey que aporte resistencia a los muros de adobe, es necesario explicar la técnica de reforzamiento que se seguirá, la procedencia y la extracción del recurso maguey

1.2.3.1 Procedencia del recurso maguey

Para el refuerzo necesario de las construcciones a base de adobe en Colcabamba – Huancavelica se optó por utilizar un material económico y disponible en esta zona de estudio: el maguey. Este recurso crece en las laderas de los cerros de forma silvestre y los pobladores no aprovechan al máximo las propiedades que posee dado que generalmente lo usan como cercos perimetrales vivos. Las fibras de esta planta fueron extraídas de la ubicación geográfica que se muestra en la Ilustración 10. La locación se encuentra en el

fundo Pía del distrito de Colcabamba a una altura de 2635 msnm y fue seleccionado debido a la presencia de ejemplares de hasta 2 metros de altura. Para esta investigación, fue necesario recolectar 3 muestras de magueyes maduros con sus ramificaciones en óptimo estado que implican hojas no dañadas ni completamente secas para la facilitación de extracción de sus fibras.

Ilustración 10. Ubicación geográfica de la extracción de maguey. Fuente Propia

Las muestras seleccionadas fueron introducidas en unas bolsas de polietileno (plástico) con el cuidado necesario para no dañar sus hojas y de esa manera dar paso a la extracción de sus fibras.

1.2.3.2 Extracción de las fibras de maguey

Para la extracción de las fibras se realizó el método tradicional del hervor (Sahu, 2017). El proceso mencionado consiste en hervir las hojas de las plantas de maguey. Esta cocción se basa en la colocación de las plantas ya cortadas sobre el fuego y rotarlas cuando cambie de color. Después, estas hojas son golpeadas para obtener las fibras, tal como se observa en la Ilustración 11. Cabe indicar que el uso de guantes fue necesario para este proceso porque al momento de triturar las plantas, los componentes químicos del jugo del maguey

son expulsados y producen picor en la piel. Posteriormente, estas fibras son limpiadas y lavadas con agua para luego ser secadas al sol durante unas semanas para obtener fibras utilizables. En este caso, cinco semanas fueron necesarias para secar las fibras en su totalidad.

Ilustración 11. Planta de maguey in situ, Trituramiento de las hojas del bagazo y proceso de secado de las hojas. Fuente propia

Las fibras después del proceso de secado fueron colocadas en bolsas de plástico y trasladadas al laboratorio de ensayos (Lima), en donde se elaboró el diseño de mallas con estas fibras.

1.2.3.2 Elaboración de la malla de maguey

La malla de fibras de maguey es un producto artesanal y para el control del contenido de humedad de las fibras, estas fueron secadas a la intemperie por un periodo de 50 días. La preparación de la malla se llevó a cabo mediante el siguiente proceso:

- En primer lugar, se juntaron entre 35 y 40 hilos largos extraídos de las fibras del maguey completamente secos con sumo cuidado con el fin de evitar romper su estructura, como se aprecia en la Ilustración 12. Las fibras deben tener una

longitud de 50 cm. Este valor fue tomado en cuenta por los estudios realizados por Danso H. et. al. Así, de los cuales en conjunto se obtuvo de cuerdas de 5 a 8 mm de diámetro.

Ilustración 12. Hilos secos y agrupación de los 35 hilos secos para la formación de una cuerda. Fotografías propias.

- En segundo lugar, repitiendo el primer paso se elaboraron 20 cuerdas de las mismas características con el mismo procedimiento ya detallado para los diferentes diámetros, según se muestra en la siguiente Ilustración.

Ilustración 13. Elaboración de las cuerdas para la malla. Fotografía propia.

- En tercer lugar, se realizó el tejido de las 20 cuerdas, creando una malla cuadrada con aberturas cuadradas de 2.0 cm, 2.5 cm y 3.0 cm, como se logra mostrar en la siguiente Ilustración:

Ilustración 14. Malla tejida de fibras de maguey. Fotografía propia.

Mediante el proceso descrito líneas arriba, se podrá obtener la malla de fibras de maguey la cual tiene dimensiones semejantes a la de una geomalla (tamaño de las aberturas).

1.3 Ensayos de laboratorio

Fueron los siguientes:

1.3.1 Ensayo de compresión

Es uno de los ensayos de laboratorio empleados para obtener los esfuerzos de rotura mínimos bajo cargas de compresión y medir la resistencia del material (Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.080 Diseño y Construcción con tierra reforzada) con el siguiente procedimiento:

- La resistencia se mide mediante el ensayo de compresión del material en cubos de 0.1 m de arista.
- La resistencia última se obtiene a partir de la siguiente expresión: $f_o = 1.0 \text{ Mpa} = 10.2 \text{ kgf / cm}^2$.
- Las unidades con caras cuadradas (cubos) de adobe o muestras de tapial deben cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada.
- En el caso del tapial, de no existir muestras secas, se recomienda elaborar muestras comprimidas en moldes de 0.1 x 0.1 x 0.15 m. con 10 golpes de un mazo de 5 kg de peso. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017, p. 15).

1.3.2. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción se realizará bajo el procedimiento de la Norma INVE-901-07 “Método para la determinación de la carga de rotura y la elongación de geotextiles (Método GRAB) y esta norma tiene como objeto lo siguiente:

Esta norma consiste en aplicar al espécimen una carga que se incrementa continuamente, en sentido longitudinal, hasta alcanzar la rotura. Los valores para la carga de rotura y la elongación del espécimen de ensayo se obtienen de las escalas o diales de las máquinas, de diagramas de registro autográficos o de computadores interconectados. (Instituto Nacional de Vías, 2012), p. 1.

De este ensayo se obtienen las propiedades mecánicas de las muestras tales como los límites de proporcionalidad, elasticidad, fluencia y rotura. Y, en forma simultánea se miden la magnitud de la carga aplicada y la elongación respectiva de los especímenes.

Asimismo, el coeficiente de seguridad de los elementos a traccionar debe ser de 2.5 para considerar cargas admisibles.

1.4 Evaluación económica

La evaluación económica tiene por objetivo determinar las ventajas y desventajas de la inversión en un proyecto, ello sucede durante la implementación de este. La evaluación económica es un método de análisis muy útil que se utiliza para tomar decisiones durante la ejecución de un proyecto (Sabalza, 2006).

Por un lado, es frecuente confundir la evaluación económica con la evaluación financiera. La evaluación financiera abarca únicamente el tema monetario, la rentabilidad es decir los flujos de dinero.

Por otro lado, la evaluación económica concentra en su análisis tanto los costos monetarios y los beneficios expresados en otras unidades relacionadas con las mejoras en las condiciones de vida, es decir beneficios de tipo social.

Una definición de “evaluación económica” es la siguiente:

“Análisis comparativo de las acciones alternativas tanto en términos de costos como de beneficios”⁸

Como indica la definición, para realizar un análisis económico es preciso cuantificar los costes y los beneficios. Por ello se dice que una limitación de la evaluación económica es que se puede cuantificar con facilidad los costos, en cuanto a los beneficios estos de complican ya que no se tratan de beneficios monetarios.

⁸George W. Torrance (1991): Métodos para la evaluación de los programas de atención de salud. Ed. Diaz de Santos, Madrid.

1.4.1 Métodos de análisis para la evaluación económica

En primer lugar, es importante conocer el objeto de evaluación (los indicadores), y determinar los costos y beneficios, para poder iniciar el análisis económico. En el caso de las viviendas, al igual que en otros sectores de trabajo, sería normal que se presenten costes diferentes para edificaciones similares, porque pueden influir notablemente factores como la accesibilidad del lugar (encareciendo o abaratando los costes de transporte de materiales), o el hecho de que sean antisísmicas (aumentando el coste).

Es así que en estos casos sería importante diseñar un tipo de relación asignando ponderaciones a costes o a beneficios de modo que sean comparables los resultados obtenidos en distintos lugares.

1.4.2 Tipos de análisis económico

Se distinguen tres tipos de análisis económico según las características de los beneficios:

- **Análisis Coste – Utilidad (ACU):** Los beneficios identificados se expresan en una escala de utilidad. Ayuda a establecer un orden según la “bondad” de actuaciones alternativas.
- **Análisis Coste – Efectividad (ACE):** Compara costes en unidades monetarias con beneficios expresados en otro tipo de unidades. Permite elegir entre alternativas que podrían cumplir unos mismos objetivos con diferentes costes.
- **Análisis Coste – Beneficio (ACB):** Expresa costes y beneficios en unidades monetarias. Permite valorar la rentabilidad de la acción según criterios objetivos.

CAPÍTULO 2: MATERIAL Y MÉTODOS

Un requisito primordial en toda investigación es el capítulo de material y métodos. En la presente, se detalla la manera en la que se realizó el estudio, calculando una proyección de viviendas nuevas de adobe en el distrito de Colcabamba al año 2024 y los métodos empleados, contemplando el plan de ensayos y sus respectivos procedimientos.

2.1 Material

2.1.1 Población

La población que será beneficiaria en este proyecto de investigación son las viviendas nuevas de adobe en la localidad de Colcabamba – Huancavelica, es por esto que se realizó una proyección de las viviendas para el año 2024 teniendo en cuenta los tres últimos censos realizados en el país (INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017), tal como se registra en la tabla 8.

Tabla 8. Evolución de las viviendas particulares de adobe en Colcabamba – Huancavelica

AÑO	VIVIENDAS	INCREMENTO ANUAL MEDIO	CRECIMIENTO MEDIO (%)
1993	2894	21	0.69%
2007	3186	12	0.38%
2017	3310		

Nota. Elaboración Propia

Con los datos recolectados se calcula la proyección de viviendas al año 2024 con los métodos aritméticos, geométrico y el gráfico. La tabla 9 muestra los datos obtenidos de la proyección final.

Tabla 9. Proyección final de las viviendas al año 2024

Métodos	Proyección final	Proyección final
Método Aritmético	3,397	3,406
Método geométrico	3,371	
Método gráfico	3,452	

Nota. Elaboración Propia

La proyección final es de 3406 viviendas de adobe como material predominante en las paredes en la localidad de Colcabamba – Huancavelica para el año 2024 y como nuestro material de estudio son las viviendas nuevas, la población es la diferencia entre la cantidad final y lo existente, siendo 96 casas el resultado final.

2.1.2 Muestra

Para esta parte, se usó de base la norma del Instituto Nacional de vías de Colombia (I.N.V. E – 902 – 07 “Método para la determinación de la carga de rotura y la elongación de Geotextiles”), que plantea que las muestras estén conformadas por 10 especímenes, en este caso por cada prototipo de malla de maguey, cuando se realicen ensayos de laboratorio en la dirección de la máquina para tener más confiabilidad.

2.2 Método

2.2.1 Nivel de Investigación

El presente trabajo de investigación es de nivel exploratorio, debido a que se está estudiando un material nuevo e innovador en el área de los refuerzos de adobe.

2.2.2 Diseño de Investigación

El diseño que se llevará a cabo para la presente tesis será mediante el método experimental en vista de que se busca medir y evaluar el efecto de la variable independiente sobre la dependiente.

Cabe mencionar que este método es el más adecuado dado que se pretende analizar la eficiencia de fibras naturales de maguey como refuerzo de los muros adobe de viviendas y los resultados pueden ser evidenciados mediante ensayos (en forma experimental) los cuales dependerán de las variables de estudio.

2.2.3 Variable de estudio y operacionalización

Con el fin de cumplir los objetivos planteados en la presente tesis, fue de suma importancia analizar un conjunto de variables con sus unidades de medidas e instrumentos de investigación correspondientes, los cuales se detallan en la Tabla 10:

Tabla 10. Tabla de variables dependientes e independientes de la presente tesis

Variable	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Instrumento de Investigación
INDEPENDIENTE X: Características y propiedades mecánicas del suelo de Colcabamba	X1: Tipo de suelo	% arcilla, tierra y arena	% CL-ML	Granulometría de Límites de Atterberg
DEPENDIENTE: Y: La baja resistencia del adobe	Y1: Resistencia a la compresión	Resistencia última a la compresión	Kg/cm2	Ensayo a la compresión
	Resistencia a la tracción	Resistencia última a la tracción	Kg/cm2	Ensayo a la tracción
INDEPENDIENTE X: Desarrollar un refuerzo que aporte resistencia a viviendas de adobe	X1: Resistencia a la tracción	%	KN/m	Ensayo de tracción
DEPENDIENTE: Y: Diseño de mallas de fibras naturales de maguey	Y1: Diámetro espaciamientos	Resistencia última a la tracción	KN/m	Ensayo de tracción
INDEPENDIENTE X: Resistencia de la malla de maguey	X1: Resistencia a la tracción	Resistencia última a la tracción	KN/m	Ensayo de tracción
DEPENDIENTE: Y: Ensayo de tracción	Y1: Resistencia a la tracción	Resistencia última a la tracción	Kg/cm2	Ensayo a la tracción
INDEPENDIENTE X: Evaluación económica del refuerzo	X1: Beneficio	Precio	S/. KN/m2	Cuadro comparativo
DEPENDIENTE: Y: Análisis de precio unitario de la malla de maguey	Y1: Beneficio	Precio por unidad	Kg/cm2	Cuadro comparativo de precios

Nota. Elaboración Propia

2.2.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

- Técnica

Durante la primera etapa del proyecto, la recolección de datos se obtuvo mediante la revisión de la literatura, básicamente para la elaboración de las propuestas (el diseño de mezcla de adobe y el diseño del prototipo de mallas) y la construcción del muro.

Por otro lado, para la segunda etapa del proyecto, los datos serán recolectados de forma experimental, en otras palabras, mediante ensayos de laboratorio. De los ensayos realizados, se obtendrán datos que representan el comportamiento mecánico de las mallas de refuerzo en estudio para muros de adobe.

- Instrumentos

Papers y bibliografía: Se hace la revisión de material bibliográfico que guarda relación y fundamenta el presente trabajo de investigación.

Internet: Herramienta tecnología útil para la búsqueda de información actualizada para el desarrollo de la investigación.

Equipos y maquina: Para la primera etapa de preparación de las muestras se analiza las propiedades y características de los materiales necesarios para la preparación de la mezcla del adobe haciendo el uso de tamices, balanza, martillo de goma, horno, etc.

Durante la segunda etapa de análisis de la resistencia a tracción de los prototipos planteados de malla de maguey mediante ensayos de tracción se usó maquinaria como: compresora universal Instron 182.

2.2.5 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Debido al diseño y metodología del presente trabajo de investigación es necesario procesar los datos mediante cálculos matemáticos, para lo cual se realiza el análisis mediante el siguiente proceso:

Inicialmente para analizar los datos obtenidos de las propiedades y características de los materiales mediante ensayos de granulometría los datos se procesan usando el software Microsoft Excel 2017.

En la siguiente etapa de Diseño de mezcla también se usa el software Microsoft Excel 2017.

En la etapa de procesamiento de resultados se usa el software Microsoft Excel 2017 para la obtención de gráficas y el análisis se realiza mediante la comparación de resultados que se obtienen de cada prototipo de las mallas de refuerzo de maguey.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE ENSAYOS

El presente trabajo de investigación es del tipo experimental, por ello se realizarán ensayos de laboratorio a los materiales de construcción utilizados con el fin de determinar las características y propiedades mecánicas de estos, con el fin de comprobar si cumple o no con los estándares establecidos en las normas empleadas en este capítulo.

3.1 Plan de Ensayos

El plan de ensayos se detalla en la tabla N°11 y tabla N° 12, en los cuales se precisan las normas en las que se fundamentan cada uno de los ensayos realizados.

Tabla 11. Plan de ensayos para el Adobe

Elemento	Ensayo	Tamaño de muestra	Duración	Norma de referencia
Adobe	Granulometría	Según norma	1 día	ASTM D - 422 MTC 2016 (Análisis Granulométrico por Tamizado)
	limite liquido	Según norma	1 día	ASTM D - 4318 MTC 2016 (Límite Líquido)
	Limite plástico	Según norma	1 día	ASTM D - 4318 MTC 2016 SUCS (Límite Plástico)
	Compresión	Según norma	1 día	Norma E.080 (Diseño y Construcción con Tierra Reforzada)

Nota. Elaboración propia

Tabla 12. Plan de ensayos para la Malla de Maguey

Elemento	Ensayo	Tamaño de muestra	Duración	Norma de referencia
Malla	Tracción	Según Norma	1 día	ASTM D – 6637 (Método de prueba estándar para determinar las propiedades de tracción de las geomallas mediante el método de una o varias redes)
				Norma I.N.V. E – 901 – 07 Método para la determinación de la carga de rotura y la elongación de geotextiles (método GRAB)

Nota. Elaboración propia

3.2 Procedimientos

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se realizaron varios ensayos para identificar el tipo de suelo, sus características y ensayos destructivos de tracción y compresión. Para el análisis de las unidades adobe y el refuerzo de maguey, los procedimientos para cada ensayo se detallan a continuación:

3.2.1 Ensayos del adobe

Durante la elaboración de las unidades de adobe, el porcentaje de arcilla que debe contener la tierra que se usará para la mezcla es muy importante, ya que la arcilla favorece la cohesión entre las partículas para la formación del barro, de esta manera se puede

controlar y evitar las fisuras durante el secado. Es por ello que se realizaron ensayos de granulometría para determinar el porcentaje de arcilla, de arena y limos. Además, se realizó ensayos de límite líquido y límite plástico para clasificar el tipo de suelo con el que se elaborara las unidades de adobe. Los ensayos realizados en el presente trabajo de investigación son los que se muestran a continuación:

Análisis granulométrico

El ensayo granulométrico sirve para determinar el porcentaje de suelo que pasa por los tamices de diferentes numeraciones, hasta el tamiz 75 μ m (N°200). Cuyo objetivo es determinar la distribución de tamaños de las partículas de suelo, este ensayo está referenciado en la Norma ASTM D 422.

Equipos y Materiales:

- Balanza calibrada
- Estufa
- Tamices de malla cuadrada 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N140, N°200 y fondo.
- Envases
- Cepillo y brocha.

Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz N°200

- Separar mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos
- Calcular la humedad, pesando una porción de 10 a 15 gr de uno de los cuarteos anteriores y secar en el horno, pesan de nuevo y anotar los pesos obtenidos.
- Lavar la muestra sobre el tamiz N°200 repetidas veces.
- La muestra retenida llevar al horno a secar, volver a pesar y anotar.
- Efectuar los cálculos del análisis por tamizado y graficar en la curva granulométrica.

Limite líquido

Con el ensayo de límite líquido del suelo se puede identificar el estado cuando este se encuentra entre el estado plástico y el estado líquido. El instrumento utilizado para este ensayo es la copa de Casagrande.

Equipos y materiales:

- Recipiente de porcelana de 115 mm de diámetro.
- Espátula
- Instrumento de Casagrande
- Acanalador
- Balanza
- Estufa

Procedimiento:

- Colocar en la vasija de porcelana una porción de la muestra de suelo y añadir a 15 a 20 ml, amasándola y trabajándola con la espátula e ir adicionando agua en pequeñas cantidades.
- Colocar una muestra de suelo en la taza de bronce del instrumento de Casa grande, cubriendo toda la taza, acomodando con la espátula haciendo pasadas de adelante hacia atrás.
- Hacer una ranura con el acanalador, con una sola pasada.
- Con la manijilla del instrumento de Casagrande deslizar la taza de bronce generando golpes, los cuales deben ser contados hasta que ambas mitades del suelo se pongan en contacto. Repetir el procedimiento unas 3 veces.
- Calcular el contenido de humedad de uno de los ensayos realizados. Trazar la curva de fluidez.

Limite plástico

Es un ensayo que sirve para medir la plasticidad de las arcillas, ya que la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, si no circunstancial y de dependiente de su contenido de agua.

Equipos y materiales:

- Espátula de hoja flexible
- Recipiente
- Balanza
- Horno
- Tamiz N° 40
- Agua destilada
- Superficie de rodadura

Procedimiento:

- Preparar la muestra, tomar 20 gr de la muestra que pasa el tamiz N°40 y añadir agua destilada hasta formar una masa.
- Tomar una porción de la muestra y rodarla con los dedos sobre una superficie lisa formando cilindros.
- Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm no se ha desmoronado, se repite el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone.
- La porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o, se continúa el proceso hasta acumular 6 g de suelo y se determina el contenido de humedad.
- Calcular el promedio de los contenidos de humedad.

Ensayo de Compresión

El ensayo de compresión se realizará siguiendo el procedimiento que indica la Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada.

Equipos y materiales:

- Compresora universal Instron
- Placas metálicas
- Especímenes de adobe en cubos de 0.1 m de arista

Procedimiento:

- Colocar el espécimen en la compresora.
- Aplicar la carga sobre el espécimen a una velocidad constante, hasta que el espécimen falle.

3.2.2 Ensayos a la malla de maguey

Tracción

El ensayo de tracción de la malla de adobe se realizará siguiendo la Norma del Instituto Nacional de Vías, I.N.V. E – 901 – 07 Método para la determinación de la carga de rotura y la elongación de geotextiles (método GRAB). Esta norma consiste en colocar un espécimen sin tensión, para determinar su resistencia a la tracción.

Equipos y materiales:

- Compresora universal Instron
- Mordaza o accesorios para sujetar la malla
- Malla de maguey

Procedimiento:

- Colocar los accesorios de sujeción o mordazas en los extremos de la máquina de ensayo.
- Asegurar los especímenes en las mordazas de la máquina de ensayo, en ambos extremos de la malla.

- Configurar la máquina para que opere a una velocidad de 300 ± 10 mm/min.

CAPÍTULO 4: PROPIEDADES DE LA MEZCLA DE ADOBE

Para la determinación de las características y propiedades mecánicas de la mezcla de adobe para las viviendas del distrito de Colcabamba, es necesario comprender los siguientes ítems:

4.1 Diseño de mezcla tradicional de adobe

4.1.1 Muestreo, observaciones, encuestas

El adobe es casi siempre construido al pie de obra, esto quiere decir que se prepara la tierra con el material que se encuentra localmente disponible en la zona donde se pretende construir, por lo que las proporciones de insumos están en función de las características propias del suelo (granulometría). Para definirlo se utilizó el Anexo N°1, que fue el instrumento para la recolección de datos (Encuesta sobre el estado situacional de las viviendas de Colcabamba).

4.2 Propuesta de diseño de mezcla de adobe

4.2.1 Selección de material

La selección de material de tierra tiene que cumplir con los siguientes requisitos:

- El suelo no debe incluir piedras de tamaño mayor a 5 cm.

- Evitar la presencia de restos orgánicos y una manera de identificarlo es mediante la inspección visual: el suelo orgánico es color negruzco.
- Asegurarse de no usar tierra salitrosa, cuyas características de la tierra es el color blanquecino y sabor salado (Tejada, 2001).

4.2.2 Establecimiento de proporciones

Para determinar las proporciones de los insumos de la mezcla de adobe, se recopiló información de textos normativos y estudios de investigación, a continuación, se resumen las cantidades de insumos de la mezcla para la tierra en la siguiente tabla (MVCS, 2017) donde se aprecian los rangos de cada uno de los componentes:

Tabla 13. Proporciones para un diseño de mezcla ideal

INSUMO	RANGO	
	mín.	máx.
Arena	55%	70%
Arcilla	10%	20%
Limo	15%	25%
Paja	7%	10%
Agua	12%	15%
Otros	0.50%	1%

Nota. Rangos de los insumos de la mezcla de adobe. Adaptado de «Norma E.080 Diseño y Construcción con tierra de reforzada», por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017.

Está claro que la tierra debe contener suficientes cantidades de arena y arcilla. Un adecuado porcentaje de arena gruesa en suelos arcillosos disminuye la aparición de fisuras dado que estas le atribuyen su capacidad portante, mientras que un buen porcentaje de arcilla logra la cohesión entre las partículas para la formación del barro (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017). Es por estos motivos que para nuestra propuesta de mezcla de nuevo adobe se manejarán las siguientes proporciones reflejadas en la tabla 14:

Tabla 14. Proporciones de nuestro diseño de mezcla

INSUMO	CANTIDAD
Arcilla y limo	60%
Arena ⁹	15%
Paja	10%
Agua	15%
Otros	0.50%

Nota. Elaboración propia.

Asimismo, Blondet et al. (2010), plantean equivalencias de los insumos para facilitar la elaboración de la mezcla, reflejadas en la tabla siguiente:

⁹ Según la literatura revisada, la arena es un material que reduce el agrietamiento y fisuramiento del adobe (agregar referencia norma), por lo que en nuestro diseño de mezcla se está tomando en cuenta como un insumo opcional debido a que la adquisición de este material genera un costo adicional.

Tabla 15. Tabla de equivalencias

INSUMO	EQUIVALENCIA
Tierra	5 latas
Arena	1 lata
Paja	1 lata
Agua	½ lata

Nota. Los componentes básicos de la tierra son la arena, la arcilla y el limo. Adaptado de «Manual de Construcción con adobe reforzado con geomallas», por (Blondet, Vargas, Torrealva, & Rubiños, 2010)

4.2.3 Diseño de mortero para las juntas

El mortero es usado para la unión de los bloques de adobe (juntas) y ha de tener una composición muy similar a la que se usó previamente en la elaboración de la mezcla.

La norma E. 080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada exige que sea un barro mezclado con paja o con arena gruesa.

4.3 Análisis de muestra

Se obtuvo una muestra de tierra procedente de la zona de estudio (Colcabamba – Huancavelica), la cual fue trasladada hasta el laboratorio UPC HUB San Miguel para ser utilizada en la mezcla y elaboración de los bloques de adobe, con el fin de comparar los resultados que se obtendrían a) del adobe elaborado empíricamente en la zona con los conocimientos de los pobladores y b) del adobe elaborado siguiendo los lineamientos de la norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada y nuestra propuesta.

4.3.1 Ensayos de materiales

De modo que la muestra tratada cumpla con la propuesta de proporciones, fue necesario realizarle un análisis granulométrico, del cual se obtienen los porcentajes que pasan y se quedan retenidos en cada tamiz para poder identificar la composición cuantitativa de la distribución de la muestra. Debido a que el volumen fue vasto, se procedió a tomar una muestra representativa del total mediante un proceso de cuarteo, mostrado en la Ilustración 15. Y, según el tamaño máximo nominal de partículas, se evaluó una porción mayor de 115g. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), mayo de 2016).

Ilustración 15. Toma de muestra por cuarteo. Fotografía propia.

El peso de la muestra representativa se ve reflejada en la Tabla N° 16 y fue secada como se aprecia en la Ilustración 16:

Tabla 16. Tabla de los pesos de la muestra a ensayar

Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)
383.5	344.7

Nota. Elaboración propia.

Ilustración 16. Peso seco de la muestra. Fotografía propia.

El material seco fue lavado como se observa en la Ilustración 17, con el fin de poder separar las partículas finas de las gruesas y poder realizar la gradación, de la cual se obtuvieron los siguientes resultados plasmados en la Tabla 17:

Tabla 17. Análisis granulométrico de la muestra

N TAMIZ"	MALLA mm	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
3/8 "	9.52	0.7	0.9669	0.9669	99.0331
1/4 "	6.3	1.7	2.3481	3.3149	96.6851
N° 4	4.75	5.2	7.1823	10.4972	89.5028
N° 10	2	7.1	9.8066	20.3039	79.6961
N° 20	0.85	9.9	13.674	33.9779	66.0221
N° 30	0.6	12.1	16.7127	50.6906	49.3094
N° 40	0.52	5.1	7.0442	57.7348	42.2652
N° 50	0.3	6.1	8.4254	66.1602	33.8398
N° 80	0.18	10.9	15.0552	81.2155	18.7845
N° 140	0.106	9.6	13.2597	94.4751	5.5249
N° 200	0.075	3.9	5.3867	99.8619	0.1381
FONDO		0.1	0.1381	100	0
TOTAL		72.4	100		

Nota. Elaboración propia.

Ilustración 17. Lavado de material. Fotografía propia.

Del ensayo realizado, se determinó que el porcentaje de arenas que contiene la muestra es 25%, por lo que es necesario adicionar arena para que alcance el porcentaje de arena de la propuesta. La curva granulométrica se muestra en la Ilustración 18, que refleja los porcentajes de material pasantes y que quedaron retenidos en cada tamiz.

Ilustración 18. Curva granulométrica de la muestra. Elaboración propia.

Clasificación del tipo de suelo

Para determinar el tipo de suelo de la muestra a emplear en la elaboración de las unidades de adobe se realizó el ensayo de Límites de Atterberg. Los límites de Atterberg son también conocidos como límite líquido y plástico los cuales sirven para caracterizar los suelos finos.

Límite líquido:

Se realizó el procedimiento de límite líquido usando la cuchara de Casagrande tres veces, obsérvese la Ilustración 19, para tres pequeñas muestras con diferentes porcentajes de humedad. Y, la tabla 18 muestra los datos obtenidos.

Ilustración 19. Ensayo de límite líquido de la muestra. Fotografía propia.

Tabla 18. Datos para la determinación del Límite Líquido

Ítem	Tarro 1	Tarro 2	Tarro 3
N° de golpes	16	22	27
Suelo húmedo + tarro	44.9	40.4	42.5
Suelo seco + tarro	44.1	39.5	41.1
Peso del agua	0.8	0.9	1.4
Peso del tarro	38.6	34.8	35.3
Peso suelo seco	5.5	4.7	5.8
% humedad	14.55%	19.15%	24.14%

Nota. Elaboración propia.

Según los datos obtenidos para las 3 muestras, se determinó el valor del Límite Líquido que es 15 y se ve reflejado en la Ilustración 20.

Ilustración 20. Gráfica de Límite Líquido. Elaboración propia.

Del mismo modo, respecto al ensayo del Límite Plástico, realizado sobre una placa de vidrio como se observa en la Ilustración 21, del cual, se obtuvieron los datos mostrados en la Tabla N° 19.

Ilustración 21. Formación de rollos de 3mm de diámetro hasta la fractura. Fotografía propia.

Ilustración 22. Carta de plasticidad. Adaptado de «Clasificación de Suelos para propósitos de Ingeniería (SUCS)», por ASTM, 2002.

Tabla 19. Datos para la determinación del Límite Plástico.

Límite Plástico	
Ítem	Tarro 4
Suelo húmedo + tarro	23.1
Suelo seco + tarro	22.4
Peso del agua	0.7
Peso del tarro	12.95
Peso suelo seco	9.45
% humedad	7.407
LP	7.407
IP	7.593

Nota. Elaboración propia.

Asimismo, con los resultados granulométricos y al juzgar por los valores del $LL = 15$ y del $IP = 7$, se pudo distinguir el suelo donde fue obtenida la muestra (Colcabamba), clasificándolo como un limo arcilloso de baja plasticidad (CL - ML) mediante el sistema S.U.C.S. utilizando la Carta de plasticidad (Ilustración 22).

4.3.2 Preparación de la mezcla

Para el diseño de los 10 bloques de adobe (5 para los bloques tradicionales y la diferencia para la propuesta) se requirió una mezcla aproximada de 180 kilos de material. Este recurso fue mezclado con agua y a la vez con una adición de arena que fue medida con dos latas tal como se observa en la Ilustración 23.

Ilustración 23. Adición de arena a la mezcla para que cumpla con la propuesta. Y mezcla de tierra, paja, arena, arcilla y agua. Fotografías propias.

4.3.3 Elaboración de las unidades de adobes

Siguiendo las consideraciones de la norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, se dejó dormir el barro por 48 horas y se procedió a colocarlo en el molde para luego acomodar los bloques producidos en un ambiente libre para el secado de estos. En la Ilustración 24 se observa detenidamente lo mencionado.

Ilustración 24. Procesos de moldeado y secado de bloques de adobe. Fotografías propias.

Después de un periodo de 28 días de secado, se evaluaron los dos tipos de bloques de adobe mediante el ensayo de esfuerzo de rotura mínima, con el objetivo de estimar la resistencia a la compresión alcanzada (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017). Según este ensayo, los dos tipos de adobe cumplieron con los parámetros de la norma ($f_o = 1.0 \text{ Mpa}$) y fueron ensayados en la Máquina Universal de Compresión en el HUB de San Miguel como se muestra en la Ilustración 25.

Ilustración 25. Bloque de adobe siendo ensayado en la Máquina Compresora. Fotografía propia.

La Tabla N° 20 plasma los resultados del ensayo de resistencia a la compresión (kg/cm^2) de los 10 especímenes, utilizando la Máquina Universal Compresora, el cual se realizó bajo la Norma Técnica Peruana E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada.

Tabla 20. Ensayo de resistencia a compresión del adobe tradicional y adobe con la propuesta

ESPECI MEN	BLOQUE				ENSAYO DE COMPRESIÓN		
	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Área (cm ²)	Carga Rot. (kg)	F'c Obt. (kg/cm ²)
BLOQUE -01	10.19	10.21	10.14	104.04	121	1158.7	11.137
BLOQUE -02	10.18	10.15	10.08	103.33	121	1165.3	11.278
BLOQUE -03	10.14	10.19	10.21	103.33	121	1186.3	11.481
BLOQUE -04	10.12	10.17	10.19	102.92	121	1207.3	11.730
BLOQUE -05	10.23	10.16	10.2	103.94	121	1238.2	11.913
BLOQUE -06	10.14	10.11	10.21	102.52	121	1381.3	13.474
BLOQUE -07	10.06	10.09	10.18	101.51	121	1391.4	13.708
BLOQUE -08	10.15	10.18	10.14	103.33	121	1395.3	13.504
BLOQUE -09	10.18	10.22	10.21	104.04	121	1402.7	13.482
BLOQUE -10	10.21	10.24	10.14	104.55	121	1410.8	13.494

Nota. Elaboración propia

Según los resultados obtenidos, los bloques de adobe provenientes de Colcabamba lograron alcanzar la resistencia mínima establecida por la norma E.080 (Diseño y

Construcción con Tierra Reforzada) de $f_o = 10.02 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días de edad. Como resultado final, los bloques de adobe elaborados alcanzaron una resistencia a la compresión de $13,53 \text{ kgf/cm}^2$.

CAPÍTULO 5: PROPUESTA DE REFORZAMIENTO PARA MUROS DE ADOBE

Para entender la propuesta del reforzamiento hecho con malla de maguey que aporte resistencia a los muros de adobe, es necesario explicar el fundamento que se seguirá, asimismo, se plantean los elementos que lo componen y, el pre diseño de la malla y los prototipos planteados, determinando la resistencia a tracción de cada uno de ellos.

5.1 Fundamento de la propuesta de reforzamiento

El uso de refuerzos externos en muros de viviendas adobe tiene el propósito de retardar el colapso de la estructura durante eventos naturales como un terremoto. Según estudios realizados, se han planteado diversos refuerzos externos con una variedad de materiales como, por ejemplo: refuerzo con tablas de madera, sogas de ½ pulgada, malla de gallinero, mallas electrosoldadas, geomallas, etc. Según el investigador M. Blondet (2010) una alternativa para construir viviendas de adobe más seguras es mediante el refuerzo de los muros con geomallas (mallas de polipropileno). Las viviendas reforzadas externamente tienen un mejor comportamiento sismorresistente frente a sismos que pueden afectar la seguridad de la población.

El fundamento de la técnica de refuerzo con malla reside en que el refuerzo envuelva los muros de adobe, lo que les va a permitir trabajar en conjunto. La malla se une a la mampostería de adobe mediante cuerdas que atraviesan el muro y que son colocadas en las juntas de mortero durante el proceso constructivo. La malla debe estar además anclada al cimiento en la parte inferior del muro y anclarse a la viga collar.

5.2 Estructura de la propuesta de reforzamiento

La propuesta de reforzamiento para muros de adobe está compuesta por los siguientes componentes esenciales: la mezcla de adobe (insumo con el que se prepara los bloques de adobe y el mortero) y la malla de maguey que envuelve externamente los bloques de adobe. Estos materiales se describen a continuación:

5.2.1 Malla de maguey

Realizando el proceso ya detallado de extracción de fibras de la planta de maguey bajo el método del hervor, se elabora la malla, elemento que tiene dimensiones similares a la de una geomalla.

5.2.2.1 Descripción del pre-diseño de malla de maguey

Con la agrupación de las fibras extraídas del maguey se elaborará la malla, cuyo diseño debe asegurar la unión de los muros, especialmente ante eventos sísmicos donde los muros de adobe tienden a separarse y fisurarse provocando colapsos debido a fallas frágiles. Por lo mencionado, las mallas naturales planteadas son del tipo biaxial y el modelo del prototipo de malla y detalle de la unión se aprecian en la ilustración 26 y 27 correspondientemente.

Ilustración 26. Prototipo de la malla. Elaboración propia.

Ilustración 27. Secuencia para realizar los nudos de la malla. Elaboración propia

5.2.2 Materiales para la mezcla de adobe

La mezcla de adobe está compuesta por tierra, arena, arcilla y paja, todos estos materiales solidos se mezclan con agua, formando la mezcla la cual se vaciará en moldes para elaborar las unidades de adobe.

5.2.2.1 Unidades de adobe:

La tierra, arena, arcilla y paja son los elementos fundamentales para hacer adobe, por ello deben cumplir ciertas características para determinar la calidad del adobe.

Características:

- Gradación del suelo con esta aproximación: arcilla 10- 20%, limo 15-25% y arena 55-70%.
- El incremento del % arcilla podría generar grietas internas por contracción durante el secado.
- El incremento de % de arena genera pérdida de cohesión.
- No se debe usar suelo con contenido orgánico, por que genera perdida de resistencia a la compresión.

Para la propuesta, se elaborarán bloques de adobe con dos tipos de dimensiones: adobes completos de 40x40x10 cm y medios adobes de 40x20x10 cm, los cuales serán asentados de soga.

5.2.2.2 Mortero

El mortero es el elemento que se usa para de unión de las unidades de adobe. Los materiales para hacer el mortero son: el barro (tierra con agua), paja y arena.

Características

- El mortero debe tener una consistencia trabajable, por ello se debe emplear la cantidad de agua que sea necesaria.

- No se debe usar suelo con contenido orgánico, porque genera pérdida de resistencia a la compresión.

5.3 Desarrollo de los componentes de la propuesta de reforzamiento

El proceso constructivo de los muros reforzados con malla seguirá las pautas planteadas en el Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de M. Blondet (2010), usando la malla de maguey en sustitución de la geomalla.

5.3.1 Pre-diseño de la malla de maguey

Se busca que la malla propuesta funcione como un refuerzo de material natural tejido y que envuelva en su totalidad a los muros de adobe. Esto, con la finalidad de aportar resistencia debido al confinamiento y rigidez que provee este tipo de malla a las paredes de las viviendas y será analizada mediante ensayos de tracción para determinar sus propiedades mecánicas y físicas.

5.3.2.1 Detalle de los prototipos de la malla maguey

Se han planteado 12 prototipos para la malla de maguey, los cuales se diferencian en diámetro y en el espaciamiento de cada abertura. Estas características se pueden plasmar en la Tabla 21:

Tabla 21. Prototipos de la malla

Prototipo	Diámetro (cm)	Espaciamiento (cm)
T1	0.50	2.00
T2	0.50	2.50
T3	0.50	3.00
T4	0.60	2.00
T5	0.60	2.50
T6	0.60	3.00
T7	0.70	2.00
T8	0.70	2.50
T9	0.70	3.00
T10	0.80	2.00
T11	0.80	2.50
T12	0.80	3.00

Nota. Elaboración propia

Donde:

- El tamaño de abertura de rejilla, denominado como el espaciamiento, varía entre 2.00 a 3.00 centímetros.
- El espesor, denominado como diámetro de la cuerda, varía entre 0.50 a 0.80 centímetros. Un claro ejemplo se observa en la Ilustración 28.

Ilustración 28. Espesor de la cuerda de la malla

En el caso del prototipo T2, las cuerdas de la malla están conformadas por un conjunto de alrededor 30 fibras de maguey que conforman una cuerda de espesor con diámetro de 5 mm aproximadamente y las cuerdas tejidas biaxialmente forman aberturas rectangulares de 2.5 cm por cada lado. En donde se forman las uniones o interconexiones, las cuales proporcionan estabilidad estructural y dimensional al elemento (Raid & K., 2012). Este modelo se asemeja al diseño de las geomallas con el fin de comparar los valores de resistencia a la tracción de estos dos tipos de refuerzos. Con estos modelos, se busca determinar cuál es el mejor prototipo con el fin de salvaguardar a los habitantes de las viviendas ante movimientos laterales que producen grandes desplazamientos.

5.3.2.2 Ensayos de resistencia de las mallas de maguey

Para la determinación de la resistencia a la tracción de las mallas existen diversos métodos según la literatura revisada, de los cuales se escogieron dos: Prueba de una sola cuerda de la malla en tensión y la prueba de múltiples cuerdas de la malla en tensión. Con estos ensayos, se logra medir la resistencia última que alcanzan los materiales en estudio bajo una carga aplicada a una velocidad de 10 mm/min hasta llegar a la rotura. Estos ensayos

fueron llevados a cabo en el Laboratorio de materiales de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas – San Miguel (HUB – UPC) en una máquina universal marca Instron 182, como se aprecia en la Ilustración 29, con los especímenes con las características que se muestran en el siguiente párrafo. Asimismo, es importante detallar que para el primer método se ensayó individualmente cuerda por cuerda, debido a las características de la máquina. Y, para la realización del segundo, se ensayaron diversos prototipos de mallas cuadradas de cuerdas con los accesorios adecuados. Del mismo modo, debido a la influencia de la temperatura en el comportamiento mecánico de los materiales sometidos a ensayos de tracción (Girones, Mateo, L., & Anglada, 2001), fue necesario acondicionar todas las fibras de maguey a una temperatura $21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas previas a la realización del ensayo dado que un incremento en la temperatura de prueba disminuiría la resistencia.

A) Prueba experimental para cuerda de malla según norma ASTM D 6637 (Método A de prueba estándar)

El objetivo de este ensayo es obtener la fuerza de las uniones de las fibras en unidades de fuerza mediante la máquina ya mencionada controlada por una computadora. Como no existen estándares de los ensayos a tracción del maguey se aplicó la metodología de la norma ASTM D 6637 “Método de prueba estándar para determinar las propiedades de tracción de las geomallas mediante el método de una o varias redes”– método A “Probando una sola red de geomalla en tensión” para la obtención de los resultados.

Mediante este ensayo, se someten a tracción cuerdas de maguey que se adaptan a fracciones de redes de geomallas, respetando las longitudes mínimas y el número de especímenes, con el fin de obtener los valores de fuerzas máximas de rotura y extensiones finales para obtener la resistencia a tracción.

Ilustración 29. Máquina Instron 182. Fotografía propia.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES A ENSAYAR

- Longitud: 15 cm
- Espesor: 5 mm.
- Cada cuerda está conformada por un alrededor de 40 hilos o fibras de maguey.
- La cantidad de especímenes a ensayar fueron 11 cuerdas con el fin de despreciar cualquier valor atípico.

Cabe señalar que, para la correcta medición de los especímenes, cada una de las fibras fueron alisadas mediante la colocación de un peso encima de estas dado que estos hilos, al momento de su extracción, son de naturaleza enmarañada. Posteriormente, los extremos de los hilos agrupados fueron fijados a un extremo de la regla de medición de la máquina marca Instron de modo que estén suspendidos por gravedad y de este modo

se obtuvo la medición de las fibras. En la Tabla N°22 se presentan los valores de las propiedades físicas de los especímenes.

Tabla 22. Propiedades físicas de los especímenes

N° de espécimen	Masa (gramos)	Longitud inicial (cm)	Diámetro inicial (cm)	Área (cm ²)
1	3.8	15.8	0.52	0.21
2	3.9	15.6	0.53	0.22
3	4	15.7	0.53	0.22
4	4.1	16	0.54	0.23
5	3.6	15.2	0.51	0.20
6	3.9	15.6	0.51	0.20
7	4	15.3	0.52	0.21
8	4.2	16.2	0.53	0.22
9	3.9	15.2	0.53	0.22
10	4	15.1	0.51	0.20
11	4	15	0.5	0.20

Nota. Elaboración propia.

Procedimiento del ensayo

La Ilustración 30 refleja el inicio del ensayo con la calibración de la máquina universal aplicándole una carga inicial constante de 1kg a modo de prueba tras haber preparado todas las muestras. Habiendo realizado este proceso, se da inicio a la ejecución del ensayo

y se sujeta cada extremo de la cuerda (inferior y superior) al centro de las mordazas o dientes de la máquina. Se debe asegurar que cada punta se encuentre correctamente sujeta con la fuerza necesaria pues del caso contrario se pueden soltar y no se obtendría la curva de deformación. Luego, se aplica la carga a una velocidad de 10 mm/min y se registran los datos de cargas últimas hasta que el espécimen llegue a la rotura. Durante este proceso se observa como los especímenes van cambiando de comportamiento. Cuando se observa que la tendencia de la gráfica de Esfuerzo Vs. Deformación va disminuyendo se detiene la prueba.

Ilustración 30. Conjunto de fibras siendo ensayado. Fotografía propia.

Según las pruebas de laboratorio, se obtuvieron los resultados plasmados en la tabla N° 23 en cuanto a la resistencia de los especímenes. Y, como el objetivo de esta investigación es calcular la resistencia de la malla conformada por el conjunto de fibras entrelazadas de forma biaxial, se promediaron las cargas máximas para hacer el cálculo del artefacto para

obtener la resistencia última de la malla ya que se conoce el patrón de repetición de las cuerdas longitudinales equivalentes a la malla de ancho a ancho.

Tabla 23. Propiedades mecánicas de las fibras ensayadas

N° de espécimen	Longitud inicial (cm)	Diámetro inicial (cm)	Área (cm ²)	Carga máxima (kgf)	Extensión (mm)	Longitud final (cm)
1	15.8	0.52	0.21	26.87	70.66	22.866
2	15.6	0.53	0.22	29.58	83.4	23.94
3	15.7	0.53	0.22	37.35	83.6	24.06
4	16	0.54	0.23	25.57	72.53	23.253
5	15.2	0.51	0.20	33.85	82.9	23.49
6	15.6	0.51	0.20	28.74	72.88	22.888
7	15.3	0.52	0.21	27.65	78.8	23.18
8	16.2	0.53	0.22	29.07	93.15	25.515
9	15.2	0.53	0.22	28.79	91.25	24.325
10	15.1	0.51	0.20	30.28	92.5	24.35
11	15	0.5	0.20	35.94	94	24.4

Nota. Elaboración propia.

En la Ilustración 31, se aprecia la curva de deformación de los especímenes N° 2, N° 3 y N° 4. Del ensayo realizado para los 11 especímenes, se obtuvo que el promedio de la carga máxima que soportan las fibras de maguey como cuerdas hasta llegar a la rotura fue de 30.34 kgf. Y, para calcular la resistencia a la tracción que tendrían cada uno de los

especímenes de las cuerdas comportándose como mallas biaxiales, es necesario procesar los datos provenientes de la curva de desplazamiento – carga por cada uno de los especímenes ensayados.

Ilustración 31. Curva deformación – esfuerzo de las cuerdas de fibras de maguey.
Elaboración propia.

Resultados de la resistencia a la tracción de cuerda de malla

Para la determinación de la resistencia a la tracción de la malla de maguey se utilizó la siguiente ecuación (1), tal como lo expresa (American Society for Testing and Materials (ASTM) , 2015):

$$\alpha_f = [(F_p - T_o)/Nr] \times Nt \quad (1)$$

Donde:

α_f = Fuerza equivalente por ancho de unidad, N / m (lbf / in);

F_p = fuerza máxima observada, N (lbf);

T_o = tensión de holgura , N (lbf);

N_r = número de elementos de tracción que se están probando, y

Nt = número de elementos de tracción por ancho de unidad (p. 5).

Según los valores obtenidos, se calculó que la resistencia a la tracción de la malla a partir de las cuerdas es de:

$$\alpha_f = 3.44 \text{ KN/m}$$

B) Prueba experimental de malla según norma ASTM D 6637 (Método B de múltiples redes)

En este ensayo se aplicaron los procedimientos de la norma ASTM D 6637 “Método de prueba estándar para determinar las propiedades de tracción de las geomallas mediante el método de una o varias redes” – método B “Probando múltiples redes de geomalla en tensión” para la obtención de los resultados.

Procedimiento del ensayo

Antes de realizar el ensayo, es necesario identificar los detalles de las mallas a ensayar, por lo que se elaboraron 12 prototipos de mallas (y, según el análisis de muestra, se realizan 10 especímenes por cada prototipo para asegurar la confiabilidad de los resultados), variando las dimensiones de aberturas para de esa manera identificar qué diseño de prototipo posee una mejor resistencia a la tracción.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES

- Longitud: 20 cm
- Ancho: 15 cm
- Espesor: Depende del prototipo y puede variar entre 5 mm, 6 mm, 7 mm y 8 mm., como se aprecia en la Ilustración 32.

- Cada cuerda está conformada por un alrededor de 45 a 58 hilos de maguey.
- La cantidad de especímenes a ensayar fueron 12 tipos de mallas con el fin de despreciar cualquier valor atípico.

Ilustración 32. Representación gráfica de los prototipos T8 y T9. Elaboración propia.

Del mismo modo que el método anterior, se mide la resistencia última aplicando una fuerza a una velocidad de 10 mm/min hasta llegar a la rotura, y, empleando la máquina universal marca Instron 182 se logró el análisis, tal como se logra plasmar en la Ilustración 33. Las medidas se expusieron en la Tabla 20. Las propiedades físicas de los 12 prototipos analizados se plasman en el Anexo 5.

De los resultados, se elaboró un resumen de las propiedades físicas clasificándolos por prototipos de malla, en la que se promediaron los datos (masa, longitud inicial, diámetro y área). Estos se ven reflejados en la Tabla 24.

Tabla 24. Resumen de las propiedades físicas de los prototipos de malla

N° de espécimen	Masa (gramos)	Longitud inicial (cm)	Diámetro inicial (cm)	Área (cm ²)
T1	17.73	20.22	0.50	0.20
T2	17.38	20.30	0.50	0.20
T3	17.62	20.21	0.50	0.20
T4	18.82	20.73	0.60	0.28
T5	18.41	20.67	0.60	0.28
T6	18.05	20.62	0.60	0.28
T7	19.14	20.50	0.70	0.38
T8	18.95	20.41	0.70	0.38
T9	18.92	20.52	0.70	0.38
T10	20.18	20.35	0.80	0.50
T11	19.78	20.38	0.80	0.50
T12	19.15	20.39	0.80	0.50

Nota. Elaboración propia.

Resultados de la resistencia a la tracción de la malla

El promedio de las cargas máximas que soportaron cada tipo de propuesta de malla y la extensión de estos se ven reflejados en la siguiente tabla:

Tabla 25. Resumen de las propiedades mecánicas de los prototipos de malla

N° de espécimen	Longitud inicial (cm)	Extensión (mm)	Longitud final (cm)	Carga Máxima (kgf)
T1	20.21	80.72	28.28	97.12
T2	20.52	90.73	29.59	94.25
T3	20.67	90.82	29.76	95.14
T4	20.73	90.87	29.81	101.46
T5	20.39	91.13	29.50	97.21
T6	20.22	80.92	28.31	98.14
T7	20.35	90.98	29.44	112.54
T8	20.62	90.93	29.72	107.25
T9	20.50	90.84	29.59	106.71
T10	20.30	80.78	28.37	138.45
T11	20.41	91.02	29.51	128.00
T12	20.38	91.21	29.50	118.23

Nota. Elaboración propia.

Ilustración 33. Ensayo de tracción realizados en las mallas de maguey según la Norma I.N.V. E – 901 – 07, Método GRAB. Fotografías propias.

Con los datos obtenidos de las cargas máximas alcanzadas se elaboró la curva deformación – esfuerzo, y, a partir de la Ilustración 34, se consigue determinar el esfuerzo de holgura ($T_o = 40 \text{ kgf/cm}^2$) para el cálculo de la resistencia a tracción de las mallas de maguey.

Ilustración 34. Curva deformación – esfuerzo de las mallas de fibras de maguey

Según los valores obtenidos, se calculó que las resistencias a la tracción de las mallas de cada tipo de propuesta son los que se muestran en la Tabla N° 26.

Tabla 26. Resultados de resistencia a la tracción de los prototipos

N° de espécimen	αf (KN/m)
T1	7.6
T2	5.9
T3	5.0
T4	8.0
T5	6.1
T6	5.1
T7	8.9
T8	6.7
T9	5.6
T10	11.0
T11	8.1
T12	6.2

Nota. Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos, se puede observar que todos son mayores que la resistencia mínima a la tracción de la geomalla, cuyo valor es de 3.5 KN/m. Asimismo, el prototipo que alcanzó la mayor resistencia fue el prototipo T10 que tiene 0.8 cm de diámetro y 2.0 cm de espaciamiento, con una resistencia alcanzada de 11.0 KN/m.

Del mismo modo se puede evidenciar la tendencia entre el diámetro y la resistencia que alcanzan las mallas de maguey; mientras mayor sea el diámetro de los elementos, mayor es la resistencia lograda por las mallas, siendo la relación directamente proporcional.

Se considera el modelo T3 como el más óptimo. La resistencia última a la tracción promedia alcanzada de este prototipo bajo la aplicación de la carga axial al fragmento de malla es de 5.0 KN/m. Este modelo presenta un espaciamiento de 3 centímetros y un diámetro de 0.50 centímetros.

5.3.2 Construcción de muro reforzado

Para el asentado de las unidades de adobe se elabora un mortero de barro con las mismas proporciones de los insumos que se usaron para los bloques. Durante este proceso, se debe tener en cuenta que el asentado de las unidades de adobe se realizarán sobre una base de malla, con el objetivo de cubrir todo el muro en su totalidad. Paso seguido, se asientan las unidades de adobe una a continuación de la otra con una junta de 1 cm por cada lado y así, formar la primera hilada de adobe. Sobre esta, se colocan de manera transversal 4 cuerdas de maguey de 70 cm. de longitud para que sobresalgan 15 cm por cada lado, y a la vez van espaciadas cada 30 cm. De esta forma sucesivamente se asientan las unidades de adobe hilada por hilada hasta alcanzar la altura adecuada de 2.50 m.

Para el asentado de los adobes se empleó el mismo mortero de la mezcla y se verificó constantemente la verticalidad del murete conforme se iban construyendo. Asimismo, antes de asentar las unidades de adobe estas fueron mojadas con la finalidad de disminuir la absorción del agua del mortero.

Acto seguido, se realiza el tarrajeo del murete con barro, de 2.5 cm de espesor. Esto, con la finalidad de confinar la malla y posteriormente pueda comportarse como un único elemento durante el secado, tal como se logra apreciar en la Ilustración 35.

Ilustración 35. Tarrajeo de muro reforzado con malla de maguey. Adaptado de «Construcción de casas saludables de adobe reforzado», por Blondet, 2007

5.4 Modelo final de la propuesta

El modelo final de la propuesta, en la que la malla de maguey se utiliza como un material cuya función principal sea el de reforzar los muros de adobe se ve reflejada en la Ilustración 36.

Ilustración 36. Modelo final de muro de adobe con malla de refuerzo. Adaptado de «Propuesta de reconstrucción post-terremoto de viviendas de adobe reforzado», por Rubiños, 2009

Con esta propuesta, se logra que la malla de maguey funciones como un reforzamiento de material tejido envolvente a los muros de adobe en su totalidad. Esto, con el objetivo de aportar resistencia gracias al confinamiento y rigidez que provee este modelo a las paredes de las viviendas.

CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS DEL REFUERZO DE MAGUEY

Con la finalidad de realizar una evaluación del análisis comparativo entre la malla de fibras de maguey propuesta y un geosintético, es necesario realizar una evaluación socioeconómica de las viviendas beneficiadas, dando a conocer los costos y beneficios de la propuesta.

6.1 Evaluación socio-económica de viviendas de adobe reforzadas con maguey

Para realizar la evaluación socio-económica de viviendas de adobe reforzadas con malla de maguey es importante hacer una comparación de costos y beneficios, que permita concluir cuál de ambos conceptos es mayor y, por lo tanto, qué tan conveniente resultará realizar la propuesta. Es decir, un proyecto será conveniente si los beneficios que va a generar son mayores que los costos en que se debe incurrir para realizarlo. Es importante contar con una identificación completa de beneficios y costos, los cuales deben estar adecuadamente cuantificados y valorados en unidades monetarias para permitir su comparación. Por ello, la valoración de costos y beneficios debe realizarse a precios de mercado, también es conveniente distinguir los costos por mano de obra, según grado de calificación (calificada, semi-calificada, no calificada) y los insumos que son (o pueden ser) importados o exportables; en ambos casos, el precio de mercado debe ser corregido de acuerdo con los precios sociales de los factores para la evaluación social.

6.1.1 Beneficios de una vivienda de adobe reforzada

Los beneficios de contar con viviendas más seguras provienen de los cambios en el bienestar de las familias beneficiarias. La evaluación de proyectos debe considerar los beneficios incrementales, comparando la situación actual, es decir las viviendas típicas sin refuerzo con la situación propuesta de reforzar las viviendas nuevas, como por ejemplo visualizadas en la Ilustración 37 (Blondet, 2010).

Suponiendo una situación inicial caracterizada por familias numerosas en viviendas precarias, casas sin refuerzos, ubicadas en lugares peligrosos para la salud, tales como lechos de río, laderas de cerros, los beneficios de vivir en casas de adobe más seguras, que no presenta peligro para la vida serían:

- Aumento en la percepción de seguridad de permanencia en su vivienda por parte de la familia.
- Aumento en la seguridad de vida frente a condiciones peligrosas del medio.
- Mejoramiento del clima psicológico y afectivo entre los miembros de la familia.
- Aumento de la autoestima de los miembros de la familia y mejores perspectivas de inserción formal en la sociedad.
- Mejoramiento en las condiciones de salud de los miembros de la familia: disminución de enfermedades del aparato digestivo, del aparato respiratorio y mejoramiento de la salud mental.

- Cerca de zonas inundables o lugares por donde los huaycos han pasado en años anteriores...

- Sobre zonas de relleno, desmontes o antiguos basurales.

Ilustración 37. Ubicaciones inseguras para viviendas. Adaptado de « Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas», por Blondet, 2010.

6.1.2 Costos del proyectos de viviendas reforzadas con adobe

Es de mucha importancia considerar todos los costos pertinentes para la adecuada construcción de las viviendas de adobe reforzadas con malla de maguey, tanto aquellos que corresponden sean asumidos por sus gestores, como los costos relativos a servicios básicos o complementarios.

Los costos de las viviendas de adobe reforzadas con maguey están formados por:

- Costos directos; que corresponden a los costos de construir las viviendas en un terreno determinado y se muestran con detalle en la Tabla N° 27.

Tabla 27. Consideraciones del costo directo

Listado de recursos considerados en el costo directo	
I. Materiales de construcción	
A.- OBRAS PRELIMINARES	
Excavaciones	Materiales locales (de la zona)
Rellenos	Materiales locales (de la zona)
Extracción de escombros	Materiales locales (de la zona)
B.- ESTRUCTURAS Y ARQUITECTURA	
Cimientos (Cemento portland tipo I)	Material industrial (ferretería)
Sobrecimientos (Cemento portland tipo I)	Material industrial (ferretería)
Malla de maguey en sobrecimiento	Materiales locales (de la zona)
Unidades de adobe	Materiales locales (de la zona)
Viga collar	Materiales locales (de la zona)
Malla de maguey en muros	Materiales locales (de la zona)
Techo (Calamina 2.44 x 0.83 x 0.25 mm)	Material industrial (ferretería)
Tarrajeo de muros	Materiales locales (de la zona)
Puertas y ventanas	Materiales locales (de la zona)
Piso	Materiales locales (de la zona)
II. MANO DE OBRA	Faenas comunales
III. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	Herramientas locales (de la zona)

Nota. Elaboración propia.

Los costos directos del proyecto no varían con la localización de los distintos terrenos alternativos en que puede ser construido en una misma localidad. Sin embargo, pueden presentar variaciones provenientes de los distintos tamaños, formas, características físicas y topográficas de los terrenos.

6.2 Análisis económico comparativo del refuerzo de maguey

El análisis del costo del refuerzo es fundamental para determinar si el refuerzo es realmente económico. Para esta actividad se realizó un metrado de la cantidad de malla de maguey que se necesita para una vivienda, que es mostrada en la Ilustración 38, según el proceso constructivo que plantea el Ingeniero Marcial Blondet (2010) en el “Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas”.

La materia prima para la elaboración de mallas de fibras es el maguey, esta planta silvestre se encuentra en grandes cantidades en los campos de la zona de estudio, lo cual no genera un costo en la producción de este recurso. Por ello, para el análisis de precio unitario de malla de fibras de maguey se considera la mano de obra para la extracción y procesamiento de las fibras y las herramientas.

Ilustración 38. Imagen referencial de una vivienda de un ambiente, con el refuerzo de la malla de maguey en base a la cual se hizo el análisis de costos. Adaptado de «Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas», por Blondet, 2010

6.2.1 Análisis de precio unitario de la malla de maguey

El análisis de precio unitario se debe determinar para cada partida del presupuesto. El análisis de precio unitario del refuerzo de maguey está formado por:

- P.U. mano de obra
- P.U. materiales

La mano de obra está compuesta por toda la incidencia de personal sobre la determinada partida. En Colcabamba, los trabajos de construcción se realizan en cooperación de la comunidad, es decir no hay una remuneración económica por la participación, por ello el análisis de precio unitario es referencial.

En precio unitario de los materiales se refiere a incidencia de los materiales y su costo, en este caso el maguey no tiene costo debido a que es una planta silvestre que se encuentra a libre disponibilidad en la zona de estudio.

A continuación, se presenta un ejemplo de análisis de precio unitario de la elaboración del refuerzo de maguey en la Tabla N° 28.

Tabla 28. Análisis de precio unitario del refuerzo de maguey

Análisis de Costo Unitario de la Malla de Maguey						
Unidad	m ²	Costo por m ²				
Rendimiento	8.5 m ² / día					
Descripción	UN	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial	Total
Mano de obra						S/. 4.71
Peón	HH	2	1.88	2.5	4.71	
Equipo						S/. 0.24
Herramientas manuales	%		0.05	4.7059	0.24	
Materiales						S/. 0.88
Agua	m3		0.2	0	0.00	
Soda cáustica	gal		0.25	3.5	0.88	
Maguey	und		35	0	0.00	
Total						S/. 5.82

Nota. Elaboración propia.

Con los datos obtenidos del análisis de precios unitarios se realizó una comparación de precios por metro cuadrado entre la malla de maguey y la geomalla, la cual se detalla en

la tabla N°29, donde se puede observar que el precio de la malla de maguey es mucho más económico en relación con el precio de la geomalla. Por lo tanto, la malla de maguey es un material de refuerzo económico, el cual concreta su costo básicamente en la mano de obra. Asimismo, en la zona de aplicación del presente trabajo las construcciones de viviendas se realizan por un método de cooperación colectiva, es decir eso minimizaría el costo de la mano de obra y haría más económico el material de refuerzo propuesto.

Tabla 29. Precios de geomallas en el mercado peruano

<p>Biaxial de fibra de vidrio geomalla</p>		<p>USD 0.35 - USD 2.30/ Metro 1000 Metros cuadrados (pedido minimo)</p> <p>Precio en Lima S/.8.05 por metro</p> <p>Precio en Huancaveli S/.13.00 por metro</p>
<p>Geomalla Biaxial de plástico</p>		<p>USD 0.80 - USD 2.10 /Metro 1000 Metros cuadrados (pedido minimo)</p> <p>Precio en Lima S/.7.35 por metro</p> <p>Precio en Hunacaveli S/.12.35 por metro</p>

Nota. Elaboración propia.

6.2.2 Comparativo de precios de malla de fibra de maguey – geosintético

Según el análisis comparativo de los costos de los refuerzos detallados en la tabla 30, el costo de la malla de maguey es inferior al geosintético, ya que en la zona de estudio la población es de recursos económicos escasos y, esta propuesta podría ayudar a la población a construir sus viviendas más seguras sin afectar drásticamente su economía.

Tabla 30. Resultados comparativos de los refuerzos de muros de viviendas de adobe

Vivienda	Metrado (m²)	P.U.	Maguey	P.U.	Geomalla
1 ambiente	65.00	S/. 5.82	378.05	S/. 13.00	845
Total		S/. 378.05		S/. 845.00	

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES

En este capítulo se evidencian los resultados que se han obtenido a raíz de la presente investigación por cada objetivo.

Objetivo 1: Determinar las características y propiedades mecánicas del suelo empleado en la elaboración de las viviendas de adobe del distrito de Colcabamba

- El tipo de suelo del distrito de Colcabamba según la clasificación S.U.C.S es de tipo CL -ML, es decir suelo limo arcilloso de baja plasticidad, y, el contenido de arcilla que posee es un buen indicador para elaborar albañilería de adobe, además según la granulometría realizada se determinó que hay presencia de arena y ello favorece para que las unidades de adobe no se fisuren durante el secado.
- Los bloques de adobe elaborados tradicionalmente, esto involucra el uso de insumos que se encuentran a pie de obra, en el distrito de Colcabamba – Huancavelica y siguiendo las indicaciones de la norma E. 080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, alcanzaron una resistencia a la compresión de 11,51 kgf/cm².
- Los bloques de adobe elaborados bajo el diseño de mezcla propuesto que consiste en los insumos de finos (arcilla y limo), arena, paja y agua con una proporción de 60%, 15%, 10% y 15% respectivamente, y siguiendo las indicaciones de la norma E. 080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada alcanzaron una resistencia a la compresión de 13,53 kgf/cm². En base a este resultado, se puede apreciar que existe un aumento porcentual de resistencia con respecto al adobe tradicional de 17.59%.

Objetivo 2: Elaborar una propuesta de reforzamiento para muros de adobe que aporte resistencia

- El número de fibras que deben contener las cuerdas de la malla de maguey para llegar a un espesor de 5 mm (diámetro) es entre 45 y 50 hilos. Asimismo, el espaciamiento ideal o tamaño de la abertura entre rejillas es de 3.0 cm. Este valor es el adecuado porque se optimiza la cantidad de hilos de maguey. La longitud de

las fibras para la elaboración de la malla es de 100 cm aproximadamente, medida necesaria para realizar los empalmes y darle continuidad a la malla.

- La resistencia última a la tracción promedia alcanzada de la malla propuesta bajo el primer método que consiste en la aplicación de la carga axial al conjunto de cuerdas es de 3.76 KN/m, valor mayor a la resistencia mínima alcanzada de la geomalla que es de 3,5 KN/m. Cabe mencionar que para asegurar la resistencia adquirida, la malla debe envolver a los muros de adobe externamente y ser asegurados con un embutido en el enlucido.
- El prototipo T10 fue el que alcanzó la mejor resistencia cuyo valor fue de 11.0 KN/m². Este modelo presenta un espaciamiento de 2 centímetros y un diámetro de 0.80 centímetros.
- El prototipo más óptimo fue el T3, ya que alcanzó una resistencia última a la tracción promedia de 5.0 KN/m² (42.9% más que la resistencia de la geomalla) y en la elaboración de esta malla, al presentar un diámetro de 0.50 centímetros con aberturas de 3 centímetros, se consume menos material, por lo que se considera este prototipo como el más económico

Objetivo 3: Evaluar los costos y beneficios de la propuesta de refuerzo de maguey a través de un análisis comparativo

- La propuesta planteada resulta ser muy beneficiosa para la localidad ya que emplea recursos e insumos con gran disponibilidad en la zona y a un costo mínimo. Asimismo, el costo de la mano de obra es bajo debido a que la construcción de este tipo de viviendas es realizada bajo faenas comunitarias.
- Según el análisis de costo unitario del refuerzo de maguey se comprueba que el precio por m² es 5.82 nuevos soles, valor mucho más económico en comparación con los refuerzos sintéticos que tiene un valor de 13.00 nuevos soles para la localidad en estudio.
- Según la evaluación socio-económica, la propuesta de reforzar las viviendas de adobe con mallas hechas con fibras de maguey, generará en la población un beneficio de índole social, dado que esto les permitirá mejorar las condiciones de

seguridad de vida frente a las condiciones peligrosas como son los fenómenos naturales como los movimientos telúricos.

CAPÍTULO 8: RECOMENDACIONES

En este capítulo se establecen recomendaciones que se sugieren se tomen en cuenta para lograr muros de adobe con más resistencia con la adición de la malla de refuerzo de maguey.

Objetivo 1: Determinar las características y propiedades mecánicas del suelo empleado en la elaboración de las viviendas de adobe del distrito de Colcabamba

- Para un mejor desempeño en resistencia de los bloques a base de adobe se recomienda utilizar la propuesta establecida del diseño de mezcla que consiste en la adición de arena a los insumos. Es importante mencionar que la adquisición de este material resulta costoso pero debido al análisis costo-beneficio resulta conveniente.
- Se recomienda instruir a las comunidades de la zona de estudio acerca de las pautas establecidas en la Norma E.080 Diseño y Construcción con tierra reforzada para la elaboración de los bloques de adobe.
- Del mismo modo, el uso de adobes compactados con adiciones de maguey mejoraría su resistencia, sin embargo, involucraría un gasto mayor pues es necesario emplear una máquina de prensado que cuente con una palanca de compresión y expulsión.

Objetivo 2: Elaborar una propuesta de reforzamiento para muros de adobe que aporte resistencia

- Durante el proceso de extracción de las fibras de maguey se recomienda hervir durante cuatro horas las hojas de la planta y después agregarle una taza de soda cáustica para facilitar la separación de las fibras de las hojas. Asimismo, esta sustancia involucra un costo adicional, pero ayuda a tener mejores muestras.
- Para asegurar la fijación de los nudos de las mallas de fibras de maguey, se recomienda seguir el procedimiento propuesto reflejado en la Ilustración 24, puesto que estos no se desprendieron después de someterlos a los ensayos de tracción.

- Se recomienda a las futuras investigaciones que se desarrollen diseños de mallas biaxiales con aberturas rectangulares, dado que en la presente solo se analizaron mallas con aberturas cuadradas.
- Para la obtención de resultados más óptimos se sugiere realizar los ensayos a tracción usando accesorios tales como mordazas para asegurar la sujeción de las cuerdas, ya que estos ajustan mejor a los especímenes y evitan el deslizamiento durante los ensayos.
- Asimismo, se sugiere realizar ensayos para evaluar la resistencia disponible por plastodeformación (creep) a 75 años, como lo es el método de prueba estándar para evaluar el comportamiento no confinado de la ruptura de fluencia por tensión de los geosintéticos (ASTM D5262).
- Del mismo modo se recomienda realizar el ensayo de fuerza lateral cíclica a muretes de adobe reforzados con la malla de maguey para calcular la resistencia que tienen los elementos como conjunto.
- Es imprescindible recurrir a las normativas vigentes al momento de realizar los ensayos, puesto que se evitaría cometer algún error que tendría como consecuencia la alteración de los resultados.

Objetivo 3: Evaluar los costos y beneficios de la propuesta de refuerzo de maguey a través de un análisis comparativo

- Este trabajo de investigación es una propuesta del uso de un material alternativo más económico y accesible para la localidad de Colcabamba – Huancavelica, por lo que se sugiere revisar el proceso constructivo de las viviendas planteado en el “Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de bajo costo saludables y seguras”; ya que nuestra propuesta se complementa con esta bibliografía.
- Se sugiere elaborar un sumario o ficha indicando el procedimiento de la colocación y corte de la malla de fibras de maguey en las paredes de bloques de adobe con el fin de asegurar el funcionamiento entre los materiales y facilitar la producción para los pobladores.

- Se plantea como otra recomendación realizar un análisis de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe en la localidad de estudio con el refuerzo de mallas de maguey con el fin de evaluar el nuevo nivel de amenaza debido a la acción sísmica.

BIBLIOGRAFÍA

- American Society for Testing and Materials (ASTM) . (2015). Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Geogrids by the Single or Multi-Rib Tensile Method.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2002). Clasificación de Suelos para propósitos de Ingeniería (SUCS). Retrieved from <https://es.scribd.com/document/358456196/ASTM-D-2487-93-Traduccion>
- Bessadok, A., Marais, S., Roudesli, S., & Lixon, C. (2008). Influence of chemical modifications on water-sorption and mechanical properties of Agave fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(1), 29-45.
- Blondet, M., Vargas, J., Torrealva, D., & Rubiños, Á. (2010). Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de bajo costo saludables y seguras.
- Blondet, M., Villa, G., Brzev, S., & Rubiños, A. (2011). *Earthquake-Resistant Construction of Adobe Buildings: A Tutorial* (2° ed.). Oakland: Earthquake Engineering Research Institute.
- Chávez, O., & Seminario, F. (2015). Comparación del comportamiento sísmico entre un muro de albañilería armada y otro de albañilería de junta seca utilizando bloques de concreto vibrado. (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería agrícola. Lima: Peru).
- Conde, D., & Chambi, R. (2017). Ensayo a carga lateral de un muro de albañilería confinada construido con Blocker II. (Tesis de licenciatura, Universidad Privada de Tacna, Facultad de Ingeniería Civil. Tacna: Peru). Retrieved mayo 11, 2017, from http://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/UPT/155/1/Conde-Copa-David_Chambi-Chambi-Rolando.pdf
- Danso, H., Martinson, D., Ali, M., & Williams, J. (2015). Effect of fibre aspect ratio on mechanical properties of soil building blocks. *Construction and Building Materials*, 83, 314-319.
- Girones, A., Mateo, A., L., L., & Anglada, M. (2001). Influencia de la temperatura en las propiedades a tracción de un acero inoxidable superdúplex. *Revista de metalurgia*, 37(2), 150-154.
- Google. (2019). *Google Maps recorrido del río Mantaro por Colcabamba*. Retrieved Octubre 15, 2019, from <https://goo.gl/maps/cq8YQuqBxGmJgUsK7>

- INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2006). *Censos Nacionales 2007*. Retrieved abril 2, 2018, from https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1136/libro.pdf
- INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Retrieved marzo 27, 2018, from Población y vivienda: <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>
- INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Censos Nacionales 2017*. Retrieved from https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1538/Libro.pdf
- Instituto Nacional de Vías. (2012). *Método para la determinación de la carga de rotura y la elongación de geotextiles (Método Grab)*. Retrieved from ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-901-07.pdf
- Irala, C. (1986). *Estudio sísmico experimental de muros de adobe*, (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil. Lima: Perú). Retrieved from <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3845>
- Lejano, B., & Pineda, K. (2018). Investigation of the effects of different natural fiber on the strength of compressed stabilized earth blocks. *International Journal of Geomate*, 14(42), 37-43.
- Miccoli, L., Muller, U., & Fontana, P. (2014). Mechanical behaviour of earthen materials: A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob. *Construction and Building Materials*, 61, 327-339.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (mayo de 2016). *Aprueba Manual de ensayos de materiales*. Retrieved junio 4, 2018, from https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). *Edificaciones Antisísmicas de Adobe*.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). *Norma E.030 Diseño Sismorresistente*.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). *Norma E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada*.

- Orta, B., Adell, J., Bustamante, R., & Martínez, S. (2016). Sistema de autoconstrucción sismorresistente: características. *Informes de la Construcción*, 68(542), 82-92.
- Otero, R. (2000). *El Cultivo de Henequén*. Retrieved 04 10, 2018, from <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/e0923.pdf>
- Pineda, E., & Uribarri, D. (2014). Propiedades químicas y creencias curativas populares del Maguey o Cabuya. *Ciencia y Desarrollo*, 17(1), 77-83.
- Raid, A. O., & K., M. (2012). Measurement of tensile properties of geogrids. *Construction Materials and Environment*, 2-11.
- Rivera, C. (2016). *Aporte del Agave americana a los servicios ecosistémicos en la comunidad campesina de Joras-Piura*, (Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Ambientales. Lima: Peru).
- Rodriguez, M., Saroza, B., Nolasco, P., & Barroso, J. (2014). Some recommendations for the construction of walls using adobe bricks. *DYNA Colombia*, 81(185), 145-152.
- Rubiños, Á. (2009). *Propuesta de reconstrucción post-terremoto de viviendas de adobe reforzado*, (Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ingeniería Civil).
- Ruiz, D., Silva, M., Cerón, L., & López, C. (2017). Evaluación del comportamiento sísmico de casas consistoriales. *Revista Ingeniería de Construcción*, 32(2), 25-44.
- Sabalza, M. (2006). *Evaluación económica de proyectos de cooperación*. Hegoa.
- Sahu, P. (2017). Sisal fibre and its polymer-based composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 36(24), 1759-1780.
- Sharma, V., Marwaha, B., & Vinayak, H. (2016). Enhancing durability of adobe by natural reinforcement for propagating sustainable mud housing. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 141-155.
- Tejada, U. (2001). *Buena Tierra: Apuntes para el diseño y construcción con adobe*. Lima: CIDAP.
- Tolles, E., Kimbro, E., & Ginell, W. (2002). *Planning and Engineering Guidelines for the Seismic Retrofitting of Historic Adobe Structures*. Los Angeles: Getty Publications.
- Torres, R. (2016). *Las fibras naturales como refuerzo sísmico en la edificación de viviendas de adobe en la costa del departamento de Ica*, (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería agrícola. Lima: Peru).

ANEXOS

ANEXO N°1 – FORMATO DE ENCUESTA SOBRE LAS VIVIENDAS

Fecha de la encuesta: ____/____/____

N° de encuesta: ____

Lugar: Fundo Pía – Colcabamba - Tayacaja

1. ¿Quién construyó su vivienda?

- ☐ Usted mismo ☐ Un maestro de construcción ☐ Un operario
☐ Otro (por favor, especifique) _____

2. ¿La persona que la construyó recibió alguna asesoría o está informada de la norma E. 080 Diseño y Construcción con tierra reforzada?

- ☐ Sí
☐ No

3. ¿De dónde se extrajo el material principal (adobe) de su vivienda?

- ☐ In situ ☐ Cantera ☐ Otro _____

4. ¿Hace cuántos años que su casa fue construida?

< 5 años	[5 – 10 años [	[10 – 20 años [	[20 – 30 años[	[30 – 45 años[	[45 – 60 años[	> 60 años

5. Las paredes de su vivienda están

- ☐ Tarrajeadas ☐ Empastadas ☐ Revestidas ☐ Ninguna
¿Con qué material? _____

6. ¿Con qué material está hecho el sobrecimiento de su vivienda?

- ☐ Adobe ☐ Ladrillo ☐ Concreto ciclópeo ☐ Otro _____

7. ¿De cuántos ambientes consiste su vivienda?

1	2	3	4	+ 5

8. ¿Cuántos pisos tiene su vivienda?

1	+ 2

9. ¿Qué problemas o daños en la construcción ha observado en su vivienda?

ANEXO N°2 – DATOS OBTENIDOS DE LA ENCUESTA

ANEXO N°3 – FLUJOGRAMA BLOQUES DE ADOBE

ANEXO N°4 – FLUJOGRAMA MALLA DE MAGUEY

ANEXO N°5 – PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PROTOTIPOS DE MALLA

N° de especimen	Masa (gramos)	Longitud inicial (cm)	N° de especimen	Masa (gramos)	Longitud inicial (cm)
T1 (1)	17.54	20.14	T7 (1)	18.50	20.55
T1 (2)	17.48	20.06	T7 (2)	17.90	20.65
T1 (3)	19.35	20.18	T7 (3)	20.14	20.97
T1 (4)	16.9	20.13	T7 (4)	19.70	20.34
T1 (5)	18.56	20.24	T7 (5)	17.50	20.64
T1 (6)	18.23	20.45	T7 (6)	21.70	20.32
T1 (7)	17.24	20.19	T7 (7)	19.24	20.84
T1 (8)	16.93	20.23	T7 (8)	18.80	20.15
T1 (9)	17.23	20.37	T7 (9)	19.40	20.31
T1 (10)	17.85	20.19	T7 (10)	18.50	20.27
T2 (1)	17.17	20.53	T8 (1)	18.2	20.64
T2 (2)	17.345	20.46	T8 (2)	18.7	20.57
T2 (3)	17.41	20.23	T8 (3)	18.5	20.86
T2 (4)	17.26	20.14	T8 (4)	19.7	20.25
T2 (5)	17.88	20.33	T8 (5)	19.7	20.53
T2 (6)	18.24	20.14	T8 (6)	20.5	19.83
T2 (7)	17.33	20.27	T8 (7)	17.8	20.32
T2 (8)	16.79	20.35	T8 (8)	18.24	20.13
T2 (9)	17.12	20.27	T8(9)	19.8	20.30
T2 (10)	17.2354	20.23	T8 (10)	18.4	20.67
T3 (1)	18.12	19.46	T9 (1)	20.3	20.76
T3 (2)	17.13	20.27	T9 (2)	18.25	20.69
T3 (3)	17.75	20.54	T9 (3)	18.7	20.54
T3 (4)	17.02	20.16	T9 (4)	19.7	20.12
T3 (5)	18.18	20.22	T9 (5)	18.5	20.53
T3 (6)	17.81	20.14	T9 (6)	19.25	20.32
T3 (7)	17.29	20.27	T9 (7)	19.05	20.54
T3 (8)	17.51	20.05	T9 (8)	17.6	20.69
T3 (9)	18.06	20.24	T9(9)	18.14	20.54
T3 (10)	17.35	20.76	T9 (10)	19.7	20.43
T4 (1)	19.57	21.43	T10 (1)	20.3	20.15
T4 (2)	18.59	20.54	T10 (2)	20.8	20.64
T4 (3)	19.27	20.76	T10 (3)	20.14	20.46

T4 (4)	17.47	21.75	T10 (4)	19.7	20.35
T4 (5)	19.56	20.43	T10 (5)	20.5	20.23
T4 (6)	17.88	20.37	T10 (6)	20.25	20.42
T4 (7)	18.53	20.27	T10 (7)	20.05	20.14
T4 (8)	17.54	20.84	T10 (8)	20.2	20.19
T4 (9)	20.19	20.72	T10(9)	20.14	20.36
T4 (10)	19.55	20.14	T10 (10)	19.7	20.52
T5 (1)	18.43	20.34	T11 (1)	18.3	20.42
T5 (2)	20.42	20.16	T11 (2)	19.75	20.54
T5 (3)	18.13	20.66	T11 (3)	20.2	20.30
T5 (4)	18.65	20.83	T11 (4)	20.14	20.64
T5 (5)	18.85	20.67	T11 (5)	18.5	20.13
T5 (6)	18.28	21.45	T11 (6)	20.5	20.26
T5 (7)	18.46	21.07	T11 (7)	20.3	20.23
T5 (8)	17.54	20.76	T11 (8)	20.24	20.56
T5 (9)	17.47	20.22	T11 (9)	19.8	20.34
T5 (10)	17.85	20.58	T11 (10)	20.1	20.35
T6 (1)	19.23	20.10	T12 (1)	20.5	20.15
T6 (2)	17.98	20.35	T12 (2)	19.14	20.43
T6 (3)	17.81	20.95	T12 (3)	18.7	20.48
T6 (4)	18.45	21.45	T12 (4)	19.5	20.51
T6 (5)	17.34	20.88	T12 (5)	19.3	20.29
T6 (6)	17.95	20.34	T12 (6)	18.25	20.18
T6 (7)	18.05	20.57	T12 (7)	19.9	20.35
T6 (8)	18.14	20.46	T12 (8)	17.6	20.52
T6 (9)	17.54	20.69	T12(9)	20.4	20.61
T6 (10)	18.02	20.45	T12 (10)	18.25	20.35

Nota. Elaboración propia.

ANEXO N°6 – NORMA E.080 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA

**MINISTERIO DE VIVIENDA,
CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO**

**NORMA E.080
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
CON TIERRA REFORZADA**

**ANEXO - RESOLUCIÓN MINISTERIAL
Nº 121-2017-VIVIENDA**

NORMAS LEGALES

SEPARATA ESPECIAL

CAPÍTULO II

CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES DE TIERRA REFORZADA

Artículo 4.- Consideraciones básicas

- 4.1. Las edificaciones de tierra reforzada no deben ubicarse en zonas de alto riesgo de desastre, especialmente con peligros tales como: inundaciones, avalanchas, aluviones y huaycos. No se debe construir en suelos con inestabilidad geológica.
- 4.2. Las edificaciones de tierra reforzada deben ser de un piso en las zonas sísmicas 4 y 3, y hasta de dos pisos en las zonas sísmicas 2 y 1, según los distritos y provincias establecidos en el Anexo N° 1 de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente sobre Zonificaciones Sísmicas, aprobado por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.

Figura 1. Mapa de Zonificación Sísmica, según Norma E.030 Diseño Sismorresistente

- 4.3. Las edificaciones de tierra reforzada deben cimentarse sobre suelos firmes y medianamente firmes de acuerdo con la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. No se cimienta sobre suelos granulares sueltos, cohesivos blandos, ni arcillas expansivas.

Se prohíbe la cimentación en suelos de arenas sueltas que pueden saturarse de agua (riesgo de licuefacción de suelos).

- 4.4. El proyecto arquitectónico, eléctrico y sanitario de edificaciones de tierra reforzada debe concordarse con el proyecto estructural, cuyas características se señalan en la presente Norma.
- 4.5. El diseño estructural de las edificaciones de tierra reforzada deben estar basados en los siguientes criterios: resistencia, estabilidad y comportamiento sismorresistente (refuerzos compatibles) y es respaldado por el profesional responsable.
- 4.6. Los métodos de análisis deben estar basados en comportamientos elásticos del material, sin perjuicio que se puedan utilizar criterios de comportamiento inelástico.
- 4.7. Los métodos para obtener la aprobación de nuevas técnicas mixtas relacionadas con el material tierra, deben estar basados en estudios que demuestren su adecuado comportamiento sísmico en el estado de servicio y en el estado último, sin producir fallas frágiles o colapsos súbitos y en concordancia con la filosofía de diseño. Para su aprobación se pueden utilizar las siguientes alternativas:
- a) Verificación experimental de comportamiento sísmico mediante ensayos cíclicos, pseudo-dinámicos o dinámicos que incluyan claramente el rango de comportamiento último.
 - b) Diseño racional basado en principios de ingeniería aceptados, bajo responsabilidad del profesional.
 - c) Historia de servicio y comportamiento adecuado en sismos severos.

Artículo 5.- Requisitos de los materiales para la construcción de edificaciones de tierra reforzada

- 5.1. Tierra: Debe verificarse que la tierra contenga adecuada presencia de arcilla mediante las pruebas indicadas en los Anexos N°s. 1 y 2 de la presente Norma. Asimismo, que se encuentre libre de cantidades perjudiciales de materia orgánica.

5.2. Agua: Debe cumplir las características siguientes:

- a) Agua potable o agua libre de materia orgánica, sales y sólidos en suspensión.
- b) Estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser dañinas.
- c) El agua de mar sólo puede emplearse si se cuenta con la autorización del ingeniero proyectista y del responsable de la supervisión.

Artículo 6.- Criterios de configuración de las edificaciones de tierra reforzada

Las edificaciones de tierra reforzada, deben cumplir con los siguientes criterios de configuración:

- 6.1. Muros anchos para su mayor resistencia y estabilidad frente al volteo. El espesor mínimo del muro es de 0.40 m. Solo para el tipo de muro indicado en el Esquema 3 de la Figura 4, puede utilizarse un espesor mínimo de 0.38 m según se muestra en el aparejo correspondiente.
- 6.2. Los muros deben tener arriostres horizontales (entrepisos y techos) así como arriostres verticales (contrafuerte o muros transversales) según la Figura 2.
- 6.3. La densidad de muros en la dirección de los ejes principales debe tener el valor mínimo indicado en la Tabla 2 - Factor de uso (U) y densidad según tipo de edificación. De ser posible, todos los muros deben ser portantes y arriostrados.
- 6.4. Tener una planta simétrica respecto a los ejes principales.
- 6.5. El espesor (e), densidad y altura libre de muros (H), la distancia entre arriostres verticales (L), el ancho de los vanos (a), así como los materiales y la técnica constructiva para la construcción de una edificación de tierra reforzada, deben ser aplicados de manera continua y homogénea. La Figura 2 establece los límites geométricos a ser cumplidos.
- 6.6. Los vanos deben tener las proporciones y ubicación de acuerdo a lo indicado en la Figura 2. Así mismo, se recomienda que sean pequeños y centrados.

Figura 2. Límites Geométricos de muros y vanos

Nota 1: Cada arriostre vertical (contrafuerte o muro transversal) puede construirse hacia el interior o hacia el exterior de la edificación, según el criterio del proyectista.

Nota 2: La expresión IV relaciona la esbeltez vertical ($y_v = H/e$) con la esbeltez horizontal ($h = L/e$), de modo que se debe cumplir la expresión: $h + 1.25 v \leq 17.5$.

Nota 3: Los muros en general deben tener una esbeltez vertical (V) igual o menor a 6 veces el espesor del muro y una esbeltez horizontal (H) igual o menor a 10 veces el espesor del muro. La esbeltez vertical puede llegar a un máximo 8, si se cumple la Nota 2.

Nota 4: El contrafuerte puede ser recto o trapezoidal. En caso tenga forma trapezoidal, ver línea segmentada en contrafuerte (exterior) su base o parte inferior debe medir “b” y la parte superior (que sobresale del muro) debe medir como mínimo “b/3”.

6.7. Tener como mínimo una viga collar en la parte superior de cada muro fijada entre sí, así como a los refuerzos, y contruidos con un material compatible con la tierra reforzada (madera, caña u otros).}

Figura 3. Ejemplo esquemático de un tipo de Viga Collar

6.8. Cálculo de las fuerzas sísmicas horizontales

La fuerza sísmica horizontal en la base de las edificaciones de tierra reforzada se determina mediante la siguiente expresión:

$$H = S \cdot U \cdot C \cdot P$$

Donde:

S = Factor de suelo según lo indicado en la Tabla N° 1. U = Factor de uso según lo indicado en la Tabla N° 2.

C = Coeficiente sísmico según lo indicado en la Tabla N° 3.

P = Peso total de la edificación, incluyendo carga muerta y el 50 % de la carga viva.

Tabla N° 1

Factor de suelo (S)

Tipo	Descripción	Factor de suelo (S)
I	Rocas o suelos muy resistentes con capacidad portante admisible $> 0.3 \text{ MPa}$ ó 3.06 kg.f/cm^2	1,0
II	Suelos intermedios o blandos con capacidad portante admisible $> 0.1 \text{ MPa}$ ó 1.02 kg.f/cm^2	1,4

Tabla N° 2

Factor de uso (U) y densidad según tipo de edificación

Tipo de Edificaciones	Factor de Uso (U)	Densidad
NT A.030 Hospedaje NT A.040 Educación NT A.050 Salud NT A.090 Servicios comunales NT A.100 Recreación y deportes NT A.110 Transporte y Comunicaciones	1,4	15%
NT A.060 Industria NT A.070 Comercio NT A.080 Oficinas	1.2	12%
Vivienda: Unifamiliar y Multifamiliar Tipo Quinta	1,0	8%

Tabla N° 3

Coefficiente sísmico por zona sísmica para edificaciones de tierra reforzada

Zona Sísmica	Coefficiente Sísmico (C)
4	0,25
3	0,20
2	0,15
1	0,10

6.9. Se debe evitar el deterioro de las edificaciones de tierra reforzada, causadas por el viento, la lluvia y la humedad, protegiéndolas a través de:

- Cimientos y sobrecimientos que eviten el humedecimiento del muro.
- Recubrimientos, revestimientos o enlucidos que los protejan de la lluvia, humedad y viento, y que permitan la evaporación de la humedad del muro.
- Aleros en el techo que protejan el muro de cualquier contacto con la lluvia. En las zonas bioclimáticas: N°3 Interandino, N°4 Mesoandino, N°5 Altoandino, N°6 Nevado, N° 7 Ceja de montaña, N°8 Subtropical húmedo, N°9 Tropical húmedo, indicadas en la Norma EM.110 Confort Térmico Lumínico con Eficiencia Energética, se usan aleros no menores de 1 metro de voladizo, adecuadamente anclados y con peso suficiente para no ser levantados por el viento.
- Veredas perimetrales con pendiente hacia el exterior de la edificación y que permitan la evacuación y evaporación del agua.
- Sistemas de drenaje adecuado (material granular suelto tipo piedras y gravas, con pendiente y colector inferior, evacuador de agua).

- f) En patios interiores, terrazas y otros espacios abiertos se asegura la evacuación y evaporación del agua o humedad depositada en el suelo o piso.

6.10. Para los refuerzos se debe tener en cuenta las consideraciones siguientes:

- a) Los muros y contrafuertes de las edificaciones de tierra reforzada deben tener refuerzos.
- b) En caso que los refuerzos sean externos a los muros o contrafuertes deben estar embutidos en el enlucido.
- c) No deben usarse refuerzos en una sola dirección, pues no logran controlar los desplazamientos y pueden sufrir colapsos parciales. Deben usarse refuerzos en dos direcciones (horizontales y verticales).
- d) En todos los casos, el refuerzo horizontal coincide con los niveles inferior y superior de los vanos.
- e) Los elementos que conforman los entrepisos o techos de las edificaciones de tierra reforzada, deben estar adecuadamente fijados al muro mediante una viga collar. El refuerzo debe fijarse desde la base del sobrecimiento a la viga collar.
- f) En caso se utilice refuerzos de tipo vegetal, geomallas, dinteles y/o mallas de sogas sintéticas, debe considerarse, según sea el caso, como mínimo lo siguiente:
 - i. Caña carrizo (hueca) o caña brava (sólida), completas, de 25 mm de diámetro aproximado como refuerzo vertical y chancadas tipo carrizo o guadua angustifolia (sin dañarlas) como refuerzo horizontal.
 - ii. Madera en rollizos o aserrada con diámetros igual o mayores a 25 mm como refuerzo vertical externo y sogas naturales (cabuya o sisal) de mínimo 6 mm de diámetro como refuerzo horizontal externo.
 - iii. Ramas trenzadas de fibra vegetal, en paquetes de diámetros de 25 mm como refuerzo vertical externo y ramas sueltas trenzadas o sogas como refuerzo horizontal externo, con diámetros mayores a 6 mm.

- iv. Sogas de cabuya, sisal o fibras naturales trenzadas formando mallas ortogonales externas, cumpliendo lo especificado en el inciso i, numeral 6.10 del artículo 6 del Capítulo II).
 - v. Cualquier combinación racional de las anteriores.
 - vi. Las conexiones de los elementos verticales y horizontales se realizan con cuerdas de nylon o sogas sintéticas, utilizando nudo llano (ver Anexo N°6, inciso 6.1: Nudos para refuerzos).
- g) En caso se utilice refuerzo de mallas sintéticas de nudos integrados (geomallas), el refuerzo debe ser externo y embutido en el enlucido. La geomalla, constituida por material sintético, debe reunir las características necesarias para ser usada como refuerzo de edificaciones de tierra, tales como:
- i. Conformación de retícula rectangular o cuadrada, con o sin diagonales interiores, con abertura máxima de 50 mm. y nudos integrados.
 - ii. Capacidad mínima de tracción de 3,5 kN/m, (356.9 kgf/m) en ambas direcciones, para una elongación de 2%.
 - iii. Flexibilidad y durabilidad para su uso como refuerzo embutido en tierra.
 - iv. Consideraciones de uso:
 - Los muros portantes y no portantes, incluyendo los vanos, deben envolverse con las geomallas, tensándolas uniformemente. Deben conectarse las geomallas de ambas caras de los muros con cuerdas sintéticas, con una separación máxima de 0.30 m.
 - La geomalla debe estar convenientemente anclada a la base del sobrecimiento y a la viga collar superior.
 - El uso de otro tipo de mallas, sólo es permitido si acredita su capacidad sismorresistente en ensayos cíclicos a escala natural.

Figura 5: Esquema de colocación de refuerzo con geomalla

Colocación de mallas

Traslape de mallas.

Cortes de mallas en ventanas o puertas

- h) En caso se utilice refuerzos de dinteles, se deben utilizar dinteles flexibles (por ejemplo, paquetes de caña o madera delgada en rollizos, amarradas por cordones o sogas) y amarrarlos a la viga collar.

- i) En caso se utilice refuerzos con mallas de sogas sintéticas (driza blanca o similar) se debe tener las consideraciones siguientes:
 - i. Utilizar diámetros de sogas sintéticas igual o mayores a 5/32" (3.97 mm), salvo las sogas para unir las mallas de ambas caras del muro, cuyo diámetro debe ser mínimo de 1/8" (3.17 mm).
 - ii. Las mallas de refuerzo deben ser externas al muro y embutidas en el enlucido del mismo, lo que también sirve para la consolidación de construcciones existentes.
 - iii. Las mallas deben conformarse mediante lazos verticales y horizontales que confinen (envuelvan) el muro. Los lazos de confinamiento vertical deben estar convenientemente anclados a la cimentación y a la viga collar superior.
 - iv. Las mallas de cada cara del muro deben unirse en cada intersección de los lazos según lo indicado en el Anexo N°6, inciso 6.1: Nudos para refuerzos, o mediante un método similar comprobado.
 - v. La separación entre las sogas horizontales debe ser menor a 0.40m en promedio para el tercio inferior a la altura del muro (sea la edificación de uno o dos pisos). Debe ser de 0.30m en promedio para el tercio central y de 0.20m en promedio para el tercio superior (sin coincidir con la junta horizontal). La separación entre las sogas verticales debe ser menor a 0.40m.
 - vi. El refuerzo horizontal debe coincidir con los niveles inferior y superior de los vanos.
- 6.11. En caso se desee aplicar lineamientos técnicos diferentes a los indicados en el Capítulo II, artículo 6. Criterios de configuración de las edificaciones de tierra reforzada, se debe sustentar la propuesta mediante métodos racionales y/o experimentales.

Artículo 7.- Sistema estructural para edificaciones de tierra reforzada

El sistema estructural para las edificaciones de tierra debe comprender los componentes siguientes:

7.1. Cimentación

- a) El cimiento debe cumplir dos condiciones:
 - i. Transmitir las cargas hasta un suelo firme de acuerdo a lo indicado por la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones.
 - ii. Evitar que la humedad ascienda hacia los muros de tierra.
- b) Cumpliendo las condiciones anteriormente mencionadas, todo cimiento debe tener una profundidad mínima de 0.60 m. (medida a partir del terreno natural) y un ancho mínimo de 0.60 m.
- c) Se puede utilizar los tipos de cimentación siguientes:
 - i. Piedra grande tipo pirca compactada, acomodada con piedras pequeñas.
 - ii. Concreto Ciclópeo.
 - iii. Albañilería de piedra con mortero de cemento o cal y arena gruesa.

7.2. Sobrecimiento

- a) El sobrecimiento debe cumplir dos condiciones:
 - i. Debe transmitir las cargas hasta el cimiento.
 - ii. Debe proteger el muro ante la acción de la erosión y la ascensión capilar.
- b) Cumpliendo tales condiciones, todo sobrecimiento debe elevarse sobre el nivel del terreno no menos de 0.30 metros y tener un ancho mínimo de 0.40 metros.
- c) Se pueden utilizar los tipos de sobrecimiento siguientes:
 - i. Albañilería de piedra con mortero de cemento o cal y arena gruesa
 - ii. Concreto ciclópeo

Figura 6. Esquema de cimentación

7.3. Muros

Los muros son los elementos más importantes en la resistencia, estabilidad y comportamiento sísmico de la estructura de una edificación de tierra reforzada. El diseño de los muros debe realizarse usando criterios basados en la resistencia, estabilidad y desempeño, complementariamente.

Los tímpanos deben ser del material similar al usado en los techos (madera, caña, fibra vegetal, entre otros) para que sean ligeros, más estables y fácilmente conectables con los techos.

Es posible utilizar muros curvos o muros para plantas poligonales, lo cual podría significar formas de adobe especial; si se usan adobes cuadrados o rectangulares, las juntas verticales no deben exceder de 30 mm en su parte más ancha. En la técnica del tapial se puede utilizar moldes circulares.

- Todos los muros curvos deben ser igualmente reforzados como el caso de los muros rectos y deben tener viga collar superior curva o poligonal.
- Los muros con radios mayores a 3.00 m. se deben considerar como muros rectos para la colocación y distanciamiento de arriostres verticales, así como limitaciones de esbelteces, según lo indicado en la presente Norma.

- c) Para radios comprendidos entre 1.25 m y 3.00 m, deben existir muros transversales o arriostres verticales cada 12e del muro como máximo (es decir, doce veces el espesor del muro como máximo) y la esbeltez vertical (h/e) no debe ser mayor a 10.
- d) Los muros con radios menores a 1.25 m, no requieren limitaciones de arriostres verticales.

7.3.1. Criterios para el diseño de muros basado en la resistencia

- a) El diseño de muros basado en la resistencia, debe considerar el área resistente de muros frente a la fuerza sísmica horizontal en su plano, teniendo en cuenta las consideraciones siguientes:
 - i. Las construcciones de tierra normalmente no tienen diafragmas horizontales rígidos a nivel de los techos y por tanto los desplazamientos de los muros paralelos son independientes.
 - ii. Calculadas las áreas tributarias asociadas a cada muro, en cada nivel si es el caso, es posible calcular fuerzas horizontales de diseño. Estas no deben sobrepasar los esfuerzos resistentes admisibles de corte en ellos (Ver Capítulo II, artículo 8: Esfuerzos de rotura mínimos. Ensayos de laboratorio).
 - iii. Para estos efectos, al área transversal del muro (largo por espesor), se puede añadir una fracción de los muros transversales o de arriostre, se trate de encuentros en “T” o en “L”, en ambos extremos del muro. Esta área adicional no debe ser mayor al 20 % del área del muro.
- b) El diseño sísmico de muros en la dirección perpendicular a su plano
 - i. De acuerdo al número de apoyos de cada muro, que es función de los arriostres verticales, se calcula el esfuerzo de flexión del muro producido por fuerzas sísmicas perpendiculares a su plano considerando el comportamiento elástico del material tierra. Dichos esfuerzos no deben sobrepasar los esfuerzos admisibles a tracción por flexión (Ver Capítulo II, artículo 8: Esfuerzos de rotura mínimos. Ensayos de laboratorio).

- ii. La viga collar tiene como misión mantener conectados los muros entre sí durante un sismo, pero no debe considerarse como un apoyo para los muros salvo que exista un diafragma de entrepiso de madera o una estructura horizontal especial. Por tanto, en general los muros deben tener dos o tres apoyos, considerando también el piso.

7.3.2. Criterios para el diseño de muros basado en la estabilidad

El diseño de muros basado en la estabilidad, debe respetar los límites de grosor, esbeltez vertical y esbeltez horizontal, altura máxima, distancia entre arriostres verticales, aberturas, indicados en esta norma. Ver Figura 2.

7.3.3. Criterios para el diseño de muros basado en el desempeño

En el diseño de muros basado en el desempeño, debe colocarse refuerzos en las conexiones, viga collar superior, dinteles flexibles, refuerzos ortogonales en muros (Ver Capítulo II, artículo 6, inciso 6.10).

7.4. Entrepisos y techos

- a) Los techos deben ser livianos, distribuyendo su carga en la mayor cantidad posible de muros, evitando concentraciones de esfuerzos en los muros. Además, deben estar adecuadamente fijados a los muros a través de la viga solera.
- b) Deben estar contruidos mediante entramados de madera, caña o fibras vegetales, o tijerales, o diseñados para resistir las cargas verticales y para transmitir las cargas horizontales (sísmicas) a todos los muros, a través de las vigas collares superiores.
- c) Los tijerales no deben crear empujes horizontales a los muros. Para evitarlo, debe utilizarse tensores horizontales inferiores.
- d) Se debe lograr que un techo plano actúe como un diafragma rígido añadiéndole elementos diagonales en el plano. Si el techo no es un diafragma rígido, no se le puede considerar apoyo superior de los muros, para el diseño de éstos.
- e) Los techos pueden ser inclinados (una o varias aguas).

- f) En el diseño de los techos se debe considerar las pendientes, las características de impermeabilidad, aislamiento térmico y longitud de los aleros de acuerdo a las condiciones climáticas de cada lugar.
- g) En el caso de utilizar tijerales, el sistema estructural del techo debe garantizar la estabilidad lateral de los tijerales.

7.5. Arriostres

Para que un muro se considere arriostrado debe existir suficiente adherencia o anclaje entre éste y sus elementos de arriostre. Para garantizar una adecuada transferencia de esfuerzos, los elementos de arriostre deben ser horizontales y verticales.

a) Arriostres horizontales

- i. Son elementos o conjunto de elementos que deben poseer una rigidez suficiente en el plano horizontal para impedir el libre desplazamiento lateral de los muros.
- ii. Los elementos de arriostre horizontal más comunes son los pisos y entrepisos de madera con elementos diagonales, se deben diseñar como apoyos del muro arriostrado, considerándose al muro como una losa vertical sujeto a fuerzas horizontales perpendiculares a éste.
- iii. Se debe garantizar la adecuada transferencia de esfuerzos entre el muro y sus arriostres, los que deben conformar un sistema continuo e integrado.

b) Arriostres verticales

Los arriostres verticales son muros transversales o contrafuertes especialmente diseñados, que deben tener una adecuada resistencia y estabilidad para transmitir fuerzas cortantes a la cimentación. Para que un muro o contrafuerte se considere como arriostre vertical debe cumplir con lo indicado en la Figura 2.

7.6. Refuerzos y conexiones

- a) La conexión entre el muro y la cimentación, debe realizarse uniando las mallas de refuerzo de los muros al sobrecimiento.

- b) La conexión entre el muro y el techo, debe realizarse amarrando los muros y vigas collares con las mallas de refuerzo de los muros y luego clavando o amarrando las vigas collares a las vigas principales o tijerales del techo.
- c) Los refuerzos deben cumplir lo indicado en el numeral 6.10 del artículo 6.

Artículo 8.- Esfuerzos de rotura mínimos. Ensayos de laboratorio.

8.1. Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del material tierra a la compresión (ensayo de compresión en cubos) se realiza conforme al procedimiento siguiente:

- a) La resistencia se mide mediante el ensayo de compresión del material en cubos de 0.1 m de arista.
- b) La resistencia última se calcula conforme a la expresión siguiente: $f \leq 1.0\text{MPa} \leq 10.2 \text{ kgf / cm}^2$
- c) Los cubos de adobes o muestras de tapial deben cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada.
- d) En el caso del tapial, de no existir muestras secas, se recomienda elaborar muestras comprimidas en moldes de 0.1 x 0.1 x 0.15 m. con 10 golpes de un mazo de 5 kg de peso.

8.2. Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del material tierra a la tracción, se realiza conforme al procedimiento siguiente:

- a) La resistencia se debe medir mediante el ensayo brasileño de tracción, en cilindros de 6" x 12" o 15.24 cm x 30.48 cm de diámetro y largo.
- b) La resistencia última es de $0.08\text{MPa} = 0.81 \text{ kgf/cm}^2$.
- c) Las muestras deben tener humedad inicial de 20 % a 25 % para control de adobes y 10 % a 15 % para control de tapial, y un secado cubierto de sol y viento de 28 días, debiendo cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada.

8.3. Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del mortero a la tracción, se realiza conforme al procedimiento siguiente:

- La resistencia se debe medir mediante el ensayo de morteros a tracción indirecta, en probetas de dos adobes unidos por mortero de barro con o sin aditivos naturales, sujetos a compresión de manera similar al ensayo brasileño.
- La resistencia última es de $0.012 \text{ MPa} = 0.12 \text{ kgf/cm}^2$.
- Se debe cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada.

Figura 7. Ensayo de resistencia del mortero a la tracción

8.4. Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del murete a la compresión, se realiza conforme al procedimiento siguiente:

- La resistencia última es de $0.6 \text{ MPa} = 6.12 \text{ kgf/cm}^2$.
- El ensayo de compresión en muretes de adobe o tapial de altura igual a tres veces la menor dimensión de la base (aproximadamente).
- Se debe cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada, después de 28 días de secado.

Figura 8. Ensayo de Compresión. Muretes de adobe o tapial

8.5. Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del murete a la tracción indirecta, se realiza conforme al procedimiento siguiente:

- La resistencia última es de 0.025 MPa = 0.25kgf/cm².
- El ensayo de compresión diagonal o tracción indirecta de muretes de adobe o tapial de aproximadamente 0,65 m. x 0.65 m. x em.
- Se debe cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada, después de 28 días de secado.

Figura 9. Ensayo de compresión diagonal o tracción indirecta

8.6. La resistencia de muros a tracción por flexión, tiene una resistencia última 0.14 MPa = 1.42 kgf/cm².

8.7. Mientras no se cuente con resultados de ensayos experimentales para el módulo de elasticidad de los muros de tierra, se usa el valor de 200 MPa = 2040 kgf/cm².

8.8. Para la resistencia de las cañas, se considera:

- a) Guadua: Resistencia última $100 \text{ MPa} = 1020 \text{ kgf/cm}^2$.
- b) Carrizo o Caña Brava: Resistencia última $40 \text{ MPa} = 408 \text{ kgf/cm}^2$.

8.9. Para la resistencia de las sogas sintéticas (drizas), la resistencia última es de $120 \text{ MPa} = 1200 \text{ kgf/cm}^2$.

Se debe cumplir que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada. La resistencia se calcula como el cociente entre la fuerza de rotura del ensayo a tracción y el área transversal, considerando el diámetro nominal de la driza. El diámetro nominal es el nombre por el cual se define a la driza.

El valor indicado de la resistencia corresponde a las drizas de color blanco. Se pueden utilizar drizas de otros colores considerando dos drizas de colores para remplazar una driza blanca.

El coeficiente de seguridad de las drizas debe ser de 2.5 para considerar cargas admisibles.

Artículo 9.- Esfuerzos admisibles

Los esfuerzos admisibles se deben calcular tomando un coeficiente de seguridad de 2.5 por variación de calidad en material, calidad de ejecución y evaluación de las cargas. En caso de no realizar los ensayos de laboratorio se considera un coeficiente de seguridad de 3.