

# RENDIMIENTO Y COSTE ENERGÉTICO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CERRAMIENTOS DE FÁBRICA DE ADOBE Y BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA

(PERFORMANCE AND ENERGETIC COST IN THE CONSTRUCTION OF ADOBE AND COMPRESSED SOIL BLOCK WALLS)

Luis Maldonado Ramos, Francisco Castilla Pascual, Fernando Vela Cossío

Colaborador: David Rivera Gómez

Fecha de recepción: 30-VI-01

650-3

ESPAÑA

## RESUMEN

*Este artículo expone sintéticamente los resultados de una investigación financiada como Acción Especial por el Plan Nacional de I+D; dicha investigación tenía como objeto la demostración científica de las ventajas de la construcción con tierra en sus aplicaciones actuales mejoradas, partiendo de las cualidades bioclimáticas y sostenibles que ya eran conocidas tradicionalmente. El proceso investigador se repartió entre el análisis constructivo de las viviendas tradicionales de la Comarca Nordeste de Segovia y las pruebas de laboratorio en el Instituto Eduardo Torroja, la Escuela de Arquitectura de Madrid, y las instalaciones del Centro de Investigación de Arquitectura Tradicional (C.I.A.T.), en Boceguillas (Segovia).*

## SUMMARY

*This study synthetically sets forth the results of a research financed as a Special Action by the R+D National Plan; said research had as a main objective the scientific test of the advantages of building with earth in its improved present applications, starting from the sustainable bioclimatic qualities which were already traditionally known. The research process was divided between the constructive analysis of the traditional homes of the North-east Area of Segovia and the proofs obtained in laboratory at the Eduardo Torroja Institute, the School of Architecture of Madrid and the facilities of the Traditional Architecture Research Center (CIAT) in Boceguillas (Segovia).*

El problema básico de carácter energético en la construcción actual de viviendas es el del mantenimiento básico de una temperatura de bienestar interna, exigencia que viene acentuada por los *standards* de confort cada día más exigentes en nuestra sociedad. Los sistemas de acondicionamiento pasivo pueden disminuir enormemente las necesidades energéticas pero no las resuelven en su totalidad, lo que hace imprescindible recurrir a fuentes convencionales que proporcionen el calor o frío necesario en cada momento; en climas continentales extremos como el de Segovia, es necesario utilizar energía para calefactar las viviendas durante una buena parte del año.

Uno de los factores que más influye en la arquitectura tradicional y, en consecuencia, en la *arquitectura bioclimática* es el aporte térmico solar, que, junto con la capacidad de acumulación de determinados elementos

constructivos, permite disminuir enormemente los aportes externos de energía. Las ventajas de este recurso son indiscutibles. Sin embargo, los sistemas constructivos actuales tienden a la construcción ligera y a la industrialización del proceso constructivo, favorecidos por las exigencias de ahorro económico y de espacio, lo que dificulta enormemente la utilización de elementos masivos en la construcción. Las últimas investigaciones tienden incluso al desarrollo de materiales que necesitan un gran aporte energético en el cambio de fase, por lo que el calor latente es muy grande, proporcionando inercias grandes a una temperatura fija, lo que permitiría crear edificios ligeros de gran inercia.

El uso de materiales adecuados al lugar es otro de los recursos tradicionales que, además de producir un efecto integrador de la construcción con su medio y el abarata-

miento de los costes de producción, es factor determinante en el acondicionamiento de este tipo de construcciones. Un buen ejemplo de este aprovechamiento es la utilización de la tierra como material de construcción en las distintas formas que conocemos. Entendemos que la característica común de estas aplicaciones consiste en que el proceso de transformación sufrido por el material desde su extracción del suelo a su puesta en obra es mínimo o inexistente. Por "tierra" entendemos (según una de las acepciones del diccionario de la RAE) *materia inorgánica desmenuzable que compone el suelo natural*. En numerosos textos consultados, el término "suelo" se utiliza como sinónimo de "tierra". "Barro" (también según acepción de la RAE) *es la masa que resulta de la mezcla de tierra y agua*.

Nuestro trabajo de investigación, subvencionado como Acción Especial por el Plan Nacional de I+D (Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología – Programa Nacional de I+D en Medioambiente) se centra en la comarca Nordeste de Segovia, donde abunda la utilización de la tierra en la arquitectura tradicional y donde el Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid viene realizando actividades de investigación en el marco del Convenio firmado entre la Universidad Politécnica de Madrid y el Ilmo. Ayuntamiento de Boceguillas para la creación del Centro de Investigación de Arquitectura Tradicional (C.I.A.T.).

Con este trabajo se pretende demostrar la viabilidad de la utilización de este material y los sistemas constructivos que de su aprovechamiento se derivan considerando que es una forma económica de conseguir una construcción

masiva y, por tanto, de características térmicas apropiadas para utilizar en los sistemas de acondicionamiento pasivos de la vivienda.

Los objetivos específicos que se persiguen son:

- 1.- Demostrar que los sistemas tradicionales de construcción con tierra ofrecen un mejor rendimiento energético y confort climático que los utilizados en la actualidad.
- 2.- Demostrar que la utilización de la tierra conlleva un mejor aprovechamiento energético en el proceso completo de la construcción.
- 3.- Demostrar la viabilidad de la construcción con tierra, combinada con técnicas actuales, como parte integrante del desarrollo sostenible del medio rural.

### 1. Tipologías de vivienda y sistemas constructivos tradicionales

En una primera fase de investigación se ha realizado una toma de datos en un total de cuarenta y dos municipios, aldeas y pedanías de la comarca localizando aquellas construcciones en las que todavía perviven sistemas tradicionales de adobe y/o entramado de madera.

Se han intentado clasificar los tipos de vivienda encontrados con el objetivo de estudiar las estructuras existentes para su posible transformación y adaptación a las condiciones de habitabilidad actuales.

Las localidades visitadas, colocadas por orden alfabético, se indican en la Tabla 1.

TABLA 1

Aldealázar	Gomeznarro
Aldealengua de Santa María	Grajera
Aldeanueva del Campanario	Honrubia de la Cuesta
Aldeanueva del Monte	Languilla
Ayllón	Maderuelo
Barahona de Fresno	Madriguera
Barbolla	Martín Muñoz de Ayllón
Bercimuel	Mazagatos
Boceguillas	Pajarejos
Campo de San Pedro	Pajares de Fresno
Carabias	Riaguas de San Bartolomé
Cascajares	Riahuelas
Castiltierra	Riaza
Cedillo de la Torre	Saldaña de Ayllón
Cilleruelo de San Mamés	Santa María de Riaza
Cincovillas	Santibáñez de Ayllón
Ciruelos	Sepúlveda
Corral de Ayllón	Sequera de Fresno
Fresno de Cantespino	Torrubuelo
Fresno de la Fuente	Valvieja

La arquitectura popular de la Comarca Nordeste de Segovia, tanto desde el punto de vista de las tipologías de edificación como de los materiales y sistemas constructivos, pone de manifiesto la adecuación de sus espacios domésticos y auxiliares a las características del medio natural y a las formas tradicionales de la vida social y económica. Su carácter es netamente ecológico, lo que se refleja cuando al producirse el abandono y posterior ruina de los edificios, los materiales empleados vuelven a integrarse armónicamente en la matriz del medio natural.

La vivienda suele tener una o dos plantas y un sobrado o bajo cubierto, suele ser de forma rectangular y compacta, con huecos en la fachada principal y, ocasionalmente, pequeños huecos en los laterales (cuando no está entre medianeras). Frecuentemente aparecen construcciones auxiliares anexas, configurando un patio de entrada.

La distribución está compuesta en planta baja por un zaguán que va hasta la parte trasera donde se sitúa la cuadra o el corral; a los lados de éste y al frente se abren las salas, con una o dos alcobas y, al fondo, la despensa y la cocina, con una chimenea amplia, cuya campana ocupa casi todo el espacio. En la planta alta se repite una disposición similar, con salas en la fachada principal y la parte trasera destinada a almacenar grano o alimentos. El sobrado puede utilizarse igualmente como almacén o como palomar. Este esquema corresponde, quizás, al modelo de vivienda de mayor entidad, pudiéndose dar tanto en edificaciones aisladas como en edificios entre medianeras. En algunos casos, existe una única planta vividera en la que animales y personas comparten el espacio disponible.

Es corriente la agrupación de viviendas en hileras de composición repetitiva que suelen compartir los muros medianeros. En viviendas de dos plantas, de características más urbanas, aparece con frecuencia el balcón exterior sobre la puerta principal de ingreso. El balcón, antiguamente de madera, ha sido sustituido, casi en la totalidad de los casos, por el de hierro, aunque en ocasiones se conservan las viguetas de rollizos de madera originales labradas.

## 2. Sistemas de fabricación

Como hemos podido comprobar, el adobe constituye uno de los sistemas de construcción más arraigados en la comarca. Los adobes son piezas prismáticas de dimensiones variables conformados por una masa de tierra, agua y paja, moldeada en una *gradilla* o *adobera*, secada al sol.

En esta técnica hay que destacar algunos factores que condicionan el proceso:

- La necesidad de agua en cantidades abundantes. Tradicionalmente la preparación de la tierra se realizaba en un lugar lo más cercano posible a una corriente de agua y a la mina de tierra con el fin de evitar los desplazamientos de las materias primas.

- La necesidad de una gran explanada limpia de piedras y bien soleada donde se tenderán a secar las piezas moldeadas.

- La idoneidad de los climas con períodos “secos” donde moldear y curar los adobes.

Los adobes se pueden fabricar con una amplia variedad de tierras. Según el contenido de arcilla, limo o arena de la tierra, las fibras vegetales utilizadas tradicionalmente pueden sustituirse por otro tipo de *estabilizantes* más adecuados como las emulsiones asfálticas. La fuente de tierra puede estar ubicada en el sitio mismo de la construcción, producto de las excavaciones de trabajos previos. Esta excavación puede servir igualmente de pozo de remojo y punto de mezcla, dependiendo de la magnitud de la manufactura.

En la actualidad se cuenta con la posibilidad de **mecanización** de muchos de estos procesos según el nivel de producción deseado, desde una demanda muy pequeña que puede ser satisfecha *in situ* de modo manual (300-400 adobes diarios) hasta una producción en planta a gran escala donde se pueden conseguir hasta 25.000 adobes diarios. Con una mezcladora y un buen número de moldes, la producción se puede duplicar respecto a la manual. Para esto se debe preparar un barro casi líquido que se “vierte” en los moldes, como la mezcla es muy fluida deberá secar en el molde antes de retirarlos. Se puede lograr una mayor mecanización utilizando un pozo de remojo permanente, una pala frontal y un mayor número de moldes.

El punto más vulnerable de los adobes es la desintegración con el agua, esta preocupación es la que hace surgir el concepto de estabilización; este término aparece con frecuencia para designar aquellos procedimientos mediante los que se pretenden mejorar las características naturales (resistencia mecánica, conductividad térmica, impermeabilidad, etc.) de la tierra como material de construcción. A pesar de todo, el adobe seco no estabilizado no es tan vulnerable como pudiera parecer, ya que la arcilla limita la penetración de la humedad hasta ciertos niveles. En la actualidad existen gran cantidad de agentes estabilizadores: cemento, cal, emulsión de asfalto, jugos y fibras vegetales y un gran número de compuestos químicos impermeabilizantes. La principal desventaja de estos procedimientos es el coste y su difícil proceso de reciclado (Figura 1).

Otra de las formas habituales de mejorar la calidad de la tierra para la construcción, sin aporte de otras sustancias o materiales, es la “compactación”. Este procedimiento persigue la reducción de los huecos entre las partículas de tierra, aumentando su densidad y disminuyendo la porosidad y, por tanto, las variaciones de volumen debidas a la presencia de agua. La primera máquina para comprimir bloques de tierra de la que se tienen referencias escritas fue ideada por François Cointeraux en Francia, en el siglo

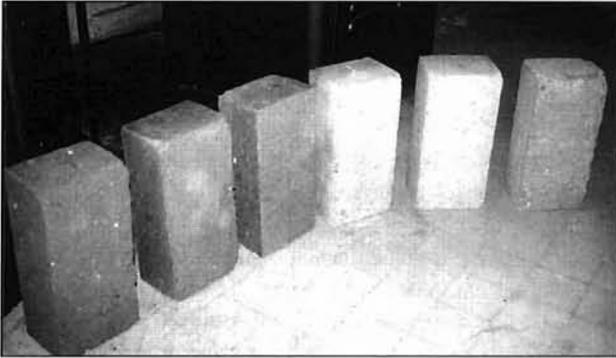


Figura 1.- Muestras de bloques con distintos estabilizantes en distintas proporciones.

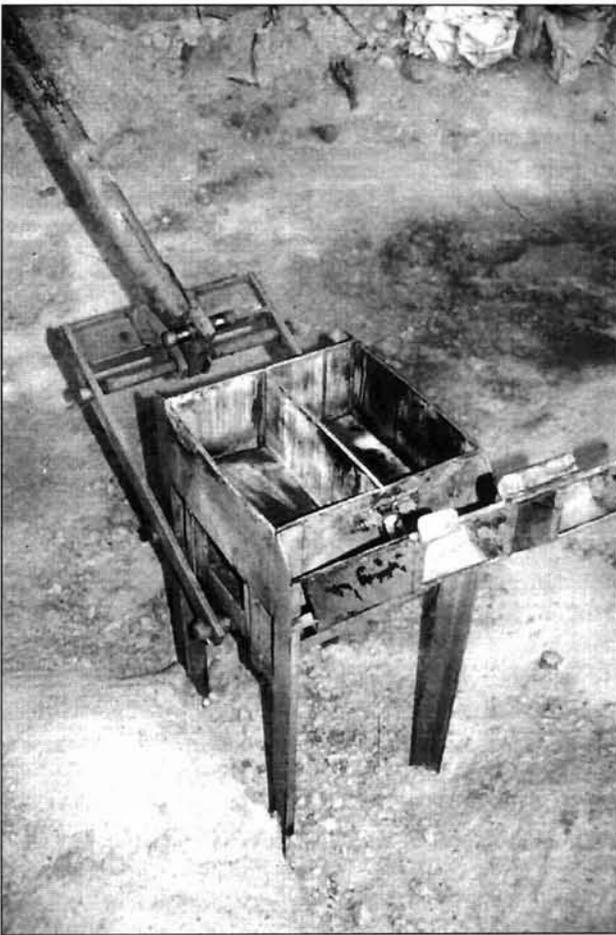


Figura 2.- Prensa manual CINVA-Ram con molde doble.

XVIII, a partir de una prensa de fabricación de vino. Los primeros diseños de prensas motorizadas no aparecen hasta principios del s. XX; éstos consistían en tapas muy pesadas que se deslizaban en un molde para realizar la compresión.

A partir de entonces y con el desarrollo de maquinaria para la industria del ladrillo cerámico aparecen nuevas ideas, pero el impulso definitivo a esta técnica se da en la década de los 50, cuando aparece la primera prensa verdadera-

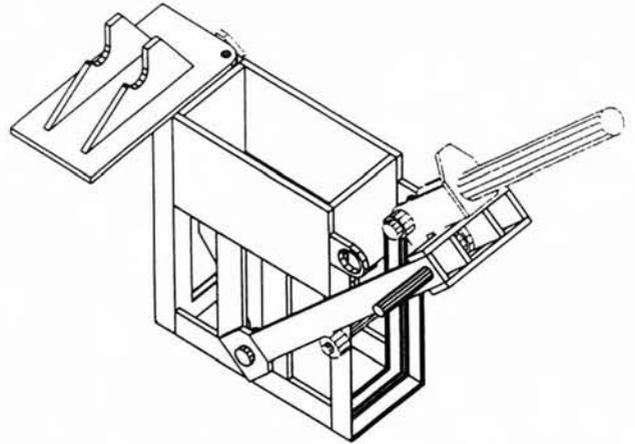


Figura 3.- Modelización de máquina CINVA-Ram para fabricación en taller.

mente específica para la construcción de bloques de tierra comprimida. La máquina, conocida como CINVA-Ram (Figura 2), fue ideada en Colombia por el Ingeniero Raúl Ramírez, del Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento. Las ventajas de esta máquina son su simplicidad mecánica, ligereza y sencillez de utilización, que la han hecho ideal para la producción de bloques in situ (Figura 3). Desde entonces múltiples variedades de este sistema se han desarrollado por toda la geografía mundial, adaptándose a los recursos y necesidades de cada situación local. Igualmente, con la necesidad de realizar proyectos de mayor escala, comenzaron a aparecer en el mercado máquinas hidráulicas y neumáticas que permiten un tratamiento mecanizado de casi todas las fases de la producción y una mejora notable en la calidad de los bloques. No obstante, la mayoría de ellas necesitan de un aporte de energía eléctrica o combustibles para su funcionamiento. En algunos casos, se han llegado a crear auténticas plantas de producción industrial en las que esta técnica se aproxima más a la del ladrillo silico-calcáreo, del cual tiene mucho en común en sus orígenes.

El bloque de tierra comprimida es un producto similar en su materia prima al adobe (o bloque moldeado) pero diferente en su proceso de fabricación, lo que también le confiere unas propiedades distintas (Tabla 2).

La utilización de prensas mecánicas supone una mejora en la calidad de las piezas obtenidas, desde el punto de vista formal y mecánico, lo que facilita su colocación en obra. La utilización de maquinaria "portátil" permite un aprovechamiento del terreno obtenido de la propia excavación de la obra. El escaso grado de humedad de la mezcla utilizada (en comparación con el barro usado para los adobes) hace que el proceso de curado se realice bajo cubierto. Por otro lado, los bloques tienen una consistencia inicial que permite un cierto grado de apilamiento, evitando la necesidad de grandes superficies de secado.

TABLA 2

ADOBE	BLOQUE DE T.C.
Moldeado (mezcla de barro)	Prensado (mezcla de tierra húmeda)
Estabilizado generalmente con fibras o asfalto	Estabilizado generalmente con cemento o cal
Secado al sol	Curado

Con maquinaria hidráulica motorizada se pueden conseguir bloques con resistencia inicial suficiente para ser colocados en obra inmediatamente a su fabricación. Finalmente, la técnica enlaza directamente con la tradición de empleo de piezas de albañilería en la zona de la comarca nordeste de Segovia que es el objeto de nuestro estudio.

Al igual que para el adobe, las tierras utilizadas para la fabricación de los bloques pueden ser muy variadas y sus características pueden mejorarse con la adición de estabilizantes. El cemento y la cal son los dos materiales utilizados mayoritariamente en la actualidad para la estabilización de bloques de tierra. Como generalidad se puede decir que el primero es más adecuado para suelos con mayor contenido de arenas y el segundo es apropiado para los suelos con un elevado contenido de arcillas. No obstante, una vez seleccionado un suelo y el tipo de estabilizante a utilizar, son muchos los factores que, durante las distintas fases de la producción, influyen en el resultado final del producto, desde las proporciones de la mezcla a las condiciones de curado.

### 3. Propiedades térmicas

La tierra no tiene tan buenas propiedades de "aislamiento" como legendariamente se le vienen atribuyendo; en realidad, su capacidad de aislamiento térmico está muy por debajo de la de otros materiales utilizados en la actualidad. La capacidad de aislamiento de los muros de tierra se debe, en mayor grado, al espesor con que éstos se construyen que a la "resistividad" del material. No obstante, la conductividad térmica de algunos elementos de tierra combinada con otros materiales, como es el caso del adobe (con fibras vegetales) puede ser dos o tres veces menor que la de otros elementos de albañilería o de materiales masivos como el hormigón, como se observa en la información recopilada.

Muchas normas asumen que el aumento de aislamiento es suficiente para disminuir las pérdidas, pero ésta no es la

única manera ni la mejor de disminuir las necesidades de calefacción.

Los resultados de este estudio inciden en el hecho de que el cerramiento de un edificio es un elemento de calentamiento solar pasivo cuyo comportamiento, debido a la transitoriedad del régimen de temperaturas diario, depende de la capacidad de almacenamiento de calor y de absorción de radiación. Entre las conclusiones que se pueden obtener hay que destacar que el K-efectivo (coeficiente de transmisión térmica) disminuye cuando el color de la superficie es más oscuro y en los muros con orientación sur, creciendo progresivamente en orientaciones este, oeste y norte. Estas diferencias son aún más significativas en muros con gran masa.

En un muro de adobe, la mayor atenuación de la temperatura que se presenta en la superficie exterior ocurre en los primeros 30 cm de espesor. Con este tipo de muros se promedian las temperaturas exteriores en períodos más o menos definidos<sup>1</sup>.

#### *Selección de material y caracterización*

Uno de los aspectos que se contempló en este trabajo es la determinación de las características físicas del material, con el fin de obtener unos valores concretos comparables a los que se encuentran en la documentación técnica.

<sup>1</sup> Para un muro de 60 cm este período es de dos semanas, para uno de 30 cm es de tres o cuatro días. Esto aparece mencionado en un artículo de la revista *Adobe News* suscrito por el Dr. Francis Wessling (Albuquerque, N.M.), donde explica estas variaciones según un modelo matemático aplicado a un muro de 60 cm con un aislamiento interior de 7 cm y donde indica que el amortiguamiento producido a mitad del muro es del 94%. El artículo concluye que la masa del adobe reduce las necesidades de apoyo energético comparado con otro muro de menor masa e igual coeficiente de transmisión en régimen estacionario. También indica que las pérdidas de calor serían mayores sin el aislamiento, pero la variación sería menor por la mayor influencia del aire interior sobre el muro.

ca disponible para materiales de uso corriente en la construcción actual.

Los valores de resistencia, conductividad térmica, calor específico, etc. encontrados en la bibliografía para el material tierra, en sus diferentes formas de aplicación, presentan grandes desigualdades, lo que dificulta la determinación de los mismos para realizar un estudio comparativo con otros materiales. Por ello se ha preferido realizar una serie de mediciones sobre elementos reales construidos con los materiales de la comarca. Los ensayos se realizaron con dos tipos de piezas de albañilería: adobes y bloques de tierra comprimida. La fabricación de los bloques se ha llevado a cabo en las instalaciones del C.I.A.T. (Centro de Investigación de Arquitectura Tradicional) en Boceguillas (Segovia)<sup>2</sup>.

#### *Determinación del comportamiento térmico*

Para obtener un resultado sobre el comportamiento térmico de los elementos de tierra (adobe y bloque) se debe partir de un cerramiento con unas características determinadas del cual se medirá su coeficiente de transmisión térmica (K), mediante ensayo de laboratorio y, a partir del mismo, se deducirán matemáticamente los valores de conductividad para el elemento.

Estos ensayos se han realizado en los laboratorios del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC) y se han practicado sobre dos muros de ½ pie de espesor, aparejados a sogá, uno de adobes y otro de bloques de tierra comprimida. Para ello se transportaron los bloques y adobes del lugar de fabricación y adquisición en Boceguillas (Segovia) a las instalaciones del IETcc. Igualmente, se llevaron tierras del mismo tipo con las que fabricar un mortero de cemento (1:6) para recibir las piezas y levantar el muro. Con el mismo material, tamizado y en las mismas proporciones, se realizó un revoco por una de las caras de cada uno de los muros de entre 5 mm y 1 cm de espesor. Este revoco es necesario para proporcionar una superficie plana de adherencia para los termopares del ensayo (aunque para tal fin basta con revestir una zona central de unos 60x80 cm).

Los valores máximos para el coeficiente de transmisión térmica, según el tipo de cerramiento, se establecen en la NBE CT-79 según la zona climática, determinada por los valores de las temperaturas mínimas medias del mes de enero. Estos valores reflejan simplemente la capacidad de

aislamiento, pero no consideran la capacidad de acumulación de calor de los mismos; no obstante, existe una cierta consideración hacia los cerramientos de gran masa, pues el valor mínimo de K es superior para aquéllos que presentan un peso >200 kg/m<sup>2</sup>. En nuestro caso particular, el valor máximo de K, según la norma, es de 1,40 W/m<sup>2</sup> °C; con un muro de 1 pie de bloques de tierra podríamos conseguir un K = 1,74 W/m<sup>2</sup> °C, por lo que el valor requerido es fácilmente alcanzable con un revestimiento interior y exterior de 1,5 cm de espesor de características similares al ensayado. Éste es un valor bastante adecuado para las fábricas de tierra: coincide con las dimensiones habituales en la construcción tradicional, suministra suficiente resistencia para soportar, hasta dos alturas, con las cargas habituales en edificación residencial y ya hemos visto que, a efectos de almacenamiento de calor, es la sección más efectiva. Por encima de este espesor, posiblemente estemos desperdiciando material y, por debajo, habría que buscar soluciones combinadas con algún tipo de aislamiento (Figuras 4 y 5).

#### **4. Coste energético**

El problema que vamos a esbozar en este apartado, muy brevemente por cuestiones de espacio, se halla cada vez más situado en el punto de mira de la arquitectura actual, tanto desde el punto de vista de la cooperación internacional como desde los intereses de la sociedad que podemos llamar post-industrial. El coste energético es un indicador ecológico, cuyo principal aporte consiste en sintetizar en una única medida un conjunto muy diverso de impactos. Así, en el actual contexto industrial, con un consumo mayoritario de fuentes energéticas "no-renovables", para un mismo proceso de fabricación (o procesos similares que sean comparables), el coste energético es esencialmente proporcional a la contaminación mediante diversas sustancias (óxidos de carbono, de azufre, etc.). Igualmente, dicho coste es esencialmente proporcional al impacto sobre el territorio, debido a movimientos de materiales.

El coste energético de fabricación dependerá, principalmente, de la cantidad de material utilizado y de su naturaleza, así como de la durabilidad general de la construcción. Por el contrario, el coste energético de mantenimiento, a igualdad de cantidad y naturaleza de los materiales, dependerá, significativamente, del diseño particular con que se empleen.

Adoptar las formas adecuadas puede suponer un ahorro de energía considerable; la composición en detalle y la distribución de los espacios que son propios de la arquitectura bioclimática (es decir, aquélla que utiliza como foco de energía pasiva los efectos derivados de las condiciones climáticas) son un punto de partida indispensable cuya observancia cada vez se halla más extendida en la arquitectura reciente de los países en vías de desarrollo y los países ricos de la franja cálida.

<sup>2</sup> Para ello se han seguido las indicaciones de los manuales desarrollados por el grupo CRA Terre en la Escuela de Arquitectura de Grenoble (Francia): Rigassi, V. (1995); *Compressed Earth Blocks. Vol. I Manual of production*, y Guillaud, H. / Joffroy T. / Odul. P. (1995); *Compressed Earth Blocks. Vol. II: Manual of design and construction*; Gate, Eichborn (Alemania).

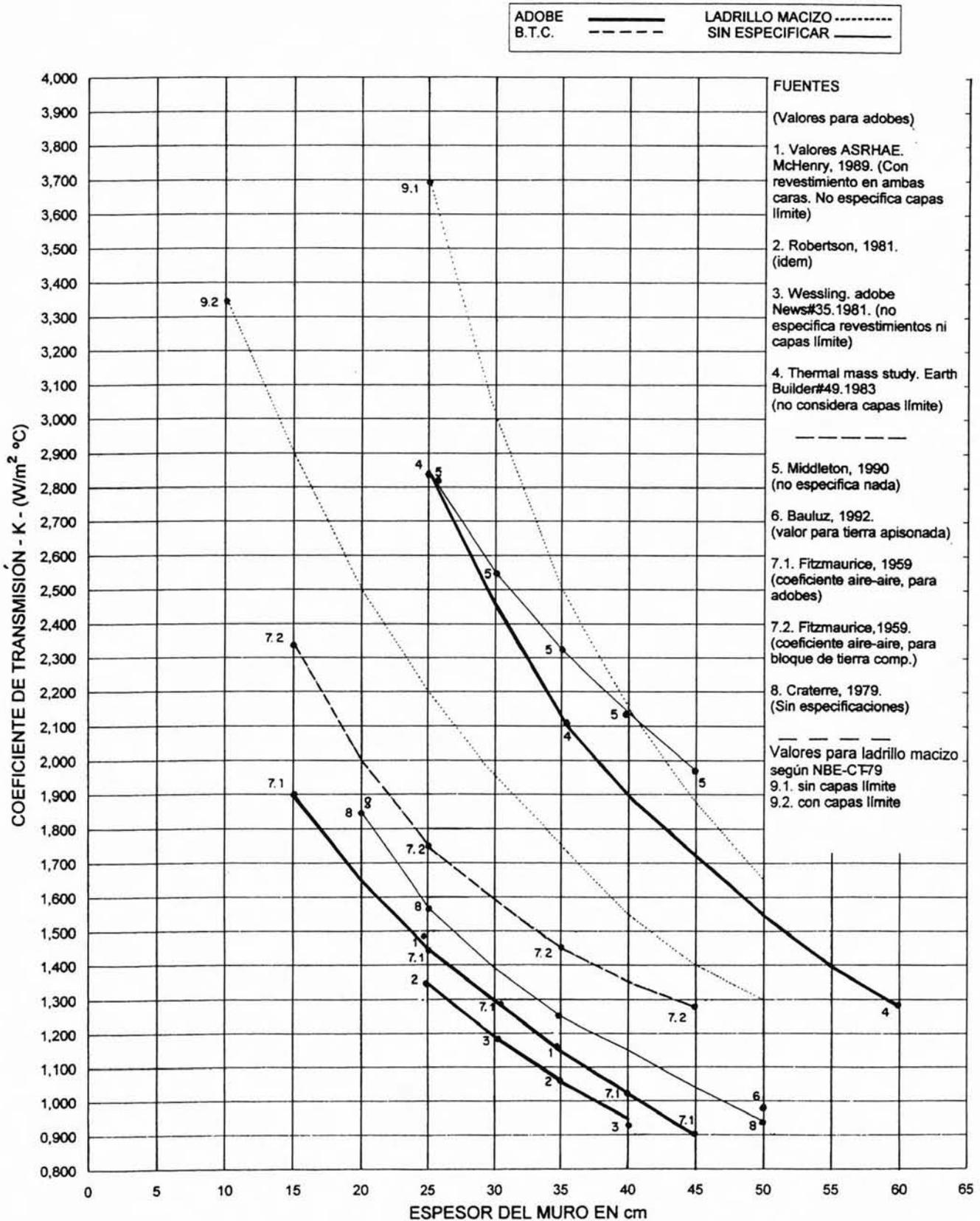


Figura 4.- Ensayo de determinación del comportamiento térmico.

## MURO DE BLOQUES

h	T <sub>i</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>e</sub>
0	22,9	22,9	22,3	22,2
1	23,5	23,4	22,3	22,2
2	23,1	23,2	33,1	39,2
3	23,8	24,2	35,3	39,3
4	24,4	25,4	36,4	39,6
5	25,1	26,6	37,2	40,3
6	25,9	27,8	38,2	41,2
7	27,1	29,2	39,3	42,0
8	28,1	30,5	40,1	42,5
9	28,6	31,2	40,2	42,3
10	29,1	31,9	40,3	42,2
11	29,7	32,5	40,4	42,1
12	30,2	33,0	40,5	42,1
13	30,6	33,5	40,6	42,0
14	30,9	33,8	40,9	42,4
15	31,2	34,1	40,7	41,8
16	31,5	34,4	40,6	41,7
17	31,7	34,6	40,6	41,6
18	31,9	34,8	40,5	41,6
19	32,0	34,9	40,6	41,5
20	32,2	35,1	40,5	41,6
21	32,3	35,1	40,5	41,5
22	32,2	35,0	40,5	41,4

## MURO DE ADOBE

h	T <sub>i</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>se</sub>	T <sub>e</sub>
0	21,0	21,3	20,8	20,6
1	22,6	22,9	22,0	21,9
2	22,8	23,1	33,6	38,4
3	23,8	24,4	36,2	40,0
4	24,8	25,9	37,1	40,4
5	25,5	27,1	38,2	41,2
6	26,2	28,1	39,1	42,0
7	26,5	28,7	39,5	42,4
8	27,9	30,4	41,2	44,0
9	28,7	31,4	40,5	42,0
10	29,3	32,0	40,3	41,8
11	29,8	32,5	40,3	41,8
12	30,3	33,0	40,5	41,9
13	30,6	33,4	40,5	41,9
14	31,0	33,7	40,6	41,9
15	31,3	33,9	40,5	41,7
16	31,4	34,1	40,6	41,8
17	31,6	34,3	40,6	41,7
18	31,8	34,5	41,0	42,3
19	31,9	34,6	40,7	41,7
20	32,1	34,8	40,5	41,5
21	32,2	34,9	40,5	41,4
22	32,2	34,9	40,4	41,4

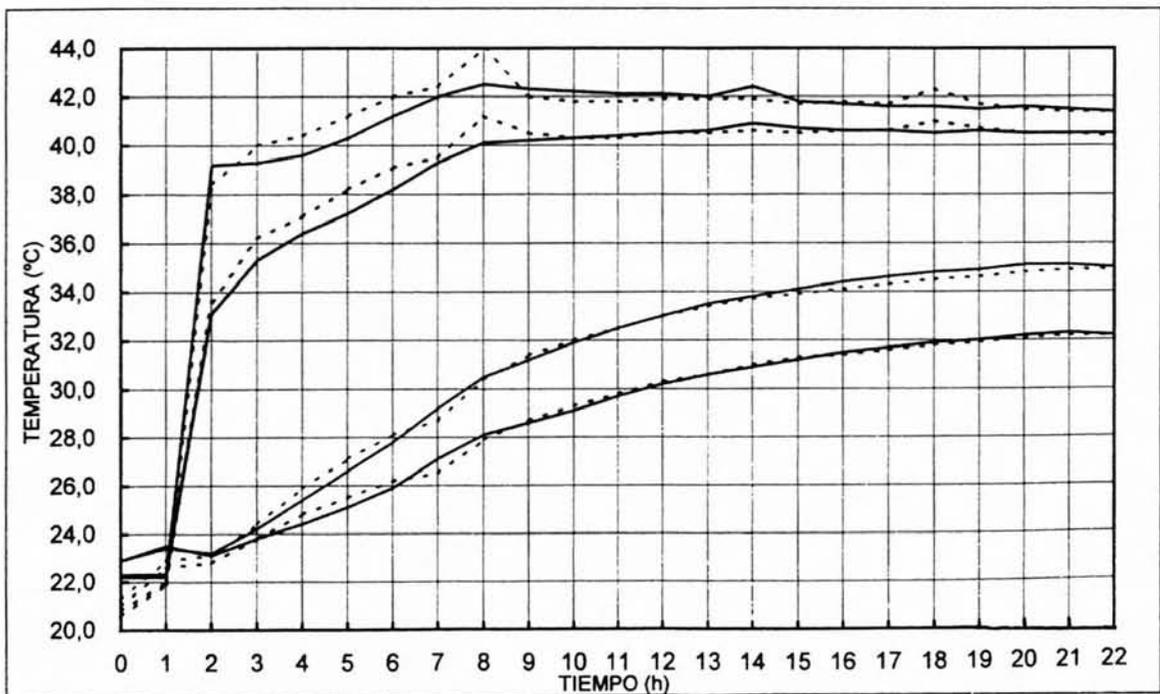


Figura 5.- Ensayo de inercia térmica.

Como es sabido, la durabilidad es un segundo aspecto a tener en cuenta en este enfoque, ya que la correcta utilización y protección de los materiales empleados permitirá ahorrar grandes costes al constructor y al usuario. La relación entre los costes de fabricación y la eficiencia de la arquitectura para cobijar a las personas puede ser alterada de diversas maneras; la utilización de la tierra, con su gran inercia térmica, ofrece unas posibilidades inmejorables para disminuir los costes de la edificación.

En cuanto a la energía incorporada en los materiales de construcción, existe una definición aceptada que podemos emplear: la energía incorporada de un material incluye toda la que se precisa en los distintos procesos necesarios para llevar el material a su lugar en el edificio, desde la extracción de las materias primas hasta su manufactura y erección; incluye la energía asociada al transporte (y a la parte proporcional de la infraestructura necesaria para que éste sea posible) tanto como la parte proporcional de los equipos y maquinaria necesarios para todos esos procesos.

Otras ventajas apreciables, desde el punto de vista del coste energético, pueden ser consideradas desde el mirador de los excesos de la construcción industrializada. El interés de la construcción con tierra desde la premisa de la reducción de los impactos ambientales reside en la naturaleza polifacética del material y sus propiedades térmicas y mecánicas, unido al hecho de que su fabricación es totalmente viable sin un consumo de energía contaminante, debido a que en todas las fases de fabricación del adobe o tapial tradicionales es posible utilizar

fuentes renovables de energía, ya que nunca se requiere la presencia de altas temperaturas (lo que constituye la diferencia sustancial con el ladrillo cerámico común).

Pero aunque la energía incorporada en los materiales da una idea de su densidad energética, no permite todavía hacer comparaciones útiles al diseñador. En efecto, para cada función específica, la cantidad de material es muy distinta según sea el elegido, en justa correspondencia con las muy diversas propiedades físicas de cada material. Para proceder a una elección sensata no sólo es necesario considerar el material, sino que también debe tenerse presente la función que se supone que debe implementar.

### 5. Coste económico

No es tarea sencilla ofrecer unos valores claramente representativos del coste de fabricación de los bloques, puesto que la falta de experiencia impide efectuar con agilidad las distintas labores que requiere una producción a gran escala. Pese a ello se ha tomado nota de los consumos de material, personal y tiempo que cada fase ha requerido, con el fin de aproximar los valores que se supone se verían reducidos en un cierto porcentaje una vez adquirida cierta experiencia.

De acuerdo con los consumos y partiendo del esquema de elaboración de precios descompuestos propuesto por el libro de precios de la construcción editado por el Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Guadalajara (1996), el coste de fabricación de 50 bloques de tierra sería el siguiente, Tabla 3.

TABLA 3

1,25 horas	Cuadrilla compuesta por:		
	Ayudante (1 h)		
	Peón Especializado ( 1 h)		
	Peón Ordinario (1 h)	4.313 pts./h	= 5.375 pts.
50 kg (1 saco)	Cemento II-C/33	13 Pts./kg	= 670 pts.
0,015 litros	Agua	87 pta./l	= 13 pts.
	3% de costes indirectos sobre	6.038 pts.	= 181 pts.
		<b>TOTAL</b>	<b>= 6.219 pts.</b>

TABLA 4

1,00 horas	Oficial de primera	1.975 pts/h	= 1.975 pts
0,05 horas	Ayudante	1.850 pts/h	= 925 pts
34 bloques		120 pts/Ud	= 4.080 pts
0,025 m <sup>3</sup>	Mortero de cemento	8.028 pts/m <sup>3</sup>	= 200 pts
	3% de costes indirectos sobre	7.180 pts	= 7.395 pts

Estos cálculos arrojarían un coste aproximado de 120 pts/bloque, que viene a ser el precio de algunos bloques de hormigón o cemento de 40x20x15. Si estamos hablando de una producción con aprovechamiento in situ, a este resultado habría que descontarle la parte del ahorro de transporte de material al vertedero, que viene a ser un 75% del total de esta partida y que puede representar un coste de 162 pts km<sup>3</sup>.

Implementando el mismo procedimiento, el coste de 1 m<sup>2</sup> de fábrica de medio pie, como las que se levantaron para los ensayos de transmisión térmica, sería el indicado en la Tabla 4.

### Conclusiones

En primer lugar, hemos podido comprobar la viabilidad de la construcción con tierra, combinada con técnicas actuales, como recurso de mejor aprovechamiento energético, tanto en el proceso de construcción como en el acondicionamiento de la vivienda:

- . Por un lado, se ha demostrado la importancia de la construcción con elementos masivos como alternativa de acondicionamiento pasivo en edificaciones situadas en climas con saltos térmicos importantes, estacionales y diarios.

- . Por otro, la tierra y, en concreto, el sistema de bloques de tierra comprimida, ofrece una solución barata: energética y económicamente, para la obtención de elementos masivos en la construcción.

- . Los valores de coste energético del aislamiento, capacidad de almacenamiento térmico y coste específico estructural de la compresión hacen que el sistema resulte especialmente ventajoso, en comparación con otros materiales como el hormigón, el acero o el ladrillo, en edificios de una o dos plantas.

- . Aunque no se ha podido determinar con precisión el coste económico de producción y puesta en obra de los bloques, las estimaciones que se han hecho lo sitúan parejo a algunos materiales de densidad similar, como el bloque de cemento o el ladrillo de tejar.

En segundo lugar, se han demostrado con valores reales las ventajas que el sistema de B.T.C. ofrece respecto a una técnica tradicional como el adobe, y que ya se apuntaron anteriormente:

- . Por un lado, se ha demostrado, mediante prototipos reales ensayados en laboratorio, que el comportamiento climático, el coeficiente de transmisión térmica y la capacidad de almacenamiento de estos bloques es igual al de los adobes utilizados tradicionalmente, que tan buenos resultados dan para la refrigeración y el calentamiento pasivo. Si bien, en el primer caso, los resultados son más satisfactorios, puesto que las temperaturas medias en los meses de calor se aproximan más a las de confort que en los meses de invierno, donde hace falta calefacción.

- . La utilización de prensas mecánicas supone una mejora de la calidad de las piezas obtenidas; desde el punto de vista formal, lo que facilita su colocación en obra y, junto con la adición de estabilizantes, supone un aumento en los valores de resistencia a compresión y absorción de agua de más del doble de los asumidos para el trabajo con adobes.

- . La utilización de maquinaria "portátil" permite un aprovechamiento del terreno obtenido de la propia excavación de la obra, ahorrando costes y energía de transporte de material a vertedero gracias a la reutilización que se hace del mismo.

- . El escaso grado de humedad de la mezcla utilizada (en comparación con el barro usado para los adobes) hace que el proceso de curado se realice bajo cubierto. Por otro, los bloques tienen una consistencia inicial que permite un cierto grado de apilamiento, evitando la necesidad de grandes superficies de secado, lo que los hace idóneos en lugares donde no se cuenta con mucho espacio de trabajo. Además, se ha comprobado que con las proporciones y el tipo de cemento y tierra utilizados, los bloques adquieren suficiente resistencia para ser utilizados en obra a la semana de su fabricación, sin necesidad de voltearlos para su secado.

- . Se ha demostrado que el ahorro de energía convencional (combustibles líquidos) es posible utilizando maquinaria de accionamiento manual con la que se puede obtener un producto de características adecuadas para la construcción de edificaciones de hasta dos plantas de altura, con valores de resistencia y deformación seguros.

Como propuestas de investigación futuras, creemos que las líneas prioritarias son:

- . El estudio comparativo con otros materiales de albañilería, desde el punto de vista de la capacidad de

almacenamiento térmico y el comportamiento de los cerramientos en régimen transitorio de intercambio de calor, para lo que habría que construir prototipos comparables y desarrollar ensayos específicos.

. El desarrollo de un prototipo de construcción completa, tanto de edificación residencial como industrial o agraria, que permita valorar los costes de producción y de puesta en obra correctamente, para tener unos datos fiables con los que establecer nuevas comparaciones.

. La investigación de la tierra como material de construcción en otras formas y aplicaciones, como puede ser la ya mencionada utilización de tierra aligerada con fibras como elemento de relleno de entramados de madera.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 COSSÍO, F.: *Curso de construcción con tierra (II): Vocabulario tradicional de construcción con tierra*. Instituto Juan de Herrera, Madrid, 1999.

MALDONADO RAMOS, L.; VELA COSSÍO, F.; RIVERA GÁMEZ, D.: *Curso de construcción con tierra (III): Nuevas aplicaciones de la tierra como material de construcción*. Instituto Juan de Herrera, Madrid, 2001

MATTENRY, P. G.: *Adobe and named earth building*. John Wiley & Sons, New York, 1984.

SALAS SERRANO, J.: *Tecnología para viviendas de interés social en Iberoamérica*. IETcc, 1998.

VV. AA.: *Blocs de terre comprimée: équipements de production*. CRATERRE-EAG, Villafontaine, 1994.

VV. AA.: *Building with earth*. CRATERRE-EAG, Villafontaine, 1994.

VV. AA.: *Earth construction: a comprehensive guide*. CRATERRE-EAG, Rugby, 1994.

VV. AA.: *La tierra: material de construcción*. Monografías del IETcc, 385-386. Madrid, 1987.

\*\*\*