

# **Evaluación de la adherencia de revestimientos en paredes construidas con tierra mediante un equipo de laboratorio autoconstruido**

**Quiñónez, F. J.**

Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, javierquinonez@yahoo.es

**Ayala, Virgilio**

Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, virgilioayala@yahoo.com

## **RESUMEN**

Las viviendas construidas con tierra en Guatemala proporcionan abrigo a no menos del 40% de la población. Un estudio de campo reveló que la mayor parte de esas viviendas están degradadas, lo que las hace susceptibles de disminuir su capacidad de carga y de ofrecer medios propicios para que se alojen insectos indeseables. Una metodología para la evaluación de revestimientos para construcciones de tierra en los laboratorios en función de las aplicaciones exitosas en el campo fue el objetivo principal de esta investigación. Se evaluaron los materiales y se determinó la permeabilidad y absorción capilar en las mezclas, sin embargo, en este artículo se presentan únicamente los resultados obtenidos en los ensayos de adherencia, considerada esta acción mecánica como la base fundamental para la selección de un revestimiento. La propuesta de un equipo de laboratorio muy sencillo, atendiendo a las recomendaciones internacionales adoptadas, constituye la otra aportación importante. Las recomendaciones que se generaron han permitido la mejora de cientos de viviendas de tierra en el área rural guatemalteca, en un programa que está pretendiendo erradicar la enfermedad de Chagas, un mal que por ahora tiene contagiados a miles de campesinos y amenazados a varios millones más.

**Palabras claves:** revestimientos, adherencia, Mal de Chagas, materiales locales

## **ABSTRACT**

Homes built with earth in Guatemala provide shelter to at least 40 % of the population. A field study revealed that most of those homes are degraded, making them likely to reduce their carrying capacity and provide enabling environments for undesirable insects staying. A methodology for evaluation of coatings for earthworks in laboratories based on successful applications in the field was the main objective of this research. Materials were evaluated and permeability and capillary absorption in the mixtures was determined, however, in this article the results of the adhesion tests are presented only as it was considered the fundamental basis for the selection of a coating. The proposal of a simple laboratory equipment, taking into account the recommendations adopted constitutes another important contribution. The recommendations that were generated have allowed the improvement of hundreds of houses in rural areas of Guatemala, in a program which is pretending to eradicate Chagas disease, a disease that has now infected thousands of persons and threatened millions more.

**Keywords:** coatings, adhesion, Chagas disease, local materials

## 1. INTRODUCTION

La tierra, compuesta por arcilla, limo y arena, ha sido el material de construcción más utilizado por siglos y no existe duda que para una importante parte de la población mundial, es el único material disponible para construir una vivienda decente.

Esta situación se refleja de manera dramática en el caso de Guatemala, ya que en 1,973 existían 508,582 viviendas de tierra (el 57% del total a nivel nacional); el número de unidades se incrementó en el Censo de 2002 a un total de 706,466, lo que significó un incremento de 39% respecto del censo anterior, que albergaban de tres a cuatro millones de guatemaltecos, seguramente los de menores recursos económicos (eso era aproximadamente la tercera parte de la población en ese año). El adobe seguía siendo hasta entonces un material de importancia, principalmente en la vivienda rural y para las personas de menores ingresos. Desafortunadamente no existen censos habitacionales que aporten datos más recientes, aunque es evidente que este tipo de construcción sigue siendo la solución inmediata para una gran parte de la población en la actualidad.

Las construcciones de tierra se ven frecuentemente afectadas por radiaciones solares, cambios de temperatura, lluvias, humedades y el ataque de insectos. Todos estos agentes en conjunto provocan una degradación y erosión constante del material, lo que hace disminuir a estas edificaciones su capacidad sismorresistente y colapsar muy fácilmente ante un movimiento de esta naturaleza. Muchas veces el deterioro alcanzado llega a ser tan severo que las edificaciones colapsan por sí solas. Por ésta razón, es necesario protegerlas con revestimientos.

Los revestimientos son elaborados de diversos materiales, de acuerdo con la superficie a tratar. Las funciones de un revestimiento son de conferir a la edificación una protección adecuada contra los agentes atmosféricos y biológicos que la erosionan por la acción del viento, el agua, los cambios de temperatura, así como por la presencia de insectos y microorganismos. Otra de las funciones primordiales del revestimiento es procurar que se tenga una superficie lisa, es decir, que esté regularizada y uniforme, en espera, si hace falta, de otro tratamiento con aportación ornamental o decorativa.

En la construcción de paredes de tierra (adobe, por ejemplo), en la interacción muro-revestimiento se puede producir desgaste, punzonamiento, fisuración, filtración, esfuerzo cortante entre capas y conjuntamente con otros actores, producen un efecto determinante en la adherencia del muro y el revestimiento.

En una evaluación de campo realizada se observó que los revestimientos en construcciones de tierra en Guatemala presentan deficiencias de varios tipos, siendo las principales: los materiales que se utilizan, la dosificación de las mezclas utilizadas, el muro sobre el que se colocan, durabilidad, falta de adherencia, hay fisuración y existe erosión.

El objetivo general de la investigación que se presenta, fue proponer una metodología para la evaluación de revestimientos para construcciones de tierra en los laboratorios en función de las aplicaciones exitosas en el campo y la aplicación experimental de los resultados en viviendas rurales. En este artículo se presentan, sin embargo, únicamente los resultados obtenidos en los ensayos de adherencia en revestimientos elaborados en el laboratorio con materiales locales, aplicados sobre un muro de tierra, específicamente de mampostería de adobe y utilizando un procedimiento de ensayo adaptado a las limitaciones del medio. Aunque se realizaron evaluaciones en los materiales y se determinaron características de permeabilidad y absorción capilar en las mezclas, se consideró que la base fundamental para la selección de revestimientos es el resultado de la acción mecánica entre el muro y el revestimiento (adherencia).

Previamente a la realización de los ensayos de laboratorio fue necesario realizar la preparación de los equipos y materiales. La preparación de los equipos de laboratorio, de acuerdo a los requerimientos establecidos en las

normas adoptadas y utilizando materiales de desecho, es uno de los mayores logros obtenidos en esta investigación.

Actualmente existe un proceso de mejoramiento de viviendas con los resultados de esta investigación en el área rural guatemalteca, que ha alcanzado mucho éxito en ya varios miles de habitaciones, lo cual ha favorecido las condiciones para reducir la mortalidad y prevenir el contagio de la enfermedad del Mal de Chagas.

## **2. ASPECTOS GENERALES DE LOS REVESTIMIENTOS**

La definición más sencilla de revestimiento indica que es el material que se coloca al estado pastoso, sobre la pared, agarrándose a ésta por pegamiento. La adherencia de un revoque se obtiene por efecto de pegamiento entre dos superficies de contacto, la del revoque y la de la pared, y por agarre mecánico logrado al imprimirse las asperezas de la pared en la masa plástica del revoque. Los revoques de tierra están compuestos principalmente por arena y limo, con solo la cantidad de arcilla que sea necesaria (usualmente entre 5 y 12 %) para activar la cohesividad y la adherencia. (PROTERRA, 2003).

Los revestimientos son el modo más directo de defenderse de las agresiones del mundo exterior. Se trata de luchar contra el calor, el frío, el ruido y la humedad. Idealmente cada uno de los materiales empleados para revestir un muro deben cumplir con las siguientes condiciones: proteger al mismo de la humedad de condensación, ser poco combustible, ser fáciles de aplicar, no deteriorarse, resistiéndose a los efectos físicos y a las relaciones químicas, no deteriorar a los materiales sobre los que hayan sido colocados en contacto directo, ni ser afectados por ellos, tener una duración apreciable, requerir poco gasto de mantenimiento, permitir las reparaciones, facilitando la reposición de una pieza o materiales, en caso de ser necesario y ofrecer comodidad a sus habitantes de manera durable (AID, 1987).

Los efectos del color tienen gran importancia, ya que afectan desde los puntos de vista térmico: reduciendo o aumentando las ganancias del calor solar; psicológico: deprimiendo o motivando; de reflexión: ocasionando deslumbramiento.

## **3. PRINCIPALES CAUSAS DE DETERIORO DE LAS EDIFICACIONES**

Las principales causas de deterioro en muros de construcciones de tierra son (Medrano, 2003):

- 3.1. Causas Humanas
- 3.2. Causas Biológicas: Agentes biológicos autotróficos (plantas superiores y líquenes), Agentes biológicos heterotróficos (insectos y animales), Agentes biológicos saprofitos (hongos y bacterias)
- 3.3. Causas Climáticas: Lluvia, Soleamiento, Viento, Humedad, Temperatura
- 3.4. Causas Sísmicas

## **4. PORQUÉ ESTUDIAR LOS REVESTIMIENTOS?**

En muchos lugares donde la tierra es utilizada, algunos tipos de revestimientos han sido utilizados durante cientos de años. Dichas soluciones responden al clima local, tipos de tierras, materiales adicionales disponibles, expectativas sociales y posibilidades de sus usuarios. Ellas varían del más simple y de soluciones temporales hasta sólidos y muy atractivos revestimientos.

Artesanos tradicionales conocen estas tecnologías, sin embargo, ellos guardan a menudo sus “recetas” muy celosamente y no es fácil de disminuir las diferentes prácticas a una o dos soluciones genéricas, inclusive en lugares pequeños. Un trabajo de investigación realizado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, hace algunos años, encontró que entrevistando a 13 albañiles tradicionales en una pequeña ciudad, se encontraron 13 “recetas” diferentes.

Aunque en la utilización de la tierra en los revestimientos también se contribuye a la preservación del medio ambiente, al utilizar materiales de origen natural que no contaminan de ninguna manera; en una sociedad de rápida modernización como es la mayoría de Latinoamérica, el conocimiento tradicional está perdiendo terreno y el empirismo ya no es bien respetado. Sin embargo, es un hecho que los revestimientos de tierra se encuentran a nivel nacional e internacional en numerosos países y de ellos existen pocos estudios realizados.

Las paredes de adobe o construcciones de tierra se ven frecuentemente afectadas por radiaciones solares, cambios de temperatura, lluvias, humedades y el ataque de insectos. Todos estos agentes en conjunto provocan una degradación y erosión continua y constante del material, lo que hace disminuir a estas edificaciones su capacidad sismorresistente y colapsar muy fácilmente ante un movimiento de esta naturaleza (Ver Figuras 1 y 2). Muchas veces el deterioro alcanzado llega a ser tan severo que las edificaciones colapsan por sí solas. Por ésta razón, para disminuir ese riesgo, es aconsejable adicionar a las paredes una protección.



**Figura 1: Erosión en muros de tierra (adobe)**



**Figura 2: desprendimiento de capas de revestimiento en muros de tierra (adobe)**

Aunque los revestimientos son importantes para preservar las edificaciones, es de igual o mayor importancia la influencia que ellos tienen en la prevención de la transmisión de enfermedades. Dentro de las construcciones de adobe se han encontrado chinches que transmiten la enfermedad de Chagas. El *Triatoma dimidiata*, es el principal vector de esta enfermedad en Guatemala, que tiene amenazados a millones de guatemaltecos y contagiados a varias decenas de miles.

Estos aspectos de salubridad y de prevención del riesgo sísmico, son los que justifican la investigación en revestimientos para mejoramiento de casas de tierra.

## **5. DESARROLLO Y RESULTADOS**

Luego de realizado el análisis de la información bibliográfica y de campo, se definieron los materiales, mezclas y los ensayos que debían realizarse en los laboratorios. Los ensayos se dividieron en dos partes: ensayos en los materiales y ensayos en las mezclas de revestimiento.

Durante los ensayos se anotaron los resultados cuantitativos, así como las observaciones cualitativas. Es preciso indicar que las observaciones de tipo cualitativo (tipos de fallas, principalmente), fueron muy importantes para interpretar lo que estaba ocurriendo.

Los ensayos que se consideraron necesarios para la caracterización de los materiales fueron: Análisis Granulométrico ASTM C-33; Peso Unitario ASTM C-29 y Límites de Atterberg ASTM D-4318 (ASTM, 2006).

Los ensayos de laboratorio para caracterizar las mezclas propuestas para utilizarse como revestimientos fueron: absorción de agua por capilaridad, permeabilidad al agua y **adherencia por arrancamiento**.

Equipos especiales de laboratorio fueron diseñados y adaptados, de acuerdo a los requerimientos de las recomendaciones francesas seleccionadas (CSTB, 2000), lo cual constituyó un verdadero aporte a la ingeniería nacional. El ensayo de adherencia por arrancamiento fue considerado como el indicativo final del éxito del revestimiento, razón por la cual se seleccionó para este artículo.

### 5.1. ADHERENCIA POR ARRANCAMIENTO

Para el ensayo de adherencia por arrancamiento fue necesario construir un muro de adobe a escala natural, sobre el cual se elaboraron muestras cuadradas de revestimiento seleccionadas de cincuenta centímetros por lado (Ver Figura 3). Las muestras se dejaron endureciendo por un período de 30 días.



**Figura 3: muro de tierra (adobe) con muestras de revestimiento**

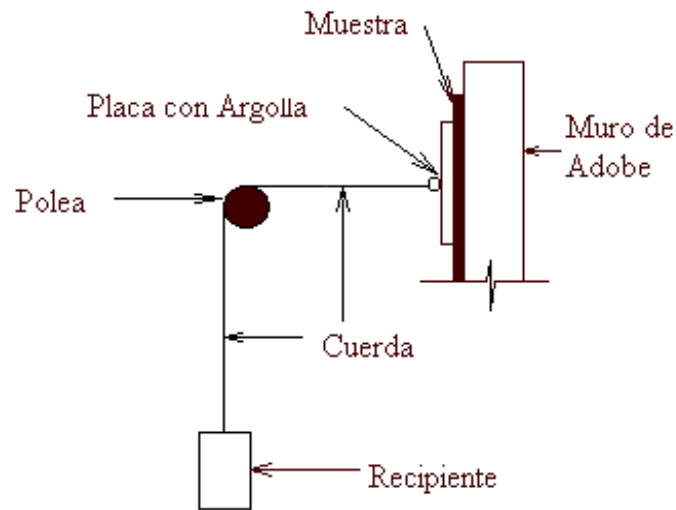
Después del período de endurecimiento, se pegaron sobre los revestimientos cinco placas metálicas cuadradas de cinco centímetros de lado, a las cuales se soldó un anillo metálico para soporte para la extracción (lo cual significó 5 ensayos para la misma muestra).

El ensayo buscó desprender el revestimiento por medio de las placas, aplicando una carga de tracción con la ayuda de un sistema formado por un marco, una polea, una cuerda y un recipiente en el cual se fue agregando arena hasta el momento de ocurrir la falla (Ver Figuras 4 y 5). El equipo fue adaptado por estudiantes de los últimos años de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El peso de la arena se tomó como la masa que produjo la falla del revestimiento.

En la Tabla I se presentan las muestras que fueron sometidas al ensayo de adherencia por arrancamiento. En este ensayo se presentaron cuatro tipos de falla, los cuales se describen a continuación:

1. **Completa y/o Total:** fue la falla que arrancó todo el revestimiento incluyendo en el mejor de los casos partes del muro adherido a él.
2. **Parcial:** en este tipo de falla se desprendió únicamente una parte del revestimiento con partes del muro adherido a él.

3. **Capas:** se desprendió una pequeña capa de uno a dos milímetros del revestimiento dejando el resto adherido al muro.
4. **Pegamento:** esta fue la falla en la cual se desprendió la placa del revestimiento.



Esquema

Mecanismo de aplicación de carga, ensayo de adherencia

**Figura 4: Esquema del ensayo de adherencia en revestimiento de muro de tierra**



**Figura 5: Muro de tierra (adobe), durante el ensayo de un revestimiento**

Al concluir los ensayos mecánicos de adherencia se realizó la evaluación cualitativa de cada revestimiento (apariencia visual, erosión y fisuración). La Tabla II indica los valores obtenidos en los ensayos de tracción por arrancamiento y los resultados de la evaluación cualitativa, así como la calificación final del revestimiento evaluado.

**Tabla I: Muestras elaboradas para los ensayos de adherencia**

No. de la Muestra	Nomenclatura	Dosificación
1	M-P	1:2
2	M-P	1:3
3	M-Q	1:2
4	M-Q	1:3
5	E-P	1:2
6	E-P	1:3
7	E-Q	1:2
8	E-Q	1:3
9	M-P-C	1:2:0.25
10	M-Q-C	1:2:0.5
11	E-P-C	1:2:0.5
12	E-Q-C	1:2:0.25
13	M-Z-C	1:3:0.5
14	E-Z-C	1:3:0.5
15	M-Z-P-C	1:1:2:0.25
16	E-Z-P-C	1:1:2:0.25

Las dosificaciones fueron por volumen. La Nomenclatura utilizada para el manejo de las muestras del ensayo de Adherencia es la siguiente:

M = Arcilla 1; E = Arcilla 2; P = Arena 1; Q= Arena 2; Z = Puzolana y C = Cal

**Tabla II: Resultados de los ensayos de adherencia**

Muestra No.	Carga adherencia (kg)	Ponderación mecánica de adherencia	Ponderación aspectos cualitativos	Calificación Final de la Muestra/100
1	33.15	66	9.85	77
2	21.90	44	7.80	52
3	26.96	54	8.95	63
4	20.75	42	9.85	52
5	31.40	64	9.15	73
6	32.20	64	10.00	74
7	29.40	59	10.00	69
8	26.53	53	10.00	63
9	21.20	42	7.75	50
10	19.60	39	9.75	49
11	24.50	49	8.00	57
12	13.86	27	9.20	36
13	23.46	47	8.25	55
14	14.90	29	7.25	36
15	12.00	24	8.00	32
16	22.50	45	9.00	54

## **6. DISCUSIÓN**

Las dosificaciones y los materiales que actualmente se emplean en el área rural para la construcción de revestimientos de tierra son muy variadas. Fueron identificadas 80 recetas diferentes en las visitas de campo, todas ellas son una mezcla de combinaciones diferentes de arenas, arcillas y limos, algunas veces estabilizadas químicamente con cemento portland, óxido o hidróxido de calcio.

La propiedad mecánica de mayor relevancia identificada en los revestimientos fue la adherencia. La implementación de un equipo en base a las recomendaciones de las normas francesas adoptadas y al reciclaje de desechos sólidos, para tal propósito, fue uno de los aportes más valiosos de ésta investigación, constituyendo asimismo la parte más laboriosa de este trabajo.

Se observó en el campo que existen aplicaciones que datan de muchos años, con buenos resultados. La práctica de aplicación de los revestimientos, sin embargo, parece estar desapareciendo. La técnica de aplicar en las paredes de adobe, los mismos revestimientos que para paredes de bloques de cemento, es una concepción equivocada que parece estar tomando auge con el tiempo. La incompatibilidad de los materiales es un concepto ignorado por la mayoría de personas hasta ahora.

Fue muy difícil encontrar una normativa internacional que se adaptara a las condiciones del tema. Los requerimientos de las normas adoptadas, fueron cumplidos con equipos implementados por estudiantes de los últimos años de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala, siendo esta actividad de los productos más notables de éste proyecto.

Las visitas de campo evidenciaron que mientras en algunos lugares los revestimientos son aplicados por hombres con el uso de herramientas, en otros son aplicados por mujeres directamente con las manos. Esta situación es función de la cultura que predomina en cada uno de los lugares visitados, lo cual debe ser considerado ampliamente en cada caso.

No existe una única formulación que se pueda generalizar para los revestimientos a base de tierra. En cada caso, es necesario hacer experimentos previos con los materiales locales. Se estableció un procedimiento que debe seguirse en todos los casos para proponer opciones económicas y seguras para la protección de las viviendas.

## **7. APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS EN EL ÁREA RURAL**

Los resultados obtenidos en esta evaluación se han aplicado en programas de mejoramiento de viviendas de adobe en el área rural guatemalteca, con el objetivo de reducir la mortalidad y contagio del Mal de Chagas. Los programas se diseñaron sobre la base de un enfoque ecosistémico, que integra a profesionales y estudiantes universitarios, miembros de las comunidades y a los programas de vectores del Ministerio de Salud Pública. Las dosificaciones de los revestimientos, en cada caso están en función de las características de los materiales locales. Hasta febrero de 2014 se ha mejorado varios miles de viviendas de tierra favoreciendo a un buen número de familias de escasos recursos económicos, uno de cuyos resultados se puede ver en las Figuras 6 y 7. Los resultados también se han diseminado a otros países como El Salvador, Honduras y México.

Como resultado de estas aplicaciones en Guatemala, se sugieren aplicaciones experimentales en comunidades enteras ya que los aspectos de salubridad y protección de las estructuras se han visto notablemente mejorados. Por otra parte, algo que no se tenía contemplado es que la aplicación del color en estos revestimientos, con pigmentos naturales, trajo consigo cambios notables en la autoestima y en la actitud de los usuarios ante la vida misma (algo que cada vez está haciendo más falta, no solamente en Guatemala).





**Figura 6: Aplicación de revestimiento y color en una vivienda de la zona oriental de Guatemala**



**Figura 7: Aplicación de revestimiento en una vivienda del Municipio de Quezada en Guatemala**

## **REFERENCIAS**

Agencia Internacional para el Desarrollo –AID- (1987). Construcciones con Adobe. Centro Regional de Ayuda Técnica, División de Investigación. México.

American Society for Testing Materials (2006). Especificaciones Técnicas para Ensayo de Materiales. ASTM C-33; ASTM C-29; ASTM D-4318. USA.

Centre Scientifique Et Technique Du Batiment (2000). Modalites d'essais des enduits extérieurs d'Impermeabilization de mur a base de liants hydrauliques. Norma Francesa No. 1779. Francia.

Medrano Méndez, Omar Enrique (2003). Relación granulometría - adherencia mecánica de suelos usados como revestimientos. Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

PROTERRA (2003). Proyecto XIV.6 del Subprograma HABYTED, Programa CYTED. El Programa de Tecnologías de Vivienda de Interés Social. Técnicas Mixtas de Construcción con Tierra. Brasil.

#### **AUTORIZACIÓN Y RENUNCIA**

*Los autores autorizan a LACCEI a publicar el artículo en las memorias de la conferencia. Ni LACCEI ni los editores son responsables por el contenido o por las implicaciones que pudiera tener lo expresado en el artículo.*