

REVISION DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE CUBIERTAS CONVENCIONALES CON RESPECTO A CUBIERTAS MIXTAS MADERA-TIERRA DE DOS VIVIENDAS

Pilar Silva¹, André Acuña², Hector Altamirano³

¹Red Iberoamericana PROTERRA, Universidad de Talca, Chile. ipilarsilvam@gmail.com

²Facultad de ingeniería y Arquitectura Universidad Central, andre.acuna@alumnos.ucentral.cl

³Institute for environmental design and engineering, BSEER, UCL, Londres, ucfthal@ucl.ac.uk

Palabras clave: aislación, techumbre, quincha, mediciones, confort térmico

Resumen

En la Comunidad ecológica de Peñalolén, en Santiago de Chile se han construido más de 300 viviendas de tierra durante los últimos 45 años, muchas de ellas mezclan el uso de materiales naturales con otros sintéticos industrializados, generalmente es el techo el que se sacrifica, para alivianar los pesos, aumentar velocidad de construcción, o en algunos casos solo por temor a usar tierra sobre la cabeza. A través de un estudio de mediciones específico de la influencia del aislamiento del techo, en dos casas de muros de quincha, pero con techumbres construidas distintas, se pretende demostrar la capacidad de la casa construida con tierra y materiales naturales, para proporcionar un confort térmico. Luego de medir durante 7 meses con sensores de temperatura y termómetros de superficie ambos casos, se llegó a la conclusión que la utilización de estos materiales ecológicos, en toda la envolvente de la edificación mantiene estables las temperaturas de confort. El estudio que debiera proseguir es ¿cuánto contribuye esto a disminuir el gasto energético y las emisiones contaminantes? Pues, una hipótesis subyacente en esta propuesta sería, que, a largo plazo, el gasto energético de mantención de temperaturas de confort en el interior de los espacios se reduciría con esta envolvente natural, por la poca dependencia de fuentes de calefacción y aire acondicionado, esto para contribuir a la disminución de la huella ecológica.

1 INTRODUCCIÓN

En la Región Metropolitana de Chile, se han registrado cambios significativos en los aumentos de temperatura durante la última década. El año 2020 fue considerado el segundo año más cálido desde 1880 (Dirección General de Aeronáutica Civil, 2021)

El bienestar térmico en las viviendas es un aspecto importante para sus habitantes; tener mayor comodidad en su refugio diario puede incidir en muchos aspectos anímicos y de salud (Espinosa; Cortés, 2015). Sin embargo, en muchas viviendas chilenas este tema se ve afectado debido al uso de normas desactualizadas o a condiciones climáticas anómalas que no considera la norma nacional. El confort térmico en una vivienda está influenciado por varios factores, como los materiales de la construcción, la orientación solar, las condiciones climáticas y otras variables que pueden afectar el ambiente interior (Bustamante; Rozas, 2009).

Existen diferentes entidades y normas, tanto a nivel internacional como nacional, que definen lo que es el confort térmico. En el ámbito nacional, el Ministerio de Obras Públicas tiene su propia definición: ausencia de malestar térmico. Sin embargo, este estado de confort es subjetivo, ya que cada persona puede tener diferentes niveles de satisfacción relativos a su vez a la diversidad climática del entorno habitado (CDT, 2016).

En Santiago de Chile, región del estudio, se ha observado que algunos días de verano pueden alcanzar los 40°C y temperaturas invernales por debajo de 0°C (Dirección Meteorológica de Chile, 2021). Estas variables generan la necesidad de contar con soluciones de condiciones

de la envolvente térmica que superen los estándares mínimos establecidos por las normativas nacionales vigentes.

Para abordar uno de los problemas más comunes en las viviendas en Chile, es fundamental comprender su naturaleza. El sector residencial consumió 50.763 GWh de energía en 2018 (CDT/In-Data, 2019). Este consumo energético en las viviendas se destina a satisfacer diversas necesidades como iluminación, cocina, entretenimiento, trabajo y aseo. Sin embargo, el mayor porcentaje de consumo se atribuye a la calefacción o climatización, que corresponde al 53% del consumo total de energía en el sector residencial. Es importante mencionar que este consumo energético incluye gas, electricidad y el uso de leña, que, a pesar de estar en el siglo XXI, sigue siendo ampliamente utilizado por gran parte de la población chilena.

Una vez entendido el elevado consumo energético generado por las viviendas anualmente, surgen puntos importantes para considerar. En primer lugar, es necesario comprender las causas de este exceso de consumo energético, que incluyen la falta de aislación térmica en muchas viviendas y la falta de conocimiento sobre los efectos perjudiciales para la salud y el medio ambiente de ciertas fuentes de calefacción, como la quema de leña, y climatización (SMA, 2020).

Paralelamente existen ciertos materiales de aislación térmica sintéticos que dependen de un alto consumo energético para su fabricación (Montaner, 2001), que producen un impacto ambiental considerable (Mota et al. 2012) y contribuyen a la contaminación, generación de basuras y por “cada material extraído de la litosfera acaba degradado y vertido sobre la delgada capa de biosfera que recubre el planeta, contaminándola y condicionando la continuidad de la vida” (Wadel et al., 2010, p. 38)

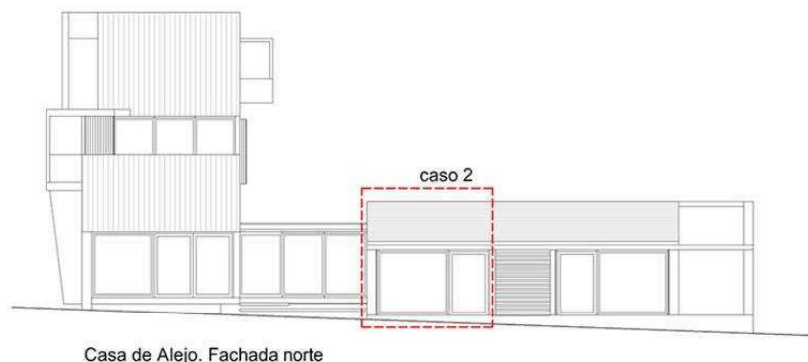
Por esto el interés de estudiar alternativas de envolvente térmica constituida por materiales naturales, madera y tierra, para poder aportar a la búsqueda de alternativas menos contaminantes y con mejores efectos de ahorro de energía gracias a sistemas pasivos.

Se presenta a continuación las mediciones sobre dos casos: uno con envolvente completa de materiales naturales (madera-tierra-paja) muros y techo; y un segundo caso con muros de quincha y techo aislado con lana mineral, pues es una alternativa que se escoge masivamente porque resulta más liviana y rápida de ejecutar.

2 OBJETIVO

El objetivo es medir la eficiencia de la quincha como cubierta completa (techo) (caso 1) para mantener el grado de confort de temperatura interior y medir el efecto de los muros de quincha, con aislación de techumbre con lana mineral (caso 2).

Interesa observar la eficiencia de cada una para mantener las temperaturas de confort interior en distintas condiciones climáticas.



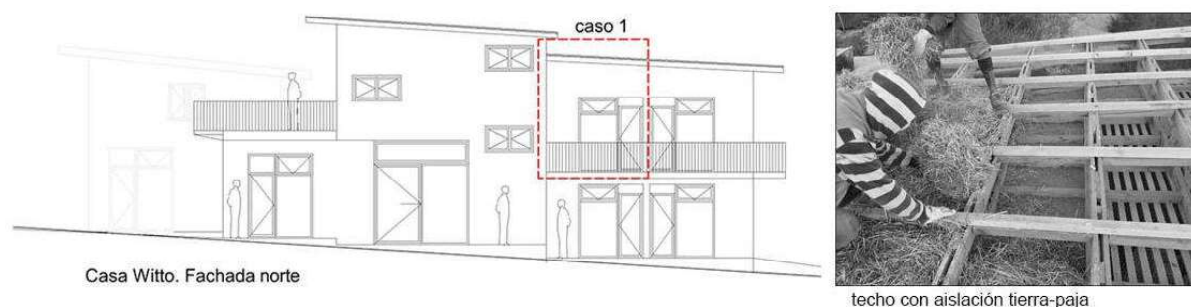


Figura 1. Elevación de fachada norte de casa Alejo y Witto, junto con su respectivo sistema constructivo

3. METODOLOGÍA ADOPTADA

3.1 Antecedentes

Este proyecto se enfoca en medir las temperaturas en dos estaciones del año, verano y otoño. Los casos de estudio son dos recintos, cada uno dentro de una vivienda distinta, pero cercanas en ubicación (aproximadamente a 300 m de distancia y con la misma orientación solar). Se eligen estos casos porque su volumen espacial, cantidad y calidad de soleamiento y perímetro construido son muy parecidas, lo que las diferencia es que una de ellas tiene una techumbre aislada con lana mineral, y el otro sistema de tierra-paja.

3.2 Recopilación de datos

Los datos se recolectan de dos maneras diferentes. En primer lugar, se emplean dos instrumentos de medición: termómetros de superficie y sensores de temperatura. Estos sensores se instalan tanto en el interior como en el exterior de las viviendas. De esta forma, se recopila información precisa sobre las condiciones térmicas y de humedad en ambos entornos.

Por otro lado, se obtuvieron datos técnicos de las dos viviendas. Se recabó información relevante acerca de las características constructivas de las viviendas, como materiales utilizados en la aislación térmica, espesores de los muros, tipo de ventanas, entre otros aspectos.

Combinando estos enfoques de recolección de datos, se obtuvo un panorama completo que permite realizar una comparación exhaustiva de las condiciones de aislamiento térmico de ambas viviendas, representadas en el registro de los recintos antes descritos.

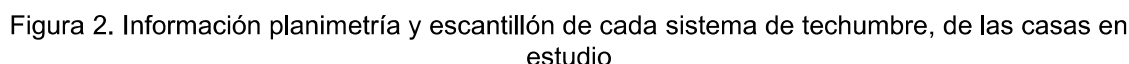
Posteriormente, se complementan estas mediciones iniciales con un análisis detallado de la transmitancia térmica (U) de cada sistema constructivo. Al evaluar la transmitancia térmica de los elementos constructivos clave, como paredes y techos. Se obtiene información valiosa sobre su eficiencia energética y capacidad de aislación térmica.

4 MARCO TEÓRICO – SISTEMA CONSTRUCTIVO CON QUINCHA

En la localidad de este estudio, donde actualmente aún se construye con quinchas, esta se emplea de diversas formas en los muros. La estructura más utilizada es de madera típica con tabiques de 2" x 4" rellenos con tierra y paja recubierta con malla electrosoldada en reemplazo de los listones de caña o madera, revestida con estucos de tierra. También se encuentra este sistema aplicado con estructuras metálicas y malla electrosoldada plegada. Sin embargo, en las cubiertas, la mayoría de las veces se opta por aislaciones con materiales industrializados como lana mineral o poliestireno expandido, por temas de ahorro de tiempo en la ejecución, liviandad de las estructuras de techo y temores de diversa índole. Sin embargo, el estudio

La proporción de barro y paja en la mezcla puede ser variable y flexible, dependiendo de la arquitectura, su orientación solar, la estructura, la ubicación geográfica y el elemento en el que se aplique (muros o techo). La mezcla de barro y paja se puede ajustar a los requisitos mínimos de zonificación térmica o normas de aislamiento térmico. Un mayor contenido de paja proporciona mayor aislamiento térmico, mientras que un mayor contenido de barro proporciona mayor inercia térmica.

Las casas se adaptan a los requerimientos básicos de resguardo de temperaturas para la zona climática, tres de sus cuatro muros son de quinchá y el muro norte, que recibe la luz del sol durante todo el día, tiene grandes ventanales de termopanel (doble vidrio, con cámara de aire entre ambos), protegidos por un alero calculado para recibir el calor del sol en invierno y estar protegidos con sombra en verano.



165

datos se llevó a cabo durante el verano (2021) y otoño (2022). Para este propósito, se utilizaron sensores de temperatura y humedad Tinytag, así como termómetros de superficie.

Los sensores de temperatura y humedad Tinytag fueron instalados en cada habitación de las viviendas objeto de estudio. Las mediciones se realizaron una hora después de la instalación de los sensores y se registraron de manera continua a intervalos de una hora hasta su retirada. En los registros se incluyeron la fecha y hora de inicio y finalización de las mediciones, el número de mediciones realizadas, así como los valores medios, máximos y mínimos obtenidos.

Para el caso de los termómetros de superficie, estas mediciones se planificaron de manera diferente, definiendo la cantidad de mediciones a realizar (una por mes), el horario específico para llevar a cabo dichas mediciones y la superficie que sería medida en el interior de los dos casos de estudio.

En el estudio realizado, se llevaron a cabo cálculos de transmitancia térmica (U) y resistencia térmica (R_t) para los materiales predominantes en la aislación térmica de cada habitación, específicamente los muros y sistemas de techumbres.

Para calcular la transmitancia térmica, es necesario descomponer cada elemento en material aislante y material soportante, en este caso, madera en ambos casos. Esto permite realizar un análisis completo y realista de la transmitancia térmica en cada caso de estudio. En el proceso de cálculo, se considera la ubicación de las construcciones dentro de la zona térmica correspondiente y se definen o calculan las resistencias superficiales.

Con la identificación de los materiales que componen los sistemas constructivos y se obtienen las resistencias térmicas individuales de cada uno. Este enfoque permite realizar un cálculo más específico y completo de la conductividad térmica.

Una vez obtenidos los valores de transmitancia térmica por elemento y por cada material aislante y soportante, se determina el porcentaje de superficie que ocupa cada uno de ellos. Por ejemplo, en el caso del cielo de quinchá seca, se define un porcentaje de material aislante del 90% y material soportante del 10%.

Utilizando una operación simple entre el porcentaje de superficie y la transmitancia térmica del elemento correspondiente, se obtiene la transmitancia térmica total por elemento. Luego, se suman los resultados obtenidos para el material aislante y el material soportante, lo que da como resultado la transmitancia térmica total de la solución constructiva.

Estos cálculos de transmitancia térmica y resistencia térmica son fundamentales para evaluar el rendimiento térmico de los elementos constructivos y determinar su eficiencia en la aislación térmica de las habitaciones estudiadas.

6 RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este apartado se detallan los datos recolectados en los dos casos en estudio, vale decir, datos obtenidos mediante sensores de temperatura-humedad (Tinytag), termómetros de superficie y transmitancia térmica total.

6.1 Datos de temperatura

Las temperaturas registradas al interior de la casa Alejo (verde) y casa Witto (negro), y del exterior (azul) se exponen en las figuras 3 y 4.

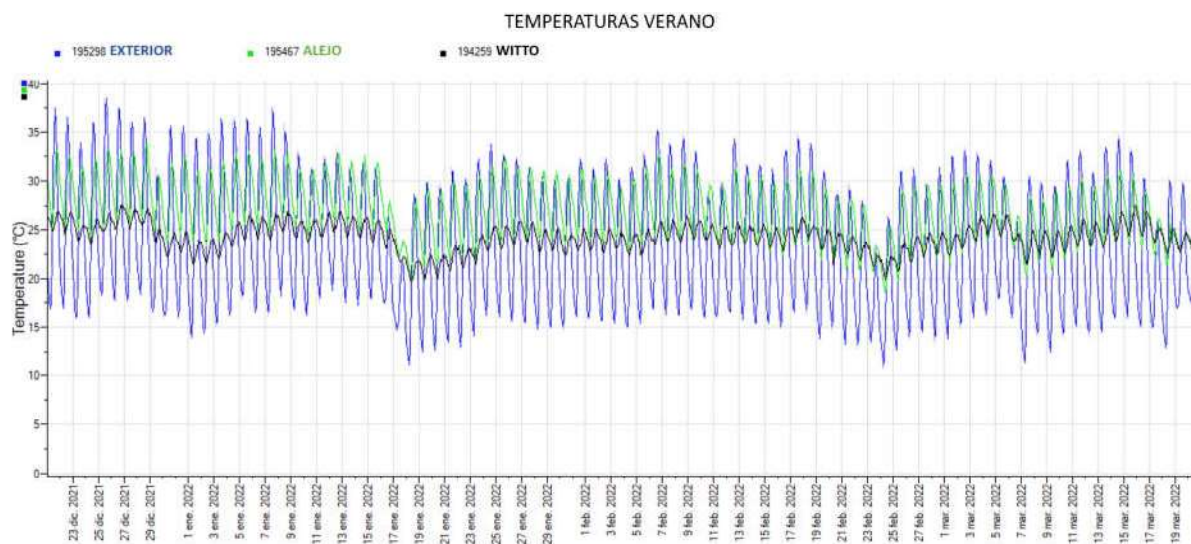


Figura 3. Gráfico de temperaturas internas de la casa Alejo y Witto, en contraste con la temperatura exterior, del 21 de diciembre al 20 de marzo (correspondiente a verano)

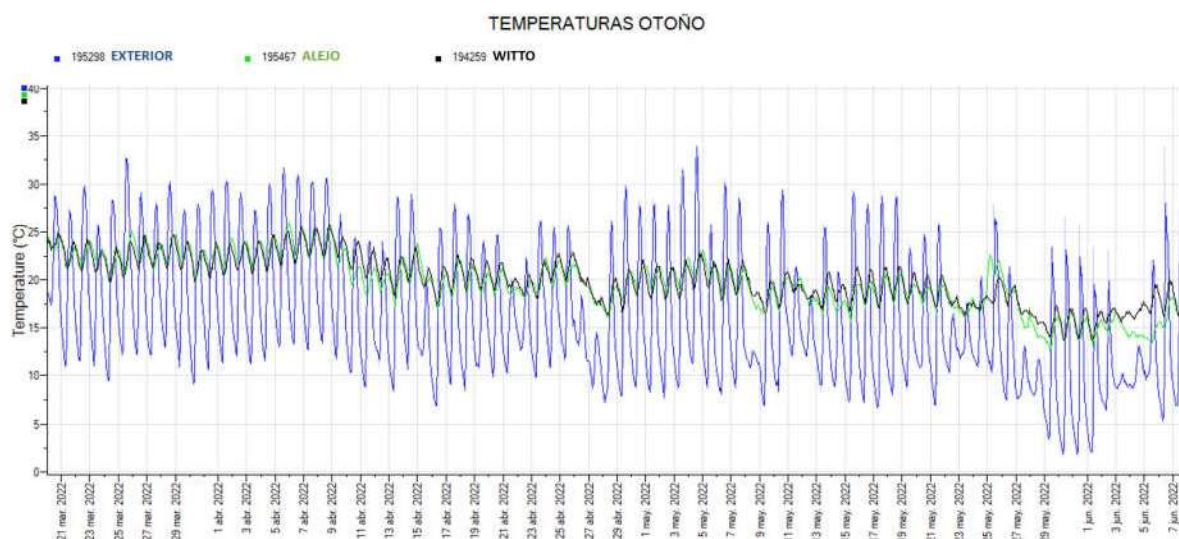


Figura 4. Gráfico de temperaturas internas de la casa Alejo y Witto, en contraste con la temperatura exterior, del 20 de marzo a 7 de junio (correspondiente a otoño)

En estos gráficos, el sensor exterior muestra la amplia oscilación de temperaturas con amplios rangos de diferencia en un mismo día.

La casa Witto, con aislación del techo de paja-tierra, mantiene el desarrollo de oscilación más acotado y estable durante todas las estaciones verano y otoño, en torno a 3°C de oscilación máxima.

La casa de Alejo, con aislación de lana de vidrio, mantiene más estable su oscilación térmica entre marzo y junio, durante el otoño; pero entre diciembre y marzo, que es verano oscila mucho más hacia las temperaturas altas, se registran oscilaciones de 11°C. Esto demuestra que la insolación del techo afecta la incidencia de las alzas de temperatura. Se puede pensar que una razón es la aislación de lana de vidrio en el techo, que no tiene coeficiente de inercia térmica, pero también hay que considerar que la superficie de ventanas es mayor que en la habitación de la casa Witto.

Tabla 1 - Registros para las mediciones realizadas con los sensores y temperatura y humedad al interior de las dos casas en estudio y la temperatura exterior

Descripción	194259 Casa Witto	195467 Casa Alejo	195298 Exterior
Registro iniciado	14-12-2021 21:23	14-12-2021 21:46	14-12-2021 21:23
Registro finalizado	07-06-2022 20:23	07-06-2022 19:46	07-06-2022 20:23
Intervalo	3600 s	3600 s	3600 s
Número de mediciones	4199	4199	4200
Medida de valor mínimo	13,4°C	12,3°C	1,6°C
Medida de valor máximo	27,6°C	33,9°C	38,5°C
Medida de valor medio	24,4°C	23,7°C	19,9°C

6.2 Datos de humedad

De acuerdo con el gráfico (figura 6), se exponen los valores registrados de la humedad interior en cada habitación, en contraste de la humedad exterior. Se observa una notable similitud en los registros durante las estaciones del año con temperaturas más elevadas. Sin embargo, a medida que las temperaturas comienzan a descender, se evidencia una desigualdad en la humedad interior, en el rango de abril a junio.

La discrepancia en la humedad interior podría atribuirse a múltiples factores interrelacionados. Se postulan posibles explicaciones como cambios en los patrones de ventilación y variaciones en los sistemas de climatización empleados en cada habitación.

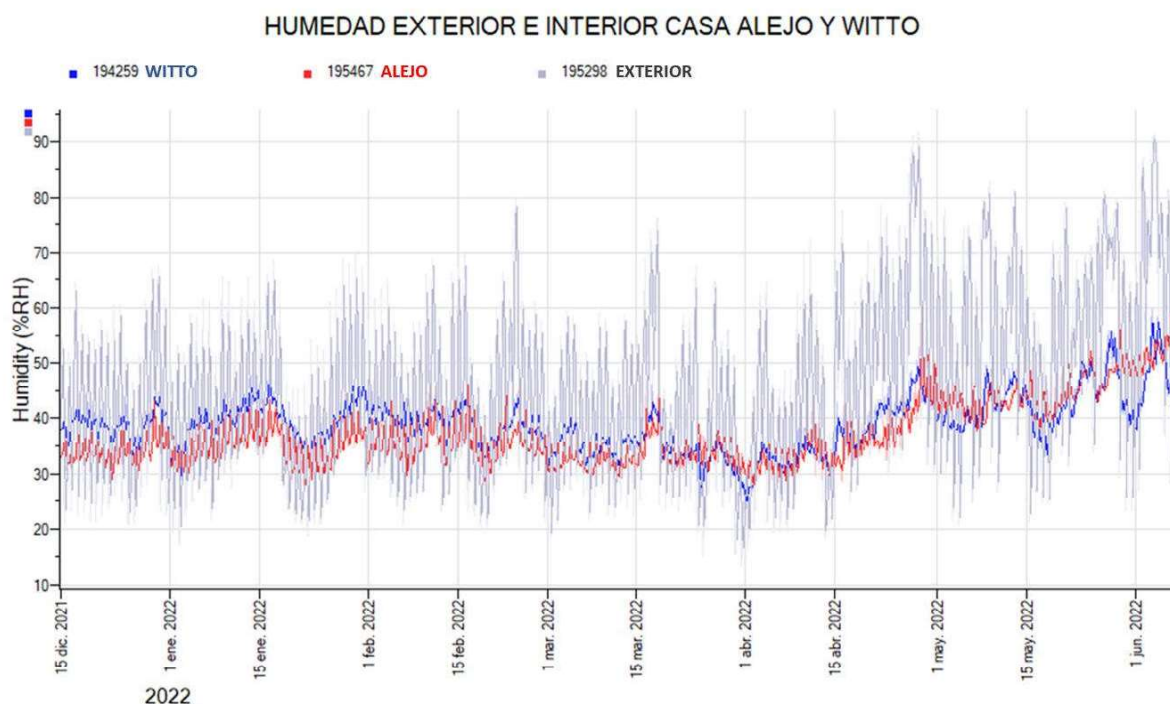


Figura 5. Gráfico de registros de humedad al interior de los dos casos de estudio y al exterior

En la tabla 2 se presentan los valores mínimos, máximos y medios de humedad relativa, para cada habitación. En donde, la casa Witto exhibe un promedio de humedad interior más elevado en comparación con la casa Alejo. Esto puede ser provocado por factores como, el diseño de la habitación y la vivienda, también, por el área y volumen distintos (habitación de casa Witto tiene un menor volumen que de la casa Alejo) lo que puede significar en un aumento de humedad.

Tabla 2 - Registros para las mediciones de humedad relativa (RH) al interior de las dos casas en estudio y la humedad exterior

Descripción	194259 Casa Witto	195467 Casa Alejo	195298 Exterior
Registro iniciado	14-12-2021 21:29	14-12-2021 21:46	14-12-2021 21:23
Registro finalizado	07-06-2022 17:29	07-06-2022 19:46	07-06-2022 20:23
Intervalo	3600 s	3600 s	3600 s
Número de mediciones	4198	4199	4199
Medida de valor mínimo	23,4%RH	26,1%RH	13,3%RH
Medida de valor máximo	59,9%RH	60,7%RH	91,8%RH
Medida de valor medio	39,1%RH	37,3%RH	46,3%RH

Estos hallazgos sugieren que existe una disparidad en la humedad relativa entre las dos casas analizadas. La casa Witto tiende a mantener un nivel promedio de humedad más alto, lo cual puede estar relacionado con factores como el diseño de la construcción, la ventilación o el uso de sistemas de climatización. Por otro lado, la casa Alejo muestra mayores fluctuaciones en la humedad interna, lo que puede deberse a diferentes condiciones ambientales y prácticas relacionadas con el manejo de la humedad.

6.3 Resultados de termómetros de superficie

En el apartado siguiente se presentan los registros de mediciones de la superficie del cielo, de las dos habitaciones a distintas horas del día y en diferentes fechas del año. Por medio de un gráfico agrupando la información por fecha y hora de medición.

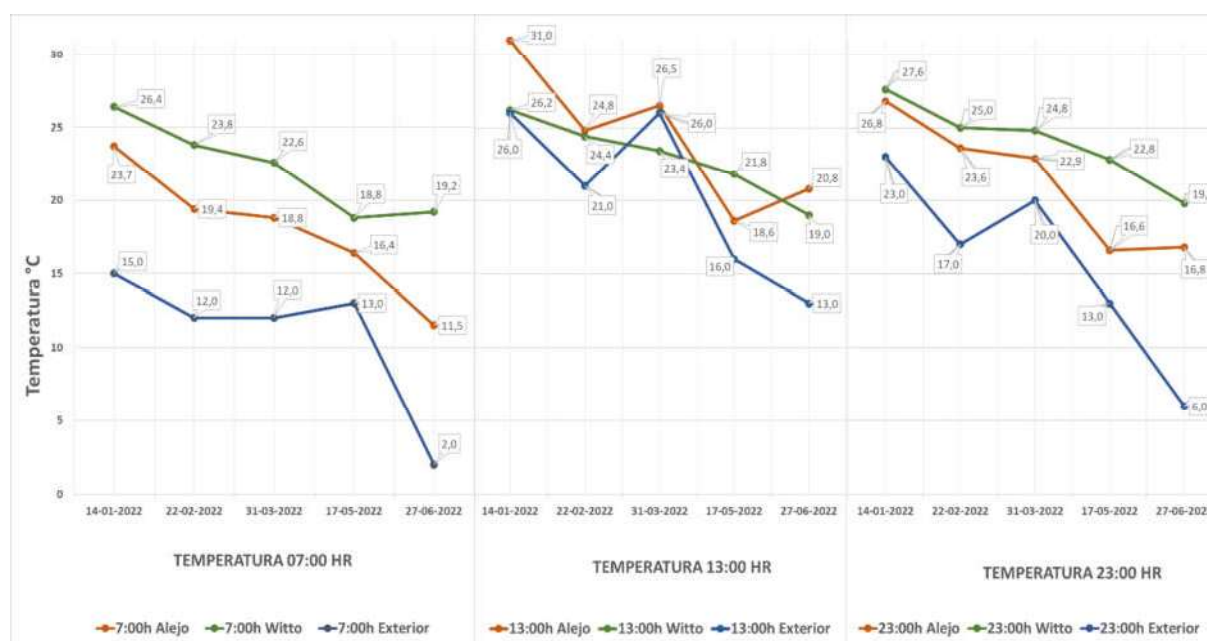


Figura 6. Temperaturas medidas con el termómetro de superficie en el cielo de las dos casas en estudio y la temperatura exterior

En los gráficos se puede ver que, en los meses de verano, en la madrugada, la diferencia de temperatura de los cielos, entre las casas estudiadas es de un promedio entre 3 y 4°C, mientras que en los meses más frío-templados la diferencia aumenta a 8°C.

Esto demuestra que la aislación de tierra y paja se comporta mucho mejor para evitar los fríos y mantener la temperatura de confort, que en este caso se mantiene del orden de los 19 y 20°C en la superficie del cielo.

A mediodía en verano, cuando las temperaturas frías de la noche ya cesaron y se acumula en las superficies el calor del sol por más de 6 h (7:00 am a 13:00 pm) la diferencia de temperatura de los cielos interiores de las casas demuestra que la casa aislada con tierra y paja se mantiene cercana a la temperatura exterior, mientras que la superficie de la casa aislada con lana mineral nos muestra un aumento comparativo del promedio de hasta 5 °C más alto.

El 14/01/2022, en pleno verano, cuando la máxima fue de 31°C exterior, el cielo de la casa aislada con lana de vidrio llegó a 35°C a las 13:00 h; mientras en la casa aislada con tierra-paja el cielo interior se mantuvo en 26°C.

En los meses más frío-templados la situación es que la casa aislada con tierra-paja se mantiene estable en torno a los 20 °C, a diferencia que la casa aislada con lana mineral que baja respecto de esta entre 2 y 4°C.

En las noches de verano, cuando las temperaturas solo bajan respecto al mediodía, pero aumentan respecto a la madrugada entre 5 a 8°C, en el interior de las casas estudiadas podemos ver que los cielos permanecen con una temperatura más alta que la exterior, la casa aislada con tierra y paja se eleva entre 4 y 8°C, mientras que la casa aislada con lana mineral se eleva entre 3 a 6°C. En la época fría-templada a esta misma hora la temperatura de la casa aislada con tierra y paja sigue manteniéndose en la temperatura de confort de 20 °C, mientras que la casa aislada con lana mineral muestra descensos de temperatura respecto a esta del orden de 3 a 6°C.

6.4 Análisis térmico de techumbre y muros

En esta sección, se llevará a cabo una comparación de los resultados de transmitancia térmica para evaluar qué sistema de aislamiento térmico resulta más eficiente en términos de techumbres. Para obtener los resultados, se utilizaron los valores más desfavorables en la resistencia térmica superficial tanto en el interior como en el exterior. Además, se calculó la transmitancia térmica para el material aislante y el material soportante de las techumbres, siendo la madera el material común en los dos casos presentados y el sistema de muros, en quinchá húmeda, con una transmitancia térmica de 0,886 W/m²K

Los resultados finales son los siguientes:

a) Casa Alejo con aislación térmica de lana de vidrio:

Transmitancia térmica total: 0,411 W/m²K

b) Casa Witto con aislación térmica de quinchá seca:

Transmitancia térmica total: 0,310 W/m²K

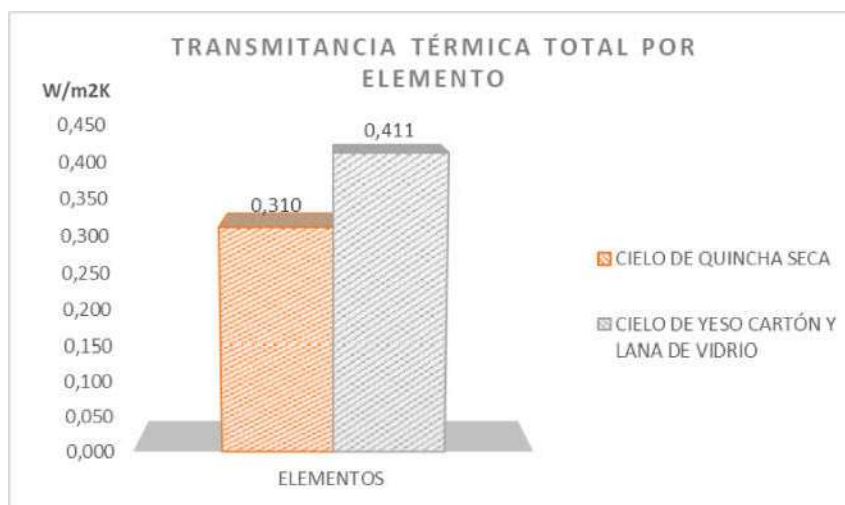


Figura 7. Gráfico de transmitancia térmica del conjunto de elementos que compone a la aislación térmica del sistema de techumbre de cada casa en estudio

Como se puede observar en los resultados anteriores, el sistema de aislamiento más favorable es el de quincha seca, con un valor U de $0,310 \text{ W/m}^2\text{K}$. Es importante tener en cuenta que, en la transmitancia térmica, se busca un valor bajo, lo que indica una mayor capacidad de aislamiento térmico del material o del conjunto de elementos, que componen el sistema.

Los resultados entregados anteriormente cumplen para los 2 casos la OGUC Art. 4.1.10, de la zona 3, exigencias de techumbres (Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, 2006)

En la zona donde se ubican estas construcciones en quincha, se presentan condiciones climáticas de características precordilleranas, lo cual se traduce en mañanas y tarde-noches frescas, incluso durante la temporada de verano. Aunque el sol puede calentar considerablemente los espacios durante el día, las temperaturas descienden en promedio de 3 a 6°C en comparación con las tardes. Este fenómeno se atribuye en parte al entorno rural donde se encuentran estas viviendas, caracterizado por la ausencia de pavimentación y veredas, predominando una extensa superficie de tierra y jardines de bosque esclerófilo.

La presencia de estas características facilita el enfriamiento del ambiente una vez que el sol se ha ocultado, en contraste con las áreas urbanas que suelen contar con calles de cemento, las cuales retienen el calor. En este entorno, la tierra actúa como un material absorbente de calor, permitiendo que las temperaturas disminuyan cuando el sol se retira. Este fenómeno es especialmente relevante durante las noches, cuando la ausencia de elementos que acumulen calor, como el asfalto o los edificios de concreto, favorece un descenso térmico más pronunciado.

Estas condiciones climáticas particulares deben ser consideradas al momento de diseñar y construir las viviendas en quincha liviana en esta zona. El aislamiento térmico adecuado, que permita retener el calor durante el día y minimizar las pérdidas durante las noches frescas, es fundamental para garantizar el confort interior de las viviendas. Asimismo, es de vital importancia, la orientación de las edificaciones y la disposición y tamaño de las aberturas, con el fin de aprovechar al máximo la radiación solar y su justa medida, además de la ventilación natural durante el día, cautelando minimizar las pérdidas de calor durante la noche.

6.5 Resultados

La evaluación de la transmitancia térmica de los distintos elementos analizados en el estudio revela que, a pesar de que el muro de quincha húmeda es común en ambas viviendas, existen diferencias en su acabado. Algunos muros carecen de un revestimiento final, mientras que otros están pintados. Sin embargo, en términos de transmitancia térmica, los resultados son prácticamente idénticos.

Los resultados obtenidos por las mediciones revelaron diferencias significativas en el comportamiento térmico entre las dos cubiertas. El caso 1 adopta un enfoque poco convencional al utilizar el método de tierra-paja (quincha seca), con un resultado de $U 0,310 \text{ W/m}^2\text{K}$, mientras que el caso 2 utiliza un enfoque más tradicional con lana de vidrio y yeso cartón, con un resultado de $U 0,411 \text{ W/m}^2\text{K}$. Los resultados demuestran un mejor comportamiento para el caso 1, con una mayor capacidad de aislamiento térmico, manteniendo una temperatura interior más estable y confortable, aun cuando la madera, puede generar puentes térmicos que afectan la eficiencia de la aislación térmica. A pesar de esto, el uso de relleno de paja como aislante y revestimiento de tierra-paja demuestra ser altamente eficiente en términos de transmitancia térmica, considerando también que si el espesor del revestimiento de tierra-paja aplicado sobre la estructura de madera aumenta, este puente térmico puede minimizarse considerablemente. Esto se atribuye a las propiedades aislantes naturales de la paja, que reducen la transferencia de calor a través de la cubierta. También se puede ver que las altas temperaturas son retrasadas por las capas de tierra del sándwich de aislación de la casa tierra-paja, esto por las cualidades de inercia térmica propias de la tierra.

Por otro lado se sabe que el sistema de construcción tradicional, con materiales industrializados, está en tela de juicio (Enshassi; Kochendoerfer; Rizq, 2014) debido a su alto

consumo energético e índices de contaminación en su producción (Wiche; Rodríguez; Granato, 2020), este problema aumenta cuando se considera que para mejorar las temperaturas de confort interior se requiere de apoyo de calefacción y sistemas de aire acondicionado, que incrementan los gastos energéticos y generación de contaminación y basura que tarda en degradarse.

Sería muy recomendable poder medir estas diferencias, para tener más datos para comparar, no solo temas térmicos, sino también de costos de huella ecológica e impacto ambiental.

Los resultados de este estudio demuestran que las cubiertas de madera aisladas con tierra-paja ofrecen ventajas significativas en cuanto a comportamiento térmico y eficiencia energética en comparación con las cubiertas convencionales. Estos hallazgos respaldan la adopción de sistemas constructivos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, que promueven un mayor confort térmico en las viviendas y contribuyen a la reducción del consumo de energía y las emisiones de carbono.

7 CONSIDERACIONES FINALES

Se reconoce que este estudio está incompleto pues faltó considerar las mediciones en primavera e invierno; el motivo es operativo, por los plazos impuestos por la universidad que examinó la investigación.

Pese a estas consideraciones, los datos que se manejó en esta investigación permiten constatar que la tierra contribuyó a retener el calor, por sus propiedades de inercia térmica, que la paja es un buen aliado para la aislación térmica, y que juntas, en las condiciones de los casos de estudio proporcionan una envolvente más adecuada que la aislación de lana de vidrio para mantener la estabilidad de la temperatura de confort, tanto en verano como en climas frío-templados, queda pendiente el estudio para completar con las mediciones de invierno.

Entusiasma atisbar un camino de mejoras en los estándares de confort térmico y ahorros de energías fósiles, en una época marcada por la búsqueda de caminos para enfrentar los cambios climáticos generados por el calentamiento global.

Los aumentos de temperatura global obligan a resguardar los espacios interiores del calor, investigaciones como estas invitan a pensar que la tierra es un material apropiado para enfrentar esta crisis de aumento de temperatura de manera sana, falta complementar este estudio con los datos que clarifiquen cuanto es el ahorro de energías y producción de basuras con esta técnica en base a materiales naturales.

También queda pendiente el estudio de la cantidad de tierra máxima que podría ponerse en estructuras de techo convencional para no encarecer el costo a niveles que imposibiliten la accesibilidad masiva de este tipo de aislaciones, y así contribuir para evitar el uso de leña en localidades rurales de Chile y su consiguiente contaminación y consumo de bosque.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bustamante, W.; Rozas, Y. (2009). Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social. Obtenido de http://old.acee.cl/576/articles-61341_doc_pdf.pdf

CDT (2016). Manual de (re) acondicionamiento térmico. Corporación de Desarrollo Tecnológico Obtenido de [cchc.cl: https://cchc.cl/uploads/comunicacion/archivos/manual_CDT_2016.pdf](https://cchc.cl/uploads/comunicacion/archivos/manual_CDT_2016.pdf)

CDT/In-Data (2019). Informe final de usos de la energía de los hogares Chile 2018. Corporación de Desarrollo Tecnológico Obtenido de https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/informe_final_caracterizacion_residencial_2018.pdf

Dirección General de Aeronáutica Civil (2021). Reporte anual de la evolución del clima en Chile. Obtenido de <http://www.meteochile.gob.cl/>: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/06/ReporteClimatico2020-edmay2021.pdf>

Dirección Meteorológica de Chile (2021). Servicios Climáticos. Obtenido de <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/requerimiento/producto/RE2007>

Enshassi, A.; Kochendoerfer, B.; Rizq, E. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista ingeniería de construcción*, 29(3). Obtenido de scielo.cl: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732014000300002>

Espinosa, C. F.; Cortés, A. (2015). Confort higro-térmico en vivienda social y la percepción del habitante. *Revista INVI*, 30(85). Obtenido de scielo.cl: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582015000300008>

Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (2006). Manual de aplicación reglamentación térmica. Obtenido de Sodal: <http://www.sodal.cl/media/file/53>

SMA (2020). Realizan un fuerte llamado a no usar calefactores a leña en el Gran Santiago para evitar aumento de Covid 19 y contaminación del aire. Superintendencia del medio Ambiente, Gobierno de Chile. Obtenido de portal.sma.gob.cl: <https://portal.sma.gob.cl/index.php/2020/06/18/realizan-un-fuerte-llamado-a-no-usar-calefactores-a-leña-en-el-gran-santiago-para-evitar-aumento-de-covid-19-y-contaminacion-del-aire/>

Wiche, P.; Rodríguez, B.; Granato, D. (2020). Estado del arte de huella de carbono para edificaciones: Resumen para tomadores de decisiones. Obtenido de Certificación sustentable: <https://www.certificacionsustentable.cl/wp-content/uploads/2021/01/Producto-4-Resumen-para-tomadores-de-decisiones-FINAL.pdf>

Montaner, J.M., 2001. Depois do movimento moderno: Arquitectura da segunda metade do séc. XX., Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A.

Mota, L.; Mateus, R.; Bragança, L. (2012). The contribution of the maintenance phase for the environmental life-cycle impacts of a residential building. In R. Amoêda et al., eds. *BSA 2012: 1st International Conference on Building Sustainability Assessment*. Porto: Greenlines Institute for Sustainable Development, p. 603–612.

Wadel, G.; Avellaneda, J.; Cuchí, A., (2010). La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales. *Informes de la Construcción*, 62(517), p.37–51

AUTORES

Ida Pilar Silva Mondselewsky, arquitecta titulada en la Universidad Central de Chile con estudios de doctorado en arquitectura moderna en la UPC, Barcelona, España. Ha sido docente de cinco universidades chilenas, e invitada a realizar workshops nacionales e internacionales. Miembro de Proterra desde 2020; desde Tierractual dirige proyectos de diseño y construcción con tierra y materiales naturales. Sus obras se han publicado en diversos medios chilenos y extranjeros.

André Acuña Contreras, ingeniero en construcción de la Universidad Central de Chile, titulado año 2023.

Hector Altamirano, PhD, MSc, Ba, es profesor asociado en la Bartlett School of Environment, Energy and Resources, Institute for Environmental Design and Engineering, UCL. Arquitecto y científico interdisciplinario interesado en el impacto de la salud y el bienestar en el entorno construido. Posee una amplia experiencia en temas vinculados al ambiente interior y al desempeño de los edificios respecto del desarrollo de condiciones de moho y humedad, así como en el monitoreo in situ, estudios de campo y montaje experimental de edificios y sus componentes.