

CONTART 2016. La Convención de la Edificación
20 - 22 de abril de 2016; Granada (Spain): Colegio Oficial de Aparejadores y
Arquitectos Técnicos de Granada. Consejo General de la Arquitectura Técnica
de España, p.89-97

PROPIEDADES TÉRMICAS Y ACÚSTICAS EN MUROS Y REVESTIMIENTOS DE TIERRA PROYECTADA Y SU CUMPLIMIENTO EN EL CTE

FUENTES GARCÍA, RAQUEL¹; VALVERDE PALACIOS, IGNACIO²; VALVERDE
ESPINOSA, IGNACIO³; GONZÁLEZ PEREGRÍN, CARMEN⁴

1: *Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad de Granada*
e-mail: rfuentes@ugr.es web: <http://www.ugr.es>

2: *Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad de Granada*
e-mail: nachoval@ugr.es web: <http://www.ugr.es>

3: *Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad de Granada*
e-mail: valverde@ugr.es web: <http://www.ugr.es>

4: *Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Beca de Colaboración del Ministerio de
Educación. Universidad de Granada*
e-mail: carmengonzalezperegrin@gmail.com web: <http://www.ugr.es>

Palabras clave: construcción de tierra; sistema de proyección; ahorro energético.

RESUMEN

Se plantea establecer un prototipo de ensayos de laboratorio para determinar propiedades térmicas y acústicas mediante revestimientos de tierra proyectada aplicados a distintos materiales de los utilizados como cerramientos en edificación; en este caso particular, la comunicación se centra exclusivamente sobre un soporte constituido por un bloque de termoarcilla de 19 cm de espesor. Para ello, se han medido las temperaturas en ambas superficies, una cara (termoarcilla) en el interior del laboratorio y la otra (tierra proyectada) en el exterior, además, se han tomado las temperaturas de ambos ambientes para posteriormente analizar y tratar estos resultados. Todos estos datos servirán para establecer los parámetros técnicos acústicos y térmicos con el fin de solicitar certificados de calidad del producto, emitidos por la Asociación Española de Normalización. No obstante, se puede adelantar que la tierra proyectada aporta prestaciones térmicas muy similares a las que se obtienen en las casas cueva, si bien mientras éstas se ejecutan enterradas, las de tierra proyectada se realizan en superficie.

1. INTRODUCCIÓN

Aunque los términos de “sostenibilidad” y “eficiencia energética” tienen su propia identidad desde hace tiempo, en España en los últimos años se han incorporado al léxico arquitectónico; tanto es así, que cualquier material de construcción o sistema constructivo del mercado hace referencia a ello. Esto, sin duda, ha potenciado la puesta en valor de la tierra como material de construcción debido a su naturaleza verdaderamente sostenible, incluyendo en este término lo eficiente energéticamente. Paulatinamente van apareciendo, y están en alza, más técnicas constructivas o distintos sistemas de puesta en obra de este material ofreciendo versatilidad compositiva, en la gran mayoría de los casos.

Nadie pone en duda las cualidades de la tierra como material de construcción incluyendo las propiedades térmicas y acústicas, a veces basadas la primera en conceptos como la inercia térmica en los muros fabricados con la técnica del tapial o utilizada en sistemas constructivos incorporados a la obra nueva como aislamiento.

Como alternativa constructiva en tierra, se lleva planteando, desde 2005, la tierra proyectada. Este sistema permite proyectar mediante bombeo la tierra de cada lugar. Se adecua la tierra y se proyecta dando como resultado un aporte de masa que otorga al conjunto textura y color similar a la del yacimiento donde ha sido extraída. Este sistema permite realizar obras de nueva planta, rehabilitaciones y restauraciones de tapiales o usar el sistema como revestimiento. Siempre se aporta, tras su adecuación para la proyección, una tierra que no tendrá impacto visual alguno ya que el pigmento lo lleva la arcilla del acopio, es decir, la misma tierra, a lo que hay que añadir que este material puesto en obra presenta resistencia a compresión y adherencia a los soportes muy aceptables [1], no obstante, aún faltan la caracterización de las propiedades referentes a aislamiento térmico y acústico.

Se debe destacar la ausencia de una normativa de los sistemas constructivos de tierra que permita comparar y acotar algunas de sus propiedades. Prueba de ello la hemos tenido en la investigación que hemos realizado sobre un nuevo sistema de puesta en obra de la tierra para distintos fines, patentado como “Tierra Proyectada” [1]. La existente, además, en la mayoría de los casos es para adobe o bloque de tierra comprimida (BTC), centradas en el material en sí o en la estabilización de éste. En cuanto a propiedades térmicas, generalmente se suele hacer referencia al Building Code of Australia (BCA) [2], y particularmente a [3] para el caso de BTC en España, que es la primera normativa europea que regula un sistema constructivo de tierra y ha sido “el fundamento de la normativa francesa, XP P13-901,2001 de AFNOR; que a su vez inspira la normativa colombiana NTC 5324,2004”. [4].

Además, [5, 6] cuantifican propiedades intrínsecas de la tierra tales como la porosidad y densidad íntimamente relacionadas con las propiedades térmicas. No obstante, estas propiedades deben establecerse para cada caso concreto debido a la gran heterogeneidad de la “tierra”, según la zona, tratamientos y sistemas de puesta en obra. Hemos de señalar que la norma Española de BTC Además existen las normas Alemanas DIN en las que se basan los avances de tierra de Gernot Minke, “Manual de construcción en tierra” [7].

Por todo ello, se quiere llamar la atención en que para poder caracterizar y cuantificar las propiedades térmicas y acústicas de la tierra como material de construcción, y en el caso de la tierra proyectada, es importante que exista un entorno normativo que especifique metodología de ensayos, a fin de poner en valor los distintos sistemas constructivos de tierra, justificando su eficiencia energética y sostenibilidad.

En esta comunicación se aporta información referente a las propiedades térmicas, ya que son los primeros resultados que se han obtenido mediante ensayos en el proyecto de investigación que dan origen al título.

2. DESARROLLO/METODOLOGÍA

2.1 RECOPIACIÓN DE DATOS Y PROPIEDADES EXISTENTES

El Código Técnico de la edificación [8] indica un valor de transmitancia térmica < 0.75 , en el caso de muros en invierno y en zonas con gran amplitud térmica. En el caso del BTC, AENOR indica que el fabricante deberá facilitar información sobre las propiedades térmicas del producto determinándose según la Norma UNE-EN 1745:2013 [9].

En la Tabla 1 se presenta un resumen de los datos obtenidos para distintos sistemas constructivos a partir de [10 y 11], que como se puede observar que muchos de ellos no cumplirían con el requisito de transmitancia térmica anteriormente indicado.

Tabla 1. Distintos materiales/sistemas constructivos y parámetros térmicos y acústicos

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	e (m) [10]	Ra (dB) [10]
Tapial	2050 [1,10, 11]	1 [1,10, 11]	0.3	57.85
BTC	1700 [10]	0.81 [10]	0.3	56.32
Adobe	1200 [10]	0.46 [10]	0.3	53.04
Hormigón en masa	2300 [10]	2.3 [10]	0.3	59.16
Bloque de hormigón	860 [10]	0.91 [10]	0.2	46.1
Pared de ladrillo macizo	2170 [10]	1.04 [10]	0.3	58.61
Pared de ladrillo hueco	670 [10]	0.22 [10]	0.3	47.56

ρ =Densidad; λ =Conductividad; e= Espesor; Ra=Ruido aéreo

A partir de los datos de la Tabla 1, se aportan los valores correspondientes al calor específico y se calculan también valores teóricos de capacidad térmica, almacenamiento de calor, difusión térmica, resistencia, transmitancia térmica y resistencia para los mismos materiales/sistemas constructivos anteriores, Tabla 2.

Tabla 2. Distintos materiales/sistemas constructivos y parámetros térmicos

Material	Ce (J/ kg·K)	S (J/m ³ K)	Qs (J/m ² k)	α (m ² /s)	U (W/m ² K)	R (m ² K/W)
Tapial	600 [11]	1230	369	8.13E-4	3.33	0.30
BTC	1176 [12]	1999.2	599.76	4.05E-4	2.70	0.37
Adobe	1480 [13]	1776	532.8	2.59E-4	1.53	0.65
Hormigón en masa	1000 [14]	2300	690	1.00E-3	7.67	0.13
Bloque de hormigón	1000 [14]	860	172	1.06E-3	4.55	0.22
Pared de ladrillo macizo	1000 [14]	2170	651	4.79E-4	3.47	0.29
Pared de ladrillo hueco	1000 [14]	670	201	3.28E-4	0.73	1.36

Ce= Calor específico; S= $\rho \times Ce$ = Capacidad térmica; Qs= S x e= Almacenamiento de calor; $\alpha=\lambda/S$
S= Difusión térmica; U= λ/e = Transmitancia térmica; R= e/λ = Resistencia

2.2 REFERENTE AL ENSAYO DE LABORATORIO

Se ha modelización en laboratorio, a escala real, un revestimiento de 10 cm de tierra proyectada, igual al que se ejecutó en un edificio de nueva planta (baja y dos alturas) con estructura de hormigón armado y cerramiento de termoarcilla de 19 cm de espesor.

Uno de los parámetros térmicos por el que se puede establecer si la solución constructiva mejora el aislamiento térmico o no, es el coeficiente de conductividad térmica (λ). La determinación de éste se ha realizado por comparación entre el comportamiento de un material cerámico con la tierra proyectada (Figura 1).



Figura 1. Muestra de ensayo que representa el sistema constructivo termoarcilla de 19 cm de espesor revestida en la zona superior de la fotografía (cara exterior del cerramiento) por 10 cm de tierra puesta en obra mediante proyección (Fuente: autores).

El ensayo ha consistido en controlar los cambios de temperatura, mediante dos data logger de 4 canales cada uno, que se producen en ambos materiales (termoarcilla-tierra proyectada) cuando han sido expuestos a la intemperie durante aproximadamente 24 horas en el mes de febrero (Figura 2) donde se registró una oscilación térmica ambiental exterior de entre 10.3 y 33 °C.



Figura 2. Ubicación del dispositivo de ensayo en la fachada SSE de la E.T.S. Ingeniería de Edificación de la Universidad de Granada en el que se aprecia la disposición del prototipo en su cara externa, es decir, la de la tierra proyectada (Fuente: autores).

En la Tabla 3 se indica la posición de los cinco sensores (termopares) que se dispusieron para registrar la temperatura.

Tabla 3. Posición de Termopares en la muestra de ensayo (elaboración propia)

Sensor	Posición	Observaciones
T-1	Tª interfase termoarcilla-tierra proyectada	
T-2	Tª tierra proyectada	Cara exterior
T-3	Tª ambiente exterior	
T-4	Tª termoarcilla	Cara interior
T-5	Tª ambiente interior	



Figura 3. Vista de la cara exterior (tierra proyectada) del sistema constructivo termoarcilla-tierra proyectada y del sensor situado en la superficie de la tierra (termopar T-2) (Fuente: autores).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Transcurridas aproximadamente 24 horas se dio por concluida la adquisición de datos de temperatura y se procedió a la recopilación y análisis de la información de recogida por los data logger. En la Figura 4 se muestra la representación gráfica de la evolución de las temperaturas en el tiempo en 4 de los 5 sensores utilizados en el ensayo. El termopar que falta corresponde a la temperatura ambiente interior (T-5) que se adquirió con el segundo data logger y es coincidente con T-4 (temperatura de la termoarcilla en la cara expuesta al interior del laboratorio).

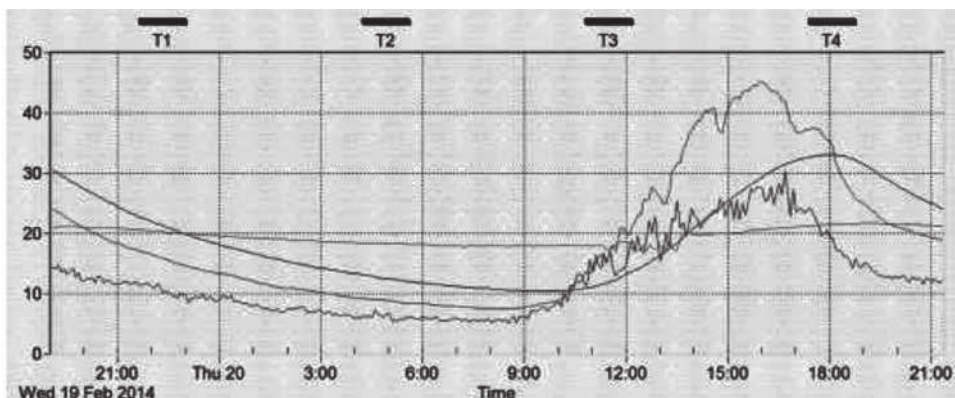


Figura 4. Evolución de la temperatura en el tiempo en cuatro termopares (elaboración propia).

Para la obtención del parámetro λ correspondiente a la tierra proyectada, se ha empleado la ecuación de Fourier que rige el intercambio de calor (Q) para cada material con la misma superficie (S) y espesor (e), termoarcilla (TA) y tierra proyectada (TP), siendo (T_2-T_1) el intervalo de temperaturas en °C en los termopares correspondientes e intervalo de tiempo considerado. Igual significado tiene (T_4-T_1) en sus termopares:

$$Q = \lambda_{TA} * S * \frac{T_4-T_1}{e_{TA}} = \lambda_{TP} * S * \frac{T_2-T_1}{e_{TP}} \quad (1)$$

A partir de (1), finalmente, se ha obtenido un valor de $\lambda_{TP}=0.64$ w/m K, tomando como referencia un $\lambda_{TA}=0.29$ w/m K para una pieza de 19 cm de espesor [15]. Así, si aplicamos el Documento de Apoyo al DB-HE Ahorro de energía del CTE, se obtiene que la resistencia térmica de la tierra proyectada (e=10 cm) es de $R_T=e/\lambda= 0.15$ m² K/w, y su inverso, es decir la transmitancia térmica, de 6.4 w/m² K.

Comparando valores de conductividad térmica de la Tabla 1, la tierra proyectada se situaría entre el BTC y el adobe. De la misma manera, si se dieran espesores de 0.3 m en vez de 0.1 m, este valor sería de 0.5 m² K/w, llegando a la misma conclusión. Si bien es cierto, que la tierra proyectada, siendo en este caso un revestimiento, ofrece similares características térmicas que el BTC y adobe como cerramiento. Esto hace de la tierra proyectada mucho mayor su versatilidad, pues permite revestir otros materiales de cerramiento más actuales y de más fácil colocación, siendo a su vez la capa de acabado.

Si bien es cierto, que el CTE indica que las soluciones constructivas diseñadas para reducir la demanda energética, tales como invernaderos adosados, muros paraetodinámicos, muros Trombe... cuyas prestaciones o comportamiento térmico no se describen adecuadamente mediante la transmitancia térmica, pueden superar ese límite establecido, si bien no especifica nada más.

En este mismo sentido, grupos como *Earth Building Association of Australia* han conseguido que se hagan excepciones a las exigencias térmicas de la normativa australiana (BCA) para construcciones con tierra, teniendo en cuenta otras propiedades del material, como la inercia térmica [4].

De acuerdo con el Código Técnico, en su Documento de apoyo [16] se calcularía la transmitancia térmica (U), no debiendo ser superior a 0.75, para un clima como Granada con gran amplitud térmica.

En el caso del modelo planteado (10 cm de tierra proyectada sobre bloque de termoarcilla de 19 cm de espesor) se obtiene un valor de $U= 1.008$ w/m² K. Para cumplir con el valor exigido por el CTE, manteniendo el espesor de 10 cm de tierra, debería proyectarse sobre bloques de 0.29 cm de espesor.

La experiencia de los autores en tierra proyectada, llevó a demostrar la eficiencia térmica de los muros de este material con espesores de tan solo 40 cm.

4. CONCLUSIONES

Los registros realizados en artículos muestran valores muy dispersos de conductividad térmica para el mismo sistema constructivo, lo que dificulta establecer comparaciones teóricas de diferentes materiales de tierra compactada y de arcilla cocida.

Hemos de destacar, que a diferencia de lo que ocurre con otros sistemas constructivos, aquí la puesta en obra no precisa, una vez adecuada la tierra para la proyección, mano de obra especializada.

Aunque las prestaciones acústicas y térmicas de la tierra en la realización de muros de tapial y/o adobe están sancionados por la práctica, el uso de tierra proyectada es una técnica novedosa de puesta en obra que no solo facilita su aplicación sino que también debe mejorar notablemente su capacidad de aislamiento con espesores más reducidos que los adoptados hasta ahora en construcciones de tapial. A ello hay que añadir su naturaleza verdaderamente sostenible, incluyendo en este término lo eficiente energéticamente. Todo ello, sin duda, ha potenciado la puesta en valor de la tierra como material de construcción.

La tierra proyectada constituye, por ella misma, un material muy idóneo térmicamente para construcciones monolíticas no armadas, basado no sólo en su conductividad y/o resistencia térmica, sino en otros parámetros, como la inercia térmica: con un espesor de tan solo 40 cm su retardo y amortiguamiento térmico consiguen temperaturas adecuadas para lograr un gran confort de habitabilidad o para otros fines, como por ejemplo, puede ser una bodega en la que es fundamental mantener una temperatura interior.

Cuando se utiliza la tierra proyectada como revestimiento, esta ofrece similares características que otros materiales de tierra utilizados como cerramiento, ofreciendo mayor versatilidad al disponerlo sobre cualquier soporte.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Fuentes-García, R., Valverde-Palacios, I., Valverde-Espinosa, I. (2015) Adecuación de la Tierra para ser puesta en obra mediante proyección. A New Procedure to adapt any type of soil for the consolidation and construction of earthen structures: Projected Earth System. *Materiales de Construcción*, 65 (319), 1-10. doi:10.3989/mc.2015.06614
- [2] Australia Building Codes Board, BCA 2007, (2007) – Building Code of Australia, Class 1 and Class 10 Buildings, Housing Provisions”.
- [3] AENOR (2013). UNE 41410. Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.
- [4] González, B. (2013). Informe de las propiedades térmicas y mecánicas del sistema modular S-Low de construcción con estructura de madera y envolvente de tapia. TFG, UPC, Barcelona, España.
- [5] Heathcote, K. (2011). The thermal performance of earth buildings. *Informes de la Construcción* 63 (523), 117-126. doi: 10.3989/ic.10.024.
- [6] Pastormerlo, J. & Souza, E. (2013) Instituto del Cemento Portland Argentino. Departamento de Tecnología del Hormigón División Vivienda. Accedido el 20 de Noviembre de 2015 desde <http://www.icpa.org.ar/publico/Plataforma%20Hormigon/masa%20termica.pdf>
- [7] Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra* (2ª ed.). Kassel, Alemania: Fin de Siglo.
- [8] Ministerio de Fomento (2013). DB HE: Ahorro de energía. Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006. Madrid: Centro de publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Fomento.
- [9] AENOR (2013). UNE-EN 1745. Fábrica de albañilería y componentes para fábrica. Métodos para determinar las propiedades térmicas
- [10] Bestraten, S., Hormías, E. & Altemir, A.K. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de la Construcción* Vol. 63, 523, 5-20, doi: 10.3989/ic.10.046.

- [11] Taylor, P., Fuller, R.J. & Luther, M.B. (2008). Energy use and thermal comfort in a rammed earth office building. *Energy and Buildings*, 40, 793-800. doi:10.1016/j.enbuild.2007.05.013
- [12] Probicosl es un estudio de bio-arquitectura. Accedido el 19 de octubre, 2015, desde <http://www.probicosl.com>
- [13] Sol-arq es un portal que ofrece servicios y productos orientados al desarrollo de la arquitectura sustentable. Accedido 20 de octubre, 2015, desde <http://www.sol-arq.com>
- [14] CTE Web, es una página que está promovida por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja y el ICCL, Instituto de la Construcción de Castilla y León. Accedido el 30 de octubre, 2015, desde <http://cte-web.iccl.es>
- [15] Isidro, F. (2002). *Manual para el uso de Termoarcilla*. Madrid, Consorcio Termoarcilla.
- [16] Ministerio de Fomento (2015). Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía Código Técnico de la Edificación. DA DB-HE/1.Cálculo de parámetros característicos de la envolvente. Madrid: Centro de publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Fomento.