

***LA ARQUITECTURA DE TIERRA.
EVOLUCIÓN A TRAVÉS DE LA HISTORIA***

Francisco Sanchis Mullor



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

INDICE

0. - PRÓLOGO

1.- INTRODUCCIÓN

2. EJEMPLOS SIGNIFICATIVOS DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA

3. CLASIFICACIÓN Y PRINCIPALES TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS

3.1 CLASIFICACIÓN

3.2 PRINCIPALES TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS

3.2-1 EL ADOBE

3.2-2 ADOBE INFORME

3.2-3 PANES DE BARRO

3.2-4 EL TAPIAL

3.2-5 TÉCNICAS MIXTAS.

4. LA TIERRA MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN. VENTAJAS E INCOVENIENTES

4.1 GENERALIDADES Y PROPIEDADES DE LA TIERRA

4.1-1 EFECTOS DERIVADOS DE LA ACCIÓN DEL AGUA

4.1-2 EFECTOS DERIVADOS DEL VAPOR

4.1-3 RESISTENCIA

4.1-4 RETRASO TÉRMICO

4.1-5 PROTECCIÉN A ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

4.2 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE SU UTILIZACIÓN



5. AVANCES Y MEJORAS EN LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA

5.1 NUEVOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

5.1-1 EL SUPERADOBE

5.1-2 EL BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO (B.T.C.)

5.1-3 EL BAJARAQUE INDUSTRIALIZADO

5.1-4 LA TÉCNICA DEL STRANGLEHM

5.2 AVANCES Y MEJORAS PARA LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA

6. EL EFECTO DEL BARRO EN EL BALANCE DE LA HUMEDAD.

7. CONCLUSIONES



0.- PRÓLOGO

El presente trabajo representa el último requisito que me resta para dar por finalizado, a priori, mis estudios de postgrado. Utilizo el término "a priori" porque la posibilidad de iniciar estudios de Doctorado que el nuevo Espacio Europeo de Educación Superior nos brinda a los arquitectos técnicos, constituye para mí un reto personal cuya consecuencia más directa es no saber si en estos momentos, debo identificar esta etapa como el final o más bien como el principio de un largo camino.

Un largo camino que me queda por recorrer y en el que quisiera no sólo acumular conocimientos de forma automática, sino llegar a comprender éstos en su esencia, aprendiendo así a razonar sobre los mismos, aprendiendo no sólo a visualizar o memorizar Arquitectura sino a Construir Arquitectura, razonando acerca del Porqué de ésta y cuestionándome el papel que como técnicos debemos ofrecer a nuestra sociedad.

Y es que, aunque debemos tomar consciencia de vivir en una era repleta de grandes avances, en el que por supuesto la evolución tecnológica de la Construcción Arquitectónica es uno de los más significativos.

No debemos olvidar que en numerosas ocasiones y a lo largo de la historia de la construcción, los principios básicos de esta disciplina se han mostrado invariables, y junto a ellos, la fiabilidad de algunos materiales como la cal, la piedra y sin duda alguna la Tierra, cuya utilización podríamos calificar de milenaria.

Sin embargo, en nuestros días parece existir una tendencia por la cual, cada nuevo material utilizado en arquitectura generalmente expulsa al anterior. En la mentalidad "moderna" no cabe mantener un material antiguo existiendo otros más actuales que lo puedan sustituir, en muchas ocasiones se intenta hacer desaparecer u ocultar todo aquello que se pueda relacionar con un pasado muchas veces tildado de precario u obsoleto.



Lamentablemente esta tendencia propicia que en ocasiones, diversos materiales sobradamente contrastados, como los referidos anteriormente queden relegados al olvido y a una utilización muy puntual.

Aunque debe quedar claro que no es objeto del presente trabajo, negar las ventajas derivadas de los numerosos avances tecnológicos, las técnicas modernas o los nuevos materiales desarrollados, tales como el vidrio estructural, la cerámica armada o las innovadoras resinas y materiales sintéticos. Y es que, aunque así lo fuere, este propósito resultaría actualmente una tarea más que imposible.

En cambio si se pretende destacar como el paso del tiempo ha puesto en evidencia que **la actitud más racional, no debe ser la de reemplazar apresuradamente y en todo momento, unos materiales por otros. Tal vez resultaría más correcto y útil, ampliar nuestro abanico de conocimientos, reconociendo en todo momento los materiales tradicionales y los de vanguardia, pero siendo concedores de las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos. Disponiendo de este modo, de una mayor cantidad de recursos para afrontar y resolver, los distintos problemas arquitectónicos, a los que como técnicos debemos hacer frente en nuestro día a día.**

Así pues a continuación se describirá la evolución que ha experimentado la Tierra como material de construcción, para ello nos remontaremos a sus orígenes, describiremos las principales técnicas constructivas en las que ésta juega un papel protagonista, y en un intento de mostrar a la tierra como un material muy a tener en cuenta, a pesar de encontrarnos en el S.XXI, detallaremos las mejoras y avances tecnológicos que se han realizando y que actualmente continúan realizándose en este material. Además completaremos el estudio de este material, analizando desde el punto de vista técnico, los parámetros de confort que presenta este material, enumerando sus ventajas pero también obviamente poniendo de manifiesto sus inconvenientes.



Por último finalizaremos este trabajo con las principales conclusiones derivadas del mismo y reseñaremos, aunque sea a grandes trazos, las perspectivas futuras que la sociedad y aún más los técnicos, deberíamos tener para con este material.



1.- INTRODUCCIÓN

Las primeras civilizaciones aparecieron en distintas regiones del mundo pero con una característica común, sus condiciones climáticas eran muy similares. Situadas en el trópico de cáncer y aproximadamente a 30 grados de latitud norte, con un clima cálido y templado, las primeras urbes se erigieron cerca de grandes ríos que ofrecían facilidades de riego y de transporte y cuyas fértiles zonas inundadas podían utilizarse para la agricultura. Así pues, los valles de ríos como el Éufrates y el Tigris (Mesopotamia), el Nilo (Egipto) el Indo (India) y el Wei He (China) ofrecían las condiciones ideales para la fundación de las ciudades de las primeras civilizaciones.



Como se ha demostrado en diversos descubrimientos arqueológicos y en los vestigios que de estas civilizaciones se han podido conservar, la tierra fue el material principal con el que construyeron sus ciudades, y no solamente ésta se empleo para la construcción de viviendas sino también en la construcción de sus fortalezas y monumentos religiosos.

En 1908 en el Turquestán, más concretamente en la ciudad de Pumpelly fueron descubiertas viviendas de tierra del periodo 8000 – 6000 a.C. En Asiria fueron encontrados cimientos de tierra apisonada que datan del 5000 a.C.

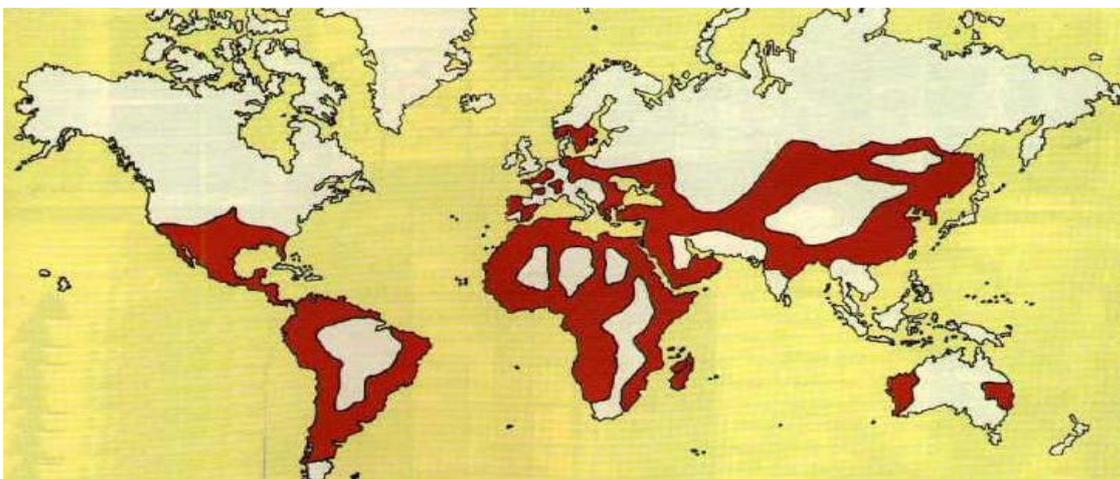


En las ruinas del Templo mortuorio de Ramses II encontramos espacios abovedados destinados a almacenaje, que fueron construidos mediante adobes, a los cuales se les atribuye una antigüedad superior a 3000 años.

La Gran Muralla China, de 3000 años de antigüedad, fue construida inicialmente con tierra apisonada y tapial, para ser posteriormente aplacada con piedras naturales y ladrillos, que le conferían una apariencia de muralla de piedra. Incluso en el tratado sánscrito de arquitectura, llamado Mayamata, los constructores tamules nos legarán un medio de reconocer la tierra mediante los sentidos:

Quando el olor de la tierra es parecido al de los rebaños, el suelo es compacto, untuoso y agradable al tacto; su color puede ser blanco, rojo, amarillo o "moirée" como el de los pichones; y puede poseer uno de los seis sabores: picante, amargo, astringente, salado, ácido o dulce.

Resulta como mínimo sorprendente, que muchos siglos después de que la cultura india demostrará su preocupación e interés por este material; en el contexto normativo actual siga excluyéndose totalmente a la arquitectura de tierra cruda. Y es que, en casi todos los climas cálido-secos y templados del mundo, la tierra ha sido y es, el material de construcción predominante. Para hacernos una idea aproximada de la importancia de este material, basta con observar la ilustración adjunta en la que se nos muestra la distribución geográfica de las construcciones ejecutadas con tierra, o citar que aún en la actualidad un tercio de la humanidad vive en viviendas de tierra, dato que trasladado a los países en vías de desarrollo, constituye una cantidad mayor al 50% de éstos.



Así pues, podemos afirmar que la tierra **ha sido** un excelente material de construcción, tal y como se encargan de demostrarlo sus miles de años de antigüedad, pero resulta conveniente que profundizaremos un poco más en el modo y la forma con que cada cultura utilizó este material.



2.- EJEMPLOS SIGNIFICATIVOS DE LA A. DE TIERRA

2.1

MESOPOTAMIA

Tal y como se ha indicado en el punto anterior, los hallazgos de Construcción en tierra de mayor antigüedad (Datados en el período Neolítico aproximadamente entre los años 6000 y 10.000 a.C.) los encontramos en la región de Mesopotamia, zona comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates, y que si bien se extiende a las zonas fértiles contiguas a la franja entre los dos ríos, coincide aproximadamente con las zonas no desérticas del actual Iraq y los países de Irán y Siria.



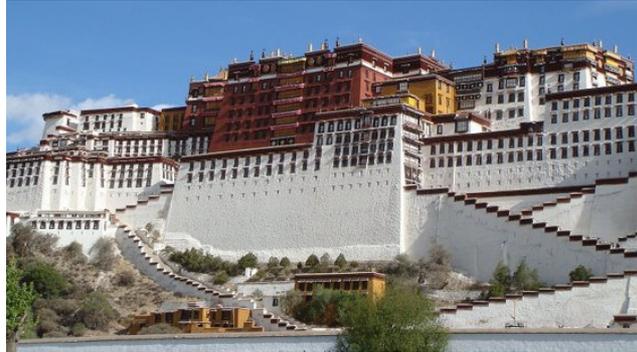
Murallas de Nínive

En esta cultura la construcción con tierra, alcanzó un gran desarrollo, evolucionando hasta alcanzar la construcción de edificios emblemáticos como la Biblioteca de Alejandría, numerosas construcciones de la propia Babilonia, o las murallas de Nínive (700 a.C.) en Siria.

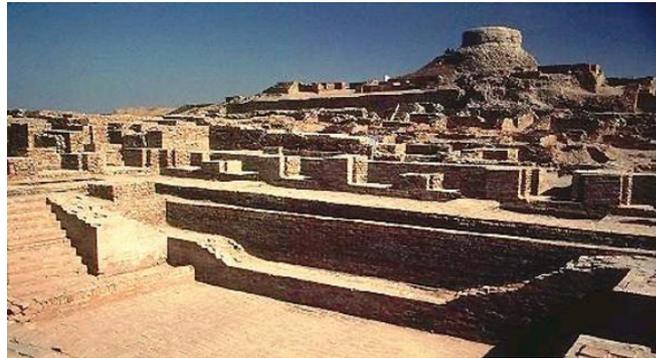
Aunque tampoco debemos olvidar, otra de las obras más representativas de la construcción mesopotámica, los zigurats o templos en torre, que datan de los primeros pueblos sumerios y que asirios y babilonios mantuvieron en lo formal. El zigurat de la ciudad de Ur (2000 a.C.), es uno de los que mejor se han conservado, en la actualidad sus ruinas se elevan 21 m. sobre el nivel del suelo.



Los vestigios más antiguos encontrados en este continente están fechados en el año 7000 a.C. en las tierras del Himalaya, además en esta misma zona podemos encontrar construcciones emblemáticas como el Palacio de Potala, hogar de casi todos los Dalai Lama en el Tibet, ejecutado a partir de las técnicas del adobe y el tapial.



Otro gran ejemplo lo constituyen las antiguas ciudades de Mohenjo-Daro (Pakistan - 700 a.C.) en la que destacan una serie de recintos amurallados organizados para edificios públicos y viviendas, ejecutados con adobe doblado con ladrillo y tierra batida, o la antigua ciudad de Bujara en Uzbekistan, hito en las rutas de la seda de Asia central y fundada hace mas de 2500



Ruinas de la ciudad de Mojensho Daro

años, la cual posee en la actualidad más de 500 monumentos en los que las técnicas del adobe, el tapial y el barro cocido vuelven a estar presentes.

La Gran Muralla China, constituye uno de las grandes construcciones de la humanidad, con una longitud de unos 6700 Km aproximadamente, construida hace más de 2500 años con tierra apisonada, adobe y piedra, aunque posteriormente fue aplacada con piedras naturales y ladrillos. Actualmente en países como Nepal y Butan pervive la tradición de construir con tierra.



Las primeras construcciones egipcias datan del año 3.800 a.C. y se levantaban en base a una estructura de cañas entrelazadas y aglomeradas con tapial fabricado con fango del Nilo. No es hasta el año 3.000 a.C. cuando se introduce la construcción de adobe, de total influencia mesopotámica. El adobe era sin ninguna duda el material más usado para la construcción cotidiana, algunos palacios de reyes, e incluso algunas partes de templos. También era frecuente su utilización en los muros que protegían ciudades, palacios y fortalezas.

De este modo podemos afirmar que durante la historia del Egipto faraónico, el adobe resultó ser el material más indicado para la construcción de viviendas, su mayor ventaja, su capacidad como aislante térmico, permitía proteger del fuerte sol durante el día y del frío por la noche; su mayor defecto, la poca resistencia a la humedad, no era un problema en un país tan seco como Egipto. Como muestra de su importancia, valga la imagen que se adjunta, una piedra caliza policromada de la tumba del faraón Rekhmire, en la necrópolis de Sheikh Abd el-Qurna, la cual representa un grupo de obreros o alfareros haciendo adobes.



Un equipo de obreros haciendo adobes. Dos llevan agua desde el estanque en grandes jarras, otro está de pie sobre una mezcla de barro y paja, mientras que otro llena con ella un molde de madera, que lo añade a la hilera de adobes secándose.

Extraída de Strouhal: La vida en el Antiguo Egipto, 1994, pag.68.



Previamente a la colonización, en Latinoamérica ya se utilizaban diversas técnicas constructivas que tenían a la tierra como principal protagonista. La técnica precolombina de la "pared de Mano", o bollos de barro, se utilizaba en la construcción de murallas, para su ejecución se empleaban bolas de tierra sin moldear, que se iban apilando y presionando en tongadas de 80cm de altura, las cuales se iban superponiendo progresivamente.

Por otra parte, anteriormente a la intrusión del tapial a través de la colonización, (técnica muy utilizada a lo largo del continente sudamericano), el adobe ya había sido utilizado por los primeros pobladores. La Pirámide del Sol en Trujillo (Perú), perteneciente a la Época Mochica (200 a.C. – 600 d.C) fue construida con adobe y poseía unas dimensiones de 228m. x 136m. de base y una altura de 41m.



Ruinas de la ciudad de Chan Chan

Técnicas como la quincha, el adobe, e incluso los bajorrelieves de tierra, aún perduran en Chan Chan, una de las ciudades más extensas de Perú (20km²), capital del reino Chimú, y ubicada también en la ciudad de Trujillo, Perú. Otra estructura de tierra tradicional también utilizada en Latinoamérica es el bajaranque, técnica consistente en un armazón de maderas o cañas generalmente dispuestas en dos sentidos –horizontal y vertical o cruce de diagonales que posteriormente es embarrado para formar el paramento.

En la ciudad de Taos (Nuevo México), los indios pueblo construyen sus viviendas mediante adobes, éstas se superponen configurando las antiguas formas piramidales con cubiertas de rollizos y tierra compactada.



La enorme extensión de este continente, conlleva que no nos sea posible destacar una única técnica predominante por encima de las demás, pues dependiendo de la región, la cambiante orografía de este continente, el clima y la materia prima disponible se nos presentan numerosos sistemas constructivos con sus particularidades y peculiaridades. Aunque podemos afirmar que el uso del adobe, y el tapial resulta generalizado, dependiendo de la zona no lo son menos las técnicas que utilizan el adobe informe o la excavación directa de la roca para materializar sus construcciones.

La Arquitectura Sudanesa ésta íntimamente ligada a los grandes imperios africanos de Mali, relacionados a su vez con las culturas mediterráneas del Magreb y de los Faraones egipcios. Esta relación directa y en otros casos indirecta conlleva que existan similitudes tecnológicas entre sus arquitecturas, en algunas ocasiones tan cercanas pero a la vez tan lejanas, como lo son la construcción de bóvedas y cúpulas sin la utilización de la cimbra.

Las formas que muestra esta arquitectura identifican plenamente a una cultura que ha perdurado ante las distintas influencias occidentales, gracias también a una intensa actividad de construcción, restauración y mantenimiento. Así lo demuestra la obra maestra de la mezquita de Djenné y de sus viviendas, que jugaron el papel de capital y base de difusión de un estilo de arquitectura particular a más de trescientas mezquitas de la región del Río Níger.



MEZQUITA DE DJENNE



La **Gran Mezquita de Djenné** esta considerada uno de los mayores edificios sagrado hecho de adobe del mundo, además de significar una de las obras cumbre de la arquitectura sudanesa-saheliana. La mezquita está en el centro de la pequeña ciudad de Djenné, Malí, en el delta del Níger y es uno de los monumentos más conocidos de África. Considerado desde 1988 junto con el casco antiguo de Djenné, Patrimonio de la Humanidad por la Unesco.

Al otro lado del Gran Sahara aún se mantiene un gran patrimonio construido en Tierra, constituido principalmente por las imponentes fortalezas, denominadas Kasbahs distribuidas por los valles del Dadés, del Draa, del Ziz. Estas fortificaciones construidas con adobe de color rojo, y generalmente vienen acompañadas de un complejo de edificaciones unifamiliares adheridas a ésta, para su defensa y protección. Así pues, atravesando el desierto Atlas llegamos hasta a Marrakech y más al Norte a la ciudad de Fez, Marruecos, donde sendas ciudades presentan sus murallas edificadas en tapial, tecnología que aún en la actualidad, siguen empleando sus habitantes para la construcción de sus viviendas.

Sin embargo, tal y como dijimos, la gran extensión de este continente conlleva a encontrarnos regiones totalmente cambiantes respecto a su geografía o climatología. Sirva como ejemplo las construcciones de la región de Matmata, donde, en contraposición con los sistemas constructivos en el párrafo



CASAS EXCAVADAS EN TIERRA. MATMATA, (TUNEZ)

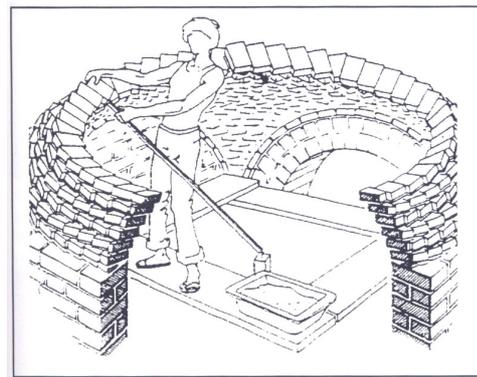
anterior, encontramos construcciones realizadas a base de tierra excavada. Éstas fueron excavadas en un terreno compuesto principalmente de margas calcáreas, que presentaban muy buena cohesión y resistencia a la erosión. En su excavado se adoptaron formas de bóveda y arco sin ningún tipo de refuerzo, excepto el de un encalado, algo lógico ante las buenas características mecánicas a compresión intrínsecas de este tipo de terrenos. Aún en la actualidad, este tipo de viviendas perduran y son habitadas por sus pobladores.



Debemos también hacer hincapié en el hecho de que la construcción de bóvedas y cúpulas ya era utilizada hace miles de años en Egipto. Con la técnica de la bóveda nubia era posible construir estas cubriciones sin la necesidad de un encofrado, solamente utilizando arcos inclinados contruidos con adobe. De igual modo ocurría con la cúpula nubia (Al igual que las construidas en Afganistán o Persia) era construida sin la necesidad de utilizar cimbra alguna, las hiladas se colocaban circunferencialmente con la ayuda de una guía móvil.



CONSTRUCCIÓN DE UNA BOVEDA NUBIA



CONSTRUCCIÓN DE UNA CUPULA NUBIA

Por ultimo, destacar la figura del Arquitecto egipcio Hassan Fathy, también conocido como "el Arquitecto de los pobres", que alrededor de la década de los 40 del siglo XX redescubrió la arquitectura del alto Egipto. Éste quedo impresionado por la villa de Gharb Aswan



CEMENTERIO FATIMID. ASWAN. EGIPTO

impregnada de una arquitectura autóctona digna y exquisitamente decorada, al igual que con el cementerio de Fatimit también en Aswan, enteramente construido en adobe donde las cúpulas y bóvedas son empleadas con un esplendido estilo y aplomo. Utilizó métodos de diseño y materiales tradicionales. Integró el conocimiento de la situación económica de las zonas rurales de Egipto con la arquitectura tradicional y las técnicas de diseño urbanístico y él mismo capacitó a los habitantes del lugar para hacer sus propios materiales y construir sus propios edificios.



La difusión que este tipo de construcción estuvo directamente relacionada con el elevado peso cultural que las culturas árabe y romana tuvieron a lo largo de toda Europa, además tratados como el de Rondelet o el de "Los diez libros de Arquitectura" de Vitrubio, también contribuyeron a la difusión de ésta a lo largo del viejo continente.

Por asombroso que pueda parecer, en el continente europeo, un importante porcentaje del patrimonio arquitectónico europeo está ejecutado en tierra, incluso en Países Escandinavos como Suecia, Noruega y Dinamarca (Utilización del "sod", bloques de turba cortados) aparece la construcción con tierra. En países como Bélgica, Francia o Alemania se calcula que aproximadamente un 15% de su patrimonio está construido en tierra y en concreto en España más de un 20%.

Actualmente en el sudeste de Alemania hay contabilizadas aproximadamente cerca de 200.000 viviendas construidas a base de muros de carga confeccionados en tierra. Por otra parte en Francia hay un importante patrimonio construido en tapial, tanto en medio rural como urbano localizado principalmente en las regiones Dauphiné y del Aubergne.

En Francia la técnica del tapial llamada "*terre pisé*" estuvo muy extendida desde el siglo XV al XIX. En la actualidad se tiene constancia de numerosas edificaciones de más de 300 años de antigüedad, aun habitadas cerca de la ciudad de Lyon. En 1790 y 1791 el arquitecto François Cointeraux publicó cuatro folletos sobre esta técnica que más tarde fueron traducidos a diversos idiomas y en los que se describía a la técnica del tapial como el método de construcción con tierra más ventajoso.



CASTILLO DE TAPIAL S.XVIII. SAONE. REGIÓN FRANCESA DE AIN

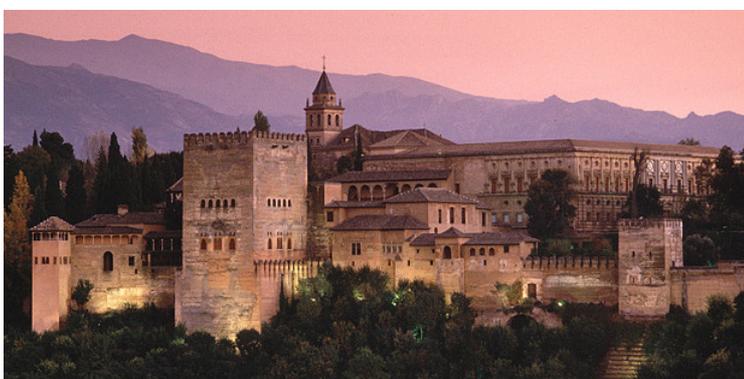


El origen de la construcción con tierra en la península resulta antiquísimo, tal y como lo demuestran los restos arqueológicos encontrados en el Cabo de Gata, Almería, o en Sabadell, Barcelona, con más de 4000 años de antigüedad, y en el que se aprecian construcciones a base de adobe, encañizado y pared de mano. En el tercer milenio a.C. podemos encontrar los primeros vestigios de la construcción con adobe en el Cerro de la Virgen de Orce, en Granada. En las excavaciones se descubrieron restos de cabañas circulares sobre zócalos de piedra y probable cierre en cúpula. Muy parecida a éstas, son las construcciones del poblado vallisoletano de Soto de Medinilla, Siglo VIII a.C., o la construcción de los castros leoneses de Valdera y Valencia de Don Juan.

Posteriormente en la época romana la utilización de las técnicas del tapial en torres y atalayas de remotísima antigüedad, queda demostrado tal y como se desprende de las crónicas escritas por Plinio en el Siglo I de nuestra era. Aunque posiblemente sea la cultura árabe la principal referencia a la que podamos atribuir el resurgimiento y desarrollo de este tipo de arquitectura, mediante el adobe o el tapial principalmente.

Así pues a lo largo de nuestra geografía encontramos diversas tipologías constructivas, a excepción de la región cantábrica, donde la piedra presenta una utilización mucho más acusada, (aunque para su puesta en obra se utilizaba la tierra y la cal).

Destacaremos La Alhambra de Granada, Siglos XII-XIV, construida en tapial calicastro, es una de las construcciones más significativas de nuestro territorio además de un excelente ejemplo del dominio de la tierra como material de construcción.



LA ALHAMBRA DE GRANADA



Aunque también resultan dignas de incluirse en este apartado, otras tipologías en las que se empleó la tierra tales como las plazas de toros construidas en tapial, las construcciones tradicionales de las regiones de Castilla León con sus casillas, palomares y un excelente dominio de la técnica del entramado, además de las ya citadas de adobe y tapial, o las numerosas muestras de tapial calicastro presentes en nuestra zona levantina. Donde podemos destacar algunos ejemplos de la arquitectura monumental como las murallas de Nules o Mascarrell (Castellón), el castillo de Onda o la iglesia del Carmen y la casa de l'Oli de Villareal



TÍPICO PALOMAR CASTELLANO-LEONES



3.- CLASIFICACIÓN Y PRINCIPALES TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS

3.1

CLASIFICACION

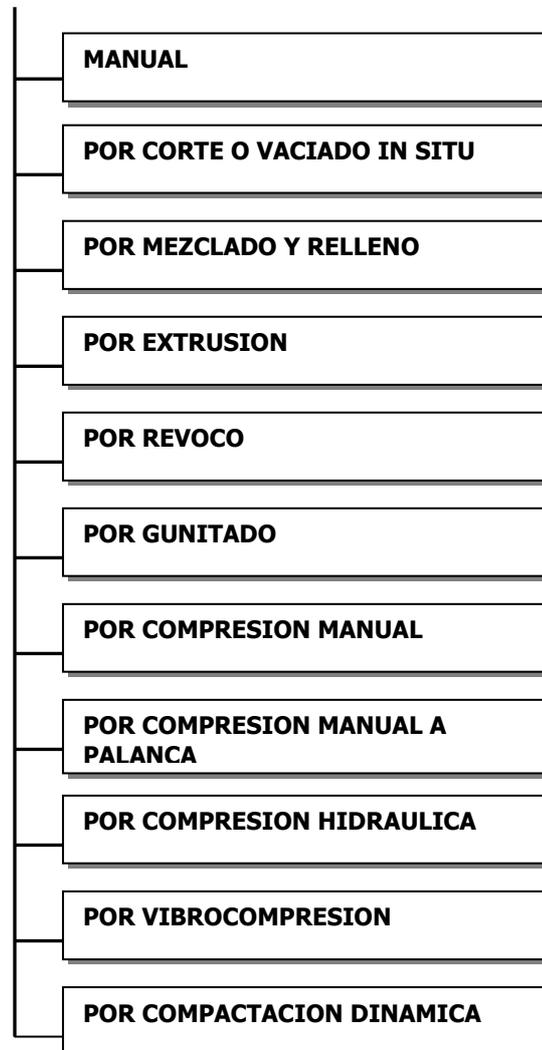
Tal y como describíamos en la introducción de este trabajo, la utilización de la tierra en la arquitectura, está presente desde las primeras manifestaciones constructivas del hombre y tiene lugar en casi todas las regiones de clima cálido y templado, con una incidencia menor en las zonas de clima frío. Si bien en el punto anterior hemos podido observar como los materiales disponibles y las formas de expresión de las distintas culturas, han generado diversas técnicas constructivas en las que se ha empleado la tierra con exclusividad o en combinación con otros materiales de procedencia animal, vegetal o mineral, a continuación estableceremos una clasificación de estas técnicas constructivas desarrollando además las principales características de cada una de ellas.

Las técnicas constructivas mediante las cuales se transforma la tierra en un elemento de construcción, pueden ser clasificadas dentro de 3 grandes grupos:

- a) Se fabrican pequeños elementos individuales (adobes, bloques o similar) que se unen con mortero para conformar una obra de fábrica.
- b) Se trabaja la tierra en masa, moldeando y creando muros de una pieza, que dan lugar a una construcción monolítica
- c) Se recubre o rellena de tierra una estructura construida con un material diferente. En este caso, la tierra no posee la misma función portante, pues la solidez de la construcción depende principalmente de la estructura que si tiene una función portante (Técnicas Mixtas).



A partir de esta primera clasificación, la subdivisión de las técnicas correspondientes a cada grupo se diversifica enormemente, según el grado de humectación que tenga la tierra que se elabore. Este factor determina el proceso óptimo de fabricación pudiendo ser:



A continuación se muestran dos sistemas de clasificación de las tecnologías de construcción con tierra, basados en estos factores.

Una primera clasificación es la establecida por el Centro Craterre en la que **se organizan las técnicas según los tres grupos citados anteriormente.**

La segunda clasificación realizada por Hays-Matuk, clasifica a las técnicas constructivas **en base a las estructuras resultantes.** Esta segunda clasificación complementa a la primera con una amplia clasificación de las tecnologías mixtas.





TIERRA EXCAVADA

LAS CONSTRUCCIONES SE EXCAVAN EN EL
ESPESOR DE LA CORTEZA TERRESTRE.



(CASAS TROGLODITAS)



TIERRA DE RECUBRIMIENTO

LA TIERRA CUBRE UNA ESTRUCTURA CONSTRUIDA CON
OTRO MATERIAL



(CONSTRUCCIONES DE LOS INDIOS PUEBLO, TAOS)



TIERRA DE RELLENO

LA TIERRA RELLENA MATERIALES HUECOS
EMPLEADOS COMO ENCOFRADO



MUROS DE BOTELLAS



TIERRA RECORTADA

LOS BLOQUES DE TIERRA SON DIRECTAMENTE
RECORTADOS DE LA MASA TERRESTRE



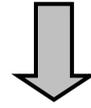
(TÉCNICA DEL SOD)



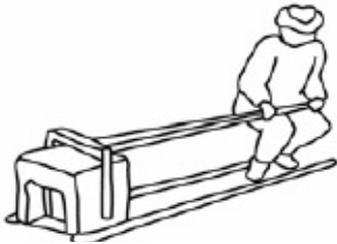


TIERRA COMPRIMIDA

LOS ELEMENTOS SON REALIZADOS COMPRIMIENDO LA TIERRA EN MOLDES O PRENSAS

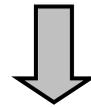
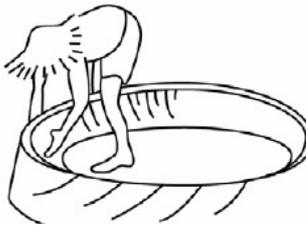


(TÉCNICAS DEL TAPIAL Y BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA)



TIERRA MODELADA

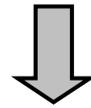
LA TIERRA PLÁSTICA ES MODELADA MANUALMENTE. LEVANTADO MUROS GENERALMENTE DE ESCASO ESPESOR



(TÉCNICA ZABOUR)

TIERRA APILADA

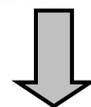
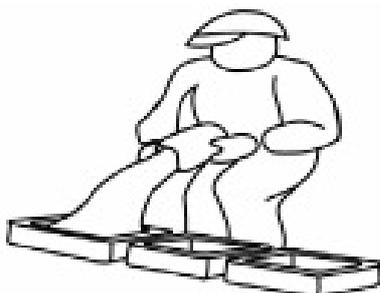
SE FORMAN BOLAS DE TIERRA QUE SON APILADAS PARA CONSTRUIR GRUESOS MUROS



(TÉCNICA DE PANES DE BARRO)

TIERRA MOLDEADA

LA TIERRA ES MOLDEADA CON MOLDES DE MADERA, HIERRO O PLÁSTICO Y DE FORMA VARIABLE



(TÉCNICA DEL ADOBE)





TIERRA EXTRUIDA

LA TIERRA ES EXTRUIDA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MAQUINARIA INDUSTRIAL



(TÉCNICAS DE BARRO INDUSTRIALIZADO)



TIERRA VERTIDA

LA TIERRA SE VIERTE EN ENCOFRADOS O MOLDES AL IGUAL QUE UN HORMIGÓN



TÉCNICAS DE BARRO BOMBEADO

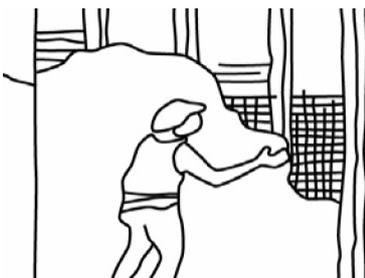


TIERRA CON PAJA

EL BARRO ARCILLOSO LIGADO CON FIBRAS CONSTITUYE UN MATERIAL LIGERO Y MUY AISLANTE



BARRO ALIVIANADO CON PAJA



TIERRA PARA GUARNECER

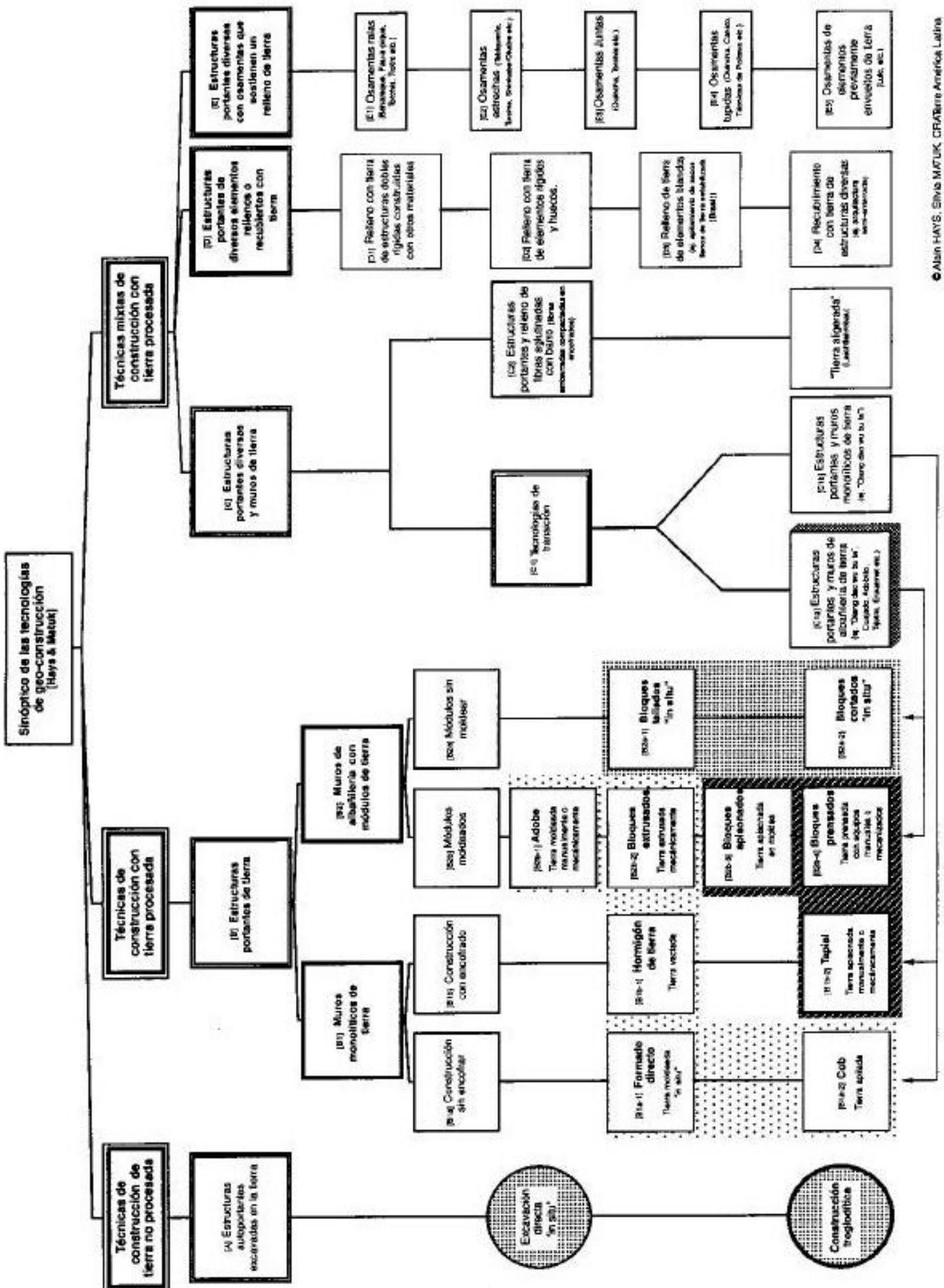
LA TIERRA MEZCLADA CON FIBRAS ES APLICADA EN PEQUEÑAS CAPAS PARA PROTEGER O RELLENAR UN SOPORTE



TECNICAS COMO LA QUINCHA, EL BAJARAQUE O EL ENTRAMADO



TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS EN TIERRA EN FUNCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS RESULTANTES



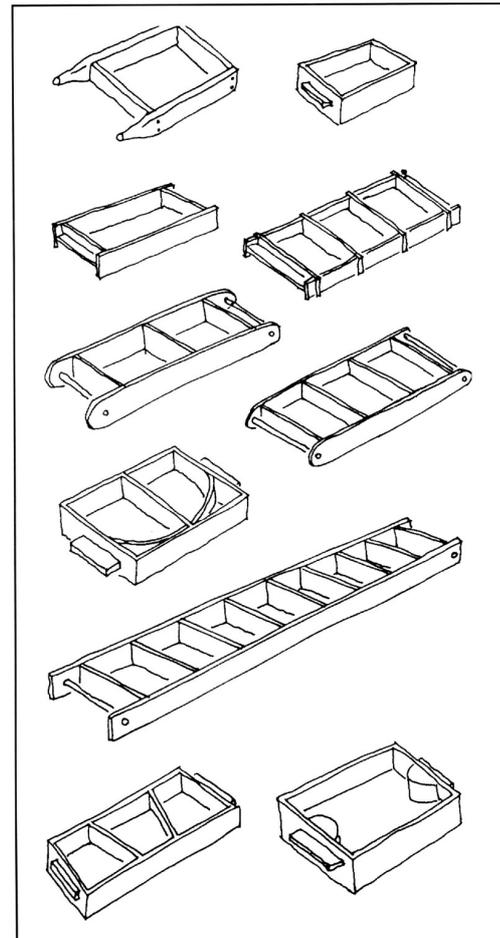
Una vez hemos clasificado las diferentes técnicas constructivas, atendiendo a su proceso de manipulación y a las estructuras resultantes de la aplicación de las mismas, en este apartado describiremos brevemente las técnicas constructivas más significativas e importantes, en las cuales desde hace cientos y en algunos casos miles de años, la humanidad ha empleado la tierra como material de construcción.

Aunque debemos reseñar que en este apartado, desarrollaremos las principales características y propiedades de las técnicas constructivas mencionadas, sin abordar con excesiva profundidad ninguna de estas técnicas en particular, no por ser ésta una tarea carente de interés, sino porque un análisis exhaustivo de todas las tipologías constructivas supondría una labor demasiado extensa para el fin que nos ocupa.



Esta técnica, probablemente la más utilizada en el mundo, consiste en el moldeado de un bloque de tierra arenosa y arcillosa de dimensiones variables pero de fácil manejo, que nos permite construir muros a base de hiladas sobrepuestas, de modo similar a los tabique y ladrillos de barro cocido.

En primer lugar para la elaboración de los adobes, la tierra escogida para su fabricación se mezcla con agua hasta conseguir una masa uniforme, a la que en muchas ocasiones se le añade paja seca, cáñamo, hojas secas, virutas, cortezas o cualquier otro material que confiera cohesión a la pasta resultante. Esta mezcla se deja fermentar unos días, para posteriormente iniciar el proceso de fabricación, bien sea rellenando con un barro de consistencia pastosa, unas gradillas o moldes de madera de dimensión variables o bien lanzando un barro menos pastoso en el interior del molde. En la técnica del lanzado cuanto mayor sea la fuerza con que se lanza la mezcla, mejor será la compactación obtenida. Una vez rellenado el molde, la superficie se uniforma y enrasa manualmente con la ayuda de una madera, paleta o alambre y se retira el molde verticalmente. Los adobes se depositan sobre un piso seco, en el que la pieza debe permanecer un mínimo de 24 horas en esta posición, una vez cumplido este tiempo éstos se colocan alternativamente apoyados sobre la testa, para facilitar su secado.



MOLDES PARA ADOBES

PROCESO DE ELABORACIÓN



En contraposición con otras técnicas, el adobe después de su moldeo es un producto frágil y maleable, dada su elevada plasticidad, por ello, necesita grandes áreas de secado y almacenaje para secarse antes de su puesta en obra. El tiempo de secado es un factor muy variable, el cual depende fundamentalmente del clima de las distintas regiones.

"Se deben hacer en primavera o en otoño, con objeto de que se vayan secando por todas partes de una manera uniforme, en cambio los que se hacen durante el solsticio son defectuosos, porque el sol ardiente seca pronto su corteza, dándoles apariencia de secos, pero luego, cuando efectivamente se han secado se contraen, y resquebrajándose su superficie se estropean completamente. Los mejores serán los hechos dos años antes, puesto que pueden secarse perfectamente por su parte interna antes de este tiempo".

M. Vitrubio. *Los Diez libros de Arquitectura, Capítulo III. De los Adobes*

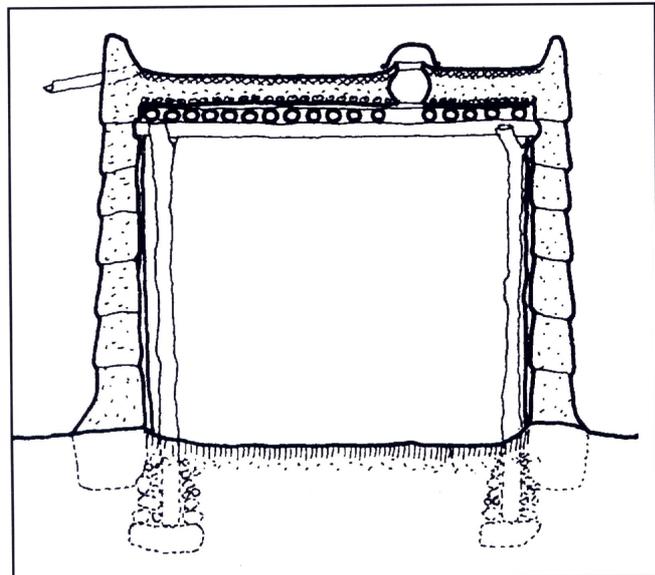


ADOBES EN PROCESO DE SECADO

En comparación con las demás técnicas, el adobe ofrece las ventajas de su fácil construcción y poca necesidad material y de mano de obra, pero a su vez el cuidado de la calidad de la materia prima y los detalles de ejecución constructiva se convierte en factores fundamentales debido a su vulnerabilidad de los adobes. Tal y como desarrollaremos posteriormente, sobre esta tipología constructiva se han desarrollado numerosos avances y mejoras que le confieren un mejor comportamiento como material de construcción.



A lo largo del mundo existen diferentes culturas que construyen sus edificaciones gracias a la fabricación manual de pequeños elementos de barro, pero a diferencia de la técnica tradicional de adobe, en la que las piezas se disponen junto con un mortero de agarre, en las técnicas húmedas se utiliza el barro plástico, prescindiendo totalmente de mortero y uniendo éste mecánicamente a través del compactado, pegado, apretado o lanzado. En el continente Africano, concretamente en el nordeste de Ghana se construyen muros de 40 cm de espesor utilizando la **"Técnica de bolas de mano"** en la que los albañiles, después de formar bolas de tierra húmeda, colocan éstas en capas superpuestas de tal manera que cada hilada se asienta sobre la inferior, previamente consolidada. Las plantas de estas viviendas son más o menos rectangulares con esquinas redondeadas.



VIVIENDA CONSTRUIDA CON LA TÉCNICA DE BOLAS DE MANO. NOROESTE DE GHANA

En el norte de Yemen (Asia), se construyen edificios de varios pisos utilizando la **"Técnica Zabour"**. En primer lugar, la tierra elegida para la construcción es mezclada con agua y paja, de cuya pasta resultante se amasan bolas de un diámetro comprendido entre 15 y 20cm. de diámetro que lanzan, semicompactadas al albañil, quien de pie sobre el muro da forma a la nueva hilada del rollo de tierra, compactándolo con sus pies y su puños para formar una masa homogénea.



Una vez terminada cada hilada, incluyendo los muros divisorios, ésta es pisada fuertemente por el albañil al cabo de unas horas que alisa su superficie exterior y deja secar esta hilada aproximadamente 2 días. De este modo se realiza la construcción, de tal manera que progresivamente el muro va compactándose y adhiriendo a la base, formando una masa homogénea.



CONSTRUCCIÓN DE UN MURO DE TIERRA UTILIZANDO LA TÉCNICA ZABOUR

Estas técnicas presentan sus variantes europeas, la **“Técnica del Cob”** concretamente, fue muy utilizada en el sudoeste de Inglaterra desde el siglo XV hasta finales del siglo XIX. Se utilizaba una tierra arenosa semigrasa, mezclada con fibras o vainas de cereal, que proporcionaban una mayor flexibilidad y resistencia a la retracción de la arcilla, mejorando además el aislamiento térmico del muro. Para la puesta en obra, primeramente se ejecutaba la pasta mezclando todos los elementos, la cual se dejaba secar durante uno o dos días previamente a su utilización. A continuación era necesario construir una base de piedras recubierta de un material impermeable. Encima de ésta se colocaba un operario con un tridente mientras un segundo formaba bolas del tamaño de dos puños, éste las lanzaba al primero que las capturaba con el tridente y retrocediendo las iba progresivamente disponiendo y compactando contra el muro, formando hiladas de 50 a 60 cm. de altura que sobresalían 5 o 10cm. por los laterales de la base, para rebajarse posteriormente. Estas hiladas se dejaban secar durante 1 periodo de 1 o 2 semanas.

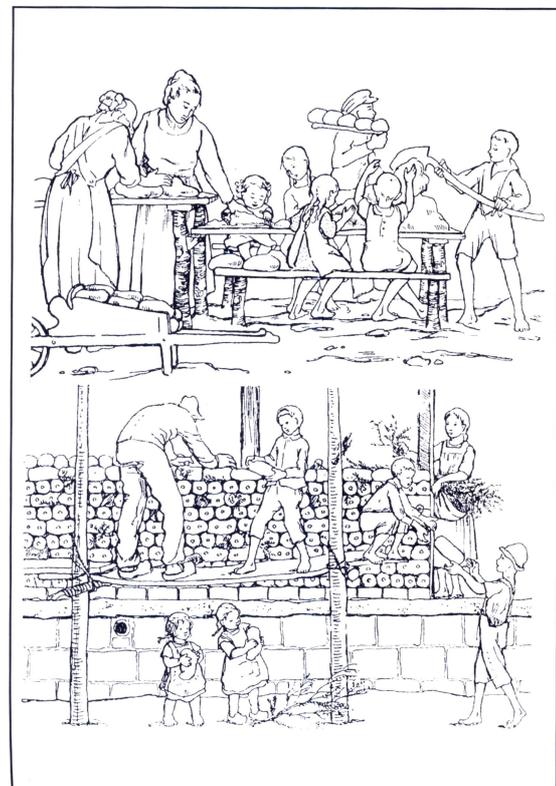


Basándose en las técnicas utilizadas en Yemen y el norte de África, un misionero alemán (Gustav Von Bodelschwingh) adoptó su aplicación a las condiciones propias de su país.

Con esta técnica los panes húmedos de barro se colocan sin la utilización de ningún mortero de agarre. Con la ayuda de las manos se practica un agujero en las cara exterior e interior de cada pieza con el objeto de mejorar la adherencia del mortero de revoque que se aplica posteriormente. Estos panes se colocan a un ritmo de 3 a 5 hiladas por día. Después de que el muro se haya secado se aplican varias capas de revoque de cal. La primera vivienda realizada con el empleo de esta técnica se construyó en Alemania en 1925. Posteriormente diferentes cooperativas conformadas por desempleados a iniciativas de Gustav V.B. construyeron más de 300 viviendas. Tal y como podemos ver en la imagen adjunta, todos los miembros de las familias participaban en la producción y construcción de estas viviendas



**CONSTRUCCIÓN REALIZADA MEDIANTE
LA TÉCNICA DE PANES DE BARRO**



TÉCNICA DE LOS PANES DE BARRO



Esta tecnología tradicional, ha acompañado a la del adobe desde los albores de la civilización, y actualmente con la incorporación de las nuevas técnicas y la maquinaria moderna sigue siendo uno de los sistemas más utilizados en los países en vías de desarrollo. A diferencia del adobe, durante su ejecución, su masa es sometida a una presión o prensado que reduce el nivel de humedad en la mezcla así como también la posibilidad de penetración de la misma en las paredes de la edificación erigida. Además allí donde el adobe adopta la forma de bloques o "ladrillos" la tierra comprimida se utiliza para la construcción de paños de paredes.

Tradicionalmente bajo esta denominación de tapial se ha definido tanto a la técnica de construcción utilizada como al elemento constructivo resultante. Aunque en un sentido estricto, debería emplearse únicamente para referirse al primer concepto, dado que el segundo sería una tapia propiamente dicha.

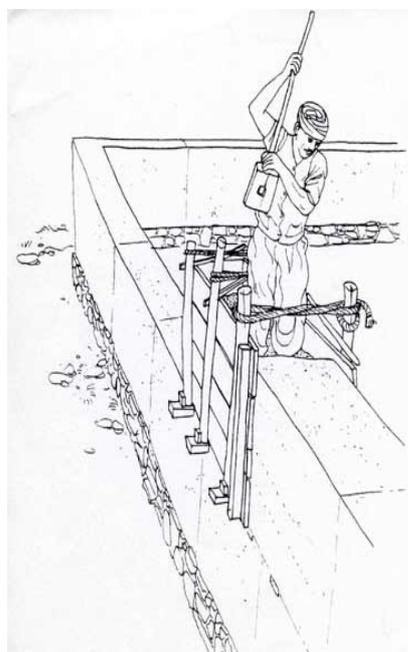
Las tapias pueden clasificarse en dos grandes grupos, el de los tapiales monolíticos, en los que el muro funciona como un todo homogéneo y de igual resistencia, y el de los tapiales mixtos, en los que ciertas zonas del muro son más resistentes que otras. Dentro de la primera categoría encontramos multitud de variedades en función de la composición de la tierra empleada. Por lo que respecta al segundo, el de los tapiales mixtos, aquellos en los que las cargas principales del edificio son asumidas por las partes más resistentes, vamos a observar la presencia de otros materiales complementarios como el adobe, el ladrillo, la piedra o la madera.

El proceso constructivo comienza con la preparación y conformación del lugar escogido para la construcción, eliminando los restos vegetales o de tierra orgánica que puedan existir. Una vez fijados los ejes de los muros, mediante el replanteo in situ, se procede a elaborar los cimientos excavando zanjas con profundidades entre 1,00 y 1,50 m, según la calidad del suelo del lugar para construir, con un ancho variable entre 70 y 90cm aproximadamente, cuidando de todas formas que sea de mayor espesor que el muro de tapia a soportar.



Esta cimentación sobresaldrá del nivel del suelo hasta una altura variable de 30cm a 1.00m. dependiendo de la inclinación o nivelación del terreno, con el fin de proteger al muro de la humedad del suelo, la agresión de la lluvia, recibir y distribuir las cargas al terreno.

Así podemos considerar diversas fases en la construcción del tapial, una primera fase que implica la construcción de la cimentación, en la segunda fase se procede a ejecutar las primeras puestas de tapial hasta completar la primera hilada de tapial, subiendo el encofrado, en el denominado remonte, y determinando los vanos existentes para colocar los dinteles de madera para puertas y ventanas. Por último en una tercera fase, se realiza el enrase o sobretapia, mediante el desplazamiento final del tapial alineando las alturas de los muros realizados. Por último apuntar que la tierra empleada en la construcción de tapias nunca es amasada –es decir, mezclada con agua- sino que se emplea prácticamente sin seleccionar o tratar y, efectivamente, es apisonada y compactada mediante el empleo de un encofrado de madera y de un pisón, que puede ser de piedra, madera o hierro.

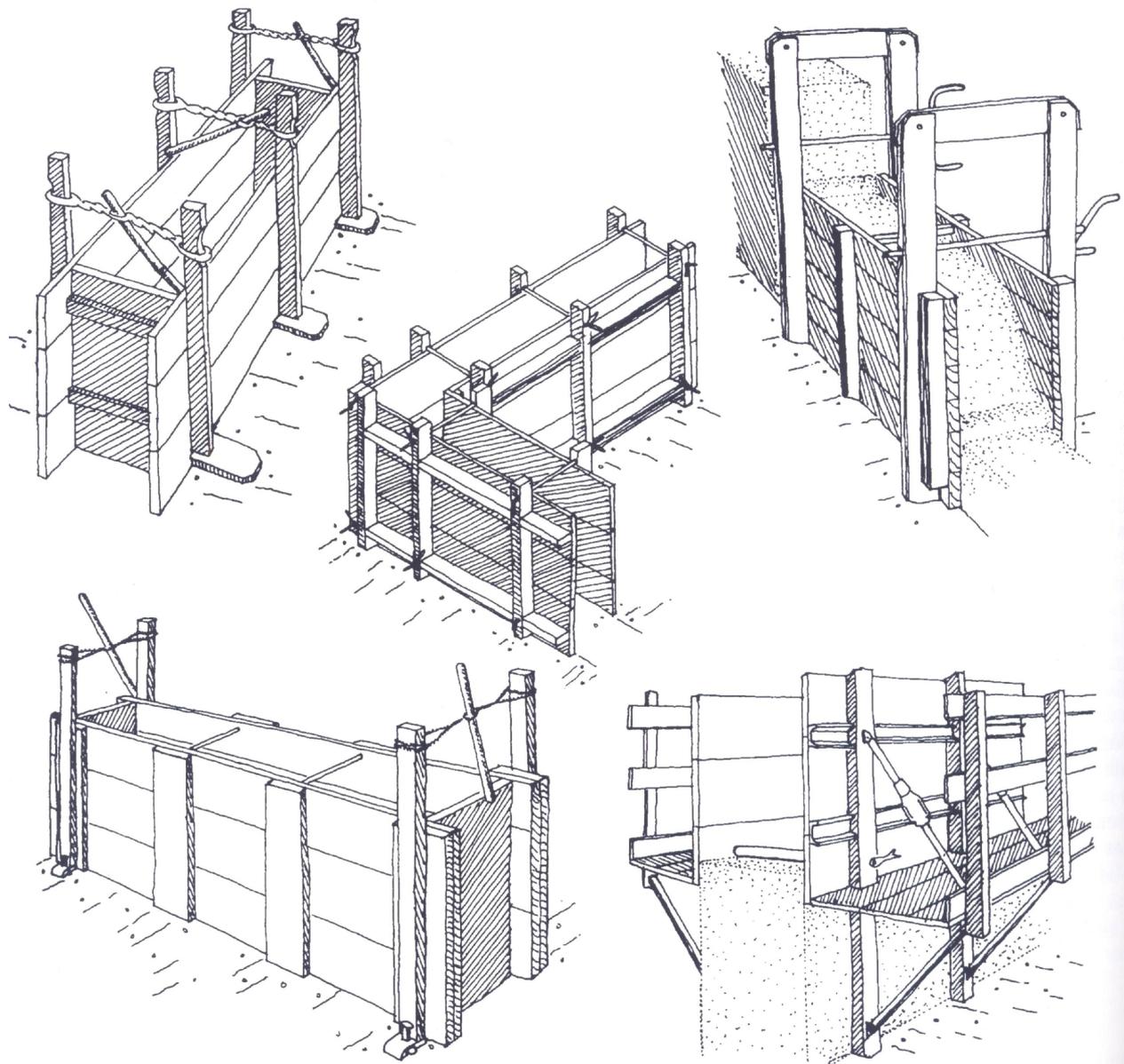


MACEADO DEL TAPIAL EN EL INTERIOR DEL ENCOFRADO

Entre las primeras referencias escritas sobre el empleo del tapial en la Península Ibérica se encuentran las de Plinio, que se refiere a este sistema de construcción en su *Historia Natural*, en la que señala:

"en España se veían torres y atalayas hechas de tierra, de remotísima antigüedad" añadiendo "¿no hay en África e Hispania paredes de barro, a las que llaman de molde porque se levantan, más que construyéndolas, vaciándolas entre dos tablas, las cuales paredes duran siglos por ser inmunes a la lluvia, al viento, al fuego, siendo más fuertes que cualquier cemento? En Hispania aún están a la vista las atalayas de Hannibal y las torres de barro alzadas en lo alto de las montañas"





ILUSTRACION CON DIFERENTES ENCOFRADOS DE TAPIAL



A lo largo de todo el planeta existen multitud de tecnologías mixtas, desde la quincha o el bajaraque en Latinoamérica, el entramado o "l'encanyisat" de tierra y yeso en España o el llamado "Pan-de-bois" de Francia.

TECNICAS DE BAJARAQUE Y QUINCHA

Bajo estas denominaciones identificamos al sistema consistente en armar una trama de maderas o cañas generalmente dispuestas en dos sentidos –horizontal y vertical o cruce de diagonales – entre dos pies derechos, de tal forma que se crea una estructura independiente que posteriormente será embarrada para formar el paramento. Calificamos a esta estructura como independiente ya que, el muro propiamente no adquiere más resistencia que la necesaria para mantenerse a sí mismo, además del peso transmitido por una liviana cubierta. Así pues con estas condiciones, no resulta raro que este sistema sea muy utilizado en climas cálidos, pues permite armar techados –como primer cobijo – para luego, poco a poco, ir armando las paredes a medida que se va recogiendo material.

Como ya hemos dicho, el entramado se hace de rollizos, tablas, ramas o cañas. También es muy usada en la zona del nordeste argentino la palmera cortada en tablas, pues el propio rollizo ya es usado en la estructura portante. Hay también entramados tejidos *in situ* o prefabricados, trabajados en forma similar a los canastos. En ciertas regiones africanas – y en determinadas regiones argentinas, como la de Mendoza – se utilizan largas cañas flexibles que permiten armar entramados abovedados, que son autoportantes.

De este modo, una vez armada la estructura principal, se procede a construir la trama que irá apoyada o amurada a aquella, para posteriormente aplicar el embarre. Éste se hace con una mezcla de tierra y agua, aunque como en otros sistemas, la calidad de la pasta podrá ser



mejorada con el agregado de fibras o aligerada con arena, pero todo ello responderá a las condiciones de los materiales a disposición.

El embarre se irá haciendo de ambos lados y por capas sucesivas comenzando de abajo y continuando con todo el perímetro, o todo a lo largo de la pared, si se construye una sola. La formación de vanos en estas construcciones con entramado, debe hacerse al ser elaborado el armazón,



generalmente cruzando a modo de dintel un grupo de alambres, o simplemente una madera. En cualquiera de las soluciones el dintel correrá entre los pies derechos, aunque sólo se abra un vano pequeño. Las jambas se formarán con postes verticales de madera que permitirán interrumpir los elementos horizontales en la abertura. Existen, sin embargo, soluciones simples para pequeñas aberturas: incluyendo una horqueta o un pequeño marco de palos en el entramado, se consigue interrumpirlo y lograr así un ventanuco que permitirá las corrientes de aire y la salida del humo.

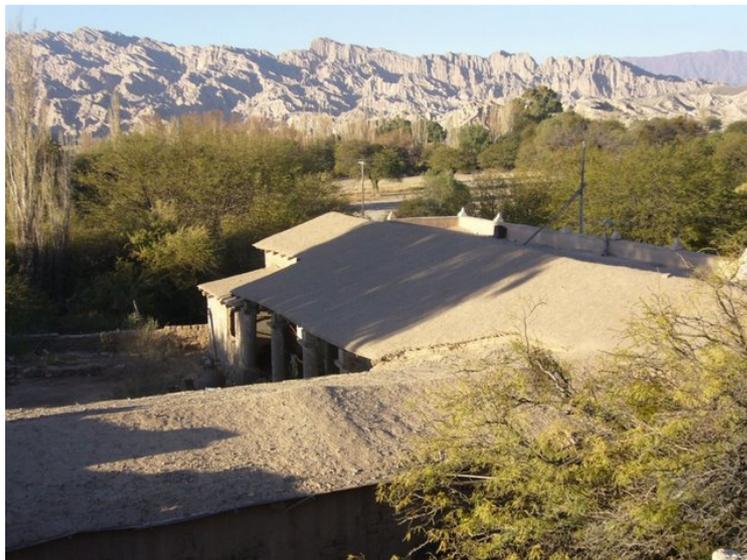
Hay que destacar que debido a su proceso de construcción y los materiales empleados, el contenido de humedad en este sistema será mucho mayor que en otras técnicas de construcción con tierra. Aunque la humedad también dependerá del



tipo y grosor de la trama que sea necesario cubrir. Por este motivo el uso de esta técnica suele venir acompañado de protecciones complementarias, capaces de minorar el efecto de las aguas de lluvia, o la absorción del paramento, tales como la disposición de aleros en cubierta o la aplicación de revoques o encalados en el paramento para conseguir aumentar su durabilidad.



Dentro de estos sistemas se encuentra también el techado de torta, tan difundido en las zonas áridas y semiáridas, que evolucionó desde un simple apilamiento de tierra sobre un entramado hasta la formación orgánica de una estructura con el agregado de un barro conscientemente amasado y preparado. Al enmaderado –similar al de un techo de teja – se le superpone el entramado formado por cañas, tablones, ramas, paja, etc. Cuando por razones pluviales comienza a tener pendientes pronunciadas, se recurre al uso de diversos materiales, que se colocan en los extremos: Pudiendo emplearse para ello lajas de piedra, cenefas de tablas o cualquier otro material que evite el lavado de la torta. De todos modos es necesario un periódico entorte para el buen desempeño del techo. Cada vez que se coloca –tanto la primera, como las posteriores renovaciones – se acomoda el embarre general amasado con guano y paja, dando finalmente una capa delgada de tierra fina a modo de acabado. Como dato apuntar que alrededor de 1990, el arquitecto Rodolfo Rotondaro estudió en el norte argentino nuevas formas de hacer los techos de torta para lograr mayor durabilidad. Los resultados han sido ya publicados y los sistemas están aplicándose en otros países del área.



**TECHO DE TORTA (BARRO) EN EL PUEBLO VIEJO DE ANGASTACO
(ARGENTINA)**



4.- LA TIERRA MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

4.1 GENERALIDADES Y PROPIEDADES DE LA TIERRA

Identificaremos como **Tierra** al producto resultante de la erosión de las rocas de la corteza terrestre. La erosión ocurre fundamentalmente a través de la pulverización de las rocas provocada por movimientos glaciales, del agua y el viento, por la expansión y la contracción térmica de las rocas o por la expansión del agua congelada en las grietas de las rocas. Adicionalmente los ácidos orgánicos existentes en las plantas, las reacciones químicas producidas por el agua y el oxígeno provocan también la erosión de las rocas.

La composición y variedad de las propiedades de la tierra depende del lugar donde se encuentre, así pues los suelos de montaña con alto contenido de grava son más apropiados para las técnicas de barro apisonado (previendo que contengan suficiente arcilla), en cambio los suelos de las laderas de los ríos por lo general, son más limosos y por lo tanto menos resistentes a las inclemencias del tiempo y a la compresión.

La tierra es una mezcla de arcilla (Partículas de diámetro < 0.002mm.), limo (Partículas comprendidas entre 0.002 y 0.06mm. de diámetro), y arena (Partículas comprendidas entre 0.06mm. y 2mm. de diámetro), que algunas veces contiene agregados de mayor tamaño como grava y piedras.

Estableciendo una comparación, podemos decir que la arcilla, al igual que lo hace el cemento en el hormigón, actúa como aglomerante pegando las partículas mayores de la tierra. Dependiendo de cual de estos tres componentes sea el predominante hablaremos de suelos **arcillosos, limosos o arenosos**.

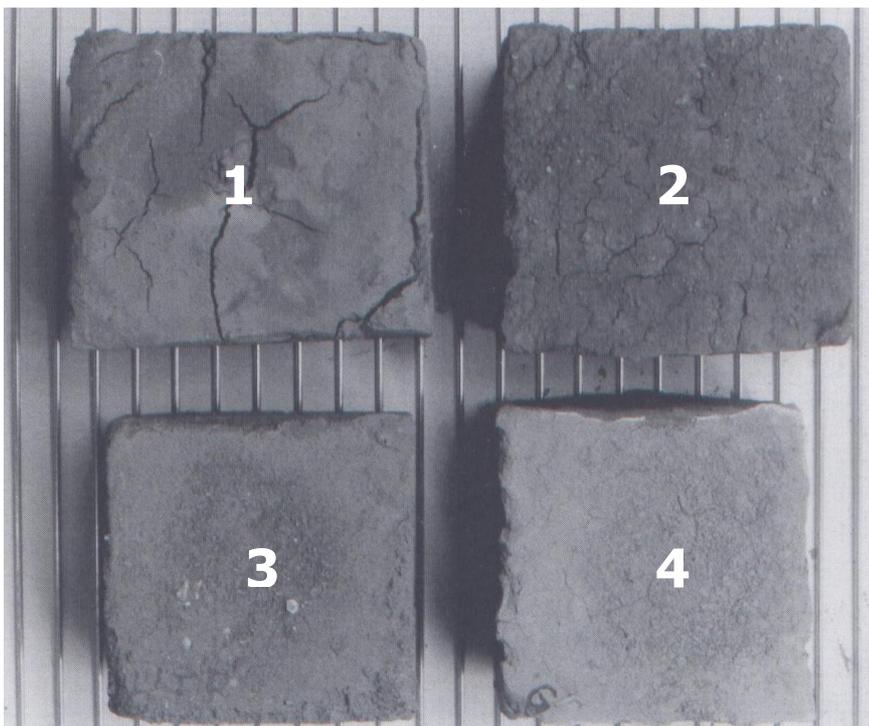
A continuación observaremos como la proporción en que intervienen estos tres componentes condiciona totalmente, el posterior comportamiento y aplicación de la tierra como material de construcción. A la cual también identificaremos, dependiendo del contexto en que la abordemos, con la denominación de barro.



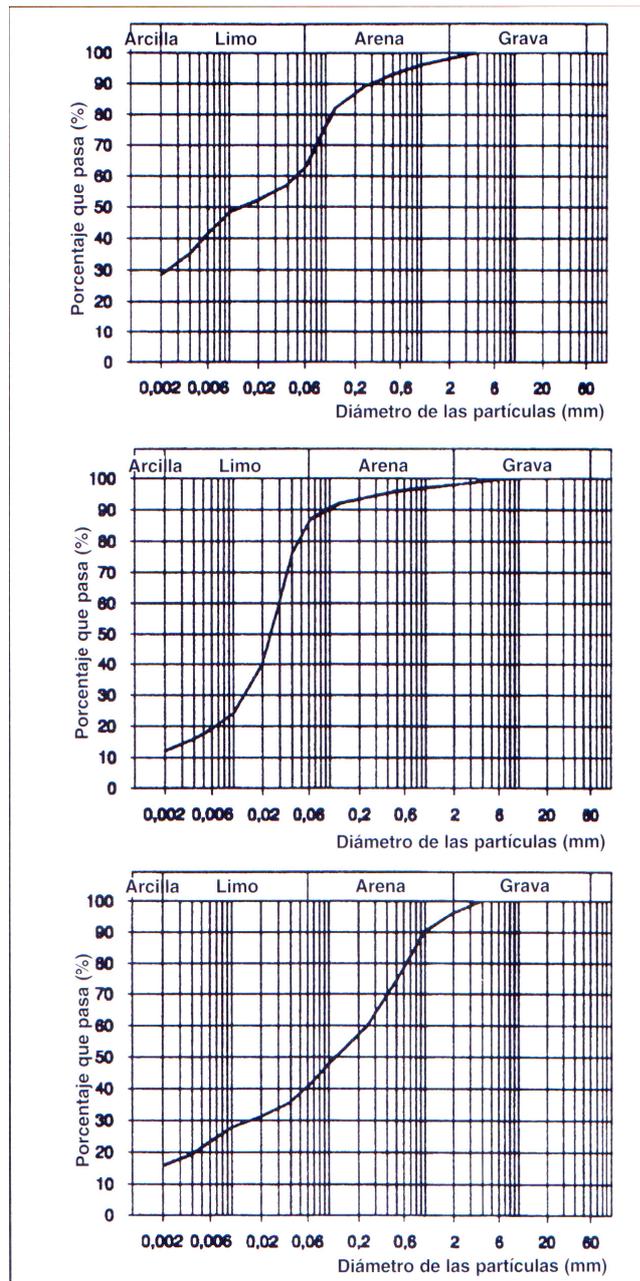
La expansión del barro al entrar en contacto con el agua, así como su retracción al secarse son comportamientos desventajosos para el uso de éste como material de construcción. La expansión ocurre solamente si el barro entra en contacto directo con mucho agua perdiendo así su estado sólido, ya que la absorción de humedad del aire no conduce a esta expansión, como posteriormente analizaremos.

De este modo la magnitud de expansión y la retracción depende de la tipología y la cantidad de arcilla. Por ejemplo, la arcilla montmorillonita tiene un efecto mayor que la arcilla caolinita o la illita y por otra parte la distribución granulométrica de limo y arena influye de forma determinante tal y como lo demuestran los experimentos llevados a cabo en el instituto FEB de la Universidad de Kassell y que a continuación explicaremos más detenidamente:

Tras la confección de muestras de 10x10x17cm. de diferentes mezclas de tierra, éstas fueron sumergidas en 80 cm³ de agua y secadas luego en un horno a 50°C para estudiar las fisuras de retracción. Los resultados obtenidos de este ensayo pueden observarse en la imagen inferior.

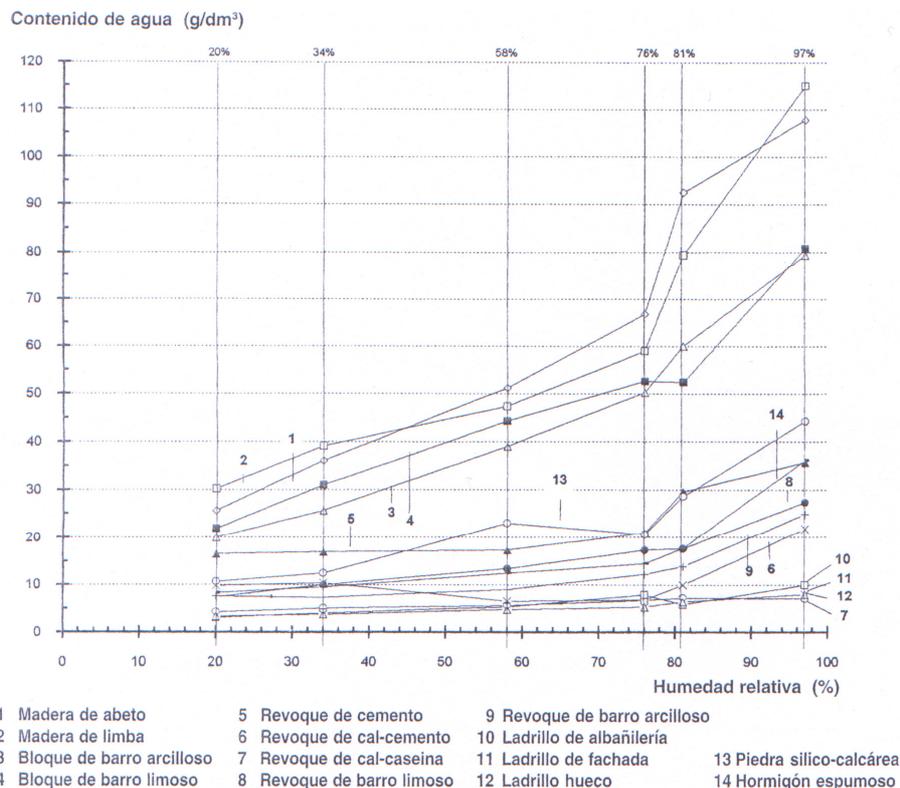


La muestra de ladrillo crudo (1), fue elaborado utilizando un barro arcilloso. Su curva granulométrica se corresponde con la de la parte superior de la imagen. Tal y como observamos en la fotografía la muestra presenta grandes grietas de retracción. Otra mezcla similar con el mismo tipo y cantidad de arcilla (2) pero con una distribución "optimizada" de limo y arena, tras el proceso de secado presenta muy pocas grietas en comparación con la anterior muestra. La muestra elaborada utilizando un barro limoso (3), cuya curva granulométrica puede verse en la parte central de la imagen, presenta fisuras generalizadas pero de extrema delgadez. En cambio en la muestra obtenida empleando un barro arenoso (4), cuya curva granulométrica podemos observar en la parte inferior de la imagen, no se detecta la presencia de grietas ni fisuración. Tras los resultados arrojados por este experimento, resulta imprescindible identificar, la composición granulométrica, como una de las características que se deben tener muy en cuenta, por la gran influencia que ejerce en el comportamiento del material. En el siguiente apartado detallaremos como las mejoras y los avances efectuados en este material son capaces de minimizar estos defectos de retracción.



Como comentamos en el punto, el barro en contacto con el agua se expande y ablanda, en cambio bajo la influencia del vapor éste absorbe la humedad pero permanece sólido manteniendo su rigidez, y sin variar su expansión es capaz de balancear la humedad del aire interior.

Y es que de forma genérica podemos afirmar que todo material poroso, aunque este seco posee una humedad característica, denominada de equilibrio en el contenido de humedad, la cual depende de la humedad del aire del ambiente, de forma que a mayor cantidad de humedad, mayor será la cantidad de agua que absorberá el material, y a su vez, éste desorberá agua si se reduce la humedad del aire.



En el gráfico adjunto se muestran cuatro valores de mezcla de barro en comparación a valores de otros materiales de construcción comunes. Podemos observar que el bloque de tierra limosa (4 en el gráfico) alcanza un contenido de humedad que es siete veces más que el de un ladrillo de albañilería, de fachada o hueco (10, 11, 12 en el gráfico) bajo una humedad relativa del 58%.



Como más adelante demostraremos, un elevado valor de absorción y desorción de la humedad, influye de manera determinante en el balance de humedad de un ambiente interior.



Intentar aportar datos y especificaciones concretas sobre la resistencia de la tierra, establecer unos valores mínimos y máximos con los que poder garantizar un mal o buen comportamiento de la tierra de forma genérica o en definitiva intentar acotar esta propiedad, como si de un material estandarizado se tratase, resulta una tarea tan compleja y extensa, que por si misma sería merecedora de un trabajo de investigación dedicado a tal fin. Y es que, los valores obtenidos en diferentes investigaciones y ensayos arrojan valores muy dispares y difíciles de estandarizar, así pues en este trabajo, con el fin de definir el comportamiento mecánico de la tierra como material de construcción, describiremos de forma genérica el comportamiento de ésta cuando es sometida a esfuerzos de compresión, tracción o flexión, resaltando aquellos en los que conviene para mayor o menor atención.

- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para la construcción con tierra, la resistencia de ésta a los esfuerzos de compresión resulta un dato relevante a tener muy en cuenta. La resistencia a compresión del barro depende principalmente de sus distribución granulométrica (Importante característica que ya destacamos en el apartado 3.1-1), del contenido de agua, de la compactación dinámica o estática, así como del tipo de arcilla. Así pues, si las partículas de arena y grava están bien distribuidas como para obtener el menor volumen de compactación, y los limos y las arcillas están constituidos de tal manera que todos los espacios intergranulares de la arena y de la grava estén rellenos con ellos. Entonces se alcanza la máxima densidad y con ello mayor resistencia a la compresión.

Los valores de ésta dependiendo de si nos referimos a elementos de construcción secos como por ejemplo bloques de tierra o tierra compactada están comprendidos aproximadamente entre valores que oscilan desde 5 a 50kg/cm². En el contexto actual de nuestro país, no existe actualmente una normativa que regule estos valores.



Por este motivo nos hemos servido de la información contenida en la normativa alemana, más concretamente en la norma DIN 18954, en la que se establecen para el caso de muros de cerramiento, resistencias a compresión permisibles comprendidas entre 3 y 5kg/cm². En la práctica es poco común que se requiera una resistencia a compresión superior, que sería necesaria en algunos elementos muy expuestos a cargas extremas, hecho que ocurre en estructuras con una cantidad considerable de pisos. Esta misma norma sólo permite construir edificios de tierra de dos pisos, pero en Yemen podemos encontrar edificios de tierra de 10 pisos de altura.

Peso específico kg/m ³	Resistencia a la compresión kg/cm ²	Valores permisibles en kg/cm ²					
		Muro	Columna altura/espesor				
			11	12	13	14	15
1600	20	3	3	2	1		
1900	30	4	4	3	2	1	
2200	40	5	5	4	3	2	1

Compresiones permisibles en barros de acuerdo a la Norma Alemana DIN 18954



Edificios construidos utilizando la técnica del adobe y el tapial tierra (Yemen)



- RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

La resistencia a los esfuerzos de flexión que presenta el barro en estado seco puede ser prácticamente, considerada como despreciable, aunque para la construcción con tierra estos valores son de escasa importancia, pues estas construcciones no son concebidas ni construidas para someterse a este tipo de solicitaciones. En cambio este parámetro tiene una mayor importancia cuando se trata de establecer la calidad del mortero de barro y la rigidez de los bordes de los bloques de barro. Destacaremos que la resistencia a flexión del barro depende fundamentalmente del contenido de arcilla y del tipo de minerales de arcilla. Sirva de ejemplo la elevada resistencia a flexión que presenta la arcilla montmorillonita en comparación con la arcilla caolinita. El valor más bajo, investigado por Hofmann, Schembra et al. (1967) con caolinita alcanza 1.7 kg/cm², el mayor con montmorillonita 223 kg/cm².

RESISTENCIA A LA TRACCION

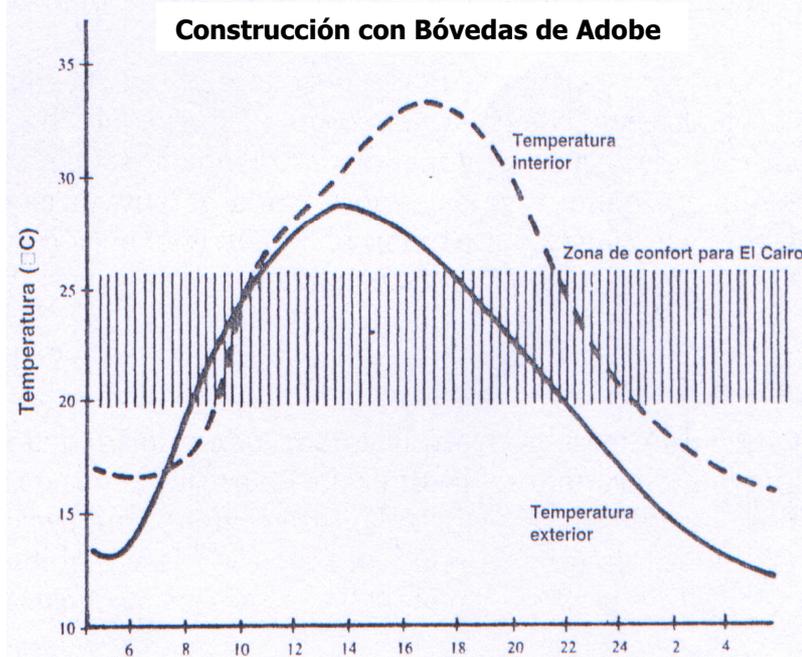
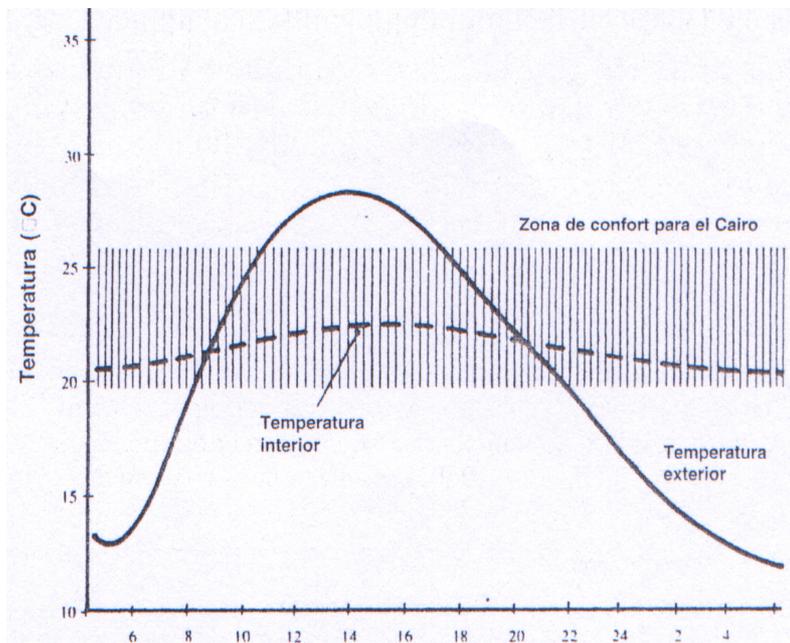
La resistencia del barro a la tracción en estado plástico recibe el nombre de cohesividad. Destacaremos que la cohesividad del barro no depende sólo del contenido de arcilla sino también del tipo de minerales arcillosos y del contenido de agua. La cohesividad de diferentes barros solo puede ser comparada si el contenido de agua o su plasticidad son iguales.

A pesar de todo al igual que ocurría con los esfuerzos a flexión, para la construcción con tierra la resistencia a la tracción del material seco, no es relevante debido a que las estructuras de tierra no deben ser sometidas a esfuerzos de tracción.



Un muro con una alta capacidad de almacenamiento crea un largo retraso de la penetración del calor y una disminución de la amplitud térmica, mientras que un muro con alto aislamiento térmico solamente reduce la amplitud térmica.

En un clima con días calientes y noches frías en el que la temperatura promedio está dentro del nivel de confort (considerando esta entre 17°C y 25°C), la capacidad de almacenamiento térmico de un material resulta un factor decisivo para crear un clima interior confortable.



Construcción con elementos prefabricados de Hormigón



En los gráficos de la pagina anterior se muestra el efecto del material y de la forma de una edificación en relación al clima interior, de acuerdo a datos tomados tras un experimento del Arquitecto Hassan Fathy, en dos construcciones experimentales del mismo volumen que fueron construidas en el Cairo, Egipto. Una se construyo con muros de barro apisonado de 50cm. de espesor y con bóvedas de bloques de barro y la otra con elementos de hormigón prefabricados de 10cm. de espesor y con un techo plano

Cuando la variación diurna de la temperatura exterior era de 13°C, la temperatura interior en la vivienda de tierra solo variaba 4°C, mientras que en la vivienda de hormigón la variación era de 16°C. Es decir la amplitud era cuatro veces mayor en la vivienda de hormigón en comparación con la vivienda de tierra. En la vivienda de hormigón la temperatura era 5°C superior a la exterior a las 4h. de la tarde, mientras que en el interior de la vivienda de tierra eras 5°C más baja que en el exterior a la misma hora.



En la actualidad existen numerosas investigaciones centradas en la repercusión que las ondas electromagnéticas (generadas por el funcionamiento de multitud de aparatos eléctricos, redes inalámbricas, redes GPS, etc.) pueden causar en la salud y en el comportamiento de nuestro organismo.

Si bien es cierto que no existe ninguna investigación concluyente que demuestre una relación directa entre estas ondas y la aparición de determinadas afecciones y dolencias en el cuerpo humano, el hecho de que estas ondas sean absorbidas por los materiales de construcción, en lugar de por el cuerpo humano, puede ser considerado más como un beneficio que como un inconveniente o un perjuicio para nuestra para salud.

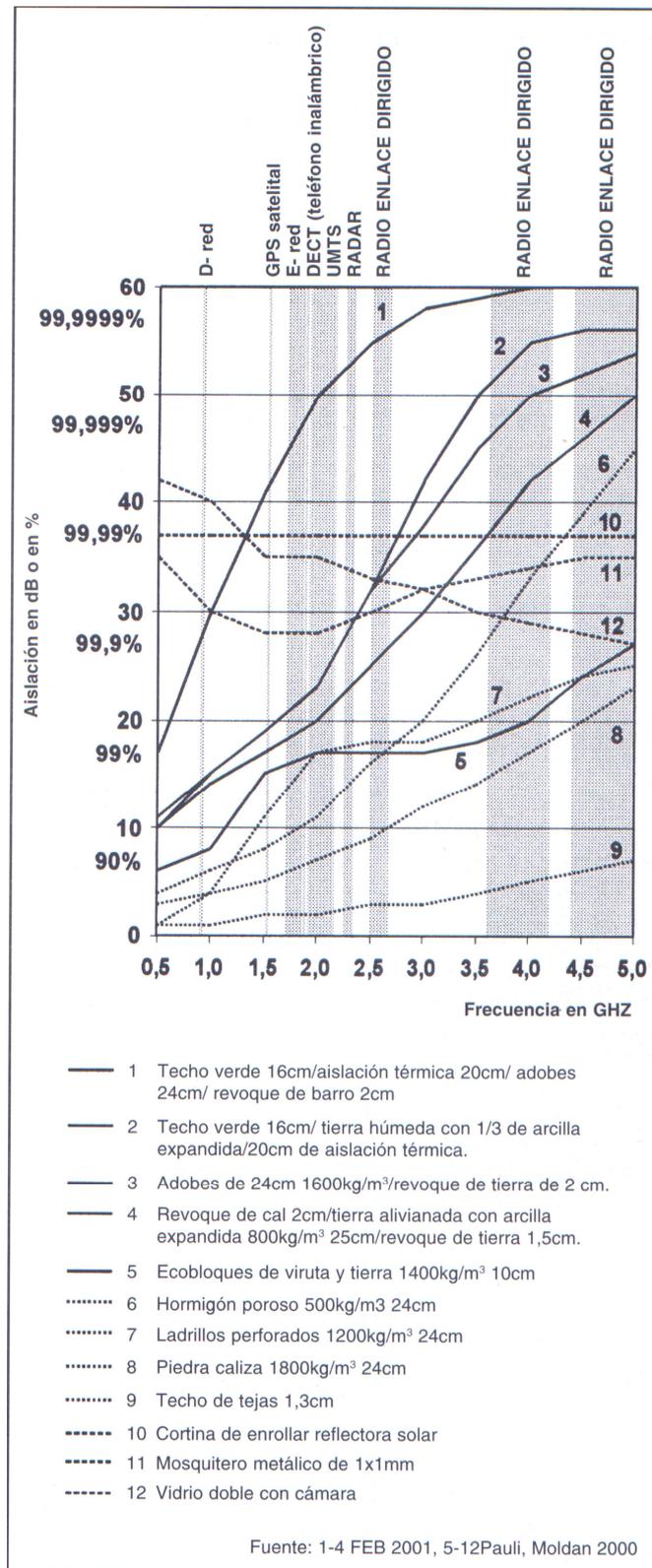
Así pues, diversas investigaciones llevadas a cabo por la Universidad de Bundeswehr en Munich, Alemania, sobre el bloqueo o la protección que ofrecen los materiales de construcción, y más concretamente la tierra, frente a las ondas electromagnéticas de alta frecuencia (celulares, microondas, teléfonos inalámbricos) arrojaron una serie de datos significativos que a continuación abordaremos con más precisión, analizando los datos que se desprenden tras la interpretación del gráfico que hemos adjuntamos a continuación.

Con respecto a los cerramientos, se ha demostrado que un muro de adobes con 24cm. de espesor y 1600kg/m^3 de densidad, con un 15% de huecos con aire en su interior, expuesto a frecuencias comprendidas en un rango de 1,8 a 1,9 GHz (correspondientes a las de un microondas, un teléfono celular o uno inalámbrico) es capaz de amortiguar las ondas en 22dB, lo que equivale a una reducción de un 99.4%, mientras que un muro del mismo espesor de ladrillos livianos de 1200kg/m^3 solo reduce las frecuencias en 17dB y un muro de ladrillos más compacto de 1800kg/m^3 sólo es capaz de amortiguar 7dB



Para frecuencias más altas como pueden ser las de radioaficionados (2.32-2.45 GHz) o antenas direccionales (4.4-5.0 GHz) los valores se encuentran en un rango mucho mayor, tal y como se observa en el gráfico, para frecuencias de 4GHz la resistencia al paso de las ondas en un muro de tierra es de 50dB, equivalente a un 99%, en contraposición a un muro de ladrillos que sólo aísla 17dB.

Por lo que a las cubiertas se refiere, un techo verde sobre cúpula de adobes de 24cm. es capaz de ofrecer en el campo de 2GHz una muy buena protección de 49dB, equivalente a un 99%, valor que contrasta con el alcanzado por un techo de tejas, en el que sólo podemos asegurar una protección mínima, o con el de un techo verde liviano de 16cm. de espesor, capaz de aislar bajo una exposición de 2GHz, 22dB lo que equivale a un 99.4% de protección.



Por último si observamos el aislamiento de las ventanas, éstas sólo pueden ofrecer una buena protección si están provistas de doble vidrio y una lámina de metal noble adherida al vidrio térmico o una malla metálica.

Se han enumerado los aspectos y propiedades más relevantes que deberemos tener en cuenta al utilizar la tierra como material de construcción. A continuación, completaremos este apartado enumerando las ventajas e inconvenientes que resultan de la utilización de este material.



4.2-1 INCONVENIENTES DE LA UTILIZACIÓN DEL BARRO

- **El barro no puede considerarse un material de construcción estandarizado:**

Su composición depende del lugar de donde se extrae, pudiendo contener diferentes cantidades y tipos de arcilla, limo, arena y agregados. En consecuencia, sus características pueden variar dependiendo de su procedencia y a su vez, la preparación de la mezcla correcta para una aplicación específica. Así pues, resulta necesario saber la composición específica del barro para poder juzgar sus características y modificarlas con aditivos si resulta necesario.

- **El barro se contrae al secarse:**

A través de la evaporación del agua de amasado (necesaria para activar la capacidad aglomerante de la arcilla y para poder ser manipulada) pueden aparecer fisuras. La retracción lineal durante el secado oscila entre 3 -12% en técnicas de tierra húmeda (como las que generalmente se utilizan para morteros y bloques de barro) y entre 0,4-2% en técnicas con mezclas secas (utilizadas para el tapial, o bloques compactados). La retracción se puede disminuir reduciendo la cantidad de agua y arcilla, optimizando la composición granulométrica o mediante el empleo de aditivos.

- **El barro no es un material impermeable:**

Debe ser protegido contra la lluvia y las heladas, especialmente en estado húmedo. Algunos de los métodos más utilizados para llevar a cabo esta protección consisten en la construcción de aleros, la colocación de barreras impermeabilizantes, o el uso de tratamientos superficiales.



Así pues, destacaremos estas tres desventajas en comparación con determinados materiales industrializados tales como el ladrillo hidrófugo o la cerámica armada, cuyo nivel de terminación resulta mucho más elevado. Y si bien es cierto que estos inconvenientes no pueden ser desestimados; a continuación enumeraremos las ventajas que este material presenta con respecto a estos y otros materiales industrializados, demostrando que tomando las adecuadas precauciones, la tierra puede ser un material tan útil o incluso más que otros materiales.

4.2-2 **VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL BARRO**

- **El barro como regulador ambiental:**

El barro tiene la capacidad de absorber y resorber humedad más rápido y en mayor cantidad que los demás materiales de construcción. Por esto regula el clima interior.

- **El barro almacena calor:**

Al igual que otros materiales densos, el barro almacena calor. En zonas climáticas donde las diferencias de temperaturas son amplias, o donde es necesario almacenar la ganancia térmica por vías pasivas, los cerramientos de barro permiten atenuar los cambios de temperatura externos, creando un ambiente interior agradable.

- **El barro ahorra energía y disminuye la contaminación ambiental:** El barro prácticamente no produce contaminación ambiental en relación a los otros materiales de uso frecuente, para preparar, transportar y trabajar el barro en el sitio se necesita solo un 1% de la energía requerida para la preparación, transporte y elaboración de hormigón armado o ladrillos cocidos.



- **El barro es un excelente material reutilizable:** El barro crudo se puede volver a utilizar ilimitadamente. Sólo necesita ser triturado y humedecido con agua para ser reutilizado. El barro en comparación con otros materiales no será nunca un escombros que contamine el medio ambiente.
- **El barro economiza materiales de construcción y costos de transporte:** Económicamente asequible, es un recurso barato (o prácticamente gratuito) que a menudo ya se encuentra en el lugar donde se realizará la construcción. Generalmente el barro que se encuentra en la mayoría de las obras producto de la excavación de los cimientos puede ser utilizado para la construcción. Si este no contiene suficiente arcilla, será añadida y si contiene mucha arcilla deberá mezclarse con arena lo que comportará modificar la composición del barro. Aún cuando debiera ser transportado de otros lugares resulta claramente más económico que los materiales industriales.
- **El barro es un material muy apropiado para la autoconstrucción:** Las técnicas de construcción con tierra pueden ser ejecutadas por personas no especializadas en construcción, se pueden ejecutar con herramientas sencillas y económicas, siendo suficiente la presencia de una persona experimentada controlando el proceso de la construcción.
- **El barro preserva la madera y otros materiales orgánicos:** El barro mantiene secos los elementos de madera y los preserva cuando están en directo contacto con él, debido a su bajo equilibrio de humedad de 0,4 a 6% en peso y a su alta capilaridad. Los insectos y hongos no pueden destruir la madera en esas condiciones ya que necesitan un mínimo de humedad de 14 a 18% y los hongos, cantidades superiores al 20% de humedad para vivir.



- **El barro absorbe contaminantes:** Se ha dicho muchas veces que el barro contribuye a purificar el aire de un ambiente interior, pero hasta el momento esto no ha sido científicamente comprobado. Es una realidad que el barro puede absorber contaminantes disueltos en agua. Por ejemplo existe una planta de demostración en Berlin-Ruhleben que remueve fosfatos de 600m³ de aguas residuales diariamente usando suelos arcillosos. Los fosfatos se pegan a los minerales de la arcilla y son extraídos de los residuos. La ventaja de este procedimiento es que no quedan sustancias ajenas en el agua ya que el fosfato se convierte en fosfato de calcio y se puede reutilizar como fertilizante.

Tras la lectura de este apartado, que la utilización de la tierra como material de construcción necesita de determinadas precauciones, parece ser un hecho más que innegable, pero a su vez y pese a su mala fama, su idoneidad como material aplicable al campo de la construcción, también parece ser una realidad aún más evidente, tal y como se encargan de demostrarlo sus miles de años de antigüedad.

Pero no debemos conformarnos con las ventajas y buenas propiedades que este material presenta para ser utilizado en el campo de la construcción, tal y como ya apuntamos en el prólogo del presente trabajo, vivimos en una era de grandes avances y progresos, y como no podía ser de otra forma, la construcción con tierra también ha experimentado una evolución tecnológica que ha contribuido a mejorar muchas de las carencias que presentaba. Así pues en el siguiente apartado abordaremos determinadas técnicas constructivas y mejoras que han aparecido en torno a este material.



5.- AVANCES Y MEJORAS EN LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA

Actualmente la cantidad de empresas, industrias químicas, constructoras o arquitectos interesados en este campo, que están contribuyendo a un resurgimiento de un nuevo tipo de arquitectura de tierra, es digna de ser mencionado en este trabajo. Además, a lo largo de todo el planeta han empezado a surgir una serie de centros o eventos periódicos dedicados al estudio de la construcción con tierra en sus aspectos históricos y sociales, pero también dedicados a la innovación de carácter bioclimático, al análisis de la industrialización o a la comercialización de nuevos sistemas productivos y constructivos, que impliquen fundamentalmente el uso de la tierra.

En España podemos destacar como los principales centros de investigación:

- CIAT - Centro de Investigación de Arquitectura Tradicional de Segovia.
- La Fundación Navapalos. (Centro para la investigación y experimentación de materiales y técnicas autóctonas y tradicionales).

A nivel internacional, existen numerosos organismos de estudio, investigación y difusión de esta temática, entre los cuales podemos destacar:

- El CRATerre en Francia.
- El Center for Earthen Architecture de la Universidad de Plymouth en Inglaterra.
- El Forschungslabor für Experimentelles Bauen (F.E.B.) en la Universidad de Kassell (Instituto de Investigación de Construcciones Experimentales) en Alemania.
- El ICEB (International Council of Earth Builders) en Estados Unidos.
- El CRIATIC: Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda en la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

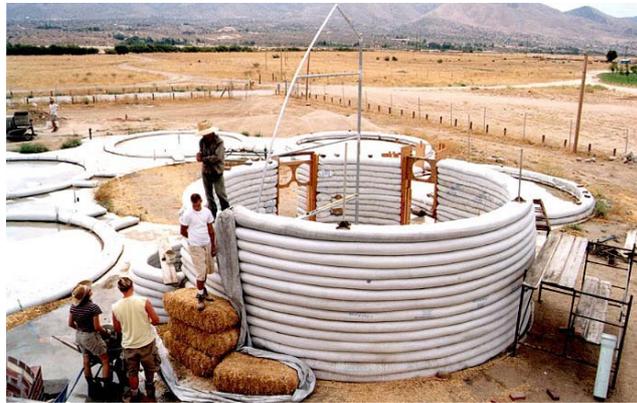


Estos y otros muchos centros de investigación, así como los profesionales que están vinculados a los mismos, son en buena parte responsables del desarrollo y resurgimiento que se está produciendo en la construcción con tierra.

A continuación describiremos nuevos sistemas constructivos y diversas mejoras que se están desarrollando en este campo y que como hemos visto suponen una de las opciones más adecuadas y recomendables para la resolución de algunos de los principales problemas de nuestra sociedad actual.



Bajo esta denominación, identificamos a la sencilla técnica de construcción que permite levantar construcciones con la única ayuda de sacos de plástico rellenos de tierra. El encargado de popularizar este tipo de construcción fue el



arquitecto iraní Nader Khalili. A finales de la década de los setenta, en el centro Cal-Earth de California, la organización para la que trabaja, desarrolló el 'súper adobe' (también conocida como "Superblock", en inglés), una técnica de construcción a base de sacos de arena y alambre de espino, a prueba de seísmos y testada por las exigentes autoridades de California.

El 'súper adobe' puede emplearse para construir cualquier tipo de vivienda, aunque hasta la fecha, su aplicación más extendida han sido los campamentos de refugiados de zonas afectadas por movimientos sísmicos.

"El coste de una tienda de campaña, que es el sistema más habitual para estas situaciones, es superior al de una casa-refugio construida con el método "Super adobe", además "Un hombre por sí solo no puede construir su propia casa pero diez hombres trabajando en grupo pueden fácilmente construir diez casas". Comenta orgulloso el arquitecto Khalili,

Khalili es asesor de la ONU para la arquitectura sostenible. Su método resiste terremotos, huracanes e incluso maremotos y ha sido avalado por el Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR) que lo empleó en 1995 para establecer un campamento de personas desplazadas desde Irán a Irak.



A continuación describiremos brevemente el proceso de ejecución de una vivienda mediante la utilización de este sistema.

Una vez escogido el lugar adecuado y replanteada la planta de la construcción se procederá a la retirada de tierra vegetal y a la explanación del terreno. Es conveniente marcar la entrada, o entradas a la vivienda para disponer una mayor sección en la cimentación puesto que tiene que soportar la carga del hueco de entrada.



Clasificando la cimentación según los materiales que empleemos podemos encontrar diferentes tipos. Generalmente la cimentación se rellena a base de gravas de diferente tamaño que se depositan sobre el hueco excavado, mezclando éstas con arena para rellenar los posibles huecos libres, aunque también es usual en este tipo de construcción la cimentación con neumáticos, que además de ser un material reciclado, tiene un buen comportamiento como cimiento, además funciona bien frente a sismos o inundaciones. La cimentación suele ser enterrada aunque también se dan casos en los que la cimentación arranca directamente de la rasante del terreno.



CIMENTACIÓN SUPERFICIAL



CIMENTACIÓN CON NEUMÁTICOS



Una vez finalizada la cimentación, la tierra se deposita en sacos o bolsas que se disponen de forma circular -en el modelo menos sofisticado-, levantando las paredes hasta conseguir una especie de cúpula. En un principio los sacos estaban hechos de materiales mucho menos resistentes pero actualmente los sacos más utilizados son los de polipropileno puesto que la resistencia es mucho mayor. Sus dimensiones pueden ser variables, pudiendo utilizar desde pequeños sacos a grandes bolsas de forma alargada, tal y como apreciamos en la fotografía adjunta.



En cuanto al material de relleno de los sacos, lo más razonable es utilizar materiales que se encuentren a nuestro alcance, relativamente cerca, pudiendo también utilizar como material de relleno el de la propia excavación, ya que de este modo se aprovecha la tierra excavada.

Una vez colocada la primera fila de sacos estos se comprimen para que queden bien dispuestos y estables, una vez que se termina cada fila, se disponen dos tiras de alambre de espino para conseguir la unión entre las hiladas consecutivas. Otra forma de unir las filas de sacos es a base de clavar redondos de acero corrugado en las primeras filas quedando los sacos completamente unidos, no sólo entre sí, si no además unidos al terreno. Dependiendo del lugar donde se realice la obra y debido a que la cantidad de acero que se necesitaría es relativamente pequeño podría utilizarse acero reciclado de otras obras o simplemente desechado.



En un primer momento la función de los sacos era estructural englobando además la cubierta, pero ello tiene limitaciones, puesto que para que este tipo de construcción sea autoportante ha de centrarse en formas circulares o apuntadas, variando el ángulo de la cubierta, pero en ningún caso formas poligonales. Por ello, a lo largo de los años se han ido experimentando diferentes tipologías constructivas en lo que a sacos de arena se refiere, utilizando los sacos de arena con función estructural pero con diferentes materiales en cubierta, pudiendo crear de este modo la forma de la planta que mejor se adapte a las necesidades de cada caso en particular, siendo en estos casos la madera, el material más utilizado para la construcción de la cubierta.



Por último, en lo que respecta al acabo final, estas construcciones se revisten, tanto por su parte exterior como interior con diferentes materiales, desde el tradicional revoque de barro hasta el mortero de cemento, aunque para este tipo de construcción resulta muy habitual la utilización de un mortero de papel, formado por papel, cemento Pórtland y arena que tiene un excelente comportamiento tanto como material de revestimiento como de impermeabilizante. En algún caso se ha llegado a revestir al completo con placa cerámica.



El arquitecto N. Khalili ha encontrado la base de su forma de entender la arquitectura en las enseñanzas del poeta y filósofo persa Rumi. El poeta dijo: *"La tierra se convierte en oro en manos de los sabios"*. Nosotros estamos demostrando que es posible que los humanos convirtamos en oro la tierra.



El bloque de tierra comprimido constituye en la actualidad una de las técnicas de construcción con tierra más prometedoras. En comparación con el adobe, el B.T.C. presenta diversas ventajas tales como un menor requerimiento del



contenido de agua, una mayor compactación y una mayor resistencia a la compresión, además el acabado de la pieza es mejor que el de una adobe prensado de forma tradicional. Además el prensado mediante medios mecánicos permite un almacenaje inmediato y una superficie de fabricación y secado mucho más reducida. Aunque por el contrario el proceso de fabricación resulta mucho más lento y el incremento en el coste derivado de la utilización de la maquinaria mucho mayor.

El principio de fabricación de los bloques comprimidos es similar al de fabricación de ladrillos tradicionales producidos por compactado (exceptuando la cocción). La producción de bloques puede llevarse a cabo en la misma obra, con prensas manuales o en unidades de producción automatizadas, con rendimientos muy altos que permiten el uso de estas técnicas a precios competitivos. Con respecto a la materia prima, la tierra, ésta debe tener una consistencia húmeda y la granulometría es deseable que sea fina. El estabilizante más apropiado es el cemento, que confiere al bloque una resistencia e impermeabilidad apreciables, aunque también se han utilizado otros materiales como la cal. La proporción de cemento utilizado suele estar comprendida entre valores comprendidos entre un 5% y un 10%, aunque posteriormente analizaremos con mayor detalle los beneficios derivados de la utilización de determinados estabilizadores.

Antes de desarrollar el proceso de fabricación, es importante reseñar al inventor de la primera prensa concebida para este fin. Su autor fue el ingeniero chileno



Raúl Ramírez, perteneciente al Centro Interamericano de Vivienda (CINVA) de la Universidad Nacional de Bogotá quien a finales de la década de los años 50 desarrolló la CINVA-RAM, maquina para la producción de bloques de tierra prensada dando así impulso al desarrollo a mayor escala.

Destacaremos que a finales de los años noventa y hasta el presente, el uso de la CINVA-RAM y la construcción con bloques estabilizados con cemento han adquirido un gran auge, a lo largo de los países en vías de desarrollo.

Para la fabricación de estos bloques, en primer lugar es necesario mezclar la tierra estabilizada con el cemento Portland hasta conseguir una mezcla uniforme, posteriormente ésta es vertida en un cajón con la forma del bloque, mediante una palanca se transmite presión a la tapa superior de la prensa que comprime la tierra contra el molde. Tras la retirada de la palanca, un mecanismo de apertura libera el bloque, que queda listo para ser utilizado.

Con respecto al número de operarios necesario para un correcto proceso de ejecución, éste se estima en 5 personas para excavar, tamizar y mezclar la tierra, así como curarla y apilonarla el día previsto para su utilización. También se necesitan al menos 3 personas para rellenar el molde, accionar la prensa y acopiar en el área de trabajo los bloques resultantes.

Una vez fabricados, los bloques deben colocarse de forma que los esfuerzos estructurales se distribuyan en la misma dirección que la fuerza de compresión durante el proceso de compactado. También debe tomarse la precaución de colocar la cara más lisa del bloque en la parte exterior, para así tener una mayor durabilidad.



LLENADO DE LA PRENSA CINVA-RAM



OBTENCIÓN DEL B.T.C.



En determinados países latinoamericanos y árabes se están realizando construcciones mediante la sistematización de la técnica del bajaraque. Ya hemos citado anteriormente el buen comportamiento que presenta esta técnica frente a las devastadoras acciones que origina un terremoto, en Centroamérica existen numerosas experiencias satisfactorias que evidencian el excelente comportamiento de tradicionales estructuras de cañas y barro.

Así pues el sistema industrializado de esta técnica consiste en una construcción de viviendas tipo "cesta" flexible, las cuales son capaces de resistir solicitaciones frente al sismo, a base de una estructura que utiliza una trama sustentante de madera tratada contra insectos y humedad, a modo de trama, sobre la cual se proyecta distintas capas de barro. Esta sencilla estructura puede ser transportada en cajas a las más remotas regiones geográficas para su conformación en sitio. Así, que una caja de 1.20 x 1.20 x 3.60 m. y de unos 320 kg. de peso puede alojar los componentes para construir una casita con un área de 40 mts².



CONSTRUCCIONES REALIZADAS MEDIANTE LA TÉCNICA DEL BAJARAQUE INDUSTRIALIZADO



En el centro Forschungslabor für Experimentelles Bauen, (FEB) de la Universidad de Kassel, Alemania, se desarrollo en 1982 una nueva técnica de barro plástico denominada Stranglehm, mediante la cual se pueden construir muros, bóvedas y cúpulas. Incluso se pueden construir mueble y artefactos sanitarios "in situ".

Con el objetivo de producir perfiles de barro plástico se desarrollo un extrusor, capaz de producir perfiles de barro plásticos de 8x16cm de sección a una velocidad de 3 metros por minuto (2m³/hora). La tierra utilizada en el empleo de esta técnica debe contener un mayor contenido de arcilla que en otras técnicas tales como el bloque de tierra comprimida que hemos visto anteriormente.

De este modo un contenido del 15% aproximadamente de arcilla en la mezcla, puede ser considerado como aceptable, ya que evita las fisuras en los bordes de los elementos, que se producen si la cantidad de arcilla es inferior a este valor. Aunque de todos modos, para casos particulares el contenido de ésta debe optimizarse de tal manera que el perfil terminado esté lo suficientemente seco para manipularlo, así como suficientemente húmedo para adherirse con los otros durantes su colocación en el muro.



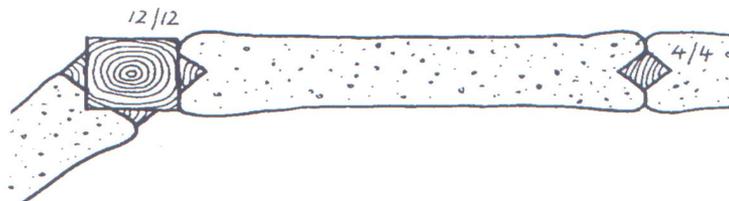
EXTRUSIÓN DE PERFILES DE BARRO



En la primera casa de ensayo construida en la Universidad de Kassel, Alemania en 1982, se transportaron perfiles de 2 m. de largo sobre una tabla y se voltearon sobre el muro. El acabado de las juntas se hizo de forma manual o mediante la ayuda de un pequeño tubo modelador. Debido a que es necesario que las capas superiores no aplasten a las inferiores, sólo se deben ejecutar de 4 a 5 capas por día. Ya que estos perfiles de barro extrusionado presentan una retracción de aproximadamente el 3%, fue necesario rellenar las fisuras de retracción que posteriormente aparecieron.

Posteriores trabajos demostraron que utilizando perfiles de 70cm. de longitud y con juntas de retracción prediseñadas cada 70cm,

no aparecen fisuras en los elementos. Para la creación de muros mediante esta técnica es



necesario incorporar estas piezas a un panel subdividido por pequeños soportes de madera (aproximadamente de 4x4cm.) que actúen como machihembre, fijando a su vez a los elementos de barro para proveer estabilidad lateral. Para garantizar la separación de los elementos en sus extremos de manera que esta junta actúe como una junta prediseñada de contracción es necesario hacer un corte con la ayuda de una llana. Posteriormente al secado de las piezas, estos huecos se rellenan con una mezcla de cal, yeso, arena y barro. Tal y como se muestra en una de las imágenes adjuntas resulta muy fácil alisar estas superficies con la ayuda de una esponja húmeda. Por ultimo apuntar que los muros construidos con esta técnica pueden ser esculpidos fácilmente en estado húmedo extrayendo algunas partes tal y como se muestra en la figura inferior.



5.2 AVANCES Y MEJORAS PARA LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA

Tal y como se menciona anteriormente, en la actualidad los avances y progresos conseguidos en el campo de la Química, y consecuentemente su aplicación directa al campo de la construcción, han permitido obtener materiales con propiedades y cualidades, que podríamos calificar de impensables, hace tan solo una o dos décadas. Valga como ejemplo el importante avance experimentado en el campo del hormigón, donde los hormigones autocompactables, los de altas prestaciones u otros hormigones especiales constituyen un buen ejemplo de este avance; como también lo son el importante desarrollo experimentado en el campo de los materiales plásticos, sintéticos o las resinas. De este modo y aunque con posiblemente menor repercusión y propaganda, el campo de la construcción con tierra también ha experimentado avances considerables.

Pero en este punto, no nos limitaremos a enumerar todos los materiales y dosificaciones con los que se pueden mejorar el comportamiento de la tierra, pues este listado resultaría muy extenso (El cemento, la cal, el betún, las fibras minerales, vegetales, etc.) ya que deberíamos incluir las diferentes investigaciones realizadas por cada centro de investigación y que lógicamente presentarán circunstancias y condiciones particulares para cada uno de las distintas situaciones. Sin embargo, si desarrollaremos con más profundidad las principales precauciones y pautas que generalmente son tenidas en cuenta para poder actuar ante una tierra dada.

Cuando hablamos de construcción con tierra, el primer problema que se plantea es la alta sensibilidad al agua que siempre han presentado estas construcciones realizadas con los procedimientos tradicionales. El arquitecto colombiano Álvaro Ortega afirmó:

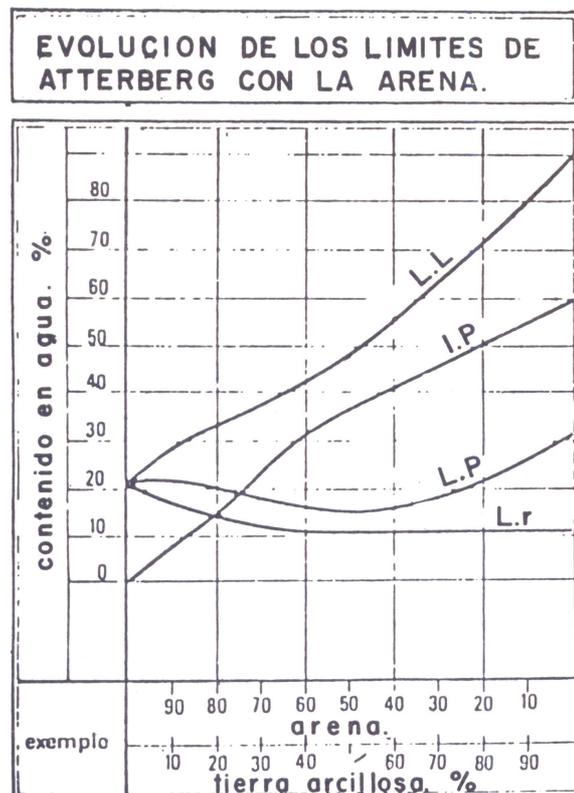
"Todo lo que se requiere es un buen sombrero y un buen par de botas"



Si bien es cierto que esta afirmación está cargada de razón, pues resulta imprescindible proteger a las construcciones de tierra de las agresiones derivadas del agua de lluvia y de la humedad del terreno, bajo nuestra humilde opinión debemos considerar ésta, como parcialmente completa. Ya que en determinadas circunstancias, además de tomar estas precauciones, resulta necesario modificar determinadas características de la tierra, pues de lo contrario, su aplicación como material de construcción quedará en entredicho. Para construir en tierra, se utilizara la disponible localmente, comenzando por un reconocimiento de la misma "in situ" mediante una serie de ensayos sencillos y si ésta es aceptable se puede pasar a un estudio o análisis más profundo en laboratorio, para su total identificación.

En general para las construcciones de tierra conviene tener presente que siempre que sea posible, resulta conveniente utilizar suelos cuyo "Índice de Plasticidad", se bajo, ya que cuanto más elevado sea éste, mayor será la cantidad de agua necesaria para hacer este suelo moldeable y en consecuencia la presencia de retracciones durante el proceso de secado también será mayor.

Tal y como vemos en el gráfico adjunto, al aumentar la proporción de arena, el Índice de plasticidad mantiene unas valores pequeños, lo que conlleva una reducción de las retracciones, sin embargo esta mejora viene acompañada de una disminución de la cohesión del suelo y un aumento de la porosidad. Por contra para pequeñas cantidades con suelo muy arcilloso, el Índice de Plasticidad resulta muy elevado, y por tanto será necesario realizar una estabilización de este tipo de suelos.



Así pues si las características del suelo no son adecuadas, resulta necesario realizar mejoras en el comportamiento del mismo. Para ello es necesario "ESTABILIZARLOS". Tras los ensayos realizados por el Instituto Eduardo Torroja, que se ajuntan en la siguiente tabla para la estabilización de suelos, podemos afirmar que el modo de estabilizar variará en función de los objetivos deseados.

ESTABILIZACION				
MODO	CARACTER	OBJETIVO	MEDIO	EJEMPLO TIPO
RECOMPRIMIR	MECANICO	CREAR UN MEDIO DENSO	DENSIFICACION	COMPACTACION CORRECCION GRANULOMETRIA
ESTRUCTURACION	MECANICO	CREAR UNA ESTRUCTURA OMNIDIRECCIONAL	FIBRAS	PAJA FIBRA DE COCA PELUSA FIBRA DE POLYESTER
ENCADENAMIENTO QUIMICO	QUIMICO	CREAR UN ESQUELETO INERTE	ELASTICO	CEMENTO CAL MUERTA RESINAS
LIGAMENTO QUIMICO	QUIMICO	FORMAR LIGAMENTOS QUIMICOS ESTABLES	ELASTICO	CAL MUERTA CENIZAS VOLATILES
IMPERMEABILIZACION	QUIMICO	IMPERMEABILIZAR	IMPERMEABILIZANTE	MEZCLAR CON EMULSION BITUMINOSA
HIDROFOBANTES	QUIMICO	TAPAR LOS POROS	HIDROFOBANTES	AMINOACIDOS CUATERNARIOS

Es decir, si por las características del suelo y por las del sistema constructivo a utilizar, necesitamos dotar a la tierra de mayor densidad o reforzar su estructura, deberemos recurrir a la utilización de procedimientos mecánicos, bien sea mediante la compactación, la corrección granulométrica o la incorporación de aditivos, que nos permitirán estabilizar este determinado suelo. Además también debemos tener presente que además de los objetivos que buscamos implementar a la tierra, la elección del sistema de estabilización también será variable, en función de la naturaleza del material base, de las propiedades desarrolladas, de las técnicas de puesta en obra y de las consideraciones de coste.

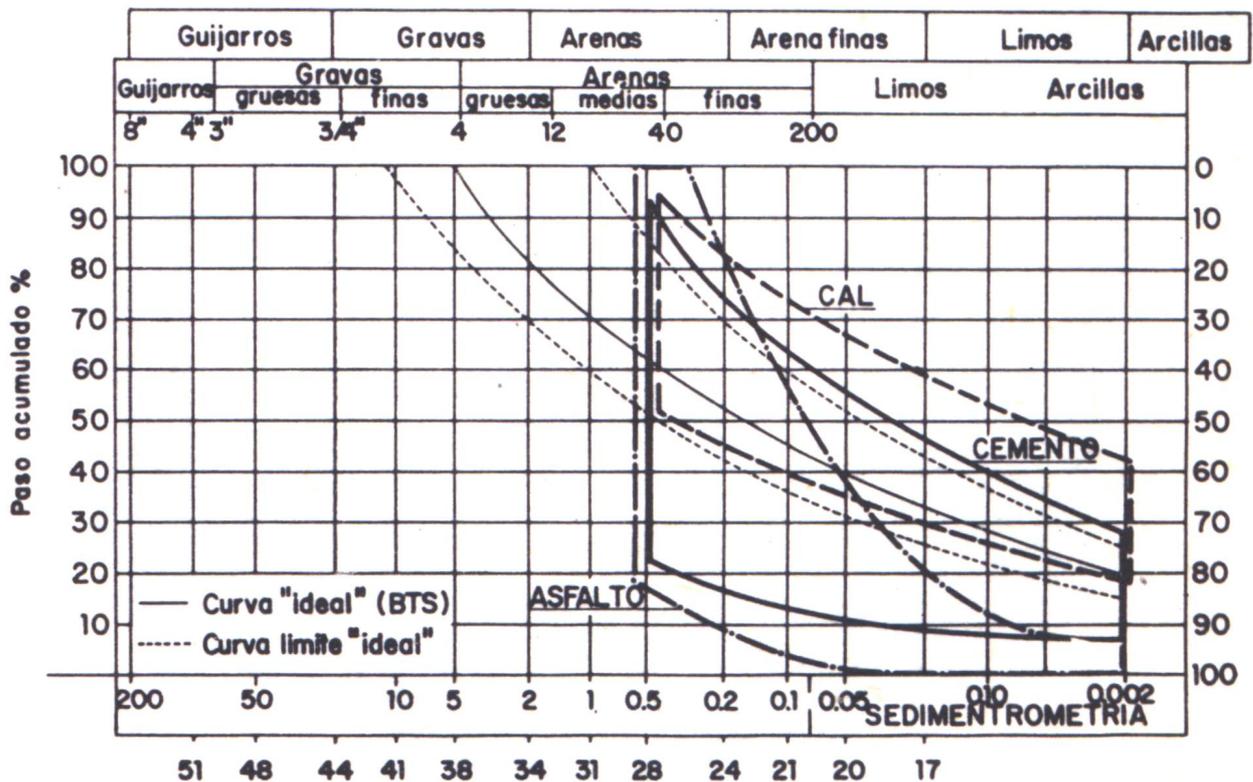


Debemos destacar que la utilización de estabilizantes químicamente inertes como las fibras vegetales, conlleva una mayor cohesión del material, ya que reduce los efectos producidos por la retracción y las consecuentes fisuraciones, haciendo además al suelo más manejable.

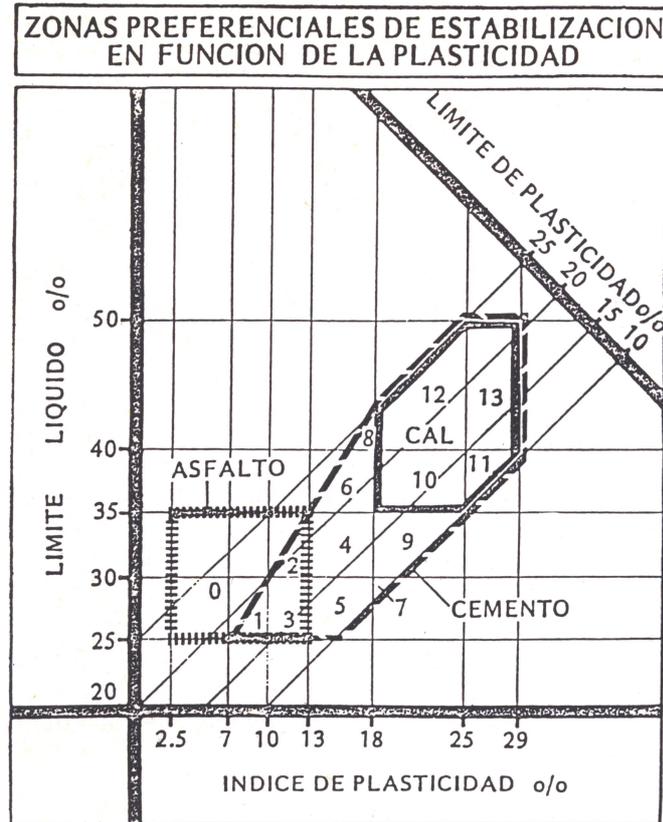
Por otra parte también podemos utilizar estabilizantes físico-químicos (cemento, cal, betún, etc.), pero debemos tener en cuenta que su eficacia debe garantizarse en concentraciones menores del 10% del peso seco de la tierra, adicionables mediante un procedimiento simple, de precio compatible y eficaces para un amplio abanico de suelos, además de asegurar una larga vida a la estabilización.

La elección de estos estabilizantes depende principalmente de las características del suelo elegido, de su granulometría y plasticidad. En el gráfico adjunto podemos observar las zonas granulométricas preferenciales para la utilización de los distintos estabilizantes.

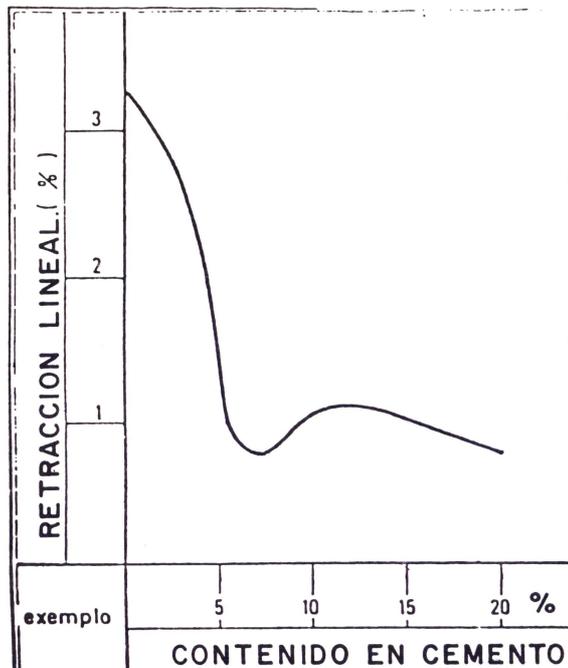
CURVA PREFERENCIAL DE UTILIZACION EN FUNCION DE LA GRANULOMETRIA



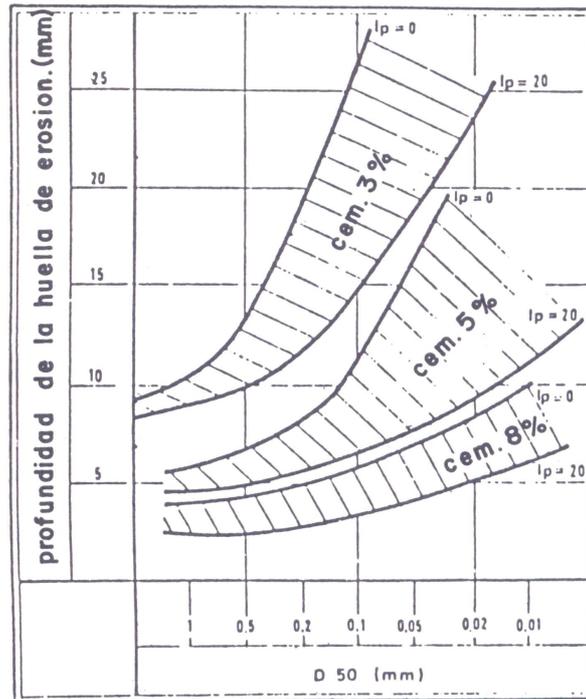
Al igual que ocurre con las zonas granulométricas el gráfico adjunto, que nos permite observar cual es el estabilizante más indicado dependiendo del índice de plasticidad del suelo. Como ejemplo podemos reseñar, que al estudiar el gráfico observamos como la zona para la estabilización con cal, es la que mayor cantidad de finos permite contener al suelo.



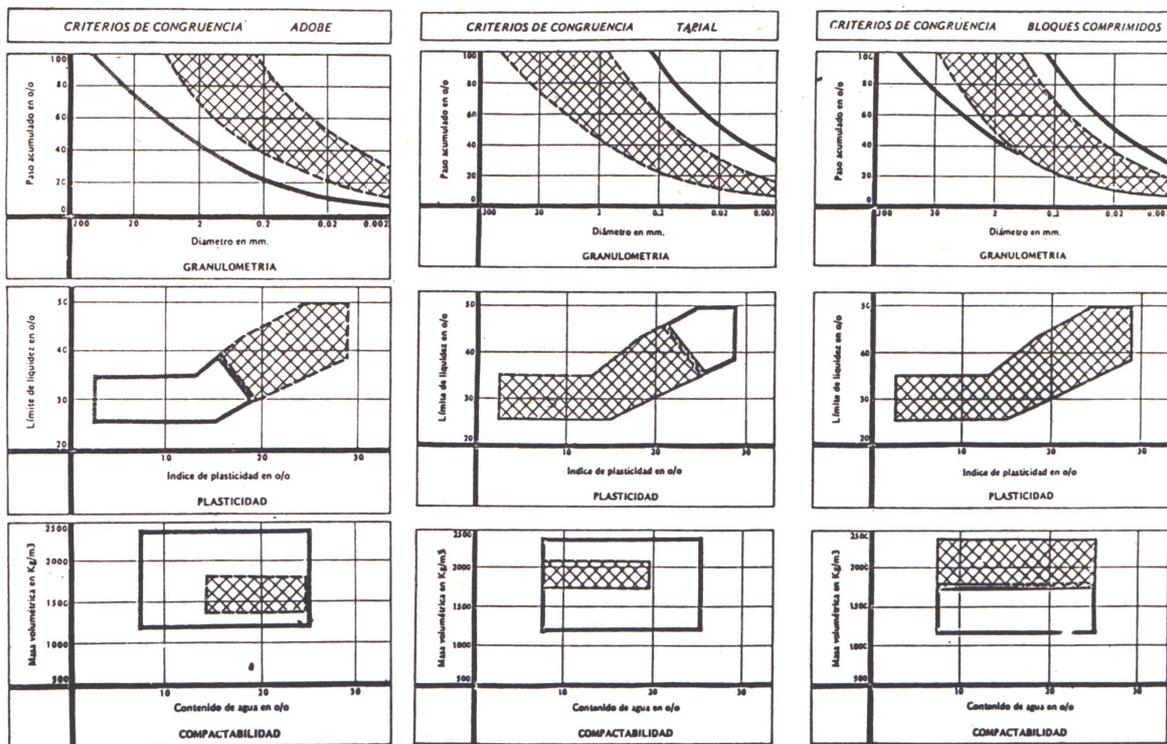
Con ensayos realizados a la retracción, se ha podido comprobar que, para un 5% de cemento, la retracción lineal total queda por debajo del 1%, lo que reduce fuertemente los riesgos de retracción, en cambio un contenido en cemento superior, no aporta en general disminución suplementaria de retracción, tal y como vemos en el gráfico adjunto. El cemento puede así mismo, mejorar las resistencias de los suelos a la erosión bajo la acción de la lluvia, aunque debemos tener presente que el grado de erosión no sólo está ligado a la resistencia mecánica, sino también a su granulometría, por ejemplo: Un bloque con una buena resistencia a compresión puede desgastarse muy rápidamente si sus granos son muy gruesos.



Tal y como se desprende de los ensayos efectuados por J.H. Gresillon, en la Escuela Inter-Estados del equipamiento rural del (Alto-Volta), la granulometría de la tierra representa un factor esencial y determinante en el desgaste del material tierra ante el agua. Vemos en el grafico 3 que existe una buena correlación entre el comportamiento del suelo, con diversos contenidos de cemento, bajo la acción de la lluvia y el diámetro 50mm., tal que el peso de los granos inferiores a este diámetro representen el 50% del peso total del suelo.



Tras los ensayos realizados por el Instituto Eduardo Torroja, podemos afirmar que para una adecuación de la granulometría debemos ajustar ésta a una "curva ideal" encuadrada entre dos límites. (Resultante éstas de las curvas pertenecientes a los suelos de construcciones que han permanecido durante siglos). Esta curva deberá ser próxima y paralela a ella, sobre todo en la zona de los finos. Tal y como podemos observar en el gráfico inferior nos permite establecer para una tierra dada su forma de utilización, según necesitemos trabajar con adobes, tapial o bloques comprimidos, y según sea su granulometría, plasticidad o compactabilidad.



Con la mezcla de distintos suelos se podría obtener una modificación de las características de uno de partida, así se puede reducir su porosidad con una corrección granulométrica, disminuyendo su sensibilidad al agua, igual que por un reagrupamiento o reorganización de sus partículas con la ayuda de una compactación, bien estática, dinámica o proyección.



De forma resumida podemos afirmar que:

- Los suelos con bajo contenido en arcillas, pueden ser estabilizados mediante la incorporación de conglomerantes como el cemento, en proporciones del 4 al 10% con el fin de mejorar sus características.
- Por otra parte, materiales como la cal viva o cal hidratada, se utilizan generalmente para la estabilización de suelos finos, con alto contenido en arcillas, con mezclas del 4 al 10%. La adición de productos secundarios con propiedades puzolánicas (puzolanas, lateritas, cenizas volantes, etc.) confieren cierta hidráulica a la cal y permiten un aumento sensible a sus resistencias tanto al agua como mecánicas.

Aunque con independencia de lo dicho, y tal y como advertimos al inicio del presente apartado, no es posible dar una solución genérica para la estabilización o para la mejora de las propiedades de la tierra, ésta dependerá del sistema en el que vaya a ser empleada, de las propias características de la tierra, del entorno donde vaya a utilizarse y por supuesto de la climatología del mismo.



6.- EL EFECTO DEL BARRO EN EL BALANCE DE LA HUMEDAD.

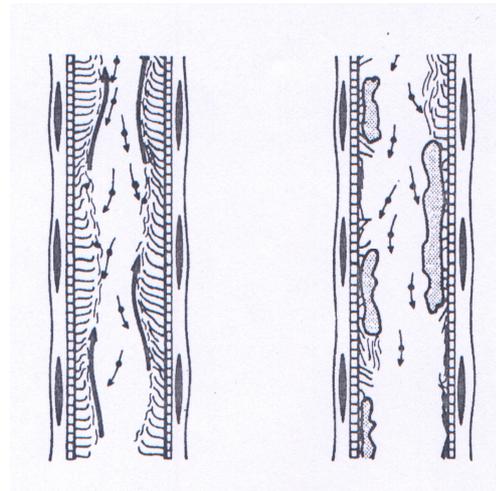
A lo largo de este trabajo se han analizado, entre otras muchos factores, las ventajas e inconvenientes que la tierra presenta como material de construcción pero en este apartado, abordaremos los beneficios que la tierra puede aportar a nuestro organismo.

En ciudades con climas templados y fríos las personas pasan el 90% de su tiempo en edificios cerrados, resultando el clima interior muy importante para su bienestar. El confort del ser humano es dependiente de varios parámetros tales como, la temperatura del espacio interior, la temperatura del espacio circundante, el movimiento del aire interior, el contenido de humedad del aire o la contaminación del aire. Así pues, en nuestro ritmo de vida normal percibimos las sensaciones derivadas de desenvolvernos bajo temperaturas muy altas o muy bajas, en cambio por lo general no somos conscientes y generalmente tampoco es de conocimiento común, los efectos perjudiciales de una humedad muy alta o muy baja. Tal y como veremos a continuación, la humedad del aire en los interiores ejerce una influencia significativa en el bienestar de los habitantes y la tierra tiene la capacidad de balancear la humedad del aire como ningún otro material. Este aspecto de reciente investigación se describe en detalle en el siguiente apartado.



HUMEDAD DEL AIRE Y SALUD

De las investigaciones de Grandjean (1972) y Becker (1986) sabemos que un ser humano sometido durante un largo período de tiempo a condiciones de humedad relativa menores a un 40% durante un largo período, puede presentar determinadas afecciones, siendo la más habitual la aparición de una extrema sequedad en las mucosas. Esta situación conlleva a una disminución de la resistencia a los resfriados y otras enfermedades relacionadas con esta dolencia.



CORTE DE UNA TRAQUEA CON MEMBRANA MUCOSA DEL EPITELIO NORMAL (FIG. IZQUIERDA) Y UNA RESECA (FIG. DERECHA)

Esto se debe a que normalmente las mucosas del epitelio de la tráquea absorben polvo, bacterias, virus, etc. y lo restituyen a la boca mediante el movimiento ondulatorio de los vellos del epitelio. Si este sistema de absorción y transporte se interrumpe por resecamiento, estos cuerpos ajenos alcanzan los pulmones provocando enfermedades.

Por el contrario una humedad de relativa de 50 a 70% tiene muchas influencias positivas para el cuerpo humano: reduce el contenido de polvo fino en el aire, activa los mecanismos de protección de la piel contra los microbios, disminuye la vida de muchas bacterias y virus y disminuye los olores y la electricidad estática en la superficie de los objetos. Aunque también debemos reseñar que una humedad relativa superior al 70% resulta en la mayoría de los casos desagradable debido a la disminución en la absorción de oxígeno de la sangre en condiciones cálido-húmedas. Además se observan incrementos de las dolencias reumáticas en ambientes fríos y húmedos y el crecimiento de hongos en espacios cerrados se incrementa cuando la humedad alcanza valores superiores al 70 o 80%. Las esporas de hongos en grandes cantidades pueden conllevar a diferentes enfermedades y alergias.



A partir de estas consideraciones, podemos establecer que el contenido de humedad en un ambiente interior no debe ser menor de 40% ni mayor a 70%. Aunque esta condición en muchas ocasiones no resulta tan fácil de conseguir. En climas templados y fríos cuando la temperatura exterior es mucho menor que la interior, el interior se vuelve seco como resultado del intercambio de aire fresco y puede afectar nuestra salud. Por ejemplo si un aire exterior con una temperatura de 0°C y 60% de humedad relativa entra en un espacio y se calienta hasta 20°C su humedad relativa disminuye a menos de 20%. Aún si el aire exterior a una temperatura de 0°C tuviera 100% de humedad y se calentara a 20°C su humedad relativa disminuiría a menos de 30%.

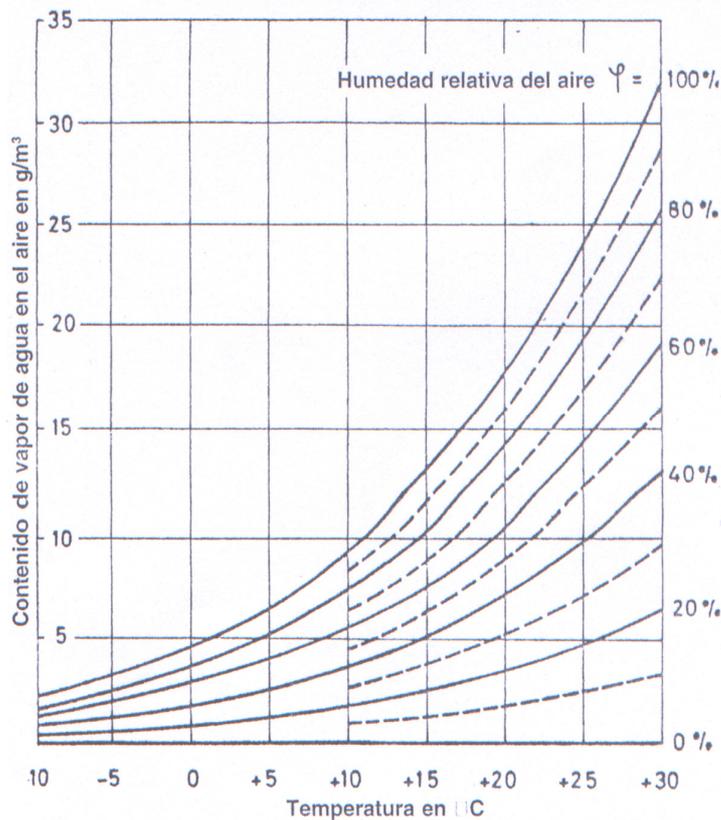


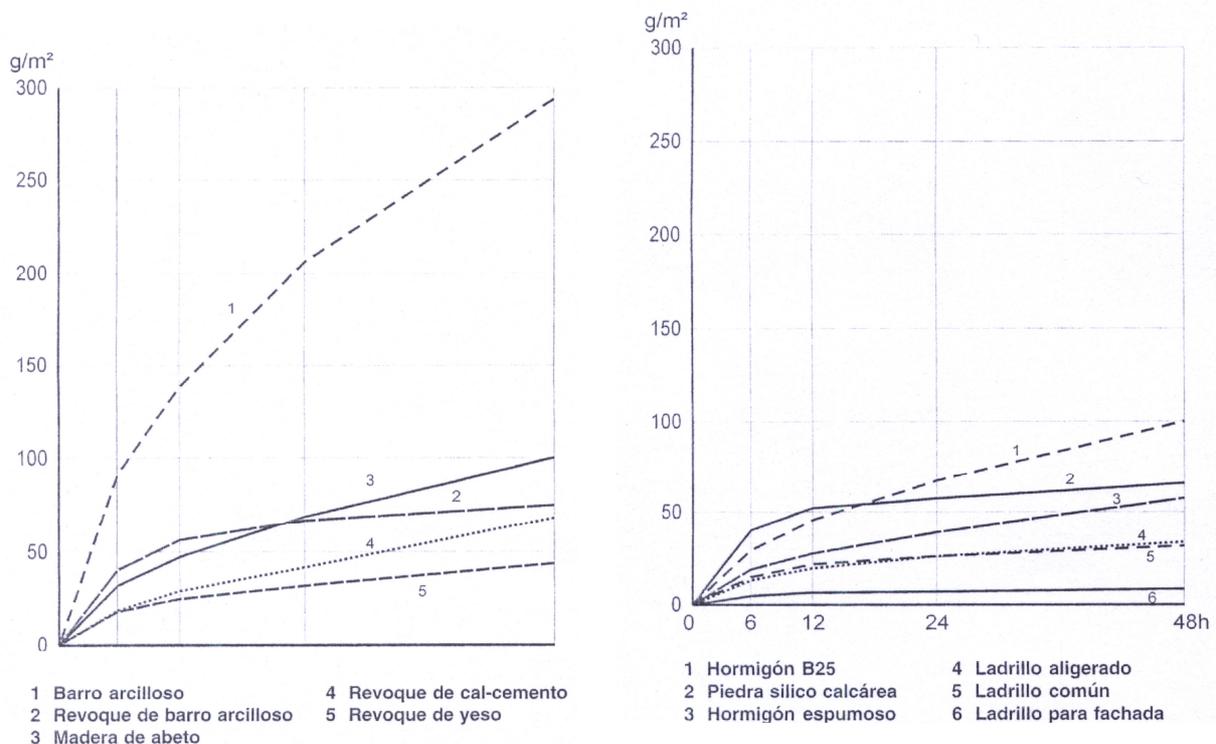
DIAGRAMA DE CARRIER. CONTENIDO DE AGUA EN EL AIRE EN RELACIÓN CON LA TEMPERATURA

En ambos casos resulta necesario aumentar la humedad para alcanzar condiciones saludables. Esta condición se puede lograr con la desorción de la humedad de los muros, pisos o entrepisos. A continuación describiremos como el barro constituye uno de los materiales más idóneos para la consecución de este cometido



EL EFECTO DEL BARRO EN EL BALANCE DE LA HUMEDAD.

Un material poroso tiene la capacidad de absorber humedad del ambiente y resorberla, ofreciendo un balance de humedad en el ambiente interior. El contenido de humedad de un material depende de la temperatura y de la humedad del ambiente, de este modo la efectividad del proceso de balance de humedad depende también de la velocidad de la absorción y la desorción. Por ejemplo, experimentos desarrollados por el Centro FEB de la Universidad de Kassel, Alemania, muestran que la primera capa de 1,5cm de un muro de bloques de adobe es capaz de absorber aproximadamente 300 g. de agua por m² de la superficie del muro, en un intervalo de 48 horas y si la humedad del ambiente se incrementa súbitamente de 50 a 80%. En cambio, la piedra sílicocalcárea o la madera de pino de un mismo espesor absorben solamente 100 g/m² aproximadamente, el revoque de barro arcilloso de 26-76 g/m² y el ladrillo cocido solo una cantidad que oscila entre 6-30 g/m² en el mismo periodo. Tal y como se observa en el gráfico adjunto los resultados demuestran que los bloques de barro (adobes) absorben 50 veces más humedad que los ladrillos cocidos a altas temperaturas.



CURVAS DE ABSORCIÓN EN RELACIÓN AL TIEMPO, DE MUESTRAS DE DIFERENTES MATERIALES DE 1,5CM DE ESPESOR, A UNA TEMPERATURA DE 21 °C CON UN INCREMENTO SÚBITO DE LA HUMEDAD DEL AMBIENTE DE 50% A 80%



De este modo, parece quedar demostrado que además de las ventajas que la tierra presenta como material de construcción debemos añadir las que se derivan de un buen balance de humedad en los ambientes interiores. La afirmación de que la tierra es un material insalubre y que gusanos e insectos puedan vivir en muros de tierra es infundada, cuando estos son macizos. Si es cierto que los parásitos e insectos solo pueden existir si existen huecos en los muros de bajaraque o adobe, pero estas oquedades se pueden evitar con una correcta aplicación de morteros de revestimiento y cuidando el proceso de selección del material o por otra parte, construyendo muros de tierra apisonada con bloques de barro y juntas totalmente rellenas.

El hecho de que las paredes de barro puedan ser más difíciles de limpiar (especialmente en cocinas y baños) se puede resolver pintándose con pinturas no abrasivas, tales como pinturas de caseína, cal-caseína, aceite de linaza, etc. Incluso podemos decir que en determinadas circunstancias, baños con paredes de barro pueden resultar incluso más higiénicos que los revestidos con azulejos, debido a que las paredes de barro absorben rápidamente la humedad e inhiben el crecimiento de hongos, tal y como se ha explicado en este apartado.



7.- CONCLUSIONES

Con este último apartado podemos decir que habitualmente se da por finalizado o mejor dicho, se concluye cualquier trabajo o investigación que se precie, independientemente de que ésta sea fruto de un encargo profesional, de una motivación personal o como en el caso que nos ocupa, de un requisito académico.

Por tanto no parece desmesurado referirnos a éste como el último punto, como el punto final. Sin embargo, quisiéramos que este trabajo pudiera ser calificado en su totalidad, como un punto y seguido, como un pequeñísimo aporte sobre la construcción con tierra y su evolución a lo largo de los siglos, pero nunca como un punto final. Así pues incluso en este apartado, estimamos más conveniente no dar por finalizado ninguno de los temas y aspectos abordados en él. Esta opción puede parecer ambigua, o ser calificada como excesivamente genérica, pero lo que realmente se pretende con ella, es que sea el lector, cualificado técnicamente o no, experto conocedor de la materia o totalmente desinformado, el que extraiga sus propias conclusiones.

Y es que, actualmente los prejuicios contra la tierra resultan en muchas ocasiones contradictorios y generalmente, suelen estar relacionados con el desconocimiento de la misma. Por este motivo, hemos intentado dar a conocer las numerosas y en muchas ocasiones, desestimadas, ventajas que presenta la tierra, así como los inconvenientes que también deben ser tenidos en cuenta; y si hay algo que podamos afirmar, tras la realización de este trabajo, algo con lo que podamos concluir, es que un renacimiento de este tipo de construcción no parece estar en contradicción con los actuales desafíos o progresos de esta disciplina.

Así pues, profundizar en un material como la Tierra dentro de un Master de Edificación y más concretamente en una especialidad como la de Tecnología, usualmente más relacionada con la innovación de materiales ultramodernos o revolucionarios sistemas constructivos, no ha resultado una tarea sencilla, aunque, bajo nuestra humilde opinión, ha resultado ser una tarea más justa y adecuada de lo que en un principio hubiéramos imaginado.



Y es que resulta conveniente reseñar que probablemente este campo, el tecnológico, sea uno de los que mayor número de avances pueda aportar a este tipo de Construcción.

A este respecto citaremos las palabras del arquitecto Luis Maldonado Ramos:

"La labor necesariamente complementaria de la investigación histórica es la investigación tecnológica con la tierra, la creación de composiciones más eficaces, de procesos de construcción mejorados, de técnicas de aplicación en cuya definición se tenga en cuenta la existencia de máquinas y de procedimientos actuales".

Con esta intención se ha desarrollado este proyecto, en el que además se ha pretendido, desde nuestra modesta posición, dar el reconocimiento que este material merece.

En una sociedad en la que el calentamiento global, la destrucción medioambiental, el agotamiento de los recursos de combustibles fósiles y otras circunstancias actuales, han puesto de manifiesto la necesidad de desarrollar y profundizar en las energías renovables, no podemos olvidar que también lo debemos hacer sobre nuestra forma de construir Arquitectura.

En un momento en que las condiciones socio-ambientales demandan alternativas, conceptos como el de eficiencia energética o desarrollo sostenible, pueden convertirse en un concepto fundamental en la teoría y práctica de la arquitectura, y en consecuencia la utilización de la Tierra como material de construcción.



8.- BIBLIOGRAFÍA

- MALDONADO RAMOS, L.; VELA COSSÍO, F.: *Curso de construcción con tierra (I): Técnicas y sistemas tradicionales*. Instituto Juan de Herrera, Madrid, 1999.
- MALDONADO RAMOS, L.; VELA COSSIO, F.: *Curso de construcción con tierra (II): Vocabulario tradicional de construcción con tierra*. Instituto Juan de Herrera, Madrid, 1999.
- MARCO LUCIO VITRUVIO POLION: *Los diez libros de Arquitectura*. Ed. Iberia, Barcelona, 2000.
- VELA COSSIO, F: *Investigación Arqueológica y Construcción con Tierra en la Península Ibérica*. Publicado en Actas del II Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra". Ed. Mairea. 2003
- GERNOT MINKE: *La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Ed. Fin de Siglo
- RODOLFO ROTONDARO: Apuntes Vol. 20, nº 2: *Arquitectura de Tierra Contemporánea: Tendencias y Desafíos*. Universidad de Buenos Aires.
- DE HOZ ONRUBIA, JAIME; MALDONADO RAMOS, LUIS; VELA COSSIO, FERNANDO: *Diccionario de Construcción tradicional. Tierra*. Ed. Nerea/ Nardini, 2003.
- Monografías del IETcc, Nº 385-386, Madrid, 1987: *La tierra: material de construcción*.



- BARDOU. PATRICK. Y ARZOUMANIAN, V. : *Arquitecturas de adobe*. Ed. Gili, México, 1986.
- www.craterre.arch.fr
- www.arqa.com.
- www.casasdebarro.com.

