

Método para la elección del estabilizante óptimo

La Construcción con tierra actual, sobretodo si hablamos de BTC, necesita de procesos de estabilización, para conseguir un material durable y que responda a las actuales necesidades constructivas. En base a ello y a la falta de método en este sentido se desarrolla a continuación el siguiente capítulo de la Tesis.

Esquema previo de preferencia de estabilizantes

Para que el arquitecto o cualquier otro técnico, pueda decidirse por el mejor método de estabilización de la tierra, que vaya a utilizarse, hay que reunir suficiente información sobre los estabilizantes disponibles. Ésta se deberá cribar por los siguientes criterios de elección: Disponibilidad regional. Se priorizarán los productos autóctonos.

Minimización del impacto ambiental. La evaluación de éste englobará todo el ACV del estabilizante (Análisis del Ciclo de vida). Consumo mínimo de energía, agua y recursos no renovables, y emisión mínima de sustancias tóxicas al entorno desde su extracción, fabricación, transporte, aplicación y vida útil.

Procesos tecnológicos apropiables y apropiados a la gente del lugar.

La evaluación económica.

Condiciones de mantenimiento y uso.

Tabla através de la experimentación de los antecedentes

En base a toda la información analizada de los antecedentes, se hacía indispensable establecer una tabla que englobase a todos los métodos existentes de estabilización, que incorporara además criterios selectivos.

La utilización de los estabilizantes, tal como se describía en....., es básica para la obtención de un material de calidad, en base a resolver las carencias del material Tierra disponible.

Las deficiencias del material se resumen en tres categorías:

La Estabilidad volumétrica. Debido a las diversas fracciones mineralógicas presentes, y sobretodo por ciertas arcillas, el material Tierra presenta cierta inestabilidad ante los cambios de estado de humectación. Esto ocasiona redes de fisuración y deformaciones, en la propia ejecución de la obra, con la consecuente perdida de resistencia y durabilidad. Ello deriva en un control de la granulometría, el grado de finura, y de la estabilización de arcillas muy hábidas en agua interlaminar como lo son las montmorillonitas (bentonitas), las halloisitas o las illitas en menor grado.

El Agua.. La meteorización por el ataque del agua capilar o procedente de la lluvia, a comprometido en muchos casos la construcción con tierra. El agua al entrar de nuevo en la estructura aglomerante de las arcillas, deshace las fuerzas de tensión superficial del agua interlaminar, los débiles enlaces de Wan der Waals, y los enlaces electrovalentes en segunda instancia, e incluso en determinadas condiciones de alcalinidad o acidez se deshacen los fuertes enlaces covalentes. Por ello se hace indispensable revocar al material, o bien estabilizar su estructura para generar uniones de carácter covalente e irreversibles.

La Resistencia. Cómo en cualquier material de construcción, en cada caso se hace indispensable cumplir con unas prestaciones arquitectónicas, bajo un cierto grado de

seguridad: resistencia a compresión; resistencia a tracción, cómo contribución a las sollicitaciones en arcos y bóvedas rebajadas, o en sus zonas de mayor riesgo cómo riñones y clave; resistencia a flexión, en elementos de forjados; resistencia antisísmica, con grandes tensiones tangenciales; y en zonas de fuertes vientos, resistencia a la abrasión. Para ello es indispensable un refuerzo y estabilización de la matriz aglomerante intergranular, conjuntamente con la obtención de una densidad máxima.

Asímismo estos tres apartados se dividen, como ya habían abarcado otros autores, según el grado de interacción entre el estabilizante y la tierra:

Química. El estabilizante origina intercambios catiónicos, y transformación de los enlaces periféricos de las arcillas. La estructura de la tierra varía.

Físico-química. Se da el fenómeno anterior conjuntamente la formación de una matriz estructural entremezclada independiente.

Física. El estabilizante sólo interactúa como una estructura independiente, como un armado, que no hace variar las características químicas y mineralógicas de la tierra.

LA ESTABILIZACION.

No es directamente proporcional la cantidad de estabilizante con la mejora del suelo. Hay que estudiar todavía la relación entre la mineralogía y la estabilización.

Razones ecológicas.

AHORRO DE TRANSPORTE/ENERGIA DE FABRICACION Y COCCION/MINIMO IMPACTO MEDIAMBIENTAL/POSIBILIDAD DE SER RECICLADOS/POSIBILIDAD DE RECICLAR RESIDUOS AGRICOLAS-CONSTRUCCION

Objetivos. 1 Mejorar la calidad y la durabilidad de la tierra como material de construcción (>100años)

2. Utilizar materiales autóctonos, tierras y estabilizantes del lugar aunque no sean los idóneos.

PROBLEMAS A RESOLVER DE LA TIERRA	TIPO ESTAB.	TIPOLOGIA ESTABILIZANTES
(1) sensibles a la compactación. No es proporcional la resistencia a la presión (tope modificable si hay cal o cemento) 1. ESTABILIDAD VOLUMETRICA. "Gonflement" Hinchamientos. Retracción de obra (max. 3mm. en la junta de los tapiales). Prueba caja 60X8,5x3,5 lectura 7d(2cm). Redes de fisuración..... pérdida de resistencia y durabilidad.	FISICA	1. DEFLOCULACION (Preamasado-Prehumectación) 2. GRANULOMETRIA (Curva Ideal-Compensación) 3. COMPACTACION (Eliminar Agua y poros) 4. FIBRAS (Vegetales o Animales) 5. ARMADURAS (Vegetales o sintéticas)
	FISICOQUIMICA	SUELO-CEMENTO.TABLA DE DOSIFICACION. 1.- CEMENTO PORTLAND. Se provoca un cambio iónico. P/250-350. Siderúrgico, ARI,puzolánico, cenizas volantes. 2.- EL YESO. Suelos con 0-25% de arcilla. Añadido en crema, utilizable a los dos días. Con cal baja la resistencia. 10% yeso....40-50K/cm2 + 15-20 K/cm2 a flexion disminuye la contracción (10).

<p>++</p> <p>2. EL AGUA - Aplicable a todos los revestimientos</p> <p>POROSIDAD CAPILARIDAD PERMEABILIDAD.</p>	<p>QUIMICA (Se producen nuevos comptos.</p> <p>FISICA</p>	<p>1.-DEFLOCULAR (Defloculantes)</p> <p>2.-BUENA GRANULOMETRIA</p> <p>3.-COMPACTACION</p> <p>4.-DISMINUIR IP 915-25 (18 brasileños)</p> <p>1.- MAYOR E (indice de poros) menos agua de amasado.</p>
<p>3.RESISTENCIA</p> <p>1-Compresión 2- Flexotracción 3- Abrasión 4- Helacidad</p> <p>No olvidar que el aglomerante es la arcilla. (8) el PH a la materia orgánica no afectan a la resistencia. (CATTON)</p>	<p>FISICO-QUIMICA</p> <p>QUIMICA</p> <p>FISICA (4) Mortero ideal igual al adobe</p>	<p>1.-CEMENTO PORTLAND.Suelos arenosos. Curado 24-28 días. Se considera malo para lugares con cambios de humedad constante.</p> <p>2.-CAL.Preamasado 1-2 días 4(IP(20 (7).Curado 30 semanas.</p> <p>3.- EL YESO.(5)</p> <p>1-BETUNES. BREA 2-5% 2-DERIVADOS AMINOS 1% 3-RESINAS Y ACEITES NATURALES 4-10% 4-SILICATOS 5-DERIVADOS PETROLIFEROS * Mejor evitar en interiores. 6-D.PROTEINICOS (CUBANOS. J.A.Ribas para tierra con Ca Co3)</p> <p>1- DEFLOCULAR 2- GRANULOMETRIA O mejor la C.? 3- COMPACTACION 4- FIBRAS 5- ARMADO 6- FORMA</p> <p>1. CEMENTO PORTLAND 2. CAL HIDRAULICA. Para suelos Montmorilloniticos 4%+2% se dobla la resistencia. 3.EL YESO. Aumenta la R. A flexión 5% (6,8K/cm2)</p>

		<p>en la Ca-Montmorillonita respecto el yeso solo, aunque la resistencia a compresión baja a la mitad (6,8K/cm²) (180d. en curado bajo agua). Buen comportamiento con las arcillas especificadas en 2.3 (baja la resistencia un 1)% con respeto al yeso solo). A los 180d. HR 90%.....(12K/cm² Rf. 6,8K/cm²).</p>
	QUIMICA	1. EMULSIONES BITUMINOSAS 4. SILICATOS
11 Estabilización de suelos. Ed Teaa asoc M Torrente -Luis Saguies.		

Tablas apartir de determinaciones experimentales propias

Tras esta primera fase del método, y una vez estructurada la tabla de estabilizantes, tipología y génesis de las arcillas, cabe determinar la estabilización en función de los parámetros físico-químicos de las arcillas que aglomeran la tierra. Para ello cabe demostrar experimentalmente la hipótesis de aglomeración que se expone a continuación.

[QUADEST2.pdf](#)

Método de Evaluación de la calidad y durabilidad del BTC puesto en obra. Definición del proceso de control de calidad

La durabilidad de las construcciones de tierra estabilizada dependerá de un buen proyecto, con soluciones constructivas efectivas, correctamente ejecutadas y una estabilización adecuada. El proyecto definirá, además, la facilidad de mantenimiento, aspecto éste que no debe descuidarse nunca, y los sistemas de restauración que contempla.

Como hipótesis de trabajo, es imprescindible la aplicación de los siguientes conceptos:

- Inspección y mantenimiento regular.
- Intervenciones de restauración dirigidas al origen, no a los efectos.
- Diferenciación, en cuanto a las patologías, de sus causas y efectos.

La durabilidad del BTC puede quedar comprometida por la siguiente serie de factores, origen de patologías, que posteriormente serán analizadas :

1. El agua.

problemática resuelta a partir de : Estabilización (ver capítulo; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** pág.; **Error! Marcador no definido.**) e Impermeabilización, diseño de drenajes, menos agua de amasado. (lluvia, capilaridad, instalaciones y condensaciones, salpicaduras).

2. Falta de heterogeneidad y Resistencia.

Debido a mala compactación o mala distribución de cargas
solución : Estudio de puntos débiles, diseño de detalles constructivos, estudio de cargas y refuerzos: Esquinas, empujes de forjados, zunchos asentamientos diferenciales, aberturas (torsiones y cortantes), subsuelo heterogeneo o no, vías de agua cambios de temperatura, empuje del viento, bóvedas, arcos y cupulas.

3. Abrasión. Condicionado por la erosión.

solución. Estabilizaciones, protecciones de vientos dominantes.'

4. Biopatologías. originadas por la acción de seres vivos.

- Acciones del hombre: taladros, esquinas de paso, roces, humos, salpicaduras,..
- Los Insectos : Mal de Chagas-Tracoma, coleópteros, termitas, hormigas, telas de araña acumuladoras de humedad,.....
- La Vegetación (hiedras, árboles, hongos o líquenes en la tierra-fibras o armaduras de la composición.

Forma de tratamiento preventivo : la acción bactericida de la cal; las sales bóricas y o la sal común.

5. Patologías Químicas.

-Sulfatos. Formación de sales expansivas al entrar en contacto en estado húmedo con la fase de aluminato tricálcico del cemento portland. Esta sal es el trisulfoaluminato tricálcico, etringita o sal de Candlot.

- Materia orgánica. Atención a que solo afectan compuestos de cadenas orgánicas cortas, los complejos moleculares de cadena larga pueden reportar mejoras. (ver cuadro estabilización)
- Otras sales expansivas. (sulfatos magnésicos,..)

6. **Patologías Físicas.**

- Dilataciones diferenciales con otros materiales (hormigón, acero,.....). Habrá que preveer juntas o la absorción de los esfuerzos resultantes.
- Retracciones de secado. Estas afectan menos al tapial. La causa puede estar en un secado rápido, o no estar lo bastante humedecidos los adobes o la tierra a utilizar.
- Asentamientos diferenciales.Causas:
 - 1.vías de agua (instalaciones en la calle, escape, ejecución de sotos o garajes)
 - 2.Metros y trenes.
 - 3.Obras laterales al edificio.
 4. Obras interiores que redistribuyan cargas.

Análisis Químicos

Nueva Estructura Cristalográfica y compuestos

ASTM D- 806-96 “Cement content of soil-cement mixtures” para conocer la cantidad de cemento presente en un suelo estabilizado ya endurecido, podemos utilizar este método químico que parte del estudio comparativo entre los contenidos de Oca en el suelo, en el cemento y en el propio suelo- cemento. Esto se realiza en base de un ataque ácido sobre la muestra, filtrando, posterior precipitado en medio amoniacal, nuevo filtrado, y nuevo ataque ácido, y triturado con KMnO_4 .

Microscopía

Rx.ATD

Elementos libres que pudieran provocar futuras patologías químicas

Patologías Químicas.

- Sulfatos. Formación de sales expansivas al entrar en contacto en estado húmedo con la fase de aluminato tricálcico del cemento portland. Esta sal es el trisulfoaluminato tricálcico, etringita o sal de Candlot.
- Materia orgánica. Atención a que solo afectan compuestos de cadenas orgánicas cortas, los complejos moleculares de cadena larga pueden reportar mejoras. (ver cuadro estabilización)
- Otras sales expansivas. (sulfatos magnésicos,..)

La materia orgánica debe desecharse siempre como componente de la tierra, ya que por sus propias características se descompone con el tiempo, dejando poros abiertos o coqueas, además de ocasionar problemas higiénicos por la putrefacción de dicha materia orgánica.

La cristalización de sales expansivas disueltas en el agua puede provocar un aumento de volumen importante, así como las manchas típicas denominadas eflorescencias. Ello nos obliga a controlar el contenido de sales del agua utilizada en la construcción.

Los sulfatos, especialmente los que contienen magnesio, reaccionan con el cemento utilizado como estabilizante ocasionando la descomposición de la materia.

La acción del sol puede ser importante en elementos desprotegidos del mismo, llegando a ocasionar el desprendimiento de materiales de revestimiento, debido a la acción destructora de los rayos ultravioletas.

Reactividad ante medios agresivos

-Alteraciones químicas

En el caso de encontrarnos en terrenos pizarrosos deberemos comprobar la durabilidad de la tierra estabilizada ante las acciones ambientales. Es conveniente prestar atención al alto contenido de piritas, calcita y carbón que poseen las pizarras, y los cuales son fácilmente atacables. Por un lado, se da la transformación de la calcita en yeso, y por otro, la posible piritosis con la consecuente presencia de sulfuros¹.

Puede ser de interés utilizar el test ASTM C21-94 "Weather resistance of slate" que parte de la respuesta de la muestra ante un ataque ácido 10% HCL.

Análisis Físicos

Resistencia

Falta de homogeneidad

Como consecuencia de un mal compactado (presión irregular o insuficiente, adherencia a los encofrados o moldes...), pueden aparecer las llamadas coqueras, consistentes en huecos en el interior de la masa resistente, que disminuyen tanto su capacidad de trabajo como sus características de aislamiento o inercia térmica, y pueden alterar la distribución de cargas.

Compresión

Flexión

Cortantes

Abrasión

Este grupo de patologías afecta especialmente a elementos constructivos expuestos a los agentes naturales, como la acción del viento cargado de partículas de polvo, del agua de lluvia, etc.

La solución viene dada por el refuerzo de esos puntos expuestos, a base de una sobreestabilización o la interposición de materiales más resistentes, con buena adherencia.

Los vientos cargados de agua o partículas sólidas pueden erosionar fuertemente los muros, especialmente aquellas partes que por su situación y orientación están más expuestas: ángulos exteriores, aberturas, zócalos, revestimientos...La solución más oportuna, en cada caso, podemos hallarla echando un vistazo a las construcciones vecinas, de las que podremos deducir la dirección de los vientos dominantes, las partes más sensibles de los edificios y las soluciones adoptadas por los constructores anónimos: refuerzo de los ángulos con ladrillos cocidos o piedras, estabilización más intensa en la cara exterior, incorporación de lenguetas de mortero a medida que apisonamos la tierra, achaflanado de las esquinas, introduciendo piezas especiales más resistentes durante el relleno del tapial, enlucidos...

Dentro de esta tipología de efectos físicos caben destacar las Biopatologías ocasionadas por:

¹ *Estudis Gomà*

- la acción del hombre: taladros, esquinas de paso frecuente, roces continuos al pasar personas o animales, humos de chimeneas, etc.
- por la acción de los animales: pájaros que anidan en huecos de la construcción, excrementos (reacción química), roedores que excavan galerías o pasadizos, insectos (tracoma, coleópteros, termitas, hormigas, telas de araña...).
- por la acción de la vegetación: crecimiento de la hiedra, que penetra en los muros de tierra, árboles, que con sus raíces socavan cimientos o zócalos, etc.

Al respecto, recordamos la acción bactericida de la cal, utilizada tradicionalmente como revestimiento tanto interior como exterior.

-Abrasión.

Será necesario para la tierra estabilizada de aplicación en pavimentos y solados. Estas piezas especiales deberán tener garantías de resistencia a la abrasión y al desgaste, en función del grado de uso y del estado climático.

Para comprobar la resistencia al desgaste, y basándonos en la [ASTM C241-90 \(97\)](#) "[Standard Method for Abrasion resistance of stone Subjected to Foot Traffic](#)", adoptaremos el siguiente método:

tomar tres muestras representativas cuadradas de 5x5 cms y 2,5cms de altura, con los cantos redondeados $R= 0.8\text{mm}$.

-Contabilizar el P_s de la muestra tras 48h. a $60^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ y una exactitud de peso $\pm 0.01\text{gr}$.

-Colocar en el aparato tipo, tal como describe la norma para efectuar un ataque a 225 revoluciones con el abrasivo n°60 Alundum (tratamiento Norton 1389).

-Extraer las muestras limpiándolo de todo el polvo, obteniendo el peso desgastado P_a .

-Poner las muestras 1h. de inmersión en agua, secar la superficie de inmersión en agua y pesar nuevamente para obtener el peso específico (G) según [ASTM C97](#).

-La abrasión vendrá expresada por la fórmula $H= 10G (2000+(P_s+P_a /2)) /2000 (P_s-P_a)$.

Helacidad

La erosión que pueden producir el agua de lluvia, la nieve y el hielo se minimiza reduciendo las superficies expuestas, dimensionando correctamente los canalones y los bajantes, y tratando adecuadamente el suelo circundante. Especialmente peligroso es el hielo, sobre todo si hay fisuras.

Fuego

Estabilidad al fuego: La tierra es el material más resistente al fuego, ya que la arcilla se cuece y endurece y la arena tiene tendencia a evitar la fisuración.

Deformación máxima admisible

Coefficientes de Seguridad a adoptar

$\gamma = 1,5$ (coeficiente de mayoración de las cargas).

Coefficientes de seguridad en cálculo.

Tipo de control:

-alto (probetas, laboratorio) $\sigma=6$ a 3

-medio (pruebas a pie de obra) $\sigma=8$ a 4

-bajo (sin control):desaconsejado.

Control de Calidad a emplear

1. Comparar los análisis previos con el resultado en obra.

Número de probetas: 5 de mezclas diferentes.
Es aconsejable una proporción de 1/1, 5x5x5 cm².
Ø 5x5 cm. ref. ARQS

Para los ensayos del suelo-cemento para base de carreteras se aconsejan pruebas de compresión sobre probetas en cámara húmeda durante 7 días + inmersión de 4 horas. Resistencia aceptable de 18 Kg./cm².

2. Pruebas a pie de obra.

a) Rotura de adobe.

σ max. = 3 p. d

2 b n2 -----Nos dará la tensión máxima de rotura

del adobe en Kg./ cm.2.

b) Prensa improvisada.

² Bases para el diseño y construcción con tapial. MOPT 1992.

2. CONTROL DE FABRICA DE TAPIAL

Control a realizar	Cantidad	Condición de rechazo inicial
1- Dimensión de los tapiales Anchura, altura y espesor	1/tipo 1/planta	Dimensiones distintas de las especificadas
2- Nivel de las hiladas	1/50 m ²	Variaciones mayores al 3% en horizontalidad o superior a 10 cm en el total
3- Retracción de las juntas verticales - en fresco (24 h) - en seco (3 semanas)	1/50 m ² 1/50 m ²	No deben haberse abierto en todo el espesor más de 3 mm/m o más de 2 mm/m si está estabilizado
4- Resistencia a las 24 horas	1/tapial	Si la hoja de un cuchillo se, hundę bajo presión de la mano
5- Dosificación de aditivos	1/50 m ²	Distinta a la especificada
6- N° de tongadas/m de altura	1/10 m ²	Inferior al especificado en más, de un 20% o inferior a 10/m
7- Integridad de los tapiales	1/tapial	Profundidad de rotura: - en esquinas, > 3 cm - en laterales, > 2 cm - en caras, cualquiera
8- Replanteo	1/planta	Variaciones en medidas: - mayores a 3 cm en parciales - mayores a 4 cm en extremas
9- Disposición de adobones	Examen general	- Distinto del especificado - Juntas verticales conformando ángulo > 60° con la horizontal
10- Desplome de paramentos	1/50 m ²	Variaciones en verticalidad: - mayores a 20 mm por planta - mayores a 40 mm en total
11- Pasarregla de 2 m.	1/50 m ²	Variaciones de 20 mm en paredes, para revestir y de 10 mm en cara, vista o calicestrados
12- Altura	1/50 m ²	Variación de dimensiones: - mayores a 25 mm en parciales - mayores a 40 mm en totales
13- Atado superior	Todo el recorrido	Existencia de puntos de discontinuidad en el atado
14- Tensión de rotura en seco en probetas de 5x5x5 cm	1/50 m ²	Sc' < 75% Sc en control normal Sc' < 85% Sc en control elevado Siempre si Sc' < 10 kg/cm ²
15- Absorción de agua	1/50 m ²	En control elevado Si mayor a la de diseño en 20% o absorción a los 7 días > 8%

3- CONTROL DE LAS CIMENTACIONES

Control a realizar	Cantidad	Condición de rechazo inicial
1- Dimensiones de las zanjas	1/30 ml.	Distintas a las de diseño
2- Firmeza del fondo	1/30 ml.	Distintas a las de diseño
3- Condiciones de drenaje	1/30 ml.	Distintas a las de diseño
4- Plasticidad y composición del mortero de barro	1/30 ml.	Tipo I Contenido mayor a 40% de g+s
5- Dosificación del mortero de cal o cemento y arena	1/30 m.	Tipos II, III, IV Distinta a la de proyecto
6- Altura de zócalos	1/30 m. Menor a 50 cm.	Distinta a la de proyecto
7- Impermeabilización	1/15 m,	Tipos III, IV, V, VI, VII, VIII Falta de impermeabilización Defectos de solape o soldadura
8- Firmeza y sellado de las piedras de protección	1/15 m.	Tipo IV Posibilidad de extraer a mano, las piedras Sellado defectuoso
9- Dosificación tierra-cemento	1/30 m.	Tipos VI y VII Distinta a la de proyecto Inferior al 3% de cemento
10- Anclajes tapia-cimiento	1/15 m.	Tipo VII Diferencias sustanciales en, longitud diámetro y separación Defectos de ejecución que, agrieten el tapial
11- Espesor de las capas de, piedra y terrocemento	1/30 m.	Sustancialmente distintas a las de proyecto

4- CONTROL DE ATADOS Y REFUERZOS

Control a realizar	Cantidad	Condición de rechazo inicial
1- Refuerzos verticales de madera, cañas o varillas Longitud, tipo y distancia	1/10 m.	Diferencias sustanciales con lo proyectado
2- Refuerzos horizontales de madera varillas o mallas Longitud, tipo y distancia	1/10 m.	Diferencias sustanciales con lo proyectado
3- Refuerzos de esquinas y cruces con codos de madera	1/10 m.	Falta de refuerzos
4- Ata de cabecera	Todo	Falta de continuidad Falta de rigidez Defecto de empotramiento

5- CONTROL DE APOYOS

Control a realizar	Cantidad	Condición de rechazo inicial
1- Apoyo de forjados	1/apoyo	Falta de solera de reparto Desviación respecto del eje del muro mayor a 5 cm. Creación de empotramientos
2- Apoyo de vigas	1/5	Falta de zapata de reparto Desviación respecto del eje del muro mayor a 5 cm. Creación de empotramiento que transmita momento flector, al muro
3- Apoyo de pilar en muro	Todos	Falta de zapata de reparto Desviación respecto del eje, del muro mayor a 5 cm. Creación de empotramiento que, transmita momentos flectores

Retracción - Tolerancia de la forma
El agua

La alta sensibilidad de la tierra al agua provoca no sólo falta de confort y de higiene, sino también problemas de degradación por erosión, descomposición, ataque de insectos, reducción de resistencia, etc.

Especialmente peligrosa es la acción del hielo, aunque la relativa plasticidad del material tierra puede absorber sin problemas el aumento de volumen que ocasiona.

Para que el agua penetre en el edificio, deben tener lugar tres condiciones simultáneamente:

- Presencia de agua sobre la superficie de los cerramientos o contenida en su masa.
- Presencia de una abertura por donde pueda penetrar el agua: fisura, microfisura, canal capilar, poro, puerta, ventana, hueco de ventilación...
- Presencia de una fuerza que empuje el agua hacia el interior: presión hidrostática, gravedad, capilaridad, absorción...

La eliminación de aberturas es la más delicada y difícil de conseguir, mientras que la eliminación de fuerzas puede ser más fácil, pero de resultados inciertos (electroósmosis, revestimiento impermeable...).

Así pues, la estrategia más eficaz consistirá en alejar el agua de las partes más sensibles de la edificación (reduciendo el agua de amasado, proyectando un buen sistema de drenajes, o interponiendo una buena impermeabilización, que debe ser siempre continua, sin fisuras, ya que perdería toda su efectividad.)

De todas maneras, hemos de asegurar siempre una mínima impermeabilidad en los elementos constructivos expuestos a la intemperie, puesto que existen causas impredecibles de acumulación de agua.

Capilaridad

Las humedades por condensación de vapor de agua no tienen por qué producirse en condiciones normales, ya que los muros de tierra son permeables al vapor de agua, a no ser que se utilicen aislantes térmicos de poro cerrado o barreras de vapor.

Permeabilidad al vapor

Impermeabilidad

Adhesión a morteros empleados

Adhesión a otros materiales

Madera: Se utilizan maderos y escuadras, especialmente en las esquinas, incluso sobresaliendo del propio muro, recubiertas con el mismo mortero o tierra: $\acute{a}\acute{a}$ 12 cm. eucaliptus o listones de 5 x 10 cm.

Piedra calcarea

Hormigón

Hormigón armado: Excelente material para zunchos; su tecnología está suficientemente desarrollada. Tendremos presente, sin embargo, que la tierra en contacto con el hormigón debiera ser sobreestabilizada, a causa de las infiltraciones durante el vertido y el fraguado del hormigón y para asegurar una buena adherencia. Se aconseja poner peso o alguna hilada por encima del zuncho. Este debe fijarse mecánicamente con el resto de los muros.

Piedra siliclástica

Cerámica

Metales

Hierro: Excelente material, ya que trabaja muy bien a tracción, aunque presenta la dificultad de su escasa adherencia. Puede utilizarse en forma de mallazo, de armaduras o de tirantes y en combinación con el hormigón: 4 $\acute{a}\acute{a}$ 10 y estribos $\acute{a}\acute{a}$ 6 C/20 cm. Grosor 12 cm.

Si está en contacto con la tierra, lo protegeremos con una fina capa de cemento para evitar la corrosión.

Su ligereza y facilidad de puesta en obra permite su inserción a distintos niveles. El encofrado continuo facilita aún más su puesta en obra.

En los muros de adobe o bloques, las armaduras de hierro pueden intercalarse en las juntas, que serán estabilizadas más intensamente.

Otros parámetros arquitectónicos y constructivos

Diseño estructural y forma del BTC

Sismicidad

Asentamientos diferenciales

La falta de homogeneidad del terreno sobre el que se asienta la edificación, puede también ocasionar asentamientos diferenciales o distribución irregular de cargas. Ciertos elementos constructivos pueden provocar empujes horizontales por su propia condición (cúpulas,

bóvedas...) o debido a agentes externos (dilataciones térmicas en forjados o cubiertas, empujes del viento en elementos expuestos, etc...).

También nos podemos encontrar cimentaciones sobre terrenos arcillosos expansivos, los cuales son inestables ante los cambios de humedad. En la Península Ibérica suelen encontrarse en capas con una potencia de 5 m.

Los suelos expansivos provocan asentamientos diferenciales, basculamientos, rotura de instalaciones, agrietamientos de arriostramientos, particiones y vallas.

Para evitar los efectos de éstos, se procurará que la transmisión de tensiones por los cimientos sea próxima a la presión de hinchamiento. Se construirá un forjado con cámara de aire, para independizar la solera de las arcillas, así como en los muros de contención se hará con pozos de zehorras impermeabilizados. Se adoptarán las medidas necesarias para evitar los cambios de grado de humedad del suelo : aceras impermeables; no utilizar árboles de hoja caduca; garantizar la estanqueidad de las instalaciones; no utilizar cimentaciones superficiales ni en zanja corrida; alejar las aguas de escorrentía; y utilizar pilotaje hasta sobrepasar la capa de arcillas, con armado continuo para el trabajo a tracción.

La solución a estas patologías pasa, como siempre, por un diseño apropiado de los puntos más débiles: esquinas, zunchos, uniones de muros, aberturas, dinteles, relación huecos-macizos..., y por la previsión del comportamiento de la estructura ante posibles asentamientos diferenciales, o distribuciones de carga irregulares.

- La solución constructiva pasa por hacer grapas de madera unidas con un mortero on gran adherencia (incorporación de resinas o silicatos), o bien grapas metálicas pintada con cemento cola o minio antioxidante.

Es imprescindible también un estudio de la heterogeneidad del terreno, así como de la influencia de posibles vías de agua subterráneas.

Una vez producida la patología, la solución consistirá en devolver a los elementos afectados su homogeneidad perdida (previa eliminación de la causa que provoca dicha patología), a través de reponer el material originario, siempre que sea posible, o bien de reemplazarlo por un elemento con buena adherencia a la tierra, que mejore su comportamiento mecánico: grapas metálicas, o de madera, mallas metálicas, etc.

Movimientos térmicos

Aislamiento térmico

Aislamiento acústico

Amortiguación de campos electromagnéticos

Revestimientos

Las funciones del revestimiento consisten en mejorar la superficie de acabado de los muros de tierra para tener mayor durabilidad, rectificando los defectos, tapando fisuras e imperfecciones, poros y un exceso de permeabilidad al agua que pudiera tener.

Para ello se deberá alcanzar un máximo de adherencia entre la base y el revoco basado en una similitud de rigideces, a la vez que la base deberá ser lo bastante sólida y coherente,

para que no se desprenda con el peso del revoque o bien no le absorba toda el agua de composición. Se aconseja que el muro esté lo más seco posible, a nivel interior, para evitar un exceso de presión de evaporación de obra sobre los revestimientos, aunque éstos deberán ser porosos para la transpiración del muro. En el caso de paredes de adobe no habrá que esperar mucho, ya que estos habrán sido utilizados en un grado bastante seco. No es lo mismo en el tapial por dos razones: porque en masas muy gruesas tarda mucho tiempo en secar, y porque la superficie, al ser lisa y uniforme, ofrece muchas dificultades de agarre.

Por tanto, se desaconseja la utilización del mortero de cemento Portland directamente sobre las superficies de tierra, ya que con el tiempo acabará suelto, aunque hubiéramos colocado una malla de sujeción. Además un revestimiento de cemento 1/3, por ejemplo, no deja transpirar al muro lo suficiente como para que no se formen condensaciones detrás del revoco.

La Base

Se aconseja humedecerla suavemente y, en el caso, del tapial cepillarla para tener mayor adherencia. Otras formas de obtener mayor fijación en hundir cuñas o pedazos de teja en la masa tierna del muro, o bien picotear la superficie del tapial. Los métodos de mallazo metálico y alambre entre clavos se ven como más innecesarios, aparte que se contradice con la transpiración del muro, ya que la humedad oxida el acero.

Preparación de los materiales

Para cerrar perfectamente todos los intersticios que quedan al tiempo de la construcción de las paredes, y para arreglar sus superficies, necesitan ser los materiales que se han de hacer los más escogidos y mejor manipulados.

La cal ha de ser de la mejor, más limpia y bien preparada; la arena suelta, limpia y cernida, y la mezcla de ambos materiales, bien estropeada y manejada con atención.

Juan de Villanueva

Aparte de la selección de materiales en buenas condiciones, que ofrezcan homogeneidad y no se encuentren endurecidos, habrá que vigilar el almacenamiento de cementos y yesos, y la garantía de utilizar una cal totalmente apagada que no provoque expansiones a posteriori. La selección de arenas y tierras también pasará por analizar, a través de complexometrías, de cantidad de bases disueltas que puedan conllevar un problema de eflorescencias (cristalización de sales solubles en la superficie de los revocos, provocando expansiones que puedan llegarlo a desconchar). Habrá que buscar el límite de utilización del Na y el Mg sobre todo.

Generalmente un buen tamizado de la tierra (5 mm) junto con un preamasado, con o sin la cal, será suficiente para evitar muchas retracciones en el revoco.

Las diferentes capas del revoco.

No debe ponerse todo de una vez, sino a tongadas o cortezas, no tan gruesa y cargadas de material que por su peso se desprendan y caigan, debiendo tenderse poco a poco unas sobre otras, dando lugar a que se fijen y tome cuerpo contra la pared.

Juan de Villanueva

Se aconseja una primera capa de enfoscado (jarrado) más pobre en aglomerante, que sea suficientemente plástica para adaptarse a la base. Si hubiera zonas con grosores mayores de 2 cm. o huecos se aconseja primero emplastar alguna piedra o trozo cerámico para evitar un exceso de retracción (enripiar).

Cuando la primera capa ya ha empezado a fraguar, y aparecen las primeras microfisuras debido a las arcillas muy reactivas, se enlucé al oreo con una capa de material más rígido e impermeable con mayor grado de aglomerante. El grosor oscila entre unos 2 y 4 mm. y se aplica con llana metálica, dejando en la mano izquierda algo de material para ir completando y apretando el enlucido (la pellada).

Como punto final, según el caso, se bruñen y se pulen. Cuando van secando, rociándoles con agua, y fregándolos con una piedra dura de río bien lisa, quedan con una tez firme y curiosa. Hay que vigilar que el material de revoque siempre esté húmedo.

Una técnica que se puede emplear es la del maestreado, que según la tradición podía hacerse de mortero de cal, y yeso con arena, mezclados, o yeso solo. Estas maestras se hacen a partir de ir tirando verticales con la plomada y alinearlos con hilo posteriormente.

Establecidos los renglones de hilo, se forma la maestra con material, arrojándolo contra el regle fijado con clavos, de modo que se llene todo el vacío hasta la pared. Lleno éste, echando el material por un lado y otro, se recorta lo sobrante y se limpia para apartar el regle al primer golpe. Si se hacen de mortero de cal, es mejor el cordel atirantado que no el regle, ya que se le pega el mortero.

Una vez hechas las maestras, todas separadas de forma regular, se pasa a su relleno, y con un regle se hace saltar todo el material sobrante y, si hubiera quedado algún hueco, se vuelve a poner material y se repite la operación.

Pinturas naturales

-Aceites

-Silicatos

-A la cal

-P.naturales Livos.

Mantenimiento y Restauración

Ante cualquier trabajo de rehabilitación de una pieza histórica, tendremos en cuenta los siguientes principios:

- Conocimiento del objeto (historia, comportamiento físico-químico, entorno, condiciones termohigrométricas...)
- Intervenciones mínimas, reversibles y compatibles con otra acción posterior. Puede ser más importante la reversibilidad que la durabilidad de un determinado tratamiento.
- La propia conservación forma parte de la historia del objeto.
- El mantenimiento es la única acción común a cualquier tipo de intervención. No debe excluirse nunca.

En la rehabilitación de construcciones de tierra, distinguimos dos categorías de objetos: lugares o piezas arqueológicas y estructuras en uso. En función de ello y del presupuesto disponible adoptaremos una u otra solución. Sea cual sea ésta:

- NO reemplazaremos un material por otro más resistente que la base.
- NO revestiremos construcciones de tierra con un material más resistente y más impermeable (=CEMENTO).
- NO utilizaremos productos de composición desconocida o secreta.
- NO sellaremos una superficie de tierra con un producto impermeable.

Técnicas de Rehabilitación y conservación.

- Conservación. Es la medida mejor y más económica. Los costes anuales de mantenimiento del revestimiento sólo representan el 1,5% del costo de éste frente a un coste del 130% que representa la restauración de edificios de más de ochenta años de antigüedad y que no han seguido ninguna medida de conservación. Del mismo modo en el caso de los ladrillos es de un 0,32% frente a un 32%, y de un 7.5% frente a un 1.120% en el caso de la pintura.³
- Protecciones artificiales (techos, estructuras, vidrios...)
- Consolidantes (mucha atención con la reacción química. Etilsilicato o silicato potásico.)
- Restauración. - Análisis tecnología a través de la medida de rayos "gamma", de la observación visual y del análisis químico para buscar estabilizantes.
- Análisis de la tierra del lugar
- Revoque o compresión. (ej. papel japonés prensado con consolidantes en Mesa verde y sobre adobe para pinturas)

³ Los costos de mantenimiento. Francisco Cosme de Mazarredo. ASEMAS. 8/1996

Vanos

La forma más "natural" de salvar los huecos en un muro consiste en abrir un arco circular o parabólico, con el mismo material de que está hecho el muro, ya que únicamente se producen esfuerzos de compresión. Pero en general es más fácil interponer un material de naturaleza distinta, resistente a tracción como la madera o el metal, en forma de vigas o la piedra en forma de dintel. Adquiere especial importancia la resolución de los apoyos, ya en estos puntos se concentran las cargas y se produce riesgo de punzonamiento.

Las soluciones pueden consistir en :

1. Aumento de la resistencia a compresión de los bloques de apoyo, mejorando la estabilización, o utilizando un material más resistente.
2. Aumento de la longitud de apoyo del dintel, para mejorar el reparto de cargas.

Interposición de dados o triángulos de reparto de hormigón, mortero de reparto y juntas armadas.

Estanqueidad: Hay que prever la evacuación del agua de lluvia y de condensación y la que pueda gotear por la fachada, con un correcto diseño de la carpintería.

Especial cuidado hay que tener con las aristas por estar expuestas directamente a la erosión del viento y del agua.

Es preferible colocar los bastidores de los marcos después del completo secado de los muros, ya que la retracción provocaría fisuras en la junta de unión.

Los bastidores deben anclarse con tacos de madera u hormigón, de forma cónica, empotrados para atornillar los marcos, o bien directamente sobre jambas o dinteles de otro material más resistente.

Para el dimensionado de los huecos hemos de tener en cuenta que no se supere la proporción de un 35 % de aberturas, en superficie.

Los huecos practicados en un muro de tierra tendrán una anchura que no supere los 120 cm; el ancho mínimo de un macizo entre dos huecos será mayor de 65 cm. y siempre mayor que el espesor del muro; la distancia mínima entre una esquina y un hueco será de 100 cm.

Las relaciones anteriores suelen cumplirse en la arquitectura tradicional, garantizando un buen comportamiento estructural. No obstante pueden superarse estos límites siempre que se adopten las medidas de seguridad en el dimensionado y en el propio diseño de los elementos constructivos.

Zunchos

Las fisuraciones y grietas de las construcciones de tierra son debidas principalmente a:

- Asentamientos diferenciales.
 - Retracciones y dilataciones térmicas.
 - Tensiones de torsión o cortantes debidas a oberturas o uniones de muros mal solucionadas.
 - Tensiones inducidas por los forjados.
 - Empujes laterales debidos al viento, bóvedas, arcos, cúpulas y cubiertas en pendiente.
- Todas estas causas pueden ser controladas, reducidas o evitadas por el zuncho. Básicamente consiste en un "cinturón" perimetral continuo y horizontal destinado a absorber los esfuerzos de tracción y, por tanto, deberá ser rígido e indeformable.
- Además, el zuncho puede servir para:
- Reparto uniforme de cargas puntuales sobre los muros.
 - Dintel
 - Soporte y punto de anclaje para cubiertas y forjados

Los cambios dimensionales provocan fisuras en la fachada a la altura de los forjados; es precisamente aquí donde situaremos el zuncho, que deberá ser solidario con el muro. Tomaremos la precaución de limitar el espesor del zuncho para que no aparezca en fachada, limitando así el riesgo de fisuración del revestimiento, provocada por dilataciones diferenciales y por la posible rotación del muro.

Para evitar la retracción diferencial entre distintos materiales y posibles puentes térmicos, podemos revestir el zuncho con el mismo material del muro. Evitaremos la interposición de materiales muy aislantes por la misma razón.

La fisuración que provocaría el giro del forjado al entrar en carga puede solucionarse marcando la junta y sellándola con un mástico impermeable y elástico.

Las mallas de refuerzo metálicas, vegetales o plásticas pueden reducir la presencia de fisuraciones cuando los materiales de revestimiento tienen comportamientos termohigrométricos diferentes.

5.5 Forjados

Todos estos sistemas son compatibles entre sí con los sistemas y materiales tradicionales de construcción. Aunque la acción del agua puede ser mucho más peligrosa aquí, que en el caso de cualquier otro elemento constructivo. De ahí la importancia de un adecuado mantenimiento, tanto del propio elemento constructivo como de las instalaciones de agua y evacuación, bajantes...

La entrega con el soporte: la carga transmitida por el forjado puede ocasionar una "rotación" o elevación del borde en la entrega sobre los muros y, como consecuencia, producir fisuras en éstos por el interior y por el exterior.

Este efecto puede evitarse:

- Desolidarizando el muro del forjado.
- Instalando un zuncho adecuado.
- Limitando las deformaciones del forjado.

Por otro lado, un forjado muy deformable (por ejemplo, de vigas de madera) puede hacer entrar en carga los tabiques. Esta circunstancia debe preverse tanto a nivel de cálculo como de diseño y de ejecución.

Los forjados de cubierta, además de estas deformaciones, están sometidos a variaciones dimensionales de origen térmico, que no deberán transmitirse a los muros:

Desolidarizando el muro de la cubierta y permitiendo su movimiento.

- Reduciendo las superficies de cubierta.
- Aportando un aislamiento térmico adecuado.
- Aumentando la rigidez con un zuncho o encadenado horizontal.

El apoyo del forjado sobre el muro puede ser un puente térmico; si se alcanza el punto de rocío, se producirán condensaciones. La única manera de solucionarlo es concebir el aislamiento adecuado.

Las cargas concentradas provocan tensiones diferenciales. Se evitarán:

- Repartiendo las cargas uniformemente, aumentando la superficie de apoyo.
- Llevando las cargas al centro de gravedad del muro.
- Previendo una base de apoyo longitudinal para las vigas, que puede ser el mismo zuncho.

La solución a adoptar en cada caso depende del emplazamiento y la función del elemento:

- Apoyo directo en el interior del muro: El reparto de cargas se hará sobre un dado de hormigón, madera o piedra.
- Apoyo sobre el lado del muro: Como en el caso anterior, el apoyo se hará a través de un elemento más resistente.
- Apoyo paralelo al muro: Empleando una estructura independiente, el muro pierde entonces su función estructural.
- Apoyo sobre los cimientos: Ejecutados con un material más resistente. La base del muro puede quedar debilitada al recaer todo el peso sobre materiales heterogéneos.
- Apoyo sobre una zapata: A través de un elemento intermedio.
- Apoyo sobre vigas longitudinales: El problema es la fijación de estas vigas; es más aconsejable que estos elementos de apoyo se integren al propio muro (ladrillos salientes, canecillos de piedra o madera, etc).

5.6 Pavimentos

El punto más delicado a tener en cuenta es el encuentro con los muros.

Las exigencias de los pavimentos de tierra no difieren de las de otros pavimentos convencionales: resistir esfuerzos de punzonamiento, desgaste, ataque del agua o productos químicos (productos de limpieza, ácidos...), fácil mantenimiento, ser durable y eventualmente contener instalaciones (conducciones de agua, de evacuación, instalación eléctrica...).

En el caso de suelos en contacto con el terreno, además deben eliminar las infiltraciones capilares, mejorar la capacidad portante del terreno y aislar térmicamente.

La presencia de agua en los pavimentos puede provenir de la utilización del agua de limpieza, de condensaciones (puentes térmicos, canalizaciones), fugas de canalizaciones, ascensión capilar...

Los forjados "sanitarios" (construidos sobre el terreno) se ejecutan sobre una base de piedras (\varnothing 5 a 10 cm) de 10 a 15 cm. de espesor cubierta por una capa de arena de 8 a 10 cm. de grueso y sobre ellas un grueso de 8 a 10 cm. de tierra apisonada, preferiblemente por tongadas de 4 cm. En total un grueso de 25 a 35 cm.

En edificios semienterrados habrá que disponer una protección especial contra las filtraciones, ya indicadas en otro apartado.

Es conveniente practicar juntas de contracción y dilatación cada 1,50 m. en toda la superficie para minimizar la fisuración, así como disociar el suelo de los muros.

El puente térmico a través del terreno debe controlarse con la interposición de un material aislante, especialmente en los bordes.

La capa superior del suelo debe ser sobreestabilizada, por su mayor exposición al desgaste. Tradicionalmente se trataba la superficie con aceite de linaza, grasas o ceras y bien pulidos podían durar varias décadas.

Pueden emplearse con éxito, sin embargo, ladrillos, baldosas de tierra estabilizada clásicas o machihembradas, o comprimidas a alta presión. Con colorantes minerales pueden obtenerse distintos tonos, aunque, en definitiva, son suelos muy polvorientos.

5.7 Instalaciones

Se debe dejar un espesor y las fijaciones sobredimensionadas de madera.

Se debe desechar el empotramiento (que significa debilitación, condensaciones, fugas...)

-Chimeneas: Su construcción en adobe no presenta ningún problema, aunque es aconsejable la utilización de material refractario en el hogar. El conducto de humos puede llegar a ser muy pesado, por lo que estudiaremos con cuidado su soporte.

-Conductos de humos: Es muy frecuente la aparición de fisuras debidas a la alternancia de temperaturas, que podrían solucionarse con un revestimiento liso interior que además facilitaría el tiro; su ejecución es muy delicada ya que las altas temperaturas podrían ocasionar su desprendimiento.

La cocción sólo llega hasta 10 o 15 mm. de profundidad, con lo que no se obtiene la resistencia de los materiales cerámicos.

La incorporación de los conductos en los muros de tapial es difícil de conseguir sin debilitar el muro, sin pérdida de calor y sin dificultar el compactado.

Conductos de agua, bajantes: No es aconsejable incorporar los conductos de agua en la masa del muro de tierra, por el peligro de fugas, de condensaciones... Si a pesar de todo, se integran en el grosor del muro, estas instalaciones deben ejecutarse con la máxima precaución para no dañarlas durante el compactado y solucionar perfectamente las uniones para evitar las fugas. Conviene agrupar estas canalizaciones para controlar mejor los puntos peligrosos.

Electricidad: El tubo de plástico corrugado puede embeberse en el muro, siguiendo las precauciones antes especificadas. Es preferible prever esperas en el muro que hacer regatas a posteriori.

Fijaciones sobre los muros: Evitaremos en lo posible colgar objetos pesados. Utilizaremos anclajes sobredimensionados (tacos de madera, expandibles...).

Conclusiones

Recomendaciones sobre el método

Aunque el método expuesto de análisis hace mucho hincapié en la ejecución de BTC, **éste es aplicable a cualquier otra tecnología constructiva con tierra**, esencialmente en la mejora y optimización de la composición base de tierra estabilizada.

Básicamente el método que se expone consiste en efectuar un análisis previo ecobioconstructivo de los condicionantes arquitectónicos i socioeconómicos, de la cultura i tradición local, i del entorno geofísico para decidir en una primera instancia la tecnología de ejecución de la obra de tierra. Ello engloba el sistema de estabilización con productos de la zona, la forma de extracción y elaboración de la tierra estabilizada, el sistema de puesta en obra y la manera de construir.

El siguiente paso consiste en determinar dos parámetros físicos determinantes para la durabilidad y la puesta en obra: la **absorción y la retracción** de la tierra sin estabilizar, y averiguar las arcillas que componen el perfil de la fracción fina. Esto último se efectuará considerando la génesis mineralógica del suelo, la identificación organoléptica, la sedimentometría por el método Stokes-Brockville y el análisis termogravimétrico ATD/ATG. **El tamaño, el color, la roca madre y los picos endo-exotérmicos ATD**, constituyen los parámetros fundamentales para su caracterización. Junto a ello, también aporta más datos el análisis químico por el método de las fracciones solubles, la capacidad de intercambio catiónico y el pH.

A partir de ello, se entra en las **tablas de estabilización**, para así obtener una o más dosificaciones optimizadas. Ante la duda, el mejor camino es probar experimentalmente todos los estabilizantes disponibles que parezcan que puedan dar mejores resultados

En la última fase del método analítico, se debe comprobar la efectividad como material constructivo de la mezcla estabilizada. Así se estudiaran resistencia y durabilidad de las diversas series de 5 probetas, con los estabilizantes y proporciones establecidos. La medida de la resistencia, a compresión normalmente y a cortante para zonas sísmicas, se hará mediante microprobetas tipo RILEM de 4x4x4 cms, y en una última instancia de decisión, con probetas reales de BTC.

Para garantizar la durabilidad de la mezcla se adoptará el ensayo cíclico de Humectación salina y Gelifracción, y el análisis de sulfatos en caso de estabilización con cementos no sulforesistentes.

Por último cabe optimizar la humedad de compactación según el tipo de máquina, forma de fabricación, estabilización y curado. El proceso se efectuará mediante una serie de 5 probetas con la estabilización definitiva, con una variabilidad del 1% de tenencia de humedad en frente de la utilizada durante todo el análisis. De ello se extarará una curva humedad- resistencia. Se puede prescindir de la medida de la densidad.

Recomendaciones de diseño

Como técnicos sabemos que no es suficiente ejecutar una obra de calidad y durable con un buen material, sino necesitamos de todo un proceso tecnológico constructivo para su buena aplicación.

En el siguiente apartado se dan unas cuantas recomendaciones para completar esta información referencial de ayuda y apoyo técnico que se brinda a todo aquel que construya en tierra estabilizada.

Cimientos

A los cimientos debemos exigirles la transmisión de las cargas del edificio al suelo de la forma más uniforme posible, la resistencia a cargas dinámicas sísmicas y la deformación compatible con la de la estructura. A la hora de diseñar una estructura de muros de tierra, debemos tener presente la deformabilidad del suelo, especialmente si éste es heterogéneo, ya que podrían producirse asentamientos diferenciales. Debemos también controlar los ciclos de hinchamiento del suelo cuando éste contenga arcillas expansivas, evitando dejar la excavación a cielo abierto demasiado tiempo (ver.0 pág.17).

Para determinar el área de cimentación para una obra de dos plantas, sin la introducción de momentos y cortantes significativos podemos tomar los siguientes valores de referencia en función del tipo de suelo¹:

<i>Rellenos sueltos y cieno</i>	<i>Arcilla muy blanda</i>	<i>Arcilla media a blanda</i>	<i>Arcilla media</i>	<i>Arcilla media a firme</i>	<i>Arcilla firme</i>	<i>Arcilla dura</i>
$1 \text{ Kpa} = 10^{-2} \text{ Kp/cm}^2$	50 KPa	75-150 KPa	150 KPa	150-250 KPa	250 Kpa	300-400 KPa
<i>Arena fina suelta</i>	<i>Arena gravosa suelta</i>	<i>Arena gruesa suelta</i>	<i>Arena fina compacta</i>	<i>Grava suelta</i>	<i>Arena gruesa compacta</i>	<i>Arena gravosa compacta</i>
100 KPa	200 KPa	200 KPa	250 KPa	200 KPa	300 KPa	600 KPa

* estas se reducirán a la mitad si el nivel freático se encuentra a una profundidad menor de 1.5 veces la anchura de cimentación.

El hecho de estar en contacto con el suelo hace que los cimientos sean un punto propicio para la entrada de agua en el edificio. Las soluciones deben preverse desde el inicio, para evitar las costosas reparaciones a que daría lugar un diseño incorrecto.

La solución más aconsejable, consiste en realizar un buen drenaje perimetral a lo largo de todo el edificio, con relleno de grava y arena, o bien dejando una cámara de aire ventilada. Las barreras estancas son eficaces, pero deben ser perfectamente continuas en todo el espesor y longitud de los muros. También es conveniente adecuar el terreno circundante para facilitar la evacuación del agua: pendientes, rigolas, canales, revestimientos... En caso de no haber solucionado el problema desde el principio, los dispositivos de saneamiento pueden ir desde un zócalo permeable que aumenta la superficie de evaporación del agua infiltrada, la inserción de capas impermeables, la inyección de productos hidrófugos, hasta la electroósmosis.

El ataque de los seres vivos (roedores, insectos...) musgos y líquenes, puede evitarse manteniendo la tierra libre de humedad y de materia orgánica.

Existen las diferentes tipologías:

1. Capas de piedra y barro.
2. Terrocemento u hormigón de tierra estabilizada: a utilizar únicamente en terreno seco y libre de infiltraciones, estabilizado entre 7 y 10 % de cemento, mejora la resistencia y la impermeabilidad. No recomendable en zonas sísmicas.
Puede realizarse directamente sobre la zanja o con encofrado a dos caras, pero siempre sobre una base de hormigón de limpieza o sobre un fondo de piedras de 25/50 mm. Si el terreno es muy deformable o la estructura no admite asentamientos, deben realizarse los cimientos en hormigón armado.
3. Ladrillos de tierra estabilizada: sobre terreno seco y bien drenado. Es indispensable el hormigón de limpieza y un buen drenaje, con protección de paramentos y barrera estanca horizontal.
4. Capas de piedra y terrocemento
5. Mampostería de piedra: tomada con mortero de cal hidráulica o bastardo (cemento y cal, 1:1), la capa superior recibirá una lámina estanca sobre un enfoscado liso.
6. Hormigón ciclópeo: sobre el hormigón de limpieza, encajamos las piedras, de 7 a 15 cm, en la primera capa de 10 cm. de hormigón y rellenamos hasta sobrepasar unos 3 cm; repetimos la operación hasta la última capa que recibirá un acabado rugoso y bien nivelado.
7. Hormigón en masa o armado: según el procedimiento habitual.

Características que debe cumplir:

-Altura del zócalo: según la pluviosidad y la protección (aleros...), la observación de las construcciones tradicionales vecinas suele dar buenos resultados. Sería aconsejable hacer sobrecimientos de 20 a 80 cm.

Tipos de sobrecimientos:

- Piedra + 1 cemento + 6 arena.
- Piedra + 1 cal + 5 arena (Es el mejor para temblores. Es muy plástico).
- Piedra + 1 cemento + 1 cal + 8 arena.
- Piedra + mortero romano = 2 polvo de ladrillo + 1 cal apagada + 6 arena ó 9 arena.

-Expulsión del agua: En terrenos permeables, bien drenados, con infiltraciones eventuales pero sin acumulación de agua, es decir, con riesgo mínimo, será suficiente un enlucido bituminoso o hidrófugo en una o varias capas. Si existe riesgo de acumulación y el terreno es poco permeable, deberemos mejorar el drenaje y reforzar la protección. Cuando el riesgo es muy alto, es necesario un estudio técnico detallado de las condiciones particulares.

-Barrera contra infiltraciones capilares: extendida en una capa horizontal de unos 2 cm. sobre los cimientos, con una dosificación de cemento Portland de 500 Kg/m³ con un producto impermeabilizante. Las barreras bituminosas se realizarán según las prescripciones del fabricante.

-Drenajes: elemento esencial a ejecutar desde el inicio de la obra, con mucha precisión en su trazado, profundidad y pendiente.

Muros

La escasa resistencia a tracción de los muros de tierra exige un riguroso estudio de la estructura para obtener un reparto de cargas uniforme y equilibrado, eliminando cargas excéntricas, flexiones y concentraciones puntuales de cargas.

En cuanto a los ladrillos de tierra comprimida, o los adobes, los principios constructivos deben responder a las mismas exigencias que en la obra tradicional: juntas perpendiculares a las líneas de presión, juntas verticales no alineadas, trabazón de muros perpendiculares... El mortero de agarre será de la misma composición que los bloques o adobes, que previamente a su colocación deberán humedecerse.

Para los grandes elementos (tapial) debemos aplicar los mismos principios: romper juntas verticales (algunos aconsejan esquinas con 2/3 tapial), trabazón de muros, etc. En cuanto al comportamiento mecánico, para edificios de hasta 3 plantas, se puede considerar suficiente una tensión admisible de 20 a 30 Kg/cm², aunque con una buena estabilización pueden alcanzarse resistencias muy superiores (hasta 100 Kg/cm²).

Variaciones de humedad: En función de la proporción de finos y arcillas que contenga la mezcla, se pueden producir fenómenos de retracción, especialmente durante el secado del tapial, que puede durar hasta 2 años. No es conveniente, por tanto, aplicar el revestimiento durante este período. Para evitar la fisuración a que daría lugar la retracción, habrá que compactar la tierra en su estado de humedad óptimo, que depende de la composición de la mezcla y del tipo de estabilización de la misma. También pueden aparecer ciclos de hinchamiento-retracción, según las variaciones de la humedad ambiente.

La tipología de los muros es amplísima, en función de las particularidades de cada proyecto y de las condiciones del lugar, así como de las propiedades deseadas:

- Sin corte de capilaridad, con o sin revestimiento exterior, únicamente en terrenos secos, libres de filtraciones y pluviosidad reducida.
- Con aislante no hidrófilo, cuando se requiera un grado de aislamiento muy alto; en este caso se pierde la propiedad de la inercia térmica, lo cual hace apto este tipo de muro para las orientaciones más desfavorables.
- Con cámara aislante continua, que corta el flujo de transmisión térmica, reduciendo también la capacidad de retardo de la misma. En este caso debe preverse una adecuada evacuación del agua que pueda entrar en la cámara.
- Revestimiento exterior a base de madera, pizarra, etc.
- Revestimiento estanco, para conseguir una protección especial respecto al agua.
- Dimensiones: (valores indicativos).

El espesor habitual de los muros de tapial es de unos 40 cm, aunque puede variar entre 20 y 80 cm, según la función, las características térmicas deseadas y el aislamiento, aunque es preferible un mínimo de 35 cm. para facilitar el compactado. En construcciones como castillos, murallas, etc, el espesor puede superar los 200 cm, consiguiendo una inexpugnabilidad máxima.

Los muros de adobe pueden variar de 10 a 80 cm. en función del aparejo empleado. En el caso de los entramados, el espesor puede reducirse incluso hasta los 5 cm, ya que viene determinado por el grosor del propio entramado, actuando la tierra como simple relleno. En climas fríos se utiliza únicamente en divisiones interiores, pero en climas templados puede ser exterior.

El espesor mínimo alcanzable está determinado por la esbeltez, o relación entre la altura y el grueso de cada elemento: $E=h/e$. Si esta relación oscila entre 5 y 8, el elemento no presentará problemas de pandeo, es decir deformación lateral o desplome. El límite de seguridad será 10, siempre que no se adopten medidas especiales de seguridad, como refuerzos intermedios o trabado con otros elementos.

Para el cálculo de elementos resistentes de tierra consideraremos el esfuerzo de compresión admisible con un coeficiente de seguridad igual a 10, y un esfuerzo de tracción nulo.

El mortero de las juntas tendrá un espesor de entre 1 y 2 cm. y su composición será lo más parecida posible a la de los adobes o bloques que una.

La longitud máxima de los muros de traba es de 5 a 6 m.

Las condiciones que deberá cumplir el muro serán:

espesor $d=0,043 h$ (altura) >15 cm.

$d=0,12 h$.

(zonas muy sísmicas)

Y su longitud $l < 12 d$.

Los machones de las ventanas a la esquina $l > 1,20$ ó $3 d$.

Cálculo de la esbeltez $l=h/a.ev$.

Se duplica en casos sin arriostramiento horizontal con 3 plantas.

Se multiplica por 1,5 con 2 plantas.

Vanos

La forma más "natural" de salvar los huecos en un muro consiste en abrir un arco circular o parabólico, con el mismo material de que está hecho el muro, ya que únicamente se producen esfuerzos de compresión. Pero en general es más fácil interponer un material de naturaleza distinta, resistente a tracción como la madera o el metal, en forma de vigas o la piedra en forma de dintel. Adquiere especial importancia

la resolución de los apoyos, ya en estos puntos se concentran las cargas y se produce riesgo de punzonamiento.

Las soluciones pueden consistir en :

1. Aumento de la resistencia a compresión de los bloques de apoyo, mejorando la estabilización, o utilizando un material más resistente.
2. Aumento de la longitud de apoyo del dintel, para mejorar el reparto de cargas.

Interposición de dados o triángulos de reparto de hormigón, mortero de reparto y juntas armadas.

Estanqueidad: Hay que prever la evacuación del agua de lluvia y de condensación y la que pueda gotear por la fachada, con un correcto diseño de la carpintería.

Especial cuidado hay que tener con las aristas por estar expuestas directamente a la erosión del viento y del agua.

Es preferible colocar los bastidores de los marcos después del completo secado de los muros, ya que la retracción provocaría fisuras en la junta de unión.

Los bastidores deben anclarse con tacos de madera u hormigón, de forma cónica, empotrados para atornillar los marcos, o bien directamente sobre jambas o dinteles de otro material más resistente.

Para el dimensionado de los huecos hemos de tener en cuenta que no se supere la proporción de un 35 % de aberturas, en superficie.

Los huecos practicados en un muro de tierra tendrán una anchura que no supere los 120 cm; el ancho mínimo de un macizo entre dos huecos será mayor de 65 cm. y siempre mayor que el espesor del muro; la distancia mínima entre una esquina y un hueco será de 100 cm.

Las relaciones anteriores suelen cumplirse en la arquitectura tradicional, garantizando un buen comportamiento estructural. No obstante pueden superarse estos límites siempre que se adopten las medidas de seguridad en el dimensionado y en el propio diseño de los elementos constructivos.

Zunchos

Las fisuraciones y grietas de las construcciones de tierra son debidas principalmente a:

- Asentamientos diferenciales.
- Retracciones y dilataciones térmicas.
- Tensiones de torsión o cortantes debidas a oberturas o uniones de muros mal solucionadas.

- Tensiones inducidas por los forjados.
- Empujes laterales debidos al viento, bóvedas, arcos, cúpulas y cubiertas en pendiente. Todas estas causas pueden ser controladas, reducidas o evitadas por el zuncho. Básicamente consiste en un "cinturón" perimetral continuo y horizontal destinado a absorber los esfuerzos de tracción y, por tanto, deberá ser rígido e indeformable. Además, el zuncho puede servir para:
 - Reparto uniforme de cargas puntuales sobre los muros.
 - Dintel
 - Soporte y punto de anclaje para cubiertas y forjados

Los cambios dimensionales provocan fisuras en la fachada a la altura de los forjados; es precisamente aquí donde situaremos el zuncho, que deberá ser solidario con el muro. Tomaremos la precaución de limitar el espesor del zuncho para que no aparezca en fachada, limitando así el riesgo de fisuración del revestimiento, provocada por dilataciones diferenciales y por la posible rotación del muro.

Para evitar la retracción diferencial entre distintos materiales y posibles puentes térmicos, podemos revestir el zuncho con el mismo material del muro. Evitaremos la interposición de materiales muy aislantes por la misma razón.

La fisuración que provocaría el giro del forjado al entrar en carga puede solucionarse marcando la junta y sellándola con un mástico impermeable y elástico.

Las mallas de refuerzo metálicas, vegetales o plásticas pueden reducir la presencia de fisuraciones cuando los materiales de revestimiento tienen comportamientos termohigrométricos diferentes.

Forjados

Todos estos sistemas son compatibles entre sí con los sistemas y materiales tradicionales de construcción. Aunque la acción del agua puede ser mucho más peligrosa aquí, que en el caso de cualquier otro elemento constructivo. De ahí la importancia de un adecuado mantenimiento, tanto del propio elemento constructivo como de las instalaciones de agua y evacuación, bajantes...

La entrega con el soporte: la carga transmitida por el forjado puede ocasionar una "rotación" o elevación del borde en la entrega sobre los muros y, como consecuencia, producir fisuras en éstos por el interior y por el exterior.

Este efecto puede evitarse:

- Desolidarizando el muro del forjado.
- Instalando un zuncho adecuado.
- Limitando las deformaciones del forjado.

Por otro lado, un forjado muy deformable (por ejemplo, de vigas de madera) puede hacer entrar en carga los tabiques. Esta circunstancia debe preverse tanto a nivel de cálculo como de diseño y de ejecución.

Los forjados de cubierta, además de estas deformaciones, están sometidos a variaciones dimensionales de origen térmico, que no deberán transmitirse a los muros:

Desolidarizando el muro de la cubierta y permitiendo su movimiento.

- Reduciendo las superficies de cubierta.
- Aportando un aislamiento térmico adecuado.
- Aumentando la rigidez con un zuncho o encadenado horizontal.

El apoyo del forjado sobre el muro puede ser un puente térmico; si se alcanza el punto de rocío, se producirán condensaciones. La única manera de solucionarlo es concebir el aislamiento adecuado.

Las cargas concentradas provocan tensiones diferenciales. Se evitarán:

- Repartiendo las cargas uniformemente, aumentando la superficie de apoyo.
- Llevando las cargas al centro de gravedad del muro.
- Previendo una base de apoyo longitudinal para las vigas, que puede ser el mismo zuncho.

La solución a adoptar en cada caso depende del emplazamiento y la función del elemento:

- Apoyo directo en el interior del muro: El reparto de cargas se hará sobre un dado de hormigón, madera o piedra.
- Apoyo sobre el lado del muro: Como en el caso anterior, el apoyo se hará a través de un elemento más resistente.
- Apoyo paralelo al muro: Empleando una estructura independiente, el muro pierde entonces su función estructural.
- Apoyo sobre los cimientos: Ejecutados con un material más resistente. La base del muro puede quedar debilitada al recaer todo el peso sobre materiales heterogéneos.
- Apoyo sobre una zapata: A través de un elemento intermedio.
- Apoyo sobre vigas longitudinales: El problema es la fijación de estas vigas; es más aconsejable que estos elementos de apoyo se integren al propio muro (ladrillos salientes, canchillos de piedra o madera, etc).

Pavimentos

El punto más delicado a tener en cuenta es el encuentro con los muros.

Las exigencias de los pavimentos de tierra no difieren de las de otros pavimentos convencionales: resistir esfuerzos de punzonamiento, desgaste, ataque del agua o productos químicos (productos de limpieza, ácidos...), fácil mantenimiento, ser durable

y eventualmente contener instalaciones (conducciones de agua, de evacuación, instalación eléctrica...).

En el caso de suelos en contacto con el terreno, además deben eliminar las infiltraciones capilares, mejorar la capacidad portante del terreno y aislar térmicamente. La presencia de agua en los pavimentos puede provenir de la utilización del agua de limpieza, de condensaciones (puentes térmicos, canalizaciones), fugas de canalizaciones, ascensión capilar...

Los forjados "sanitarios" (construidos sobre el terreno) se ejecutan sobre una base de piedras (\varnothing 5 a 10 cm) de 10 a 15 cm. de espesor cubierta por una capa de arena de 8 a 10 cm. de grueso y sobre ellas un grueso de 8 a 10 cm. de tierra apisonada, preferiblemente por tongadas de 4 cm. En total un grueso de 25 a 35 cm. En edificios semienterrados habrá que disponer una protección especial contra las filtraciones, ya indicadas en otro apartado.

Es conveniente practicar juntas de contracción y dilatación cada 1,50 m. en toda la superficie para minimizar la fisuración, así como disociar el suelo de los muros. El puente térmico a través del terreno debe controlarse con la interposición de un material aislante, especialmente en los bordes.

La capa superior del suelo debe ser sobreestabilizada, por su mayor exposición al desgaste. Tradicionalmente se trataba la superficie con aceite de linaza, grasas o ceras y bien pulidos podían durar varias décadas.

Pueden emplearse con éxito, sin embargo, ladrillos, baldosas de tierra estabilizada clásicas o machihembradas, o comprimidas a alta presión. Con colorantes minerales pueden obtenerse distintos tonos, aunque, en definitiva, son suelos muy polvorientos.

Instalaciones

Se debe dejar un espesor y las fijaciones sobredimensionadas de madera. Se debe desechar el empotramiento (que significa debilitación, condensaciones, fugas...)

-Chimeneas: Su construcción en adobe no presenta ningún problema, aunque es aconsejable la utilización de material refractario en el hogar. El conducto de humos puede llegar a ser muy pesado, por lo que estudiaremos con cuidado su soporte.

-Conductos de humos: Es muy frecuente la aparición de fisuras debidas a la alternancia de temperaturas, que podrían solucionarse con un revestimiento liso interior que además facilitaría el tiro; su ejecución es muy delicada ya que las altas temperaturas podrían ocasionar su desprendimiento.

La cocción sólo llega hasta 10 o 15 mm. de profundidad, con lo que no se obtiene la resistencia de los materiales cerámicos.

La incorporación de los conductos en los muros de tapial es difícil de conseguir sin debilitar el muro, sin pérdida de calor y sin dificultar el compactado.

Conductos de agua, bajantes: No es aconsejable incorporar los conductos de agua en la masa del muro de tierra, por el peligro de fugas, de condensaciones... Si a pesar de todo, se integran en el grosor del muro, estas instalaciones deben ejecutarse con la máxima precaución para no dañarlas durante el compactado y solucionar perfectamente las uniones para evitar las fugas. Conviene agrupar estas canalizaciones para controlar mejor los puntos peligrosos.

Electricidad: El tubo de plástico corrugado puede embeberse en el muro, siguiendo las precauciones antes especificadas. Es preferible prever esperas en el muro que hacer regatas a posteriori.

Fijaciones sobre los muros: Evitaremos en lo posible colgar objetos pesados. Utilizaremos anclajes sobredimensionados (tacos de madera, expandibles...).

Conclusiones sobre los bloques obtenidos en la parte experimental

En base a toda la amplia experimentación y métodos expuestos, podemos afirmar que hoy en día es factible tener un material de calidad y estandarizable ejecutado con tierra. Para ello es indispensable seguir el método expuesto para garantizar unas resistencias mínimas, una durabilidad ante el ataque del agua y sales predominantemente, y un control de las prestaciones arquitectónicas obtenidas.

En síntesis todos los parámetros que hemos considerado deben mostrar ante técnicos, aseguradoras, organismos y colegios oficiales, una seguridad y control de este material milenario, para equipararlo al resto de tecnologías constructivas que tenemos a nuestro alcance.

Así se presenta en esta Tesis, a modo de conclusión, lo que sería la primera ficha técnica de un bloque industrializable de tierra estabilizada.

FICHA TÉCNICA BLOQUE BTC BIOTERRE Fabricante. **Grup .PLANAS**

CARACTERÍSTICAS GENERALES:



Bloque macizo comprimido por hiperpresión en prensa hidráulica entre 50Kp/cm² a 100Kp/cm².
 análogo al PiedraBlock de ItalMexicana o al BTC de Altech (Embrún Francia).
 Curado Hidráulico-Solar.
 Resistencia final máxima a los 700 días de su fabricación, resistencia a 28 días 75%

COMPOSICIÓN BASE:

Tierras con granulometría y composición preseleccionada, estabilizadas con cemento, cal y adiciones puzolánicas naturales,
 Parámetros de control establecidos por :
 la ASTM de 4609-94 "guia estándar para evaluar la efectividad de los compuestos químicos para la estabilización de suelos", los métodos de dosificación del Grupo Architerre y el INSA (Instituto Nacional de las Ciencias Aplicadas de Lyon), el ENTPE (Francia) , de la Associação Brasileira de Cimento portland, la British Standards » y el ICCROM-CRATerre-Univ Grenoble 1988 », el método de las fracciones solubles (Gorná », UPC 1999), y el método de mejora de BTC (Barbeta, G. Tesis Doctotal UPC 2001).

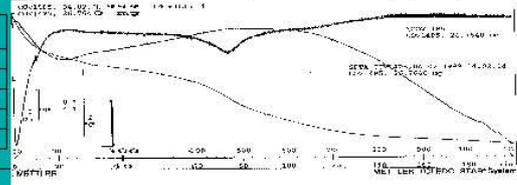
CODIGO MUESTRA	COV14P	FECHA DE FABRICACIÓN	12/03/99
CARACTERÍSTICAS BLOQUE:	DIMENSIONES	29 x 14,5 x 9,5 cms 0,2mm	P= 7,15 Kgrs
ASTM 1633-96 SUELO-CEMENTO RESISTENCIA COMPRESIÓN		$\sigma =$	108 Kp/cm ² 50% HÚMEDO
MODULO DE ELASTICIDAD		$E =$	25.409 Kp/cm ²
RESISTENCIA A TRACCIÓN $\sigma =$	21,525 Kp/cm ²	RESISTENCIA A CORTANTE $\sigma =$	10,76 Kp/cm ²
RESISTENCIA A FLEXIÓN $\sigma =$	12,32 Kp/cm ²	CONTRACCIÓN LINEAL FÁBRICA $\rho =$	0,3 mm/m
AISLAMIENTO TÉRMICO. e=30cms apartir de las Normas UNE-92-001-90/91 UNE 92-201-89 UNE-92-202-89 ISO/DIS 8990			
$\lambda =$	0,415 W/m % a 0 °C	$K =$	1,06 W/m ² °C >1,4 cumple NBE CT-79
$\lambda =$	0,546 W/m % a 35 °C	$K =$	1,30 W/m ² °C
μ factor de amortiguamiento= $\exp(-e \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot \delta / \Delta T)$	0,82	ϕ Desfase térmico= $T/2 \cdot e / \lambda \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot \delta / \pi \cdot T$	7,99 horas
AISLAMIENTO ACÚSTICO $e=30$ R_g en dB (A)=	54,0	RESISTENCIA AL FUEGO	>240 m TIPO MD (segun NBE-CPI-99)
PARÁMETROS DE EJECUCIÓN REFERENCIA NORMATIVA CUMPLIMIENTO NBE-FL-90 NTE-EFL-77			
MORTEROS	Mortero M-80B con adición de un 50% de tierra preparada TMA<5mm.	JUNTAS	15 mm
APAREJO	Validos los propios del ladrillo perforado y macizo. Junta laberintica.	ROZAS MAX.	25mm en tramos <1,5m
JUNTAS DILATACIÓN	<40m y <20m en morfología L o U	HUECOS	Anchura>D. entre huecos, husco-encuentro muros >0,5m

ANÁLISIS CRISTALOGRAFICO Y PETROGRAFICO



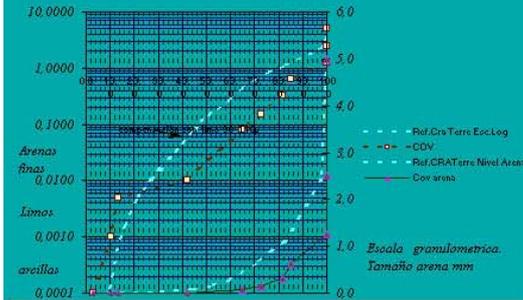
COMPONENTES POR ATG	PORCENTAJE
CAOLINITA	17,8%
MONTMORILLONITA	18,2%
CARBONATO CÁLCICO	20,8%
BATERITAS +SEPIOLITA	10%
SAPONITA	6,5%

ATD/ATG: Universidad de Girona. Dept. Física Aplicada



La analítica por Análisis térmico Diferencial del BLOQUE ESTABILIZADO , se ha realizado sobre muestra de la fracción fina inalterada, obtenida a partir de un proceso de decantación y secado a 24horas <60°C , hasta conseguir peso constante.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS		No. Nivel arcilla	No. Nivel limos	Nivel arena	ANÁLISIS FÍSICOS	
Normas UNE 7-324-76 i ASTM 02419					segun UNE-ASTM y Lab. Oficiales. Norma Americana AOAC.	
Proceso granulometrico-sedimentometrico ajuste curva Fuller					mg/Kgr a 5gr/100ml. ph.7 acetato amónico. ylo 5grs (negrita) con ataque CIH 10%	
	<10µ		10µ-100µ	>100µ	Conductividad solub 1/5	COV
	Na0'		NI0'	No.7	pH Solub 1/2,5 No. ASTM D.4972-99 0120-	9,60
	Valores comparacion con los resultados granulométricos				Sales solub. mgr/ml EHE <0,052	97,08
	12,79%	45,98%	32,67%		Residu SO3. max. HA-20 8000mgr/Kgr.	0,14%
					NO3-	5,00
					Cl-	35,50
					CaCo3. Método calcimetro	20,28%
					por absorción atómica y método fracciones solubles. %	
					Mg++	9,95%
					Na+	0,15%
					K+	0,38%
					Ca++	11,72%
					Ca O	16,40%
					SiO2 Soluble	0,58%
					R2O3 Al2O3+TiO2+Fe2 O3	0,28%



0 Método de dosagem de solo-cemento. Associação Brasileira de Cimento portland. Sao Paulo, 1941. (Bol. SC-2) y " British Standard method of test for stabilized soils. Edit. British Standards Institution. London 1957. (B.S 1924)

1. Chemical analysis of hardened concretes and mortars with active additions. A new procedure for its identification. Aut. Gomá, F.G y Vicente M.D. Edit. Proceedings of the International Conference Creating with concrete and mortar. R.K Dhir y M.C.Limbachya. sep.1999.

2. A Laboratory Manual For Architectural Conservators. Aut. Jeanne Marie Teutonico . ICCROM Roma 1988

"Manual de laboratorio", EAG.CRA Terre, 1992.

"Village Terre", CRA Terre. Ministère de l'Urbanisme et du Logement, 1982.

3. Étude de l'aptitude des sols a la stabilisation au ciment application a la construction. Aut. Jean Michele Gressillon. Annales de L'Institut technique du bâtiment et des travaux publics n° 361 1978.

Factors influencing some of the physycal properties of soil-cement mixtures. Aut. Felt, B.J Edit. Chicago, PCA, 1955.

Progress report on California experience with cement treated bases. Aut. Stanton T.E., Hveen F.N, y Beatty J.L. Edit. Highway Research Board, Proc. 279-295. 1943

Para su Normalización también cabrá tener en cuenta las siguientes Normativas vigentes:

En base a esto, en 1945 se establecen en Francia, los tres primeros documentos técnicos (REEF)^u :

DTC 2201. Hormigón de Tierra estabilizada

DTC 2101. Construcción en Hormigón de Tierra

DTC 2102. Hormigón de tierra estabilizada con aglomerantes hidráulicos

Las condiciones técnicas en que estas primeras normas inciden, son tan solo sobre dosificación, resistencia característica y proceso de ejecución.

Se establecen los siguientes parámetros técnicos: Resistencia a la compresión de 15Kp/cm²; coeficiente de trabajo en muros exteriores de 1Kp/cm² y de 2Kp/cm². UBC 1958. Uniform Building Code U.S.A. Estas normas para la construcción con adobe estabilizado establecen los siguientes parámetros:

- compresión mínima de 24Kp/cm²
- módulo de rotura mínimo 4Kp/cm²
- absorción máxima a los 7 días del 2,5% del peso seco
- contenido de agua máximo 4% del peso seco
- profundidad media de huecos provocados por la erosión 0,5 cm
- las fisuras deben ser menores de 3mm. de ancho y 7,5cm de largo. Con menos de 3 fisuras por bloque.
- Recomendaciones de la ONU. Centro Interamericano de la Vivienda CIMBA.
- Resistencia mínima en estado húmedo de 14Kp/cm²
- Pérdida de peso después de 12 ciclos de humectación y secado de un 5% en construcciones urbanas, y hasta un 10% si el clima es seco.
- En construcciones rurales sencillas un 10% en todos los casos
- El módulo de esbeltez debe ser inferior a 18
- Los coeficientes de seguridad respecto a la resistencia de compresión serán según el módulo de esbeltez del muro

módulo de esbeltez H/A	coeficiente de seguridad
16	41
14	25
10	18
6	12

Recomendaciones para el adobe estabilizado en Perú.

- Resistencia mínima a compresión de 14Kp/cm².
- Módulo de rotura superior a 3,5Kp/cm².
- Coeficiente de absorción debe ser inferior al 4%.
- Recomendaciones de Middleton. Australia.
- La relación de espesor de los muros portantes en su base y la altura total no debe ser menor que 1/18

espesor del muro en m.	0,3	0,35	0,4	0,45
altura del muro	2,75/3	3/4	3/5	3/5,5
altura entre dos niveles	4/5	4/6	5/6,7	5/6,3
	longitud máxima entre 2 refuerzos del muro en m.			
muro sin vano	9	10,75	12	13,75

muros con uno o varios vanos < 1,4m	7,3	8,5	9,75	11
muros con un vano en el extremo	6,5	7,5	8,5	9,5
muro con varios vanos o uno de 3,6m. de ancho	5,5	6,5	7,3	8

- En 1995 a partir del fórum industrial de CONSTRUCT'95 en Libreville en Gabón, organizado por el UDFEAC y el CDI (Centro para el Desarrollo Industrial de la Unión Europea), se desarrolla un enorme interés, por las empresas medianas y pequeñas de los países Africanos de la Zona, en la utilización del BTC. Esto motivó la elaboración, por estas organizaciones, de una **Guía Normativa sobre el BTC en les Pays ACP (Afrique Caraïbes Pacifique)**,⁴ que sirviera para la posterior elaboración de normas Nacionales.

- Pima County/City of Tucson, ' 1994 Building Code modifications, appendix Chapter 71: Earthen Materials Structures, Appendix Chapter 71-1: Standard methods of sampling and testing of Earthen Building Materials, Appendix Chapter 72: Straw Bale Structures'.

New Mexico Adobe and Rammed Earth Building-Code

Regulation & Licensing Department
Construction Industries Division
General Construction Bureau
725 St. Michaels Drive, P.O. Box 25101
Santa Fe, New Mexico 87504

1991 NEW MEXICO BUILDING CODE
CID-GCB-NMBC-91-1

PART I

ADMINISTRATIVE Chapter 1 TITLE, PURPOSE AND SCOPE

Title

⁴ CRA-Terre. Centre International de la construction en terre-École d'architecture de Grenoble/ ORAN-Organisation Régionale Africaine de Normalisation et du laboratoire géomatériaux-URA du CNRS n° 1652 de l'ENTPE (École Nationale des Travaux Publics de l'état de Lyon).

Sec. 101

(a) The 1991 New Mexico Building Code is hereby adopted by the Commission, in conjunction with the 1991 Uniform Building Code.

This code may be amended from time to time by the Bureau and approved by the Commission and may be cited as such and will be referred to as the New Mexico Building Code.

Alternate Materials and Methods of Construction

Sec. 105

(a) The provisions of this code are not intended to prevent the use of any material or method of construction not specifically prescribed

by this code, provided any alternate has been approved and its use authorized by the building official.

(b) The building official may approve any such alternate, provided he finds that the provided design is satisfactory and complies with the

provision of this code and that the material, method or work offered is, for the purpose intended, at least equivalent of that prescribed in this code in suitability, strength, effectiveness, fire resistance, durability, safety and sanitation.

(c) The building official shall require that sufficient evidence or proof be submitted to substantiate any claims that may be made

regarding its use. The details or any action granting approval or an alternate shall be recorded and entered in the files of the code enforcement agency.

Modifications

Sec. 106.

(a) Whenever there are practical difficulties involved in carrying out the provisions of this code, the building official may grant

modifications for individual cases, provided he shall first find that a special individual reason makes the strict letter of this code impractical and that the modification is In conformity with the spirit and purpose of this code and that the modification does not

lessen any fire protection requirements or any degree of structural integrity. The details of any action granting modification shall be recorded and entered into the files of the code enforcement agency.

Tests

Sec. 107.

(a) Whenever there is insufficient evidence of compliance with any of the provisions of this code or evidence that any material or construction does not conform to the requirements of this code, the building official may require tests as proof of compliance to be made at no expense to this jurisdiction.

(b) Test methods shall be as specified by this code or by other recognized test standards. If there are no recognized and accepted test methods for the proposal alternate, the building official shall determine test procedures.

(c) All tests shall be made by an approved agency. Reports of such tests shall be retained by the building official for the period required for the retention of public records.

PART V

ENGINEERING REGULATIONS-QUALITY AND DESIGN OF MATERIALS OF CONSTRUCTION

Chapter 24

MASONRY

Unburned Clay Masonry (Adobe)

Sec. 2413

(a) General. Masonry of unburned clay units shall not be used in any building more than two (2) stories in height. The height of every wall of unburned clay units without lateral support shall be not more than ten (10) times the thickness of such walls. Exterior walls, which are laterally supported with those supports located no more than 24 feet apart, are allowed a minimum thickness of 10 inches for single story and a minimum thickness of 14 inches for the bottom story of a two story with the upper story allowed a minimum thickness of 10 inches. Interior bearing walls are allowed a minimum thickness of 8 inches. Upward progress of walls shall be in accordance with acceptable practices.

(b) Soil. The best way to determine the fitness of a soil is to make a sample brick and allow it to cure in the open, protected from moisture. It should dry without serious warping or cracking. A suitable adobe mixture of sand and clay shall contain not more than 2% of water soluble salts.

(c) Classes of Earthen Construction.

1. Stabilized Adobes.

The term "stabilized" is defined to mean water resistant adobes made of soils to which certain admixtures are added in the manufacturing process in order to limit the adobe's water absorption. Exterior walls constructed of stabilized mortar and adobe require no additional protection. Stucco is not required. The test required is for a dried four inch (4") cube cut from a sample unit and shall absorb not more than four percent moisture by weight when placed upon a constantly water saturated porous surface for seven (7) days. An adobe unit which meets this specification shall be considered "stabilized"

2. Untreated Adobes.

Untreated adobes are adobes which do not meet the water absorption specifications. Use of untreated adobes is prohibited within 4 inches above the finished floor grade. Stabilized adobes and mortar may be used for the first 4 inches above finished floor grade. All untreated adobe shall have an approved protection of the exterior walls.

3. Hydraulically Pressed Units.

Sample units must be prepared from the specific soil source to be used. Production units must be cured for a period of fourteen (14) days prior placement. The building official may require additional test procedures outlined in Paragraphs D,G, H and I at his discretion.

4. Terrones.

The term terrone shall refer to cut sod bricks. Their use is permitted if units are dry and the wall design is in conformance with this code.

5. Burned Adobe.

The term "burned adobe" shall refer to mud adobe bricks which have been cured by low temperatures kiln firing. This type of

brick is not generally dense enough to be "frost proof" and may deteriorate rapidly with seasonal freeze-thaw cycles. Its use for exterior locations is discouraged in climate zones with daily freeze-thaw cycles.

6. Rammed Earth.

a. Soils. See Section 2413 (b).

b. Moisture Content. Moisture content of rammed earth walls shall be suitable for proper compaction.

c. Forms. Suitable forms shall be used.

d. Lifts and Compaction. Uncompacted damp soil shall be compacted in lifts not to exceed 6" until suitable compressive strength is achieved.

e. Tests. Testing of rammed earth construction shall be in accordance with approved standards.

f. Curing. The building officials may allow continuous construction of rammed earth prior to the full curing process, provided proper compaction methods are followed.

(d) Sampling.

Each of the tests prescribed in this section shall be applied to sample units selected at random at a ratio of 5 units/25,000 bricks to be used or at the discretion of the building official.

(e) Moisture Content.

The moisture content of untreated units shall be not more than four percent of weight.

(f) Absorption:

A dried four (4) inch cube cut from a sample unit shall absorb not more than four percent moisture by weight when placed upon a constantly water saturated porous surface for seven (7) days. An adobe unit which meets this specification shall be considered "stabilized"

(g) Shrinkage Cracks.

No units shall contain more than three shrinkage cracks, and no shrinkage crack shall exceed two (2) inches in length or one-eighth (1/8) inch width.

(h) Compressive Strength.

The units shall have an average compressive strength of 300 pounds per square inch when tested. One sample out of five may have a compressive strength of not less than 250 pounds per square inch.

(i) Modulus of Rupture:

The unit shall average 50 pounds per square inch in modulus of rupture when tested according to the following procedures:

a. A standard 4x10x14 cured unit shall be laid over (cylindrical) supports two (2) inches from each end, and extending across the full width of the unit.

b. A cylinder two (2) inches in diameter shall be laid midway between and parallel to the supports.

c. Load shall be applied to the cylinder at the rate of 500 pounds per minute until rupture occurs.

d. The modulus of rupture is equal to

W = Load of rupture

L = Distance between supports

B = Width of brick

D = Thickness of brick

(j) Mortar.

The use of earth mortar is allowed if earth mortar material is of same type as the adobe bricks. Conventional lime/sand/cement

mortars of Types M, S, N are also allowed. Mortar "bedding" joints shall be full SLUSH type, with partially open "head" joints

allowable if surface is to be plastered. All joints shall be bonded (overlapped) a minimum of 4 inches.

(k) Use.

No adobe shall be laid in the wall until fully cured.

(l) Foundations.

Adobes may not be used for foundation or basement walls. All adobe walls, except as noted under Group M Buildings, shall have a

continuous concrete footing at least eight (8) inches thick and not less than two (2) inches wider on each side that support the foundation walls above. All foundation walls which support adobe units shall extend to an elevation not less than six (6) inches above the finish grade.

Foundation walls shall be at least as thick as the exterior wall. Where perimeter insulation is used, a variance is allowed for the stem wall width to be two (2) inches smaller than the width of the adobe wall it supports. Alternative foundation systems shall be approved by the building official.

All bearing walls shall be topped with a continuous belt course or tie beam (except patio walls less than six (6) feet high above stem).

(m) Tie Beams.

a. Concrete.

Shall be a minimum of six (6) inches thick by width of top of wall. A bond beam centered to cover 2/3 of the width of the top of the wall by 6 inch thick shall be allowed for walls wider than 24 inches. All concrete tie beams shall be reinforced with a minimum of two No. 4 reinforcing rods at each floor and ceiling plate line. All bond beam construction shall be in accordance with accepted engineering practices.

b. Wood Tie Beam.

Shall be a minimum of 6 inch wall thickness except as provided for walls thicker than 10" above. Wood tie beams may be solid in the six (6) inch dimension or may be built up by applying layers of lumber. No layer shall be less than one (1) inch nominal thickness. The building official shall approve all wooden tie beams for walls thicker than ten (10) inches.

(n) Wood Lintels.

Shall be minimum in size six (6) inches by wall width. All ends shall have a wall bearing of at least twelve (12) inches. All lintels, wood or concrete, in excess of nine (9) feet shall have specific approval of the building official.

(o) Anchorage.

Roof and floor structures will be suitably anchored to tie beams. Wood joists, vigas or beams shall be spiked to the wood tie beams

with large nails or large screws.

Fireplaces shall be secured to the wall mass by suitable ladder reinforcement such as "durowall" or equivalent.

Partitions of wood shall be constructed as specified in Chapter 25 of the 1991 Uniform Building Code, wood and metal partitions may be secured to nailing blocks laid up in the adobe wall or by other approved methods.

(p) Plastering.

All untreated adobe shall have all exterior walls plastered on the outside with Portland cement plaster, minimum thickness 7/8"

Protective coatings other than plaster are allowed, provided such coating is equivalent to Portland cement plaster in protecting the untreated adobes against deterioration and/or loss of strength due to water. Metal wire mesh minimum 17 gauge by one-and-a-half

(1 1/2) inch opening shall be securely attached to the exterior adobe wall surface by nails or staples with minimum penetration of one-and-a-half (1 1/2) inches. Such mesh fasteners shall have a maximum spacing of sixteen (16) inches from each other.

Alternative plastering systems shall be submitted for approval by the building official.

EXCEPTION:

1. Exterior patio, yard walls, etc. need not have Portland cement coating.

(q) Floor Área.

Allowable floor área shall not exceed that specified under Occupancy. Adobe construction shall be allowed the same área as given in Type V-N construction.

(r) Wall Insulation

All methods of wall insulation shall comply with the manufacturer's recommendations.

(s) Stop Work.

The building inspector shall have the authority to issue a stop work order if the provisions of this Section are not complied with. (See Section 202 (b) of this code.

San Diego County, California - Adobe policy

County of San Diego.
USE

Department of PLANNING AND LAND

Codes Division

Subject: ADOBE CONSTRUCTION Policy Number TB-2405-1 Effective Date 12-7-81

PURPOSE

To provide guidance for County staff when reviewing plans for buildings constructed of adobe (unburned clay masonry).

BACKGROUND

Section 2312(j) of the 1979 U.B.C. requires that all elements within a structure in Seismic Zones 2, 3 and 4 must qualify as reinforced masonry. In order to qualify, steel reinforcement may not exceed a spacing of 4 feet on center both horizontal and vertical in accordance with Section 2418(j)3 of the U.B.C. Because of the physical characteristics of adobe, vertical steel reinforcement is not practical.

On June 17, 1981, the Building Construction Board of Appeals approved the use of unreinforced adobe construction in the unincorporated areas of San Diego County with limitations as set forth in this policy.

PROCEDURE

Adobe (unburned clay masonry) is an acceptable construction material when the following are adhered to:

1. Provisions of Section 2405(a)(b)(c) and (d), of the 1979 U.B.C. shall be adhered to, with the exception that the wall height shall be limited to 8 times the wall thickness.
2. The structure shall be limited to one story with no exceptions.
3. The unburned adobe block used must be tested by a recognized testing laboratory for compliance with U.B.C. Standard 24-14 in order to assure the strength and durability of the block.
4. A continuous concrete bond beam must be installed at the top of the unreinforced adobe walls in order to tie roof and ceiling (acting as a horizontal diaphragm member) to the walls in a manner consistent with Section 2310 of the 1979 U.B.C.
5. Only plywood or solid wood roof sheathing shall be used and the roof pitch shall be limited to slope of 5:12 maximum.
6. All structures constructed of adobe masonry must be designed by a California licensed engineer or architect. Said design professional shall submit calculations to staff verifying that the design loads will not produce stresses which exceed the limits as established in Tables 24(B) and 24(C) of the 1979 U.B.C.

See the following drawing for a typical section of an adobe construction.

POLICY

Adobe (unburned clay masonry) is an acceptable construction material for use in R-3 and M type occupancies when used in conformance with the provisions of this policy.

Don L. Schultze
Deputy Director, Codes (Acting)

Author: Chuck Mendenhall
HTML Version by EACI

County of San Diego
DEPARTMENT OF PLANNING AND LAND USE
TYPICAL ADOBE SECTION

Un nuevo camino para los arquitectos del S. XXI

Como punto final a esta amplia Tesis cabe exponer que toda esta amplia labor desarrollada, pretende ser también la base para futuras Tesis sobre Normalización y mejora de los sistemas de estabilización. Por ello se facilita mucha información anexa y compendiada en los diez años que acota este trabajo. No obstante pongo a disposición de todo aquel que lo prescinda toda esta información y más, via Internet, correo electrónico, o a nivel personal.

Mi esperanza es que este grano de arena se sume a los otros, que como yo, luchan por un Mundo mejor, más justo y solidario.

Es la abertura de un nuevo camino indispensable de recuperación del saber popular, fusionado con el desarrollo sostenible, que la Humanidad ha emprendido sin otro incentivo que mirar hacia el futuro e imaginar un futuro en armonía con Gaia y el Universo que nos ha tocado vivir.

¹ “ Técnicas más avanzadas para suelos estabilizados” Aut. Ing. José Antonio Ribas Hermelo. Codace-Cuba 1992

² “Terre d’avenir!” revista.H n°111, Edit. Union Nationale des H.L.M. París 1985.