



ACABADOS Y REVESTIMIENTOS EN EL DISEÑO DE ARQUITECTURA DE TIERRA

Tesina de grado FADU-UdelaR
Blanca Bozzano Ciavaglia



ACABADOS Y REVESTIMIENTOS EN EL DISEÑO DE ARQUITECTURA DE TIERRA

Tesina de grado FADU-UdelaR
Blanca Bozzano Ciavaglia

Tesina de grado FADU-UdelaR (Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo – Universidad de la República)

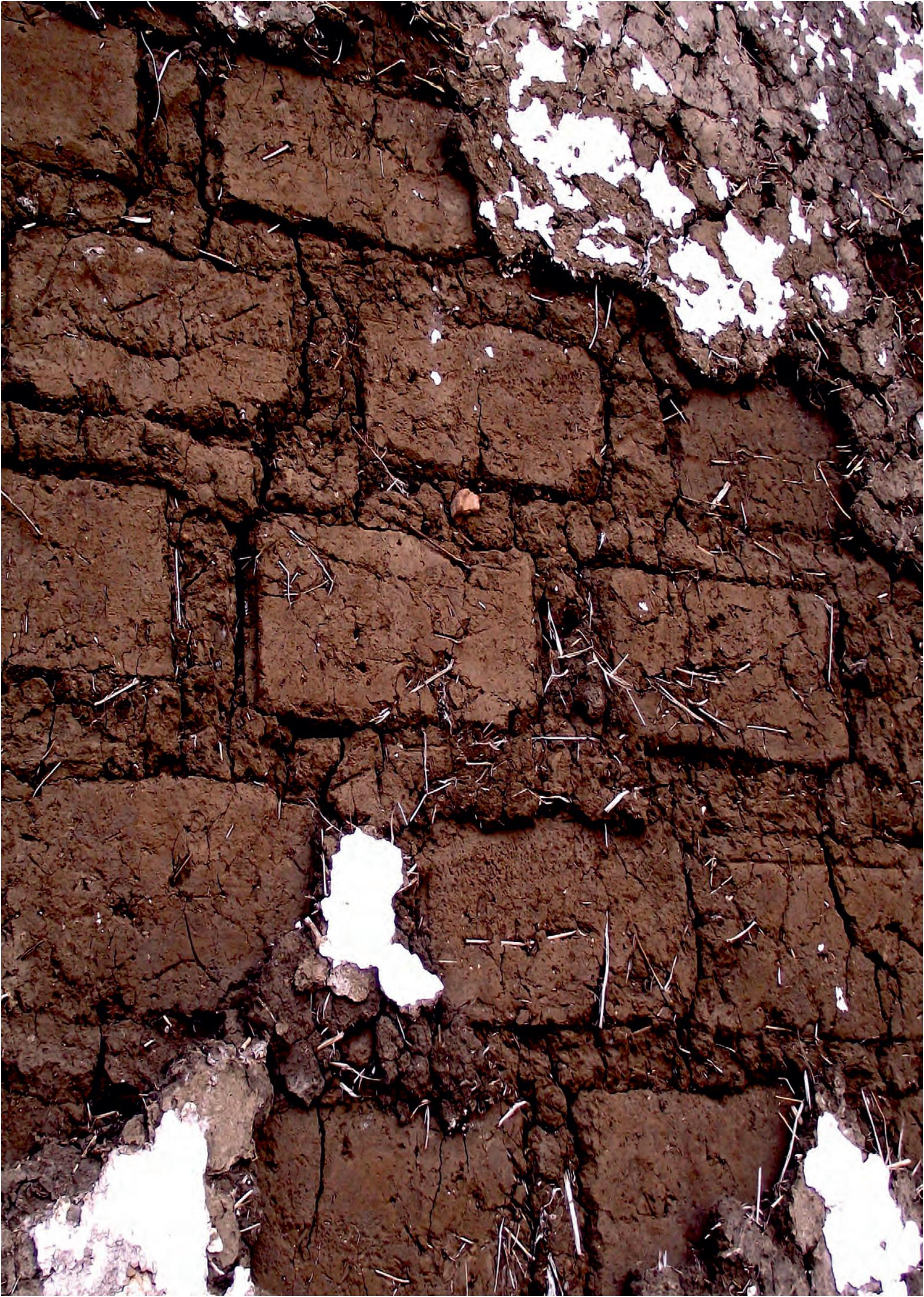
ACABADOS Y REVESTIMIENTOS EN EL DISEÑO DE ARQUITECTURA DE TIERRA.

Autora: Bach. Blanca Bozzano Ciavaglia

Tutor: Arq. Javier Márquez

Entrega|Defensa: Octubre 2017

RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN METODOLÓGICA	7
1 TEMA Y OBJETO DE ESTUDIO	8
2 JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES	9
3 OBJETIVOS	10
3.1 Objetivos generales	10
3.2 Objetivos específicos	10
4 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	11
5 ALCANCE	11
DESARROLLO	13
1 ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA.	15
1.1 La significación socio-cultural de la arquitectura de tierra	16
1.2 La tierra como material de construcción. Ventajas y desventajas.	19
1.3 La tierra.	22
1.4 Estabilización de la tierra.	26
1.5 Mantenimiento y Protección	33
1.6 Patologías en la arquitectura de tierra	34
2 GENERALIDADES DE LOS ACABADOS Y REVESTIMIENTOS	37
2.1 Descripción, función y usos de los acabados y revestimientos.	38
2.2 Los distintos sistemas constructivos y su relación con el acabado o revestimiento.	40
2.3 Protección y Mantenimiento de los acabados y revestimientos	42
3 REVOQUES, PINTURAS, FORROS Y OTROS	45
3.1 Revoques	45
3.2 Pinturas	65
3.3 Forros	73
3.4 Otros	75
CONCLUSIONES	77
GLOSARIO	81
BIBLIOGRAFÍA	85
PUBLICACIONES Y REVISTAS	86
ARTÍCULOS	87
ANEXOS	89



RESUMEN

Las construcciones de tierra se han realizado a lo largo del tiempo y del mundo pues poseen una tradición milenaria que acompaña a casi todas las culturas a través de todas las épocas de la humanidad.

Actualmente revalorizadas bajo el paradigma del Desarrollo Sustentable, este trabajo tiene por principal objetivo general aportar desde su abordaje y profundización académica, haciendo énfasis en los aspectos técnicos, en pro de su mejora y estímulo de desarrollo.

Los acabados y los revestimientos en las construcciones en base a tierra son uno de los elementos fundamentales para el buen desempeño y eficacia del sistema constructivo. Estos otorgan la protección ante agentes externos e internos a la edificación y aseguran el equilibrio de los componentes constitutivos. Por su composición y exposición son materiales particularmente sensibles y vulnerables. Asimismo reside en ellos parte fundamental de la calidad física y sensitiva del diseño de la construcción, la percepción de la espacialidad y la volumetría, la temperatura, las texturas, la luz y el color.

Según la disposición y conjunción de ciertos materiales podemos lograr infinidad de acabados y revestimientos y dada las particularidades de cada caso es difícil la aplicación directa en una nueva práctica, ya que hay múltiples factores que hacen de cada acabado o revestimiento una solución específica.

Existen múltiples casos prácticos con pocos registros exhaustivos, y una amplia bibliografía generalmente a modo de manual general de la construcción con tierra. Sin embargo el abordaje bibliográfico específico es diverso y disperso, y su abordaje científico-teórico-técnico (los fundamentos del porqué articulados con los cómo) se presentan fragmentariamente, siendo este uno de los principales desafíos metodológicos.

Se presenta una investigación de tipo monográfica en la que se describen y analizan las funciones, cualidades, requerimientos, ejecución y mantenimiento de los acabados y revestimientos en la arquitectura de tierra.

La metodología empleada es de selección, análisis y sistematización bibliográfica.

Como principal resultado sintético se diseña una ficha orientativa que pudiese servir: tanto para el análisis de casos construidos, como para evaluar factores claves a considerar para la buena ejecución y desempeño en nuevas construcciones. También se incluye como producto de la investigación algunas discusiones sobre la temática (arquitectura de tierra) y sobre el objeto de estudio (acabados y revestimientos), así como sobre el proceso de investigación; y un glosario de vocabulario específico.

Palabras claves: *arquitectura de tierra, aplicabilidad, revoques, pinturas, forros.*



INTRODUCCIÓN METODOLÓGICA

1 TEMA Y OBJETO DE ESTUDIO

La arquitectura de tierra tiene una tradición milenaria que acompaña a casi todas las culturas a través de todas las épocas de la humanidad. Sin embargo su devenir histórico ha tenido diversas desventuras en el siglo XX en el que el mundo moderno arquitectónico ha menospreciado y por ende también relegado a su estudio y aplicación técnica por ser considerada símbolo de pobreza y retraso cultural. (GUERRERO BACA, Luis, 2007, p184).

En la actualidad, desde hace cerca de tres décadas, se ha ido construyendo un importante bagaje conceptual que permite fomentar la práctica edilicia actual de esta arquitectura, y bajo el paradigma del Desarrollo Sustentable, la construcción en tierra se revaloriza dentro de la Arquitectura Sustentable y Ecológica, intrínsecamente asociado a los conceptos de tecnologías apropiadas, eficiencia energética, tradición cultural, huella ecológica, etc. Bajo este enfoque conceptual cada vez son más conocidas mundialmente sus prácticas arquitectónicas contemporáneas, en las que la reivindicación de la tierra como material de construcción viene a mostrarse en una múltiple variedad de soluciones funcionales y estéticas sin una locación geográfica concreta.

Esta Tesina surge como profundización del curso optativo “Diseño de la arquitectura con tierra” dictado por los docentes Helena Gallardo, Rosario Etchebarne, Alejandro Ferreiro y Javier Márquez, cursado por la autora en el segundo semestre de 2013. Así mismo la autora ha participado en diversos cursos y talleres relacionados a la bioconstrucción y afines, siendo esta temática un decidido interés de especialización profesional, lo que motiva esta investigación y futuras a desarrollar.

El recorte del *objeto de estudio* en esta instancia se focaliza sobre los acabados y revestimientos en la arquitectura de tierra; bajo la intención de profundizar y sistematizar la información disponible sobre sus materiales constitutivos, sus propiedades físico-químicas, sus funciones, sus usos, sus requerimientos, sus aplicaciones específicas según el sistema constructivo empleado, las tecnologías de preparación y técnicas de ejecución, el mantenimiento y las patologías. Se pretende una investigación con enfoque técnico-profesional bajo un abordaje teórico científico (por sobre un recetario o un trabajo en forma de manual). En este caso no se abordarán las combinaciones tecnológicas entre construcción tradicional (moderna) y los acabados y revestimientos en las construcciones en tierra.

8

Es de importancia aclarar que en esta investigación bibliográfica no se han tomado en cuenta ni registrado las dosificaciones recomendadas, pues sería parte de un estudio de campo, ya que la bibliografía es variada y recomienda infinidad de recetas. Por esto es de destacar que lo que se intenta hacer aquí es listar los factores claves a considerar para el estudio del comportamiento de los acabados y revestimientos.

2 JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES

Importancia de los acabados y revestimientos en la arquitectura de tierra

Los acabados y revestimientos poseen una gran importancia técnica por ser las protecciones externas e internas casi indispensables que aseguran el buen desempeño de las construcciones en base a tierra, de manera de no comprometer la eficacia del sistema constructivo empleado y sus componentes (estructura, rellenos, anclajes y fijado de partes secundarias y primarias como paramentos, cubierta, aberturas, etc.)

Así mismo la envolvente acabada juega un rol fundamental en la percepción formal, estética y sensorial de las construcciones en tierra, y en su percepción de la calidad del diseño; factores sociales que afectan a la idea de una arquitectura rigurosa y a la idea de una arquitectura popular y de sectores de bajos recursos económicos y culturales.

Importancia de la revisión técnica de los acabados y revestimientos en la arquitectura de tierra.

Actualmente las experiencias constructivas en arquitectura de tierra vienen aumentando exponencialmente; aunque no siempre con un enfoque científico-técnico profundo, y en algunos casos, bajo la idea de laboratorios/ejercicios prácticos, sin una sistematización tecnológica de las experiencias, ni generalización de las prácticas singulares (cada experiencia implica características particulares que hacen de cada acabado o terminación una solución específica) que permitan extraer principios que puedan ser aplicados con cierta garantía de éxito en acciones y construcciones futuras.

Aunque de tradición históricamente oral y popular, existe en la actualidad, una variedad bibliográfica del tema a nivel global y también regional (sumado a la era de la atomización de la información digital), pero sin embargo el campo aún es diverso y principalmente disperso.

Buena parte del vocabulario es utilizado en diversas connotaciones, no existen clasificaciones acordadas, y se diversifican los enfoques y parámetros de estudio. Este acervo surge de la experiencia y de investigaciones desarrolladas en diferentes instituciones de todo el orbe que trabajan con el objetivo común de mejorar la calidad de vida de la sociedad mediante la materialización de un medio construido económica y ecológicamente sustentable. (GUERRERO BACA, Luis, 2007, p184). Podemos nombrar a modo de ejemplo la Red iberoamericana Proterra, el centro CRATerre, la EAT Escuela de arquitectura de la tierra, el CEDODAL: Centro de Documentación de Arquitectura Latinoamericana, etc.

Específicamente sobre el tema acabados y revestimientos existen parcialidades, algunos capítulos o punteos en libros globales y artículos específicos vinculados con la temática. Incluso en las publicaciones específicas como *“Revoques de Barro. Mezclas, Aplicaciones y Tratamientos”* de Gernot MINKE (2013), no se llega a abordar la cabalidad del objeto de estudio.

En el ámbito local la bibliografía y las experiencias disponibles son parciales. En este sentido es importante retomar académicamente estas prácticas, tanto para su mejora técnica constructiva y de comportamiento, su desarrollo espacial arquitectónico, estímulo profesional para el uso de estas técnicas, como para la comunicación y sensibilización de la viabilidad de un hábitat sustentable y amigable con el medio ambiente, bajo la clave de revalorización del retorno a la naturaleza, como cultura inmaterial que se manifiesta en esta arquitectura.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivos generales

- Profundizar en el estudio de la arquitectura de tierra, a través del estudio particular de los acabados y revestimientos. Conocer, comprender y apropiarse de la temática desde un enfoque técnico (su aplicación como ciencia, arte y oficio a la práctica).
- Aportar una visión síntesis de los acabados y revestimientos en la arquitectura de tierra, que contribuya a su revalorización y mejora técnica. A través de la profundización y sistematización de los parámetros de abordaje para su estudio.

3.2 Objetivos específicos

- Estudiar las características matéricas de la arquitectura de tierra.
- Analizar el comportamiento de los acabados y revestimientos: sus características, usos, requerimientos, ejecución, tipos y consideraciones específicas.
- Compendiar y describir la multiplicidad de acabados y revestimientos en la arquitectura de tierra.
- Visibilizar los principales factores determinantes para la ejecución y evaluación de acabados y revestimientos de la arquitectura de tierra.

4 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Se plantea una investigación monográfica teórica que profundiza el objeto de estudio a través de la técnica metodológica análisis documental (ECO, U., 1989; Hernández Sampieri, R. et al., 1991)¹, a través de la selección, análisis y sistematización bibliográfica.

El trabajo busca ser principalmente descriptivo (HERNÁNDEZ SAMPIERI, R. et al., 1991) y de síntesis; siendo esto uno de los principales desafíos metodológicos ya que los contenidos se exponen en diversas categorías y parámetros de clasificación.

La estructura de la investigación se presenta en 3 módulos principales:

- 1) *Aspectos fundamentales de la arquitectura de tierra.*
- 2) *Generalidades de los acabados y revestimientos.*
- 3) *Revoques, Pinturas, Forros y Otros.*

Los contenidos expuestos se compendian en distintos listados², y como principal síntesis de la investigación se diseña una **ficha orientativa** para el análisis de casos y para la evaluación de factores claves a considerar para la buena ejecución y desempeño de los acabados y revestimientos en la arquitectura de tierra, como también para conocer y reflexionar sobre el estado del arte y los aspectos fundamentales para abordar la temática.

Como producto del proceso de investigación se realiza un glosario a modo de clarificación del vocabulario técnico empleado.

5 ALCANCE

Aunque las intenciones primarias de la investigación temática (“Acabados y revestimientos en el diseño de arquitectura de tierra”) incluían el estudio de casos locales, abordando casos “in situ” a través de metodologías de entrevistas con arquitectos, constructores y habitantes, así como el relevamiento fotográfico de las construcciones a modo de ficha o similar; el alcance de este trabajo se encauza exclusivamente a la **sistematización bibliográfica**.

Como ya fue expuesto en la justificación es notoria la necesidad de una sistematización bibliográfica de la temática (dispar y dispersa); así como el compendio en el proceso de investigación, el cual es el primer alcance teórico monográfico; base fundamental para la autora para futuros proyectos de investigación profesional que aborden los casos prácticos. En este sentido se entiende que este trabajo tiene un alcance adecuado como Tesina de grado, ya que es una síntesis que representa el estado del arte de la temática, y apunala y estimula a futuras profundizaciones (propias o de otros investigadores) sobre casos prácticos; que recojan sus procesos, aprendizajes y, por qué no, propongan soluciones de mejoras a problemas constructivos de la arquitectura de tierra.

¹ ECO, Umberto. (ed.orig.1989) “Cómo se hace una tesis. Técnicas y procedimientos de estudio, investigación y escritura”. s.d. versión castellana de Lucía Baranda y Alberto Clavería Ibáñez, 267p. Disponible en línea en: http://www.upv.es/laboluz/master/seminario/textos/umberto_eco.pdf (Consultado en octubre de 2016)

HERNÁNDEZ SAMPIERI, ROBERTO; et al. (ed.orig.1991) “Metodología de la Investigación”. S.d. 882p. Cuarta ed. disponible en línea en: https://competenciashq.files.wordpress.com/2012/10/sampieri-et-al-metodologia-de-la-investigacion-4ta-edicion-sampieri-2006_ocr.pdf (Consultado en octubre de 2016)

² Todos los listados se confeccionaron en base a los diversos autores citados en la bibliografía y se tomaron criterios de clasificación que pudieran abordar la totalidad de los enfoques analizados.



DESARROLLO



1 ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA.

El uso de la tierra en la arquitectura está presente desde las primeras manifestaciones constructivas del hombre, y ubicado en casi todas las regiones de clima cálido-seco y templado, teniendo una incidencia algo menor en lugares fríos y lugares lluviosos. (Viñuales, M.G., 2009, p7)

La mayoría de los autores aseguran que su distribución en el planeta sigue siendo muy amplia;

"Aún en la actualidad un tercio de la humanidad vive en viviendas de tierra, y en países en vías de desarrollo esto representa más de la mitad." (MINKE, G., 1994, p13)



Figura 01_ La arquitectura de tierra en el mundo.

Dependiendo en parte de los materiales disponibles y en parte de la voluntad formal de los pueblos, se generaron diversas técnicas constructivas que emplearon la tierra con exclusividad o en combinación con otros materiales de procedencia animal, vegetal y mineral. Asimismo el desarrollo de la cultura constructiva se dio básicamente a partir de la transmisión del conocimiento de origen popular, el cual evoluciono a través de milenios gracias a la sucesión de ensayos y errores que decantaban en la selección de las experiencias más exitosas, las que obedecían a la optimización de los recursos disponibles y el cumplimiento de las demandas de las necesidades locales. (VIÑUALES, M.G. 2009, p7)

En la actualidad la mayoría de las técnicas constructivas que se han desarrollado, basadas en estas prácticas, continúan en vigencia y se le suman infinidad de materiales, procedimientos y tecnologías, muchas de ellas desarrolladas en la construcción "convencional", las cuales se adaptan a los requerimientos y dificultades de la construcción con tierra.



Figura 02_ Palomares en Villamartín de Campos, Palencia. Segunda mitad del siglo XIX.

Figura 03_ Gran Mezquita Mopti, Mali. Construida en 1935.

Figura 04_ Vivienda vernácula del siglo XXI. Arq. Angels Castellarnau Visus. Huesca, España. Construida en 2014.

1.1 La significación socio-cultural de la arquitectura de tierra

La edificación con tierra se ha desarrollado básicamente a partir de la transmisión de conocimientos de origen popular que, como todo saber tradicional, consisten en la manifestación de respuestas lógicas a necesidades locales, así como a las condicionantes y recursos que ofrece el medio natural. (GUERRERO BACA, Luis, 2007, p182)

Referido a lo netamente matérico y constructivo, se debe considerar que existe una fuerte interacción entre los aspectos socio-culturales, de eficiencia tecnológica, del diseño arquitectónico y del impacto ambiental que definen, con prioridad, la tipología del edificio, la técnica constructiva y el tipo de intervención. Como también existe una fuerte interacción entre los aspectos socio-culturales y lo vinculado a lo perceptivo, simbólico y patrimonial. (MARTINS NEVES, C.; BORGES FARIA, O.; Et al. 2009, p14).

Por lo cual a lo largo de la historia se ha modificado la concepción de esta arquitectura y esto ha determinado su devenir histórico. Se detallan a continuación diferentes momentos e hitos históricos que refieren a la conceptualización de la arquitectura de tierra.

Antigüedad

La arquitectura de tierra data de hace más de 9000 años. Muchas culturas la han ejecutado y adaptado a las necesidades y condiciones del entorno, pero también han plasmado en ellas cuestiones culturales, sociales y religiosas. (MINKE, G., 1994, p13)

Se trata de una cultura constructiva que ha logrado avances inigualables gracias a la atávica sucesión de ensayos y errores que por milenios desarrolló la sociedad a través de procesos de “selección artificial”, en donde las experiencias exitosas trascendían y los fracasos eran reemplazados. (GUERRERO BACA, Luis, 2007, p182)

La vinculación de este tipo de *patrimonio arquitectónico tradicional* a las costumbres heredadas características de las sociedades tradicionales fue la razón de su mantenimiento y adaptación a lo largo de los siglos, pero también ha sido la causa principal de su acelerado deterioro y pérdida. El proceso de industrialización, la transformación de las economías agrícolas y de las formas de vida hacia una ‘sociedad moderna’ derivaron en un abandono, no sólo las costumbres y usos tradicionales, las edificaciones antiguas asociadas a técnicas artesanales y necesitadas de mantenimiento se tornaron en una carga a soportar y, si era posible, a evitar. Dicha actitud derivó en la pérdida del conocimiento y saber hacer de los materiales y técnicas mantenidas durante siglos. (Barbero, M; Maldonado, L., 2012, p102-103).

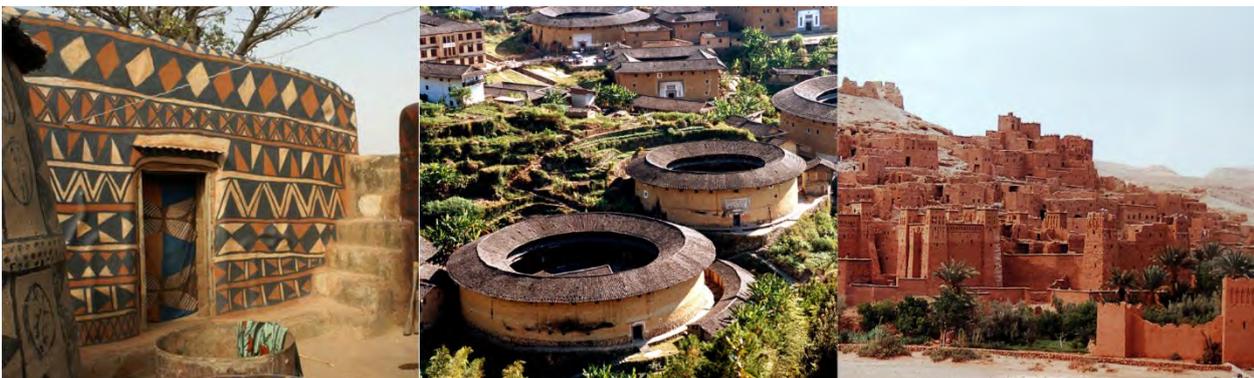


Figura 05_ Tiebele, Burkina Faso.

Figura 06_ Tulous de Hakka. Chuxi, China. Construido entre los siglos XII y XX.

Figura 07_ Ciudad fortificada (*Kasbah*). Valle del Draa, Marruecos. SXVIII.

La (des)valorización disciplinar (arquitectura):

En el campo de la arquitectura, desde hace mucho tiempo ha existido cierto menosprecio frente a las estructuras de tierra cruda pues se les ha considerado como ‘obras menores’, a pesar de su singularidad, dimensión, antigüedad y trascendencia cultural. (Guerrero, L.; Correia, M.; Guillaud, H., 2012, p210).

Bernard Rudofski en su libro “Arquitectura sin arquitectos” publicado en 1962, denuncia y evidencia una arquitectura vernácula, olvidada por la modernidad, con valores tanto estéticos como funcionales; y llamaba a considerarlos como

“olvidados referentes arquitectónicos”. Realiza además una crítica a la historiografía de la arquitectura caracterizándola como culta, de poder, y centralista (europea). Su exposición con el mismo título en el MOMA NY (1964) Museo de Arte Moderno, reposiciona globalmente esta denuncia. Su título ya no menosprecia a la arquitectura ‘otra’ sino a la propia disciplina.



Figura 08_ Habitantes norteamericanos de los árboles. Escena del despojo según Francisco Erasmo (en su libro, Lustgarten, 1668).

Figura 09_ Vista aérea de cementerios cerca de Lanchow, Kansu, China.

Figura 10_ “Hórreos” o pequeños graneros. Dogón, Malí.

Otro referente teórico que cristaliza bien los casos de denuncia de reevaluación disciplinar es Cristian Fernández Cox, quién publica en 1990 su libro *“Arquitectura y Modernidad Apropiable”*. En el cual habla de las prácticas arquitectónicas y corrientes latinoamericanistas que utilizan a la modernidad en sus aspectos de diseño y a lo vernáculo en sus materialidades y tecnologías de construcción o su hibridación.

El ámbito local: Erradicación del Rancherío y experiencia “El Rancho de San José”

Entre 1934 y 1953 el Arquitecto Carlos Gómez Gavazzo desarrolla un enfoque novedoso acerca de las problemáticas rurales específicas de nuestro país. Particularmente realiza estudios para el mejoramiento de la “La vivienda rural”, tal es el caso de la experiencia de “El Rancho de San José” (1934). En este caso las técnicas que se aplican son las tradicionales (madera, paja y barro) pero la distribución racional y la insistencia en el higienismo (el sol, los vientos, la vegetación, etc.) lo convierten en un epígono moderno de su antecesor. (DE SOUZA, Lucio. 2016, p17).



Figura 11_ Planta del Rancho Experimental de San Jose. Arq. Carlos Gómez Gavazzo. Entre 1934 y 1953.

Figura 12_ Foto del prototipo del Rancho Experimental de San Jose. Arq. Carlos Gómez Gavazzo. Entre 1934 y 1953.

Figura 13_ Foto del prototipo del Rancho Experimental de San Jose. Arq. Carlos Gómez Gavazzo. Entre 1934 y 1953.

La Contemporaneidad

A escala internacional se manifiesta la revalorización de la arquitectura de tierra como paradigma de la sustentabilidad, de las tecnologías apropiadas, de la vuelta a la naturaleza a través de un hábitat sano y en sintonía con el medio ambiente. Asimismo la patrimonialización de la arquitectura de tierra y las prácticas vinculadas a estas tecnologías, hacen de esta arquitectura un campo vasto de investigación y práctica.

*"Afortunadamente, en los últimos treinta años, el interés por la arquitectura de tierra y la conservación de estructuras antiguas realizadas con este material, ha tenido un incremento exponencial que se evidencia en el número de publicaciones, actividades de difusión, conferencias, seminarios y exposiciones que se organizan en todo el mundo (Matero y Cancino, 2000), (Correia et al., 2011). Asimismo, se ha acrecentado el número de organizaciones internacionales y regionales, asociaciones y redes temáticas, así como de académicos y profesionales que trabajan en el área (Houben y Guillaud, 1989), (Doat et al., 1985), (MINKE, 2001). En este proceso, la toma de conciencia de diversos sectores de la sociedad ha jugado un papel destacado (Dethier, 1981) así como su creciente interés en la conservación del patrimonio construido en tierra (Jeannet et al., 1991), (Warren, 1993), (Warren, 1999), (Correia, 2007)."*³

En este sentido, es vital emprender labores de formación, educación y valoración, sobre los profesionales y la población, en relación a la arquitectura de tierra.

Sin embargo, una de las condiciones que sigue restringiendo el desarrollo sistemático de esta actividad, es la escasez de fundamentos conceptuales específicos para la materialización de proyectos de construcción y conservación de estructuras de tierra, así como de indicadores y criterios que permitan evaluar, de la manera más objetiva posible, la calidad de las intervenciones y, sobre todo, extraer principios que puedan ser aplicados con cierta garantía de éxito en acciones y construcciones futuras. (Guerrero, L.; Correia, M.; Guillaud, H., 2012, p213).



Figura 14_ Consolidación de la Torre Bofilla de Bétera. Valencia, España. 2009.

Figura 15_ Casa Munita. González Arias Arquitectos + Surtierra Arquitectura. Santiago, Chile. 2010.

Figura 16_ Royal Automobile Club of Victoria Golf Club, Wood Marsh Architects. Victoria, Australia. 2015.

³ Guerrero, L.; Correia, M.; Guillaud, H., 2012, p210-213.

1.2 La tierra como material de construcción. Ventajas y desventajas.

La tierra como material de construcción es utilizada, básicamente, de dos modos: embebida en agua, constituyendo una masa plástica o barro; o una mezcla húmeda, compactada o prensada, denominada tierra comprimida.

Se presentan a continuación las ventajas y desventajas en comparación con otros materiales de construcción a los cuales se los suele llamar materiales y técnicas de construcción 'convencionales' (hormigón, mampostería cocida, yeso, madera, etc.).⁴

1.2.1 Ventajas

a) Regulación de la humedad ambiente.

La tierra en contacto con el agua se expande y ablanda, en cambio bajo la influencia del vapor absorbe la humedad pero permanece sólida y mantiene su rigidez sin expandirse. Así, la tierra puede balancear la humedad del aire interior por su rápida capacidad de absorción y desorción de la humedad ambiente, la cual es mayor que los demás materiales de construcción. Como se ve en las gráficas siguientes:

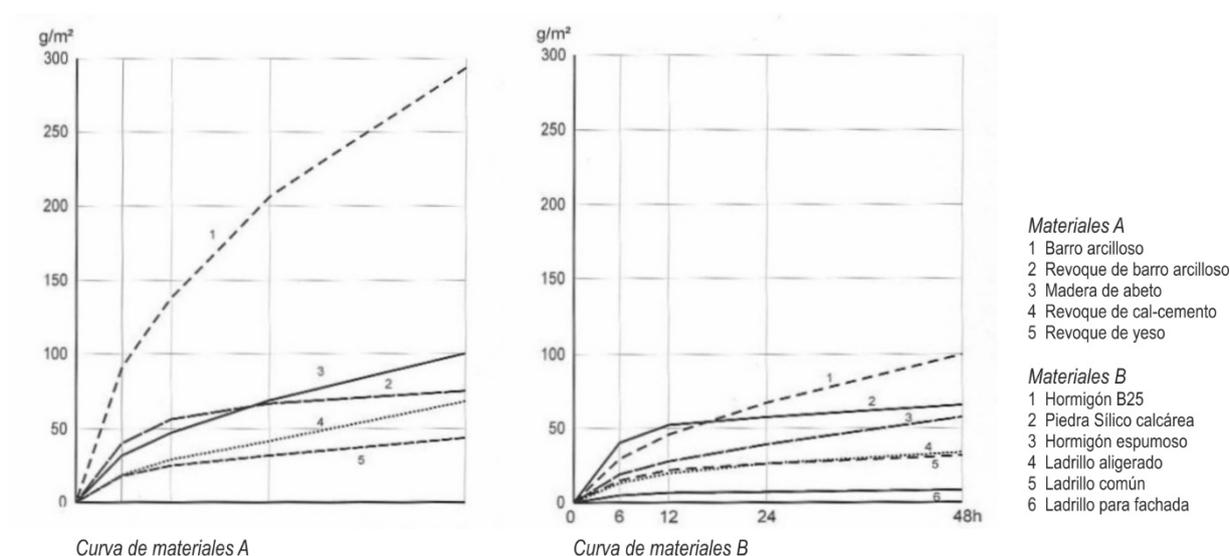


Figura 17_ Curvas de absorción en relación al tiempo de muestras de diferentes materiales a 1.5 cm de espesor, a una temperatura de 21 °C con un incremento súbito de la humedad del ambiente de 50% a 80%.⁵

b) Almacenamiento de calor. Confort higrotérmico.

La tierra posee alta inercia térmica por su volumen y densidad.

c) Reutilización.

La tierra cruda puede volverse a utilizar ilimitadamente, mediante el proceso de trituración y humectación.

d) Economización de materiales de construcción y transporte.

En comparación a otros materiales de construcción se disminuyen considerablemente los costos económicos gracias a la ecuación costo-prestación, a su vez por ser común la utilización de la tierra del lugar los costos de transporte pueden llegar a ser muy bajos.

e) Autoconstrucción.

Con la asistencia de un técnico⁶, varias de las técnicas de construcción con tierra pueden ser ejecutadas por personas no especializadas en construcción.

⁴ Basándose en MINKE, Gernot, 1994, p16, 17, 18.

⁵ Extraído de MINKE, Gernot, 1994, p20.

⁶ En la bibliografía estudiada no se habla de la necesidad de la asistencia técnica.

f) Ahorro energético y disminución de la contaminación ambiental.

La tierra prácticamente no es contaminante en ninguno de los estados de la construcción (extracción, preparación, transporte) ni en el desempeño de las funciones de habitabilidad. El contenido primario de energía, o sea la energía que se necesita para su producción y transporte, es de los más bajos en contraposición a los productos industriales.

Material de Construcción	Densidad	IPE		Fuente
		kWh/t	kWh/m ³	
Adobes	1,7	2 – 4	5 – 10	6
Tierra alivianada	0,8	14	11	1
Tierra apisonada - Tapial	2,2	20	44	2
Revoques industriales de tierra	1,7	139	236	1
Adobe secado en horno	1,2	290	349	2
Ladrillo poroso hueco	0,75	722	541	1
Ladrillo común	1,6	750	1350	1
Hormigón prefabricado			800	3
Armadura de acero	7,8	3611	28166	1
Placas de aluminio		72500	19500	3
Piedra arenisca	1,6	313	564	2
Lana mineral			169	4
Arcilla expandida	0,35	857	300	7
Madera aserrada seca al horno		1306	588	1
Placas de madera laminadas	0,43	1691	727	2
Placas de OSB	0,62	2058	1275	2
Enchapados de madera	0,49	2681	1314	2
Fardos de paja	0,11	64	7	5

Figura 18_ Contenidos primarios de energía en elementos constructivos. Fuentes: 1: Waltjen 1999; 2: Hegger et al.2006; 3: Baler 1982; 4: Eyerer, Reinhardt 2000; 5: Minke 1986; 7: Marmé Seeberger 1982. ⁷

g) Protección contra ondas electromagnéticas de alta frecuencia.

Mediante investigaciones se han determinado altos valores de protección contra este tipo de ondas. ⁸

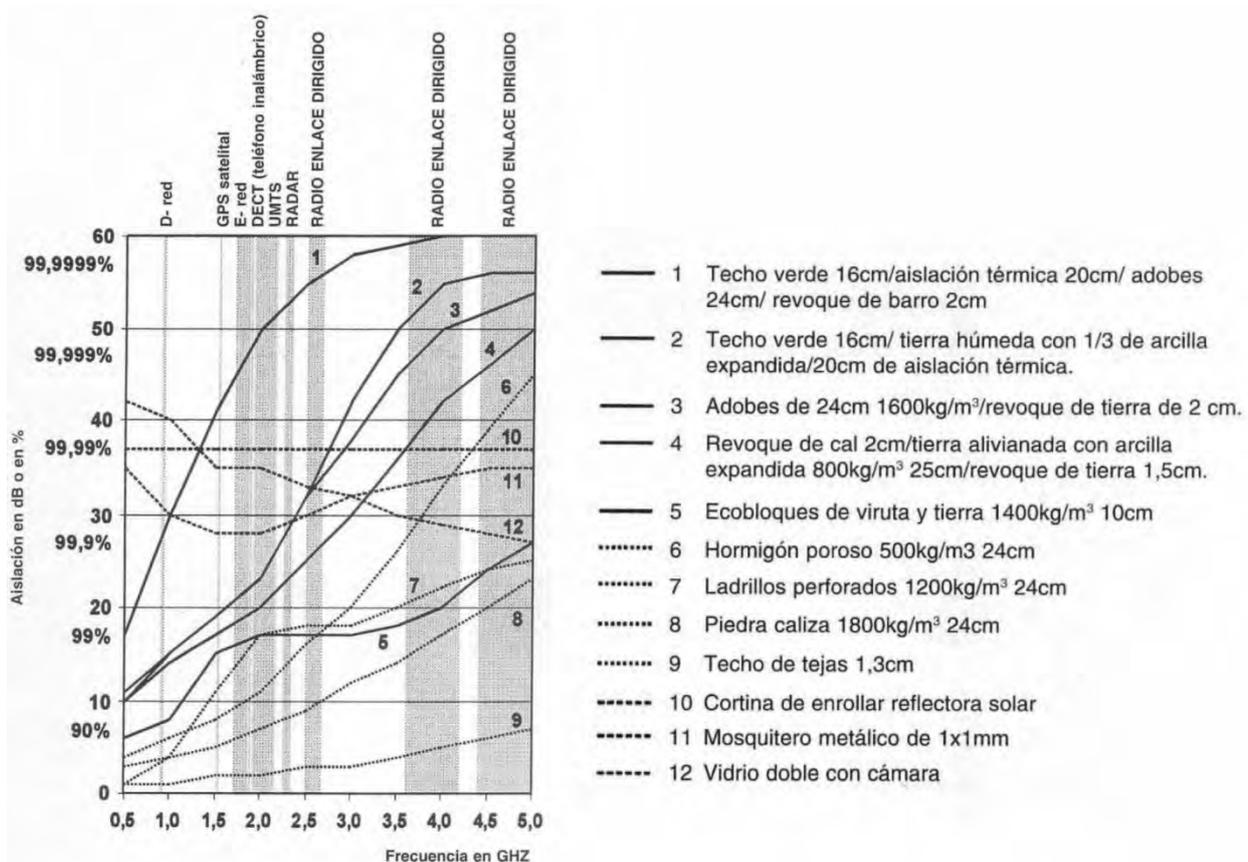


Figura 19_ HF resistencia a la trasmisión bajo MIL- Estándar 285 de ondas polarizadas verticales. ⁹

⁷ Extraído de MINKE, Gernot, 1994, p44.

⁸ Las experiencias fueron desarrolladas por la Universidad de Bundeswehr en Munich, Alemania. 1-4 FEB 2001, 5-12pauli, Moldan 2000.

⁹ Extraído de MINKE, Gernot, 1994, p43.

h) Preservación de la madera y otros materiales orgánicos.

Debido a su bajo equilibrio de humedad de 0.4 a 6% en peso y a su alta capilaridad, la tierra mantiene secos los elementos orgánicos cuando están en directo contacto con ella, evitando la proliferación de insectos y hongos.

i) Material ignífugo.

La tierra tiene un muy buen comportamiento tanto en resistencia al fuego como en estabilidad al mismo.

j) Absorción de contaminantes.

Se han practicado estudios que demuestran que por diferentes métodos la tierra puede retener y transformar contaminantes.

1.2.2 Desventajas

a) Material de construcción no estandarizado.

Su composición depende del lugar dónde se extrae, las características y rendimientos pueden variar según esto y por lo tanto la mezcla correcta para una aplicación específica es muy particular según el caso.

b) Se contrae al secarse.

Durante el proceso de secado de cualquier mezcla de tierra, el agua de constitución se evapora generando una retracción lineal en el material, esto conlleva a la generación de fisuras. Esta retracción oscila entre 3 y 12% en técnicas con masa plástica o barro, y 0.4 y 2% en técnicas de tierra comprimida.

c) No es impermeable.

Esto se debe a su alta capilaridad, por esta razón debe protegerse de las lluvias y de las heladas especialmente cuando está en estado húmedo.

Igualmente para mejorar las desventajas de la tierra como material de construcción, es posible estabilizarla mediante aditivos y procesos físico-químicos. (Ver capítulo 1.4 *Estabilización de la tierra*).

1.3 La tierra.

La tierra es el material suelto que resulta de la transformación de la roca matriz subyacente.

Esto se debe a la mayor o menor interacción simultánea de factores climáticos (sol, viento, lluvia, helada), agentes biológicos (flora y fauna), migración de sustancias (a través de la lluvia, de la evaporación, del agua subterránea o superficial) y cambios químicos y físicos.

La selección del tipo de tierra para la construcción es fundamental, no todas las tierras son adecuadas para esto y depende del uso que se le quiera dar, el tipo de tierra a utilizar. Por esto resulta necesario conocer la composición específica del suelo para poder analizar sus características y modificarlas si es preciso.

Generalmente el gran contenido de uno solo de los componentes hace dificultoso o peligroso su empleo, por lo tanto será importante encontrar tierras con proporciones adecuadas del material rocoso.

Los suelos apropiados para la construcción habitualmente están ubicados en la capa intermedia, también llamada 'horizonte B', entre los 50 centímetros y los 2 metros de profundidad, estos por lo general están libres de materia orgánica.

En la capa más externa del terreno se encuentra el mayor contenido de materia orgánica (restos de origen animal y vegetal) que hace imposible establecer el futuro comportamiento de la tierra, comprometiendo su durabilidad y resistencia como material para la construcción. Asimismo es recomendable descartar la tierra que presente sales solubles, las cuales al entrar en contacto con el agua pueden migrar hacia diferentes partes de la masa generando debilitamiento de la estructura o eflorescencias superficiales (máximo aceptable 2%).

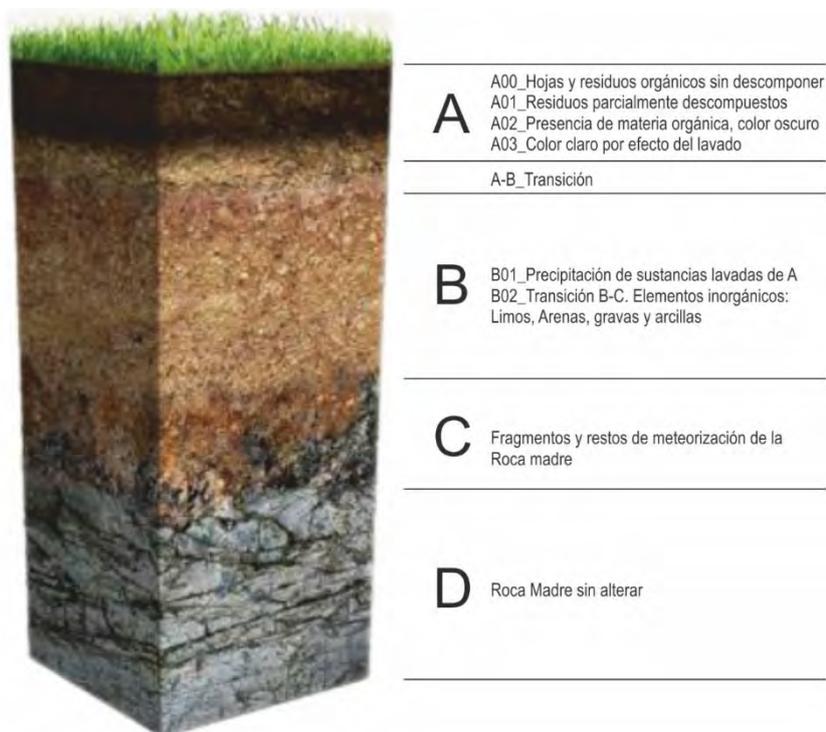


Figura 20_ Tipos de Horizontes de suelo.

Es importante hacer ensayos¹⁰ para determinar el tipo de tierra a utilizar, estas pruebas van desde la construcción de probetas y el estudio en el laboratorio (ensayos normalizados con resultados cuantitativos), hasta formas simples, rápidas y económicas hechas in situ (resultados cualitativos), apropiadas para comparar las características entre las tierras disponibles en la región. Igualmente es recomendable ejecutar modelos parciales de prueba, semejantes a lo que se ejecutará en obra, y así poder verificar el comportamiento de la tierra utilizada. Asimismo la sabiduría popular nos da pautas para la elección de los materiales y la forma de trabajarlos.

¹⁰ En esta investigación no se desarrollarán los diferentes ensayos que se realizan en la arquitectura de tierra. Igualmente se volverá a tratar el tema específicamente en el capítulo 3.1 *Revoques*.

Las propiedades más importantes de los suelos visando su uso en la construcción son:

- a) *En la selección:* composición granulométrica, plasticidad, retracción y porosidad.
- b) *En el control de la ejecución:* humedad y grado de compactación.

Composición granulométrica

El suelo está constituido básicamente por partículas rocosas que pueden ser agrupadas de acuerdo con las dimensiones de los granos. Cada grupo, o franja de dimensiones, presenta características propias que indican su comportamiento como material de construcción. Las partículas contenidas en determinada franja son clasificadas como grava, arena, limo y arcilla; siendo que la arena también puede ser subdividida y calificada como gruesa, mediana y fina.

La denominación granulométrica es la siguiente: ¹¹

- Arcillas (clay): diámetro < 0,002 mm
- Limos (silt): 0,002 mm < diámetro < 0,06 mm
- Arenas finas (fine sand): 0,06mm < diámetro < 0,2mm
- Arenas gruesas (coarse sand): 0,2 mm < diámetro < 2 mm
- Gravas (gravel): 2 mm < diámetro < 20 mm
- Cantos (pebbles): 20 mm < diámetro < 200 mm

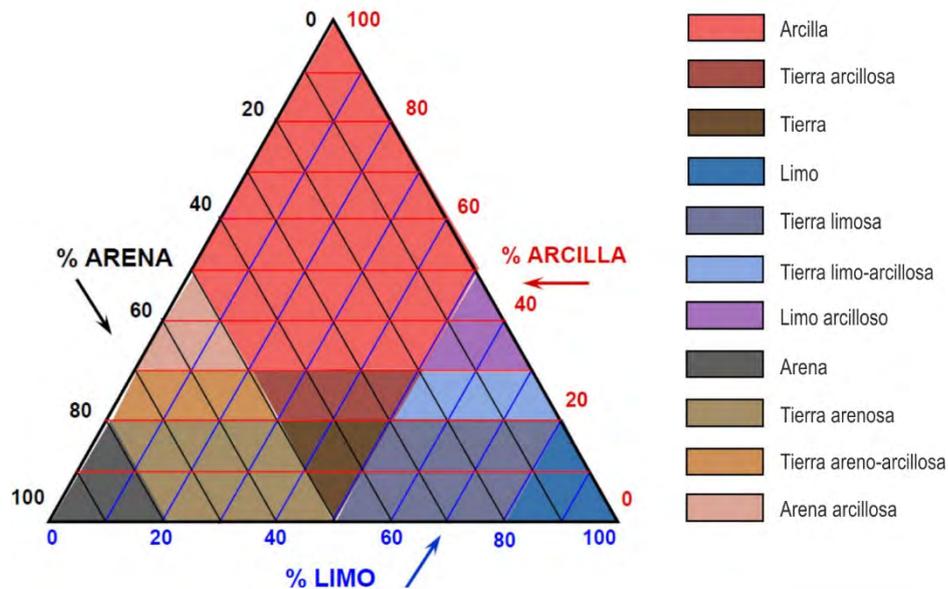


Figura 21_ Diagrama trilineal de clasificación de los suelos según la distribución granulométrica, por test del vidrio (adaptado de Aid at al (s/d) y Moran, 1984).

¹¹ Basándose en HOUBEN, H. Y GUILLAUD, H. 2001 y MÁRMOL Jesús A. 2004.

El limo, la arena y la grava son agregados sin fuerza aglutinante ya que están formados a partir de la erosión de variedad de rocas, pueden poseer cantos filosos o redondeados por el movimiento del agua, lo que las diferencia en el grado de trabazón. Por esta razón y por ser materiales inertes es que son los encargados de darle estructura y estabilidad al sistema.



Figuras 22, 23, 24 y 25_ Diferentes granulometrías: arcilla, limo, arena y grava.

La arcilla es el producto de la erosión geológica de rocas que contienen feldespato y está formada por silicoaluminatos hidratados, es un mineral de estructura laminar hexagonal y cristalina (llamada micelas), el cual posee la capacidad de desplazarse fácilmente entre el resto de los agregados (limo, arena y grava), y al establecer relaciones electrostáticas los aglomera, creando un conjunto bien ligado. Este desplazamiento depende del contacto con el agua y el movimiento producido por el amasado, y se manifiesta transformando la tierra en un material plástico, coloidal o líquido, que recupera su estado sólido original al secarse.

En función de la separación de las micelas y de los componentes químicos que las conforman, las arcillas pueden presentar diferentes comportamientos. Pueden ser muy inestables llamadas “expansivas”, tienen la particularidad de admitir mucha agua entre las láminas de su estructura, aumentando notablemente su tamaño y retrayéndose demasiado al secarse, pero poseyendo una gran capacidad aglutinante.

Pueden ser poco activas o casi “inertes”, siendo muy estables en contacto con el agua, o sea poca absorción de agua y baja contracción al secarse, y por ello con menor capacidad aglutinante.

Dentro del grupo de las arcillas “expansivas” se encuentran las pertenecientes al grupo de las esmectitas, tales como las montmorillonitas, las nontronitas y saponitas, así como sus lodos derivados las bentonitas.

Dentro del grupo de las arcillas poco activas o casi “inertes” se encuentra la caolinita y la illita.

Lo importante a destacar es que el comportamiento de las arcillas, asociado a la posible interrelación con los demás componentes del suelo, define una variedad casi infinita de reacciones en las mezclas.

24

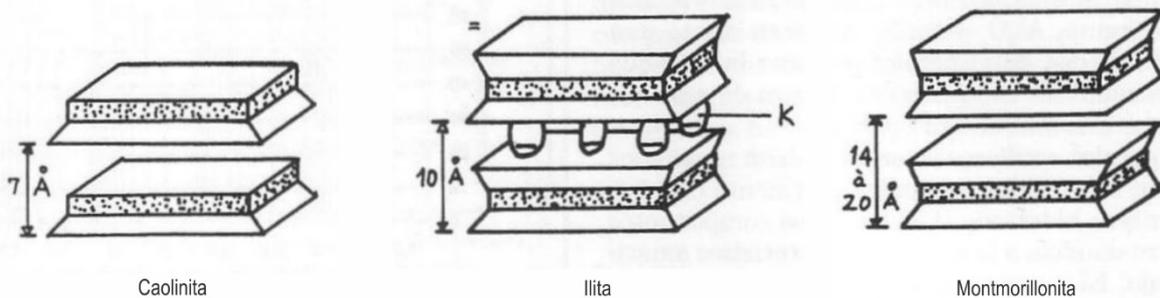


Figura 26_ Estructura de los tres minerales arcillosos más comunes y su distancia intralaminar (según Houben, Guillaud, 1984).

Las tierras poseen diferentes coloraciones debido a la existencia de óxidos metálicos en su composición, lo que permite obtener mezclas de variados colores.



Figuras 27, 28 y 29_ Diferentes tipos y coloración de la tierra producida por la existencia de óxidos metálicos.

Plasticidad

Según su grado de humedad, el suelo puede ser *líquido, plástico, semisólido y sólido*. El aspecto y la consistencia de los suelos y, en particular de las arcillas presentes, varían de manera muy nítida conforme la cantidad del agua que contiene. Para medir el grado de humedad del suelo en los diversos estados de consistencia, o plasticidad, se realiza el ensayo para determinar el Límite de Atterberg. A través de estos ensayos se puede caracterizar el tipo de suelo (arenoso, limoso o arcilloso).

Retracción

La cantidad y el tipo de arcilla presente en el suelo, representados esencialmente por los minerales arcillosos, son responsables por los movimientos de retracción y expansión, que se observan cuando hay variación de la humedad. En los muros de tierra, los movimientos de retracción y expansión de la arcilla provocan fisuras, que pueden generar lesiones internas y/o superficiales, permitiendo la penetración del agua y la ocurrencia de manifestaciones patológicas que, consecuentemente, contribuyen para la pérdida de resistencia del material y la degradación del muro.

Porosidad

El grado de porosidad está definido por el volumen de la totalidad de los poros de la mezcla. Las dimensiones de los poros definen la capacidad de difusión del vapor y la resistencia al congelamiento, a mayor tamaño de los poros el agua condensada puede disiparse más fácilmente y el agua congelada no provoca rajaduras y hundimiento de las capas al aumentar su volumen.

Humedad y grado de compactación

La cantidad de agua presente en la tierra determina su grado de humedad, y esta es un elemento fundamental dentro del proceso constructivo. En primer lugar es la responsable del movimiento de las partículas sólidas dentro de la mezcla, o sea las partículas de menor tamaño se transportan hasta ocupar el lugar entre las de mayor tamaño. Y en segundo lugar activa las fuerzas aglutinantes de la arcilla.

Por otro lado la resistencia del suelo está directamente relacionada con su grado de compactación cuando es apisonado por un determinado esfuerzo. Para cada tipo de suelo y para cada esfuerzo de compactación existe una determinada humedad, denominada humedad óptima de compactación, en la cual ocurren las condiciones en que se puede obtener la mejor compactación, o sea, la mayor masa específica seca. En esta condición, el suelo también presenta menor porosidad, caracterizando así un material más durable y más resistente mecánicamente.

1.4 Estabilización de la tierra.

Aunque el material básico siempre es la tierra, para mejorar las propiedades mecánicas y de permeabilidad así como también sus condiciones fisicoquímicas, o para adaptarse a las distintas disposiciones constructivas, aparecen otra serie de materiales agregados y tratamientos que posibilitan la transformación y adecuación a las distintas exigencias, adquiriendo así las propiedades necesarias a la finalidad que se destina. A estos procesos se los llaman "estabilización" y pueden ser mecánicos, físicos o químicos.

Los materiales agregados pueden ser naturales o artificiales, dentro de los naturales pueden ser de origen mineral, vegetal o animal, asimismo pueden utilizarse en estado líquido, sólido o en polvo.

También se pueden hacer modificaciones a través del tratamiento de la tierra mediante procedimientos específicos, los cuales pueden ser tratamientos físicos mecánicos o químicos.

Una vez que se hacen las pruebas necesarias y se comprueba que las características del suelo no cumplen con las prestaciones requeridas a su función y tampoco se cuenta con acceso a otra fuente de material, se procede a establecer el tipo de estabilización más adecuado y su verificación. Las características más comunes a corregir son el alto nivel de fisuración al secar, la inestabilidad en presencia de agua, el bajo nivel de cohesión, la baja resistencia a la compresión, a la abrasión o a la erosión, y el mal comportamiento térmico, entre otras.

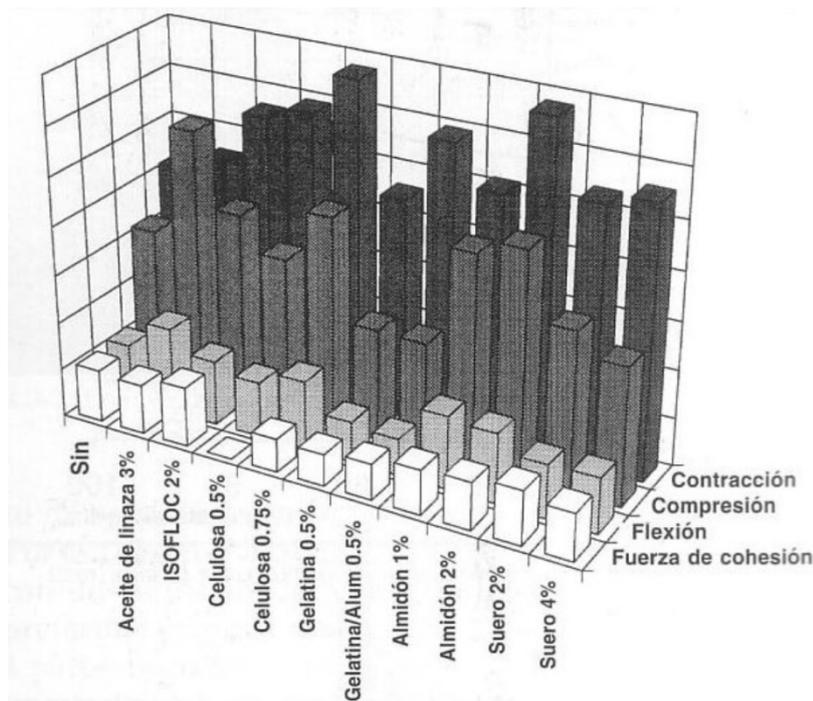


Figura 30_ Influencia de varios aditivos en la retracción, la cohesividad, la tracción en flexión y la compresión de una tierra arenosa.¹²

En la revisión bibliográfica existen variadas clasificaciones de "estabilización" del suelo, varias de ellas son una suerte de recetario que no explicita las características fundamentales de los procedimientos. Aquí se optó por plasmar un intento de clasificación técnico-científica, que se basa en la determinación de "cómo" se realizan los diferentes procedimientos para la estabilización del suelo.¹³

¹² Extraído de MINKE, Gernot, 1994, p48.

¹³ Basándose en la "Clasificación de estabilización del suelo" de Bardou y Arzoumanian (1979), "El mejoramiento de las características del barro mediante tratamientos especiales y aditivos" de Gernot MINKE (1994) y "Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva" de Luis Fernando Guerrero Baca (2007).

1.4.1 Materiales agregados

Estabilización por distribución granulométrica.

El tratamiento consiste en la modificación de las proporciones relativas de la granulometría natural de la tierra a través de la incorporación de los componentes deficitarios.

a) Agregado de arcilla.

Esto se hace cuando el tipo de tierra es considerada inerte, lo que se evidencia en su falta de cohesión. Esta condición se puede deber a que las arcillas que contiene son muy inactivas, o que resultan proporcionalmente escasas en comparación con la cantidad de limo y arena del conjunto. Para lograr un equilibrio en este caso, se puede estabilizar el suelo agregando una mayor cantidad de arcilla hasta lograr su acondicionamiento óptimo, con la precaución de no aumentar la retracción de secado.

b) Agregado de arena o grava.

De esta forma se reduce el contenido relativo de arcilla o limo. Agregando arena u agregados mayores se logra reducir el promedio de fisuras provocadas por la retracción de secado. Incrementando la proporción de arena gruesa y disminuyendo la proporción de limo se aumenta la impermeabilidad, de esta forma se mejora notoriamente el comportamiento de las mezclas ante la erosión producida por el agua. Agregando arena y grava se aumenta la resistencia a la compresión.

Por otro lado la proporción y tipo de árido agregado dependerá de la proporción y tipo de arcilla que posee la mezcla (muy, poco o nada activa).

c) Distribución homogénea.

Influye en la resistencia a la compresión ya que se genera mayor densidad en la mezcla. Esto se logra mediante el mezclado y amasado.

Estabilización por armazón.

Consiste en agregar al suelo materiales que trabajen en forma física, a través de la fricción con los componentes de la tierra se logra conformar una especie de “red” o “armazón” a la que se adhieren las partículas de tierra aumentando la cohesión de la masa.

De esta forma se logra controlar desplazamiento, dilatación y retracción durante el fraguado, evitando las fisuraciones internas y superficiales a la vez que la mezcla se vuelve más liviana ya que los materiales a utilizar son altamente porosos.

Asimismo, se logran modificar los patrones de agrietamiento derivados de cambios de humedad y temperatura mediante el trazado de un sistema de micro-fisuras que no afectan la estabilidad del conjunto. Y una vez puesto en funcionamiento el edificio, estos agregados siguen trabajando con el paso del tiempo, al actuar de “articulaciones” que flexibilizan las estructuras ante posibles fallas derivadas de sobrecargas o movimientos sísmicos.

Otro fenómeno importante que aportan estos materiales es que modifican la textura de los componentes constructivos haciéndolos más ásperos, con lo que se incrementa notablemente la adherencia entre ellos y con el resto de los componentes estructurales y los revestimientos.

Según Bardou y Arzoumanian (1979), la resistencia mecánica del material es reducida, más se gana en estabilidad, plasticidad y durabilidad.

No hay determinación específica para los materiales a ser empleados, pues depende de la disponibilidad y de las adaptaciones locales. En este sentido el que mayor difusión ha alcanzado por su extensivo uso en el medio rural es la paja, principalmente de trigo o arroz.

Según su origen se pueden nombrar los siguientes agregados:

a) Agregado de gramíneas o cereales.

Dependiendo de la disponibilidad en la región ya sea en cultivos o industrias. Algunas de ellas pueden ser del género *Stipa* de uso forrajero, como la paja brava, restos de lino, maíz, algodón, arroz y cereales en general, brezo, totora (para altas dilataciones).

b) Agregado de fibras de origen vegetal.

Pueden ser de coco, de sisal, de bambú, de agave, pita, etc. Absorbe parte del agua e incrementa la cohesividad de la mezcla, de esta manera disminuye la retracción en el secado.

c) Agregado de fibras de origen animal.

Pueden ser pelo de animal o humano. Sobre todo se utiliza en zonas áridas.

d) Agregado de fibras de origen artificial.

Pueden ser fibra de polipropileno, de poliéster, de polietileno.

e) Agregado de estiércol.

Pueden ser de caprinos, camélidos, bovinos o equinos. Se incorpora la fibra vegetal triturada por la digestión animal.

f) Agregado de leñosas.

Pueden ser corteza de árboles, virutas, aserrines, acículas de pináceas, fibra de celulosa, papel, etc.

Estos elementos, especialmente los de origen vegetal, tienen un aspecto no beneficioso y es que permiten la entrada de humedad por capilaridad y la instalación de parásitos, lo que hace que sea fundamental protegerlos a través de la ejecución de un buen acabado. En el momento de la ejecución es importante utilizar a las fibras en condiciones secas ya que de lo contrario se corre el riesgo de que se pudran disminuyendo sus cualidades.

Si se los utiliza previamente remojados en agua para que reblandezcan y tengan mejor adherencia a la mezcla, como es en el caso de los revoques, es recomendable que el agua contenga un 3% de cal, para inhibir que crezcan las esporas de moho que pueda haber en la misma fibra.

Es importante cuidar la proporción ideal entre la masa y el agregado de fibras, esto va a depender de la mínima cantidad necesaria para alcanzar el nivel de fisuración que se considere aceptable y la suficiente adherencia del embarrado. A través de diversos estudios se recomienda utilizar paja cortada en tramos de aproximadamente 10 cm de longitud y en una proporción de alrededor de 1% en peso, lo que significa una relación de un volumen de paja por dos de tierra, ambas en estado seco y sin comprimir.

Estabilización por agregado de aglomerantes.

Consiste en adicionar al suelo una sustancia capaz de consolidar o aglomerar la mezcla de tierra, es decir, formar cadenas entre las partículas inertes (limos, arenas y gravas) para mantenerlas unidas, formando un esqueleto, y así complementar la acción aglutinante de las arcillas.

Los consolidantes o aglomerantes pueden ser: cal viva o hidratada (hidróxido de calcio), yeso, cemento Portland, cenizas (de coque, de hulla, etc.), hueso molido, polímeros vegetales, proteína animal u otros.

El mejor estabilizante por consolidación con que se cuenta es la cal aérea (hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Durante el proceso natural de carbonatación de esta sustancia, sirve de liga a las partículas del suelo aumentando su resistencia a la penetración del agua, a la compresión y cortante, además de disminuir sus niveles de absorción hídrica y, por lo tanto, su posible retracción al secado. Funciona muy bien en suelos con alta composición de arcillas, sin embargo funciona mejor con la montmorillonita que con la caolinita, o sea con arcillas altamente activas.

La cal presenta la cualidad adicional de no modificar la porosidad de la tierra, con lo que se mantiene tanto su capacidad de adherirse a otros materiales constructivos como su virtud de permitir el intercambio de aire y vapor de agua con el medio ambiente, preservando las cualidades higrotérmicas.

Es importante tener precaución con la cantidad de cal, se requiere muy poca cal para estos procesos. Volúmenes excesivos no incrementan la resistencia del material resultante, todo lo contrario, puede disminuir la resistencia mecánica ya que inhibe la forma natural del trabajo de las arcillas. Las mejores respuestas en las mezclas se logran agregando solamente entre 4 y 8% de cal (Hoffman, 2002, p. 72).

El agregado de yeso es usado desde la época precolombina principalmente en revoques.

El agregado de cemento aumenta la estabilidad química, impermeabilidad y la resistencia. La mezcla debe hacerse en seco y el fragüe debe ser lento. Debe agregarse en pequeñas proporciones. La mezcla debe contener bajas proporciones de arcilla ya que el cemento interrumpe las fuerzas aglutinantes de la misma, disminuyendo la resistencia a la compresión de la mezcla de tierra, sin embargo funciona mejor con la caolinita que con la montmorillonita, o sea con arcillas muy poco activas. No se lo debe combinar con yeso.

El agregado de cenizas provoca una mayor aglomeración y fragüe. Se extendió su uso para el sistema “tapia” y “torta”.

El agregado de hueso molido (fosfato y carbonato de calcio) ayuda a la cohesión y disminución de agrietamientos en el momento de secado. Sirve para tierras con gran cantidad de arcilla.

Por otra parte, existe un sinnúmero de sustancias de origen orgánico que también pueden cumplir funciones aglomerantes y disminuir la retracción de secado. Este es el caso de los llamados mucilagos, los cuales son polímeros extraídos de vegetales como las suculentas y cactáceas tales como la *Opuntia Ficus indica* (tuna o nopal) o *Euphorbia láctea o herea*, la savia de algunas plantas oleaginosas, plantas con contenido de látex tales como sisal (fique), agave y banano (jugo de tronco). Han sido usadas tradicionalmente en numerosas zonas de Sudamérica y sirve para todo tipo de mezclas, pero principalmente para acabados, revoques de muros y enlucidos de tortas. En el caso de revoques y pinturas de cal, ayudan a conseguir un secado lento y uniforme el cual incrementa notablemente su resistencia final. Para extraer el mucílago de los cactus basta con cortarlos y dejarlos macerar en agua. Dependiendo de la temperatura ambiente y de la especie de cactácea que se utiliza, este proceso puede tardar desde un día hasta dos o tres semanas, por lo que es necesario tomar previsiones al respecto. (Martins Neves, C.; Borges Faria, O., 2011, p.72)

Los productos animales tales como el huevo, la orina, el estiércol, la sangre, la caseína (proveniente de la leche), el suero, la cola animal (se obtiene por hidrólisis del colágeno presente en las pieles, los huesos, las pezuñas y los tejidos de los animales), se utilizan para estabilizar la tierra, brindándoles capacidad aglutinante, resistencia a la abrasión y erosión; controlan la retracción de secado y promueven la estabilización contra el agua.

Estabilización por impermeabilización

Consiste en envolver las partículas de arcilla por una capa impermeable, volviéndolas estables y más resistentes a la acción del agua, al prevenir que esta alcance los minerales de arcilla y provoque su expansión.

Las sustancias que históricamente han mostrado mejores resultados como “repelentes” son las grasas y aceites tanto de origen fósil, como vegetal o animal, según la disponibilidad regional. También es común utilizar otros impermeabilizantes de origen mineral e industrial.

El material más conocido para este fin es el asfalto natural o bitumen, utilizado en emulsión (disuelto en agua con un emulsionador como nafta, parafina o petróleo) que, a pesar de la gran superficie específica de la mezcla de tierra, requiere una cantidad muy pequeña para obtener buenos resultados entre 3 a 6 % de bitumen. Es apropiado para mezclas con bajo contenido de arcilla. Uno de los inconvenientes del uso de este material es la pérdida de plasticidad, a pesar de ganar en cohesión, lo que requiere la utilización de mayor cantidad de agua para amasar y limita las técnicas constructivas a ser utilizadas, por lo que se descarta su utilización en técnicas secas o semi secas. También repercute en la reutilización del material de construcción, siendo inviable el reciclado del mismo.

Por ejemplo en Perú y Bolivia se hacen adobes con un 2% de asfalto y se evita el uso de revoque.

El aceite de linaza, el aceite de girasol, el aceite de coco y los residuos del prensado del aceite de oliva son muy eficaces para promover la estabilización al agua aunque disminuyen notoriamente la capacidad de difusión de vapor de la mezcla de tierra.

Los productos de origen animal que se han utilizado históricamente son el cebo de ganado vacuno, caseína, cola animal, sangre, suero, orina y estiércol. Al utilizar la tierra aditivada con estiércol es necesario dejar reposar la mezcla, entre 1 y 7 días.

Como ya fueron nombradas las sustancias provenientes de productos vegetales, llamadas mucilagos, como savias de algunas plantas oleaginosas, plantas con contenido de látex tales como sisal, agave, cactus (*opuntia*), banano y *euphorbia herea*, usualmente en combinación con cal sirven como estabilizador contra el agua.

El almidón (harina de trigo o centeno) cocido y las melazas también se utilizan para aumentar la estabilidad al agua.

El cemento actúa como estabilizador contra el agua en suelos con bajo contenido de arcilla. Mientras mayor es el contenido de arcilla más cemento se necesita para alcanzar el mismo efecto de estabilización. El cemento interrumpe las fuerzas aglutinantes de la arcilla, disminuyendo la resistencia a la compresión, por lo que es muy importante cuidar las proporciones de este compuesto, según estudios la resistencia a la compresión desciende con valores menores al 5% de este agregado. La ejecución, cuidados y tiempos de fraguado son las mismas que con el hormigón.

La cal aérea (hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$) sirve como estabilizador contra el agua si existe suficiente humedad, lo que provoca el intercambio entre los iones de calcio de la cal y los iones metálicos de la arcilla. Como resultado, ocurren aglomeraciones de las partículas finas que evitan la penetración del agua. Sin embargo es muy importante cuidar las proporciones de la cal agregada, según estudios la resistencia a la compresión desciende con valores menores al 5% de este agregado.

El silicato de sodio (Na_2SiO_3) es un buen estabilizador para barros arenosos, pero debe ser rebajado con agua en una proporción 1:2 a 1:8 antes de añadirlo, de lo contrario aparecerán microfisuras que provocan una fuerte absorción de agua.

También es muy eficaz la combinación de productos de origen mineral y animal, tales como la cal, la orina, y o el estiércol. Algunos ejemplos son:

- Mezcla de cal con orina: la cal reacciona químicamente con algunos componentes de la orina, generando finos cristales.
- Mezcla de cal con caseína: reaccionan formando albuminato de calcio (que no es soluble en agua).
- Mezcla de cal con caseína, orina y estiércol: reaccionan formando albuminato de calcio (que no es soluble en agua).
- Mezcla de celulosa en orina y estiércol: incrementan la resistencia a la flexión al actuar las fibras de la celulosa como refuerzo.

30

Existen estabilizadores sintéticos contra el agua tales como resinas sintéticas, parafinas, ceras sintéticas y látex sintéticos. Así como los costos de estos materiales son más elevados, son también propensos a la degradación debido a los raios ultravioleta y actúan también como barrera de vapor.

Al igual que sucede con el resto de los estabilizantes, la cantidad que se utilice debe ser muy moderada para que no se interfiera el comportamiento normal de las arcillas. Por ejemplo, si se agregara demasiado impermeabilizante en una mezcla de tierra, las arcillas no se activarían y dejarían de funcionar como aglomerante del conjunto.

Cuando se decida utilizar fibras además de las grasas, cal o mucílagos, es importante realizar la mezcla con estas sustancias primero y posteriormente agregar las fibras, para evitar que se adhieran a ellas y lograr además una distribución adecuada.

Por otro lado, reiterando lo citado, la modificación de la **distribución granulométrica** de la arena u el limo logra incrementar la impermeabilidad de la mezcla. Comparativamente se ha verificado que una mezcla con la misma proporción de arcilla pero con más arena gruesa que arena fina y limo, responde mejor a la erosión producida por la humedad.

Estabilización por tratamiento químico

Consiste en agregar al suelo diversas sustancias capaces de formar compuestos estables con los elementos de la arcilla. Los productos químicos varían de acuerdo con la proporción y composición química de la propia arcilla. Por lo tanto, en ese caso, es necesario un análisis químico de la misma.

La cal aérea, además de agente cementante, funciona como estabilizador químico, actuando con los minerales amorfos o arcillosos del suelo, formando los compuestos puzolánicos. Otras sustancias de bajo costo también pueden ser usadas, por ejemplo, la sosa cáustica.

Una adición de urea puede provocar, especialmente en barros limosos, un incremento de la resistencia a la compresión y de la resistencia a la flexión.

El hidróxido de Sodio (NaOH) actúa acelerando el proceso de curado en mezclas a las que se le ha incorporado cemento.

El gluconato de Sodio ($\text{NaC}_6\text{H}_{11}\text{O}_7$) hace que se requiera menos agua para el amasado de las mezclas, reduciendo así la retracción de secado.

Dosificaciones

Este trabajo no profundiza en las dosificaciones ya que el abordaje del mismo no pretende listar recetas sino profundizar en los aspectos técnicos y constructivos de los acabados y revestimiento en el diseño de la arquitectura de tierra.

En la bibliografía estudiada existen variedad de recetas, las cuales no son aplicables *per se* a las diferentes experiencias, ya que es necesario hacer pruebas específicas para cada caso, pues es mucha la variabilidad de las tierras a emplear, la disponibilidad de los materiales utilizados y las características del lugar y el proyecto a ejecutar.

En relación a la adición de estabilizantes, uno de los criterios bastante usado es el que relaciona la plasticidad del suelo con el tipo de estabilizante. Otro criterio relaciona la plasticidad y la granulometría con el tipo de estabilizante.

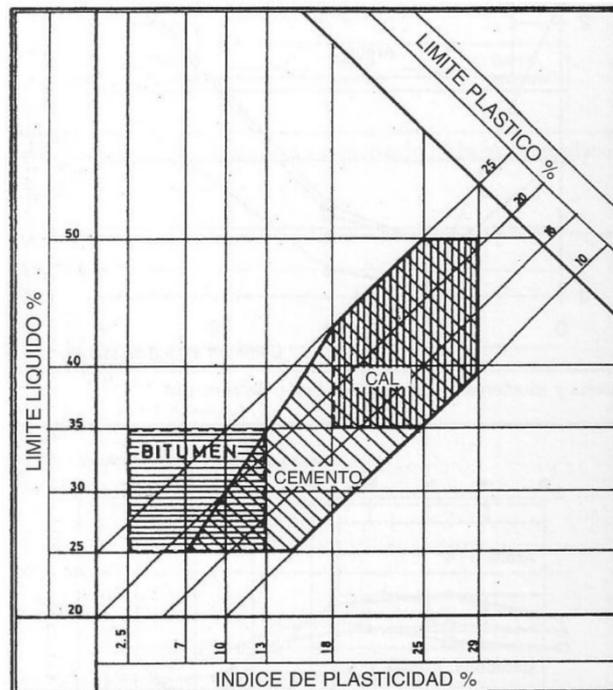


Figura 31_Estabilizadores apropiados sugeridos para tierra con relación a su plasticidad (CRATerre, 1979).¹⁴

¹⁴ Extraído de MINKE, Gernot, 1994, p57.

1.4.2 Tratamientos

Amasado y apisonado de los materiales

El secreto del barro está en la estructura laminar de sus minerales de arcilla y en su atracción eléctrica interna, la misma que se activa simplemente a través del agua y del movimiento. Esto significa que al amasar el barro en estado plástico, los minerales de arcilla están en condiciones de unirse mejor, en un patrón más denso, alcanzando así una mayor cohesión y plasticidad, y al secar se logra una mayor resistencia a la compresión.

Según el tipo de técnica constructiva a utilizar el tenor de humedad de la mezcla será diferente, y es importante el amasado para lograr la homogeneidad de la misma.

El apisonado puede ser por compactación o prensado. La proporción de agua que se utiliza es fundamental para la posterior aplicación, como también para la resistencia a la compresión final.

A su vez una mezcla homogénea, donde las partículas estén bien distribuidas influye directamente en la resistencia a la compresión, ya que se obtiene el menor volumen de compactación pues se logra la máxima densidad.

Curado o Pudrición

Al dejar asentar la mezcla se generan reacciones químicas que propician la estabilización, la trabajabilidad, la adhesión y la cohesión de la tierra.

El término alemán para designar este tratamiento es "Mauken". Este tratamiento consta en dejar reposar la mezcla de barro durante 12 a 48 horas. Esto genera un fenómeno de atracción electroquímica entre los diferentes minerales arcillosos que los fuerza a adoptar una estructura más compacta y ordenada

Medidas estructurales o procesos mecánicos

Incrementando el tiempo de secado y reduciendo las dimensiones de los elementos constructivos, tales como los componentes o los paños de la superficie a revocar, se disminuyen las fisuras producidas por la retracción de secado.

El compactar de forma dinámica (vibrado) a una mezcla incrementa su resistencia a la compresión, esto es aún mayor que si se realiza la compactación de forma estática.

1.5 Mantenimiento y Protección

La arquitectura de tierra resulta especialmente sensible al equilibrio higrotérmico que la rodea.

Como su materia prima se generó a partir de la humidificación y secado del suelo natural, las condiciones del medio ambiente que la envuelven pueden ser decisivas al permitir su permanencia a largo plazo o propiciar su pérdida en un corto tiempo. Es así que las superficies exteriores de las estructuras juegan un papel crucial en el intercambio hídrico con el entorno, por lo que una de las estrategias más efectivas para la conservación de la arquitectura de tierra consiste en la buena ejecución y mantenimiento de las capas protectoras. (GUERRERO, L.; CORREIA, M.; GUILLAUD, H. 2012, 2015-2016)

Borges Faria O. (2002) resalta que la necesidad de mantenimiento no es exclusiva de las construcciones con tierra. Independiente del material utilizado, el hábito de mantener, tanto de carácter preventivo como correctivo, preserva la construcción. Otro aspecto muy importante, relacionado con el mantenimiento y durabilidad de las construcciones, está relacionado a los detalles constructivos, o sea, se debe invertir tiempo en detallar cada elemento constructivo, de cada aspecto de la construcción y de todas sus etapas (MARTINS NEVES, C.; BORGES FARIA, O.; Et al. 2009, p30).

Como ya se habló (capítulo 1.1 *La significación socio-cultural de la arquitectura de tierra*), parte de la importancia de la conservación del patrimonio cultural arquitectónico de tierra radica en que el mismo está ligado al pasado histórico y cultural de una región, así como a la forma de vida y economía (ciclos de trabajo-espera). Este tipo de *Patrimonio Vernáculo* ha estado ligado a unas labores de conservación y mantenimiento periódicas que, arraigadas en las sociedades tradicionales, fueron abandonadas a raíz del auge del proceso de industrialización y de la sociedad moderna. Sin embargo, en áreas en proceso de desarrollo, dichos trabajos de mantenimiento son aún patentes y forman parte de los modos de vida locales. (BARBERO, M; MALDONADO, L. 2013. p101-108).

Un claro ejemplo de las prácticas conservadoras en las construcciones tradicionales son los acabados y revestimientos, cuya degradación es inminente si no se llevan a cabo labores de mantenimiento periódicas, con la consecuente exposición de los componentes constitutivos, los cuales sirven de soporte a los agentes atmosféricos, propiciando el deterioro de la construcción. El desprendimiento e incluso, en algunos casos, eliminación de tales elementos constructivos o su reemplazo por otros constituidos por materiales más resistentes (por ejemplo mezclas con cemento), genera importantes daños sobre el soporte que disminuyen radicalmente su durabilidad. El efecto de estos nuevos materiales aplicados sobre los soportes tradicionales ha sido denunciado, desde hace décadas, por entidades internacionales y recogido en documentos tales como la Carta de 1987 para la "Conservación y Restauración de los Objetos de Arte y Cultura". (BARBERO, M; MALDONADO, L., 2012, p104).

Métodos de protección

Es importante incluir en el diseño de la edificación ciertas protecciones que aseguren el buen desempeño de la construcción ante los factores degradantes. Algunas de ellas son:

a) *Zócalos* (puntidos, basamentos, sobre cimientos) de materiales más resistentes y sobre todo menos permeables (de menor coeficiente de absorción) que eviten o disminuyan la ascensión capilar del agua procedente del terreno y las posibles salpicaduras de la lluvia. (CASTILLA F. J. 2011. p143-144).

b) *Aleros, albardas, cornisas, o remates de coronación del muro* que eviten la agresión directa del agua de lluvia y el correspondiente escurrimiento y erosión provocados por la misma. (CASTILLA F. J. 2011. p143-144).

c) *Previsiones sísmo-resistentes* tales como la introducción de cañas verticales en todo lo alto del muro ancladas en la cimentación y coronamiento, complementadas con cañas o escalerillas de madera horizontales que se unen a las cañas verticales para formar una retícula que le confiere flexibilidad al conjunto (GUERRERO BACA, Luis. 2007. p199).

d) *Protección de la superficie del paramento, cubierta y piso*, por alguno de los procedimientos habituales de acabados y revestimientos (revoques, pinturas o forros). (CASTILLA F. J. 2011. p143-144).

1.6 Patologías en la arquitectura de tierra

En la mayoría de los casos si se hace el mantenimiento adecuado, las construcciones se mantienen en notable estado y llegan a tener una larga vida, hay datos de construcciones en buen estado de más de 400 años. Pero muchas veces el descuido durante unos pocos meses puede introducir modificaciones que aceleran el deterioro o incluso generan patologías de gran magnitud. La alta proporción de fibras de la mezcla, su densidad relativamente baja, y el tipo de tierra que lo componen, hacen del relleno a base de tierra un material poroso y particularmente sensible a la erosión de las lluvias y a las heladas. Por esta razón la protección de los rellenos de tierra es fundamental y necesaria.

Para el estudio y diagnóstico de las patologías más características en la arquitectura de tierra en general y patrimonial en particular, sus causas, sus formas y mecanismos de alteración, se aplican metodologías de campo y de laboratorio y, se focaliza el estudio en la tierra y revestimientos utilizados en estas construcciones.

Para hacer un análisis integral de procesos patológicos es necesario identificar y entender cuáles son las causas que los provocan, estos pueden ser generados por *factores intrínsecos* que son propios del material y por *factores extrínsecos* que están definidos por agentes exteriores.¹⁵

Factores intrínsecos

A través del estudio de la geotecnia se pueden establecer cuáles es el comportamiento del material terreo; sus manifestaciones, alteraciones y deterioro. De esta manera se pueden clasificar los factores intrínsecos en:

- a) *Carácter de la fase sólida del suelo*: composición mineral y existencia de materia orgánica.
- b) *Origen y estructura de los minerales de arcilla*: tipos de arcilla, fuerza de enlace y comportamiento.
- c) *Propiedades y características generales*: propiedades fundamentales y propiedades fisicoquímicas.
- d) *Relación entre las propiedades del material y el uso y procedimiento constructivo empleado en la edificación*.

Factores extrínsecos

A través de un adecuado estudio de estos factores se puede diseñar la construcción y asegurar la correcta conservación de las edificaciones venideras y del patrimonio histórico. Los factores extrínsecos son:

- a) *Agentes ambientales*: están los relativos a la *climatología* tales como el agua (lluvia, condensación superficial e interna producida por la alta humedad ambiente y las diferencias térmicas, y agua congelada), el aire (vientos), la temperatura, los cambios climáticos y la orientación, y asoleamiento. Y por otro lado están los relativos a la *meteorología y el entorno* tales como fenómenos naturales (sismos, ciclones, tornados, inundaciones, otros), la presencia de sales (reaccionan con la tierra y al quitarle la cohesión generan disgregación de sus componentes), presencia de fuentes de agua naturales o artificiales (agua por capilaridad proveniente del suelo, napas freáticas), contaminación atmosférica.
- b) *Agentes biológicos*: insectos, microorganismos, animales, hongos y plantas (superiores e inferiores).
- c) *Factores mecánicos*: defectos de los materiales, roturas mecánicas accidentales, fallos en el estrato de apoyo de las cimentaciones, mala concepción y diseño de las soluciones estructurales y constructivas, problemas y errores en la ejecución en obra.
- d) *Acción humana*: diseño y planificación, procesos de la construcción, factores inherentes al uso y explotación, e intervenciones de mantenimiento y corrección incorrectas.

¹⁵ Clasificación extraída de RODRÍGUEZ M. A. et al., 2011. p99-100.

Alteración y deterioro

Las alteraciones y deterioro se localizan tanto en el elemento de terminación y revestimiento del paramento, como en el soporte, masa o estructura del mismo. Por esta razón se debe distinguir entre los fenómenos de la superficie y los de la estructura. *"Hay que tener presente que las lesiones son los síntomas aparentes, mientras que la patología implica el origen del fenómeno o proceso patológico, que no siempre es visible."*¹⁶

A través de investigaciones Houben y Guillaud (1987) identifican las alteraciones típicas de la construcción con tierra, las mismas se esquematizan en las tablas tituladas: TABLA 01_ "Desórdenes estructurales típicos en las construcciones con tierra y lesiones que se generan", TABLA 02_ "Desórdenes por humedad típicos en las construcciones con tierra y lesiones que se generan", TABLA 3_ "Factores intrínsecos del material tierra", TABLA 04_ "Factores extrínsecos de alteración en la fábrica térrea", TABLA 05_ "Síntesis de la relación entre indicador macroscópico de alteración, factores desencadenantes del deterioro y etapas de intervención recomendada" (Ver Anexos).¹⁷

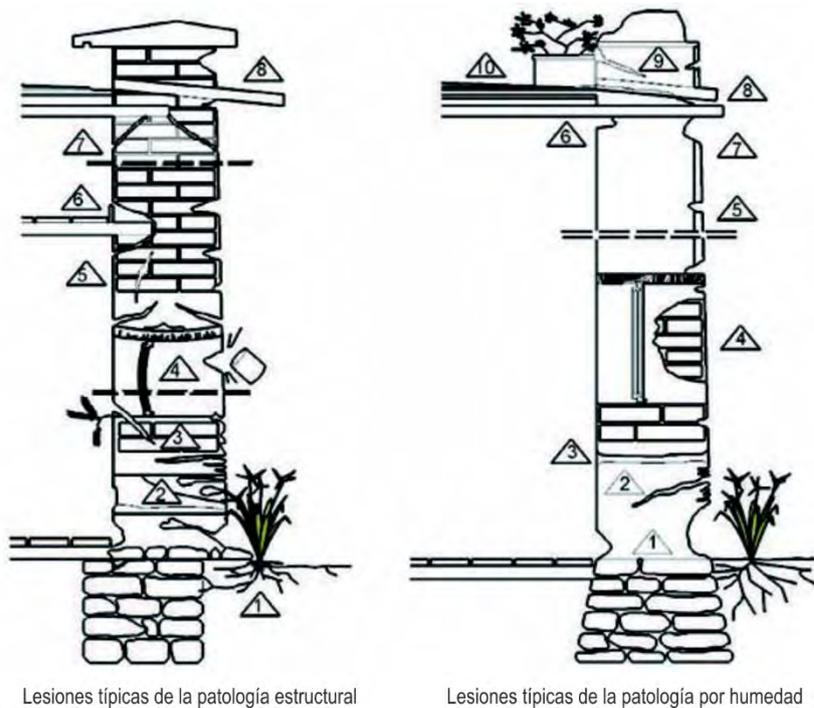


Figura 32_ Patología típica de las construcciones con tierra¹⁸

¹⁶ RODRÍGUEZ M. A. et al., 2011. p100.

¹⁷ Extraídas de HOUBEN, H.; GUILLAUD, H., 1989.

¹⁸ Extraída de HOUBEN, H.; GUILLAUD, H., 1989.



2 GENERALIDADES DE LOS ACABADOS Y REVESTIMIENTOS

El criterio adoptado en esta investigación para denominar los Acabados y Revestimientos¹⁹ es:

Acabado es toda aquella terminación superficial denominada *Revoque o Pintura*.

Revestimiento es toda aquella terminación superficial denominada *Forro*²⁰.

¹⁹ En el glosario se encuentran variados términos utilizados a nivel mundial e histórico para designar a los Revoques, Pinturas y Forros.

²⁰ El término *forro* es utilizado por los autores MARTINS NEVES, C.; BORGES FARIA, O. No se ha encontrado en la bibliografía estudiada otro término para clasificar a este grupo.

2.1 Descripción, función y usos de los acabados y revestimientos.

Por acabado o revestimiento entendemos cualquier tratamiento o elemento aplicado durante o después de la construcción del muro con la finalidad de mejorar alguna de sus propiedades o con intención de aportar un determinado aspecto a la superficie del paramento.

En el primer caso debemos preocuparnos de que el acabado o revestimiento cumpla con su finalidad y en ambos de que dicho acabado o revestimiento sea compatible y no perjudique ninguna otra característica del muro. (CASTILLA F. J. 2011. p145)

Para distinguirlos claramente se llama revoque (enfoscado, encalado, enlucido, estucado, guarnecido, jabelga, pañete, repello, etc.) a los acabados continuos que se colocan, en estado pastoso, sobre el relleno, agarrándose a este último por pegado, aplicados con la mano, paleta, llana, lanzados o proyectados.

Se llama pintura a una sustancia o producto de textura líquida o pastosa obtenida por la mezcla de pigmentos con aglutinante, que se transforma en una película sólida la cual sirve para recubrir superficies como protección, decoración o señalización.

Se llama forro a todo tipo de revestimiento "sólido" que se utiliza en la arquitectura de tierra, fijado a una estructura, auxiliar (independiente del material de relleno) o propia, de la edificación soporte.

2.1.1 Función

Los acabados y revestimientos juegan un papel fundamental en la protección y conservación y de la arquitectura de tierra, ya que aseguran la durabilidad del material que compone al edificio, o sea su integridad y estabilidad del elemento constructivo, y garantizan el comportamiento higrotérmico previsto. Es de recordar que las construcciones en base a tierra son especialmente susceptibles a los agentes ambientales, agentes biológicos, factores mecánicos y a la acción humana²¹.

Asimismo se lo puede utilizar específicamente para crear un determinado aspecto a la superficie o una estética determinada al conjunto edilicio, aportando cualidades plásticas, espaciales y estético-culturales.

38

2.1.2 Usos

Los acabados y revestimientos se utilizan tanto en pisos, paramentos o cubiertas²², lo que determina las características, requerimientos y consideraciones para definir el tipo a emplear. Asimismo pueden ser exteriores o interiores a la edificación.

Acabados y revestimientos exteriores

Los acabados y revestimientos exteriores son todos aquellos que se encuentran al exterior de la edificación los cuales están expuestos a las inclemencias del clima, estos deben ser resistentes a los agentes ambientales, agentes biológicos, factores mecánicos y a la acción humana. Es importante resaltar que estos acabados y revestimientos deben tener una buena difusión del vapor de agua, para evitar problemas derivados de la condensación.

Acabados y revestimientos interiores

Los acabados y revestimientos interiores presentan menos exigencias que los que se encuentran al exterior, pero responden a locales con usos específicos (baño, cocina, estar, estudio, dormitorio, invernáculo, otros programas, etc.), asimismo estos deben ser resistentes a los agentes ambientales (en menor medida que los que se encuentran al exterior), agentes biológicos, factores mecánicos y a la acción humana. Al igual que los anteriores estos acabados y revestimientos deben tener una buena difusión del vapor de agua, para evitar problemas derivados de la condensación.

²¹ Ver capítulo 1.6 *Patologías en la arquitectura de tierra*.

²² En este trabajo no se profundiza en las distinciones entre pisos, paramentos o cubiertas, como recorte del campo de estudio se hace hincapié en los acabados y revestimientos aplicados en los paramentos.

2.1.3 Consideraciones

Para el buen desempeño de los acabados y revestimientos se debe tener en cuenta los factores intrínsecos de la composición del material (carácter de la fase sólida del suelo, origen y estructura de los minerales de arcilla, propiedades y características generales y relación entre las propiedades del material y el uso y procedimiento constructivo empleado en la edificación).

Es importante que dicho acabado o revestimiento sea compatible y no perjudique ninguna otra característica de la construcción. Si bien pueden hacerse con mezclas más ricas que el alma misma del paramento, no deben estos morteros ser tan fuertes que resulten más pesados que el paramento y su adherencia se anule en poco tiempo. También es necesario que no se pierda la capacidad de la construcción de intercambiar aire y vapor de agua con el medio que lo rodea. (MARTINS NEVES, C.; BORGES FARIA, O., 2011, 72)

Para el uso de la tierra como acabado (revoque, pintura o solución) es necesario cumplir con 3 características:

- Control de la contracción de secado
- Resistencia a la abrasión superficial
- Resistencia a la erosión por lluvia

2.2 Los distintos sistemas constructivos y su relación con el acabado o revestimiento.

Se desarrolla a continuación una síntesis de las relaciones que tienen los acabados y revestimientos con los diferentes sistemas constructivos que se emplean en la arquitectura de tierra, para esto se utiliza la clasificación establecida por CRATerre²³.

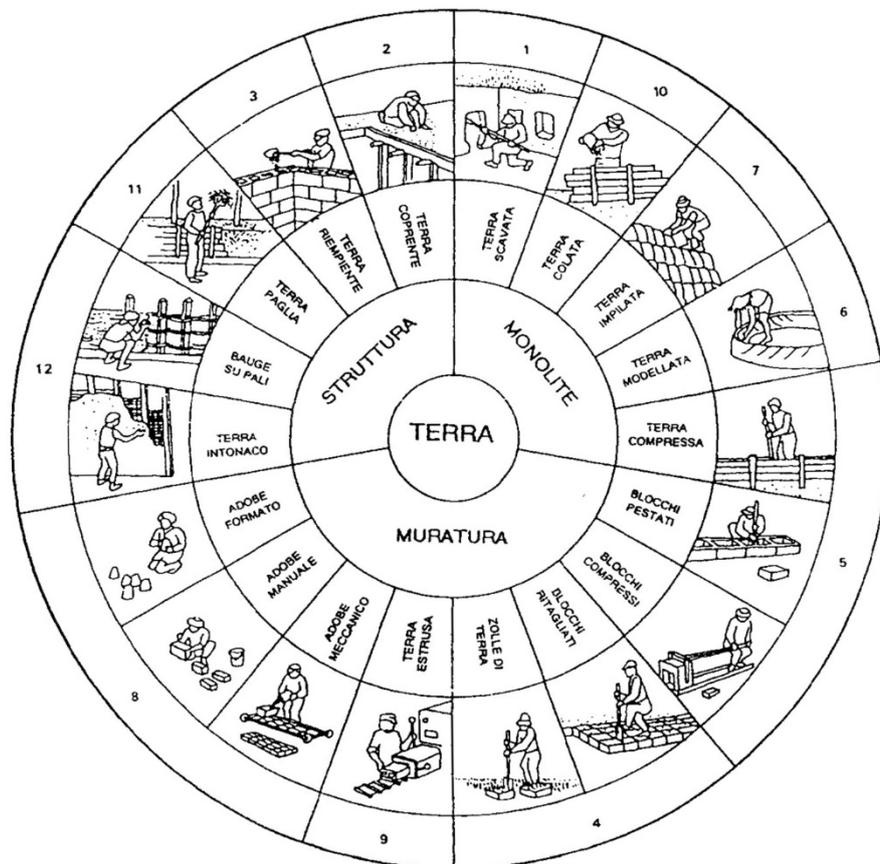


Figura 33_ Tabla de clasificación de técnicas según CRATerre; Doat P., Hays A., Hoube H., Matuk S. y Vitoux F., 1979.

Como clasificación general se encuentran tres tipos que refieren al uso de la tierra según la forma adquirida, estas son:

a) Tierra utilizada de forma Monolítica (Monolite).

En el sistema monolítico se encuentran las técnicas de tierra compactada, generalmente en moldes, con las denominaciones más conocidas como tierra apisonada o tapia, tapial, taipa de pilão. Consiste en apisonar tierra húmeda dentro de unos encofrados deslizantes e ir de este modo formando las paredes y otros componentes de la construcción.

También existen las técnicas de excavación, tierra vaciada, tierra apilada, tierra modelada o cob, paneles de suelo cemento y tierra ensacada (“superadobe”).

En general puede permanecer sin revoque y sin acabado, pero la inclusión de éstos mejora sensiblemente su conservación. Comúnmente se pinta sin revocar, pero es de rigor la protección contra las lluvias directas como por medio de aleros o albardas cuando se trata de muros aislados. (VIÑUALES, M.G. 2009, p9, 10)

b) Tierra utilizada en forma de Mampuestos. Albañilería (Muratura).

En el sistema de mampuestos están básicamente las técnicas de ladrillo y bloque, producidos a mano rellenando barro en moldes o compactando en una prensa manual o mecánica tierra húmeda, ambos y secados al aire libre. Las

²³ La clasificación fue establecida por Hubert Guillaud, Hugo Houben *Traité de construction en terre*. 1969. Pertenecientes al grupo CRATerre.

denominaciones más conocidas son ladrillo crudo o adobe y adobones, los primeros y, bloques de suelo, bloques compactados o BTC, los segundos. Otra técnica es la llamada terrón de césped, turrón, tepes, pisé, champas, cortaderas, raigambres o torrões.

También están los bloques cortados, la tierra extruida y los adobes moldeados a mano. (MINKE Gernot, 1994, p72)

Es importante ejecutar un acabado en estos sistemas constructivos, el hecho de tener piezas y juntas con diferencia de composición y compactación, y el paramento ser irregular, provoca el estancamiento del agua, aun la ganada por condensación, lo que origina la disgregación del material. También se evita el ataque de insectos que arman galerías internas y el azote de vientos. En el interior se protege al muro de humo, grasas, agua de condensación y ataque de insectos. (VIÑUALES, M.G. 2009, p9, 19)

En el caso de los terrones el acabado evita el crecimiento de los posibles rizomas de vegetales contenidos en la tierra, que podrían llegar a reventar los bloques.

c) Tierra utilizada en forma Mixta o con estructura (Struttura).

Se agrupan las técnicas constructivas que utilizan principalmente la madera como estructura portante y la tierra como material de relleno de los entramados, éstos son generalmente de madera, en forma de rollizos, tablas, ramas, varas, carrizos o piezas de pequeña sección.

Las denominaciones más conocidas son fajina, estanteo, quincha, bahareque o bajareque, chorizo o enchorizado, fachwerk, wikelstaken, y taipa de sebe. En Chile existen técnicas propias del lugar denominadas adobillo y pandereta.

Para asegurara una mayor durabilidad es necesario aplicarle un acabado o revestimiento. Asimismo será importante contar con una protección que aleje las aguas de lluvia, como un alero, ya que este tipo de pared es muy sensible a las mojaduras, no así a la humedad ambiente.

(VIÑUALES, M.G. 2009, p9, 13)

d) Otros.

Existen otros sistemas constructivos que no califican en ninguna de las anteriores clasificaciones por no utilizar a la tierra como material constitutivo, estos son los sistemas que utilizan fardos o balas de paja como material único o complementado con madera como estructura o refuerzo.

Al igual que los anteriormente nombrados es necesario aplicarle un acabado o revestimiento y será importante contar con una protección que aleje las aguas de lluvia.

Igualmente es importante saber que al ser tan diversas las técnicas constructivas con tierra, existen en cada región y época denominaciones propias y diferentes, lo que hace, muchas veces, confuso su estudio.

2.3 Protección y Mantenimiento de los acabados y revestimientos

La protección y mantenimiento de los acabados y revestimiento es un punto fundamental ya que los mismos son los componentes constructivos que se encuentra más expuesto, y sobre todo, ofician de protección para los componentes constitutivos fundamentales de la edificación.

Los revoques de tierra son muy susceptibles a los impactos mecánicos por lo que es necesarios proteger las aristas con algún tipo de elemento rígido, tales como: piedra, perfiles de madera, ladrillos cocidos u otros. También es posible darle forma de ochava a las mismas y así asegurar su durabilidad.

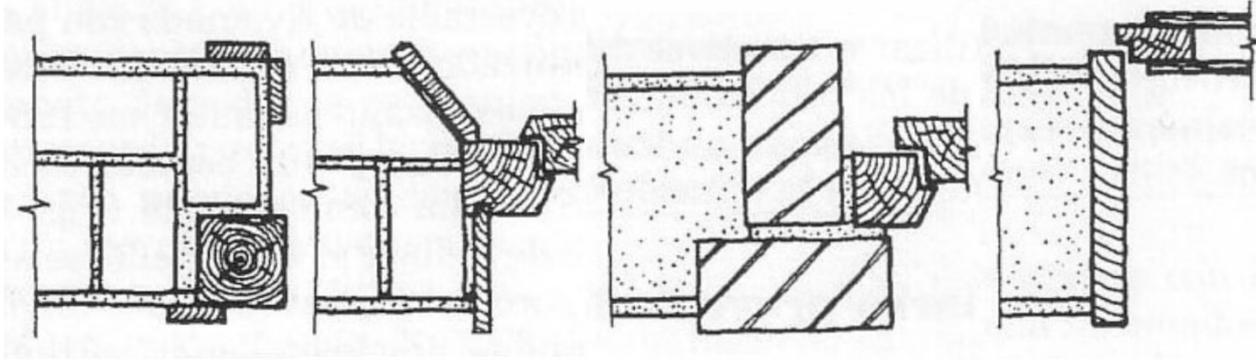


Figura 34_ Protección de aristas con elementos rígidos. ²⁴

El mantenimiento debe ser habitual dependiendo del tipo de acabado o terminación, como también la periodicidad y características del mismo.

42

Los componentes de los acabados o revestimientos deben de poseer un adecuado nivel de permeabilidad que los proteja de la acción directa de la lluvia, pero que posibilite el intercambio de aire y vapor de agua entre las estructuras y el medio ambiente. Este aspecto es fundamental ya que se ha podido comprobar que cuando se colocan recubrimientos realizados con materiales totalmente impermeables como las pinturas de esmalte, vinílicas o enlucidos de cemento, la humedad que naturalmente contienen los componentes estructurales, así como aquella que penetra por infiltraciones o absorción capilar, no puede ser eliminada. Entonces, al quedarse encapsulada en su interior, paulatinamente va degradando la tierra cruda hasta que pierde su cohesión y acaba por desintegrarse. (Guerrero L, Correia M., Guillaud H., 2012, p.217)

En el caso de tabiques interiores se pueden dejar a la vista el material constitutivo ya que las exigencias son menores.

Actualmente en los países desarrollados (tales como Alemania, Francia, España y EEUU), con marcos normativos exigentes en cuanto al confort ambiental y la salubridad se ha hecho viable el desarrollo de técnicas de construcción y materiales de una amplia variedad, que indagan en la formalización estética de la tierra como material de construcción, haciendo posible dejar cerramiento de tierra expuestos a la intemperie y variedad de revestimiento para su protección.

El método más simple de reforzar una superficie de tierra, especialmente contra la erosión por lluvia y viento, es *consolidándola*. Esto se puede hacer alisando la superficie con una cuchara de albañil de metal o piedra cóncava, ejerciendo presión cuando este húmeda y ligeramente plástica. El tratamiento está bien realizado cuando la superficie queda brillante y no se visualizan poros o fisuras. Esto no altera la composición del material.

²⁴ Extraído de MINKE, Gernot, 1994, p113.

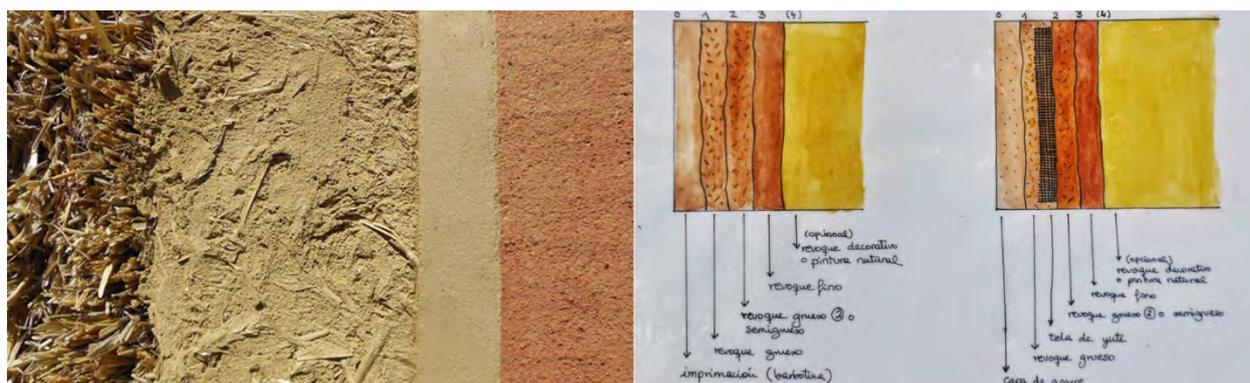


3 REVOQUES, PINTURAS, FORROS Y OTROS

Existen distintos tipos de revoques, pinturas, forros y otros, aplicables a la arquitectura de tierra. La información que existe a nivel bibliográfico es variada y dispersa, por lo que es posible haber dejado fuera del listado, que se realizará en este capítulo, algunos de ellos.

3.1 Revoques

Los revoques se realizan mediante una superposición de capas en estado plástico que varían en su espesor y proporción relativa de sus ingredientes, y que al fraguar, quedan adheridas al soporte (pisos, paramentos o cubiertas). El principio general consiste en la aplicación de por lo menos dos capas superpuestas. A estas capas se las denomina, según su función y características, revoque grueso (revoque base) o revoque fino (revoque superficial). La primera posee 0.8 cm a 3 cm de espesor y se realiza con componentes de grano grueso, y la segunda capa de pocos milímetros de grosor se elabora con ingredientes de finas dimensiones granulares. (Martins Neves, C.; Borges Faria, O., 2011, p72).



Figuras 35 y 36_ Diferentes capas de revoque: Revoque grueso y fino.²⁵

El revoque grueso (revoque base) sirve para emparejar desniveles y para crear una superficie homogénea, el mismo se aplica sobre el componente constitutivo de la edificación (sistema constructivo). Este se lanza con un palustre o con la mano o se aprieta con una cuchara o llana. También se puede proyectar mecánicamente con una bomba. Se plana finalmente con una llana de manera de obtener el espesor deseado. Después se lo puede alisar nuevamente con la llana.

En casos especiales puede servir un revoque monocapa, pero lo usual es la aplicación de otras capas de revoque. En caso normal (múltiples capas) al revoque grueso se le modifica su rugosidad con una llana dentada creando ranuras horizontales o diagonales para dar buena adherencia a la próxima capa. (MINKE, Gernot, 2013, p16)

Es importante no utilizar una mezcla “pesada”, ya que como es una capa gruesa se puede desprender, para esto es importante establecer una correcta proporción de arena y fibra. (ARESTA REBELO, M. 2014, p170)

El revoque fino (revoque superficial) sirve para darle la terminación deseada a la edificación. La superficie debe estar libre de fisuras después del secado del revoque grueso, si aún existen fisuras debe apretarse, frotarse, o sellarse de cualquier otra forma la superficie (ver 3.1.4 *Tratamientos superficiales y diseño decorativo*). Se suele considerar que el revoque fino posee una granulometría de 0 a 0.4 mm o 0 a 0.8 mm. Este se sella normalmente en estado casi duro con la llana o palustre de modo que aparezca una superficie lisa, muchas veces brillante. Una alternativa al revoque fino puede ser una pintura de tierra u otro, que se aplica con una brocha o pincel ancho y finalmente se la alisa con una llana. (MINKE Gernot, 2013, p17)

Es importante para asegurar la homogeneidad de la mezcla tamizar todos los componentes.

Como se nombra anteriormente un complemento para los revoques son las pinturas, las cuales se desarrollan en el capítulo 3.2 *Pinturas*.

²⁵ Fuente: www.sientotierra.com

3.1.1 Requerimientos

Los aspectos a tener en cuenta para el buen rendimiento de los acabados del tipo revoque son:

a) Durabilidad.

La durabilidad del revoque de una superficie depende tanto de su adherencia al material de relleno como de su resistencia a los agentes de erosión y abrasión (lluvias, heladas, rozamientos, etc.) Asimismo el soporte debe ser lo suficientemente sólido para que el revoque no se desprenda.

La adherencia depende de la aspereza de la superficie y la resistencia a la flexión de la mezcla.

b) Elasticidad.

Las características elásticas que debe poseer el revoque dependerán de la elasticidad del material de relleno y la flexibilidad de la estructura de madera (si la hay), esto implica que las mismas deberán ser por lo menos iguales a las del soporte.

c) Difusión de vapor. Permeabilidad.

La permeabilidad de la mezcla de tierra, que sirve de fondo a los revoques, prohíbe el uso de mezclas demasiado impermeables, que podrían generar fenómenos de condensación de agua en la cara interna del revoque, ocasionando el deterioro de los puntos de fijación del revoque con su soporte, y el desprendimiento de la mezcla por placas enteras. Los revoques deben permitir el traspaso del vapor de agua pero ser impermeables al agua en estado líquido. (MARTINS NEVES, C.; CEVALLOS SALAS, P.; MELLACE, R. 2003, p248)

Normativa de referencia

La norma Alemana DIN 18550 parte 3 establece que los revoques externos hidrófobos deben cumplir las siguientes condiciones:

- Coeficiente de absorción de agua $w \leq 0.5 \text{ Kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$
- La resistencia a la difusión específica del vapor debe ser $s_d \leq 2.0 \text{ m}$ y el producto $w \times s_d$ debe ser $\leq 0.2 \text{ Kg} / \text{m} \cdot \text{h}^{0.5}$

3.1.2 Ejecución

Consideraciones previas para la ejecución de revoques

Es importante resaltar la conveniencia de realizar ensayos previos para elegir el revoque adecuado antes de la aplicación definitiva. Para esto lo más recomendable es realizar las pruebas in-situ o sobre soportes de similares características, ya que esto es condición fundamental para determinar el desempeño del acabado y posterior preservación de la edificación.



Figuras 37, 38 y 39_ Pruebas realizadas in-situ o sobre soporte de similares características

No se debe recubrir un soporte de tierra:

- Antes de que la contracción de secado no sea estabilizada.
- Antes de que el asentamiento del muro no se haya realizado.
- Antes de que la migración de agua y vapor del secado no esté terminada o llegado a un nivel suficientemente bajo (máximo 5% de agua). (CARBALLO, J. F. 1987)

Preparación de la tierra para revoque

Una de las dificultades en el momento de trabajar con la tierra es la heterogeneidad en la que se la encuentra en estado natural, este es el caso de los terrones de tierra con alto contenido de arcilla que hace inviable su utilización sin un previo tratamiento.

Para asegurar una buena cohesividad, las fuerzas adhesivas de los minerales de arcilla deben activarse suficientemente mediante una cantidad adecuada de agua y amasado. (MINKE, G., 1994, p111)

Se describen a continuación las diferentes posibilidades de preparación de la tierra para aplicaciones específicas.²⁶

a) Humedecimiento, trituración y mezcla

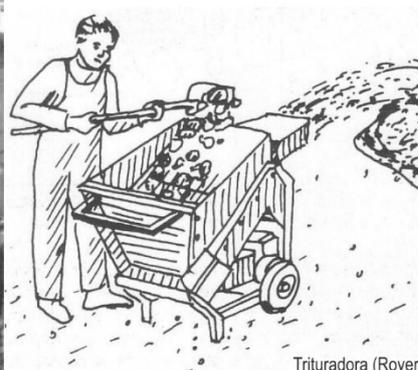
Hay diferentes métodos que pueden emplearse para obtener un material de construcción laborable y sin terrones de tierra. Uno de los métodos más sencillos para esto, y sin utilizar esfuerzo mecánico, es sumergir a los terrones (entre 15 a 25 cm de espesor) en agua de manera que obtengan la plasticidad por sí mismos (entre 2 a 4 días). Posteriormente se puede ajustar su proporción granulométrica, a través de amasado con las manos, con los pies o mecánicamente.

Una técnica tradicional empleada en climas fríos es amontonar la mezcla de tierra en un cumulo de 20 a 40 cm de altura, que se deja congelar durante el invierno, para que la desintegración sea provocada por la expansión del agua congelada. Cuando la tierra se encuentra en estado seco se la puede triturar con una máquina de angulares de acero.

La forma más sencilla es remover la tierra humedecida con un azadón o amasar la mezcla con los pies. También se pueden utilizar animales para este trabajo. Los estabilizantes pueden ser también mezclados por esta operación.



Figura 40_ Mezcladora utilizada en el FEB, Kassel.



Trituradora (Royer)



Trituradora (Cératec)

Figura 41_ Trituradora Royer.

Figura 42_ Trituradora Cératec.

²⁶ Extraído de MINKE, G., 1994, p 45-47.

b) Tamizado

Se utiliza para extraer las partículas de mayor tamaño. Esto se debe hacer con la tierra en estado seco. El método más simple es pasar la tierra seca a través de un tamiz. Existen equipos mecánicos como tamices cilíndricos inclinados.



Figura 43_ Tamizado manual, tamiz individual.

Figura 44_ Tamizado manual, con malla sin bastidor.

Figura 45_ Equipo mecánico para tamizado.

c) Disolución de la tierra

Consta de disolver la tierra y dejarla en estado casi líquido, esto la convierte en una lechada de tierra llamada “barbotina”. La misma se utiliza para la base de los revocos, como también para enriquecer una mezcla, para preparar un barro alivianado, etc.



Figura 46_ Mezclado manual de la barbotina.

Figura 47_ Mezclado mecánico de la barbotina.

Figura 48_ Consistencia ideal de la barbotina, efecto “guante”.

Ensayos y pruebas

Para determinar la composición de la tierra a utilizar en los revocos es necesario realizar algunos ensayos y pruebas sencillas, de esta manera se sabrá si es necesario estabilizar o no la tierra disponible. Lo importante es identificar: primeramente, la contracción durante el secado y con esto la fisuración; segundo, la resistencia a la abrasión de la superficie, y tercero la resistencia a la erosión. Los ensayos que de campo que se pueden realizar son: ensayo de caída de la bola, ensayo de adhesión, ensayo de corte, ensayo de frotado y lavado, ensayo de cohesión, ensayo de acidez, determinación de contracción, determinación de la resistencia a la abrasión y determinación de la resistencia a la erosión.²⁷

Para una correcta consistencia y composición del revoque existe una regla muy simple: debe quedarse pegado a una cuchara colocada verticalmente, pero al lanzarlo contra la pared debe despegarse deslizándose con facilidad. (MINKE, G., 2013, p9)

²⁷ Para profundizar en ensayos y pruebas ver: (MARTINS NEVES, C.; BORGES FARIA, O.; Et al. 2009), (MINKE, G., 1994) y (MINKE, G., 2013)



Figura 49_ Determinación de la contracción de secado.

Figura 50_ Determinación de la resistencia a la abrasión.

Figura 51_ Determinación de la resistencia a la erosión.



Figuras 52, 53, 54 y 55_ Ensayos de campo: caída de la bola, frotado y lavado, cohesión, acidez.

Preparación del sustrato

La adherencia de un revoque se obtiene por efecto de “pegado” entre las dos superficies en contacto, la del revoque y la del relleno; y por “agarre” mecánico logrado al imprimirse las asperezas del relleno en la masa plástica del revoque. No reacciona químicamente con la superficie donde se aplica.

Para mejorar la adherencia se debe tratar la superficie del relleno y si es necesario agregar soportes intermedios. Los tratamientos necesarios son:

a) Limpiado

Se puede mejorar el efecto de pegado limpiando o cepillando cuidadosamente la superficie del muro para retirar las partículas de polvo poco adherentes.

b) Mojado

Al mojar el muro, se evita la formación de grietas en la cara interna del revoque, que podrían producirse si el muro absorbe, por succión capilar, la humedad contenida en el revoque. En una superficie de tierra no estabilizada, se procede por rociadas repetidas hasta la saturación, teniendo cuidado que no se produzca el derrame o desprendimiento del barro de relleno. Otra técnica es darle una imprimación base con una lechada de cal, o de material conglomerante similar al del revoque, logrando que penetre unos milímetros en el soporte.

c) Escarificado

Se mejora el efecto de anclaje mecánico, multiplicando las asperezas o estrías del muro. Al terminar el *relleno* de una parte de la de la edificación, se graba con una llana dentada o cepillo escarificador flexible en el material todavía húmedo. Las prácticas tradicionales muestran estrías en el barro hechas con una horca, y la impresión de huellas profundas con los dedos en el material de relleno. Las fibras aparentes en la superficie del relleno contribuyen, también, en la adherencia del revoque, y por ello no hay ningún motivo para quitarlas. Si la superficie es muy lisa como en el caso de la técnica de Tapial o BTC se puede proceder al picoteado de la misma, con alguna herramienta punzante. En el caso de que el muro sea de adobe o BTC se deben rehundir las juntas (ranuras a 45° realizadas con

un badilejo). (MARTINS NEVES, C.; CEVALLOS SALAS, P.; MELLACE, R. 2003, p248), (MÁRMOL Jesús A. 2004, p75).

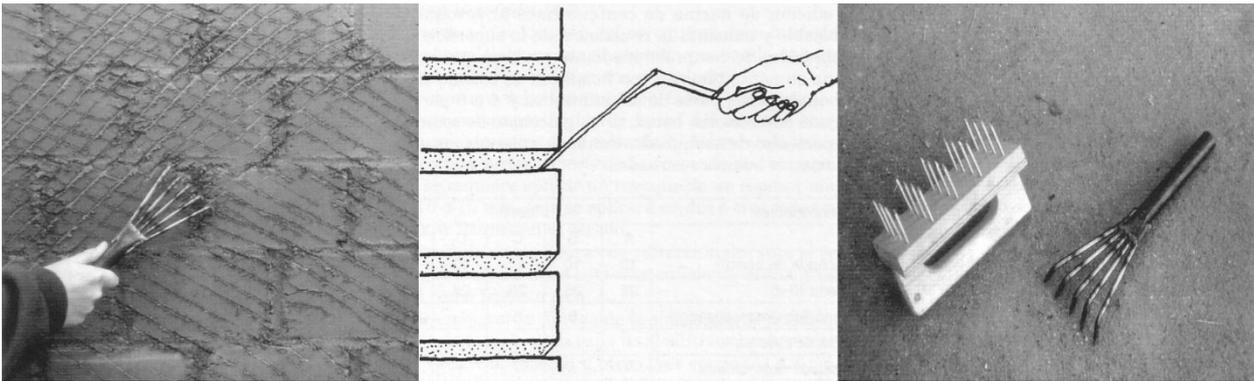


Figura 56_ Escarificado

Figura 57_ Procedimiento de rehundido de las juntas.

Figura 58_ Herramientas para el escarificado.

d) Imprimación de tierra

Si el soporte es de quincha seca (fajina), fardos de paja, ladrillos o la propia madera de la estructura, este debe ser imprimado con una pintura de tierra, así se podrá adherir el revoque, y si es necesario se deberá a prever un sistema de agarre estructural como las mallas. (ARESTA REBELO, M. 2014, p170)

e) Elementos de agarre

En ocasiones es necesaria la incorporación de elementos de agarre. El uso de mallas clavadas o amarradas mejoran la adherencia de los revocos, pero no son necesarias si los materiales del relleno como de los revocos han sido correctamente seleccionados.

Si se tiene que revocar completamente una fachada, recubriendo por lo tanto los elementos de la estructura maestra, se tiene que prever un sistema de agarre particular.

Si se utiliza malla gallinera u hojas de metal desplegadas fijadas sobre la estructura maestra se evitará clavar directamente estas mallas sobre los elementos de la estructura maestra que por sus variaciones temporales de dimensión, podrían provocar fisuras en el revoque. Igualmente las últimas no son convenientes para revocos al exterior por que pueden oxidarse. Las mallas de yute u otras fibras vegetales no resultan apropiadas ya que no permiten mucha tensión y evitan ligeramente la fisuración.

Las más apropiadas son las mallas sintéticas o de fibra de vidrio.

Se recomienda colocar, una banda de papel o arpillera entre los elementos de madera y el relleno, para impedir al revoque pegarse a la madera. Estos "puentes" artificiales son de todas maneras puntos débiles en el revoque, y más vale evitarlos dejando la estructura aparente o utilizar una osamenta lateral continua.

También se utilizan elementos puntuales para el agarre del revoque como son los clavos o inserción de cascotes. (MINKE, G., 2013, p15, 18)

Método de ejecución.

Existen variados métodos de ejecución del revoque, tales como aplicado con la mano, con llana o cuchara, lanzado con la mano, proyectado con bomba, etc.

El revoque debe ser lanzado con fuerza para que se impregnen las partículas del mismo con las de la superficie a revocar. Alcanzando así también una mejor cohesividad provocada por el impacto.

Si se requiere aplicar un revoque de espesor mayor a 10 o 15 mm, este se debe aplicar en dos o tres capas para evitar fisuras al secar.

Sea cual fuera su técnica es recomendable aplicar el revoque grueso de abajo hacia arriba y el revoque fino de arriba hacia abajo, para evitar estropear el trabajo realizado.



Figuras 59, 60 y 61_ Diferentes métodos de ejecución: aplicado con la mano, aplicado con llana, proyectado con bomba.

Secado

Según el tipo de mezcla, el grosor de la capa y la época del año los revoques pueden tardar desde 3 días a 3 meses en secarse.

Según la orientación del soporte en que se aplica el revoque habrá variaciones en el secado, por lo que es muy importante considerarlo para la elección del mismo, la aplicación y el curado. También es importante tener en cuenta la época del año en que se aplica visando su forma y tiempo de secado.

Si se observan que durante el proceso de secado aparecen brotes verdes o mohos, producidos por la fibra contenida en la mezcla, no hay que alarmarse, ya que cuando el revoque se haya secado definitivamente, las plantas y el moho se secan y mueren. (MÁRMOL Jesús A. 2004, p90)



Figuras 62, 63, 64 y 65_ Diferentes revoques y cuidados de secado.

3.1.3 Tipos de Revoques

A continuación se detallaran diferentes tipos de revoque según su composición; sean de tierra, cal, yeso o cemento, y su aplicación en la arquitectura de tierra.

Revoques de tierra

Los revoques que utilizan la propia tierra como material base, son los más apropiados a priori, en la arquitectura de tierra, por su natural compatibilidad con el soporte. Igualmente se adhieren muy bien a ladrillos, piedra natural y hormigón (lo importante es que la superficie sea suficientemente rugosa)

Los revoques a base de tierra cumplen con los requisitos de elasticidad y permeabilidad y difusión de vapor, pero ofrecen una protección muy limitada frente a los agentes de erosión y abrasión. Cuando los revoques de tierra son puros, permanecen solubles aún después de endurecidos, por lo que se los utiliza generalmente en interiores, y en el exterior solo se los utilizan cuando están protegidos del agua de lluvia. Se puede mejorar la resistencia a la erosión, a la abrasión y mejorar la cohesión de los revoques tradicionales a base de tierra estabilizándolos, dentro de los límites de compatibilidad con el material de relleno. (MÁRMOL Jesús A. 2004, p76)

Es difícil establecer las proporciones ideales para un revoque de tierra, ya que no solo influyen en sus propiedades las proporciones de arena, limo y la arcilla, sino principalmente la granulometría de la arena, el contenido de agua, el tipo de arcilla, la forma de preparación, el tipo y la cantidad de los aditivos. (MINKE, G., 1994, p110)



Figuras 66, 67 y 68_ Tierra para revoque, preparación del revoque de tierra, revoque de tierra ejecutado en un paramento.

Composición granulométrica en revoques de tierra.

Los revoques en base a tierra están compuestos principalmente por arena y limo, con solo la cantidad de arcilla que sea necesaria (usualmente entre 5 a 12%) para activar la cohesividad y la adherencia. (MINKE, G., 1994, p110)

La tierra empleada para revoques es comúnmente más arenosa que la tierra del relleno, se reduce así el encogimiento natural producido por la arcilla y el riesgo de grietas, al generar una estructura interna resistente. Si se procede por corrección de granulometría, añadiendo arena, se tiene que escoger un tamiz de arena variado, que va desde arena fina a arena gruesa para tener una granularidad continua (es posible utilizar también grava). (MÁRMOL Jesús A. 2004, p76)

Una regla de oro dice que la granulometría no puede ser mayor que la mitad del espesor del revoque.

Igualmente las tierras muy arenosas se las debe enriquecer con arcilla, para asegurar la cohesión del revoque. Lo más apropiado es usar polvo de arcilla, y así se logra una mezcla homogénea. (MINKE, G., 2013, p8).

Es posible agregar a las mezclas arcilla expandida u otros (de 1 a 4 mm) con el fin de alivianarlas. (MINKE, G., 1994, p112). Algunos ejemplos pueden ser: arlita (bolitas de arcilla cocidas a alta temperatura), perlita (roca silícea triturada y expansionada por un procedimiento térmico) o piedra volcánica.

Pueden presentar colores muy diferentes según la tonalidad de la tierra empleada que, a su vez, se modifica con el tono de las arenas o las fibras presentes en la mezcla. (MÁRMOL Jesús A. 2004, p70)

Armazón para revoques de tierra

Al igual que en el relleno, las fibras en un revoque sirven para aumentar la elasticidad del material, al generar un tejido intersticial de refuerzo flexible. Sin embargo las fibras que se utilizan no son las mismas que para el relleno. Las altas tensiones que tiene que aguantar el revoque por su situación muy expuesta, y su modo de colocación en capas finas, plantean más exigencias para la selección de las fibras, que en el caso del relleno. Las características que tienen que tener las fibras de un revoque se pueden enunciar así:

- Ser resistente a la tracción
- Tener una buena adherencia con las arcillas
- No absorber mucha agua
- Ser poco putrescibles
- Ser fáciles de mezclar y trabajar en capas finas.

(MÁRMOL Jesús A. 2004, p76)

Se puede utilizar fibras de origen vegetal, animal o industrial. En el caso de revoques gruesos las fibras no deben ser mayores de 3.0 cm y en el caso de revoques finos no mayores de 0.5 cm. (MINKE, G., 2013, p8)

a) Fibras vegetales para revoque a base de tierra

Es común emplear fibras de paja o de heno cortadas, pero no son muy resistentes. Se han obtenido mejores resultados con cascabillo de lino, casi imputrescible, pasto chino, aserrín, viruta, cascarilla de arroz, fibras de sisal (fique), de

celulosa, de bambú, de cáñamo o de coco también pueden dar resultados muy interesantes. A menudo la proporción de fibras es similar o un poco más alta en el revoque que en el relleno de tierra. Estas fibras ayudan a dar mayor cohesión y alivianar el peso de la mezcla, evitando posibles desprendimientos. (MINKE, G., 2013, p8)

b) Fibras animales para revoque a base de tierra

El uso de pelos de vaca fue una práctica muy corriente en los revoques e inclusive en el relleno de los entramados pesados en Europa. Son fibras animales muy resistentes y muy durables y reducen notablemente la fisuración. También es posible agregarle pelos humanos. (MÁRMOL Jesús A. 2004, p77)

c) Fibras industriales para revoque a base de tierra

Las fibras sintéticas y baratas, como el polipropileno, que sirven habitualmente para fabricar sogas, pueden dar muy buenos resultados. Son elásticas y poco putrescibles. El precio de estas fibras es un criterio determinante. No sirve, emplear fibras demasiado resistentes (fibras de vidrio, fibras metálicas, etc.) si su adherencia al material no corresponde a su resistencia. (MÁRMOL Jesús A. 2004, p77)



Figura 69_ Fibra de paja.

Figura 70_ Fibra de polipropileno.

Figura 71_ Fibra de coco.

Aglomerantes, impermeabilizantes y tratamiento químico para revoques de tierra.

Teóricamente, todos los productos estabilizantes para suelos podrían ser convenientes para los revoques. Estos revoques con agregados no son solubles en agua ni reutilizables y se los utiliza para revoques exteriores cuando no existen protecciones edilicias adecuadas. (MINKE, G., 2013, p26)

a) Cal

La cal aérea $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal viva apagada o hidratada) en pasta, es uno de los productos más recomendables para revoques de tierra.

Al aumentar más su proporción en la mezcla, la cal sirve también como aglomerante y conviene para las tierras que carecen de cohesión. Su color da un aspecto agradable a los revoques de tierra. (MÁRMOL Jesús A. 2004, p77)

Al utilizar este tipo de revoques se debe evitar el secado rápido, cubriéndolo con telas húmedas o esparciendo agua durante el proceso de curado; esto se debe a que la cal necesita el CO_2 para la carbonatación y cierto contenido de humedad para esta reacción química. Se recomienda aplicar varias capas finas para acelerar este proceso. (MINKE, G., 2013, p26)

b) Cal y Cemento

La arcilla del tipo montmorillonita reacciona mejor con la cal y la arcilla caolinita mejor con el cemento. Dado que normalmente en una tierra arcillosa hay una mezcla de diferentes arcillas, se recomienda usar cal y cemento al mismo tiempo. Como fue probado, es preferible una cantidad de 4 hasta 6% de cada una. (MINKE, G., 2013, p27)

c) Cemento

Igualmente la adición de cemento en los revoques de tierra no es recomendable, ya que el mismo es “enemigo de las arcillas”; pues las partículas de cemento aíslan los minerales de arcilla eliminando las fuerzas de atracción eléctrica entre sus iones metálicos y rompe su capacidad de aglutinamiento. Como se muestra en la siguiente figura, una ínfima cantidad de cemento reduce la resistencia a la compresión de la tierra. Una regla dice que, como mínimo, se debe

adicionar 5 a 10% de cemento; entonces, en ese caso, se trata de revoques de cemento y no de tierra (*Ver Revoques de Cemento*)

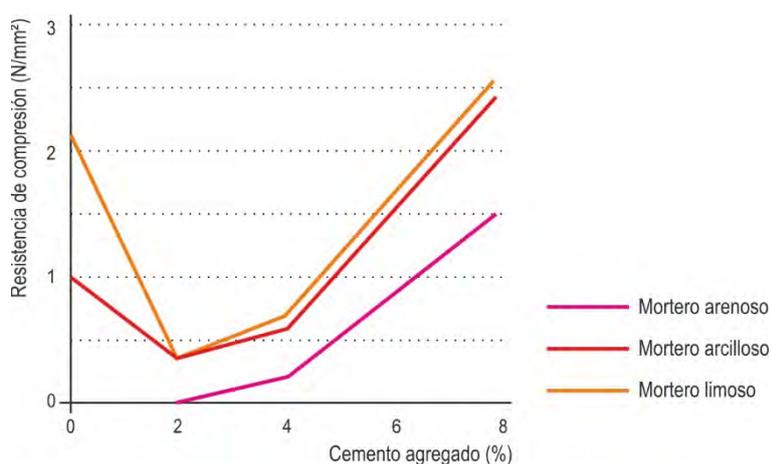


Figura 72_ Resistencia a la compresión de revoques de tierra con agregado de cemento²⁸

d) Orina

La utilización de orina de animales, en vez de agua, en la preparación de revoques con cal, fue una práctica muy difundida en los países de Europa del norte; puede mejorar el material, reduciendo la formación de grietas, y aumentando la dureza del revoque. La orina de caballo fue la preferida por los constructores; sin embargo, su olor particular puede ser un inconveniente. (MÁRMOL Jesús A. 2004, p77)

e) Estiércol.

Las investigaciones señalan que el estiércol diluido en agua o estiércol fresco se debe mezclar con la pasta de barro en una relación 1:1. Una vez realizada la mezcla se lo debe dejar reposar durante varios días, 1 día en climas cálidos y 7 días en climas fríos, mediante este proceso de fermentación se incrementa la resistencia a la erosión y a la abrasión del revoque. Lo que ocurre es un intercambio de iones entre los minerales de arcilla y los componentes del estiércol. Finalmente se mezcla esta pasta en relación 1:2 hasta 1:4 con la tierra. Investigaciones de la FEB-Forschungslabor für Experimentelles Bauen (Laboratorio de Investigación para la Construcción Experimental, en Kassel, Alemania) demostraron que el proceso de fermentación aumenta la resistencia a la abrasión y a la compresión aproximadamente un 15%. (MINKE, G., 1994, p114), (MINKE, G., 2013, p24, 27).

f) Combinación de cal y productos animales

Existen muchas recetas históricas para revoques de tierra en las que se le agrega cal con productos animales, generando reacciones químicas. Algunas de ellas son:

Cal y Orina: 1 parte de polvo de cal aérea con 1 a 3 partes de tierra arenosa embebida en orina de caballo durante 24 horas.

Cal y estiércol: mezclar 1 parte de cal hidráulica en 2 a 4 partes de estiércol de vaca húmedo, dejarlo reposar de 1 a 3 días, luego mezclar con 8 a 12 partes de tierra arenosa. Como ya se ha dicho la cal reacciona químicamente con las proteínas de estiércol formando albuminato de calcio que no es soluble en agua. Las fibras vegetales del estiércol actúan como refuerzo.

Cal y Caseína: mezclar bien 4 partes de cal hidráulica o cal aérea con 1 a 2 partes de queso fresco sin grasa (que contiene 11% de caseína) y luego añadirle 10 partes de tierra arenosa. Debido a que en muchos países no hay queso fresco sin grasa se puede utilizar polvo de caseína. En algunas recetas se utiliza suero, aunque se debe recordar que en el suero existe poca caseína y por tal razón el efecto es mucho menor.

g) Aceites

Se obtiene con estos estabilizantes una alta resistencia a la erosión por lluvias, igualmente deben ser utilizados en climas con poca amplitud térmica, ya que los aceites poseen muy baja difusión del vapor de agua.

Los porcentajes de estos estabilizantes no deben superar el 6% de la mezcla total. El secado de estas mezclas puede durar, dependiendo del clima, unos días hasta unas semanas. Es ahí donde obtienen su resistencia a la erosión.

²⁸ Extraído de MINKE, G., 2003, p26

Estos revoques resultan difíciles de aplicar por tener menos adherencia al sustrato que otros. (MINKE, G., 1994, p114), (MINKE, G., 2013, p24, 28).

h) Mucílago

Como ya se dijo el mucílago ayuda a conseguir un secado lento y uniforme el cual incrementa notablemente la resistencia final de los revoques. Son comúnmente utilizados para este fin los cactus de la familia *Opuntia ficus indica*, *Euphorbia láctea* o herea, el agave, el banano y el sisal (fique).



Figura 73_ *Opuntia ficus indica*.

Figura 74_ Preparación del Mucílago.

i) Engrudo

Se pueden hacer de harina de centeno o de trigo (no harina integral), se mezcla 1 parte de la harina molida con 2 partes de agua fría y se revuelve bien hasta que no aparezcan grumos. Esta preparación se cocina en 6 partes de agua hirviendo, batiendo constantemente, hasta que densifique y quede translúcida. Luego se pasa por un tamiz para obtener una masa sin grumos que se la mezcla con el revoque de tierra. Se puede añadir en la mezcla entre un 2 y un 3% del mismo. (MINKE, G., 2013, p24, 27), (MINKE, G., 1994, p114)

j) Asfalto

La adición de asfalto en las mezclas en base a tierra arenosa logra una gran impermeabilidad en los revoques. Se lo agrega a la mezcla un poco antes de aplicarla, en proporciones de 4% hasta 8 %. El asfalto tiene que utilizarse en frío, bajo forma de emulsión pastosa (con agua) o de cut-back (con kerosene). Se ha probado, con buenos resultados, en revoques gruesos utilizando un 4% y en revoques finos utilizando un 8%.

Debe ser utilizado en climas con poca amplitud térmica, ya que el asfalto posee muy baja difusión del vapor de agua. (MINKE, G., 1994, p114)

k) Silicato de sodio

El silicato de sodio (Na_2SiO_3), como se dijo anteriormente, es un buen estabilizador para tierras con alto contenido de arena, es fuertemente alcalino y debe ser rebajado con agua en una proporción de 1:2 a 1:8 antes de añadirlo, de lo contrario aparecen microfisuras que provocan absorción de agua.

l) Sintéticos

Existen una gran cantidad de productos sintéticos en el mercado que pueden impermeabilizar los revoques de tierra: resinas sintéticas, Silane, Soloxane, Silicona, Acrilatos. Éstos resultan caros en comparación son los anteriormente mencionados y se utilizan principalmente para obtener pinturas (Ver 3.2 Pinturas) Por regla general estos estabilizadores evitan la capacidad de difusión de vapor del revoque. (MINKE, G., 2013, p27),

En la siguiente tabla se muestra la resistencia a la erosión por lluvia de diferentes revoques de tierra estabilizados, resultados de una investigación del FEB (Kassel, Alemania), simulando una lluvia extremadamente fuerte.

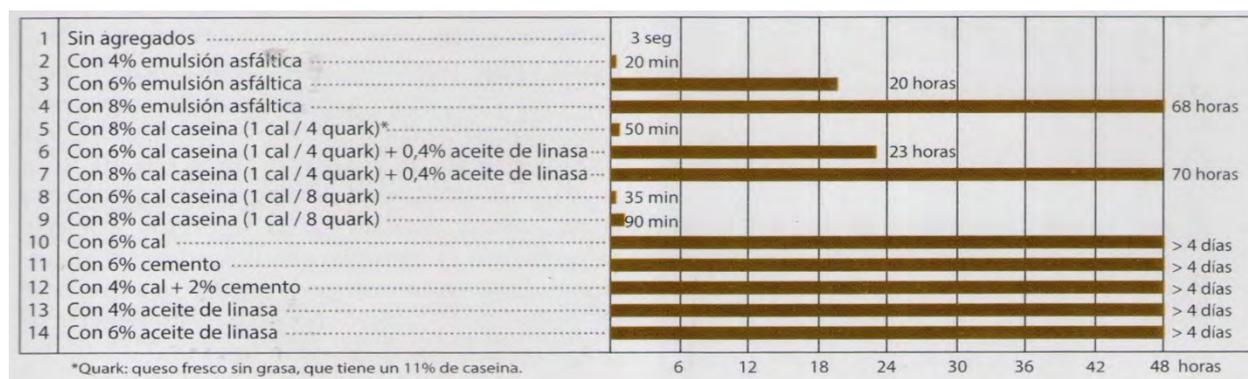


Figura 75_ Tabla resistencia a la erosión de diferentes revoques de tierra. ²⁹

Revoques de cal

Un número importante de civilizaciones antiguas utilizaron la cal como fundamento de su cultura constructiva. En base al uso de este material tuvieron la posibilidad de generar destacados conjuntos arquitectónicos y urbanos de gran belleza y durabilidad. Tierra y cal han convivido de manera casi permanente a lo largo de la historia de la construcción, por su compatibilidad, sus calidades económicas, ecológicas y sanitarias.

Los revoques de cal se realizan con cal aérea o hidráulica, en polvo o en pasta, preparada previamente: su gran fineza de molienda, su alta resistencia mecánica, impermeabilidad, difusión de vapor y la flexibilidad de los morteros obtenidos, hace que este sea uno de los aglutinantes minerales más apropiados para la confección de revoques en las construcciones de tierra.

56

El hidróxido de calcio (cal apagada), que se aplica en la superficie de pisos, muros y cubiertas de tierra, desarrolla dos tipos de efectos que resultan altamente benéficos para su conservación.

Por una parte, la cal que alcanza a penetrar en las capas de tierra, desarrolla una reacción química con las arcillas produciendo silicoaluminatos de calcio que son componentes muy resistentes (Carvalho, 1997). Pero además, el hidróxido de calcio en contacto con el aire toma del mismo el dióxido de carbono (carbonatación), transformándose en cristales de carbonato de calcio que también colabora en la protección superficial de las estructuras de tierra, gracias a su firmeza ante fuerzas mecánicas y su insolubilidad en agua. (Guerrero L, Correia M., Guillaud H., 2012, pg. 217)

Para mejorar el desempeño de los revoques de cal se los puede estabilizar a través del agregado de fibras (armazón) o del agregado de aditivos. También se mejora sus propiedades disminuyendo su espesor, aumentando los puntos de anclaje mecánicos en el muro, etc. (MÁRMOL Jesús A. 2004, p78)

El endurecimiento de estos revoques es lento lo que lo deja por algún tiempo sensible a las condiciones atmosféricas.

²⁹ Extraído de MINKE, G., 1994, p114.



Figura 76_ Cal viva.

Figura 77_ Mortero de cal apagada.

Figura 78_ Revoque de cal realizado en un paramento.

Ventajas de los Morteros de Cal

- Buena plasticidad y trabajabilidad (la cal, por su finura, envuelve la superficie entre los áridos, evitando rozamiento y mejorando el deslizamiento).
- Ausencia de retracción (por constancia de volumen bajo condiciones variables de humedad).
- Gran elasticidad (favorece adaptación deformaciones del soporte sin provocar agrietamiento).
- Permeabilidad apreciable al vapor de agua (los muros “respiran”). Evita condensaciones.
- No provoca eflorescencias debido a la ausencia de sales solubles.
- Buen aislamiento térmico y acústico.
- Realización de capas más finas consiguiendo unos resultados inalcanzables con otros materiales.
- Fáciles de colorear alcanzando gran riqueza en cromatismos y luminosidad del color.
- Garantizan el sellado y estucado.
- Buena resistencia a la penetración del agua de lluvia (en revestimientos verticales exteriores).
- Producto desinfectante y fungicida natural por la alcalinidad de la cal.
- Producto ignífugo que no emite gases tóxicos.

(MÁRMOL Jesús A. 2004, p58)

Cal

La cal es un conglomerante natural inorgánico y aéreo, se obtiene a través de un proceso de calcinación, rehidratación y secado de rocas calcáreas. Este fenómeno resulta sumamente interesante debido a los factores ecológicos que involucra. Si bien es cierto que al calcinar la piedra caliza se genera una acción contaminante para la atmósfera, si se valora la cal en todo su proceso de vida, la perspectiva como material sustentable se hace más evidente, ya que el dióxido de carbono que se desprende para su elaboración, se recupera paulatinamente de la atmósfera durante la carbonatación que genera su fraguado. (GUERRERO BACA, L.F., et al. 2010, p4)

La piedra caliza se compone de carbonato cálcico (Ca CO_3) e impurezas como arcillas, carbonato de magnesio, sílice, etc. Para que la cal sea de buena calidad y mantenga sus propiedades ligantes estas impurezas no deben de llegar al 5%.

Para cocer la piedra caliza es preciso someterla a una temperatura de 898°C ; en este proceso se libera anhídrido carbónico (CO_2) y se produce una considerable pérdida de peso y volumen. El producto obtenido tras el paso de la roca por el horno es el óxido de calcio (CaO), denominado comúnmente cal viva.

Para poder utilizar la cal viva en la fabricación de morteros es necesario someterla a un proceso de apagado con agua. Durante el apagado se produce una reacción exotérmica que desprende calor y que puede llegar a los 300°C . Tras el apagado se obtiene hidróxido cálcico (Ca (OH)_2) llamado comúnmente cal apagada o cal muerta. (MÁRMOL Jesús A. 2004, p40)

Se trata de un desarrollo de tipo cíclico que inicia con la transformación del mineral de origen sedimentario llamado carbonato de calcio (CaCO_3), el cual concluye con la generación del mismo material pero mediante un procedimiento

artificial, incorporado en los elementos construidos de formas y dimensiones deseadas, tales como los revoques de cal. (GUERRERO BACA, L.F., et al. 2010, p4)

Según la composición, fraguado y uso constructivo se pueden nombrar cuatro tipos de cales: cal viva, cal apagada o muerta, cal aérea y cal hidráulica.

Cal aérea para revoques

La cal aérea es producida por la calcinación de piedras calizas o dolomías, constituidas por óxido o hidróxido de calcio y/o magnesio (más pura que la cal hidráulica). Carecen de propiedades hidráulicas y no son susceptibles de endurecer bajo el agua. Por ser un conglomerante aéreo precisa de aire para su completo fraguado y endurecimiento.

Poseen menos resistencia a la compresión, menos impermeabilidad, menos fragilidad y menos velocidad de endurecimiento que las cales hidráulicas, y permiten la difusión del vapor. (MÁRMOL Jesús A. 2004, p55, 57)

La proporción de cal aérea utilizada varía según la dosificación requerida y el tipo de arena. Es interesante, sin embargo, conocer como referencia que la dosificación óptima de una mezcla en función del tipo de arena puede variar de 1:3 a 1:6 según la clase de arena. (MÁRMOL Jesús A. 2004, p78)

Cal hidráulica para revoques

La cal hidráulica es una mezcla de óxido de calcio más silicatos y aluminatos cálcicos (contiene más impurezas que la cal aérea).

La parte del óxido se comporta como cal aérea, el óxido de calcio pasa a hidróxido de calcio y tiene lugar una reacción de carbonatación con el aire. La parte de los silicatos y aluminatos reacciona cuando se mezcla con agua, dando lugar a silicatos y aluminatos cálcicos hidratados (reacción hidráulica análoga a los cementos). Por ser un conglomerante hidráulico puede fraguar y endurecer completamente al aire, y tan sólo parcialmente en inmersión.

58

Poseen más resistencia a la compresión, más impermeabilidad, más fragilidad y más velocidad de endurecimiento que las cales aéreas, pero también permite la difusión del vapor. (MÁRMOL Jesús A. 2004, p57)

El revoque de cal hidráulica comúnmente puede ser de proporciones 1:3 y 1:4. (MINKE, G., 1994, p120)

Composición granulométrica en revoques de cal

Este recubrimiento se debe aplicar en capas sucesivas con variaciones granulométricas de la arena y proporciones crecientes de cal, de modo que el primer estrato del aplanado contenga arena gruesa en una proporción aproximada de tres a uno con respecto a la cal y un espesor aproximado de tres centímetros.

Posteriormente se coloca una segunda capa utilizando arena medianamente tamizada, en una proporción aproximada de dos a uno con respecto a la cal y con espesores de no más de medio centímetro. Finalmente se coloca una delgada capa de mortero con arena finamente cribada, y en una proporción igual a la de la cal. (GUERRERO BACA, L.F., et al. 2010, p5)

Armazón para revoques de cal

En general, los revoques de cal no contienen fibras. Sin embargo, el añadido de fibras podría ser provechoso. Al añadir fibras a una mezcla, se aumenta la resistencia del revoque y se disminuye el riesgo de fisuras por encogimiento. Se puede así aumentar la dosificación en cal, haciendo el revoque más resistente, sin perjudicar las características de elasticidad y permeabilidad.

Se utilizan los mismos tipos de fibras que para un revoque de tierra. Se observa, a veces, en fórmulas de revoques tradicionales con cal, el uso de estiércol de vaca o de caballo. Este material ha sido utilizado, al parecer, tanto por las fibras que contiene como aglomerante, y por su efecto de endurecimiento sobre la cal aérea.

Agglomerantes, impermeabilizantes y tratamiento químico para revoques de cal

Existe una gran variedad de recetas de revoques a base de cal, con aditivos de toda clase. Se busca, a través de estos productos, mejorar ciertas características de la cal.

a) Caseína

El fraguado de la cal es muy lento (varios meses) y a menudo se lo tiene que acelerar, por ejemplo, si el revoque se realiza poco antes de la temporada de mal tiempo.

Como ya se explicó en el capítulo 1.4 *Estabilización de la tierra*; la cal y la caseína reaccionan químicamente para formar albuminato de calcio, un componente resistente a la abrasión y en especial al lavado. La adición de caseína reduce la absorción de agua del revoque de cal lo que colabora a disminuir la retracción de secado, pero a la misma vez disminuye la capacidad de difusión de vapor de agua del mismo.

Según lo estudiado por el FEB (Kassel, Alemania) la mezcla que demostró mejores resultados consiste en cuajada descremada, cal hidráulica y arena en una proporción 1:10:40. Primero la cal debe ser mezclada con la cuajada descremada formando una pasta cremosa sin adición de agua. Luego de dejar reposar la mezcla por un tiempo se deben añadir el agua y la arena. Si se quiere obtener una mezcla más líquida para ser aplicada con brocha la proporción debe ser 1:6:25. En climas cálidos se puede añadir algo de sal de cocina para mantener el revoque húmedo durante un lapso mayor y así optimizar el curado.

b) Sal o alumbre

Para optimizar el curado se suele adicionar a las mezclas de cal sal de cocina o alumbre, estos minerales funcionan manteniendo el revoque húmedo por más tiempo enlenteciendo el secado. Esta técnica se implementa sobre todo en climas cálidos.

c) Puzolana o polvo de ladrillo

Al agregar puzolana o polvo de ladrillos a un mortero de cal, se produce una reacción puzolánica, que da al mortero propiedades hidráulicas. El mortero se vuelve resistente al agua, sin por ello volverse demasiado rígido como el mortero de cemento. Si se utiliza polvo de ladrillos se tiene que respetar ciertas reglas, tales como:

- Escoger ladrillos poco cocidos: 600° C es el óptimo.
- Moler los ladrillos hasta obtener un polvo lo más fino posible.
- Mezclar cal aérea + polvo de ladrillos (1:2)

c) Aceites

La adición de aceites vegetales en las mezclas se utiliza para aumentar la impermeabilidad. El más común es el aceite de linaza doblemente cocido, pero este disminuye mucho la capacidad de difusión de vapor de agua del revoque, por lo que es importante respetar las proporciones empleadas.

d) Productos orgánicos

Tradicionalmente se han empleado variados productos orgánicos para mejorar la impermeabilidad de los revoques de cal. Por ejemplo sangre, clara de huevo o jabón, que mejoran al mismo tiempo la trabajabilidad del material y permiten lograr un acabado muy liso, como en el caso de la técnica del *"tadelakt"* (revestimiento de Marruecos).

e) Cemento

Si se quiere impermeabilizar o acelerar el fraguado de las superficies muy expuestas a la intemperie, se puede agregar un poco de cemento al mortero de cal (cuidando de agregar solamente la cantidad de cemento estrictamente necesaria). Por ejemplo y como máximo: 1 kg de cemento por 20 litros de mortero de cal y arena.

La adherencia y la resistencia mecánica serán más elevada, los tiempos de fraguado más cortos y disminuirán las eflorescencias cuanto mayor sea el contenido de cemento; pero serán menos plásticos y menos permeables al vapor de agua, con mayor posibilidad de fisuración por retracción. (MÁRMOL Jesús A. 2004, p78, 79 y 58)

Cal	Cal Trass	Arena	Cuajada descremada	Aceite de linaza	Barro arcilloso	Estiércol	Valor μ
1	-	3	-	-	-	-	11,2
-	1	3	-	-	-	-	10,8
1	-	6	0,5	-	-	-	6,2
1	-	15	0,5	-	3	-	9,7
1	-	3	-	0,05	-	-	15,2
1	-	3	0,25	0,05	-	-	28,5
1,5	-	10	-	-	2	6	8

Figura 79_ Valores del coeficiente de resistencia de difusión de vapor (μ) de diferentes revoques de cal. Los valores están expresados en volumen.³⁰

Preparación de la superficie para revoque de cal

Las superficies lisas y secas deben ser tratadas como el resto de los revoques (mojado y escarificado), una vez realizado esto o si la superficie ya se encontraba húmeda, se las debe imprimir con una fina capa de lechada de cal (Ver 3.2 Pinturas) que penetre la superficie algunos milímetros. Si el revoque de cal se expone a cargas térmicas severas o si la superficie a revocar es muy grande o si la adherencia es débil entonces se requieren de mallas metálicas (acero galvanizado con tejido hexagonal, malla de fibra de vidrio, o similares), esteras de cañas fijadas a la superficie para aplicar el revoque. Si se utilizan esteras de cañas es recomendable embeberlas en una lechada de cal para prevenir la putrefacción. (MINKE, G., 1994, p120)

Aplicación y ejecución del revoque de cal

Luego de que se hay aplicado la lechada o imprimación de cal, se aplica el revoque de cal en dos capas hasta que el espesor total alcance un máximo de 20mm. En la primera capa se puede añadir un poco de cemento para acelerar el curado. La segunda capa se debe aplicar mientras la anterior está ligeramente húmeda. Cuando aparecen las fisuras de retracción estas se pueden humedecer con una brocha embebida en la lechada de cal y luego se sellan frotando con un badilejo. Se debe tomar en cuenta que los revoques de cal fraguan solo en contacto con el dióxido de carbono del aire y este proceso solo es posible en presencia de suficiente humedad. (MINKE, G., 1994, p120)

Estos revoques han de ser aplicados en las épocas del año más frías y húmedas, pero hay que tomar en cuenta que un exceso de humedad relativa del aire (es decir, arriba del 80 %) resulta contraproducente. Con temperaturas superiores a los 30°C se aceleran los procesos de fraguado y con menores a los 7°C se retrasan, y aunque, si bien es cierto que entre más lento sea el secado de las mezclas, la resistencia final será mucho mayor; cuando se llegan a presentar heladas es necesario suspender los trabajos. (GUERRERO BACA, L.F., et al. 2010, p5)

Asimismo deben estar protegidos del asoleamiento directo y el viento, y/o mantenerse húmedas con una tela húmeda u otro. Los revoques interiores se pueden aplicar en una sola capa. (MINKE, G., 1994, p120)

Revoque de yeso

Los revoques de yeso son utilizados en menor proporción ya que presentan menos durabilidad y poca resistencia mecánica. Se los emplea principalmente en interiores y en cielorraso. También llamados enlucidos de yeso se realizan con ellos decoraciones en bajo relieve.

El yeso con adición de cal se emplea en revestimientos y para la fabricación de molduras, elementos decorativos de techos, etc. Se lo debe aplicar sobre una capa de revoque de cal, ya que si se lo aplica directamente sobre la base de tierra fisurará.

³⁰ Extraído de MINKE, G., 1994, p122.



Figuras 80, 81 y 82_ Diferentes tipos de revoques o enlucidos de yeso.

Cal y Yeso

La adición de cal en este tipo de revoque posee varias virtudes:

- Mejora la trabajabilidad, adherencia y la resistencia mecánica a la intemperie.
- Le da un pH básico (> 7), se evita el riesgo de la posible corrosión de los metales, en presencia de humedad.
- Se disminuye el desarrollo bacteriológico, el de enmohecimiento por hongos y la aparición de manchas.

La dosificación recomendada es: 39% de yeso de construcción, 7% cal hidratada, 29% arena y 25% de agua.

Revoques de cemento

Los revoques de cemento no son los más adecuados para utilizar en las construcciones en base a tierra dada la excesiva diferencia de rigidez con el alma de los muros, a su vez no resisten cargas térmicas e higrométricas por lo que origina la aparición de fisuras y el desprendimiento de los mismos. Su excesiva impermeabilidad no permite el secado del interior cuando se humedece a través de las fisuras del propio mortero, perjudicando la integridad de los elementos constitutivo de la edificación. Esto se ha verificado en numerosos edificios históricos intervenidos con revoques de cemento, dónde las consecuencias han sido devastadoras por agudizar el proceso de deterioro de toda la construcción.

3.1.4 Tratamientos superficiales y diseño decorativo

Fieltros y esponjas

Para alisar la superficie del revoque se pueden usar esponjas húmedas o lanas con un revestimiento de fieltro húmedo. Los pequeños huecos y grietas se cierran con movimientos circulares y una suave presión si la superficie ya está húmeda o con mucha presión en estado casi seco.

Con un “lavado” de la superficie con esponja húmeda en un estado seco o casi seco se vuelven visibles los estabilizantes por armazón incorporados en la mezcla. Para este proceso es necesario lavar la esponja muchas veces con agua limpia.



Figuras 83, 84 y 85_ Diferentes tratamientos con fieltro y esponja.

Alisado y brillo

62

Para evitar irregularidades se trata a la superficie en estado fresco con una lana de madera con movimientos circulares, dejando una superficie plana y semi-rugosa en la que se aprecian las partículas de arena. Esto se puede hacer con una piedra, espátula, palustre plástico o cepillos suaves cuando la superficie se ha comenzado a secar, no es recomendable el palustre metálico por que oscurece la terminación.

Mediante la presión, las partículas más gruesas van hacia adentro y las más finas quedan en la superficie; de esta manera se cierran también grietas finas y poros, alcanzando una superficie brillante.



Figura 86_ Alisado realizado con palustre plástico.

Figura 87_ Abrillado realizado con piedra de pulido Marroquí, especial para la técnica del “tadelakt” por sus cantos redondeados y dureza.

Figura 88_ Lana tipo japonesa de madera.

Modelado en estado húmedo

En el caso de los revoques de tierra, es posible modelarlos con las manos, ya que el mismo permanece en estado plástico por un lapso largo de tiempo y, a diferencia de otros revoques, como los hechos en base a cal o cemento, no es dañino para la piel.



Figuras 89, 90 y 91_ Diferentes revoques modelados en estado húmedo

Revoque lanzado o proyectado

El revoque lanzado es una técnica africana que consiste en lanzar bolas de barro sobre una pared. Es necesario adicionar clavos de madera o bambú para asegurar el agarre del mismo.

El revoque proyectado se realiza con maquinaria específica la cual utiliza un compresor de aire. Se utiliza generalmente para generar un revoque monocapa o para técnicas constructivas tales como muros de fardo de paja o paja compactada o alivianada, bahereque o fajina, tierra ensacada conocida como "superadobe". Asimismo se han desarrollado técnicas en las que se aditiva al revoque logrando una mezcla alivianada que incrementa el aislamiento térmico de muros. Por ejemplo con aserrín seco o papel periódico desmenuzado. (MINKE, G., 1994, p97 y p107)



Figura 92_ Revoque lanzado.

Figura 93_ Revoque proyectado sobre tierra ensacada o "superadobe".

Figura 94_ Revoque proyectado sobre fardos de paja.

Sgraffito o esgrafiado

Es una técnica practicada en Italia desde el siglo XV en revoques de cal, pero también se la puede emplear en revoques de tierra. Se puede trabajar tanto con el color como con el volumen. Se requiere de al menos dos capas de terminación, pudiendo ser más capas, que pueden ser monocromas o de colores diversos para jugar con el contraste de color o con la sutileza de los análogos. El trabajo consiste en incidir sobre la última capa para ir dejando ver la o las capas anteriores. También se puede resaltar la textura que se genera al incidir sobre las capas puliendo partes de la capa superior.

Las incisiones se pueden trabajar directamente o ayudarse de plantillas para realizar motivos geométricos o cenefas.



Figura 95_ Técnica del sgraffito en Chios, Grecia.

Figuras 96 y 97_ Técnica del sgraffito o esgrafiado en tierra.

Incorporación de elementos

En la superficie húmeda se puede incorporar conchas, piedras, vegetales, granulados de vidrio, etc. Los mismos pueden dejarse insertos en el revoque o utilizarse para imprimir un relieve hundido.

64



Figura 98_ Revoque en el que se impregnaron granos de café.

Figura 99_ Revoque impreso con vegetales, formando un relieve hundido.

3.2 Pinturas

Las pinturas sirven para consolidar las superficies dejando a la vista la apariencia de los elementos constitutivos de la arquitectura de tierra, de los revoques o de los forros, de esta manera se consigue una protección adicional, impermeabilización, endurecimiento y/o mayor resistencia frente a la erosión y abrasión. Esto se logra con el tratamiento superficial del muro a posteriori del revoque o forro. Pueden estar confeccionadas con productos naturales o sintéticos, de aspecto más o menos transparente, como también darle color a las superficies.

Es importante tener en cuenta que las pinturas pueden ser erosionadas físicamente por el viento, el congelamiento o la lluvia, o químicamente por la radiación ultravioleta y la lluvia ácida, por lo que debe tenerse en cuenta éstos factores para la elección y mantenimiento de las mismas.



Figura 100_ Mural realizado con pintura de tierra del artista Yusuke Asai, Japón.

Figura 101_ Pintura al huevo (temple).

Figura 102_ Fachada pintada a la cal.

3.2.1 Requerimientos

Los aspectos a tener en cuenta para el buen rendimiento de los acabados del tipo pinturas en la arquitectura de tierra son:

a) Hidrófobo

Las pinturas que se aplican sobre superficies exteriores, comúnmente, deben ser hidrófobas (repelentes al agua). En el caso de pinturas aplicadas en superficies interiores y sin requerimientos de impermeabilidad estas pueden ser completamente permeables.

b) Difusión de vapor

Las pinturas que se aplican sobre superficies exteriores, además ser hidrófobas, deben ser porosas, con una red continua de micro-poros, con el objetivo de permitir la difusión del vapor de agua hacia el exterior (especialmente en climas fríos).³¹

c) Tratamiento periódico

Deben permitir la admisión de tratamientos periódicos, especialmente en aquellas que se aplican sobre superficies exteriores.

³¹ Las propiedades de la difusión de vapor de las pinturas disponibles en el mercado, no suelen mencionarse en las *indicaciones del producto*, por lo que es muy importante asesorarse o realizar pruebas antes de aplicar cualquier pintura. (MINKE, G., 1994, p117).

3.2.2 Ejecución

Antes de la aplicación de cualquier pintura es necesario realizar pruebas para asegurarse que es adecuada para el soporte dónde se aplica y la función deseada.

Preparación de las pinturas

Cada tipo de pintura tiene variaciones en su preparación, dependiendo de los compuestos y del tipo de uso que se le quiera dar. En el caso de utilizar pinturas comercializadas en el mercado se deben respetar las especificaciones del fabricante.

Preparación del sustrato

Si la superficie de tierra contiene mucho limo de deben emplear pinturas a base de cal, la superficie debe ser imprimada con una lechada fina de cal y posteriormente frotada.

Aplicación de las pinturas

La aplicación de las pinturas puede ser en forma de impregnación (aplicado con rodillo o mediante pulverización) o lechada (mediante brocha o rodillo).



Figura 103_ Diversas tierras y pigmentos naturales
Figuras 104 y 105_ Preparación de las pinturas

3.2.3 Tipos de Pinturas

A continuación se listan variadas pinturas para aplicar sobre los elementos constitutivos de la arquitectura de tierra o sobre el acabado del tipo revoque. No se nombrarán a las pinturas posibles de aplicar sobre los revestimientos del tipo forro, ya que no se profundiza en ello en la bibliografía específica de arquitectura de tierra.

Pintura de arcilla

Un ligero tono a la superficie se logra con veladuras de tierra, o sea con una capa de barro líquido (barbotina) con alto contenido de arcilla bien diluido en agua. Se le suele agregar aceite de linaza y engrudo (*Ver Engrudos*). Se puede utilizar óxido de hierro para obtener colores. A esta pintura se le pueden también aplicar aditivos para que mejore su comportamiento ante la exposición del agua. En caso de que la pintura a base de arcilla sea espesa conviene agregarle arena fina tamizada, polvo de mármol o ceniza para que no fisure. (ARESTA REBELO, M. 2014, p173)



Figuras 106, 107 y 108 _ Taller "Pinturas naturales en base a tierra de colores" Arq. Fernando de Paula Cardoso, Brasil.

Encalado, lechada o pintura de cal

La pintura o lechada de cal es una de las soluciones que ha caracterizado la imagen de la arquitectura popular en numerosas partes del mundo. Las bondades de los encalados y su compatibilidad con los muros de tierra han sido sobradamente tratadas por la bibliografía sobre arquitectura popular. Aplicados sobre cualquier soporte, a veces como acabado de una primera capa de revoque con mortero de otro material y a veces aplicados sobre la superficie irregular del propio muro, proporcionan un ligero velo que enfatiza las propias irregularidades y rugosidades del mismo, creando un juego de luces y sombras donde no caben las superficies planas ni lisas.

Las combinaciones más habituales son cal con bórax y/o caseína. (CASTILLA F. J. 2011. p147).

Lechada de cal pura

La lechada de cal debe ser muy fina para que pueda penetrar profundamente en la superficie, para que cuando seque no reviente. Por ello se recomienda aplicar tres o cuatro capas siendo la primera la más líquida y las sucesivas con menos agua. La mezcla se puede hacer con 50 kg de cal hidráulica disuelta en 60 lt de agua. Es generalmente preferible agregarle 1 a 2 kg de sal de cocina, ya que al ser higroscópica prolonga el tiempo en el que la mezcla se mantiene húmeda, asegurando un mejor curado de la cal. Debido a que la lechada de cal pura es blanca la secase, para obtener un color distinto se puede agregar arcilla o polvos de tierra u otros pigmentos de tierra resistentes a la cal. La lechada de cal pura no es resistente al efecto de la limpieza. (MINKE, G., 1994, p115)

Lechada de cal para imprimación

Se realiza con cal hidráulica, cuajada descremada y agua en proporciones 2:1:15.

Otras lechadas estabilizadas con cal

La cal se puede mezclar con orina. Weiss (1963) encontró que utilizando arcilla caolinítica se puede incrementar la resistencia así como añadiendo urea y acetato de amonio. Esta práctica fue muy común en la antigua china donde se producían piezas de porcelana extremadamente delgadas añadiendo orina en estado de putrefacción a la mezcla.

De acuerdo a Jain et al. (1978) la adición de 70g de cola animal disuelta en 0.5 lt de agua hirviendo y mezclada con 1kg de cal hidráulica resulto ser adecuada.

Un ejemplo realizado en India, Auroville, para el recubrimiento de cúpulas de tierra fue: la mezcla de 60 claras de huevo con 2 lt de suero de mantequilla y 5 lt de licor de palma batido, se mezcló todo esto con 40 lt de cal de conchas y 4 lt de cemento. (MINKE, G., 1994, p117)

Pintura de sebo-cal

Para realizar un acabado exterior espeso, pastoso e impermeable al agua se realiza la siguiente mezcla: 15kg de cal viva en polvo junto con 6 kg de sebo (sebo derretido) se vierten en 36 lt de agua. Esta mezcla se revuelve cuidadosamente. Luego de añadir 6 kg de sal de cocina y revolver cuidadosamente esta mezcla debe reposar durante 24 horas en un ambiente no muy frio. La capa de agua que se forma en la superficie de la mezcla se descarta.

La mezcla pastosa restante se mezcla posteriormente con 3 kg de arena fina de cuarzo y se aplica a la pared con una brocha en capas de 3 a 5 mm de espesor. Esta pintura requiere muchas semanas de curado. (MINKE, G., 1994, p117)

Jabelga

Es una mezcla de cal, polvo de mármol (marmolina) y agua, muy similar al estuco pero a diferencia de este, la consistencia de aplicación no es la de un mortero o pasta sino la de una pintura, por lo que la proporción de agua es mucho mayor y la de marmolina algo menor. Además, puede aditivarse con pigmentos o tintes (óxidos minerales y demás) para darle color. Se emplea como acabado final de paramentos de todo tipo, muy recomendable para los que empleen cales. Especialmente en exteriores.

68

Cal y sustancias vegetales

Las siguientes sustancias vegetales añadidas a la cal incrementan la resistencia a los factores climáticos y a la limpieza (MINKE, G., 1994, p117):

- Cola de harina de centeno (engrudo): harina de centeno cocida en agua con adición de sulfato de zinc.
- Savia de cactus Opuntia
- Savia de Euphorbia láctea
- Savia o aceite de Agave
- Aceite de Kapok
- Aceite de linaza natural o doblemente cocido
- Jugo de hojas de plátano cocidas

Lechada de cal-caseína-otros

Las lechadas de cal son más resistentes a efectos de la limpieza y son más durables si se les añade suero, cuajada descremada o polvo de caseína. La cal combinada con la caseína forma un agente químico impermeable al agua denominado albuminato de calcio. En las lechadas tradicionales se emplea el suero o leche descremada en vez de la cuajada. Aceite de linaza doblemente cocido en pequeñas cantidades (no más de 4% de la cantidad de la cuajada) incrementan la resistencia, pero hacen que la lechada sea menos trabajable. Esta debe ser muy bien mezclada y debe revolverse algunas veces cada cinco o diez minutos para obtener una emulsión.

Una pintura más fuerte y resistente a la limpieza se obtiene mezclando cal hidráulica, cuajada descremada y tierra en proporciones 1:5:5.

En baños y cocinas donde se requiere una mayor resistencia a la limpieza en seco y húmedo se recomienda el siguiente procedimiento: 1 parte de cal hidráulica y 5 partes de cuajada descremada, mezcladas sin agua durante dos minutos utilizando una mezcladora eléctrica. Esta mezcla puede dejarse reposar por un tiempo y luego se le debe

añadir 20 partes de cal hidráulica, 2 a 4% de aceite de linaza doblemente cocido y agua. Dos capas de esta mezcla son suficientes para obtener resistencia a la limpieza. Partes de la cal se pueden sustituir por pigmentos de tierra. Para una pintura transparente se mezcla 1 parte de cal con 8 hasta 10 partes de cuajada descremada. (MINKE, G., 1994, p115)

Pintura incolora de caseína

Con el objetivo de mantener el color de la superficie de tierra y a la misma vez incrementar su resistencia a la limpieza, se puede utilizar una pintura con las siguientes características: 1 parte de cuajada descremada con 1.8 a 2 partes de agua y 1/8 a 1/9 partes de polvo de cal hidráulica. Mediante la aplicación de esta pintura se obtiene una superficie incolora ligeramente lechosa, con un brillo suave sedoso causado por su estructura fina cristalina. (MINKE, G., 1994, p116)

Lechada de caseína

Para evitar el desprendimiento de las partículas de una superficie revocada en tierra, se puede aplicar varias capas de caseína mediante la aspersión en forma de lechada, diluyéndola en agua. Se la puede obtener en su forma natural aplicando leche en polvo, queso fresco o yogurt natural. (ARESTA REBELO, M. 2014, p173).

Lechada bórax-caseína

El bórax se puede utilizar en vez de cal hidráulica. Este reacciona químicamente con la caseína de una forma similar a la cal. Con un contenido alto de bórax se forman cristales que se pueden observar en la lechada. A diferencia de la cal, el bórax no da como resultado un color blanco, los cuál es preferible si se desean colores oscuros. Se añade polvo de yeso con el objetivo de espesar la pintura y aclarar el color.

Una pequeña adición de polvo de arcilla hace la pintura más trabajable. Si se emplea polvo de caseína en vez de cuajada descremada, debe dejarse reposar este polvo bajo agua por tres horas para que se expanda. Posteriormente se disuelven el bórax en el agua caliente y se añaden a la lechada de caseína. Esta mezcla se rebaja con agua. (MINKE, G., 1994, p116)

Emulsión asfáltica

Las emulsiones asfálticas o bituminosas ofrecen una buena protección para superficies exteriores, que deben resistir las inclemencias del clima. La aplicación se realiza sobre la superficie de tierra seca con una brocha, posteriormente se aplica otra capa. La terminación es de color negro y gomosa por lo que se recomienda protegerla con una capa fina de cal (preparada con cola animal y cal hidráulica disuelta en agua).

Aceites vegetales

Los aceites que se suelen utilizar son: aceite de agave, de cactus, de palma, de kapok, de linaza natural o doblemente cocido y de girasol. Pueden aplicarse puro o añadido a las pinturas de arcilla. En el caso de aplicarlo puro, conserva la textura del revoque aunque oscurece el tono. Aplicado en distintas capas, conviene tener cuidado ya que tapa los poros impidiendo la difusión de vapor de agua. Estos aceites resultan muy impermeables, con lo cual su aplicación en puro debe ser restringida a lugares muy castigados por el agua. (ARESTA REBELO, M. 2014, p173)

Pintura al temple de huevo

El temple de huevo es una técnica que ofrece buenos resultados en cuanto a pureza del color y durabilidad en el tiempo, ha sido muy empleado para murales, tablas, pergaminos y papeles, como en la arquitectura de tierra.

El huevo es una emulsión natural que contiene básicamente agua y grasas, esta emulsión polimeriza (reacciona con el aire) y se convierte en una película sólida, transparente y no soluble en agua.

En la aplicación sobre sustrato de tierra es común realizarla con huevo, aceite de linaza doble cocido y pigmentos minerales.

Engrudos

Se aplican sobre revoques de tierra que presentan desprendimiento de las partículas, ya que aumenta la resistencia a la abrasión del mismo. Se pueden hacer de harina de centeno o de trigo (no harina integral), se mezcla 1 parte de la harina molida con 2 partes de agua fría y se revuelve bien hasta que no aparezcan grumos. Esta preparación se cocina en 6 partes de agua hirviendo, batiendo constantemente, hasta que densifique y quede translúcida. Luego se pasa por un tamiz para obtener una masa sin grumos que se rebaja fuertemente con agua para su aplicación. (MINKE, G., 2013, p24)

Mucilago

Como ya se ha dicho el mucilago son savias vegetales, por ejemplo de cactus de la familia *Opuntia ficus indica*, de *Euphorbia láctea o herea*, de agave, etc. Estas savias son incorporadas en mayor proporción en la lechada final, a la vez que oficia de pintura, ayuda a la unión de las últimas capas de revoque.

La simple aspersión superficial de manera periódica de mucilagos disueltos en agua, ayuda a mantener estable la consistencia de las superficies de tierra y a mitigar el ingreso del agua de lluvia, sin llegar a una impermeabilización total. A su vez reducen la aparición de bacterias.

Jugo de caña de azúcar

Se ha utilizado como consolidante de adobe en la restauración del conjunto arqueológico de Teotihuacán en México, la mezcla consta de jugo de caña de azúcar, jugos de plantas y semillas hervidas en agua, aplicado por impregnación superficial.

Pintura de cola de celulosa

Se emplea a menudo cola de celulosa mezclada con polvo de yeso. No es muy resistente a los factores climáticos ni tolera bien la limpieza esporádica. Por lo que se la suele utilizar muy poco y en superficies interiores, además es de muy bajo costo.

Metilcelulosa

Se utiliza como aditivo en las pinturas de arcilla para volverlas más manejable y con mayor resistencia a la abrasión. También, para evitar el desprendimiento de las partículas de una superficie revocada en tierra, se puede aplicar metilcelulosa mediante la aspersión en forma de lechada, diluyéndolo en agua.

Soluciones con aditivos hidrófobos

Los aditivos hidrófobos se disuelven en alcoholes orgánicos, en hidrocarburos o en agua. Se pueden distinguir los siguientes grupos de aditivos hidrófobos: Silane y siloxane, Polisiloxanes (resinas de siliconas), Siliconatos, Resinas acrílicas, Ester de silicatos con aditivos hidrófobos, Siliatos con aditivos hidrófobos.

El silane, los silixanes y las resinas de silicona reaccionan químicamente con sustancias minerales en la tierra y son muy resistentes a los factores climáticos. Estas reducen la absorción de agua por más de 90%. La difusión de vapor disminuye solo en 5 a 8%.

Los ester de silicato y resinas acrílicas muestran un buen efecto hidrófobo pero reducen la difusión de vapor en un 15 a 30%.

Es importante realizar ensayos ya que los diferentes aditivos hidrófobos que se encuentran en el mercado, generan reacciones dispares según la mezcla del soporte terreo donde se lo aplique.

Los aditivos hidrófobos se aplican como mínimo dos veces en la llamada técnica de "inundación", donde la solución se aplica con rodillos de manera tal que el líquido se escurra y salga hacia afuera cuando el rodillo se pasa por la superficie. La segunda inundación se debe hacer antes de que la primera seque. El sustrato debe estar seco, y la temperatura del mismo debe estar entre 8 y 25 °C antes de aplicar la solución. Solamente silanes y siloxanes requieren de una base algo húmeda. Normalmente esta aplicación debe repetirse después de algunos años debido a los efectos deteriorantes. (MINKE, G., 1994, p118)

Emulsión de resina acrílica

En un estudio realizado en Mesa Verde (parque nacional de los Estados Unidos), se aplicaron diferentes emulsiones de resinas acrílicas, a modo de consolidantes, sobre cinco tipos de revocos utilizados tradicionalmente para el revestimiento de arquitectura de tierra: tierra, cal, yeso, cal/ tierra y cal/yeso. Los resultados fueron variados, a continuación se listan las diferentes resinas acrílicas utilizadas y algunos de sus desempeños.

- *Acryloid B-67*, fabricado por Rohm & Hass. Es una resina/emulsión acrílica de metacrilato de isobutilo. Se aplica diluido en dietilo de benceno (al 5%) para permitir una completa impregnación. Aunque posee algunas desventajas como poca penetración y cambios de color y brillo en la superficie del revestimiento. El mismo produjo una reducción intensa de absorción, pero también produjo fisuración
- *Conservare OH- Stone strengthener*, fabricado por ProSoCo. Está compuesto por silicato de etilo, metiletilcetona y acetona. Fue el que más disminuyó la difusividad de vapor.

En la mayoría de los casos el tratamiento mejoró el comportamiento de los revocos. De las combinaciones realizadas entre los cinco revocos mencionados y los consolidantes aplicados a los mismos, el sistema soporte-revestimiento que demostró mayor compatibilidad (a pesar de su baja resistencia a la erosión hídrica), sin aplicar consolidantes, fue el de revoco de tierra y el peor el de cal/ yeso. Los ensayos se realizaron aplicando revestimientos de unos 3 mm de espesor. (CASTILLA F. J. 2011. p146).

Otra resina acrílica es *Conimacril RDD*, fabricado por Quimivisa, es un sistema monocomponente incoloro a base de copolímeros acrílicos sintéticos en disolvente. Una vez aplicado y seco el producto permite la difusión de vapor en los diversos materiales aplicados y actúa secundariamente como impermeabilizante. (Ejemplo: Aula de Naturaleza en Pozuelo de Alarcón, Madrid)

Resina de vinilo

Se puede utilizar sobre revoco de barro sobre fábrica de adobe, En solución de alcohol. (Ejemplo: *Durcisseur de Mur POUTPRE*, en casa rural de Villalón de Campos, Valladolid).

Silicato de potasio

Sirve para mejorar la respuesta a la acción del agua y a la erosión mecánica en los revocos interiores. Para aplicarlo se lo diluye con agua y tierra. (Ejemplo: *Escuela Infantil de Bressol*, Gerona)

Silicato de etilo

Es un compuesto en parte orgánico, pero tras el curado la sustancia depositada es completamente inorgánica. El producto reacciona generando fuertes enlaces químicos entre las partículas de arcilla, evitando la separación de las láminas de arcilla en presencia de agua. Se produce un aumento de la resistencia a la erosión del agua, sin ser hidrófugo y permitiendo el paso del vapor por microporos. Por otro lado, su aplicación es irreversible y no funciona bien sobre superficies húmedas. Como ventajas se debe mencionar la capacidad de transpiración del muro (mantiene la permeabilidad a la vez que repele el agua) y su capacidad de impregnación sin formar una película. El tratamiento se tiene que repetir periódicamente ya que las lluvias torrenciales dañan los revestimientos en las zonas más expuestas, a pesar del tratamiento. (Ejemplo: *Ethyl Silicate 40; silester ZLS*, diluido en alcohol etílico) (CASTILLA F. J. 2011. p146).

Funguicidas

Podemos citar aquí la pintura *Sika Guard 710*, un producto líquido, monocomponente, base silano-siloxano, tratado con fungicidas. Se utiliza para conseguir sobre las fachadas un efecto hidrofugante, alguicida y fungicida. Protege a los materiales de la penetración del agua y del crecimiento de microorganismos, (Ejemplo: Piscina climatizada de Toro, Zamora. Antonio Raya de Blas. Arquitecto, autor del proyecto).

Pigmentos y tintes

La distinción entre pigmento y tinte reside en que el primero es insoluble en el vehículo (formando una suspensión), y el segundo o es un líquido, o es soluble en el vehículo (resultando en una solución).

Para dar coloración las pinturas se pueden utilizar pigmentos o tinte en forma mineral o vegetal, los cuales necesitan un aglutinante por no poseer adherencia propia.

Los de origen mineral pueden ser el añil que se lo conoce como “azul de ropa” o “azul de Panamá”, el polvo de ladrillo o el hollín de humo, los óxidos metálicos que en la actualidad se comercializan como “tierras” o “colores” para cemento. Algunas de las gamas de pigmentos provenientes de los óxidos metálicos son:

- Óxido de cromo (color verde)
- Óxido de cobalto (color azul)
- Óxidos de hierro (colores de amarillo a negro, pasando por ocre, siena, cuero, mangra y marrón)

Los de origen vegetal son tintes propios de cada región, según las plantas existentes.



3.3 Forros

Se los utiliza para proteger y dar una estética particular a la edificación o para responder a necesidades precisas del local en el que se encuentran. Pueden emplearse tanto al interior o al exterior de la edificación.

Los materiales empleados pueden ser materiales utilizados para el techado tales como; tejas, pizarra, tablillas, etc.; o mampuestos, ladrillos cocidos y/o vidriados, azulejos, piedra, chillas, tablas de madera, tablazones, paneles, ripias, hojas de aluminio o de plástico, como también materiales reciclados como neumáticos cortados, planchas de offset, etc.

Los forros realizados con una estructura auxiliar se encuentran comúnmente separados por una cámara de aire, la cual asegura que el agua condensada interiormente sobre la superficie del mismo, no entre en contacto con el alma de tierra. Asimismo estos métodos son especialmente útiles si se requiere aplicar desde el exterior un aislamiento térmico adicional (MINKE, G., 1994, p122)

El forro es tradicional en las técnicas mixtas de construcción con tierra, es decir; muros de entramado (u osamenta) y relleno de tierra, donde los elementos del entramado suelen servir de sujeción al revestimiento exterior, sobre todo en fachadas muy expuestas a los agentes climáticos. Es frecuente encontrar soluciones basadas en esta técnica en países como Alemania, Suiza o Austria.



Figura 112_ Ripias de neumáticos reciclados.

Figura 113_ Ripias de madera.

Figura 114_ Ripias de planchas de offset recicladas.

3.3.1 Requerimientos

Los aspectos a tener en cuenta para el buen rendimiento de los revestimientos del tipo forro son:

a) Flexibilidad

Los forros deben ser lo suficientemente flexibles para acompañar, sin quebrarse, a las variaciones de dimensión de la estructura auxiliar. Se escogerá por ello materiales flexibles por su propia naturaleza (madera, metal, plástico, etc.) o se los fraccionará en pequeños elementos.

b) Porosidad o ventilación

Los forros no deben provocar condensación de vapor de agua en su cara interna. Se pueden utilizar materiales porosos o sino, dejar la separación necesaria para una ventilación natural entre el forro y el muro. Es necesario señalar que no todos los materiales convencionales para forro cumplen con estos dos requisitos. Por ejemplo un revoque de cemento sobre metal desplegado, que no permite la migración del vapor de agua a través del muro, puede provocar fenómenos de condensación sobre la cara interna del forro, que sin revelarse al exterior, van a aumentar la tasa de humedad del muro y favorecer al desarrollo de podredumbres en la madera de la estructura y en las fibras del relleno.

c) Resistencia

Las piezas y materiales utilizados deben soportar esfuerzos de corte producidos por el peso propio, si estas se amarran directamente en el componente constitutivo (muro o cubierta). La estructura auxiliar debe soportar al peso propio y del forro empleado. Asimismo los amarres y anclajes deben resistir bien a estas sollicitaciones.

3.3.2 Ejecución

La ejecución varía según el tipo de forro a utilizar, en el caso de técnicas similares a la construcción en madera el procedimiento es el mismo.

Para cortar y dar forma a alguno de los materiales empleados, tales como el reciclado de neumáticos, es necesario construir equipos especiales, por ejemplo los desarrollados por el FEB (Kassel, Alemania).

3.3.3 Tipos de Forros

Entablado o ripias de madera

Se desempeñan igual que los empleados en las construcciones tradicionales de madera. Es conveniente que posean una cámara de aire, para separarlos del contacto directo con la tierra, de los componentes fundamentales.

Azulejos

Son utilizados en cocinas, baños, galerías, y zócalos. Por el peso de las piezas y por la necesidad de una junta impermeable se debe usar cal o cemento en las mezclas de toma, necesitando por ello un elemento de unión con la pared de tierra, tal como malla u otro.

Estucado sobre metal desplegado

Los estucos sobre metal desplegado clavado a la estructura también pueden clasificarse como forro. Diferentes materiales se adaptan muy bien para desempeñar el papel de forro si cumplen con los requisitos de flexibilidad y porosidad.

Empapelados

Desde la época colonial se ha utilizado empapelados, actualmente se siguen utilizando y existen los que datan de esa época en un buen grado de conservación, esto se debe a la protección de humedades internas del muro y del aire, no permitiéndose condensaciones sobre los mismos.



Figura 115_ Alma del muro a revestir. Vivienda experimental. Punta Rubia (Uruguay). Arquitecto: Javier Márquez. 2006

Figura 116_ Revestimiento tipo forro. Vivienda experimental. Punta Rubia (Uruguay). Arquitecto: Javier Márquez. 2006

Figura 117_ Modelo de vivienda social. Construido en ocasión del Bioconstruyendo. Región del Bio-Bio Chile.2013

En la bibliografía investigada no se ha hallado mayor información que la anteriormente citada, posiblemente porque suele ser un tipo de revestimiento que se aplica a las construcciones “convencionales”, por lo que para profundizar en ellos es necesario hacerlo paralelamente al estudio de la arquitectura de tierra.

3.4 Otros

Jabones metálicos y estearatos

Se utilizan como hidrófugos o impermeabilizantes. Posee propiedades lubricantes y fina granulometría. Son escasamente soluble en agua, y soluble en caliente y en aceites vegetales.

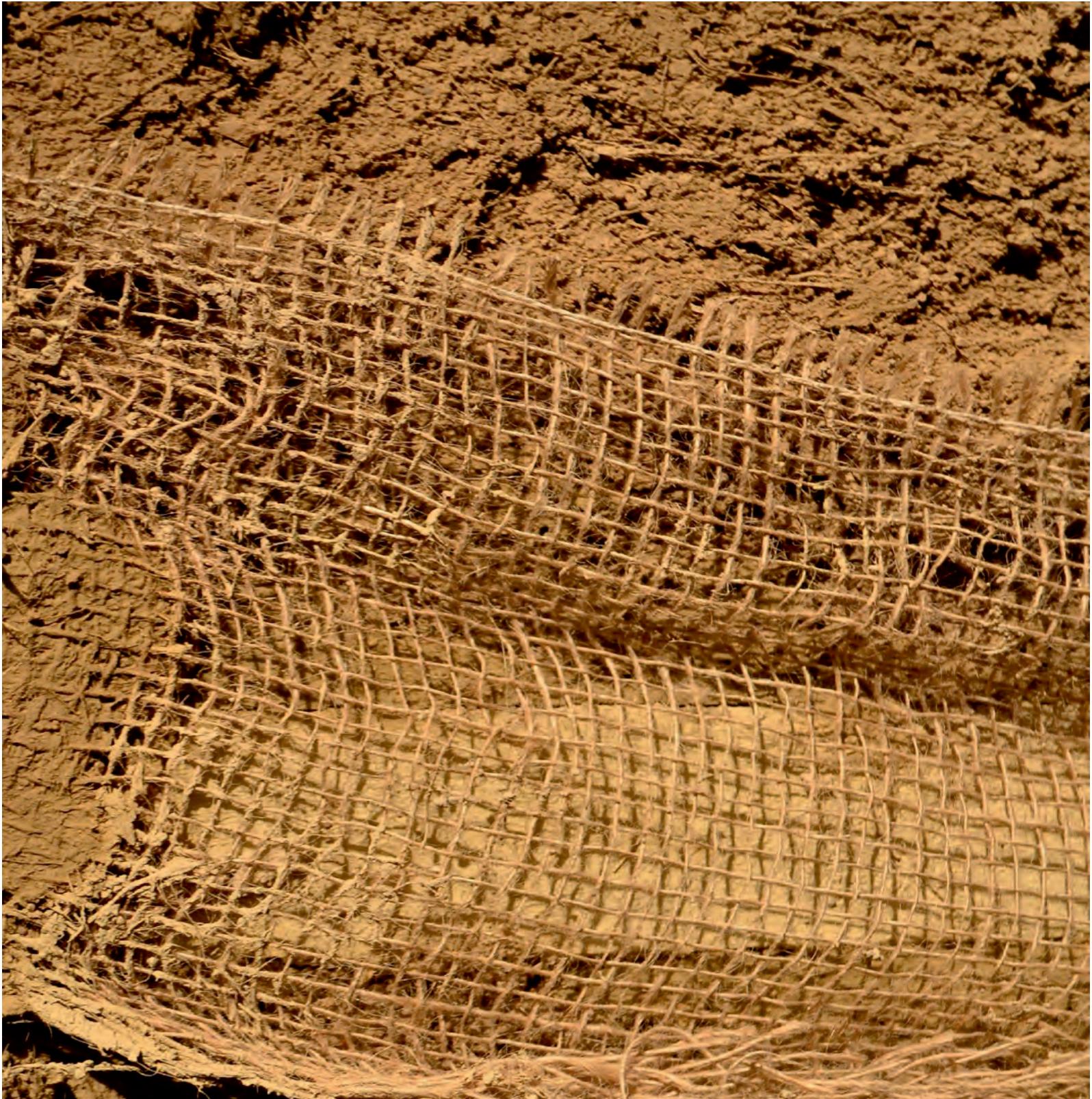
Calicastrado

Es un tipo de revestimiento característico en la península ibérica (España) denominado “calicastrado” (o costra de cal), muy habitual en la construcción militar de la época almohade y difundido especialmente en la construcción popular de la Sub-meseta Sur y Levante.

Esta técnica consiste en proporcionar el revestimiento, proyectandoló en el interior del encofrado, durante el mismo proceso de apisonado del tapial, obteniendo así una tapia reforzada en las caras o acerada, donde estos materiales de refuerzo se disponen junto a las caras del tapial antes del apisonado de cada tongada, quedando así íntimamente ligado el revoque a la masa del muro, presentando un característico acuñado que garantiza el perfecto anclaje entre el revestimiento exterior y la masa interior de tierra. (CASTILLA F. J. 2011. p150)

La técnica supone un ahorro considerable de cal en la construcción del muro, consiguiendo, no obstante, un acabado superficial altamente resistente y una durabilidad muy superior a la tradicional tapia de tierra (9). (MILETO C., et al. 2011, p83)

Este careado suele hacerse con mezcla de cal y arena que recibe el nombre de “malhecho” (según testimonios orales de albañiles de la provincia de Albacete) y una vez endurecido se le denomina “costra”, refiriéndose al muro como “tapia con costra” o “calicostrada”. La mezcla (una parte de cal por tres de arena normalmente) se pone en el mismo estado de humedad que la tierra; esta mezcla se extiende a lo largo de los tableros y arrimada a ellos. (CASTILLA F. J. 2011. p150)



CONCLUSIONES

A modo de conclusión principal se diseña la siguiente ficha síntesis de la investigación, esta pretende servir tanto para el análisis de casos de arquitectura de tierra, como para evaluar factores claves a considerar para la buena ejecución y desempeño en nuevas construcciones.

Se presentan a continuación algunas reflexiones y discusiones específicas:

Sobre la metodología empleada (análisis bibliográfico) surgió como dificultad principal lo diversa y dispersa de la misma. Los criterios de clasificación presentados en la bibliografía mostraban multiplicidad de enfoques complejizando su sistematización. Asimismo durante la profundización del tema la terminología que aparece es variada y ambigua.

Gran parte de la bibliografía refiere a casos específicos y el tema abordado se presenta a modo de manual y recetario. Aunque existen múltiples experiencias realizadas no hay una sistematización de las mismas que conlleve a un conocimiento aprehensible. Tanto en las bibliografías enfocadas para la autoconstrucción, como en las experiencias de tipo vivencial (educación no formal) se cuestiona el rol de los profesionales Arquitectos.

Es de destacar que sobre la temática específica de *Forros*, la bibliografía es escueta. En este sentido se ha detectado que esta sería un pertinente objeto de estudio a desarrollar. Podría pensarse en una investigación proyectual-constructiva que supondría, a través del diseño, profundizar en este tipo de solución.

Todo esto refuerza la necesidad de trabajos de profundización en la temática de arquitectura de tierra con un enfoque académico-técnico, en la que este trabajo logra ser un aporte parcial de síntesis del tema acabados y revestimientos. Esto no excluye la necesaria contextualización del caso a caso, es decir, la necesidad de llevar a cabo pruebas (*in situ* y de laboratorio) que verifiquen la adecuada elección específica de la solución constructiva, que asegure el buen rendimiento de los acabados y revestimientos.

FICHA SÍNTESIS. ACABADOS Y REVESTIMIENTOS EN EL DISEÑO DE ARQUITECTURA DE TIERRA

CONTEXTO	FACTORES DEL CONTEXTO			
	Socio-cultural-económico	Climáticos-ambientales	Predio	Implantación y preexistencias
	Cultura constructiva	Pluviometría	Topografía	Normativa edilicia
	Recursos tecnológicos	Temperatura ambiente	Cauces hídricos, cotas freáticas	Ocupación del suelo
	Disponibilidad de materiales	Humedad relativa	Tipo y características del suelo	Orientación
Mano de obra	Radiación solar	Flora y fauna	Linderos	
Aspectos estéticos, simbólicos y patrimoniales	Viento (velocidad, dirección e intensidad)	Dimensiones	Construcciones existentes	
CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN				
Generales	Factores constructivos		Ubicación del componente	
Programa, usos	Estructura y cimentaciones		Paramento exterior / interior	
Distribución espacial	Sistema constructivo		Piso / Entrepiso	
Metraje	Tipo y secuencia de los componentes		Cieloraso	
Locales según requerimientos	Tipo de acabado o revestimiento		Cubierta exterior	

LA TIERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	
Ventajas	Desventajas
Regulación de la humedad ambiente	Material de construcción no estandarizado
Almacenamiento de calor - Confort higrotérmico	Se contrae al secarse
Reutilización	No es impermeable
Economización de materiales de construcción y transporte.	
Autoconstrucción	
Ahorro energético y disminución de la contaminación ambiental	
Protección contra ondas electromagnéticas de alta frecuencia	
Preservación de la madera y otros materiales orgánicos	
Material ignífugo	
Absorción de contaminantes	
*Para mejorar las desventajas es posible estabilizar la tierra mediante el agregado de materiales o tratamientos	

SELECCIÓN DE LA TIERRA				
Composición granulométrica	Plasticidad	Retracción		Porosidad
Arcilla: d < 0,002 mm	Líquido	Según el tipo de arcilla presente		
Limo: 0,002 mm < d < 0,06 mm	Plástico	Arcillas Expansivas	Arcillas Inertes	Volumen total de poros
Arena fina: 0,06 mm < d < 0,2 mm		Alta absorción de agua	Poca absorción de agua	
Arena gruesa: 0,2 mm < d < 2 mm	Semisólido	Aumentan su tamaño	Tamaño estable	Capacidad de difusión del vapor
Grava: 2 mm < d < 20 mm	Sólido	Alto grado de retracción	Bajo grado de retracción	Resistencia al congelamiento
Canto: 20 mm < d < 200 mm		Gran capacidad aglutinante	Poca capacidad aglutinante	

CONTROL DE LA EJECUCIÓN	
Humedad	Grado de compactación
Movimiento de las partículas sólidas dentro de la mezcla	Directamente relacionado con la resistencia
Activación de las fuerzas aglutinantes de la arcilla	Humedad óptima de compactación según tipo de suelo y esfuerzo

ESTABILIZACIÓN DE LA TIERRA	
Materiales agregados	Tratamientos
Estabilización por distribución granulométrica.	Amasado y apisonado de los materiales
Estabilización por amazón	
Estabilización por agregado de aglomerantes	Curado o Pudrición
Estabilización por impermeabilización	Medidas estructurales o procesos mecánicos
Estabilización por tratamiento químico	

MANTENIMIENTO Y PROTECCIÓN DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA			
Mantenimiento	Métodos de protección		
Mantenimiento periódico, realizar controles para determinarlos	Zócalos, Aleros, albardas, cornisas, o remates de coronación del muro	Previsiones sismo-resistentes (si corresponde)	Protección de la superficie del paramento, cubierta y piso, por algún tipo de acabado o revestimiento

PATOLOGÍAS EN LA ARQUITECTURA DE TIERRA			
Factores intrínsecos			
Carácter de la fase sólida del suelo: composición mineral y existencia de materia orgánica	Origen y estructura de los minerales de arcilla: tipos de arcilla, fuerza de enlace y comportamiento	Propiedades y características generales: propiedades fundamentales y propiedades fisicoquímicas	Relación entre las propiedades del material y el uso y procedimiento constructivo empleado en la edificación
Factores extrínsecos			
Agentes ambientales (relativos a la climatología y relativos a la meteorología y el entorno)	Agentes biológicos	Factores mecánicos	Acción humana
Alteración y deterioro (Ver Anexo: T01, T02, T03, T04 y T05)			
Se localizan en soporte, masa o estructura (fenómenos estructurales)		Se localizan en el acabado o revestimiento (fenómenos superficiales)	

GENERALIDADES DE LOS ACABADOS Y REVESTIMIENTOS		
FUNCIÓN	USOS	
Protección	Exterior	Interior
Conservación	Pisos	
	Paramentos	
Estética	Cubiertas	
	Impermeabilidad y difusión de vapor	

LOS DISTINTOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y SU RELACIÓN CON EL ACABADO Y REVESTIMIENTO			
Tierra utilizada de forma Monolítica (Monolite)	Tierra utilizada en forma de Mampuestos, albañilería (Muratura)	Tierra utilizada en forma Mixta o con estructura (Structura)	Otros
Tierra apisonada, tapia, tapial, tapia de pilao, excavación, tierra vaciada, tierra apilada, tierra modelada o cob, paneles de suelo cemento y tierra ensacada ("superadobe")	Ladrillo crudo, adobe, adobones, bloques de suelo, bloques compactados, BTC, terrón de césped, tirón, tepes, pisé, champas, cortaderas, raigambres, torrés, bloques cortados, la tierra extruida y los adobes moldeados a mano	Fajina, estanteo, quincha, bahareque o bajareque, chorizo o enchorizado, fachwerk, wikelsstaken, tapia de sebo, adobillo y pandereta	Fardos o balas de paja
En general puede permanecer sin revoque y sin acabado	Es importante ejecutar un acabado o revestimiento	Es importante ejecutar un acabado o revestimiento	Es importante ejecutar un acabado o revestimiento

PROTECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS ACABADOS Y REVESTIMIENTOS			
Mantenimiento		Métodos de protección	
El mantenimiento debe ser habitual dependiendo del tipo de acabado o terminación, como también la periodicidad y características del mismo		Ochavar aristas	Proteger aristas con algún tipo de elemento rígido (piedra, perfiles de madera, ladrillos cocidos u otros)
		Consolidación de la superficie	

CAPAS DE REVOQUE SEGÚN FUNCIÓN Y CARACTERÍSTICAS	
Revoque grueso (revoque base)	Revoque fino (revoque superficial)
Emparejar desníveles y generar superficies homogéneas	Terminación
Se aplica sobre el componente constitutivo de la edificación	Se aplica sobre el revoque grueso
Espesor 8 mm a 30 mm	Espesor 0 mm a 8 mm
Componentes de grano grueso	Componentes de grano fino

REQUERIMIENTOS		
Durabilidad	Elasticidad	Difusión de vapor y permeabilidad
Adherencia al soporte	Elasticidad del material de relleno	Deben permitir el intercambio del vapor de agua
Resistencia a la erosión y abrasión	Flexibilidad de la estructura (si corresponde)	Deben ser impermeables al agua en estado líquido
Solidez del soporte	Debe ser por lo menos igual que a la del soporte	Se evita la condensación interna del agua

EJECUCIÓN				
Consideraciones Previas				
Realizar ensayos previos para elegir el revoque adecuado. Para esto lo más recomendable es realizar las pruebas in-situ o sobre soportes de similares características				
Estabilización de la contracción de secado		Migración del agua de los componentes constructivos		Asentamiento de los componentes constructivos
Preparación de la tierra	Ensayos y pruebas (campo, laboratorio)	Preparación del sustrato	Método de ejecución	Secado
Humedecimiento, trituración y mezcla	Contracción de secado/Fisuración	Limpieza de la superficie	Aplicación con la mano	Tiempo de secado
Tamizado	Resistencia a la abrasión	Mojado	Aplicación con llana, cuchara u otro	Orientación del soporte
Disolución de la tierra	Resistencia a la erosión	Escarificado	Lanzado con la mano	Época del año
		Imprimación		
		Elementos de agarre	Proyectado con bomba	

TIPOS DE REVOQUES					
Revoque de Tierra		Revoque de Cal		Revoque de Yeso	
Más apropiado por su natural compatibilidad con el soporte		Alta compatibilidad con la tierra		Utilizados en menor proporción	
Tienen adherencia, son elásticos y difusores de vapor		Flexibilidad, impermeabilidad y difusión de vapor		Menos duraderos y resistentes	
Protección limitada frente a los agentes de erosión y abrasión		Alta resistencia mecánica		Se utilizan en interiores y cieloraso	
Solubles al agua		Endurecimiento lento		Elementos decorativos, molduras y bajo relieve	
Estabilización para revoques de Tierra		Estabilización para revoques de Cal		Estabilización para revoques de Yeso	
Composición Granulométrica	Arcilla 5 a 12%	Composición Granulométrica	Capas sucesivas con variación granulométrica (arena gruesa a fina y proporciones crecientes de cal)	Se lo utiliza principalmente con cal	
	Mayor proporción de arena y limo				
	Granularidad continua				
Armazón	Granulometría max. 1/2 espesor del revoque	Armazón	Poco común	Mejora la trabajabilidad, adherencia y la resistencia mecánica a la intemperie	
	Resistencia a la tracción				
	Buena adherencia con las arcillas				
	Baja absorción de agua				
Agglomerantes impermeabilizantes y tratamiento químico	Poco putrescibles	Agglomerantes impermeabilizantes y tratamiento químico	Misma fibra que revoque de tierra	Le da un pH básico (> 7), se evita el riesgo de la posible corrosión de los metales en presencia de humedad	
	Fácil de mezclar y trabajar en capas finas				
	Admite todos los productos				
Revoques no son solubles en agua	Revoques no son solubles en agua	Revoques no son solubles en agua	Aumenta resistencia mecánica	Se disminuye el desarrollo bacteriológico, el de enmohecimiento por hongos y la aparición de manchas	
	Revoques no reutilizables		Revoques no reutilizables		

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES Y DISEÑO DECORATIVO	
Filtros y esponjas	Revoque lanzado o proyectado
Alisado y brillo	Sgraffito o esgrafado
Modelado en estado húmedo	Incorporación de elementos

FUNCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS PINTURAS		
Consolidan las superficies dejando a la vista la apariencia de los elementos constitutivos de la construcción, de los revoques o de los forros		
Protección adicional, impermeabilización, endurecimiento y/o mayor resistencia frente a la erosión y abrasión		
Pueden ser erosionadas físicamente por el viento, el congelamiento o la lluvia, o químicamente por la radiación ultravioleta y la lluvia ácida		

REQUERIMIENTOS		
Hidrófobo	Difusión de vapor	Tratamiento periódico
Repelentes al agua	Porosas, con una red continua de micro-poros	Admisión de tratamientos periódicos

EJECUCIÓN		
Consideraciones Previas		
Antes de la aplicación de cualquier pintura es necesario realizar pruebas para asegurarse que es adecuada para el soporte donde se aplica y la función deseada		
Preparación de las pinturas	Preparación del sustrato	Aplicación de las pinturas
Depende de los compuestos y del tipo de uso	Imprimir según el tipo de pintura y el soporte	Impregnación (rodillo o pulverización)
Respetar las especificaciones del fabricante	Comúnmente se utiliza lechada de cal posteriormente frotada	lechada (mediante brocha o rodillo)

TIPOS DE PINTURAS				
Pintura de arcilla	Jabelga	Lechada bórax-caseína	Mucilago	Emulsión de resina acrílica
Lechada de cal pura	Cal y sustancias vegetales	Emulsión asfáltica	Jugo de caña de azúcar	Resina de vinilo
Lechada de cal para imprimación	Lechada de cal-caseína-otros	Aceites vegetales	Pintura de cola de celulosa	Silicato de potasio y de etilo
Otras lechadas estabilizadas con cal	Pintura incolora de caseína	Pintura al temple de huevo	Metilcelulosa	Funguicidas
Pintura de sebo-cal	Lechada de caseína	Engrudos	Soluciones con aditivos hidrófobos	Pigmentos y tintes

FUNCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS FORROS		
Protegen en general o responden a necesidades precisas de locales particulares. Otorgan una estética particular a la edificación		
Multiplicidad de materiales		
Comúnmente aplicados sobre una estructura auxiliar o propia de la construcción		

REQUERIMIENTOS		
Flexibilidad	Porosidad o ventilación	Resistencia
Acompañar movimientos de la estructura soporte	No deben provocar condensación de vapor de agua en su cara interna	Esfuerzos de corte producidos por el peso propio
Empelo de materiales flexibles	Empelo de materiales porosos	Resistencia de la estructura auxiliar
Piezas de pequeño tamaño	Cámara de aire para ventilación	Resistencia de amarres y anclajes

EJECUCIÓN		
Varía según el tipo de forro a utilizar		
Suelen ser los mismos procedimientos que se emplean en construcciones livianas		

TIPOS DE FORROS			
Entablado o ripias de madera	Azulejos	Estucado sobre metal desplegado	Empapelados

TIPOS Y CARACTERÍSTICAS	
Jabones metálicos y estearatos	Calicatrado
Hidrófugos o impermeabilizantes	Tapia reforzada con cal en las caras o acerada
Propiedades lubricantes y fina granulometría	Técnica que proyecta el revestimiento de cal en el interior del encofrado, antes del llenado
Escasamente soluble en agua	Queda ligado el revoque a la masa del muro
Soluble en caliente y en aceites vegetales	Acabado superficial altamente resistente y de durabilidad superior

ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA

ACABADOS Y REVESTIMIENTOS

REVOQUES

PINTURAS

FORROS

OTROS



Acabado: En este trabajo se considerará a toda terminación superficial denominada *Revoque o Pintura*.

Aditivo: Son aquellas sustancias o productos (inorgánicos u orgánicos) que, incorporados a la mezcla, en este caso de tierra, antes del amasado (o durante el mismo o en el trascurso de un amasado suplementario), producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

Asfalto: Los asfaltos naturales se han formado por un fenómeno de migración de determinados petróleos naturales hacia la superficie terrestre, apareciendo a través de fisuras y rocas porosas, seguido o combinado con una volatilización de sus componentes más ligeros y la consiguiente concentración de los compuestos asfálticos ya existentes en el mismo; algunos se encuentran en estado casi puro, formados mayormente por sustancias hidrocarbonadas con poca materia mineral, aunque lo más usual es que estén mezclados con otros minerales. (MÁRMOL Jesús A. 2004, p78)

Caseína: La caseína (del latín *caseus*, "queso") es una fosfoproteína (un tipo de heteroproteína) presente en la leche y en algunos de sus derivados (productos fermentados como el yogur o el queso).

Chilla: Pieza alargada y delgada de madera empleada en revestimientos, las mismas son más gruesa en su parte inferior. Se coloca en hileras solapadas para la impermeabilización de cubiertas o paredes. También llamada ripia.

Emulsión: Es una mezcla de dos líquidos inmiscibles de manera más o menos homogénea.

Encalado: Es la aplicación de cal como acabado final de paredes y todo tipo de paramentos. Tradicionalmente, el proceso consiste en verter la cal en un recipiente con agua para su apagado, y con esa pasta fluida resultante se encala el muro. En esta técnica la cal tiene consistencia de pintura.

Enfoscado: Es una capa de mortero empleada para revestir una pared o un muro. En los enfoscados se utiliza mortero de cemento, aunque ocasionalmente se puede añadir también algo de cal. En función del tipo de conglomerante utilizado, las técnicas de aplicación difieren, y los revestimientos poseen distintas propiedades, adoptando por tanto distintos nombres: encalado, revoco, guarnecido, enlucido, jabelga, estuco, etc.

Enlucido: Es un revestimiento continuo de yeso blanco que constituye la capa de terminación aplicada sobre la superficie del guarnecido. El enlucido con yeso blanco suele tener solamente pocos milímetros de espesor, y por norma general se suele pintar.

Escarificado: consiste en hacer incisiones a una superficie.

Estuco: Es un acabado continuo realizado con capas sucesivas de mortero, por lo general coloreados, con una terminación definida por un diseño determinado. Se lo aplica en forma de pasta de grano fino compuesta de cal apagada (normalmente, cales aéreas grasas), mármol pulverizado, yeso, pigmentos naturales, etc. que se endurece por reacción química al entrar en contacto el hidróxido de calcio de la cal con el dióxido de carbono (CO_2) [$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$] y se utiliza sobre todo para enlucir paredes y techos. El estuco admite numerosos tratamientos, entre los que destacan el modelado y tallado para obtener formas ornamentales, el pulido para darle una apariencia similar al mármol y el pintado policromo con fines decorativos. Puede ser el estucado en frío o en caliente o el *Veneciano*.

Guarnecido: Es un revestimiento de yeso negro que constituye la primera capa aplicada sobre los paramentos interiores de un edificio, antes de ser revestidos con otros tipos de acabado (normalmente el enlucido).

Gunitado: Técnica de proyección del revoque a través de un "cañón" o manguera a alta presión, pudiéndolo hacer sobre cualquier tipo de superficie e inclinación de la misma, con el objetivo de conseguir una terminación continua.

Jabelga: Es una mezcla de cal, polvo de mármol (marmolina) y agua, muy similar al estuco pero a diferencia de este, la consistencia de aplicación no es la de un mortero o pasta sino la de una pintura, por lo que la proporción de agua es mucho mayor y la de marmolina algo menor. Además, puede aditivarse con polvos minerales (óxidos y demás) para darle color. Se emplea como acabado final de paramentos de todo tipo, muy recomendable para los que empleen cal. Especialmente en exteriores.

Mucílago, mucilago: Sustancia orgánica de textura viscosa, semejante a la goma, que contienen algunos vegetales.

Palustre: Herramienta de albañilería para manejar y extender el acabado, que consiste en una plancha triangular de metal con un mango de madera acoplado en una pieza que forma un ángulo recto. También llamada cuchara de albañil.

Repello: Es una capa de mortero empleada para revestir una pared o un muro.

Revestimiento: En este trabajo se considerará a toda terminación superficial denominada *Forro*.

Revoco o revoque: es un tipo de acabado continuo cuyo fin es mejorar el aspecto y las características de las superficies de muros, tabiques y techos. Se lo denomina también: “pañete”, “repello”, “acabado” o “friso”.

Ripia: Cada una de las piezas alargadas que se colocan en hileras solapadas, para impermeabilizar una cubierta o una pared. También llamada chilla.

Solución: Es una mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de dos o más sustancias, que no reaccionan entre sí

Torta: Es un tipo de cubierta mixta compuesta de madera estructural y terminada en tierra.



BIBLIOGRAFÍA

1 PUBLICACIONES Y REVISTAS

ARESTA REBELO, Marco Antonio. "Arquitectura biológica: la vivienda como organismo vivo". 1ª ed. Buenos Aires: Ed. Diseño, 2014. 224p.

CARBALLO, J. F. dir. "Guía del bio-constructor en tierra". (1987).

DE SOUZA, Lucio. *Imaginario Rurales. "El modelo de afincamiento en la Planificación Rural del Uruguay de Carlos Gómez Gavazzo"*. (2016). Tesis de la Maestría en Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano. FADU, UDELAR.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. "Traité de Construction en Terre". CRATerre-EAG, Grenoble, 1989.

HOUBEN, H. Y GUILLAUD, H. "Earth construction. A comprehensive guide". London: itdg Publishing, 2001.

MÁRMOL Jesús A. "Morteros, cal y revestimientos de tierra". Dossier N°2. Bråfim: Escuela de Arquitectura de la Tierra EAT, 2004. 117p.

MARTINS NEVES, C.; BORGES FARIA, O. (Org.). "Técnicas de construcción con tierra". San Pablo: Ed. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79p. Disponible en: <<http://www.redproterra.org>>.

MARTINS NEVES, C.; BORGES FARIA, O.; ROTONDARO, R.; CEVALLOS SALAS, P.; HOFFMANN, M. "Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra- prácticas de campo". San Pablo: Ed. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2009. 34p, Disponible en <<http://www.redproterra.org>>.

MARTINS NEVES, C.; CEVALLOS SALAS, P.; MELLACE, R. "Técnicas mixtas de construcción con tierra". Cytel – Habyted, Proterra, 2003. 352p.

MINKE, Gernot. "Revoques de Barro Mezclas, Aplicaciones y Tratamientos". San Carlos de Bariloche: Ed. BRC Ediciones, 2013. 32p.

MINKE, Gernot. "Manual de construcción en tierra". Montevideo: Ed. Nordan, 1994. 225p.

ROTONDARO, R; PATRONE, J; SCHICHT, A. "Innovación tecnológica y vivienda en el gran buenos aires. Pisos y revoques para sectores en situación de pobreza". En: Cuaderno urbano. Espacio. Cultura. Sociedad. N°7. Argentina: Ed. Editorial de la Universidad Nacional del nordeste, Facultad de arquitectura y urbanismo. 2008.

SANDOVAL, F.J.; SÁINZ GUERRA, J.L. (Co.). "Construcción con tierra, Pasado, Presente y Futuro - Congreso de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos". 2012. España: [En línea], 2013. Disponible en Internet: <http://www.uva.es/grupotierra/publicaciones2013.html>

VIÑUALES, M.G. "Restauración de Arquitectura de Tierra". 2009. Buenos Aires: [En línea] Disponible en Internet: <http://www.cedodal.com/>

VV.AA., INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN IETCC – CSIC. "La tierra material de construcción". Madrid: Ed. Consejo superior de investigaciones científicas. Comunidad de Madrid. Ministerio de cultura. 1987. 126p. FARQ

VV.AA., REVISTA APUNTES. "Apuntes. Instituto Carlos Arbeláez Camacho para el patrimonio arquitectónico y urbano (ICAC)". Vol. 20 N°2. Arquitectura en tierra I. Bogotá: Ed. Pontificia universidad javeriana, 2007. p 179-369.

VV.AA., REVISTA APUNTES. "Apuntes. Revista de Estudios sobre Patrimonio". Vol. 25 N°2. Arquitectura en tierra II. Bogotá: Ed. Pontificia universidad javeriana, 2012. p 162-352.

VV.AA., INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN IETCC – CSIC. "Revista informes de la construcción". Vol. 63, N° 523. Madrid: Instituto Torroja, 2011. 186p.

VV.AA., UNIDAD DE INVESTIGACIÓN, TECNOLOGÍAS EN TIERRA, FARQ; UdelAR. "Alternativas a la ocupación. Arquitecturas en tierra". Salto: Ed. Facultad de Arquitectura, UdelAR., 2003. 103p.

2 ARTÍCULOS

BARBERO, M; MALDONADO, L; “*Los revestimientos en la arquitectura tradicional africana: conservación y mantenimiento*”. En: Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro. Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012. [En línea]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2013. p101-108. Disponible en internet: <http://www.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2013/09tr-barbero.pdf>.

CASTILLA F. J. (2011) “*Revestimientos y acabados superficiales en construcciones con tierra contemporáneas*”. En: Revista Informes 63 (523): 143-152.

GUERRERO, L.F.; CORREIA, M.; GUILLAUD, H. (2012). “*Conservación del patrimonio arqueológico construido con tierra en Iberoamérica*”. En: Revista Apuntes 25 (2): 210-225.

GUERRERO BACA, Luis Fernando. (2007). “*Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva*”. En: Revista Apuntes 20 (2): 179-369.

GUERRERO BACA, L. F.; SO
RIA, J.; GARCÍA, B. “*La cal en el diseño y conservación de arquitectura de tierra*”. En: Arquitectura construida en tierra, Tradición e Innovación. Congresos de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos 2004/2009. [En línea]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2010. P. 177-186. Disponible en internet: http://www.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2010/2010_9788469345542_p17-186_guerrero.pdf

MILETO C., VEGAS F., LÓPEZ J.M. (2011) “*Criterios y técnicas de intervención en tapia. La restauración de la torre Bofilla de Bétera (Valencia)*”. En: Revista Informes 63 (523): 81-96.

RODRÍGUEZ M. A., MONTEAGUDO I., SAROZA B., NOLASCO P., CASTRO Y. (2011). “*Aproximación a la patología presentada en las construcciones de tierra. Algunas recomendaciones de intervención*”. En: Revista Informes 63 (523): 97-106.



TABLA 01_ "Desórdenes estructurales típicos en las construcciones con tierra y lesiones que se generan"³²

	Proceso patológico	Lesiones que se originan
Desórdenes estructurales	1. Fallo por asentamiento y variaciones del estrato de apoyo	• Grietas inclinadas
		• Desprendimiento del revestimiento y soporte del muro
	2. Deterioro del basamento por ataque de plagas, presencia de plantas, accidentes, etc.	• Acanaladuras y oquedades en el muro
		• Grietas horizontales, verticales o inclinadas
		• Fisuras lineales o radiales
		• Desprendimientos de los revestimientos o soporte del muro
	3. Deterioro por mala ejecución de la albañilería del soporte y los revestimientos	• Grietas horizontales en juntas verticales
		• Alabeos
		• Desprendimiento del material de revestimiento
	4. Fallos en las aberturas	• Grietas verticales
		• Grietas inclinadas
		• Grietas horizontales
		• Desplazamiento de las piezas
		• Flechas en la viga de cerramiento
	5. Fallos de ejecución en la parte superior del vano	• Fisuras lineales y/o radiales
		• Grietas horizontales
		• Abombamiento por compresión axial excéntrica
	6. Penetración insuficiente de las vigas del sistema de techo o entrepiso	• Grietas inclinadas en las fognadura de las vigas
		• Desprendimientos de revestimiento y/o soporte del muro
	7. Deficiente solución del apoyo de los sistemas de techo	• Grietas inclinadas
		• Grietas horizontales
		• Desprendimiento del material de soporte y revestimiento
	8. Deficientes soluciones de evacuación del agua de lluvia sobre muros y techos	• Desprendimiento del material de soporte y revestimiento
		• Roturas de las piezas de soporte

³² Extraído de VV.AA., INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN IETCC – CSIC. "Revista informes de la construcción". Vol. 63, N° 523. Madrid: Instituto Torroja, 2011. p100.

TABLA 02_ “Desórdenes por humedad típicos en las construcciones con tierra y lesiones que se generan”³³

	Proceso patológico	Lesiones que se originan
Desórdenes por humedad	1. Ascensión capilar que afecta cimientos y basamento del muro	<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimiento del revestimiento y soporte del muro • Disgregación del revestimiento • Fisuras radiales • Grietas horizontales, verticales e inclinadas • Oquedades • Manchas de humedad de color negruzco • Eflorescencias o manchas blanquecinas
	2. Deterioro del basamento del muro	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras radiales • Grietas horizontales • Desprendimiento del revestimiento y soporte del muro
	3. Retracción por cambios de temperatura y humedad	<ul style="list-style-type: none"> • Grietas horizontales, verticales e inclinadas • Fisuras radiales y longitudinales
	4. Degradación en aberturas	<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimiento del revestimiento y soporte del muro en la zona de derrame del vano • Disgregación del revestimiento • Grietas inclinadas • Flecha en el dintel del vano • Rotura y pérdida de las piezas del apoyo de la ventana o vano
	5. Deterioro en parte superior del muro por cambios de temperatura y humedad	<ul style="list-style-type: none"> • Disgregación del revestimiento • Manchas de humedad de color negruzco • Eflorescencias o manchas blanquecinas • Desprendimiento del revestimiento y soporte del muro • Fisuras radiales y longitudinales • Grietas horizontales, verticales e inclinadas
	6. Humedades por condensación en la parte superior del muro	<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimiento del revestimiento y soporte del muro • Disgregación del revestimiento • Eflorescencias o manchas blanquecinas • Manchas de humedad de color negruzco
	7. Filtraciones en apoyo estructural	<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimiento del revestimiento y soporte del muro • Disgregación del revestimiento • Pudrición o deterioro del sistema de vigas y losas • Manchas de humedad radiales y de diferente coloración
	8. Penetración de agua por canalizaciones de techo	<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimiento del revestimiento, soporte del muro, impermeabilización y materiales de aleros • Grietas en muros • Oquedades en muros y aleros
	9. Pretilos mal protegidos	<ul style="list-style-type: none"> • Manchas de humedad por ambas caras del muro pretil • Escorrentías blancas y negras por lavado y ensuciamiento sobre el muro • Desprendimiento del revestimiento y soporte del muro • Disgregación del revestimiento
	10. Filtraciones por cubierta	<ul style="list-style-type: none"> • Manchas de humedad en techos y muros • Desprendimiento del revestimiento • Grietas horizontales, verticales e inclinadas en el muro • Fisuras radiales y longitudinales

³³ Extraído de VV.AA., INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN IETCC – CSIC. “Revista informes de la construcción”. Vol. 63, N° 523. Madrid: Instituto Torroja, 2011. p101.

TABLA 3_ “Factores intrínsecos del material tierra”³⁴

Características de la fase sólida del suelo y otros aspectos intrínsecos que influyen en el uso y explotación del material		
A. Carácter de la fase sólida del suelo		
▪ Materia orgánica	▪ Minerales	
B. Origen y estructura de la arcilla		
▪ Tipos de arcillas	▪ Fuerzas de enlace	
C. Propiedades y características generales		
▪ Propiedades carácter químico	▪ Propiedades carácter físico	▪ Propiedades fundamentales
D. Relación entre las propiedades del material y el uso en la edificación		

TABLA 04_ “Factores extrínsecos de alteración en la fábrica térrea”³⁵

Fenómenos patógenos externos en las construcciones con tierra				
A. Agentes ambientales				
<i>Relativos a la climatología</i>			<i>Relativos a la meteorología y el entorno</i>	
▪ Agua	▪ Aire	▪ Temperatura	▪ Presencia de sales	▪ Contaminación atmosférica
▪ Cambios climáticos	▪ Orientación y soleamiento		▪ Presencia de fuentes de agua naturales o artificiales	▪ Fenómenos naturales: sismos, ciclones, inundaciones, entre otros
B. Agentes biológicos				
▪ Insectos y microorganismos		▪ Animales domésticos	▪ Plantas	
C. Factores mecánicos				
▪ Defectos del material		▪ Roturas mecánicas accidentales	▪ Fallos en el estrato de apoyo	
▪ Mala concepción y diseño de las soluciones estructurales y constructivas			▪ Problemas y errores de ejecución en obra	
D. Acción humana				
▪ Diseño y planificación		▪ Factores inherentes al proceso de la construcción	▪ Factores inherentes al uso y explotación	

³⁴ Extraído de VV.AA., INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN IETCC – CSIC. “Revista informes de la construcción”. Vol. 63, N° 523. Madrid: Instituto Torroja, 2011. p102.

³⁵ Extraído de VV.AA., INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN IETCC – CSIC. “Revista informes de la construcción”. Vol. 63, N° 523. Madrid: Instituto Torroja, 2011. p102.

TABLA 05_ “Síntesis I de la relación entre indicador macroscópico de alteración, factores desencadenantes del deterioro y etapas de intervención recomendada”³⁶

Nivel del deterioro	Indicador macroscópico de alteración	Agente de alteración	Etapas de intervención previa eliminación de la causa y origen del deterioro
<i>I. Modificaciones superficiales</i>	1. Costra	▪ Agua, agentes contaminantes (polución), agentes bióticos, etc.	I. Limpieza II. Protección superficial III. Mantenimiento y conservación preventiva
	2. Suciedad	▪ Agua, agentes contaminantes (polución), viento	I. Limpieza II. Mantenimiento y conservación preventiva
	3. Manchas de humedad	▪ Agua	I. Limpieza II. Protección de diverso tipo III. Mantenimiento y conservación preventiva
	4. Eflorescencia	▪ Agua, sales solubles	I. Limpieza II. Protección superficial y drenaje III. Mantenimiento y conservación preventiva
	5. Decoloración	▪ Agua, sol, viento, agentes contaminantes, sales solubles, etc.	I. Protección superficial y de coberturas II. Mantenimiento y conservación preventiva
	6. Desprendimiento de pintura	▪ Agua, sales solubles	I. Limpieza II. Protección y consolidación superficial III. Mantenimiento y conservación preventiva
<i>II. Eliminación o pérdida del material</i>	7. Erosión	▪ Acción eólica, agua	I. Estabilización – consolidación del soporte y el revestimiento II. Reintegración material III. Protección de diverso tipo IV. Mantenimiento y conservación preventiva
	8. Disgregación	▪ Agua, temperatura, sol, viento, sales solubles, agentes bióticos, etc.	I. Estabilización – consolidación del elemento disgregado II. Reintegración material III. Protección de diverso tipo IV. Mantenimiento y conservación preventiva
	9. Desprendimiento del material del muro	▪ Agua, cambios térmicos y climáticos, accidentes naturales, vegetación parásita, acción del hombre, agentes mecánicos – físicos intrínsecos a la estructura, etc.	I. Reconstrucción – reintegración y refuerzo del muro II. Protección de diverso tipo III. Mantenimiento y conservación preventiva
	10. Desprendimiento del material del revestimiento	▪ Agua, cambios térmicos y climáticos, accidentes naturales, vegetación parásita, acción del hombre, agentes mecánicos – físicos intrínsecos a la estructura, etc.	I. Consolidación – reintegración del revestimiento II. Protección de acuerdo a la tipología del deterioro III. Mantenimiento y conservación preventiva
	11. Abofado	▪ Agua, cambios térmicos y climáticos, accidentes naturales, vegetación parásita, acción del hombre, agentes mecánicos – físicos intrínsecos a la estructura, etc.	Previo desprendimiento del material abofado, proceder ídem anterior

³⁶ Extraído de VV.AA., INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN IETCC – CSIC. “Revista informes de la construcción”. Vol. 63, N° 523. Madrid: Instituto Torroja, 2011. p104.

TABLA 06_ “Síntesis II de la relación entre indicador macroscópico de alteración, factores desencadenantes del deterioro y etapas de intervención recomendada”³⁷

<i>III. Rupturas</i>	12. Fisura	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Agentes ambientales, movimientos y mecanismos intrínsecos a la estructura o al material, fenómenos naturales, acción del hombre, etc. 	<p>I. Consolidación – estabilización del elemento fisurado</p> <p>II. Mantenimiento y conservación preventiva</p>
	13. Grieta inclinada	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Agentes ambientales, movimientos y mecanismos intrínsecos a la estructura o al material, fenómenos naturales, acción del hombre, etc. 	<p>I. Reconstrucción – reintegración – refuerzo</p> <p>II. Mantenimiento y conservación preventiva no solo del muro de tierra, sino también del resto de los elementos estructurales de la edificación</p>
	14. Grieta horizontal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Agentes ambientales, movimientos y mecanismos intrínsecos a la estructura o al material, fenómenos naturales, acción del hombre, etc. 	Ídem anterior
	15. Grieta vertical	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Agentes ambientales, movimientos y mecanismos intrínsecos a la estructura o al material, acción del hombre, etc. 	Ídem anterior
	16. Desplome o vuelco	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Agentes ambientales, movimientos y mecanismos intrínsecos a la estructura o al material, fenómenos naturales, acción del hombre, etc. 	<p>I. Reconstrucción – reintegración – refuerzo del elemento constructivo</p> <p>II. Estabilización – consolidación del material a reintegrar</p> <p>III. Protección de diverso tipo</p> <p>IV. Mantenimiento y conservación preventiva</p>
<i>IV. Otras formas</i>	17. Modificaciones antrópicas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hombres y mujeres 	<p>I. Reconstrucción y reintegración de formas y materiales originales o coherentes</p> <p>II. Mantenimiento constructivo</p>
	18. Plantas superiores	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Agentes bióticos 	<p>I. Limpieza</p> <p>II. Consolidación</p> <p>III. Protección superficial</p> <p>IV. Mantenimiento y conservación preventiva</p>

³⁷ Extraído de VV.AA., INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN IETCC – CSIC. “Revista informes de la construcción”. Vol. 63, N° 523. Madrid: Instituto Torroja, 2011. p104.

