

## **Bioarquitectura - Construcción con tierra - Construcción sismorresistente con tierra.**

Dr. Arq. Gernot Minke (\*).

### **Resumen.**

Este trabajo es una breve introducción a la Bioarquitectura y especialmente a la construcción con tierra como posibilidad tecnológica. Se presentan las características de la tierra como material tanto en aspectos constructivos como ambientales, se describen los principales sistemas para construir con tierra cruda: mampuestos, muro monolítico y bahareque, como así también otros sistemas menos utilizados. Complementando esta información, se presentan los ensayos sensoriales más simples a utilizar en obra para verificar las características de la mezcla y se presentan las posibilidades de la tierra como material para construir edificios sismorresistentes.

Palabras clave: bioarquitectura, construcción con tierra, adobe, edificación sustentable, construcción sismorresistente.

### **Abstract.**

#### **Bioarchitecture - Earth building - Seismic earthbuilding design.**

This paper is an introduction to bioarchitecture and specially to earth building like a technological alternative, analyses its constructive and bio characteristics, describes the most used systems: blocks, bahareque and solid wall, but also some less used systems too. A short description of the sensorial tests to be used while building is included and also the possibilities of earth as material for seismic resistant buildings.

Key words: bioarchitecture, earth construction, adobe, sustainable building, earthquake resistant.

Nota: Los contenidos han sido elaborados por el Grupo Construcción con Tierra en base a las exposiciones del Arq. Minke en el seminario y sus publicaciones.

(\*) Gernot Minke, arquitecto graduado en la Universidad de Kassel y doctorado en la Universidad de Stuttgart. Desde 1974 se ha desempeñado como catedrático en la Universidad de Kassel, donde es director del Instituto de Investigación de Construcciones Experimentales (FEB), especializado en la investigación y desarrollo de tecnologías alternativas, construcciones ecológicas, viviendas de bajo costo, construcción con materiales naturales, construcción con tierra, autoconstrucción, viviendas antisísmicas de tierra cruda. Desde 1979 practica la arquitectura a nivel profesional.

## Bioarquitectura.

En el diseño y la construcción de edificios, se pueden aplicar estrategias para que estos resulten más eficientes y sustentables, esto es: logrando las mejores condiciones de confort con el menor consumo de energía y produciendo las menores alteraciones al medio ambiente. Muchas de estas estrategias se encuentran en las arquitecturas vernáculas de todo el mundo y se aplican en la actualidad casi sin necesidad de ninguna adaptación; en otros casos las técnicas son actualizadas con las nuevas tecnologías y adaptadas a los nuevos gustos. Estas ideas se aplican en la medida en que los diseñadores las conocen y las proponen en el mercado. A continuación se presentarán algunas de estas estrategias mediante ejemplos en edificios existentes.

En una finca en la India, el Arq. Gernot Minke, quien fue uno de los proyectistas, utilizó tierra como material constructivo logrando bajo impacto ambiental, utilizó terraplenes para protegerse de los vientos, diseñó la vivienda en torno a un patio central al cual expanden todas las habitaciones favoreciendo la ventilación de las mismas. Un sistema de preenfriamiento de aire por bombeo a lo largo de un túnel a 6 m. de profundidad en la tierra produce significativos ahorros respecto al acondicionamiento de aire artificial en verano y en invierno el sistema funciona a la inversa como precalentador de aire ahorrando también en calefacción.

En la propia vivienda del Arq Minke en Kassel se pueden encontrar diversas estrategias aplicadas. La más interesante de destacar de este edificio es la inclusión en el techo de una capa de tierra y vegetación conformando los llamados "techos verdes".

Finca, Wazirpur, Haryana, India  
(foto G. Minke)



Es ejemplo de correcta disposición de aberturas la ubicación y diseño de las ventanas de una casa en la Paz, Bolivia, que permiten pasar la cantidad justa de luz necesaria para iluminar y evitar el sobrecalentamiento de los ambientes en verano. En esta vivienda, la utilización apropiada de aislación térmica y la exposición de elementos de masa a los rayos del sol, permite sacar provecho de la inercia térmica para lograr confort en el interior del edificio con el mínimo consumo de energía.

## Techos verdes.

En el armado de techos se agregan sobre la parte superior capas de piedras con distintas granulometrías, arena y tierra de tal manera de crear un suelo en el cual crecen determinadas especies vegetales. Esta configuración tiene varias ventajas: provee una adecuada aislación térmica y acústica, produce un retraso en el escurrimiento de aguas, produce un bajo impacto al paisaje y finalmente sus materiales presentan un alto grado de reciclabilidad.

Se denomina "techo verde" a la aplicación esta estrategia y en se pueden encontrar mucho ejemplos exitosos de esta práctica.

## Construcción con tierra.

La construcción con tierra es el tema central de la investigación del Arq. Gernot Minke: dedicó gran parte de su carrera profesional, realizó investigaciones y prácticas en distintos países y finalmente divulga dicha experiencia en sus publicaciones, clases en la universidad de Kassel y seminarios.

Residencia en La Paz, Bolivia. Diseño: Raúl Sandoval.  
(foto A. Fischer)



La técnica, una de las más antiguas de la historia de la construcción, presenta características que, considerando las actualizaciones tecnológicas posibles, la hacen en especial interesante y atractiva para ser aplicada en la actualidad. Entre las principales características se encuentran:

**Baja alteración de la naturaleza** ya que no se realizan transformaciones fisicoquímicas en la construcción.

**Preservación de la capa de tierra fértil**, por que en general se utiliza tierra de las capas inferiores y no de la superior de humus en la que se dan los principales procesos biológicos.

**Reciclabilidad.** Si se llega a la instancia de tener que demoler una construcción de tierra, se obtiene material con las propiedades casi intactas respecto de las iniciales y que podría reutilizarse con las mismas prestaciones que tierra original.

**Inercia térmica.** Como el material es muy denso, conserva la energía calórica durante periodos más prolongados que otros materiales.

**Aislación térmica.** Está dada por la porosidad del material y el espesor necesario para la construcción de muros.

**Energía utilizada.** Puede construirse con una alta tasa de energía renovable, en particular si se utilizan procesos manuales. Por otro lado, los consumos de energía se reducen signifi-

cativamente si la tierra utilizada es del mismo sitio de la construcción.

### **Técnicas.**

Existen tres técnicas principales: mampuestos, muro monolítico y bahareque o quincha; y otras técnicas menos frecuentes como modelado directo, panes de barro, stranglehm, etc. Se describen a continuación sintéticamente algunas de ellas.

### **Mampuestos.**

Los mampuestos pueden ser de adobe (barro) o bloques comprimidos y los muros se pueden construir en seco o con mortero de asiento.

### **Adobes.**

Son bloques de tierra no comprimida, se mezcla tierra humedecida con fibras vegetales y se le da forma con moldes, luego se los deja secar al sol. Su fabricación es muy sencilla y se obtienen mejores resultados construyéndolos manualmente que con maquinarias, según la experiencia del Arq. Minke. Tienen buena aislación térmica, que puede incrementarse en función de la cantidad de paja que se incorpora, vale la pena indicar, que esto también mejora su estabilidad y manipulación.

### **Bloques comprimidos.**

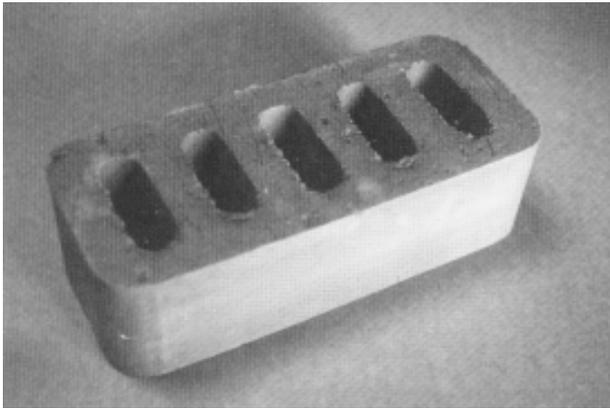
Se utilizan moldes para comprimir tierra, con la ayuda de máquinas manuales o hidráulicas, dando como producto un bloque comprimido, que tiene alta densidad, buenas propiedades mecánicas, buena regularidad geométrica y aspecto.

Residencia con estudio, Kassel, Alemania.  
(foto G. Minke)



Casa experimental, Universidad de Kassel, Alemania.  
(Foto G. Minke)





Mampuesto especial para bóvedas. (foto G. Minke).



Encofrados, (foto G. Minke)



Sistema Bahareque, Brasil. (foto G. Minke).



Modelado directo.0 (foto G. Minke).

### **Construcción en seco.**

Los bloques deben tener trabas que impidan el movimiento en las dos direcciones del plano horizontal. En el plano vertical la vinculación debe estar garantizada por el peso propio del mampuesto.

### **Construcción con mortero.**

Puede utilizarse el mortero tradicional (cemento, cal y arena) obteniéndose un muro con buenas propiedades mecánicas, pero esto implica un costo mayor e importar una mayor cantidad de materiales, desvirtuándose así el sistema. La otra alternativa mas económica es utilizar mortero de barro (tierra, agua y pueden agregarse fibras naturales).

### **Muro monolítico.**

Para la construcción de muros monolíticos se utilizan encofrados en los cuales se vierte la tierra y se puede utilizar tierra blanda o compactada.

### **Plástica.**

Se vierte tierra debidamente humedecida en encofrados que tienen la forma del muro y se deja secar. El muro resultante es menos denso y más poroso que el compactado, por lo que su resistencia es menor, pero mayor su poder aislante.

Para la construcción se necesita una gran cantidad de encofrados ya que sólo se pueden retirar una vez transcurrido un tiempo de fraguado incrementándose la figuración por contracción.

### **Compactado.**

Se vierte la tierra mucho menos humedecida en encofrados similares a los de muro plástico, aunque más reforzados, y se apisona. El resultado es un muro de alta densidad y por lo tanto, de buena resistencia mecánica a la compresión, muy buena inercia térmica, niveles de contracción aceptables y controlables.

Los encofrados pueden ser retirados inmediatamente después de completado cada módulo ya que el material adquiere rápidamente resistencia. Por lo tanto se puede minimizar la cantidad de encofrados necesarios.

**Bahareque.**

Se utiliza una estructura vertical de madera sobre la que se lanzan o compacta el barro mezclado con paja. Este sistema requiere cuidados especiales, al momento de construirlo: cubrir totalmente la estructura con 2 cm de mezcla y reparar rápidamente las fisuras que aparezcan para evitar su deterioro.

**Otras técnicas****Modelado directo.**

Esta técnica aprovecha las propiedades plásticas que adquiere la tierra al mojarse y que permiten modelarla con las manos y construir el muro directamente. Es importante considerar que el tamaño de los elementos que se modelan deber ser tal que sean mínimas las contracciones que se producen en función de la cantidad de agua y arcilla en la mezcla, fenómeno que se acentúa en esta técnica respecto a las demás.

Otra forma de modelado directo es aplicando el material y compactándolo, ya sea apisonándolo con los pies o simplemente lanzándolo violentamente contra la superficie y luego dándole terminación manualmente.

**Panes de barro.**

Originaria del norte de África, esta técnica consiste en amasar panes de barro y construir el muro colocándolos en hiladas de 5 unidades de altura por día y dejar secar, para luego continuar con las siguientes hiladas. Luego se practica un agujero en cada pan con el fin de facilitar la aplicación del revoque.

**Strenglehm.**

En el Forschungslabor Experimentales Bauen de la Universidad de Kassel, se desarrolló esta técnica que consiste en generar barras por extrusión en una máquina que mezcla tierra con agua y comprime el material en un tornillo sinfín. La longitud óptima de las barras es de unos 70 cm, por que con esa dimensión se minimizan los efectos de las contracciones de secado. Los muros se construyen colocando estas barras unas sobre otras, en hiladas de a 5 por día y dejándolas secar, para evitar aplastarlas.

**Revoques e impermeabilización.**

Tanto los revoques interiores como los exteriores se pueden realizar con tierra, para lo cual se prepara una mezcla de arena y limo, y arcilla solo en la cantidad necesaria para garantizar la adherencia. Es necesario que las superficies sobre las que se aplican, sean suficientemente rugosas para que se adhiera sin problemas la masa agregada.

Es beneficioso proteger las paredes exteriores con aleros y zócalos, como así también redondear los cantos para evitar roturas por golpes.

Otras alternativas de protección son: la aplicación de lechadas de cal, cal con caseína u otras pinturas o la aplicación de revoques de cal. Particularmente con el agregado de suero o caseína, se logran buenos niveles de impermeabilización.

Las principales técnicas de revoques son: barro proyectado, barro alivianado con aditivos minerales, revoque lanzado, revoques modelados en estado plástico, etc.



Centro histórico de la ciudad de Shibam, Yemen.  
(Manual Construcción con Tierra - G. Minke)



Ecocomunidad, Montevideo, Uruguay. (foto G. Minke)

### **Cubiertas, cúpulas y bóvedas.**

Históricamente se han practicado cubiertas combinando madera con tierra o tierra sola en edificios de arquitectura vernácula.

El primer caso, de combinaciones con madera, produce techos que pueden ser horizontales o inclinados, con una estructura de madera sobre la que se aplica tierra para mejorar las propiedades de aislación térmica y acústica.

El segundo, usando mampuestos, permite construir bóvedas y cúpulas según distintas técnicas utilizadas por todo el mundo: bóvedas núbicas, cúpulas afganas y persas, cúpulas núbicas y finalmente cúpulas con encofrado.

### **Ensayos de campo.**

En la práctica de obra, es muy útil obtener rápidamente datos acerca de la tierra y la mezcla en uso, para verificar las técnicas aplicadas y las mezclas utilizadas, y si fuera necesario tomar acciones correctivas. Para esto existen una serie de ensayos sensoriales de muy simple ejecución, algunos de los cuales se presentan a continuación.

### **Ensayos de consistencia.**

Se fabrican chorizos de tierra de 1 cm de diámetro y una longitud de unos 30 cm. Se sostiene con ambas manos y gradualmente se va dejando colgar una columna cada vez mas larga hasta que se corte sola. En función de la longitud

de columna que es posible colgar sin que se corte, se tiene una idea de la cantidad de arcilla en el suelo.

### **Ensayo de consistencia por arrojado.**

Se modelan bolas de mezcla de unos 5 cm de diámetro y se arrojan sobre una pared. Se tiene una idea de la consistencia de la mezcla observando: si queda o no pegada a la pared, como es el desprendimiento cuando uno la retira con la mano y si se producen fisuras en la bola aplastada.

Por otro lado, se puede tener una idea del contenido de humedad observando si en la pared quedan manchas de humedad o no.

### **Ensayo de contracción volumétrica.**

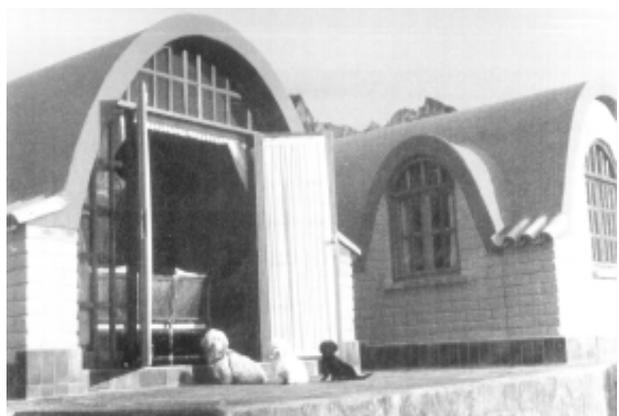
Se hacen probetas (con una dirección dominante respecto de las otras dos), se las deja secar y se observa. En función de la variación de volumen, se puede tener una idea de la contracción que sufrirán los elementos construidos con esa tierra.

### **Ensayo de sedimentación simple.**

En una botella transparente, se diluye la tierra a utilizar para construir en agua, se la deja en reposo y se observa la decantación en franjas por elemento. En función de los espesores de las capas, se puede tener una idea aproximada de los porcentajes de gravas, arenas y finos. en dicha tierra.



Bóvedas. (foto G. Mlnke)



Residencia en La Paz, Bolivia. Diseño: Raúl Sandoval. (foto A. Fischer)

### Construcción sismorresistente en tierra .

Mediante una serie de estrategias de diseño y constructivas, es posible construir viviendas sismorresistentes con tierra.

En caso de sismo, el principal riesgo es que los muros colapsen hacia fuera, dejando caer el techo sobre el interior de la vivienda, por lo que un punto principal de la estrategia sismorresistente es evitar esta situación. Esto se puede lograr mediante estructuras independientes de los muros para sostener los techos y refuerzos para los muros como mayores espesores, trabas por forma, contrafuertes, refuerzos de madera o bambú, refuerzos en las uniones estructurales críticas.

El terreno, sobre el que se emplaza la construcción que se pretende sea sismorresistente, debe ser plano para evitar daños por desplazamiento del suelo.

Otra estrategia de defensa es diseñar plantas que resistan por forma: cuanto más compacta, más estable será la vivienda. La forma circular es la forma óptima. No es recomendable que las plantas tengan ángulos o dientes, para salvar

este inconveniente, se deben armar dos volúmenes puros y un fuelle liviano que los una. Para evitar fracturas y colapsos, los dinteles deben penetrar holgadamente en las paredes y estar trabados con las paredes.

Desde lo estructural, se puede plantear ejecutar un encadenado superior y trabarlo con la pared o armar una estructura rígida, cruzando tensores, para que sea más resistente que la sollicitación del sismo.

### Bibliografía.

\* *Manual de construcción con tierra.* Gernot Minke. 2001. Editorial Norddan-Comunidad. Montevideo, Uruguay.

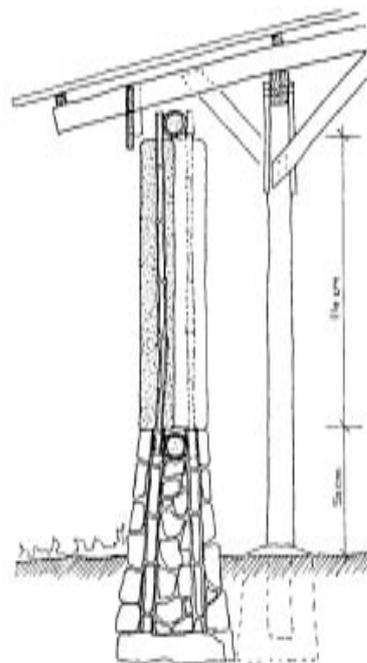
\* *Building with Pumice.* Klaus Grasser, Gernot Minke. 1990. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden.

\* *Manual de Construcción para viviendas antisísmicas con tierra.* Gernot Minke. FEB Uni Kassel, Alemania.

En internet: [www.gtz.de/basin/publications/](http://www.gtz.de/basin/publications/)



Prototipo de vivienda de bajo costo, FEB, Kassel, Alemania. (Foto G. Minke)



Vivienda de tapial reforzado con bambú, Guatemala. (G. Minke)