

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LA TIERRA ALIVIANADA CON FIBRAS NATURALES EN PANELES DE QUINCHA

Martin Wieser¹; Silvia Onnis²; Giuseppina Meli³;

Departamento de Arquitectura - Pontificia Universidad Católica del Perú PUCP

¹mwieser@pucp.pe; ²sonnis@pucp.pe; ³gmeli@pucp.pe;

Palabras clave: transmitancia térmica, aislamiento térmico, fibra natural.

Resumen

Existe en la actualidad la necesidad de investigar más sobre las posibilidades que ofrecen los materiales naturales, tanto por el menor impacto que generan en el medio ambiente, como por las ventajas económicas y energéticas que brindan. En la medida que las normativas actuales exigen valores mínimos de aislamiento térmico de la envolvente de un edificio, está demostrado que un alto contenido de fibras naturales en los elementos de tierra mejoran significativamente dichas prestaciones. El objetivo del presente estudio es la identificación del desempeño térmico de la tierra alivianada frente al paso del calor, para obtener alternativas de recubrimientos que permitan mejorar las prestaciones de una pared de quincha, valorarla frente a otras soluciones convencionales y validarla en relación a las exigencias normativas contemporáneas. Para este fin se prepararon diversas probetas con diferentes dosificaciones de tierra y fibras naturales y se midió en el laboratorio la conductividad térmica de las mismas. Dichas mezclas, además de otros elementos aislantes, se incorporaron en paneles tradicionales de quincha con el fin de mejorar su desempeño térmico. Se calculó la transmitancia térmica de cada una de las propuestas y se compararon con muros contruidos con sistemas tradicionales y contemporáneos. Los resultados se valoraron finalmente frente a las normativas térmicas regionales vigentes, demostrando que las propuestas logran cumplir con dichas exigencias. Considerando exclusivamente el aspecto del aislamiento térmico, se evidencian sus ventajas frente a las soluciones tradicionales y contemporáneas de uso más frecuente.

1. INTRODUCCIÓN

La quincha es un sistema constructivo mixto, en base a cañas y tierra, utilizado desde la época prehispánica, cuya variante contemporánea está compuesta por una estructura de madera y paneles de cerramiento (madera, caña y tierra), que permite realizar edificaciones ligeras y con un buen comportamiento frente a eventos sísmicos. En la actualidad, y a pesar de que su uso es cada vez más limitado, la quincha es vista con mucho interés por arquitectos y constructores en la medida de las evidentes ventajas ecológicas, económicas y constructivas que posee. Dicho interés se ha visto reflejado en las publicaciones que se han divulgado, desde la década de los 1970 hasta la actualidad, haciendo énfasis tanto en su capacidad de reducir los costos de construcción, como en su buen desempeño antisísmico. Las investigaciones se han referido exclusivamente a los aspectos constructivos, estructurales y sismo-resistentes, evidenciándose la falta de estudios desde el punto de vista térmico.

Es conocido igualmente que el uso de la quincha se ha limitado a las zonas costeras cercanas al litoral y a ciertas zonas de la selva alta tropical. Esto se explica en la medida de su limitada capacidad de aislamiento térmico y su relativa baja inercia, asociada a su vez a su reducido espesor. Estas características no le permiten hacer frente a climas más rigurosos y en los que existe una mayor oscilación térmica diaria, como son los climas desérticos y altoandinos.

El presente estudio, que forma parte de los resultados del Proyecto "Mejora del desempeño térmico y acústico de la quincha", busca dar un impulso al sistema constructivo y ampliar eventualmente su área de influencia en el territorio peruano, mejorando sus prestaciones térmicas y contrarrestando las limitaciones previamente señaladas.



Figura 1. Quincha prehispánica en Caral (crédito: J. Vargas, 2009), quincha virreinal en casona limeña y quincha contemporánea (acervo Centro Tierra-PUCP, 2014).

Las cualidades térmicas de un componente como un muro, un techo o cualquier otro cerramiento se valoran principalmente a partir de su nivel de aislamiento y de la inercia térmica que poseen. La primera de ellas nos indica la capacidad del componente de oponerse al paso del calor, mientras que la segunda, asociada a la masa, al calor específico y a la propia conductividad térmica, se relaciona con su capacidad de acumular y retrasar el paso del calor, amortiguando las condiciones térmicas interiores.

Es importante mencionar que las normativas, tanto de los países latinoamericanos que cuentan con ellas, como de los países más desarrollados, establecen límites de aislamiento de la envolvente a partir de valores máximos de transmitancia térmica, asignándole un mayor valor al aislamiento frente a la inercia térmica de los componentes. Si bien la inercia térmica es de mucha utilidad en edificios sin sistemas de acondicionamiento artificial y en climas de alta oscilación térmica, el sentido de normar el nivel de aislamiento parte de la premisa del ahorro de energía frente al eventual uso de sistemas de calefacción y aire acondicionado. Aun reconociendo las limitaciones de las normas en ese sentido, el valor de transmitancia térmica será el referente para valorar las propuestas presentadas.

2. OBJETIVOS

El objetivo del presente estudio es el de identificar la transmitancia térmica, tanto de un panel de quincha típico, como de algunas variantes que pretenden mejorar su desempeño térmico, valorando los resultados frente a otras soluciones tradicionales y contemporáneas y frente a las exigencias normativas térmicas actuales. Para lograr dicho objetivo fue necesario identificar previamente los valores de conductividad térmica de la tierra alivianada a base de distintas fibras naturales.

4. METODOLOGÍA

En un inicio se investigaron los materiales a base de tierra y fibras naturales, tomando como punto de partida las experiencias previas de Rodríguez-Larraín, Onnis y Vargas (2017) y en función a lo que sugieren diversos estudios al respecto, como aquellos presentados por Volhard (2015) y Minke (2012), entre otros.

Para acotar el estudio del material al contexto nacional, se estudiaron las fibras disponibles en el medio y se escogieron finalmente aquellas que reúnen las características de bajo costo, disponibilidad, abundancia y ligereza. Se escogieron la paja de gramíneas (presente en todo el territorio nacional), la cascarilla de arroz (abundante en la costa Norte del Perú) y

la viruta de madera (disponible en zonas urbanas). Se elaboraron varias mezclas con cada una de estas fibras, variando las proporciones, la viscosidad de la barbotina, el tamaño de la fibra y el grado de compactación. Una vez secas, se eligieron aquellas mezclas que permitieron obtener un material fácil de trabajar y ligero, con una densidad en estado seco de alrededor de 600 kg/m^3 a 800 kg/m^3 .

Finalmente, con las mezclas elegidas se elaboraron un total de cinco probetas de tierra alivianada (con diferentes dosificaciones de tierra y fibras naturales) más dos de mezcla típica (con y sin cañas) y se midieron en el laboratorio la conductividad térmica (λ) de las mismas (tabla 1). Las mediciones se realizaron con un equipo Netzsch, modelo HFM 436 Lambda, con certificado de calibración NIST SRM 1450D y cumpliendo las normas ASTM C518 (2017), ISO 8301 (1991), JIS_A1412 (1999) y DIN EN 12667 (2001).

Se realizaron un total de doce ensayos por probeta, bajo tres diferentes valores de variación de temperatura ($\Delta T = 5^\circ\text{C}$, 10°C y 15°C) por cada valor de temperatura media ($T_M = 10^\circ\text{C}$, 15°C , 20°C y 30°C). Se obtuvo finalmente el valor de conductividad térmica en base al promedio de los doce resultados, con un margen de error de aproximadamente 5%.

Es preciso mencionar que, para una correcta medición, fue necesario que las probetas tuvieran las superficies lisas, por lo que se tuvo que agregar a las versiones de barro alivianado (probetas 1, 2, 3, 4 y 7) una fina capa de tierra y arena de 2 mm en ambas caras, elevando levemente el peso y la densidad final de las mismas e influyendo ligeramente sobre los resultados de conductividad. Los enlucidos de tierra y arena aumentaron, en promedio, 700 g de peso en cada una de las probetas.

La tabla 1 muestra las características, medidas, peso y densidad de las siete probetas estudiadas, con los valores originales, sin considerar los enlucidos añadidos.

Tabla 1. Características de las probetas

Probeta (Número/Código)	Características		Medidas (cm)			Peso (kg)	Densidad (kg/m^3)
			Largo	Ancho	Altura		
1 / P0522/00_I	Tierra alivianada con paja, no compactada		30,00	30,00	9,00	5,80	715
2 / P0714/01_I	Tierra alivianada con paja, no compactada		30,20	29,73	8,31	4,59	616
3 / P0715/01_II	Tierra alivianada con paja, compactada		30,73	31,05	6,26	4,31	721
4 / AP0715/02_I	Tierra alivianada con cáscara de arroz		30,06	30,15	4,34	4,29	1089
5 / MT1009/01	Mezcla típica		30,64	28,72	8,75	13,27	1723

6 / Q1011/01	Mezcla típica con cañas		31,04	29,84	9,61	12,06	1355
7 / VP 1106/01	Tierra alivianada con viruta, no compactada		30,02	30,23	4,44	3,370	836

Una vez identificada la conductividad térmica (valor-k, W/(m×K)) de dichos elementos, que sirvieron a su vez para el diseño de los cuatro paneles experimentales, y conociendo los valores de otros materiales convencionales, se procedió a calcular los valores de transmitancia térmica (valor-U, W/(m²×K)) de diferentes tipos de muro, tanto de la quincha tradicional y de las eventuales mejoras, así como de otras soluciones tradicionales y contemporáneas.

Para la realización de los cálculos requeridos se utilizaron las fórmulas básicas presentadas por la CIBSE (2017), en las que se deduce la resistencia térmica (valor-R, m²×K/W) de la capa del material al paso del calor, dividiendo el espesor entre la conductividad térmica del mismo (ecuación 1). Finalmente, se identificó el valor de transmitancia térmica del componente, a partir del valor inverso de la suma de las resistencias térmicas de cada una de sus capas, además de las resistencias a la convección, tanto interior como exterior (ecuación 2).

$$\text{Valor} - R = \frac{e}{\text{Valor} - k} \quad (1)$$

$$\text{Valor} - U = \frac{1}{R_{ci} + R_1 + R_2 + \dots + R_{ce}} \quad (2)$$

Dónde: Valor-R: resistencia térmica (m²×K/W)

Valor-K: conductividad térmica (W/(m×K))

Valor-U: transmitancia térmica (W/(m²×K))

e: espesor (m)

Cabe mencionar que, siguiendo el procedimiento indicado, y gracias a los valores obtenidos por la quinta y sexta probeta (mezcla típica y mezcla típica con cañas) fue posible deducir el valor de conductividad de la caña ($\lambda=0,099$ W/(m×K)); dicho elemento no es posible medirlo directamente debido a la forma particular que tiene, al no presentar una superficie lisa y continua. Siguiendo los mismos principios, fue posible identificar el valor final de la conductividad de las probetas que requirieron los enlucidos de tierra y arena, después de restar la resistencia térmica de dichas capas adicionales.

Con respecto al estudio de los paneles de quincha, se partió por identificar el valor de transmitancia de un panel típico de quincha mejorada. Se plantearon luego cuatro propuestas de mejora de desempeño térmico de dicho panel, considerando la incorporación de los materiales aislantes estudiados en la primera fase, en base a dos estrategias: (1) la incorporación de un recubrimiento más liviano y de mayor espesor a base de tierra y fibras, paneles A y B y (2) la adición de una capa de material aislante, paneles C y D.

Las cuatro propuestas buscan explorar las posibilidades constructivas de la quincha tomando en cuenta varios escenarios: la utilización de una mezcla alivianada en lugar de una mezcla típica en una estructura nueva (panel A); el uso de elementos aislantes naturales prefabricados (panel B); la incorporación de elementos de fibras naturales, actualmente utilizados como colchón y que han demostrado su eficacia en otras investigaciones (Jiménez; Wieser; Biondi, 2017) y (Ninaquispe; Weeks; Huelman, 2012) (panel C) y la incorporación de materiales industriales (panel D).

Las mezclas utilizadas finalmente en los paneles A, B y C fueron elegidas en base a los

resultados de conductividad térmica obtenidos en el laboratorio, a su facilidad de trabajo y a la densidad que presentaron las probetas. En el panel A se utilizó la mezcla de la probeta 2, tierra alivianada con paja de gramíneas no compactada, que fue colocada en estado húmedo y utilizando un encofrado perdido para aumentar el espesor del panel. En el panel B se utilizaron elementos prefabricados colocados en seco y elaborados con la mezcla de la probeta 3, tierra alivianada con paja de gramíneas compactada. En el panel C, donde se le añadió al panel típico una capa de material aislante de origen natural (totora) se ha utilizado la mezcla elaborada para la probeta 7, tierra alivianada con viruta. Por último, en el panel D se añade al panel típico una plancha de material aislante industrial de origen sintético (Tecnomix, con poliestireno expandido) fácilmente adquirible en el mercado, a fin de evaluar la compatibilidad entre materiales naturales y artificiales (tabla 2).

Los cuatro paneles experimentales fueron construidos en el campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú, con el fin de realizar un monitoreo y validarlos desde el punto de vista constructivo. Previamente se construyó un panel típico de quincha mejorada que sirvió como base para estudiar las posibilidades de las diferentes soluciones constructivas a considerarse en los paneles experimentales.

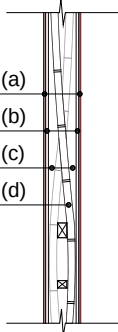
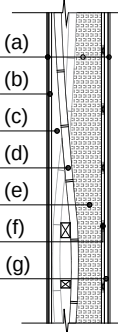
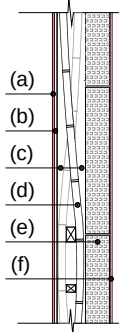
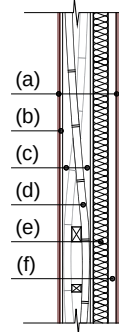
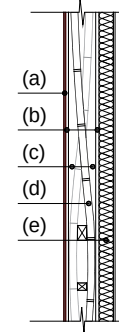


Figura 2. Vista del módulo con los cuatro paneles de quincha conteniendo las propuestas de mejora de desempeño térmico

Los detalles específicos del panel de quincha típico, así como de las cuatro propuestas de mejora del panel de quincha prefabricada, se presentan en la tabla 2.

Obtenidos los valores de transmitancia de las diferentes propuestas de mejora de la quincha, se presentan dichos resultados, comparándolos con los de la quincha tradicional, con los de otras soluciones típicas y con ciertas normativas nacionales que obligan a niveles mínimos de aislamiento para promover la eficiencia energética de los edificios.

Tabla 2. Características de paneles de quincha

Panel	Quincha típica	Panel A	Panel B	Panel C	Panel D
Características	Panel típico de quincha	Capa adicional de tierra alivianada con encofrado perdido	Capa adicional de elementos prefabricados de tierra alivianada	Capa adicional de aislante natural (totora)	Capa adicional de aislante artificial (EPS)
Composición	 (a) Enlucido de tierra y arena fina, 0,5 cm (b) Tarrajeo de tierra, fibra y arena, 0,8 cm (c) Mezcla típica de Probeta 4, 2,75 cm (d) Cañas de 2 cm de diámetro (c), (b) y (a)	 (a) Enlucido de tierra y arena fina, 0,5 cm (b) Tarrajeo de tierra alivianada con cáscara de arroz de Probeta 3, 0,8 cm (c) Igual a capa (b), 2,75 cm (d) Cañas de 2 cm de diámetro (c), (b) y (a) (e) Tierra alivianada con paja de Probeta 1, 8,8 cm (f) Estructura adicional de madera (plicas) (g) Igual a capa (b), 1,2 cm (a)	 (a) Enlucido de tierra y arena fina, 0,5 cm (b) Tarrajeo de tierra, fibra y arena, 0,8 cm (c) Mezcla típica de Probeta 4, 2,75 cm (d) Cañas de 2 cm de diámetro (c) (e) Elemento prefabricado de tierra alivianada con paja de Probeta 2, 6 cm (f) Enlucido de yeso, 0,5 cm	 (a) Enlucido de tierra y arena fina, 0,5 cm (b) Tarrajeo de tierra, fibra y arena, 0,8 cm (c) Mezcla típica de Probeta 4, 2,75 cm (d) Cañas de 2 cm de diámetro (c) (e) Colchón de fibras de totora (Q'esana), 4 cm (f) Tierra alivianada con viruta de Probeta 6, 2 cm (a)	 (a) Enlucido de yeso, 0,5 cm (b) Tarrajeo de tierra, fibra y arena, 0,8 cm (c) Mezcla típica de Probeta 4, 2,75 cm (d) Cañas de 2 cm de diámetro (c), (b) (e) Plancha de Tecnomix: panel compuesto por dos capas de fibrocemento y 2" de EPS (Poliestireno expandido)
Espesor (cm)	10,1	16,55	15,30	15,30	14,10
Densidad (kg/m ³)	1421,12	768,19	1111,29	977,53	1026,44
Peso/área (kg/m ²)	143,53	127,14	170,03	149,56	144,73

5. RESULTADOS

Se presentan en primer lugar los resultados de las mediciones de conductividad térmica obtenidos en el laboratorio, de las probetas enumeradas según lo presentado en la tabla 1.

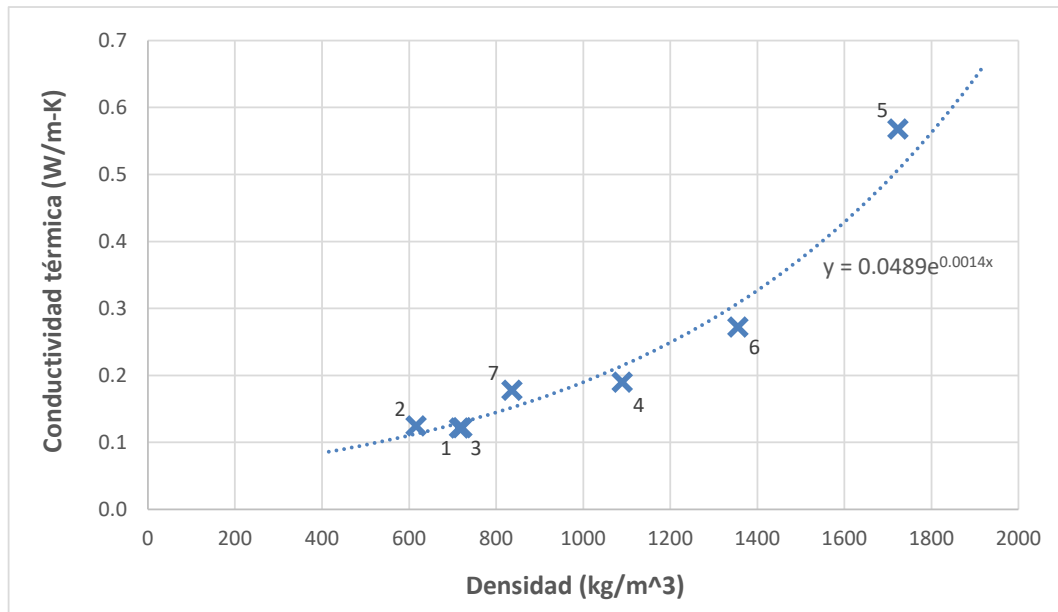


Figura 3. Conductividad térmica de las probetas y su relación con la densidad de las mismas.

Se evidencia y confirma la relación directa del valor de la conductividad térmica de la probeta frente a la densidad de la misma. La presencia de una mayor cantidad de material poroso añade espacios de aire estanco en los elementos, reduciendo significativamente su masa, a la vez de su conductividad.

Resulta bastante llamativa la baja conductividad térmica que se obtienen para las mezclas menos densas de tierra, con un alto contenido de paja (probeta 1, $\lambda=0,121$ W/(m×K); probeta 2, $\lambda=0,124$ W/(m×K); probeta 3, $\lambda=0,122$ W/(m×K)), en comparación con una mezcla típica (probeta 5, $\lambda=0,568$ W/(m×K)), habitualmente utilizada en la fabricación de adobes o similares. Las mezclas de tierra con un alto contenido de cáscara de arroz y viruta (probetas 4 y 7, $\lambda=0,190$ y $0,178$ W/(m×K) respectivamente) muestran igualmente valores de conductividad térmica bastante reducidos. Cabe mencionar que dichos resultados coinciden de manera muy cercana con los valores presentados por Volhard (2016) y con aquellas compiladas por la norma alemana DIN 4108-4 (1998).

Una vez identificados los valores de conductividad térmica, se procede a calcular el valor de la transmitancia térmica de las diferentes soluciones de muro, tanto de la quincha típica, como de las propuestas de mejora y de otros muros de uso común en el medio. Los resultados, con las referencias superpuestas de las normas de algunos países, se presentan en la figura 4.

En relación al panel de quincha tradicional, se puede apreciar que el valor obtenido es similar, tanto en transmitancia ($1,910$ W/(m²×K)) como en peso, a aquellas soluciones contemporáneas más utilizadas en el territorio peruano, como son los muros de ladrillo o de bloqueta de concreto. Es importante destacar igualmente que el valor obtenido de transmitancia térmica de la quincha típica es muy similar a aquel presentado por Cutiño et al. (2015) y sensiblemente más alto que el obtenido por Espinoza (2010), con valores de $1,82$ W/(m²×K) y $1,25$ W/(m²×K) respectivamente.

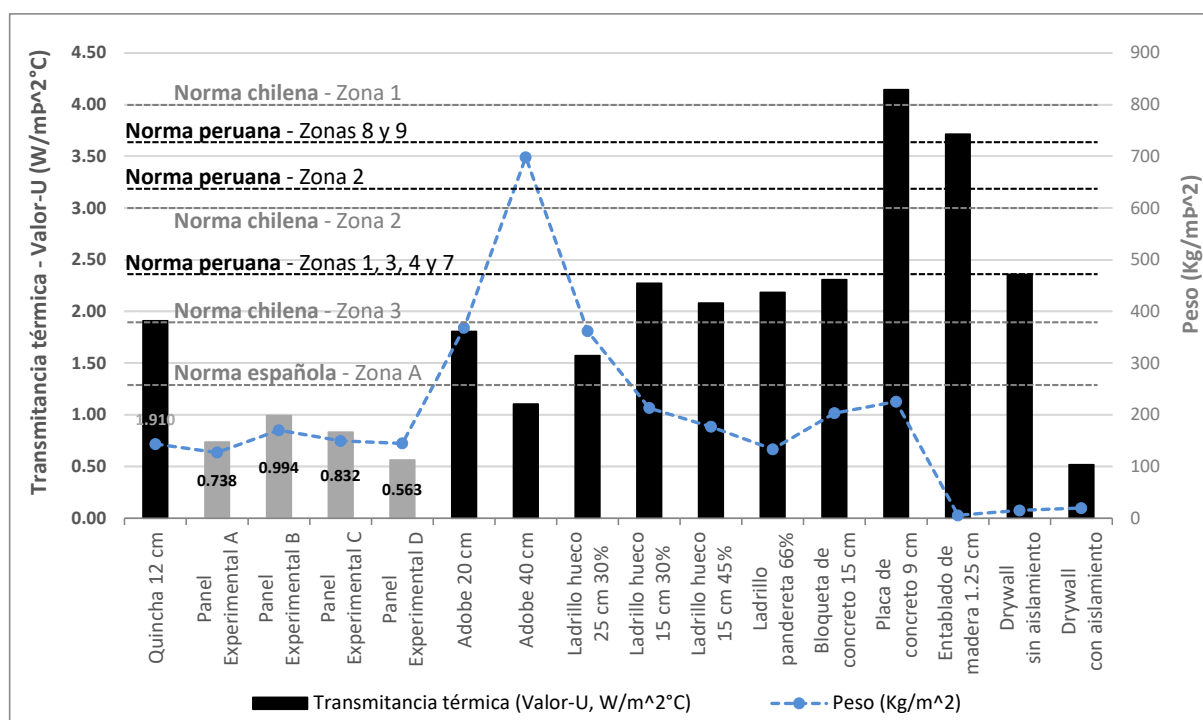


Figura 4. Transmitancia térmica de la quincha típica, de las propuestas de mejora y de otros componentes de muro frente algunas normas locales y regionales. Se superpone el peso de los componentes, que aporta una idea de la inercia térmica de los mismos.

Con respecto a las cuatro propuestas de mejora de la quincha, y siempre en comparación al componente típico, se puede comprobar que todas ellas, al aumentar su espesor con elementos más ligeros y aislantes, mantienen valores muy similares de peso, pero aumentan significativamente su capacidad de aislamiento térmico. Aun cuando resulta evidente que con la incorporación de un aislante artificial se logra la mayor capacidad de aislamiento, llama la atención el buen desempeño que se obtiene con la inclusión de fibras naturales.

Frente a otros sistemas constructivos tradicionales y contemporáneos, mientras que la quincha típica obtiene valores de transmitancia térmica similares, los paneles experimentales propuestos logran, en todos los casos, resultados significativamente superiores, incluso mejores que los de un muro de adobe de 40 cm de espesor. Es importante advertir que los paneles propuestos logran cumplir, para todas las zonas climáticas, con la actual norma nacional EM.110 (2014)¹. Lo hacen de manera holgada en los climas moderados y medianamente extremos (Zonas 1, 2, 3, 4, 7, 8 y 9), e incluso logran superar en todos los casos las exigencias de los climas más extremos, es decir, de las zonas Altoandino y Nevado (Zonas 5 y 6), en las que el valor máximo de transmitancia permitido es de 1,00 W/m²·°C.

En relación a las normas internacionales consideradas, las propuestas de quincha superan las exigencias en todas las zonas climáticas, salvo en las más extremas. Para el caso específico de la norma española de ahorro de energía HE (2009)², los valores máximos de transmitancia térmica permitidos en las cinco zonas oscilan entre 1,22 W/(m²·K) y 0,74 W/(m²·K). En el caso de la reglamentación térmica chilena (2006), los valores para las primeras seis zonas oscilan entre 4,0 W/(m²·K) y 1,1 W/(m²·K), siendo la zona 7 la más exigente con un valor de 0,6 W/(m²·K).

¹ La Norma EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética, forma parte del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú y, aprobada en 2014, es de aplicación optativa. Se encuentra actualmente en revisión para convertirla en obligatoria.

² El Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) es una normativa de construcción española que pertenece al Código Técnico de la Edificación y forma parte de las normativas dedicadas a habitabilidad.

6. CONCLUSIONES

A partir de los resultados expuestos, y ratificando lo obtenido en estudios similares, se puede afirmar que el muro tradicional de quincha posee prestaciones térmicas relativamente limitadas que permiten su utilización únicamente en ciertos ámbitos de climas moderados como la costa litoral peruana o zonas de la selva alta. Se puede afirmar igualmente que el aumento de su espesor en base a mezclas alivianadas de tierra (panel A) o con la incorporación de capas adicionales de materiales, tanto naturales como artificiales (paneles B, C y D), mejoran significativamente dichas prestaciones, aumentando la capacidad de aislamiento, pero manteniendo valores similares de inercia térmica. El resultado con dichas intervenciones presenta un componente bastante equilibrado en sus capacidades de aislar, acumular y retardar el paso del calor.

En todos los casos propuestos, las mejoras permiten cumplir con las normas locales vigentes y evidencian un mejor comportamiento frente a las soluciones que se utilizan con mayor frecuencia en la actualidad. Bajo estas condiciones, es posible concebir la quincha como una solución cuyo ámbito de aplicación se amplíe a otras zonas del territorio nacional.

Un aspecto importante de los resultados de conductividad térmica, es que se demuestra la correlación directa entre dicho valor y la densidad de las mezclas de tierra alivianada. En términos prácticos, y bajo la inminente aplicación de normativas que obligan a demostrar el nivel de aislamiento térmico de la envolvente, la predicción de la conductividad térmica a partir de las dimensiones y peso de una mezcla de tierra será de utilidad para demostrar las prestaciones del material utilizado ante la imposibilidad de evaluar en un laboratorio cada una de las mezclas realizadas y utilizadas en obra. La curva resultante presentada en la figura 3 permite dicha identificación.

Por último, cabe mencionar que las propuestas de paneles experimentales se encuentran actualmente en una etapa de monitoreo para validar su pertinencia constructiva. Los resultados validados, tanto constructiva como térmicamente, permitirán realizar simulaciones térmicas dinámicas para comprobar su pertinencia en condiciones climáticas más rigurosas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM C518 (2017). Standard test method for steady-state thermal transmission properties by means of the hat flow meter apparatus. USA: ASTM International.
- CIBSE (2017). Guide A. Environmental design. Chartered Institution of Building Services Engineers. London: The Lavenham Press Ltd.
- Cuitiño, G.; Esteves, A.; Maldonado, G.; Rotondaro, R. (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. Informes de la construcción, 67(537)
- DIN 4108-4 (1998). Thermal insulation and energy economy in buildings – Part 4: Hygrothermal design values. Deutsches Institut für Normung e. V.
- DIN EN 12667 (2001). Thermal performance of building materials and products – Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods – Products of high and medium thermal resistance. Deutsches Institut für Normung e. V.
- Documento Básico HE Ahorro de energía (2009). Código técnico de la edificación. España: Ministerio de Vivienda
- EM.110 (2014). Confort térmico y lumínico con eficiencia energética. Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Espinoza, L. (2010). Hacia el análisis de la transferencia dinámica de calor en los materiales: drywall, quincha y ladrillo. (Documento de trabajo inédito). Perú: Facultad de Arquitectura Urbanismo y Artes, Universidad Nacional de Ingeniería.
- ISO 8301 (1991). Thermal insulation – Determination of steady-state thermal resistance and related properties – Heat flow meter apparatus. International Organization for Standardization.
- Jiménez, C.; Wieser, M.; Biondi S. (2017). Improving thermal performance of traditional cabins in the high-altitude peruvian andean region. Edinburgh: Passive and Low Energy Architecture, PLEA 2017

JIS A1412 (1999). Test method for thermal resistance and related properties of thermal insulations. Japan: Japanese Standards Association.

Minke, G. (2012). Building with earth: design and technology of a sustainable architecture. Walter de Gruyter.

Ninaquispe-Romero, L.; Weeks, S.; Huelman, P. (2012). Totorá: a sustainable insulation material for the andean parts of Peru. Lima: Passive and Low Energy Architecture, PLEA 2012

Reglamentación térmica (2006). Manual de aplicación. Ordenanza general de urbanismo y construcciones, Artículo 4.1.10. Chile: Ministerio de Vivienda y Urbanismo

Rodríguez-Larraín, S.; Onnis, S.; Vargas, J. (2017). Transferencia tecnológica para la vivienda Alto Andina. En: Terra Lyon 2016. (p. 339 - 344). Villefontaine. Editions Craterre.

Volhard, F. (2016). Light earth building. Basel: Birkhäuser Verlag GmbH.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Gestión de la Investigación (DGI) de la Pontificia Universidad Católica del Perú por el financiamiento que hizo posible el desarrollo de la presente investigación.

AUTORES

Martín Wieser, doctor en energías y medio ambiente en arquitectura, magister en desarrollo internacional, arquitecto; docente e investigador en las facultades de Arquitectura y Urbanismo de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y de la Universidad Ricardo Palma; consultor en temas de climatización e iluminación natural en edificios.

Silvia Onnis, arquitecta, docente e investigadora en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP); miembro fundador del grupo Centro Tierra-PUCP; fundadora de la asociación Manos a la Tierra, (Currículo completo en: <https://www.linkedin.com/in/silvia-onnis-b9745049/>)

Giuseppina Meli, arquitecta, docente y asistente de investigación en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Miembro del grupo Centro Tierra-PUCP; especializada en el Politécnico de Turín en "Hábitat, Tecnologías y Desarrollo".