

PUESTA EN VALOR DE LA QUINCHA LIVIANA EN CUANTO A DESEMPEÑO ENERGÉTICO Y CONFORT HIGROTÉRMICO

Claudia Bustamante¹, Pablo Sills²

¹Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, claudia.bustamante@sansano.usm.cl

²Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, pablo.sills@usm.cl

Palabras clave: arquitectura con tierra, tecnología constructiva, estándares sustentables, eficiencia energéticamente

Resumen

El área de la construcción contribuye con el 40% de emisiones globales de CO₂, impulsado por el consumo energético de edificios y el uso de materiales industrializados de alta huella de carbono como el hormigón, el vidrio y el acero. Frente a esta problemática, en Chile y el mundo ha surgido una tendencia a la reincorporación de técnicas tradicionales de construcción con tierra a partir de su tecnificación y actualización, poniendo en valor las culturas constructivas con tierra cruda. Este estudio investiga las ventajas de la quincha liviana en cuanto a eficiencia energética y confort higrotérmico en su aplicación como envolvente de muros, evaluando su potencial de sostenibilidad, en comparación con sistemas constructivos convencionales de acuerdo con estándares nacionales de edificación sustentable. Se desarrolla una metodología mixta: análisis cualitativo sobre la evolución de la reinterpretación de la quincha liviana en el país; y el análisis cuantitativo a partir del cálculo teórico de indicadores de transmitancia y admitancia térmicas, monitoreo in situ de temperatura y humedad relativa, y la simulación de su performance térmica para estimar las demandas de calefacción y refrigeración en un año típico. Para ello, se compararon 4 casos de estudio de viviendas contemporáneas construidas con las siguientes soluciones constructivas: en quincha liviana seca, albañilería confinada, hormigón armado y tabiquería ligera en madera. Los principales resultados demuestran que la quincha liviana seca, a partir de su innovación, alcanza mejores resultados en comparación con los otros sistemas estudiados en la mayoría de los casos, estando un 90% del tiempo de estudio en confort higrotérmico para el periodo de verano. También, demuestra una reducción de un 66% de demanda de calefacción y refrigeración según la demanda energética promedio para vivienda, propuestos por la CVS en Chile.

1 INTRODUCCIÓN

La crisis climática actual tiene como precedente los altos niveles de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se han liberado a la atmósfera (CChC, 2019). En el caso particular de Chile, en el sector de la construcción, estas cifras representan una participación cercana al 23% del total de emisiones GEI del país para el año 2019, cuyas principales fuentes de emisión de CO₂ derivan mayoritariamente de la producción industrial nacional de materiales como el hormigón, el vidrio o el acero (8,7%) (CChC, 2019).

El desarrollo de la edificación en Chile revela una tendencia marcada hacia el uso intensivo de materiales industriales como soluciones constructivas, como es el caso de la albañilería de ladrillo, el hormigón armado o la tabiquería ligera. Según el Censo 2017, en Chile, el 98% de las viviendas considera este tipo de soluciones para la envolvente de muros, en contraposición al 2% que representa el uso de sistemas tradicionales como el adobe, la quincha, la pirca u otros, los cuales representan gran parte del legado arquitectónico¹ del país.

Por otro lado, los altos índices de requerimiento energético en cuanto a calefacción en el país se originan principalmente por los bajos estándares de aislación térmica con los que cuenta la vivienda en Chile. Aproximadamente, el 53% de las viviendas existentes en Chile, tanto casas como departamentos, se construyeron antes de la promulgación de la Reglamentación

¹ En Chile aproximadamente el 40% del patrimonio reconocido está construido en base a técnica de adobe (Kamelic, 2009, citado en Jorquera, 2022, p.62).

Térmica el año 2001 (Ministerio de Energía, 2020), la cual el año 2007 amplió sus requerimientos a soluciones de muros y techumbres. En consecuencia, para el año 2020 tan solo un 34% de las nuevas viviendas en Chile cumplía con la normativa de acondicionamiento térmico, cuyos estándares se encuentran muy por debajo de los criterios de eficiencia energética de la OCDE (Ministerio de Energía, 2020). Como resultado, el consumo energético en calefacción aún sigue siendo elevado, impidiendo que las familias alcancen un adecuado confort higrotérmico y una óptima calidad del aire al interior de sus hogares (Whitman et al., 2016).

Dada la insuficiencia de estos estándares térmicos aplicados en el desarrollo habitacional, es que a finales de mayo del 2024 se modificó el DS N°47 de la O.G.U.C en su Artículo 4.1.10² en lo que respecta al acondicionamiento térmico, estableciendo nuevos requisitos y mecanismos de acreditación para las edificaciones. Este hecho se enmarca en los actuales desafíos a nivel país de acuerdo con la adopción del Acuerdo Climático de París el 2015, los distintos instrumentos de política energética que se han dictado y en relación con el vigente Plan Nacional de Eficiencia Energética (2022-2026), el cual impulsa la renovación energética y el reacondicionamiento térmico de las viviendas, y la calificación energética de edificaciones (Ministerio de Energía, 2022). En este sentido resulta fundamental explorar el comportamiento térmico e higrotérmico de los materiales que componen la envolvente térmica de los edificios, en miras de reducir los requerimientos energéticos durante su ciclo de vida útil y maximizar su rendimiento general.

1.1 Propiedades térmicas de la tierra alivianada

Existe una extensa bibliografía respecto a las propiedades térmicas que posee la tierra alivianada como material constructivo. Pese a ello, la base de datos de materiales en tierra y fibras vegetales no posee una mayor precisión dada la naturaleza del material, condición que agrega mayores dificultades a la hora de validar su comportamiento respecto a las reglamentaciones térmicas vigentes según cada país debido su compleja estandarización.

Al respecto, distintos autores coinciden con que sus propiedades térmicas se encuentran determinadas por la técnica constructiva empleada y la densidad aparente del material (Lawrence en Piesik, 2017; Minke, 2010; Cabrera et al., 2023; Wieser et al., 2018). En específico, la conductividad térmica (λ) de la tierra alivianada puede variar según la proporción de tierra arcillosa y la fibra vegetal utilizada, cuyo valor oscila entre los 0,1 a 0,4 W/m⁰K en tierras con mayor proporción de fibras vegetales (Minke, 2010; Velásquez; Torres, 2017) (figura 1).

Los materiales vegetales poseen un calor específico que rodea los 2kJ/kg⁰K, mientras que en los materiales minerales es de aproximadamente 1 kJ/kg⁰K (Lawrence en Piesik, 2017). Lo anterior demuestra que los materiales bióticos, como la paja de trigo o el bambú, responden más lentamente a los cambios de temperatura y son capaces de almacenar el doble de energía térmica que los materiales minerales para densidades y grosores similares.

La tierra, por su parte, proporciona cualidades higroscópicas a las mezclas que le confieren la capacidad de absorber y liberar humedad al ambiente, permitiendo regular las condiciones de confort ambiental interior (Minke, 2010). Esta característica permite que las fluctuaciones en la humedad relativa del aire dentro de un espacio presente una atenuación de los picos diarios de humedad, mejorando el confort interior y reduciendo los gastos energéticos relacionados con él (Mesquita, 2012).

² La Reglamentación Térmica chilena se encuentra definida en el Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC). Esta normativa establece los estándares mínimos que deben cumplir las nuevas viviendas en términos de acondicionamiento térmico según los elementos que constituyen la envolvente, correspondientes a complejos de techumbres, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados.

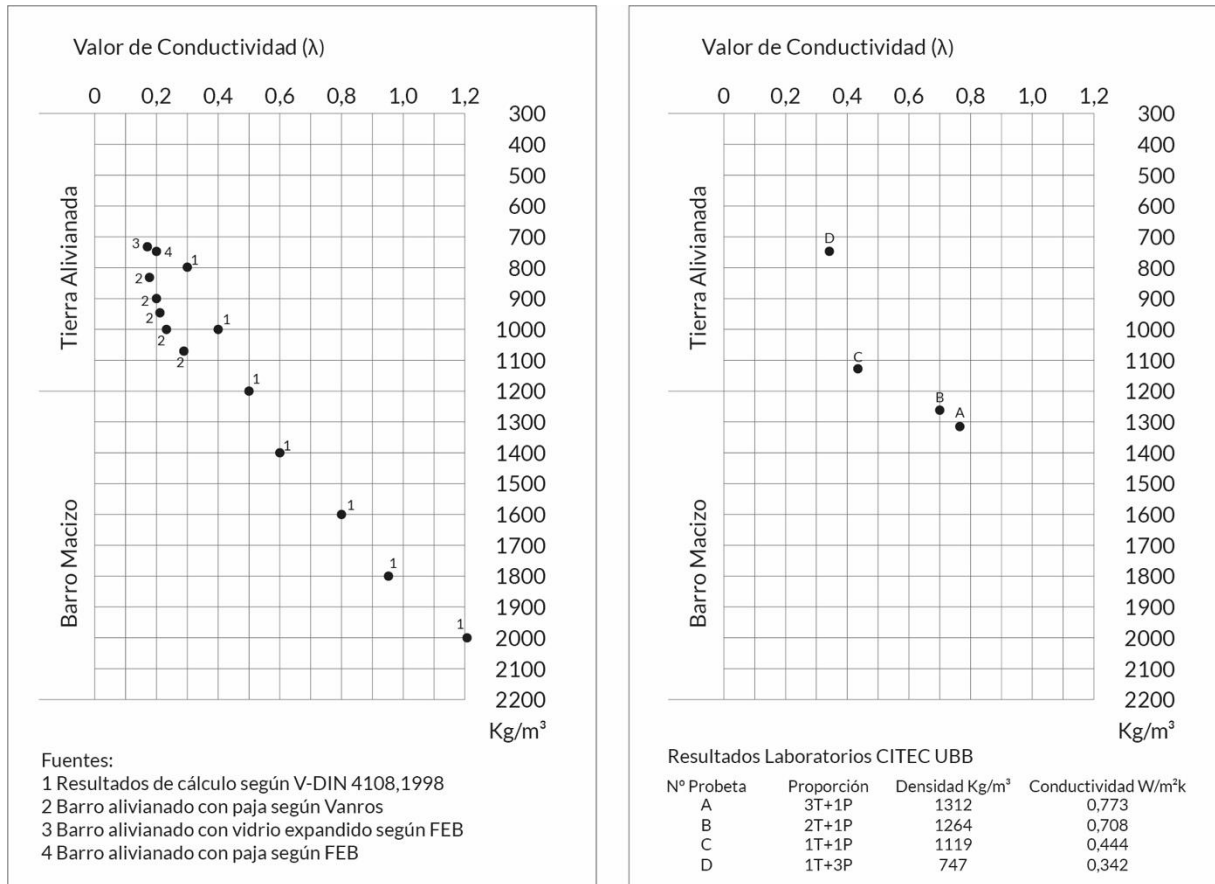


Figura 1. Comparación valores de conductividad térmica según densidad y proporciones de mezcla (izquierda: Minke, 2010; derecha: Velásquez; Torres, 2017)

1.2 Estándares térmicos de la quincha liviana y su aplicación respecto a la normativa chilena

De acuerdo con la normativa vigente en Chile sobre la construcción de nuevas edificaciones utilizando métodos constructivos tradicionales, solo se autoriza la edificación mediante sistemas mixtos que involucren la madera o el acero como estructura principal, quedando fuera de norma aquellos sistemas sólidos que emplean la tierra como material de elemento estructurante, como es el caso del adobe o el tapial (Dávila; Contreras, 2022).

Considerando estas limitantes, las técnicas constructivas desarrolladas a partir de la integración de elementos portantes como madera, y el uso de la tierra alivianada como relleno y aislante (caso de la quincha liviana), encabezan las últimas contribuciones del patrimonio arquitectónico en tierra cruda en su reintegración al desarrollo de viviendas del último tiempo, debido a la capacidad sismorresistente que le otorga el entramado de madera a la estructura y a las capacidades aislantes que confiere la tierra alivianada al relleno (Acevedo et al., 2022; Barros et al., 2014; Jorquera, 2022).

La quincha liviana consiste en un sistema base de entramado de madera con relleno alivianado, ya sea en estado seco (paja de trigo) o húmedo (paja de trigo con barbotina) (Acevedo et al., 2022). Ambas adaptaciones, se encuentran validadas técnicamente en cuanto a comportamiento térmico, acústico y desempeño frente al fuego de acuerdo con la normativa chilena vigente (Acevedo et al., 2022). En cuanto a su comportamiento térmico, la quincha liviana, en sus versiones seca y húmeda, alcanza buenos resultados en cuanto a aislación térmica para la vivienda, posibilitando su uso para las zonas climáticas según indica la reciente actualización de la Reglamentación Térmica y los Estándares de Construcción Sustentable en Chile, ambos regidos por los planos de zonificación contenidos en la NCh 1079 (2019).

En específico, en el caso de la quincha liviana húmeda, el resultado de su transmitancia térmica (U) fue de 1,03 W/m²°K con un espesor de aislante de paja de trigo con barbotina de 90 mm, permitiendo según normativa la construcción en la zona A, la cual se extiende en la zona costera desde el norte de la región de Arica y Parinacota hasta el sur de la región de Atacama. Mientras que, en el caso de la quincha liviana seca, el resultado fue un U de 0,73 W/m²°K con un espesor de aislante de paja de trigo seca de 90 mm, el cual permite la construcción en la zona A, B, C y D correspondiente a zonas costeras o de valle interior entre regiones de la macrozona norte, centro y centro sur; y para las comunas de Talca-Maule según las exigencias contenidas en los Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA) para ciudades con mayores índices de contaminación del aire (Acevedo et al., 2022).

Su validación ha facilitado el ingreso de nuevos proyectos de arquitectura a las Direcciones de Obras Municipales (DOM) y otros organismos públicos, así como también ha permitido posicionar la construcción con fibras naturales y tierra como una alternativa sustentable y de pertinencia cultural comparables con los estándares de construcción sustentable en Chile (Acevedo et al., 2022).

2 OBJETIVOS

El estudio investiga las ventajas comparativas que presenta el sistema de quincha liviana en cuanto a eficiencia energotérmica y confort higrotérmico en su aplicación como envolvente de muros, evaluando su potencial de sostenibilidad en comparación con sistemas constructivos convencionales de acuerdo con estándares nacionales de edificación sustentable, a modo de obtener resultados cuantitativos que respalden dicha hipótesis.

Dado lo anterior y en lo que respecta al enfoque de este artículo, se exponen los objetivos principales de la investigación orientados a la obtención de resultados cuantitativos, los cuales son:

1. Evaluar el confort higrotérmico que puede alcanzar el diseño arquitectónico a partir del uso de este sistema constructivo de carácter patrimonial, considerando indicadores de confort y propiedades de los materiales.
2. Demostrar la eficiencia energotérmica que puede alcanzar el diseño arquitectónico a partir del uso de este sistema, desde el análisis comparativo de demanda de calefacción y refrigeración según simulaciones térmicas.

3 METODOLOGÍA

Para la investigación se desarrolló una metodología mixta por medio de un análisis cuantitativo. El análisis cualitativo se enfocó en el estudio histórico acerca de la reinterpretación de la técnica de quincha; y el análisis cuantitativo al cálculo teórico de indicadores de transmitancia, resistencia y admitancia térmica, el monitoreo in situ y la simulación de la performance térmica para estimar las demandas de calefacción y refrigeración en un año típico. Para ello, se compararon cuatro casos de estudio de viviendas contemporáneas construidas con los siguientes sistemas constructivos: quincha liviana seca (V01), albañilería confinada (V02), hormigón armado (V03) y tabiquería ligera en madera (V04) (figura 2), a modo de obtener resultados más representativos sobre el desempeño higrotérmico que puede alcanzar una vivienda utilizando el sistema de reinterpretación patrimonial de quincha liviana como envolvente de muros en comparación con otro tipo de envolventes.

Los casos de estudio de viviendas se emplazan en la comuna de Limache, ubicada en el valle interior de la región de Valparaíso. Limache se ubica en la zona central interior y se caracteriza por un clima según Köppen-Geiger del tipo Csb, con una alta oscilación diaria de temperaturas, una alta radiación solar durante el verano, con niveles de humedad relativa bajas en verano y con tendencia a aumentar durante periodos invernales. En este tipo de clima es fundamental maximizar las ganancias internas y minimizar las pérdidas de calor en la envolvente como estrategias de diseño pasivo. Esta cualidad es determinante para la

elección del lugar de estudio, dado que es particularmente interesante analizar el equilibrio entre capacidad de aislación e inercia térmica que requiere la configuración de la envolvente para optimizar el confort térmico tanto en periodos de verano como en invierno.

SOLUCIONES DE ENVOLVENTE DE MUROS			
QUINCHA LIVIANA SECA	ALBAÑILERÍA CONFINADA	HORMIGÓN ARMADO	TABICUERÍA LIGERA
<ol style="list-style-type: none"> 1 Revoque fino 3 mm 2 Revoque grueso 25 mm 3 Malla electrosoldada ACMA-90 4 Paja de trigo seca 60kg/m³ 5 Tabique madera de pino IPV 2x6" 	<ol style="list-style-type: none"> 1 Estuco de mortero 2 Muro de Albañilería 3 Adhesivo Volcafix® 4 Poliestireno expandido 10 mm 5 Barrera de vapor 6 Yeso cartón Volcanita® 	<ol style="list-style-type: none"> 1 Estuco de mortero 2 Muro de H.A 3 Adhesivo Volcafix® 4 Poliestireno expandido 10 mm 5 Barrera de vapor 6 Yeso cartón Volcanita® 	<ol style="list-style-type: none"> 1 Siding madera - Tipo LP® Smart Panel 7/16" 2 Membrana hidrófuga 3 Tabique madera de pino 2x4" 4 Lana de vidrio 90 mm 5 Barrera de vapor 6 Yeso cartón
U = 0,49 W/m ² 0K	U = 1,55 W/m ² 0K	U = 1,73 W/m ² 0K	U = 0,43 W/m ² 0K
Y = 3,06 W/m ² 0K	Y = 1,93 W/m ² 0K	Y = 2,35 W/m ² 0K	Y = 0,75 W/m ² 0K
Tr = 4 Hrs	Tr = 4 Hrs	Tr = 6,6 Hrs	Tr = 1,2 Hrs

Figura 2. Soluciones de envolvente de muros analizadas según casos de estudio

El análisis cuantitativo se divide en tres grandes etapas: (1) resultados empíricos, (2) resultados teóricos y (3) resultados simulados. En la primera etapa se lleva a cabo una campaña de medición de datos de temperatura del aire (T^o), temperatura superficial del muro (Ts^o) y humedad relativa (%HR) al interior de las viviendas durante el periodo de verano e invierno del año 2022, con una duración de 2 semanas para cada caso. El levantamiento de datos se realizó a partir de dispositivos Data Logger HOBO® U12-012, dispuestos al interior de recintos específicos de medición, -en este caso habitaciones dormitorio-, con el fin de evaluar el estado actual de su desempeño higrotérmico. También se ubicó un dispositivo Data Logger en el exterior para obtener un contraste con la temperatura y humedad relativa del clima exterior durante la campaña. Para el monitoreo se consideraron las siguientes invariantes al momento de la elección de los casos: formas de agrupación y uso (aislado-residencial); tipología constructiva o característica de la envolvente; ubicación y clima (condición de valle interior); y año de construcción y estado de conservación del inmueble (no mayor a 5 años de antigüedad). Se obtuvo un registro periódico de humedad relativa y temperatura del aire cada 15 minutos para la estación de verano e invierno con un tiempo de medición total de 336 horas continuas. Además, en el periodo de invierno fue incorporado un sensor tipo termocupla al dispositivo de cada habitación para registro de temperaturas superficiales del muro de estudio. Como herramientas de registro se realizaron fichas para el

levantamiento de información en terreno, que fueron completadas a partir de la observación, conversaciones con los propietarios y a partir de documentos e información técnica entregada por parte de los arquitectos a cargo de la construcción de las viviendas. Con esta información y en conjunto con un registro fotográfico se realizó el levantamiento planimétrico y volumétrico de los casos de estudio.

En la segunda etapa, se busca construir una base de datos que evidencie el comportamiento térmico de diferentes soluciones constructivas desde un método prescriptivo, siguiendo los métodos de cálculo de la NCh 853 (2007) para determinar los valores de resistencias y transmitancias térmicas (U); y la herramienta de emulación de masa térmica Dynamic Thermal Property Calculator de The Concrete Center (MPA, 2019) para determinar valores de admitancia térmica (Y)³. En ambos casos se analizó el espesor, densidad, conductividad térmica y capacidad calorífica de los materiales que componen las envolventes de análisis. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la etapa anterior, se considera el estudio de ciertas variaciones en los paquetes constructivos analizados: en el caso de la quincha liviana seca (V01), se definieron tres variantes: el espesor del revoque grueso y su posición hacia el interior o el exterior del muro; el espesor y el tipo de aislante (si es húmedo o seco) y por último el espesor completo del muro, considerando escuadrías de 2x4" o 2x6" para la estructura de madera. La modificación de los rellenos incluyó espesores de 90 y 138 mm.

Respecto al grosor de los revoques, se experimentó con el aumento de 25 a 50 mm tanto en ambas caras del muro o solo hacia el interior. El propósito de estas variaciones fue estudiar el comportamiento de la masa térmica exclusivamente hacia el interior del muro. Cabe destacar que esta modificación supone instalar una nueva malla electrosoldada entre las capas de revoque, para contener el relleno y asegurar la verticalidad del muro. En cuanto al resto de viviendas, fueron modificadas solo el caso de albañilería de ladrillo (V02) y de hormigón armado (V03). Se efectuaron cambios destinados a evaluar cómo varía el rendimiento del muro al situar el aislamiento en su parte exterior.

Por último, en una tercera etapa, los resultados simulados se obtienen mediante simulaciones térmicas dinámicas realizadas con el software Design Builder® para simular la demanda de calefacción y refrigeración anual por metro cuadrado de cada habitación, analizando individualmente cada solución constructiva que compone la envolvente de muros del recinto de medición. Cada caso fue calibrado en función al área de ocupación de la habitación por persona (m²/persona), considerando una renovación de aire por hora (1,00 ren/h) y suponiendo una programación 24/7. Tomando como referencia los valores reales, se considera también el estudio de las variaciones de la etapa 2 de la envolvente de muros de cada habitación, a modo de explorar alternativas para su optimización. Las iteraciones de cada sistema constructivo evalúan cómo influye en el comportamiento de la envolvente térmica la cantidad y posición tanto del material aislante como de su respectiva masa térmica para reducir las demandas de energía. Estos resultados fueron contrastados con las exigencias prescriptivas de la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS), que actualiza los requisitos de transmitancia de la envolvente y desempeño de demanda de energía en términos de kWh/m²*año según las zonas climáticas indicadas en la NCh 1079 (2019); y con los valores promedio a nivel nacional de demanda energética anual para calefacción y refrigeración que indica la herramienta de Calificación Energética de Vivienda (CEV).

De este modo y tomando las tres aristas de análisis, se obtiene un marco de comparación para contrastar los resultados obtenidos, realizando un balance respecto a indicadores de demanda energética y confort higrotérmico en las viviendas analizadas.

³ La admitancia térmica refiere a la capacidad que posee un material para intercambiar calor con el medio cuando se somete a variaciones cíclicas de temperatura, generalmente durante un periodo de 24 horas (MPA, 2019).

4 RESULTADOS

4.1 Resultados confort higrotérmico

Los principales resultados demuestran que la quincha liviana seca, a partir de su innovación, alcanza un mejor desempeño en comparación con los otros sistemas estudiados en la mayoría de los casos (figura 3). En términos de confort higrotérmico, en un periodo de dos semanas de medición para verano, la habitación de quincha liviana seca (V01) obtuvo el valor más alto entre los casos, con un 95% dentro de la temperatura ideal de confort térmico y un 90% del tiempo en el rango óptimo de humedad relativa, esto debido al equilibrio entre una buena capacidad aislante ($U < 1 \text{ W/m}^2\text{K}$) y moderada inercia térmica ($Y > 4 \text{ W/m}^2\text{K}$); no así para el periodo de invierno, donde se evidenció el requerimiento de mayores inputs de calefacción si las ganancias internas son bajas o nulas⁴. Durante el periodo de verano la habitación V01 describe un comportamiento muy similar a la albañilería de ladrillo (V02) pero con una menor amplitud respecto a las diferencias entre máximas y mínimas de temperatura registrada al interior de la habitación. Para el caso de hormigón armado (V03), se registraron oscilaciones de temperatura más regulares durante el periodo de análisis, pero a mayores grados de temperatura en comparación con la quincha liviana seca que permanece en temperaturas más estables. En comparación, se observan mayores desfases entre la temperatura exterior e interior en el caso V01, lo que demuestra que el muro está absorbiendo calor y liberándolo en periodos más prolongados respecto al resto de los casos de estudio. Por otro lado, el caso de tabiquería ligera (V04) si bien alcanza mayores tiempos dentro del rango de confort térmico, demuestra oscilaciones de temperatura interior muy amplias entre el día y la noche durante el periodo de invierno, alcanzando temperaturas máximas incluso más altas que la temperatura exterior. Lo anterior refiere a lo susceptible que es el muro de tabiquería ligera a las fluctuaciones de temperatura exterior, demostrando pulsaciones de calor similares a las condiciones exteriores.

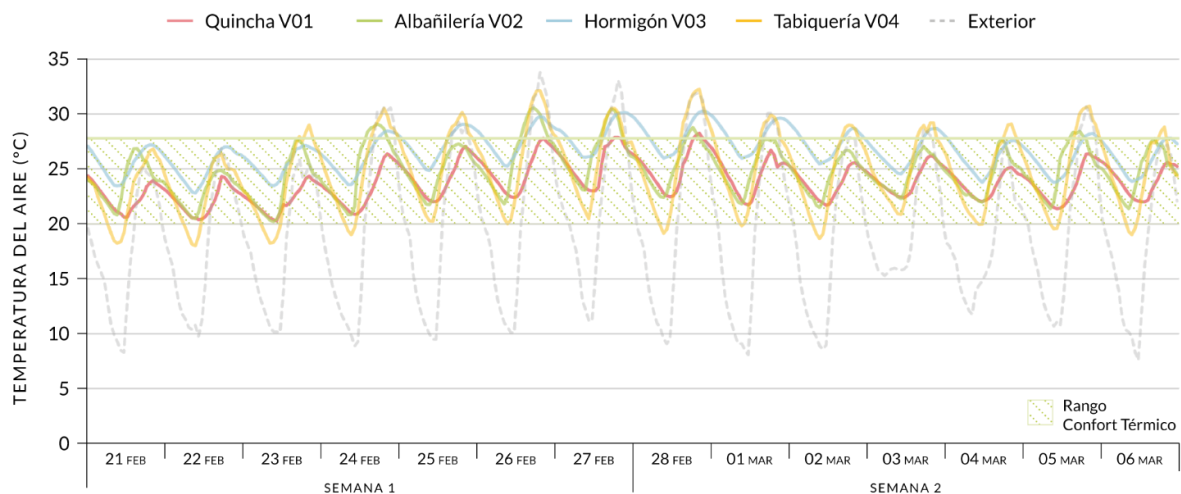


Figura 3. Resultados T^0 periodo de verano de casos de estudio

En cuanto a las variantes de quincha liviana con relleno seco demuestran una disminución mínima en su admitancia térmica (Y) al disminuir el espesor del aislante de 138mm a 90mm (- 4%), en cambio, al aumentar el espesor de los revoques gruesos para la cara interna y/o externa del muro su admitancia térmica aumenta hasta en un 46% (figura 4). En el caso de las variantes con relleno húmedo, los valores de Y alcanzan los resultados más altos, con incrementos de hasta un 50% al incorporar mayor cantidad de aislante de paja con barbotina y combinarlo con un aumento de su revoque grueso hacia el interior del muro, lo que se

⁴ Cabe señalar que, durante el periodo de medición de invierno, las habitaciones de los cuatro casos de estudio presentaron ocupaciones intermitentes e incluso nulas por parte de sus habitantes, lo que influyó en los resultados obtenidos sobre el comportamiento de la habitación en todos los casos. Sin embargo, los resultados fueron respaldados a partir de cálculos teóricos y bibliografía para tener indicadores más fehacientes y poder concluir los alcances demostrados.

traduce en mayores tiempos de retardo para la transmisión de calor al interior del muro. Finalmente, la opción de quincha liviana seca analizada en el caso de estudio (V01), y su versión mejorada con un aumento en el revoque grueso interior (V01I) cumplen hasta la zona “E” según la NCh 1079 (2019) en relación con los requisitos de transmitancias y resistencias térmicas máximas, cumpliendo con el estándar de construcción sustentable en cuanto a aislación para climas más fríos.

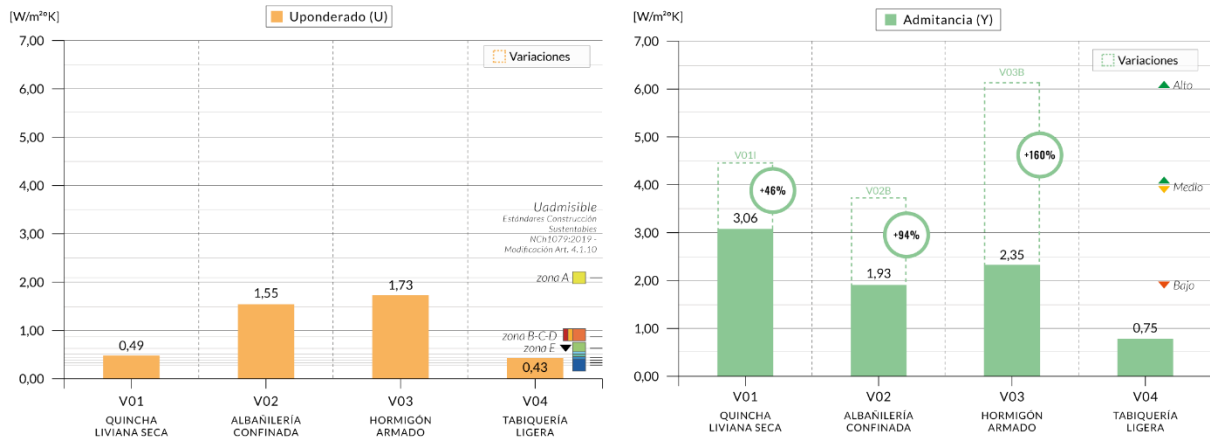


Figura 4. Resultados transmitancia y admitancia térmica de casos de estudio según cálculo teórico

4.2 Resultados eficiencia energitèrmica

Tomando como referencia los valores de demanda energètica para calefacci3n y refrigeraci3n que propone la CVS y la CEV en Chile y, todos los casos analizados poseen una demanda anual de calefacci3n inferior al promedio nacional (164 kWh/m²), no así la demanda anual de refrigeraci3n en el caso V02 (albañilería confinada), V02B (albañilería confinada mejorada) y V03 (hormig3n armado), que se encuentran por sobre los 64 kWh/m² promedio.

El caso V01 (quincha liviana seca) presenta una menor demanda de refrigeraci3n (22 kWh/m²*año) y calefacci3n (56 kWh/m²*año), cumpliendo para ambos casos con los estàndares de demanda energitèrmica propuestos en la CVS, alcanzando incluso requisitos de demanda máxima para el caso de la envolvente mejorada en el caso de exigencias de calefacci3n (Figura 5). Los resultados demuestran que el sistema de reinterpretaci3n de quincha liviana seca presenta una menor demanda energitèrmica por metro cuadrado respecto a los otros sistemas constructivos evaluados, con una reducci3n de demanda de calefacci3n de un 81% y de refrigeraci3n de un 55% respecto a la resultante más alta de los otros casos estudiados, correspondiente al caso del sistema de albañilería confinada (V02).

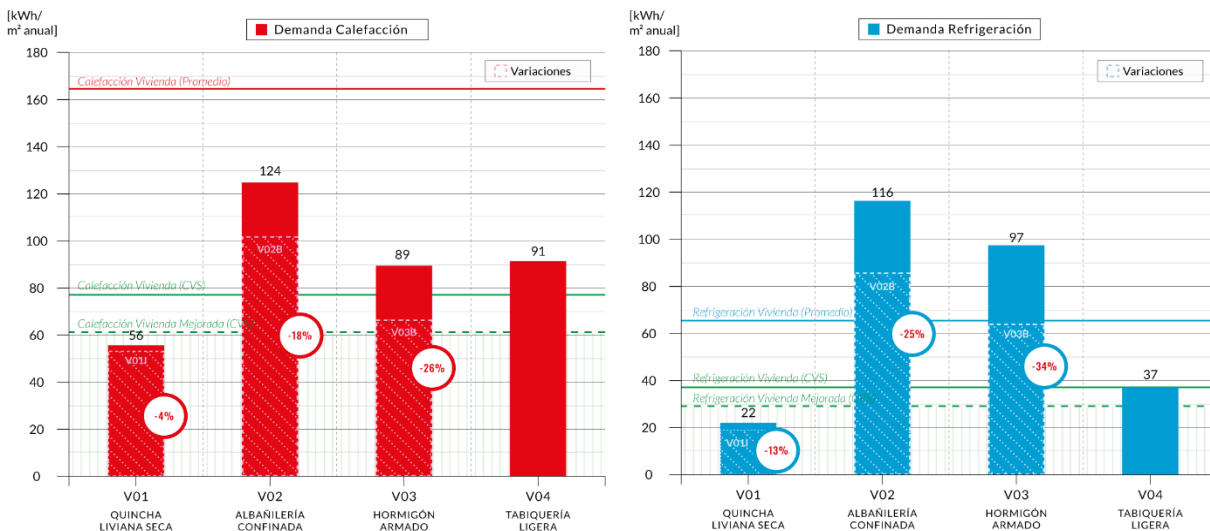


Figura 5. Resultados demanda energitèrmica de casos de estudio según simulaciones térmicas

Con las modificaciones evaluadas para ambos casos (V02B y V03B) al considerar el material aislante por fuera de la envolvente, las demandas de calefacción y refrigeración se reducen sólo en un 18 y 25% para el caso de albañilería y un 26 y 34% para el caso de hormigón armado, respectivamente. El caso V04 (tabiquería ligera) cumple con el requisito de demanda máxima para refrigeración propuestos por la CVS (con 37 kWh/m²*anuales), no así la demanda de calefacción, la cual alcanza los 91 kWh/m²*anual.

Por otro lado, las variaciones del sistema de quincha liviana estudiados indican que la utilización de aislante seco y un mayor espesor en los revoques gruesos de tierra cruda contribuyen significativamente a la reducción de la demanda energética (Figura 6). Sin embargo, al cambiar de relleno seco a húmedo, se observa una disminución en la demanda de refrigeración, pero un incremento en la demanda de calefacción, lo que resalta la importancia de la selección de materiales según las necesidades climáticas específicas.

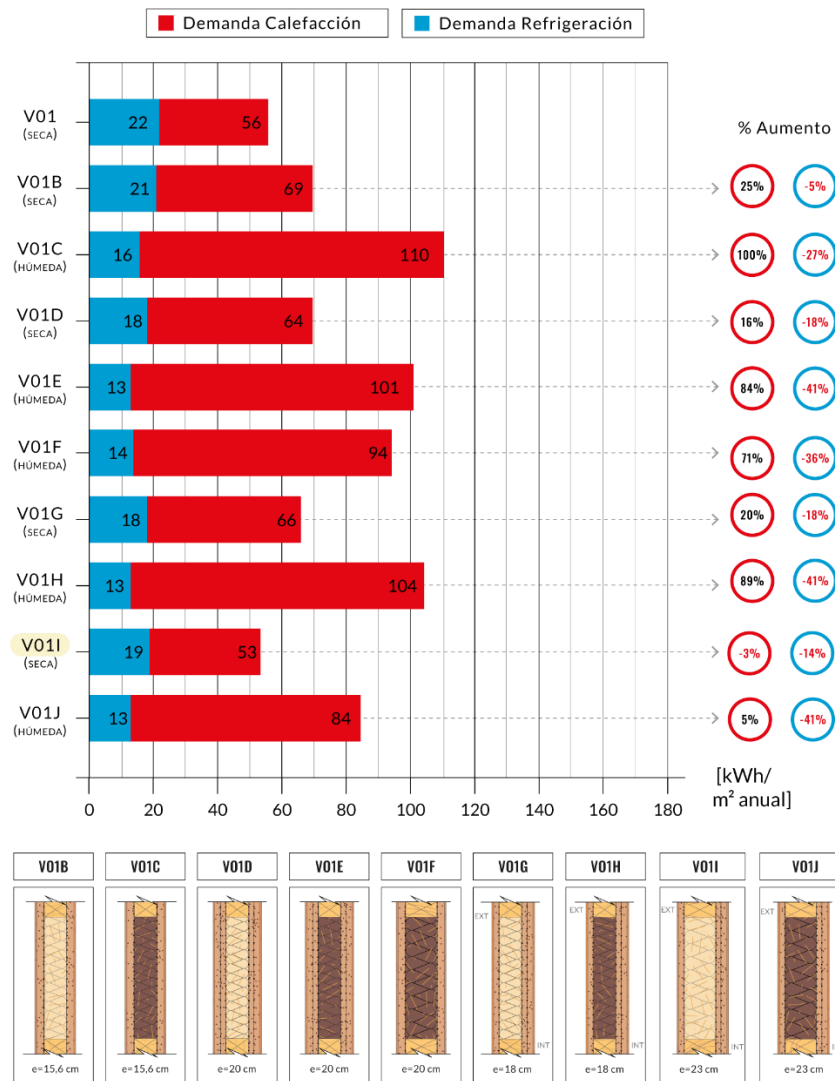


Figura 6. Resumen demanda energétimica anual variantes de quincha liviana

Respecto a los resultados de las variaciones realizadas para el caso de la quincha reinterpretada, la demanda anual de refrigeración demuestra una variación positiva en todos los casos, siendo las variaciones que utilizan relleno húmedo las que presentan una menor demanda de enfriamiento a nivel general. Además, se observa que, al modificar el relleno de seco a húmedo, aumentar el espesor de dicho elemento aislante y aumentar su masa térmica a partir de un mayor espesor en los revoques gruesos, se demuestra una mayor reducción de demanda de refrigeración respecto a la configuración original de la envolvente estudiada (hasta un 41%). También, se observa que la variación en el espesor de los revoques gruesos

de tierra de 25 a 50 mm altera mínimamente la demanda de refrigeración del recinto en cuanto no se combine con un mayor espesor de aislante, siendo despreciable en la mayoría de los casos; no así la variación del elemento aislante, en el cual influye significativamente el material que se incluya en el alma del tabique (sea este seco o húmedo). En cuanto a la demanda anual de calefacción, al contrario que la demanda de refrigeración, esta tiende a aumentar al modificar el relleno de seco a húmedo, logrando incluso duplicar su valor de demanda. Las demandas de calefacción son mucho más susceptibles a incrementarse al modificar el tipo de relleno en comparación con las demandas de refrigeración.

5. CONCLUSIONES

El diálogo entre materiales tradicionales y contemporáneos ha permitido mejorar las deficiencias que presentaba el sistema tradicional de quincha, entregando un precedente de reinterpretación de un sistema constructivo de carácter patrimonial con estándares que cumplen con los requerimientos actuales de construcción sustentable.

El estudio de la quincha contemporánea tomada como caso de estudio, aunque dista de ser una representación tradicional de las construcciones patrimoniales, proporciona un primer paso importante para el estudio de los materiales según sus respectivas mejoras considerando valores previamente validados. Por este motivo, el análisis más bien ilustra un rango operativo en el que se puede mover este tipo de edificaciones en cuanto a desempeño higrotérmico. El sistema constructivo mantiene las temperaturas internas de la habitación más estables al reducir la transferencia de calor hacia dentro en verano y hacia afuera en invierno.

Los valores U y R_t , por sí solos, no proporcionan una comprensión completa del comportamiento térmico del muro, dado que sólo respaldan su capacidad aislante en un estado estacionario y no reflejan necesariamente la manera en que el muro opera respecto a los intercambios de calor con el medio en función del tiempo. Esto queda evidenciado desde la lectura del comportamiento de las temperaturas superficiales de los muros respecto a las condiciones del ambiente interior y las horas totales de confort térmico para periodos de verano e invierno.

Al igual que ocurre con los sistemas de hormigón armado o la albañilería, la quincha ofrece una variedad de combinaciones y posibilidades que incluso pueden ajustarse para satisfacer distintos requerimientos térmicos según las condiciones climáticas. Esta versatilidad demuestra que la quincha puede adaptarse a las necesidades higrotérmicas de un espacio a partir de modificaciones sutiles en la configuración del muro.

En base a estos resultados, la quincha se presenta como una opción competitiva respecto a los requerimientos térmicos de climas templados y de alta oscilación térmica, ya que ofrece un equilibrio entre capacidad aislante y masa térmica que la hace ideal para amortiguar las fluctuaciones extremas de temperatura. De esta manera, permite una mayor flexibilidad al momento de seleccionar estrategias bioclimáticas, como la orientación de la vivienda o la calefacción solar pasiva. Sus diferentes configuraciones, basadas en los mismos componentes, permiten mediar entre las capacidades aislantes y de masa térmica de la envolvente.

El estudio demuestra que algunas variaciones en la quincha liviana, como utilizar paja seca o paja aglomerada con barbotina, aumentar el espesor del material aislante y/o de los revoques gruesos, pueden mejorar la eficiencia energitérmica de la vivienda. Sin embargo, el tipo de aislante y su espesor son determinantes; mientras que el aislante seco mejora la demanda de calefacción, el aislante húmedo reduce la necesidad de refrigeración. Basado en los resultados, se puede adelantar que mientras mayor sea el espesor del aislante del tipo relleno seco para el caso de la quincha, menor será la demanda energética requerida para calefaccionar. Esto, sumado a un ideal espesor en los revoques de tierra, garantiza también una reducción en la demanda de refrigeración anual.

La quincha liviana seca demuestra una reducción significativa en la demanda energética anual únicamente aprovechando las propiedades de los materiales que la conforman. Estos indicadores subrayan el valor que poseen los sistemas constructivos tradicionales para desarrollar envolventes más eficientes, reconocidas por cumplir con estándares de acondicionamiento térmico y energía.

Los resultados confirman la importancia del diseño y la elección de materiales en la construcción para mejorar la eficiencia energética y el confort térmico en las viviendas, dado que la combinación entre capacidad aislante e inercia térmica es ideal para la demanda energética que representa la zona térmica evaluada, resultando en una mayor eficiencia energotérmica respecto a otros sistemas constructivos convencionales. De este modo, la quincha liviana se posiciona como un ejemplo exitoso de construcción sostenible en el contexto de Chile, según sean los requerimientos climáticos.

En conclusión, la optimización de la envolvente térmica de las viviendas mediante el uso de materiales sostenibles y técnicas constructivas adecuadas puede conducir a una significativa mejora en la eficiencia energética, en la calidad del aire interior, y en la reducción de la huella de carbono en el sector de la construcción. Esto último se alinea con los objetivos establecidos en el Plan Nacional de Eficiencia Energética de Chile hacia una transición energética sustentable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, R.; Broughton, J.; Carillo, O. (2022). Construcción en quincha liviana. Sistemas constructivos sustentables de reinterpretación patrimonial. Santiago de Chile.

Barros, L., Álvarez, L.; Imhoff, F. (2014). Terra: Desde la tradición a la innovación tecnológica en sistemas constructivos a base de tierra cruda. Disponible en: <http://pablobarros.cl/files/conferences/Terra%20-%20Arquitectura%20en%20Tierra.pdf>

Cabrera, S.; Guillarducci, A.; González, D.; Suarez, M. (2023). Evaluation of the thermal conductivity and transmittance coefficient of earthen constructive elements. *Habitat Sustentable*, 13(1), 8–19. Doi: <https://doi.org/10.22320/07190700.2023.13.01.01>

CChC (2019). El sector de la construcción ante el desafío climático global. Cámara Chilena de la Construcción. Disponible en <https://cchc.cl/uploads/archivos/archivos/Fundamenta-45.pdf>

Dávila, V.; Contreras, J. (2022). El adobillo. Cultura constructiva de Valparaíso. Fondo Nacional de Desarrollo Cultural y las Artes. Disponible en <https://eladobillo.com/wp-content/uploads/2022/08/El-adobillo-cultura-constructiva-de-Valparai%CC%81so-1.pdf>

Jorquera, N. (2022). Patrimonio chileno construido en tierra. Ediciones ARQ

Mesquita, C. (2012). Revestimientos continuos interiores de varias capas con características de barrera de vapor e higroscopicidad. Tesis (Doctoral), Escuela Técnica Superior de Madrid. Doi: <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.14898>

Ministerio de Energía. (2020). Estrategia de transición energética residencial. Gobierno de Chile.

Ministerio de Energía. (2022). Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026. Gobierno de Chile.

Minke, G. (2010). Manual de construcción en tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. EcoHabitar.

MPA (2019). Thermal mass explained. The Concrete Center. Disponible en www.concretecentre.com/

NCh 853 (2007). Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Chile: Instituto Nacional de Normalización

NCh 1079 (2019). Arquitectura y construcción – zonificación climática y térmica para el diseño de edificaciones. Chile: Instituto Nacional de Normalización

Piesik, S. (2017). Hábitat: Arquitectura vernácula en un mundo cambiante. BLUME

Velásquez, P.; Torres, L. (2017). Incertidumbre térmica en el alma de un muro de quincha: Matriz de experimentación de mezclas de tierra-paja para relleno de muros en las zonas térmicas 3 y 4 de Chile. Universidad del Bío-Bío.

Whitman, C.; Armijo, G.; Roubelat, L. (2016). Pobreza energética: Perspectiva desde la intervención urbana, edificación y el medio ambiente. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/303231066>

Wieser, M.; Onnis, S.; Meli, G. (2018). Conductividad térmica de la tierra alivianada con fibras naturales en paneles de quincha. Disponible en <http://files.pucp.edu.pe/facultad/arquitectura/2019/11/27173426/2018-SIACOT-Wieser-Onnis-Meli.pdf>

AUTORES

Claudia Bustamante Rubiño, Magíster en Rehabilitación Arquitectónica Sostenible en la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. Currículo completo en <https://bit.ly/3peVWBF>

Pablo Sills Garrido, MSc Renewable Energy and Architecture, University of Nottingham, UK. Arquitecto, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Profesor Docente Auxiliar, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. Asesor en eficiencia energética y habitabilidad.