



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**RELACIÓN ENTRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y
MINERALÓGICA Y LA ADHERENCIA MECÁNICA DE SUELOS
USADOS EN REVESTIMIENTOS DE MUROS DE TIERRA**

OMAR ENRIQUE MEDRANO MENDEZ

ASESORADO POR ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ

GUATEMALA, ABRIL DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**RELACIÓN ENTRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y
MINERALÓGICA Y LA ADHERENCIA MECÁNICA DE SUELOS
USADOS EN REVESTIMIENTOS DE MUROS DE TIERRA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

OMAR ENRIQUE MEDRANO MENDEZ

ASESORADO POR ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuel Milson
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

RELACIÓN ENTRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MINERALÓGICA Y LA ADHERENCIA MECÁNICA DE SUELOS USADOS EN REVESTIMIENTOS DE MUROS DE TIERRA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 26 de agosto de 2003.

Omar Enrique Medrano Mendez

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
OBJETIVOS	IX
INTRODUCCIÓN	XI
1. CONCEPTOS BÁSICOS	
1.1 Revestimientos	1
1.2 Actores involucrados en los revestimientos	3
1.2.1 Los muros de cerramiento	3
1.2.2 Revestimiento	3
1.2.3 Interacción muro-revestimiento	4
1.2.4 Actores externos	4
1.2.5 Estética	5
2. TRABAJO DE CAMPO	
2.1 Visitas de campo	7
3. ENSAYOS DE LABORATORIO	
3.1 Caracterización de las muestras	11
3.2 Reproducción de revestimientos	11
3.3 Implementación de equipo para ensayo de adherencia	13
3.4 Ensayo de adherencia mecánica de los revestimientos	14
3.5 Ensayo químico	17
3.5.1 Composición química de las arcillas	17
3.5.2 Análisis químico de las muestras	18
3.6 Análisis de determinación mineralógica	19
3.7 Análisis granulométrico	21
3.8 Obtención de la composición química de la mezcla del revestimiento	22

4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	
4.1 Análisis químico	23
4.2 Análisis mineralógico	25
4.3 Análisis granulométrico “método del hidrómetro”	26
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	
5.1 Adherencia – composición química y mineralógica	27
CONCLUSIONES	33
RECOMENDACIONES	35
BIBLIOGRAFÍA	39
APÉNDICE	41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Edificaciones de tierra	2
2.	Actores involucrados en los revestimientos	5
3.	Actores involucrados en los revestimientos	6
4.	Enlucidos reproducidos en laboratorio	12
5.	Mecanismo de aplicación de carga, ensayo de adherencia I	13
6.	Mecanismo de aplicación de carga, ensayo de adherencia II	15
7.	Proceso de fundición de muestras	18
8.	Observación de minerales en las muestras	19
9.	Granulometría “Método del Hidrómetro”	20

Tablas

I.	Mineralogía de las arcillas	20
II.	Resultados de la determinación óxidos de las muestras de tierra	23
III.	Resultados de la determinación óxidos de las muestras de arena	24
IV.	Resultados de la determinación óxidos de los materiales	24
V.	Resultados de la determinación mineralógica preliminar	25
VI.	Resultados de la determinación mineralógica final	25
VII.	Resultados de la granulometría de las muestras de tierra	26
VIII.	Resultados de número de actividad de las muestras de tierra	26
IX.	Comparación de las variantes de los revestimientos de tierra	61
X.	Calificación de revestimientos escogidos según parámetros	65

GLOSARIO

Acabado o enlucido	Aspecto final que se da al muro o elemento constructivo al concluir la aplicación de un determinado revestimiento.
Curado	Proceso exotérmico, en virtud del cual la pasta acuosa de un conglomerado adquiere fusión y consistencia, a merced de las alteraciones fisicoquímicas sufridas en la evaporación del agua.
Grupo de caolinitas	Principal constituyente del caolín y las arcillas para porcelana; derivadas del intemperismo del feldespato ortoclasa, ingrediente esencial del granito.
Grupo de illitas	Degradación de las micas (moscovita y sericita) en condiciones marinas, da como resultado minerales estructuralmente similares llamados illitas.
Grupo de montmorillonita	Suelen ser el resultado de una degradación adicional de la illitita; también se forma por el intemperismo del feldespato plagioclasa en los depósitos de cenizas volcánicas.
Puzolana	Material silíceo o aluminico-silíceo, el cual por si solo posee poco o ningún valor cementante, pero cuando se ha dividido finamente y están en presencia de humedad reaccionan químicamente para formar compuestos con propiedades cementantes.
Revestimiento	Elemento constructivo que recubre la estructura portante o los cerramientos de una edificación, su principal función es la de conservar y proteger los cerramientos.
Talpetate	Material pulvurulento, de color café claro o café oscuro compuesto de arcilla, limo y arena en proporciones variables, con un cementante que puede ser la misma arcilla o el carbonato de calcio.

RESUMEN

Este trabajo de graduación es el resultado de un proyecto de investigación llamado Plastering Clay Walls (PCW), que llevaron a cabo el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos en conjunto con las universidades de Ecuador, Nicaragua, El Salvador y Perú, contó además con el apoyo de los líderes del proyecto (PCW), conformado grupo Sofonias – Suiza, Ecosur, Guatemala y Usac. La primera parte del proyecto, fue la tesis de investigación en la cual se trató de establecer una relación entre la granulometría del material y su adherencia mecánica en muros de tierra.

Merece mención el aporte recibido por los pobladores de los lugares visitados, ya que no se limitó a entrevistas técnicas sino a experiencias personales así como las tradiciones, costumbres y culturas propias del lugar. La experiencia que se tuvo en los laboratorios donde se determinaron los materiales fue importante, ya que con esto se pudo reforzar el conocimiento adquirido en clase.

El tema de revestimientos de muros de tierra es muy amplio, se ha realizado esta investigación con el fin de encontrar una relación química y mineralógica entre la adherencia mecánica con todos aquellos revestimientos que dieron un buen resultado.

Todas las recetas propuestas en el proyecto fueron recopiladas en entrevistas realizadas a albañiles que estaban en las comunidades, ya que ellos tienen mejor experiencia en casas de adobe.

Se estudiaron todos aquellos factores, que de una manera u otra están involucrados con los muros de cerramiento, como agentes biológicos, y la interacción muro revestimiento.

En este proyecto se involucró el conocimiento empírico y se trato de validarlo con el apoyo del conocimiento científico. Se estudiaron los revestimientos a lo largo de 9 meses, exponiéndolos a la lluvia, viento, temperatura. Se evaluó principalmente la resistencia que tienen a la intemperie, y se analizó su comportamiento a través del tiempo.

Se analizaron química y mineralógicamente todas las muestras recopiladas en las distintas comunidades del país, se analizó, además, la granulometría de los finos para tener mayor información acerca las muestras.

OBJETIVOS

- General

Determinar si existe una relación entre la adherencia y la composición química y mineralógica de los materiales utilizados como revestimientos en muros de tierra.

- Específicos

1. Evaluar si la relación química mineralógica y adherencia es verdaderamente un factor determinante en el comportamiento de los revestimientos que han sido utilizados en los muros de tierra.
2. Obtener y definir recetas de revestimientos en el campo.
3. Definir una metodología de ensayo.
4. Obtener valores de adherencia en las recetas por medio de réplicas en laboratorio, de acuerdo a los ensayos definidos en la metodología.
5. Caracterizar química y mineralógicamente los materiales de las recetas.
6. Establecer una relación entre la adherencia y las características químicas y mineralógicas de las recetas, si existe.

INTRODUCCIÓN

El problema habitacional que afecta a nuestro país, induce al profesional a buscar nuevas alternativas de solución. Al recurrir al pasado es posible encontrar una alternativa económica, que está al alcance de la mano, el adobe. Esto dio lugar a la realización de investigaciones sobre la elaboración y construcción de viviendas de adobe, además de la creación de normas de construcción.

En el censo habitacional de 1994 realizado en Guatemala se determinaron los materiales mas utilizados en la construcción de viviendas. El 34% lo tiene el adobe y el bajareque, aunque no todas las construcciones tienen un buen mantenimiento, y necesitan de revestimientos para su protección y durabilidad.

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental la investigación para determinar la posible relación entre la composición química y mineralógica, y la adherencia de los suelos, que fueron utilizados como revestimientos en muros de adobe.

Los resultados obtenidos tendrán un impacto decisivo en la aceptación de tierra como un material constructivo; además, dará una metodología para identificar los buenos materiales para su elaboración, como también aditivos que puedan mejorar su resistencia. Se llevaran a cabo dos estudios diferentes; el empírico que se usó en el campo y el científico, en el laboratorio.

1. CONCEPTOS BÁSICOS

1.1. Revestimientos

En la antigüedad, cuando el hombre desarrolló una tecnología constructiva a fin de refugiarse de los fenómenos climáticos y de los agentes biológicos, utilizó materiales que le proporcionaba la naturaleza. Además, se vio en la necesidad de buscar nuevas alternativas que le brindaran mejor protección a las edificaciones. Esto generó lo que actualmente se conoce como revestimiento; que es un elemento constructivo que recubre la estructura portante o los cerramientos de una edificación.

Los revestimientos pueden cumplir funciones muy diversas, aunque las principales son las de conservar, proteger los cerramientos, la ornamentación de fachadas e interiores, las de aislamiento térmico y acústico, protección contra agentes biológicos (hongos, insectos, etc.). Involucran una serie de factores determinantes tales como resistencia a la abrasión, erosión, impacto adherencia mecánica y química y cambios volumétricos debidos a la temperatura o a la humedad. En general los revestimientos deben ser capaces de proteger la edificación, contra dichos agentes, ya que estos casi nunca actúan en forma aislada. Dadas estas condiciones, los revestimientos deben tener un comportamiento adecuado durante los distintos fenómenos, ya que estos tendrán que soportar fuerzas de tensión y compresión.

En las construcciones de tierra, en especial de adobe, la protección es importante, ya que los cerramientos de tierra son los más afectados por la acción erosiva propiciada por la lluvia el viento, la humedad debida al suelo y los agentes biológicos.

La elección del tipo de revestimiento a utilizar en distintos casos debe ser sumamente cuidadosa y tener como fundamento los resultados obtenidos en la experimentación empírica y de laboratorio.

Figura 1. Edificaciones de tierra



1.2 Actores involucrados en los revestimientos

En el tema de revestimientos existen varios actores que están involucrados de manera directa o indirecta, los cuales son determinantes en este tipo de investigación. Los actores involucrados de acuerdo los fines de este trabajo son los siguientes :

1.2.1 Los muros de cerramiento

En lo que respecta a esta investigación, se estudiaron muros de adobe y de tapial, ya que los revestimientos de las viviendas que se evaluaron o poseen este componente. El que se utiliza en la fabricación de los adobes, así como el mortero de unión, el tamaño de sisa y la superficie del muro son importantes, ya que de estos depende la adherencia mecánica y química o la buena o mala calidad de los revestimientos.

1.2.2 Revestimiento

Éste es el actor principal de la investigación. El objetivo fundamental es considerar los revestimientos hechos a base de arcilla, arena, limo; pero también se debe considerar el uso de otros tipos de revestimiento, tales como: cal, cemento, cenizas volcánicas, fibras vegetales, sustancias orgánicas, etc. Este actor es importante ya que en él giran todos los aspectos que influyeron (granulometría, composición química, caracterización mineralógica, adherencia, abrasión, resistencia a la intemperie, estética, etc.) en los resultados de la investigación.

1.2.3 Interacción muro-revestimiento

Este factor influye de gran manera en la investigación, porque las características de los muros son determinantes por el tipo de materiales utilizados en su elaboración, pues de estos materiales dependerá el comportamiento que tengan los distintos materiales. Entre estos se puede mencionar el adobe el mortero y el material del revestimiento. La permeabilidad del muro y del revestimiento, así como la fisuración de éste, las dilataciones y contracciones que pueda sufrir el revestimiento debido a los cambios de temperatura y la humedad, pueden originar esfuerzos cortante internos entre los dos materiales. Según el tipo de material se puede determinar si hay o no una reacción favorable entre muro-revestimiento (composición química y mineralógica).

1.2.4 Actores externos

Actúan directamente sobre los revestimientos, pueden ocasionar deterioro en los mismos, como también en los muros de adobe. El deterioro puede ocurrir por causas climáticas (viento, lluvia, luz solar, temperatura, humedad); causas biológicas (hongos, plantas, insectos) y causas sísmicas. Estos actores pueden producir desgaste, punzonamiento, esfuerzo cortante entre capas y conjuntamente con los otros actores producen un efecto determinante en la adherencia del muro y el revestimiento.

1.2.5 Estética

Afecta a los revestimientos porque motiva a los propietarios de las viviendas a darles mantenimiento. La estética no sólo lleva a los revestimientos a cumplir una función visual, sino que crea un ambiente satisfactorio para los habitantes de la vivienda.

La estética de las viviendas dentro de las comunidades rurales manifiesta, en su mayoría, un estatus social. Por ello los habitantes se ven motivados a revestir su vivienda y logran con ello protegerlas de los actores que producen su deterioro y darles una apariencia agradable.

Figura 2. Actores involucrados en los revestimientos



Figura 3. Actores involucrados en los revestimientos



2. TRABAJO DE CAMPO

2.1 Visitas de campo

El trabajo de campo se realizó en regiones seleccionadas del país, donde se utiliza el adobe como material de construcción de viviendas y éstas mismas están cubiertas por algún tipo de revestimiento desde hace 10 años o más.

En las regiones se contactó a pobladores quienes hablaron sobre su conocimiento acerca de revestimientos de viviendas de una manera parcial o total. También se pudo compartir con ellos sus costumbres, su cultura, experiencia y vivencias; tradiciones propias de su lugar de origen, lo cual permitió lograr un mejor conocimiento en el trabajo de campo. La información se obtuvo mediante la observación, la entrevista, la inspección y por muestras de material y fotografías de los lugares visitados.

En las entrevistas realizadas se procedió a llenar las fichas que fueron elaboradas para este trabajo de investigación (apéndice 1). Por medio de ello se obtuvo la información necesaria sobre las recetas utilizadas para los revestimientos, que luego se reprodujeron en el laboratorio.

En los recorridos se observó que existen diferentes tipos de revestimientos, los cuales varían dependiendo de su espesor, números de capas, materiales, sus métodos de aplicación y mano de obra calificada.

Es de hacer notar que en los revestimientos se utilizan materiales como cemento, cal hidratada, cal en terrón, arenas, limos y arcillas. En la información obtenida en la fichas se contaron 27 materiales diferentes (apéndice 2 consultar detalle).

De acuerdo a las fichas de información, materias primas y criterios de evaluación se pudo obtener un total de 80 recetas de revestimientos. Las cuales varían en número de capas, espesor y proporción (volumen) consultar detalle en el apéndice 2.

Las visitas en distintas regiones del país, demostraron que en éstas predominan las viviendas de abobe, factor importante para su elección. A continuación se presentan las comunidades visitadas.

- Aldea El sitio, Las Limas, Km 122 carretera a Cobán, Salamá, Baja Verapaz.
- Aldea La Ceiba, Salamá, Baja Verapaz.
- Aldea El Cacao, Salamá, Baja Verapaz.
- Aldea La Estancia, Salamá, Baja Verapaz.
- San Miguel Chicaj, Baja Verapaz.
- Antigua Guatemala, Sacatepequez.
- San Juan El Obispo, Sacatepequez.
- Jocotales, Sacatepequez.
- San Andrés Itzapa, Chimaltenango.
- Aldea El Carrizal, Jutiapa.
- La Perla, Jutiapa.
- Amayo el Ingenio, Jutiapa.
- Barrio La Libertad, Asunción Mita, Jutiapa.

- Barrio La Federal, Asunción Mita, Jutiapa.
- Río Los Encuentros, Jutiapa.
- Ciénaga Grande, Molino San Pedro, entrada a Santa Lucia Uatatlán, km. 144.5 carretera interamericana.
- Ermita Concepción La Conservadora, Salcaja.
- Sector 6 barrio Chipotrero, San Andrés Xejul, Totonicapán.
- Aldea San Felipe, San Andrés Xejul, Totonicapán.
- Aldea Xantún, Paraje Pacoc, Totonicapán .
- 10 avenida final zona 3, Agua Caliente, Totonicapán.
- Aguacatán, Huehuetenango.
- Aldea Chancol, Chiantla, Huehuetenango.

3. ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1 Caracterización de las muestras

En el recorrido por las distintas regiones del país, se recolectaron las muestras de materiales (arcillas, arenas y limos), los cuales fueron ensayados y caracterizados en los laboratorios de Química Industrial y Mecánica de Suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la USAC; El Centro de Investigaciones de Energía y Minas de la Facultad de Ingeniería de la USAC y el Ministerio de Energía y Minas, según los requerimientos de la investigación.

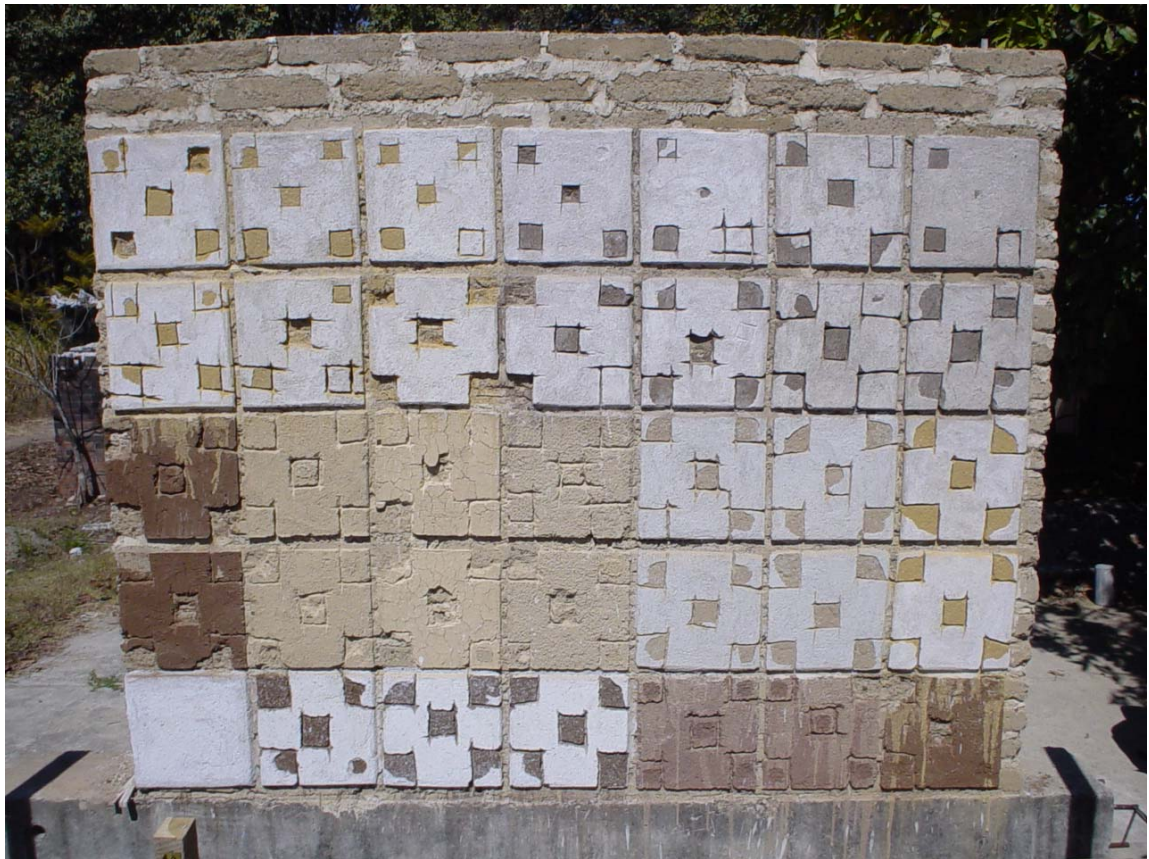
3.2 Reproducción de revestimientos

Se efectuó la reproducción de los revestimientos en el laboratorio de Tecnología de Materiales y Sistemas Constructivos del Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC, con base en las entrevistas realizadas en campo, materiales recolectados, criterios de evaluación (según requerimiento del proyecto), proporciones volumétricas, espesores de capas, con un total de 80 recetas.

Posteriormente se procedió a la elaboración de las mezclas para luego aplicarlas en un muro de adobe (construido previamente), en muestras de 40X40 cm. La aplicación de la mezcla la llevó a cabo un albañil de mano de obra calificada y con experiencia, según las indicaciones específicas por cada albañil entrevistado.

Durante el tiempo de aplicación y curado (aproximadamente 45 días) de cada revestimiento, se tomaron anotaciones tanto de su comportamiento, como los comentarios del albañil encargado de la aplicación, con el fin de determinar factores influyentes en la investigación.

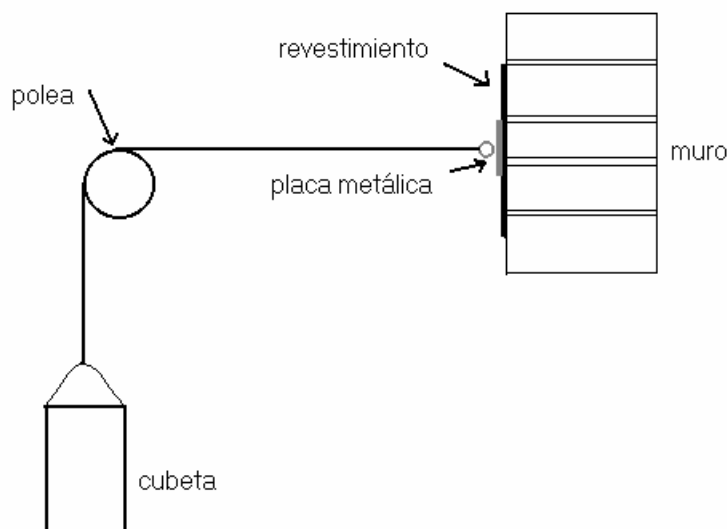
Figura 4. Enlucidos reproducidos en el laboratorio de Tecnología de Materiales y Sistemas constructivos.



3.3 Implementación del equipo para ensayo de adherencia

La implementación del equipo de ensayo se realizó con la ayuda del personal de la Sección de Materiales y Sistemas Constructivos y la Sección de Estructuras del CII/USAC. Constó de un marco de madera que es ajustable en altura por medio de “sargentos” (carpintero), y una polea que también se podía ajustar a todo lo largo del marco por medio de “sargentos”. A través de la polea pasó una cuerda que en un extremo estaba atada a un gancho de acero, por sobre el cual se encontraba un recipiente de 5 galones de capacidad; en el otro extremo de la cuerda iba colocado un gancho de acero el cual estaba puesto en la argolla de la placa metálica que estaba adherida al revestimiento. Este procedimiento es el sugerido en la norma francesa, “Cahier 1779” norma 1779 Centre Scientifique et Technique Du Batiment.

Figura 5. Mecanismo de aplicación de carga, ensayo de adherencia



3.4 Ensayo de adherencia mecánica de los revestimientos

Este ensayo se realizó bajo las especificaciones de 8 y 9 de las actividades de laboratorio del proyecto Revestimientos para paredes de tierra, una Investigación para Validar el Conocimiento Empírico (traducción parcial del proyecto escrito originalmente en inglés PCW), el cual tiene como objetivo, determinar la relación entre la adherencia mecánica y la composición química y mineralógica de cada revestimiento.

El ensayo se efectuó 45 días después de su aplicación. Consistió en adherir placas metálicas de 0.05 x 0.05 m. y un espesor de 0.002 m., en la superficie del revestimiento. Al estar adherida la placa al revestimiento se hizo una zanja alrededor de la misma con una profundidad igual al espesor del revestimiento, con el fin de lograr un área efectiva y que en el momento de aplicación de la carga normal a la placa el esfuerzo actué en el área efectiva y no en el área del revestimiento. Con el fin de lograr resultados concretos de adherencia, se colocaron 5 placas por revestimiento para obtener una carga promedio.

La aplicación de la carga para arrancar las placas metálicas, se realizó a través del equipo para ensayo de adherencia, según el siguiente procedimiento:

- Primero se niveló el sistema de ensayo, al colocar en un ángulo recto la cuerda que va de la polea hacia la placa, así como también la cuerda que va verticalmente hacia el recipiente.
- Segundo se sujetó cada placa al sistema y se procedió a agregar arena en el recipiente a una velocidad constante, hasta producir la falla.
- Luego de llegada la falla, se procedió a pesar el recipiente con arena, para obtener el peso en kilogramos que es igual a la carga de arrancamiento.
- Finalmente, obtenidos los datos de peso y tipo de falla se anotaron en un cuadro previamente elaborado.

Figura 6. Mecanismo de aplicación de carga, en el ensayo de adherencia, en laboratorio de Tecnología de Materiales y Sistemas Constructivos de CII-USAC.



Las fallas se dividieron en cuatro tipos, de acuerdo a los requerimientos de la investigación, las cuales son:

- Falla de la silicona: ocurrió cuando no hubo ningún arrancamiento del revestimiento, sólo se despegó la placa del revestimiento.
- Falla de adherencia entre capas, cara limpia: ésta ocurría sólo en los revestimientos que tenía dos capas, no existió adherencia entre capas.
- Falla de tracción o corte en el interior de algunas de las capas: este tipo de falla se da cuando existe corte en algunas de las capas.
- Falla de tracción o corte en el interior del muro base: ocurre cuando en el desprendimiento de la placa es total; y se lleva consigo el revestimiento, parte y fragmentos del muro.

3.5 Ensayo químico

3.5.1 Composición química de las arcillas

El conocimiento de la composición química de las arcillas es vital en la evaluación del uso específico de una arcilla, sin embargo, esta información debe ser usada en combinación de las propiedades físicas para una visión completa.

En general, se verá que las arcillas menos porosas tendrán una gran cantidad de agua combinada, y que el contenido de óxidos alto, baja el punto de fusión. El significado y origen de los distintos elementos en las arcillas, se estudia en forma de óxidos, estos se discuten seguidamente:

- Sílice (SiO_2) : Se presenta como parte del complejo mineral arcilloso, como silicatos no descompuestos y como sílice libre tanto detrítico como precipitación bioquímicamente (radiolarios, diatomeas), también por descomposición del cuarzo en cenizas volcánicas.
- Alúmina (Al_2O_3) : Componente esencial del complejo arcilloso de silicatos detríticos no meteorizados (feldespato principalmente). Un contenido en alúmina excepcionalmente alto sugiere hidratos de “Al” libre (diásporo) o materiales Bauxíticos.
- Calcio (CaO) : Como carbonato, aunque algunas cantidades mayores de las necesarias para formar carbonatos y por consiguiente, debe estar contenido en silicatos detríticos sin meteorizar.
- Hierro (Fe_2O_3) : Se presenta como pigmento oxidado, como parte del material clorítico existente y excepcionalmente como piritita, marcasita o siderita.
- Magnesio (MgO) : Se presenta en el complejo clorítico, como componente de dolomía y en la composición de arcilla del grupo de la attapulgita.

3.5.2 Análisis químico de las muestras

La determinación de los compuestos químicos de las muestras se hizo por separado. En el laboratorio de Química Industrial del Centro de Investigaciones se determinaron los óxidos de calcio, hierro, aluminio, magnesio; según la norma ASTM C331, C114 (*Method for Chemital Analysis of Hidraulic Cement*). Mientras que el óxido de sílice se determinó en el laboratorio del Ministerio de Energía y Minas, con la vía húmeda como técnica de análisis.

Aclaración: Las muestras se analizaron químicamente de manera separada, debido a que en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos en la Sección de Química Industrial, no se contaba con los insumos necesarios para la determinación de oxido de silicio. Para lograr este análisis se contó con la colaboración del laboratorio del Ministerio de Energía Y Minas para obtener el resultado de las muestras.

Figura 7. Proceso de fundición de las muestras en el laboratorio del Ministerio de Energía y Minas.



Figura 8. Ataque de ácidos a las muestras en el laboratorio del Ministerio de Energía y Minas



3.6 Análisis de determinación mineralógica .

Para la determinación mineralógica las muestras, se estudiaron en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) de la Facultad de Ingeniería. Entre las técnicas utilizadas para dicha determinación, se examinó las muestras con microscopio para observar minerales presentes, como también su textura, color, estructura. Por medio del análisis químico hecho previamente se utilizaron técnicas recomendadas por manuales de mineralogía, donde se encontraron tablas determinativas que están en función de las propiedades físicas, para darle nombre característico a las muestras. Para asignarle un nombre científico se debe hacer un estudio más minucioso, pues deben analizarse varios elementos químicos como potasio, sodio, y sus propiedades mecánicas, como plasticidad, resistencia mecánica, contracción, porosidad y permeabilidad, desflocuación y cambios termoquímicos.

Figura 9. Observación de minerales de las muestras en las instalaciones del Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas



Tabla I. Mineralogía de las arcillas

	Grupo	Composición	Superficie específica (m ² /gr)
A	Caolín		15-18
A.1	Caolinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	
A.2	Endelita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$	
B	Montmorillonita		400-800
B.1	Montmorillonita	$Mg_2Al_10Si_24O_{60}(HO)_{12}Na_2, Ca$	
B.2	Saponita	$Mg_2Al_10Si_{22}O_{60}(HO)_{12}Na_2$	
C	Illitas o Hidromicas		80-100
C.1	Illitas	$(OH)_4K_2(Si_6-Al_2)Al_4O_{20}$	

3.7 Análisis granulométrico

Para el estudio granulométrico se utilizó el método del hidrómetro y se tomaron como referencia las normas ASTM D-422-63 (*Method for particle –size analysis of soils*), D-421-85 (*Particle for dry preparation of soil sample for particle-size analysis and determination of soils constants*), AASHTO T 87-72 (*Dry preparation of disturbed soil an soil aggregate sample for test*) , T 88-72 (*Method for Particle-Size Analysis of Soils*). El análisis de hidrómetro es un método ampliamente utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de suelo, cuyas partículas se encuentran desde el tamiz N° 200 (0.074 mm) hasta alrededor de 0.001mm. Para poder encontrar los porcentajes de arena, limos y arcillas. Al obtener los resultados de granulometría, con los valores de índice de plasticidad, se calculo el Número de actividad (A) que es un termino que se aplica a los suelos plásticos con propensión a padecer cambios de volumen. Los altos valores de actividad están asociados con suelos que contienen minerales arcillosos de mayor actividad. Esto sólo es un indicativo de cómo podemos clasificar las arcillas de acuerdo a su índice de plasticidad y el porcentaje de arcilla, pero Skempton (1953), definió una relación entre los límites de Atterberg y la composición del suelos. Esto se llama Actividad de la arcilla o Número de actividad, lo único que diferencia esta de la anterior es el índice de la plasticidad en función del Cation de cambio que tenga el mineral .

$$A = \frac{IP}{\% \text{ part. } < 0.002 \text{ mm}}$$

Donde:

A = Número de actividad

IP = Índice de plasticidad

Figura 10. Granulometría “Método del Hidrómetro” en el laboratorio de Mecánica de Suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería.



3.8 Obtención de la composición química de la mezcla del revestimiento.

La composición química de la mezcla se obtuvo por medio de una regla de tres compuesta; a continuación se presenta la fórmula que sirve para los cinco elementos químicos:

$$\%EF = ((\%E1/100)*P1 + (\%E2/100)*P2) * 100 / (P1 + P2)$$

Donde:

% elemento final = %EF

% elemento 1 = %E1

% elemento 2 = %E2

proporción 1 = P1

proporción 2 = P2

4. RESULTADOS DE ENSAYOS

Como se mencionó en el capítulo 3, se realizó la caracterización de las muestras obtenidas en las visitas, por medio de los ensayos de composición química y caracterización mineralógica, a su vez ensayos de granulometría de suelos por el método de hidrómetro. En los resultados de adherencia se procedió de acuerdo a las especificaciones indicadas en dicho capítulo.

4.1 Análisis químico

Tabla II. Resultados de la determinación de óxidos de las muestras de tierra

Lugar	%SiO ₂ +MI	%CaO	%MgO	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃
Sitio 1	73.81	1.4	0	15.93	2.18
Sitio 2	71.88	1.39	1.29	6.84	5.35
Estancia	72.45	0.83	0.4	1.51	2.38
Carrisal 1	87.24	1.49	0	14.29	1.01
Carrisal 2	79.65	0.55	1.04	4.08	0.99
Carrisal 3	49.48	1.12	0.2	1.02	2.39
Amayo	70.52	0.83	0.49	11.51	1.57
Asun. Mita	63.81	4.11	0	11.04	2.09
La Federal	53.38	1.24	0	2.00	11.41
Salcaja	59.47	0.56	0.2	10.10	2.8
Chipotrero	63.58	4.69	0	5.54	2.36
La perla Jutiapa	76.72	1.25	0.79	6.79	4.4

MI: Materia Insoluble (todo material no descompuesto por ácidos, trozos de materia inorgánica y algunos elementos como calcio, potasio, sodio, etc)

Tabla III. Resultados de la determinación de óxidos de las muestras de arenas

Lugar	%SiO ₂ +MI	%CaO	%MgO	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃
Solola blan.	86.7	0.68	0.05	5.58	1.08
Solola amari	75.4	0.45	0.19	8.65	0
Anti. blan	90.55	0.56	0	0.5	1.6
Anti. amari	80.92	0.68	0.11	8.16	1.93
Chipotrero	74.14	1.06	0.05	0.51	0.86
Amayo	80.79	0.3	0.11	1.02	0.87
San Cristobal	84.2	0.61	0	3.57	1.3
El Sitio	89.22	2.27	1.57	4.57	0
El Carrizal	81.24	2.77	0	9.16	19.8
Los Encuentros	82.91	3.32	0	5.09	19.76
Las Pericas	87.85	1.82	1.7	1.38	10

MI: Materia Insoluble (todo material no descompuesto por ácidos, trozos de materia inorgánica y algunos elementos como calcio, potasio, sodio, etc)

Tabla IV. Resultados de la determinación de óxidos de otros materiales

Puzolana

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
variación	42-73	10-20	1-14	0-12	0-11
promedio	57.4	15.8	5.5	4.7	2.1

Cal en terrón o viva

SiO ₂	Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃	CaO	Mg
1.5	1.1	31.2	13.5

Cal hidratada

Oxido de Calcio : (CaO)	Oxido de Magnesio : (MgO)	Oxido de calcio activo : (CaO)	Hidróxido de calcio : Ca(OH) ₂
65,00	1,00	50,00	66,04

Cemento Pórtland

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
20	5	5	65	5

4.2 Análisis mineralógico

Tabla V. Resultados de la determinación mineralógica preliminar

(ver apéndice 3)

Tabla VI. Resultados de la determinación mineralógica

Procedencia	Muestra	Caracterización Mineralógica
Sololá	1	Arena Pomacea
Sololá	2	Tedra Aluminica
Antigua Guate.	3	Arena Volcánica Silicea
Antigua Guate.	4	Arena Arcillosa
Chipotrero Toto	5	Arena pómez ácida
Amayo Jutiapa	6	Arena Litica
San Cristobal Toto	7	Arena de río
El Sitio Km 122 Cobán	8	Arena Esquistosa
El Carrizal Jutiapa	9	Arena Ferrica Mediana
Los Encuentros Jutiapa	10	Arena gruesa de río
Las Pericas Sanarate	11	Arena pomez micacea
Jutiapa	12	Limos arcillosos
Salcajá	13	arcilla terrosa
Km 122 Cobán	14	Limos arcillosos ricos en micas
Km 122 Cobán	15	Limos con alto contenido en micas
Carrial 1 Jutiapa	16	Arcilla Silicea
Carrial 2 Jutiapa	17	Arcilla aluminica
Carrial 3 Jutiapa	18	Limos arcillosos
Amayo Jutiapa	19	arcilla obscura
Km 138 Cobán	20	arcilla limosa
Asunción Mita Jutiapa	21	Limo arcilloso férrico
Asunción Mita Jutiapa	22	Limo arcilloso
Totonicapán	23	Cenizas Volcánicas
Chipotrero Toto	24	Limo arcilloso

4.3 Análisis granulométrico método del hidrómetro

Tabla VII. Resultados de las granulometrías de las muestras de tierra

Lugar	G.E	% arena	% Limos	% arcilla
Asunción Mita Jutiapa	2.61 g/cm ³	34.3	40.7	25
El Sitio Km 122 Cobán	2.58 g/cm ³	53.3	31.7	15
La Federal A.M Jutiapa	2.32 g/cm ³	14.2	51.8	34
El Carrizal Jutiapa	2.61 g/cm ³	22.5	54.5	23
Salcajá	2.36 g/cm ³	38.3	41.7	20
Chipotrero Toto	2.40 g/cm ³	34.9	41.1	24
Estancia	2.33 g/cm ³	14.8	71.8	14

Tabla VIII. Resultados de número de actividad de las muestras de tierra

Lugar	IP	% arcilla	N° A	Función
Asunción Mita Jutiapa	9.7	25	0.39	Arcilla relativamente inactiva, tipo caolinítico
El Sitio Km 122 Cobán	24	15	1.62	Arcilla activa, tipo montmorillonítico
La Federal A.M Jutiapa	17	34	0.50	Arcilla normal, tipo ilítico
El Carrizal Jutiapa	17	23	0.73	Arcilla normal, tipo ilítico
Salcajá	5.4	20	0.27	Arcilla relativamente inactiva, tipo caolinítico
Chipotreto Toto	8.1	24	0.34	Arcilla relativamente inactiva, tipo caolinítico
Estancia Km 133 Cobán	4.6	14	0.33	Arcilla relativamente inactiva, tipo caolinítico

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Adherencia-composición química y mineralógica

Para la obtención de recetas de revestimientos, se utilizó como herramienta la entrevista a albañiles tradicionales, con el fin de conocer las distintas variantes que tienen los revestimientos, así como la tecnología que utilizan en su elaboración. En esta actividad se realizó una inspección táctil y visual ya que con esto se tomaron criterios para la evaluación de los revestimientos de los lugares visitados y determinar qué factores les afectan. Con esta metodología se pudo obtener una gran cantidad de recetas en las cuales varía su espesor, materiales y proporciones.

Para definir las recetas que fueron reproducidas en el laboratorio, se tomó en cuenta todas aquellas cuyos materiales de elaboración están al alcance de la mano, como también todas aquellas en las cuales varía el espesor, combinación de materiales (arena) y número de capas, según todos los lugares visitados.

Es necesario observar que en los lugares visitados, no todas las viviendas eran de adobe. Este fenómeno se asocia a la migración de pobladores al extranjero, ya que con esto pueden mandar recursos para la construcción de viviendas de block y lámina o losa.

Al definir las recetas se obtuvo un gran número de ellas, a continuación se enumeran los distintos tipos de revestimiento que es posible utilizar:

- Revestimientos con una capa de tierra y arena.
- Revestimientos con una capa de tierra y arena y otra capa de cal y arena.

- Revestimientos con capas de cal y arena.
- Revestimientos de cemento y arena.
- Revestimientos de cemento y piedrin de ... de pulgada.
- Revestimientos de puzolana y cal en terrón.
- Revestimientos de talpetate, arena, cal viva y una segunda capa de puzolana arena cal y cemento.
- Revestimientos de cal en terrón y arena.

En la metodología de ensayo se examinó un gran número de normas de las que se tomó una en la cual se realizan ensayos de adherencia en unidades de mampostería, ésta se adecuó a los recursos con que contaba en el laboratorio. La norma seleccionada fue Cahier 1779, norma 1779 Centre Scientifique et Technique Du Batiment.

En el ensayo de adherencia se tomó todos los valores de arrancamiento de placas metálicas en los revestimientos y se observó, el comportamiento del revestimiento en el momento de la aplicación de la carga. Se identificaron los distintos tipos de fallas que se mencionan en la sección 3.4, se tabularon los valores de arrancamiento junto con el tipo de falla. Posteriormente se seleccionaron los mejores revestimientos a través de 10 meses a exposición a la intemperie un verano y un invierno, en los cuales se evaluaron parámetros como: erosión, agrietamientos, desprendimientos, abrasión y estética. Es muy importante que los revestimientos no sólo se evalúen en función de su carga sino también en función de los parámetros establecidos.

La caracterización química y mineralógica de los materiales, en especial la tierra y la arena, se llevó a cabo en los laboratorios del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), El centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) y el laboratorio del Ministerio de Energía y Minas (MEM).

En la caracterización química se analizaron 5 elementos (sílice, aluminio, magnesio, calcio, hierro) en forma de óxidos. El sílice se analizó por separado debido a que el CII no contaba con los insumos necesarios para dicho análisis, se contó con la colaboración del Ministerio de Energía y Minas, para la realización del análisis, que fue por medio de la vía húmeda en donde el porcentaje está dado en forma de óxido de sílice más materia insoluble.

Materia insoluble es todo lo que el ácido no pudo desintegrar como por ejemplo cierta cantidad de calcio, potasio, materia orgánica.

Este resultado sólo es significativo, ya que para obtener exactamente el porcentaje de óxido de sílice se necesita otro método como el de absorción atómica. Los demás elementos se analizaron en los laboratorios del CII por medio de las normas ASTM C114-88 (*Method for chemical analysis of hydraulic cement*) y ASTM C311 (*Method for sampling and testing fly ash or natural pozzolans for use as mineral admixture in Portland cement concrete*). Se hizo un ensayo de granulometría por sedimentación “método del hidrómetro” normas ASTM D-422-63 (*Method for particle –size analysis of soils*), ASTM D 421-85 (*Particle for dry preparation of soil sample for particle-size analysis and determination of soils constants*), AASHTO T-88-72 (*particle size analysis of soils*), AASHTO T-87-72 (*Dry preparation of disturbed soil an soil aggregate sample for test*), con esto se obtuvo el porcentaje de arcillas, limos y arena, que se cree es importante, ya que este factor está relacionado con la adherencia.

La caracterización mineralógica se realizó en el CESEM, de acuerdo a los análisis químicos de las muestras y un análisis visual por medio de un microscopio para observar los minerales presentes en la muestra; se hizo una determinación preliminar (ver apéndice 3) y una determinación final, en la caracterización mineralógica se trató de no darles un nombre científico, se dio una descripción del material en base a los análisis químicos y la observación de minerales en las muestras, para que sea fácil su identificación en el campo.

El número total de revestimiento que se aplicaron en el muro de adobe fue 80, de los mismos se seleccionaron los mejores, se evaluaron de acuerdo a parámetros establecidos como estético, erosión y abrasión, esta selección se hizo 10 meses después de su reproducción en laboratorio.

En la evaluación de todos los parámetros establecidos se contó con la opinión de un ingeniero civil y una persona particular para poder escoger y calificar los mejores revestimientos. En lo que se refiere a la adherencia se tomó una puntuación de 10 puntos a los revestimientos que tuvieron 31 kilogramos de carga. Al obtener las calificaciones de todos los parámetros se les dio un porcentaje de acuerdo a la importancia que tienen los mismos, con un 30% a la erosión, 20% estética, 20% estructural (cómo protege el revestimiento al muro), 15% abrasión y 15% a la calificación de adherencia.

De acuerdo a la granulometría obtenida en la tierra y en la arena, se obtuvo una distribución de granos de la mezcla para el análisis correspondiente.

Para el análisis de los revestimientos seleccionados, se formaron cuatro grupos para su estudio.

- Revestimientos de tierra.
- Revestimientos de tierra con una segunda capa.
- Revestimientos de cal y arena.
- Revestimientos de otros materiales.

Para el grupo número 1 sólo se tienen dos revestimientos el N° 17 y el N° 68 (ver apéndice 4); con una similar graduación de granos, pero los porcentajes de óxidos de sílice, calcio y aluminio son mayores en la mezcla 17 y el óxido de hierro es mayor en la mezcla 68.

La mezcla 17 presenta una mayor adherencia y puntuación que la mezcla 68 aunque tenga una graduación similar de granos, la variación que existe en estas mezclas es el tipo de arcilla lo cual se muestra en la función de la arcilla (Numero de actividad y % de arcilla menores de 0.002 mm.) y su composición química.

En el análisis de las mezclas 17 y 67 (ver apéndice 4), éstas tienen valores muy significativos, el N° 17 tiene un mayor % de óxido de aluminio que el N° 67, pero tiene un mismo porcentaje de óxido de hierro y el óxido de calcio es mayor en N° 67 que el N° 17. Las graduaciones de granos son diferentes, los valores de adherencia son diferentes ya que el de mayor adherencia y puntuación es la mezcla N° 17.

En el grupo 2 los revestimientos 1,5 y 25 (ver apéndice 5), tienen poca diferencia en los valores de adherencia y, en su calificación, tiene buena respuesta el acabado de arena y cal con la capa base de tierra y arena, ya que no sólo le da un buen aspecto y protección al muro, sino también a la capa base de todos los agentes que afectan al muro (biológicos, climáticos, humanos).

En los del grupo 3, cuyos materiales son cal y arena y una sola capa, no se encontró ningún factor común que influyeran en la adherencia debido a que no existió una diferencia marcada en los datos de laboratorio, sin embargo, los resultados obtenidos en la adherencia son muy buenos.

En el grupo 4 no se pudo hacer una comparación entre los revestimientos, debido a que son diferentes en su proporción y número de capas como de materiales, pero cada revestimiento tuvo una buena adherencia, esto está asociado a que todos estos tenían cal y cemento.

CONCLUSIONES

1. En la obtención de recetas se tuvo una buena respuesta de los pobladores ya que proporcionaron información de revestimientos, se mostraron interesados en el tema ya que ellos prefieren viviendas de adobe por que son económicas, tienen un buen ambiente térmico y sus materiales están al alcance de la mano.
2. Se logró el objetivo de definir recetas de revestimientos en función de la investigación de campo se identificaron un total de 80 revestimientos de diferentes materiales.
3. Se logró establecer una metodología de ensayo en la cual el equipo se adecuó a los insumos con que se contaba en laboratorio, que fue pieza fundamental en la obtención de los valores de adherencia por medio de replicas de revestimiento.
4. En la caracterización se obtuvieron distintos valores, no sólo se limitó a caracterizarlos química y mineralógicamente, sino también se procedió a una caracterización física del material en función de su tamaño de grano. Se logró dar una descripción fácil de los materiales desde el punto de vista mineralógico para su identificación.
5. La relación que se encontró entre la adherencia y las características químicas y mineralógicas de las muestras es una aproximación, ya que no sólo éstas dos variables pueden depender de la adherencia sino que pueden existir otras en las cuales trabajen en conjunto para obtener mejores resultados de adherencia.

6. La mejor granulometría que se encontró es aquella que tiene un rango de 80% a 85% de arena a partir del tamiz con una abertura de 3.175 mm. hasta el límite de los limos, y un 15% a 10% de limos, y 10% a 5% de arcilla.
7. El elemento químico que se encontró en mayor porcentaje en las mezclas que presentaron mejor adherencia y mejor calificación fue el óxido de aluminio. Esto puede asociarse a las propiedades electroquímicas de las partículas de arcilla.
8. El tipo de arcilla fue una variante notoria en las mezclas, ya que el revestimiento de tierra que presentó mejor adherencia y calificación es la arcilla de tipo montmorillonítico, que tiene contenido orgánico, micas y es muy plástica.
9. Los revestimientos que contienen cal, cemento o cualquier otro material de construcción, como por ejemplo la puzolana, que fueron aplicados en muros de adobe estabilizados con cal, tuvieron una mejor respuesta que los revestimientos de tierra ya que estos no presentan erosión, fisuras o desprendimientos.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario recopilar más información acerca de revestimientos en distintas poblaciones del país para obtener más recetas de revestimientos y poder establecer un grado de comparación entre unas y otras.
2. En la definición de recetas es conveniente establecer las variantes que van a tener como por ejemplo sólo variar el tipo de material y dejar constante la proporción y espesor del revestimiento.
3. Es necesario mejorar la metodología de ensayo para tener mejores resultados de adherencia para que no exista variabilidad en los datos. Mejorar el equipo de laboratorio para la realización del ensayo de adherencia.
4. En la caracterización de materiales es necesario analizar las mezclas de los revestimientos y no los materiales por separado ya que con ello es posible obtener mejores resultados. Hacer análisis químicos a las mezclas en un sólo laboratorio para que no exista diferencia entre métodos. Hacer fluorescencia de rayos X a las muestras, para poder clasificar a qué grupo de minerales pertenecen las mismas.
5. Hacer análisis de las propiedades físicas, químicas, mecánicas y electroquímicas a las muestras para poder tener mas información y así poder ver las variables que presentan los materiales en función de la adherencia.

6. Hacer un análisis químico y mineralógico a los materiales que fueron utilizados en la elaboración de adobes y el mortero de unión, ya que es importante para saber si existe atracción o compatibilidad con los materiales del revestimiento.
7. Reproducir los revestimientos de tierra seleccionados, y proponer una sola proporción y un mismo tipo de arena, para hacer un cuadro comparativo de los revestimientos y encontrar una relación con la adherencia.
8. Reproducir revestimientos de tierra que tengan diferentes proporciones y distintos tipos de tierra para observar como influye la graduación de grano, en la adherencia y a la erosión.
9. Reproducir revestimientos en muros de tierra que no estén estabilizados con ningún otro material, y compararlos con revestimientos en muros tierra estabilizados para saber si existe diferencia en el comportamiento de los revestimientos. Además reproducir revestimientos de tierra que estén estabilizados con cal y cemento.
10. En los revestimientos de tierra es aconsejable utilizar una segunda capa o una base de pintura, con esto se le da un mejor mantenimiento al revestimiento y al muro, también se evita su y que éste brinde ambiente adecuado para albergar agentes biológicos como hongos, plantas, insectos (triatoma dimidiata)
11. Proponer revestimientos de tierra-arena en donde se utilice fibra vegetal para que ésta actúe como refuerzo y contrarreste los cambios volumétricos que sufren las arcillas al contacto con el agua.

12. Aplicar lechadas de cal y cemento en proporciones 3:1 y para mejores resultados aplicar en 100 ml de agua 4 onzas de cloruro de calcio.
13. Realizar estudios a los materiales (tierra), como superficie específica, porosidad, fluorescencia de rayos x, con esto se puede obtener mayor información y así encontrar otras variantes que puedan influir en la adherencia.
14. Que el material con que fue elaborado el adobe sea el mismo para el revestimiento, ya que con esto se puede homogenizar el muro y el revestimiento.
15. Los revestimientos a base de otros materiales como cal, cemento y puzolana resultaron buenos en ésta investigación, pero si la persona no tiene acceso o disponibilidad a estos materiales, los revestimientos a base de tierra son buenos. A diferencia de los otros, a estos tienen que darles mantenimiento, como por ejemplo impermeabilizarlos con pinturas a base de cal.

BIBLIOGRAFÍA

1. Barrientos Aguilar, Hugo Aroldo. **Evaluación experimental de enlucidos tradicionalmente utilizados sobre muros de adobe.** Tesis Ing. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1991. 41pp.
2. Crespo Villalaz, Carlos. **Mecánica de suelos y cimentaciones.** 4ª. Ed. México: Editorial Limusa, 1991. 641pp.
3. Kurt Rhyner y otros. **Revestimientos para paredes de tierra, una investigación para validar el conocimiento empírico (traducción parcial del proyecto escrito originalmente en inglés).** 2002. 10pp.
4. Lambe, William T y Whitman, Robert. **Mecánica de suelos.** 2da. Ed. México: Editorial Limusa, 1997. 784pp.
5. Palencia Flores, Luis Eduardo. **Relación granulométrica adherencia mecánica de suelos usados como revestimientos.** Tesis. Ing. Civil. Guatemala Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 53pp.
6. Pérez Bol, Edgar Rolando, Toledo Sosa, Neftalí de Jesús. **Estudio sobre arcillas de Panimaquito.** Tesis. Técnico en Geología. Guatemala, Centro Universitario del Norte. 1994. 76pp.

7. Sowers, George B. y George F. Sowers. **Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones.** 6ta. Ed. México: Editorial Limusa, 1990. 663pp.
8. Whitlow, Roy. **Fundamentos de mecánica de suelos.** 1era ed. México: Editorial Continental, 1974. 577pp.

APENDICE 1

APENDICES 2 AL 7