

ANÁLISIS TÉRMICO DE MUROS DE QUINCHA ALIVIANADA PARA DIFERENTES TEMPERATURAS DE DISEÑO EN ARGENTINA

THERMAL ANALYSIS OF LIGHTWEIGHT WATTLE AND DAUB WALLS FOR DIFFERENT DESIGN TEMPERATURES IN ARGENTINA

ANÁLISE TÉRMICA DE PAREDES DE PAU A PIQUE LEVE PARA DIFERENTES TEMPERATURAS DE PROJETO NA ARGENTINA

Maria Guadalupe Cuitiño-Rosales

Doctora en Ciencias Exactas
Investigador Adjunta del Instituto de Ingeniería y Ciencias Aplicadas a la Industria (ICAI)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo), San Rafael, Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-0021-5648>
gcuitino@mendoza-conicet.gob.ar (Autor de Correspondencia)

Alejandro Domínguez

Diseñador Gráfico
Subgerencia Operativa de Transferencia Tecnológica Gerencia de Desarrollo Tecnológico e Innovación.
Coordinador de la línea de trabajo de Bioarquitectura en el Área Tecnologías Sustentables
Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), San Martín, Argentina
<https://orcid.org/0009-0005-2415-6741>
adominguez@inti.gob.ar

Gabriel Vaccaro

Licenciado en Comunicación
Coordinador de la Mesa estratégica de cannabis medicinal y cáñamo industrial
Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), San Martín, Argentina
<https://orcid.org/0009-0007-6906-7798>
gvaccaro@inti.gob.ar

Victoria Di-Cesare

Diseñadora Industrial
Responsable del área de Diseño Industrial y Sustentable, Subgerencia Regional Cuyo
Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), San Martín, Argentina
<https://orcid.org/0009-0002-3715-6490>
vdicesare@inti.gob.ar



RESUMEN

Se analiza el comportamiento térmico de los muros de quincha liviana en distintas zonas bioclimáticas de Argentina, que surgen como una alternativa sustentable frente a otros materiales de construcción. Se determinaron experimentalmente las conductividades térmicas del relleno de quincha (0.07 W/mK) y del revoque (0.34 W/mK), obteniendo una transmitancia térmica global de 0.79 W/m²K para muros de 15.6 cm de espesor. A partir de mediciones in situ en una vivienda, se demostró la capacidad de los muros de quincha liviana para mantener estabilidad térmica interior, con amplitudes térmicas significativamente menores respecto del exterior. El análisis comparativo con ladrillos macizos y ladrillos huecos concluyó que los muros de quincha requieren menores espesores para alcanzar niveles de aislamiento óptimos, adaptándose a diversas zonas bioclimáticas. Esta técnica constructiva permite la replicabilidad en el contexto argentino, destacándose por su eficiencia térmica, sostenibilidad y confort interior, con oportunidades futuras para explorar su resistencia al fuego.

Palabras clave

quincha, conductividad térmica, confort interior.

ABSTRACT

The thermal performance of lightweight wattle and daub walls is analyzed in different bioclimatic zones of Argentina, presenting them as a sustainable alternative to other construction materials. The thermal conductivities of the wattle and daub (0.07 W/mK) and plaster (0.34 W/mK) infill were experimentally determined, yielding an overall thermal transmittance of 0.79 W/m²K for walls with a thickness of 15.6 cm. In situ measurements conducted in a dwelling demonstrated the ability of lightweight wattle and daub walls to maintain interior thermal stability with significantly lower thermal amplitude than outside. A comparative analysis with solid and hollow bricks concluded that wattle and daub walls require less thickness to achieve optimal insulation levels, making them suitable for different bioclimatic zones. This construction technique is replicable within the Argentinian context, with its thermal efficiency, sustainability, and indoor comfort standing out, with future opportunities to explore its fire resistance.

Keywords

wattle-and-daub, thermal conductivity, indoor comfort.

RESUMO

Analisou-se o desempenho térmico de paredes de pau a pique leve (em espanhol quincha alivianada) em diferentes zonas bioclimáticas da Argentina, que surgem como uma alternativa sustentável a outros materiais de construção. As condutividades térmicas do enchimento de pau a pique (0,07 W/mK) e do reboco (0,34 W/mK) foram determinadas experimentalmente, obtendo-se uma transmitância térmica geral de 0,79 W/m²K para paredes de 15,6 cm de espessura. Com base em medições in situ em uma casa, foi demonstrada a capacidade das paredes de pau a pique leve para manter a estabilidade térmica interna, com amplitudes térmicas significativamente menores em comparação com o exterior. A análise comparativa com tijolos maciços e tijolos ocos concluiu que as paredes de pau a pique exigem menos espessura para atingir níveis ideais de isolamento, adaptando-se a diversas zonas bioclimáticas. Esta técnica de construção permite a replicabilidade no contexto argentino, destacando-se por sua eficiência térmica, sustentabilidade e conforto interior, com oportunidades futuras para explorar sua resistência ao fogo.

Palavras-chave:

pau a pique, condutividade térmica, conforto interno.

INTRODUCCIÓN

La aislación térmica en los muros perimetrales de las viviendas ha tomado relevancia creciente en la construcción sostenible y eficiente desde el punto de vista energético (Zhao et al., 2022; Sánchez Azócar, 2011). Dado que el territorio argentino abarca regiones con climas tan diversos como los fríos de la Patagonia y los calurosos de la región Chaqueña (Matteucci, 2012; IRAM 11603, 2012), la implementación de soluciones de aislación térmica se vuelve fundamental para el confort de los ocupantes y la eficiencia energética¹ de las construcciones. La capacidad aislante de los cerramientos opacos influye directamente en el confort térmico interior² de las viviendas, al retener el calor en invierno y mantenerse frescas en verano. Este comportamiento impacta en el consumo de energía para calefacción y refrigeración, los costos operativos, y la huella de carbono de las construcciones (Muñoz et al., 2012). Por ello, analizar la conductividad térmica³ (λ) de los materiales resulta esencial para reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia energética de los edificios (Castillo et al., 2019). El coeficiente de transmisión térmica (K), es una medida de la capacidad de un material o de una estructura para transferir calor (García León, Flórez-Solano, y Espinel Blanco, 2017). En el contexto de los muros, esta propiedad es crucial porque determina cuánto calor se pierde o se gana, a través de los cerramientos. Un valor bajo de K indica que el muro es un buen aislante y tiene un menor flujo de calor.

Numerosos estudios han investigado diversas estrategias para mejorar la eficiencia energética de los edificios, Rey y Velasco (2006) en su trabajo proponen estrategias prácticas para mejorar este comportamiento mediante auditorías detalladas y certificaciones normativas, en que destacan la importancia del análisis de consumo, la optimización de sistemas, de materiales, y la implementación de tecnologías sostenibles, que fomentan edificios más eficientes y ambientalmente responsables (Rey Martínez y Velasco Gómez, 2006). Asdrubali et al. (2015), examina los materiales no convencionales que promueven la eficiencia energética en edificios, que subrayan su importancia para zonas climáticamente diversas (Asdrubali et al., 2015). Zhao et al. (2022) en su trabajo, propone el uso de fibras naturales como alternativas

viabiles a los plásticos en sistemas de aislamiento (Zhao et al., 2022). Mientras que Lakatos (2022) resalta el potencial de los materiales como aerogeles y paneles de vacío por su alto rendimiento térmico. Zhovkva (2020), expone la experiencia internacional en el diseño de complejos multifuncionales sostenibles, que destacan los principios fundamentales del diseño orientados a lograr eficiencia energética y respeto al medio ambiente (Zhovkva; 2020). Estos trabajos muestran la importancia de abordar de manera integral los distintos tipos de materiales disponibles en el mercado, que muestran la importancia de realizar investigaciones integrales que comparen la conductividad térmica de una amplia gama de materiales de construcción y su impacto combinado en el confort y el consumo energético.

Una vivienda bien aislada minimiza el flujo de calor entre el interior y el exterior (Vanhoutteghem y Svendsen, 2014), lo que significa que el gasto energético está significativamente influenciado por la capacidad aislante de los materiales utilizados en la construcción. En climas fríos, un buen comportamiento de los cerramientos reduce la necesidad de calefacción, mientras que, en climas cálidos, disminuye la necesidad de refrigeración, esto se traduce en una reducción en la demanda de recursos. Buratti et al. (2021) destaca la relevancia de integrar soluciones sostenibles en contextos climáticos extremos.

Un ambiente interior con buena regulación térmica contribuye al bienestar físico y psicológico de los habitantes (González Couret, y Véliz Párraga, 2016). Las fluctuaciones térmicas pueden causar estrés y problemas de salud, en particular, una vivienda bien aislada ayuda a proteger a los residentes de las temperaturas extremas, lo que es crucial para los grupos vulnerables como niños, ancianos y personas con condiciones de salud preexistentes. Un estudio en Nueva Zelanda, (Howden-Chapman et al., 2007). mostró que mejorar el acondicionamiento adentro de las viviendas, redujo los problemas respiratorios y las hospitalizaciones, especialmente en personas con condiciones preexistentes como asma o infecciones respiratorias recurrentes. Las viviendas aisladas también mostraron una mejora en la percepción de bienestar general de los residentes). Investigaciones en Corea del Sur (Ham,

1 Eficiencia Energética: es la capacidad de un sistema, material o construcción para minimizar las pérdidas de calor y optimizar el uso de energía. Se relaciona con el aislamiento térmico, transmitancia térmica y diseño eficiente, que reduce el consumo energético necesario para calefacción o refrigeración, y promoviendo confort térmico y sostenibilidad ambiental. (Kreith y Goswami, 2007).

2 Confort Térmico Interior: es la percepción de bienestar térmico en un espacio cerrado, donde las personas no sienten ni frío ni calor excesivos. Una vivienda mal aislada puede presentar temperaturas interiores extremas, tanto frías en invierno como calurosas en verano. Depende de factores como temperatura del aire, humedad, velocidad del viento, radiación térmica, actividad física y ropa, son cruciales para la salud, productividad y bienestar. (Forgiarini Rupp, Giraldo Vásquez y Lamberts, 2015)

3 Conductividad térmica: es una propiedad física, intrínseca de los materiales, que mide la capacidad de conducción de calor. (IRAM 11601, 2002)

Lee y Kim, 2024) destacaron que los estándares de aislamiento en edificios afectan significativamente las temperaturas interiores y los riesgos de enfermedades relacionadas con el calor, las viviendas con aislamiento deficiente tienen más probabilidades de superar los umbrales críticos de temperatura, especialmente en zonas rurales y edificios antiguos sin controles de mantenimiento. La Organización Mundial de la Salud, OMS, (World Health Organization [WHO], 2018) subraya que un buen aislamiento térmico no sólo mejora el confort interior, sino que también reduce enfermedades respiratorias y cardiovasculares asociadas con temperaturas extremas.

La investigación y desarrollo en el campo de los materiales de construcción avanza constantemente, con el objetivo de encontrar soluciones que sean más duraderas y sostenibles. Los materiales naturales están siendo redescubiertos y adaptados con nuevas técnicas de procesamiento para mejorar sus propiedades aislantes sin comprometer su sostenibilidad.

En Argentina actualmente hay 60 Ordenanzas municipales que permiten la construcción con tierra en diversas técnicas (Red Protierra Argentina, 2024), una de las más utilizadas en cerramientos es la quincha⁴ en sus diversas variantes: muros de quincha prefabricada con relleno de una mezcla de barro arcilloso de consistencia plástica y fibras vegetales de una densidad mayor a la quincha liviana húmeda⁵ (Cuitiño Rosales, Maldonado y Esteves Miramont, 2014), muros de quincha liviana húmeda, donde el relleno es de fibras vegetales sumergidas en una lechada de tierra arcillosa, comúnmente llamada barbotina (Acevedo Oliva et al., 2017). La propuesta de estudiar la técnica quincha liviana se originó en el marco del Ciclo participativo de hábitat sustentable del Alto Valle, en el norte de la región patagónica de Argentina. Se firmó un convenio de colaboración y vinculación interinstitucional entre siete entidades: Municipalidad de Allen (Río Negro), Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Río Negro, Colegio de Arquitectos de la provincia de Neuquén y el Colegio de Arquitectos de Río Negro.

El empleo de materiales naturales para la construcción de muros tiene diferentes ventajas, entre las principales

se encuentra el desempeño térmico. A partir de ensayos normalizados se determinó la conductividad térmica de probetas a escala, construidas con la técnica quincha liviana, siendo de gran relevancia este dato para poder realizar estudios de construcciones con esta técnica, al igual que se habilita la opción de poder comparar térmicamente a los cerramientos de quincha liviana con otros materiales industrializados que se utilizan comúnmente en la construcción tradicional.

OBJETIVO

El trabajo evalúa el desempeño térmico de los muros de quincha liviana como alternativa sustentable en la construcción de viviendas, analizar su capacidad de aislamiento térmico y comparar con materiales como ladrillos macizos y ladrillos cerámicos huecos. Determinar las propiedades térmicas del relleno y del revoque, a través de ensayos normalizados y mediciones in situ en una vivienda. Se definen los espesores de muros de quincha liviana necesarios para cumplir con los valores normativos de transmitancia térmica⁶ en diversas zonas bioclimáticas de Argentina con el propósito de validar su viabilidad.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en este trabajo se centra en la caracterización térmica de los componentes del muro de quincha liviana y su análisis comparativo frente a materiales convencionales. En primer lugar, se realizaron ensayos normalizados con método de placa caliente para determinar las conductividades térmicas del relleno y del revoque. Las probetas se fabricaron con mezclas de suelo arcilloso, fibras vegetales y agua, siguiendo procesos de secado y acondicionamiento higrotérmico controlados. Posteriormente, se evaluó la transmitancia térmica global del muro de manera teórica, de acuerdo con normativas nacionales. Asimismo, se analizó una vivienda construida con esta técnica en la ciudad de Belén de Escobar, situada a 50 Km al norte de la Capital Federal, ciudad de Buenos Aires, Argentina, se registraron mediciones higrotérmicas en el propio lugar. Finalmente, se establecieron los espesores de muros, necesarios para cumplir con las Normas IRAM en diferentes zonas bioclimáticas, que validen la eficiencia térmica del sistema.

4 Quincha: Sistema constructivo en el que los muros están conformados por una estructura de madera, que, a su vez, contiene un tejido de caña o carrizo, y el que es finalmente recubierto con barro (Cuitiño et al., 2015).

5 Quincha Liviana húmeda: Es aquella quincha que posee de relleno fibras vegetales sumergidas en una lechada de tierra arcillosa (barbotina), también conocida como tierra alivianada con paja o barro-paja liviano. (Acevedo Oliva et al., 2017)

6 Transmitancia térmica: flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Se expresa en $W / (m^2 \times K)$. Es la relación de la conductividad térmica de todos los materiales que componen el sistema y sus espesores. (Acevedo Oliva et al., 2017)



Figura 1: Probeta para ensayo térmico: a) Relleno liviano, b) Revoque de tierra. Fuente: Elaboración de los autores

Tabla 1. Acondicionamiento térmico de las probetas a ensayar. Fuente: Elaboración de los autores.

Denominación	Tiempo de secado [Hs]	Masa de la probeta [Kg]			Cambio relativo de la masa de la probeta [%]		
		M1	M2	M3	mr	mc	md
Probeta 1 relleno liviano	216	9.20	7.25	7.31	26.90	25.85	0.83
Probeta 2 relleno liviano		9.00	7.11	7.13	26.58	26.23	0.28
Probeta 1 revoque	288	43.00	41.89	41.95	2.65	2.50	0.14
Probeta 2 revoque		41.92	41.15	41.20	1.87	1.75	0.12

ANÁLISIS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.

Para obtener en forma experimental los valores de conductividad térmica del relleno de paja de baja densidad y del revoque de tierra más pesado y de mayor densidad, se realizaron ensayos normalizados en INTI (ISO 8302, 1991); American society for testing and materials [ASTM] C177 (2013); IRAM 11559 (1995). Para su realización se construyeron dos probetas de relleno liviano y dos probetas de revoque, todas de dimensiones 60 cm x 60 cm x 8 cm de espesor.

Ambas mezclas se prepararon con un suelo previamente caracterizado en laboratorio, donde se obtuvo que la composición es: arena 17%, limo 40% y arcilla 43%, lo que se clasificó como suelo arcilloso-limoso. Para la elaboración de las probetas de relleno se mezcló el 50% de suelo arcilloso caracterizado con 50% de agua, se dejó hidratar durante tres días, luego se batió con un mezclador eléctrico hasta disolver los grumos presentes. A este suelo en estado líquido se lo denomina barbotina. Luego se mezclaron 72 litros de barbotina con un fardo de 13.16 kg de fibras de rastrojo de trigo, *Triticum aestivum*, hasta lograr que todas las fibras estén humedecidas y cubiertas con la barbotina, pero al apretarlas no debe escurrir líquido y no puede contener terrones de barro. Con esta mezcla se rellenaron dos moldes de madera haciendo un poco de presión para que se mantenga compacta. Una vez secas las probetas se retiró el molde de madera, Figura 1a.

La segunda parte del sistema constructivo es el revoque de tierra, es decir, la mezcla encargada de cubrir el relleno liviano

de paja de trigo como la estructura de madera, en ambas caras del muro. Las proporciones del revoque consisten en: una parte de suelo, una parte de agua, dos partes de rastrojo de trigo cortado (máximo 5cm de longitud) y dos partes de arena, con esta mezcla de barro se llenó el molde hasta los 7.5 cm, luego se completaron los 8 cm de espesor con una terminación de revoque fino para lograr que las superficies sean planas y paralelas en ambas caras de la probeta, para que las placas de ensayo se puedan apoyar en forma correcta en toda la superficie. Para la terminación del fino se utilizó una parte de suelo tamizado por una malla de 1mm x 1mm, dos partes de arena tamizada y una parte de agua, Figura 1b.

Las cuatro probetas se dejaron secar a la intemperie durante 20 días y luego se trasladaron al laboratorio para la realización del ensayo. Se dispusieron en un ambiente de temperatura y humedad controlada para el acondicionamiento higrotérmico. Se determinó el peso inicial de la probeta (M1), luego, se inició el proceso de secado a una temperatura de 60° C, hasta que se verificó la constancia en la masa (M2). Seguidamente se dejó aclimatar a 23°C en la estufa (M3), hasta alcanzar un equilibrio higrotérmico.

CAMBIO DE MASA.

Se calcula el cambio relativo de masa de la probeta luego del proceso de secado (m_1) (Ecuación 1), luego se aplicó un tratamiento de acondicionamiento más complejo (m_2) (Ecuación 2), y finalmente, el cambio relativo de masa se debió únicamente al acondicionamiento térmico (m_3)

(Ecuación 3). De acuerdo con las siguientes expresiones se obtuvieron los resultados de la Tabla 1.

$$m_r = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$m_c = \frac{M_1 - M_3}{M_3} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

$$m_d = \frac{M_3 - M_2}{M_2} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Se observó que, en el caso de las probetas del relleno, se requirieron 216h para lograr el acondicionamiento higrotérmico. La variación de la masa es del orden del 26%, esta variación se debe a que durante el proceso de secado las probetas terminan de eliminar la humedad restante de la barbotina incorporada en la mezcla de paja al inicio del proceso. En el caso de las probetas de revoque las variaciones de las masas fueron menores, debido a que se trabajó con un material de mayor densidad y con menor incorporación de humedad, por lo que durante las etapas de acondicionamiento en el horno de secado fue poca la pérdida de humedad respecto de la masa inicial, y luego, durante el acondicionamiento a temperatura ambiente, no absorbieron demasiada humedad para lograr el equilibrio higrotérmico.

La determinación de la conductividad térmica de las probetas fue de acuerdo con el método de ensayo de la transmisión del calor en régimen estacionario mediante el medidor de caudal térmico, siguiendo los lineamientos establecidos en las Normas: ISO 8302 (1991); ASTM C177 (2013); IRAM 11559 (1995). Durante la medición de la resistencia térmica

de las probetas de relleno liviano y de revoque, se hizo uso del sistema de placa caliente, que consiste en colocar en forma horizontal las dos probetas con una placa caliente en el medio, una placa fría arriba de la muestra superior y otra placa fría debajo de la muestra inferior, luego se aisló todo el perímetro del panel para evitar las pérdidas de calor por la periferia. Para el análisis de conductividad térmica se trabajó con un rango de temperatura media de placa caliente de 32°C y 8°C en el caso de la placa fría, los resultados se muestran en la Tabla 2

Con los datos obtenidos del ensayo se aplicó la Ley de Fourier para la conducción del calor (Ecuación 4), con la que se obtiene la conductividad del material:

$$\frac{\Delta q}{\Delta t} = k * A * \frac{T_f - T_c}{e} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

A partir de este planteo, y dado que el ensayo involucra dos paneles se realizó el siguiente desarrollo para obtener el valor de conductividad de los materiales ensayados (Ecuación 5), (Ecuación 6), (Ecuación 7), (Ecuación 8):

$$\Delta Q = \left[k * A * \frac{T_{f1} - T_{c1}}{e_1} \right] + \left[-k * A * \frac{T_{f2} - T_{c2}}{e_2} \right] \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Factorización:

$$\Delta Q = k * A * \left(\frac{\Delta T_1 * e_2 + \Delta T_2 * e_1}{e_1 * e_2} \right) \quad \text{(Ecuación 6)}$$

$$Q = k * A * \left(\frac{\Delta T_1 * e_2 + \Delta T_2 * e_1}{e_1 * e_2} \right) \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Tabla 2. Temperaturas de ensayos y dimensiones de probetas Fuente: Elaboración de los autores.

		Probeta de relleno	Probeta revoque
Temperatura de placa caliente superior / inferior		32,0°C / 32,0°C	32,0°C / 31,9°C
Temperatura de placa fría superior / Inferior		8,0°C / 8,0°C	8,3°C / 7,8°C
Diferencia entre placas		24°C	23,7°C / 24,1°C
Media de ensayo		20°C	20,1°C / 19,9°C
Potencia media suministrada a la resistencia calefactora	Tensión	6.97V	14.37V
	Corriente	0.62A	1,29A
Espesor panel superior		0,074 m	0,0853
Espesor panel Inferior		0,074 m	0,0852
Flujo de calor		4.273 W	18.125 W
Densidad media promedio		276,7 Kg/m3	1354,7Kg/m2
Temperatura ambiente		22,5°C	24,4°C
Humedad Relativa		50%	63%

Finalmente se obtuvo:

$$k = \frac{Q}{A} * \frac{e_1 * e_2}{(\Delta T_1 * e_2 + \Delta T_2 * e_1)} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

Q: Potencia térmica; $V \cdot I \cdot N$ [W]

V: Tensión suministrada [V].

I: Corriente suministrada [A].

N: Factor de calibración del equipo de placa caliente: 0,985

k_{1-2} : Es la conductividad térmica del panel superior e inferior, respectivamente [W/m²°C]

A: Área de la placa caliente: 0,3078 m x 0,3078 m = 0,0948 m².

ΔT_{1-2} : Delta de temperatura para el panel superior y para el panel inferior, respectivamente [°C].

e_{1-2} : Espesor del panel superior e inferior, respectivamente [m].

Para analizar el comportamiento térmico del muro de quincha como muro de cerramiento, fue necesario verificar los valores máximos admisibles de transmitancia térmica para la época de invierno, de acuerdo a lo establecido en las Normas IRAM 11601 (2002); IRAM 11603 (2012); IRAM 11605 (1996). Con los valores obtenidos de resistencia térmica y haciendo uso de los valores de resistencia térmica superficial exterior 0,13 m²K/W e interior 0,04 m²K/W, dados en la Norma IRAM 11601 (2002), y por medio de la Ecuación 9 se obtuvieron los valores de transmitancia térmica global (Ecuación 10). Con estos datos de los ensayos experimentales y a partir de las pautas de diseño para invierno establecidas en las Normas IRAM 11603 (2012) y IRAM 11605 (1996), se realizó un análisis comparativo acerca de los espesores de muros necesarios para obtener la misma transmitancia térmica en muros con diferentes materiales de construcción, tales

como ladrillo cocido y ladrillo cerámico hueco, respecto del muro de quincha liviana.

$$R_{Total} = \frac{e_{rev1}}{\lambda} + \frac{e_{rell}}{\lambda} + R_{Sext} + R_{Sint} + \frac{e_{rev2}}{\lambda} \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$K_{global} = \frac{1}{R_{Total}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

e_{rev1-2} = Espesor del revoque interior y exterior del muro de quincha [m]

e_{rell} = Espesor del relleno liviano del muro de quincha [m]

λ = Conductividad térmica del muro de quincha [W/m K]

R_{Sext} = Resistencia térmica superficial exterior, IRAM 11.601 [0,13 m² K/W]

R_{Sint} = Resistencia térmica superficial interior, IRAM 11.601 [0,04 m² K/W]

CASO DE ESTUDIO.

Con los datos de transmitancia térmica global, se midió en el lugar una vivienda ubicada en una zona de humedales de Escobar, Provincia de Buenos Aires, perteneciente a la zona bioclimática IIIa templado cálido de la Norma IRAM 11603 (1996). Los registros se realizaron durante el mes de Julio, para esto se dispusieron dataloggers a 2,20 m de altura desde el nivel de piso terminado, que adquirieron un dato cada 15 minutos de la temperatura de los ambientes interiores y del exterior. El criterio para la elección de los ambientes (habitación principal, oficina y sala de juegos) fue que no utilizaran sistemas de calefacción auxiliar, principalmente durante la etapa de medición. El resultado de los registros generó una curva para cada ambiente,

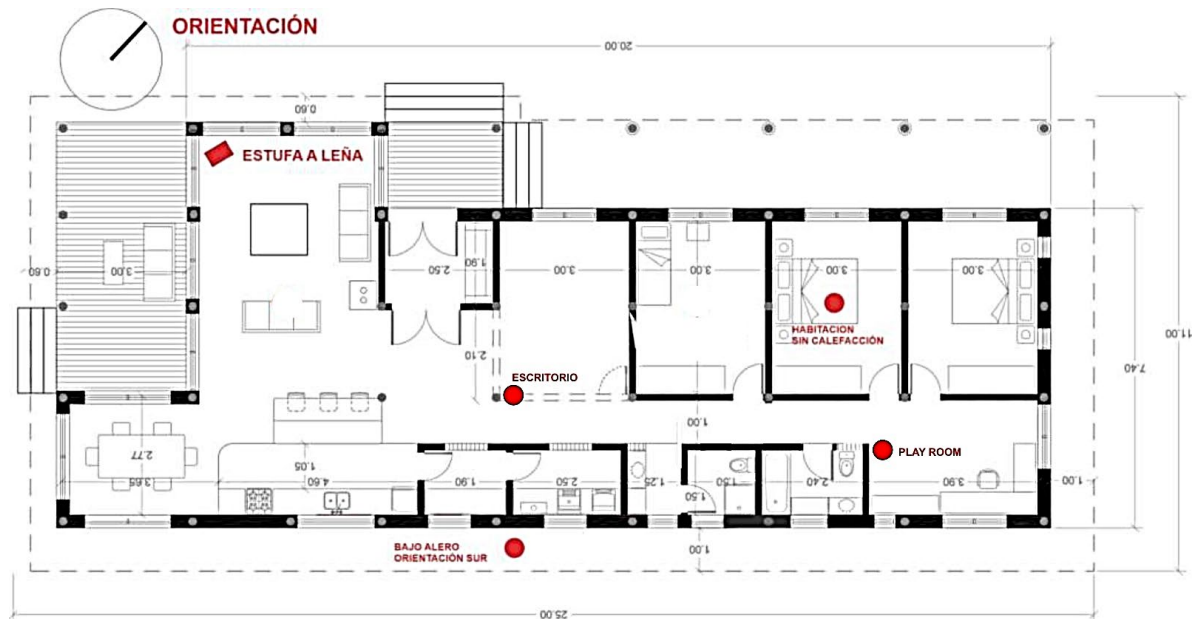


Figura 2: Planta de arquitectura de vivienda a medir. Fuente: Elaboración propia de los autores.



Figura 3: Proceso constructivo vivienda Escobar. Fuente: Elaboración de los autores.

que permitió observar la capacidad aislante de los muros de quincha liviana y las amplitudes térmicas diarias (Figura 2).

La vivienda de la Figura 3, cuenta con una superficie cubierta de 157m², para las fundaciones se utilizaron pilotines de hormigón armado donde se apoyó una plataforma de madera elevada 0.50m respecto del terreno natural. La estructura principal es un sistema de pórticos de postes rollizos de *eucalyptus grandis* de 0.18m de diámetro aproximado. Los muros tienen un entramado de listones de eucalipto de 1"x1/2", para contener el relleno, conformado por una mezcla de paja de trigo y barbotina con una densidad seca promedio de 400 Kg/m³ (in situ). Para la mezcla del revoque de 0.05m de espesor, se utilizaron 2 partes de rastrojo de trigo con 2 partes de arena y 1 parte de tierra. Para el revoque pre fino se utilizaron 2 partes de arena con 1 parte de tierra, y el revoque fino se hizo con 2 partes de arena, 1 parte de arcilla Caolin AF200 + ¼ parte de engrudo cocido. Tanto para el relleno como para el revoque se utilizaron las composiciones de mezclas ensayadas experimentalmente y descritas en la primera parte de este trabajo. De esta forma se obtuvieron muros terminados de 0.28 m de espesor con las propiedades térmicas ya ensayadas. Las carpinterías son de PVC con doble vidrio hermético. El techo al igual que el piso es un entramado liviano de madera de pino eliotti de 2"x 8" con placa de fenólico de 18 mm en la parte superior, placa de fenólico de 18mm en la parte inferior, nylon de 200µm de barrera de vapor y aislación térmica de lana de vidrio de 100mm. La cubierta invertida está conformada por: espuma de polietileno de 10 cm, membrana plástica de 750µm, manto geotextil de 150gr, sustrato alivianado con viruta de madera con un espesor de 8cm y vegetación.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE ZONAS BIOCLIMÁTICAS

El sistema constructivo de quincha liviana puede ser adaptado para construir los cerramientos opacos de las

viviendas en cualquiera de las seis zonas bioclimáticas de la Argentina (IRAM 11603,1996), para ello se calcularon a partir de la Ecuación 11 los espesores necesarios del relleno liviano para el muro de quincha liviana correspondiente a cada una de las temperaturas de diseño para invierno, y a la transmitancia máxima admisible asociada. Con la Ecuación 13, se procedió de forma similar para obtener el espesor de muro de ladrillo macizo y ladrillo cerámico hueco, que sería necesario para cada una de las diferentes localidades de Argentina. Los espesores de revoque quedaron como datos constantes tanto de la quincha liviana (e_{rell-Q}) como de los diferentes muros de ladrillos (e_L). En el caso de los revoques de tierra se definió en 0.05 m de grosor para ambas caras del muro ($e_{rev ext}$, $e_{rev int}$), y en el caso de los muros con revoques cementicios ($e_{r.int}$, $e_{r.ext}$), se contemplaron 0.02 m de revoque para cada cara, y las juntas de unión (e_j) entre ladrillos de 0.015m, donde N_{L-1} es la cantidad de juntas necesarias para unir los N_L ladrillos que conforman el muro total y las resistencias superficiales (R_{si} , R_{se}) dadas en la normativa IRAM 11601 (2002). Con la Ecuación 12 y Ecuación 14 se obtuvieron los espesores totales de muro, y los valores las conductividades y resistencias térmicas se muestran en la Tabla3.

$$e_{rell-Q} = \left(\frac{1}{K_{max adm}} - \frac{e_{rev ext}}{\lambda_{rev ext}} - \frac{e_{rev int}}{\lambda_{rev int}} - R_{si} - R_{se} \right) \quad \text{(Ecuación 11)}$$

$$e_{muro Q} = e_{rev int} + e_{rell-nec} + e_{rev} \quad \text{(Ecuación 12)}$$

$$e_L = \left(\frac{1}{K_{max adm}} - \frac{e_{r.int}}{\lambda_{r.int}} - \frac{N_{L-1} * e_j}{\lambda_j} - \frac{e_{r.ext}}{\lambda_{r.ext}} - R_{si} - R_{se} \right) \quad \text{(Ecuación 13)}$$

$$e_{muro L} = e_{rev.int} + N_{L-1} * e_j + N_L * e_L + e_r \quad \text{(Ecuación 14)}$$

Tabla 3. Valores de conductividad y resistencia superficial de los materiales utilizados. Fuente: Elaboración de los autores.

Conductividad (W/mK)						Resistencia superficial (m ² K/W)		
$l_{rev\ ext}$	$l_{rev\ int}$	$l_{r\ ext}$	$l_{r\ int}$	l_{rell-Q}	$\lambda_{Lmacizo}$	λ_{Lhueco}	R_{si}	R_{se}
0.34	0.34	1.16	0.91	0.07	0.91	0.42	0.13	0.04

Tabla 4. Respuesta térmica de los paneles de quincha liviana. Fuente: Elaboración de los autores.

Designación	Características		Respuesta térmica	
	Espesor [m]	Densidad [kg/m ³]	Resistencia Térmica [mK/W]	Conductividad Térmica [W/mK]
Relleno	0.074	276.7	14.29	0.07
Revoque	0.0852	1354.7	2.94	0.34

Tabla 5. Análisis comparativo de espesores de muros y transmitancia térmica. Fuente: Elaboración de los autores.

Autor	Espesor [m]	Transmitancia Térmica global [W/m ² K]
INTI	0.156	0.79
Acevedo Oliva et al.	0.156	1.03 0.73
Cuitiño Rosales, Maldonado y Esteves Miramont,.	0.10	1.82
Adec	0.145	1.14

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ENSAYO EXPERIMENTAL EN PROBETAS

Por medio de las ecuaciones de la Ley de Fourier para la transmisión del calor (Ecuación 8) se obtuvo que, el valor de conductividad térmica para el relleno liviano, es de $k_1 = 0.07\text{W/mK}$ (Ecuación 15) y para el caso del revoque de tierra es de $k_2 = 0.34\text{W/mK}$ (Ecuación 16), que puede observarse en la Tabla 4.

$$k_1 = \frac{6.97V * 0.62A * 0.985}{0.0948\ m^2} * \frac{0.074m * 0.074m}{(24\ K * 0.074m + 24K * 0.024m)} = 0.07\ \frac{W}{mK}$$

(Ecuación 15)

$$k_2 = \frac{14.37V * 1.29A * 0.985}{0.0948\ m^2} * \frac{0.0853m * 0.0852m}{(23.7\ K * 0.0853m + 24.1K * 0.0852m)} = 0.34\ \frac{W}{mK}$$

(Ecuación 16)

Se determina la transmitancia térmica global de un muro de quincha liviana por medio de las ecuaciones 9 y 10, el valor obtenido para un muro de 0.156m de espesor (equivalente al utilizado en los ensayos realizados por el equipo de trabajo de Protierra Chile, conformado por un revoque grueso de 0.05m y un relleno de 0.05 m de espesor es de 0.79W/m²K En los ensayos realizados por el Equipo de Protierra Chile (Acevedo Oliva et al., 2017)) para muro de quincha liviana húmeda de 0.156 m de espesor, se obtuvo una transmitancia térmica de 1.03W/m²K, se hizo el mismo estudio para un muro de quincha liviana seca⁷ y la transmitancia térmica fue de 0.73W/m²K. En el trabajo de Cuitiño Rosales, Maldonado y Esteves Miramont, (2014) en el ensayo experimental en probetas de quincha húmeda⁸ con un espesor de 0.10m, se obtuvo una transmitancia térmica de 1.82 W/m²K y finalmente en el trabajo de la Agencia para el Desarrollo Económico de la Ciudad de Córdoba (Adec, 2019) para

7 Quincha Liviana seca: Es aquella quincha que posee en su relleno solo fibras vegetales en estado seco, sin ningún contenido de tierra, arcilla o agua (Acevedo Oliva et al., 2017).

8 Quincha Húmeda: Es aquella quincha que posee de relleno una mezcla de barro, en estado plástico (tierra arcillosa más agua) con fibras vegetales, de una densidad mayor a la quincha liviana húmeda (Acevedo Oliva et al., 2017).

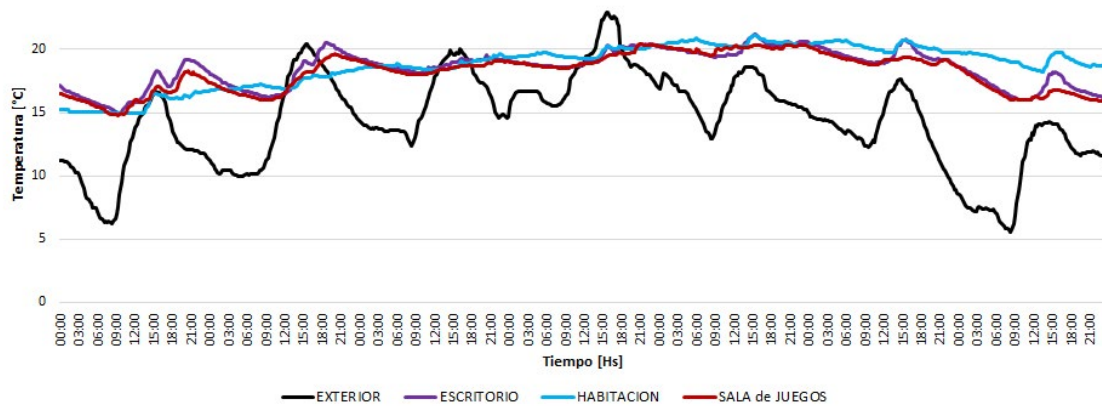


Figura 4: Curvas de comportamiento térmico de la vivienda en estudio. Fuente: Elaboración de los autores.

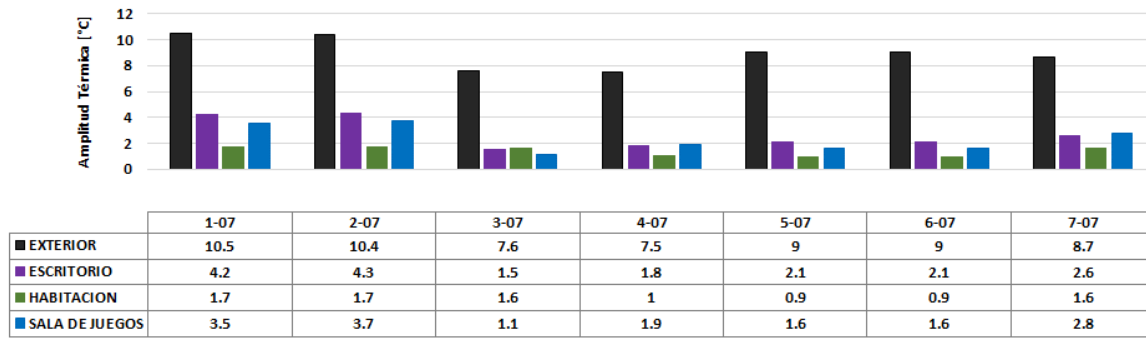


Figura 5: Amplitud térmica diaria para el caso de estudio. Fuente: Elaboración de los autores.

un muro de 0.145m de espesor se obtuvo un valor de transmitancia térmica de 1.14W/m²K. Se aprecia que el muro de quincha liviana ensayado por el INTI, presenta una mejor respuesta aislante respecto de los otros muros, estos datos se ven en la Tabla 5.

MEDICIONES EN EL INTERIOR DE LA VIVIENDA

Argentina cuenta con seis zonas bioclimáticas, zona I: muy cálida, zona II: cálida, zona III: templada cálida, zona IV: templada fría, zona V: fría y zona VI: muy fría. En las zonas bioclimáticas frías de Argentina fue necesario utilizar muros de quincha con espesores entre 0.25m y 0.30 m para que verifiquen las condiciones del nivel A de transmitancia térmica máxima admisible dado en la Tabla 1 de la Norma IRAM 11605 (1996), la que está en función de la temperatura de diseño de invierno establecida en la Norma IRAM 11603 (2012). En este estudio, se tiene una transmitancia térmica de 0.30W/m²K para un muro de quincha liviana conformado por 0.05 m de espesor de revoque por cada cara del muro, más 0.20 m de espesor de relleno de paja liviana mezclada con barbotina.

En la Figura 4 y Figura 5, se pueden observar los datos de temperatura obtenidos en el mes de julio. Como referencia de medición se toma la curva de medición exterior, donde se observa la amplitud térmica⁹ diaria, principalmente entre las horas de día y las de noche, con valores entre los 7.6°C y 10.5°C. A pesar de esta variabilidad térmica exterior, en el interior se aprecia una menor variación entre las amplitudes térmicas diarias, donde los valores máximos registrados en el caso del escritorio son de 4.3°C, en la habitación es de 1.7°C y en la sala de juegos es de 3.7°C, lo que muestra un comportamiento térmico estable, lo que favorece al confort habitacional. La vivienda cuenta con una estufa a leña ubicada en la sala de estar en caso de ser necesario alcanzar una temperatura de confort más alta, sin embargo, durante esta etapa de registro de datos no se utilizó ningún sistema de calefacción auxiliar.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE ZONAS BIOCLIMÁTICAS

La técnica constructiva quincha liviana, Figura 6 a, puede ser adaptada para construirse en cualquier zona

⁹ Amplitud térmica: diferencia entre la temperatura máxima y mínima que se registra en un lugar en un determinado periodo de tiempo (IRAM 11549, 2002).

Tabla 6. Espesores necesarios y totales de muros. Fuente: Elaboración de los autores (2024)

Datos		Muro de quincha liviana [m]		Muro de ladrillo macizo [m]			Muro de ladrillo cerámico hueco [m]		
Temp. Ext. de diseño	Nivel A Kmax adm [W/m2K]	Espesor necesario	Espesor Total	Espesor necesario	Espesor Total	Unidades de ladrillo macizo NLM	Espesor necesario	Espesor Total	Unidades de ladrillo hueco NLH
-15	0.23	0.27	0.37	3.50	3.73	19	1.68	1.78	9
-14	0.23	0.27	0.37	3.50	3.73	19	1.68	1.78	9
-13	0.24	0.26	0.36	3.33	3.73	19	1.61	1.78	9
-12	0.25	0.25	0.35	3.19	3.535	18	1.54	1.59	8
-11	0.25	0.25	0.35	3.19	3.535	18	1.54	1.59	8
-10	0.26	0.24	0.34	3.07	3.34	17	1.48	1.59	8
-9	0.27	0.23	0.33	2.95	3.15	16	1.42	1.59	8
-8	0.28	0.22	0.32	2.83	3.15	16	1.37	1.39	7
-7	0.29	0.21	0.31	2.74	2.95	15	1.32	1.39	7
-6	0.3	0.20	0.30	2.63	2.95	15	1.27	1.39	7
-5	0.31	0.19	0.29	2.55	2.76	14	1.23	1.39	7
-4	0.32	0.19	0.29	2.46	2.76	14	1.18	1.39	7
-3	0.33	0.18	0.28	2.39	2.56	13	1.15	1.20	6
-2	0.35	0.17	0.27	2.23	2.56	13	1.08	1.20	6
-1	0.36	0.16	0.26	2.17	2.37	12	1.04	1.20	6
> 0	0.38	0.15	0.25	2.05	2.17	11	0.98	1.20	6

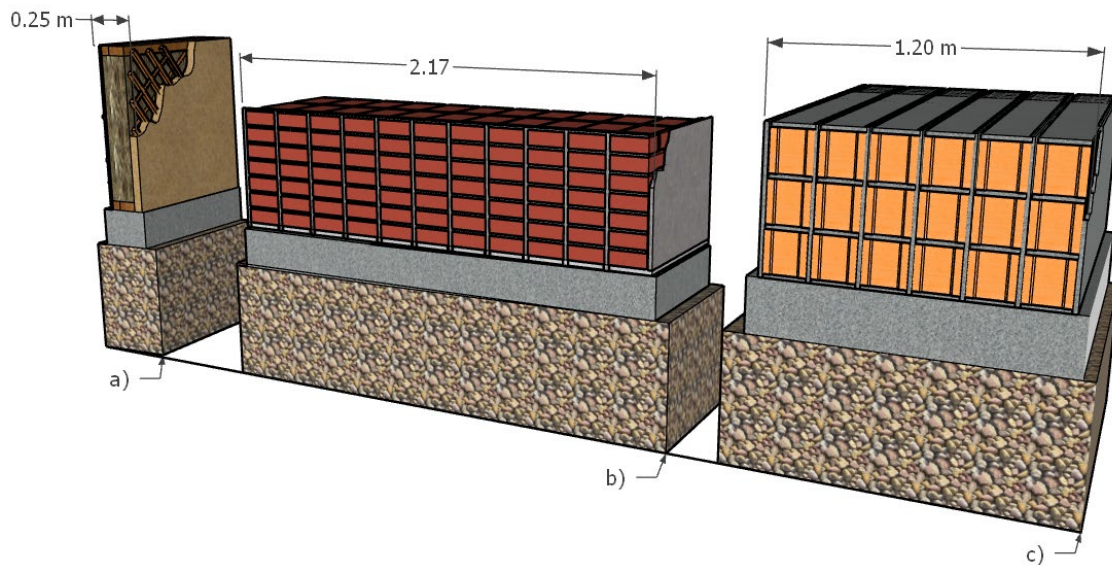


Figura 6: Detalles de muros: a) Quincha liviana, b) Ladrillo macizo c) Ladrillo hueco. Fuente: Elaboración de los autores (2024)

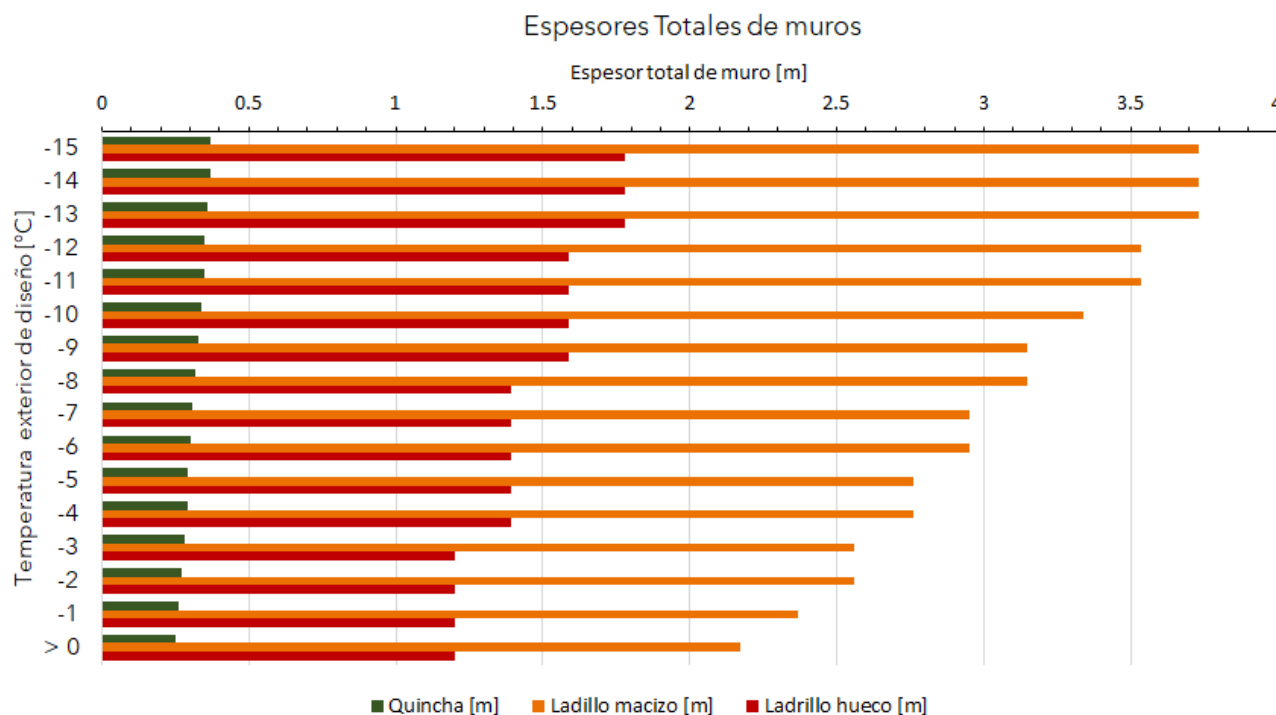


Figura 7: Cuadro comparativo de espesores de muros de materiales de estudio para diferentes temperaturas de diseño exterior. Fuente: Elaboración de los autores (2024).

bioclimática de Argentina, siendo necesario analizar los espesores de muro para verificar la condición de transmitancia térmica máxima admisible, entregada por la Norma IRAM 11605 (1996).

A partir de lo descrito en la metodología (Ecuación 11-12-13 y 14), en la Tabla 6 se obtuvieron los espesores de muro necesarios para cumplir el nivel A de transmitancia térmica máxima admisible para cada una de las temperaturas de diseño de invierno, y a continuación el ancho total de muro que cumpliría con dicha normativa. En el caso de la quincha el dato variable a obtener fue el espesor de relleno liviano y en los otros dos casos, la variable a analizar fue el ancho de muro de ladrillo, y en todos los casos el revoque es un dato fijo. En la Figura 6 a, b y c se aprecian los casos de estudio planteados.

En la Figura 7, están representados los espesores totales de muros para cada caso de estudio. En los muros de quincha con el relleno de paja y con revoques por ambas caras, el espesor total de muro representa entre el 10% y 12% del espesor de muro requerido, para el caso de utilizar el muro de ladrillo macizo y respecto del ladrillo macizo hueco representa entre el 21% y 23% del espesor total. Además, se puede observar que frente a una misma demanda de transmitancia térmica, los muros de ladrillos macizo y el cerámico hueco, requieren de una cantidad elevada de mampuestos para conformar el muro, como se puede observar en la Figura 6, donde se ha representado la última situación donde la temperatura de diseño es mayor a los 0°C y la transmitancia máxima admisible es

de 0.38W/m²K, requiriendo para el caso de la quincha un relleno de 0.15m y un espesor de muro terminado de 0.25m, siendo necesario 11 mampuestos en el caso del muro de ladrillo macizo dando un muro terminado de 2.17m y en la situación del ladrillo cerámico hueco se necesitaron 6 mampuestos, resultando en un muro de 1.20m. Para los casos del ladrillo macizo y del ladrillo hueco es poco factible construir los muros con los valores obtenidos, debido a las grandes dimensiones requeridas para alcanzar los niveles de K_{maxadm} , en estos casos es necesario reducir los espesores de muro, y compensar esta reducción con la incorporación de materiales aislantes (Mac Donnell, 2014).

CONCLUSIONES

Con los valores de conductividad térmica obtenidos en los ensayos de relleno y revoque de muros de quincha liviana, se obtuvieron los parámetros necesarios para realizar el estudio higrótérmico de las viviendas construidas con esta técnica. Se obtuvo como resultado una respuesta óptima en cuanto al comportamiento térmico, al ser comparada con estudios similares en cerramientos opacos para vivienda.

La conductividad térmica obtenida del relleno fue de 0.07 W/m.K, y del revoque de tierra 0.34 W/m.K. La conformación de un muro de 0.156 m de espesor, con revoque de 0.05 m en cada cara y relleno de 0.056 m de espesor, da como resultado una transmitancia térmica

global de 0.79 W/m²K, equiparada con la quincha ensayada en Protierra Chile (Acevedo Oliva et al., 2017), donde un muro del mismo espesor (0.156 m) da una transmitancia térmica de 1.03 W/m²k.

En la vivienda estudiada, se utilizaron muros de quincha liviana con espesores de entre 25 cm y 30 cm y se pudo verificar el comportamiento higrotérmico con una transmitancia térmica de 0.30 W/m²K. De las mediciones en el lugar en el mes de julio 2023, se obtuvo que, a pesar de las amplitudes térmicas exteriores variaban entre 7.5°C y 10.5°C, el interior muestra estabilidad térmica durante toda la medición, con amplitudes entre 4.3°C y 0.9°C, lo que se refleja en el confort interior, debido a que no fue necesario recurrir a sistemas de calefacción auxiliar.

Los datos obtenidos en este estudio permitieron realizar los cálculos teóricos para conocer los diferentes espesores requeridos de acuerdo a las necesidades de transmitancia térmica para cada zona bioclimática de Argentina. De esta forma, para el nivel óptimo de transmitancia térmica se pudo concluir que para todos los casos el muro de quincha liviana, cumplen con el Nivel A con espesores de muro considerablemente menores respecto de un muro de ladrillo macizo y de un muro de ladrillo cerámico hueco.

Cabe destacar que el comportamiento de muros de quincha liviana continúa siendo investigado para poder ser implementado en diferentes zonas, tanto bioclimáticas como sísmicas. Con esta información se estudiará la resistencia al fuego de este mismo sistema constructivo, bajo la Norma IRAM 11950 (2010) enfocada en la Resistencia al fuego de los elementos de la construcción - Método de ensayo”.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES CRediT

Conceptualización, M.G.C.R., A.D., G.V. y V.D.; Curación de datos, A.D. y G.V.; Análisis formal, M.G.C.R. y V.D.; Adquisición de financiación A.D. y G.V.; Investigación, M.G.C.R., A. D., G.V. y V.D.; Metodología, M.G.C.R.; Administración de proyecto, A.D. y G.V.; Recursos, M.G.C.R., A.D., G.V. y V.D.; Software. M.G.C.R.; Supervisión, A.D. y G.V.; Validación, M.G.C.R. y V.D.; Visualización, G.V. y V.D.; Escritura – borrador original, M.G.C.R., A.D, G.V. y V.D.; Escritura – revisión y edición, M.G.C.R., A.D., G.V. y V.D.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Municipalidad de Allen, Río Negro y al Instituto Nacional de Tecnología Industrial por su apoyo a la realización de los ensayos necesarios para esta publicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia para el Desarrollo Económico de la Ciudad de Córdoba ham (Adec). (2019) - Proyecto N°182-Atlas Dinámico De Envolventes. Atlas dinámico de envolventes. Atlas de comportamiento energético en régimen dinámico de envolventes constructivas. Instituto de Sustentabilidad Edilicia - Colegio de Arquitectos de la Provincia de Córdoba.

Acevedo Oliva, R., Carrillo Zuñiga, O. R., y Broughton, J. (2017). Construcción en quincha liviana. Sistemas constructivos sustentables de reinterpretación patrimonial. https://csustentable.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2020/03/CONSTRUCCION_CON_QUINCHA_LIVIANA_1a_edicion.pdf

Asdrubali, F., D'Alessandro, F., y Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002>

American society for testing and materials [ASTM]. (2013). ASTM C177-13 (2013). Standard test method for steady-state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarded-hot-plate apparatus. <https://www.astm.org/c0177-19.html>

Buratti, C., Belloni, E., Merli, F., y Zinzi, M. (2021). Aerogel glazing systems for building applications: A review. *Energy and Buildings*, 231, 110587. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110587>

Castillo Quimis, E. L., Mite Pezo, J. A., y Pérez Arévalo, J. J. (2019). Influencia de los materiales de la envolvente en el confort térmico de las viviendas. Programa Mucho Lote II, Guayaquil. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(4), 303-309. <https://rus.ucf.edu/cu/index.php/rus/article/view/1306>

Cuitiño Rosales, M. G., Maldonado, N. G., y Esteves Miramont, A. (2014). Analysis of the Mechanical Behavior of Prefabricated Wattle and Daub Walls. *International Journal of Architecture, Engineering and Construction*, 3, (4), 235-246. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/32338>

Cuitiño, G., Esteves, A., Maldonado, G., y Rotondaro, R. (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. *Informes de la Construcción*, 67(537), e063-e063. <https://doi.org/10.3989/ic.12.082>

Forgiarini Rupp, R., Giraldo Vásquez, N., y Lamberts, R. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings*, 105, 178-205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>

García León, R. A., Flórez-Solano, E. y Espinel Blanco, E. (2017). Conductividad térmica de polvos de arcillas utilizadas en la industria cerámica de Ocaña Norte de Santander y la región. *Revista Ingenio*, 13(1), 1-9. <https://portal.amelica.org/ameli/journal/814/8145075001/>

González Couret, D. G., y Véliz Párraga, J. F. V. (2016). Resiliencia urbana y ambiente térmico en la vivienda. *Arquitectura y Urbanismo*, 37(2), 63-73. <https://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/470>

- Ham, H. J., Lee, S., y Kim, H. -J. (2024). The Impact of Residential Building Insulation Standards on Indoor Thermal Environments and Heat-Related Illness Risks During Heatwaves: A Case Study in Korea. *Sustainability*, 16(22), 9831. <https://doi.org/10.3390/su16229831>
- Howden-Chapman, P., Matheson, A., Crane, J., Viggers, H., Cunningham, M., Blakely, T., Cunningham, C., Woodward, A., Saville-Smith, K., O'Dea, D., Kennedy, M., Baker, M., Waipara, N., Chapman, R., y Davie, G. (2007). Effect of insulating existing houses on health inequality: cluster randomised study in the community. *BMJ (Clinical research ed.)*, 334(7591), 460. <https://doi.org/10.1136/bmj.39070.573032.80>
- IRAM 11559. (1995). *Acondicionamiento térmico. Determinación de la Resistencia térmica y propiedades conexas en régimen estacionario. Método de la placa caliente con guarda*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires: IRAM
- IRAM 11605. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires: IRAM.
- IRAM 11549. (2002). *Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires: IRAM
- IRAM 11601. (2002). *Aislamiento térmico de edificios. Método de cálculo – Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires: IRAM
- IRAM 11950. (2010). *Resistencia al fuego de los elementos de la construcción - Método de ensayo*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires: IRAM.
- IRAM 11603. (2012). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires: IRAM.
- ISO 8302. (1991). *Thermal Insulation, Determination of Steady-State Areal Thermal Resistance and Related Properties--Guarded-Hot-Plate Apparatus*. The International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/15422.html>
- Kreith, F., y Goswami, D. Y. (Eds.). (2007). *Handbook of energy efficiency and renewable energy*. Crc Press, Taylor & Francis Group
- Lakatos, Á. (2022). Novel Thermal Insulation Materials for Buildings. *Energies*, 15(18), 6713. <https://doi.org/10.3390/en15186713>
- Mac Donnell, H. P. (2014). *Los muros exteriores: Análisis de muros empleados en la actualidad*. Revista Vivienda. Buenos aires.
- Matteucci, S. D. (2012). Ecorregión Estepa Patagónica. Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. En J. Morello, S. D. Matteucci, A. F. Rodríguez y M. E. Silva, *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos* (pp. 549-654). Orientación Gráfica Editora SRL, Buenos Aires,
- Muñoz, C., Zaror, C., Saelzer, G., y Cuchí, A. (2012). Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción Caso Estudio: Vivienda Tipología Social. Región del Biobío, Chile. *Revista de la construcción*, 11(3), 125-145. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2012000300011>
- Red Protierra Argentina, 2024. Relevamiento y análisis de normas jurídicas y técnicas referidas a la construcción con tierra vigentes en la República Argentina. <https://redprotierra.com.ar/2020/07/15/relevamiento-y-analisis-de-normativas-de-construccion-con-tierra-en-argentina/>
- Rey Martínez, F. J., y Velasco Gómez, E. (2006). Eficiencia energética en edificios. Certificación y auditorías energéticas: certificación y auditorías energéticas. Ediciones Paraninfo, SA.
- Sánchez Azócar, J. R. (2011). Análisis de Factibilidad Técnica y Económica para la Incorporación de una Empresa de Rehabilitación Térmica de Viviendas Usadas, en el Mercado de la Construcción Chilena [Tesis de Magister, Universidad de Chile] Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102639>
- Vanhoutteghem, L., y Svendsen, S. (2014). Modern insulation requirements change the rules of architectural design in low-energy homes. *Renewable energy*, 72, 301-310. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.07.005>
- World Health Organization [WHO]. (2018). *Housing and health guidelines*. Geneva: World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/275838/WHO-CED-PHE-18.02-eng.pdf>
- Zhao, R., Guo, H., Yi, X., Gao, W., Zhang, H., Bai, Y., y Wang, T. (2020). Research on Thermal Insulation Properties of Plant Fiber Composite Building Material: A Review. *International Journal of Thermophys*, 41(87). <https://doi.org/10.1007/s10765-020-02665-0>
- Zhovkva, O. (2020). Energy efficiency and environmental friendliness, as important principles of sustainability for multifunctional complexes. *Revista ingeniería de construcción*, 35(3), 308-320. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732020000300308>