

## DESEMPEÑO TÉRMICO DE UNA VIVIENDA DE ARQUITECTURA DE TIERRA EN LA MONTAÑA ANDINA

**María Laura Giovino**

Centro Internacional de Ciencias de la Tierra - CONICET  
<https://orcid.org/0000-0002-2736-503X>  
 arq.mlgiovino@gmail.com

**Silvana Flores Larsen**

Instituto de Investigaciones en Energías no Convencional - CONICET  
<https://orcid.org/0000-0001-7274-2028>  
 silvanafloreslarsen@gmail.com

**DOI:** <https://doi.org/10.59047/2469.0724.v10.n12.41117>

### Resumen

Este estudio analiza el comportamiento térmico de una vivienda construida con quincha en una zona bioclimática IVa, en la precordillera andina donde el clima es templado frío seco. Se utilizaron sensores higrotérmicos para medir la temperatura y la humedad en el interior y el exterior de la vivienda durante 10 días representativos de las estaciones frías, cálidas e intermedias. Los resultados muestran que la vivienda tiene un buen desempeño térmico, logrando amortiguar las grandes amplitudes diarias de temperatura hasta 17°C en invierno y 6,8°C en verano (con  $T^{\circ}\text{ext. min.} = -4.1^{\circ}\text{C}$  en invierno y  $T^{\circ}\text{ ext. máx.} = 40.1^{\circ}\text{C}$  en verano). También se reduce la oscilación térmica interior, manteniendo la temperatura estable y con un retardo de 2:10 horas en el día más frío. El efecto másico del muro de tierra de quincha presenta mayores ventajas en invierno. Sin embargo, no se alcanzan los niveles de confort interior en verano (solo en un 23%) y en invierno (solo en un 12%) a través del acondicionamiento térmico pasivo. En la estación intermedia (otoño) se logran los niveles de confort en un 82%. Estos resultados pueden contribuir a la reducción del consumo energético en viviendas construidas con recursos naturales como la tierra en zonas similares.

**Palabras clave:** acondicionamiento térmico pasivo, eficiencia energética, confort térmico, arquitectura bioclimática, quincha.

Fecha recepción: 09 de mayo de 2023

## THERMAL BEHAVIOR AN EARTHEN ARCHITECTURE DWELLING IN THE ANDEAN MOUNTAINS

### Abstract

*This study analyzes the thermal behavior of a house built with quincha in a bioclimatic zone IVa, in the Andean foothills where the climate is dry cold temperate. Hygrothermal sensors were used to measure the temperature and humidity inside and outside the house for 10 days representative of the cold, warm and intermediate seasons. The results show that the house has a good thermal performance, managing to dampen the large daily temperature amplitudes up to 17°C in winter and 6.8°C in summer (with  $T^{\circ}\text{ext min.} = -4.1^{\circ}\text{C}$  winter and  $T^{\circ}\text{ ext.max.} = 40.1^{\circ}\text{C}$  in summer). Indoor thermal oscillation is also reduced, keeping the temperature stable and with a 2:10 hour delay on the coldest day. The mass effect of the quincha earth wall presents greater advantages in winter. However, indoor comfort levels are not achieved in summer (only 23%) and in winter (only 12%) through passive thermal conditioning. In the autumn season, comfort levels are achieved by 82%. These results can contribute to the reduction of energy consumption in houses built with natural resources such as earth in similar areas.*

**Key words:** passive thermal conditioning, energy efficiency, thermal comfort, bioclimatic architecture, quincha.

Fecha aceptación: 19 de diciembre de 2023

## Introducción

Se construye con tierra desde hace cientos de años en las diferentes culturas en la historia de la humanidad. Hoy en día, las prácticas de construcción con tierra se han perdido en gran parte del mundo por el tipo de urbanización de las grandes metrópolis y la construcción industrializada. De esta manera la construcción con tierra quedó ligada a sociedades rurales y culturas que mantuvieron sus saberes tradicionales por lo cual suele asociarse a las viviendas vernáculas o patrimoniales. En tal sentido, durante muchos años las “arquitecturas de tierra” fueron relegadas y asociadas con la pobreza como se evidencia en los textos de Zamorano (1950) ya en los años cincuenta al mencionar las concepciones de la vivienda natural como antihigiénica y peligrosa, continuó hasta nuestros días, y sin considerar las ventajas que presentaban desde diversos aspectos tanto económicos, térmicos y ambientales, entre otros. A partir de la reivindicación, puesta en valor y reinterpretación de la tecnología y el saber tradicional, surgió la arquitectura contemporánea en tierra y la recuperación de la arquitectura vernácula y patrimonial.

Dentro de las tecnologías de construcción con tierra, se pueden emplear diferentes técnicas constructivas: quincha, adobe, tapia, terrón, BTC (Bloque de tierra comprimida), entre otras. Según los estudios llevados adelante por la Red PROTIERRA Argentina (2020, 2021) en nuestro país existen más de cuarenta municipios y comunas que cuentan con ordenanzas vigentes referidas a la arquitectura y construcción con tierra las cuales autorizan la aplicación de éstas. En el caso de estudio seleccionado se emplea la quincha, una técnica constructiva mixta que utiliza la tierra como material de base y se caracteriza por ser un sistema de entramados de estructuras de madera y fibras rellenos con mezclas de tierra, la cual regula el acondicionamiento acústico y térmico (Garzón en Neves & Borges Farías, 2011). La ventaja de los muros externos de tierra se debe a su capacidad de amortiguar la diferencia de temperatura del exterior al interior a través de la masa del muro por las características de la tierra, lo cual Heathcote (2011) denomina “efecto de la masa térmica”. De esta manera en verano se reducen las oscilaciones de temperatura. Por otra parte, la masa térmica retrasa el paso del calor a través de las paredes. Este retraso del pico de la onda térmica se conoce como "retraso térmico". De esta forma, se logra amortiguar el exceso de calor durante el día en verano y disiparse durante la noche a través de una adecuada ventilación. En el caso del comportamiento térmico en invierno, la masa del muro permite acumular el calor y, si se ha proyectado un buen diseño pasivo, será posible la entrada de calor por ganancia solar a través de ventanas de modo de almacenarlo en la masa térmica del muro para ser liberado en el interior (Heathcote, 2011)

Por otra parte, en un contexto de crisis ambiental-energética, Argentina persigue la transición al 2050 a través de la diversificación del *mix energético* con energías renovables, eficiencia energética, y un cambio de estrategias para bajar emisiones de contaminantes a la atmósfera. (Fernández, 2019 en Kuchen & Kozak, 2020). Del total de los recursos energéticos primarios del país, se estima que el sector edilicio consume un 37% del cual la demanda más representativa se destina al acondicionamiento climático (Kuchen & Kozak, 2020). Frente a esta situación existen programas de estrategia nacional como el Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE), el Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas, entre otros. Además, existen una serie de recomendaciones, procedimientos, cálculos pautados a través de normativas (serie IRAM 11.600) que establecen el desempeño térmico, ahorro energético, etc. Por ejemplo, la metodología para verificar los requerimientos de aislamiento térmico (para materiales industrializados) se establecen en la serie 11600 de las Normas IRAM: 11549 para el vocabulario, 11601 de propiedades térmicas de los materiales, 11604 para el cálculo volumétrico de pérdidas de calor y el ahorro energético en calefacción (G), 11605 para las condiciones de habitabilidad y los valores admisibles de transmitancia<sup>1</sup> térmica (K), y 11625 para la verificación del riesgo de condensación.

En climas templados fríos y secos con grandes amplitudes térmicas como el de Mendoza, situada en la zona bioclimática IVa, el análisis bioclimático sugiere, entre algunas de las recomendaciones, la utilización de masa e inercia térmicas como estrategia pasiva de acondicionamiento (Czajkowski & Gómez, 2002). Por ello, se espera que la técnica de construcción con quincha presente ventajas en cuanto al comportamiento higratérmico de la

---

<sup>1</sup> La transmitancia térmica (U/ K), es el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento constructivo considerado, siendo su recíproca la resistencia térmica (R) (Cuitiño, G. et al.; 2021).

vivienda y contribuya a conseguir un ambiente interior confortable y a disminuir el consumo energético, además de fomentar beneficios ambientales como la utilización de materiales biodegradables, reutilizables y amigables con el medio ambiente (Fernández, Peixoto, Mateus y Gervásio, 2019). De acuerdo con Vázquez Espi (2001) el material tierra utilizado en la construcción reduce los costos energéticos tanto en la fabricación del material (por no ser un material industrializado y no emplear energía contaminante en la creación del material) como en el transporte (por usarse generalmente como recurso local), como así también reduce los impactos al ambiente al reducir la emisión de contaminantes en la atmósfera.

En los muros de tierra los valores de transmitancia térmica y conductividad varían según la técnica, ya sea tapia, adobe, BTC, quincha, etc. Para las técnicas de masa homogénea como el adobe y la tapia, los valores se pueden obtener según tablas y de acuerdo con la densidad. Castellarnau Visús (2019), en su análisis de normativa y de la bibliografía de referencia, encuentra valores para la transmitancia térmica de un muro de tapia de 45 cm mayor que  $1,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  mientras que para un muro de adobe sugiere una conductividad de  $0,369 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  y una transmitancia térmica de  $1,73 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  considerando el mismo espesor y de una densidad de  $1885 \text{ kg}/\text{m}^3$ . En el caso de la quincha, debido a su heterogeneidad, no sería posible establecer adecuadamente su conductividad térmica a partir de las propiedades de los materiales que la conforman, sin embargo, se puede considerar un valor de conductividad  $0,17 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  para una densidad de 1289 (Hays *et al.*, 2003, en Cuitiño, Rotondaro y Esteves, 2021) con lo cual se estima el coeficiente transmitancia térmica de  $2,64 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Por su parte, los resultados obtenidos de Abanto *et al.* (2017) la conductividad térmica puede variar entre  $0,25$  a  $0,33 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , cuando el intervalo de capacidad calorífica está entre  $460$ - $620 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$  según sus ensayos con el método de placas paralelas calientes.

Las investigaciones sobre el desempeño térmico en viviendas con tecnologías de tierra se han abordado a través de ensayos experimentales por estudio de monitoreo higrotérmico de las viviendas a partir de registrar las temperaturas y humedad en su interior, como así también por medio de simulaciones computacionales dinámicas (Ortega & Garzón, 2021; Cuitiño *et al.*, 2016; Gea Salim *et al.*, 2019; Giovino *et al.*, 2022; Molina Flores, 2018). Además del desempeño térmico de la vivienda según sus características, otro de los aspectos a considerar que influyen en el consumo de energía del edificio es el comportamiento de sus ocupantes (Filippín, Flores Larsen y Marek, 2020). Dicho comportamiento está asociado a la búsqueda de satisfacer su confort térmico. En la norma ANSI/ASHRAE 55 se define el confort térmico como el estado mental que expresa la satisfacción con el ambiente térmico, y que depende de las condiciones ambientales: de la temperatura de bulbo seco, de la humedad absoluta, del movimiento del aire y de la temperatura radiante media; del nivel de actividad física (MET); del valor aislante de la ropa (clo), y de factores individuales, como la alimentación, la climatización, la edad, el sexo, la masa corporal, etc. En Argentina, en la Norma IRAM 11.549 (2002) define confort térmico como “la condición ambiental que favorece el equilibrio térmico del cuerpo y ofrece sensación de neutralidad térmica”. Dicha definición se adopta de acuerdo con la Norma ISO 7730 (*International Standards Organization*, 2005), las cual establece los valores de Ergonomía del ambiente térmico, determinación analítica e interpretación del confort térmico mediante el cálculo de los índices de PMV y PPD y los criterios de confort térmico local.

La arquitectura vernácula y la construcción con tierra también pueden verse beneficiadas por las estrategias de diseño bioclimático para la obtención de confort térmico y la reducción del consumo energético destinado a calefacción y refrigeración. En México, Parra-Saldivar & Batty (1994) demuestran, a partir de la simulación térmica dinámica, el desfase temporal en el suministro/almacenamiento de energía hacia y desde el ambiente interior de las construcciones de adobe respecto al exterior y cómo esto afecta a las variaciones de las temperaturas internas diurnas para tres zonas bioclimáticas en México. Los estudios de Caña & Martín (2004) demuestran cómo las estrategias bioclimáticas se adoptan en las arquitecturas vernáculas en cuanto estas se adaptan al clima, al entorno, además de adaptarse a los recursos materiales naturales y locales posibles para su construcción. Asimismo, la relación de las estrategias bioclimáticas de manera pasiva asociada en arquitecturas construidas con materiales naturales constituye un tema de investigación incipiente recientemente abordado. Wieser, Rodríguez-Larraín y Onnis (2021) estudiaron esta relación en viviendas en zonas extremadamente frías del altiplano en Perú.

En su trabajo logran demostrar que en climas fríos es de gran importancia la estrategia bioclimática de ganancia solar por aprovechamiento de la radiación la cual debe ser acompañada por la aislación de la envolvente, la hermeticidad del conjunto y el adecuado uso de vanos que permitan contener el calor ganado. Para los climas cálidos, los estudios en Burkina Faso muestran que la combinación de ventilación nocturna y protección solar de la cubierta en viviendas con muros de tierra con la técnica de bolsas contribuyen a la eliminación casi total de las molestias térmicas (Rincón *et al.*, 2019). Por su parte, Ortega, Giuliano y Garzón (2021) han encontrado que las viviendas construidas en adobe de 20 cm (25 cm con revoques) para la zona bioambiental IIIa - templado cálido, (Situado en Tafí del valle en Tucumán) no verifican el nivel mínimo C de confort higrotérmico establecido por la norma IRAM de acuerdo con los valores obtenidos de transmitancia térmica cuyo resultado para el muro de adobe fue de 1,52 W/m<sup>2</sup> K.

En este marco, el presente trabajo busca continuar indagando sobre el desempeño térmico de las viviendas construidas a partir de recursos naturales con materiales como la tierra en su envolvente, en este caso a partir de la técnica de quincha y para la zona bioambiental IVa, templado frío seco de la precordillera andina Argentina. Para ello se analiza el comportamiento higrotérmico y confort de una vivienda construida con la técnica de quincha en la zona de precordillera bajo una situación particular respecto al uso habitual de sus ocupantes, siendo la vivienda habitada permanentemente y funcionando tanto como lugar de trabajo como de descanso y recreación. Esto es debido a que las mediciones fueron realizadas en el contexto de aislamiento obligatorio durante la pandemia de la COVID-19. De esta forma se espera contribuir a los conocimientos de la arquitectura bioclimática aplicada a la construcción en tierra, con el objetivo de asociar la materialidad constructiva como estrategia de acondicionamiento térmico pasivo.

## Caso de estudio

### *Localización geográfica y clima*

El caso de estudio seleccionado para este análisis se trata de una vivienda situada en la precordillera andina, a las afueras de la ciudad de Mendoza, en la localidad de Cacheuta en el departamento de Luján de Cuyo. Está ubicada a los 33°02'52" S y 69°04'45" O, a 1.170 m.s.n.m. De acuerdo con la clasificación bioambiental de la norma IRAM 11.603 (2011) el clima corresponde a la zona bioambiental IVa templada fría de montaña. El sitio de estudio presenta condiciones microclimáticas particulares debido a su cercanía con la precordillera de los Andes y por situarse a 200 metros del río Mendoza.

El clima en Luján de Cuyo es considerado seco de semi-desierto y árido con escasez de lluvia. Las dos estaciones más cercanas del Servicio Meteorológico Nacional, en Mendoza y en Uspallata, no son representativas del clima de la localidad. Sin embargo, el gobierno de Mendoza dispone de una red de sensores en la zona, a través de la Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas, de donde se obtuvieron los datos para la localidad de Perdriel, la cual se encuentra a 15 km del sitio de análisis (33° 7' 7.392" S, 68° 54' 32.796" O). La Fig. 1.b) muestra las temperaturas máximas y mínimas medias mensuales y las precipitaciones durante el año 2019. Se observa que el promedio de precipitaciones anual fue de 237 mm y la temperatura media anual se ubicó en los 15 °C. Las temperaturas en invierno fueron muy frías descendiendo hasta -10°C con heladas y nevadas esporádicas. En verano las temperaturas alcanzaron los 38°C. Las amplitudes térmicas diarias son grandes (>20°C), debido a su característica de clima semidesértico. El lugar presenta una alta heliofanía con un gran porcentaje de días despejados sin nubosidad.

Mapa de zona bioambiental de la Provincia de Mendoza

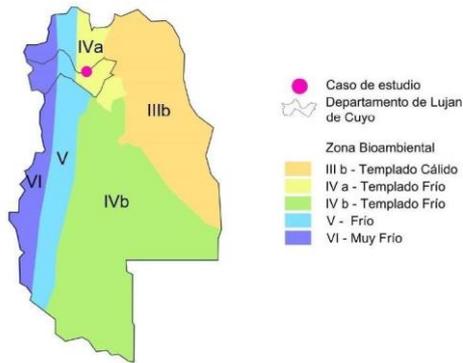


Figura 1.a)

Datos meteorológicos - anual 2019.  
Lujan de Cuyo, Mendoza.

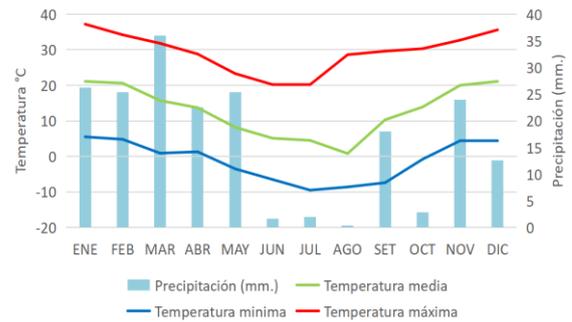


Figura 1.b)

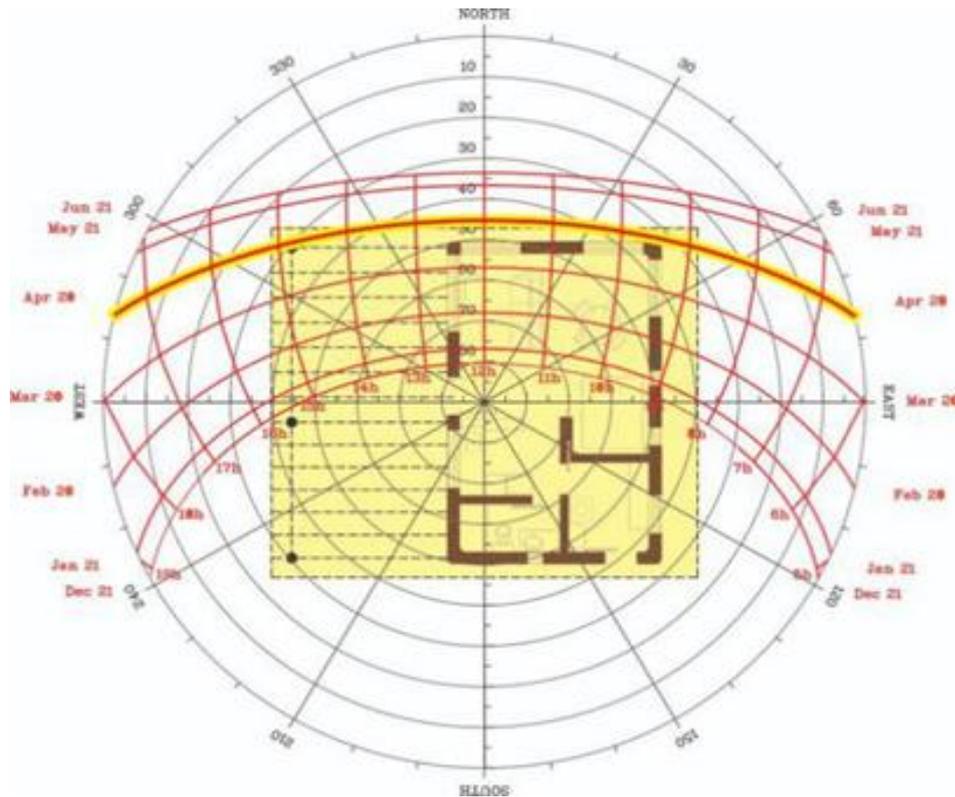
**Figura 1. a)** Mapa de zonas bioambientales en Mendoza con ubicación de la vivienda. **Fuente:** Elaboración propia adaptado de acuerdo con Ampliación del Régimen de Zona Fría Ley N°27.637- según Norma: IRAM 11603:2011- Clasificación bioambiental de la República Argentina del documento de ENARGAS (2021)

**Figura 1.b)** Gráfico de temperaturas medias mensuales, máximas medias, mínimas medias y precipitaciones en Perdriel, departamento de Luján de Cuyo, Mendoza, para el año 2019. **Fuente:** Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas Mendoza (Datos estadísticos periodo 2019)<sup>2</sup>.



**Figura 2.a)** Implantación del caso de estudio sobre imagen satelital. **Fuente:** Elaboración propia en base a imagen obtenida de Google Earth.

<sup>2</sup> Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas. Ministerio de Economía, Infraestructura y Energía, Provincia de Mendoza. Estación Perdriel.



**Figura 2.b)** Carta solar con implantación de la vivienda. **Fuente:** Carta solar obtenida a través del software *Polar Sun Path Chart* (Universidad de Oregón).

### *Descripción de la vivienda*

La vivienda seleccionada emplea la tecnología constructiva de quincha (figuras 3 a 5). Tiene un área de 44 m<sup>2</sup> cubiertos, distribuidos en un solo espacio integrado destinado al dormitorio, estar y cocina; y por separado se dispone de un baño y un depósito, como se muestra en la figura 2. En la figura 4 se puede visualizar la trayectoria solar respecto de la implantación de la vivienda la cual está orientada en su entrada y galería al oeste. La trayectoria solar de la estación media está resaltada mientras que la trayectoria solar en invierno y verano son las líneas de los extremos.

Los elementos constructivos se caracterizan de la siguiente manera:

a - Los muros son de quincha de 20 cm de espesor con revoque grueso en ambas caras. Los revoques interiores del baño y la cocina cuentan con otra proporción de mezclas de tierra los cuales se componen de menor cantidad de arcilla (5% del total del volumen de la mezcla) estabilizados con un 5% de cemento y cal; se le agregó guano de caballo y mucílago<sup>3</sup> de nopal. Además, el muro exterior del baño está compuesto de piedra en el sector de la ducha.

b- El techo es inclinado de chapa, se compone de 3 capas. La primera capa se conforma de un machimbre de álamo rustico recubierto y por encima la barrera de vapor; la segunda capa se compone de lana de vidrio sin aluminio de

<sup>3</sup> Las pencas de nopal excretan una sustancia “viscosa” llamada mucílago. (...) Tiene la capacidad de formar redes moleculares y retener fuertemente grandes cantidades de agua, así como de modificar propiedades como viscosidad, elasticidad, textura, retención de agua, además de que es un buen gelificante, espesante, y emulsificante” (Rodríguez-González, S.; Martínez-Flores, H. E.; Órnelas-Nuñez, J. L.; Garnica-Romob, M. G.; (2010).

50 mm, y la tercera capa es una membrana de espuma de poliestireno expandido de la marca comercial ISOLANT de 10 cm con aluminio en ambas caras y arriba la chapa.

c- El piso está compuesto por una primera capa de ripio compactado, un contrapiso de hormigón de 0,05 m de espesor, por encima nylon y una capa de poliestireno expandido de 0,025 m de espesor, una malla sima con la manguera de la losa radiante, una carpeta de 0,07 m de espesor y una terminación de piso cerámico de baldosas recicladas de 0,01 m.

d- Las carpinterías son de madera con un tratamiento de “quema” en la cual se sellan los poros para evitar los insectos dentro de la madera y luego se le realiza una terminación con barniz.

e- Los vidrios son doble vidrio hermético fabricados de modo no industrializado, con vidrio incoloro de 4mm de espesor y cámara de aire de 12 mm, siendo la composición de 4/12/4.

f- En cuanto a los sistemas de acondicionamiento térmico, la vivienda no posee sistemas de refrigeración ni uso de ventiladores. Para calefacción, la vivienda cuenta con un sistema de losa radiante el cual no está aún instalado por lo cual se calefacciona la vivienda con una estufa eléctrica de 1200 W.



**Figura 3.** Vivienda construida con la técnica de quincha. **Fuente:** Fotografía del propietario de la vivienda (2020)

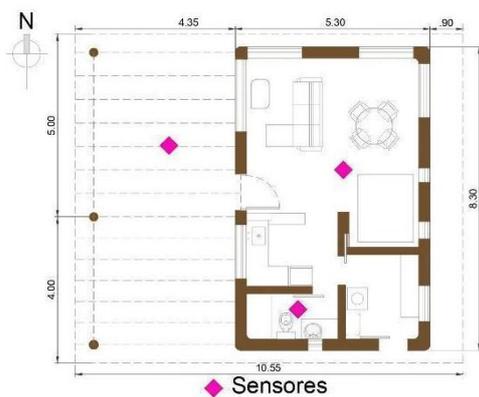


Figura 4.

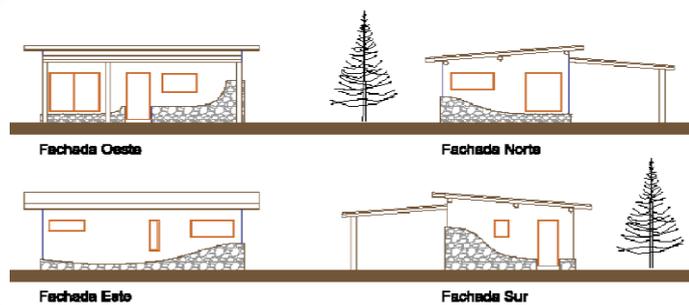


Figura 5.

**Figura 4.** Plano esquemático de la vivienda con ubicación de los sensores termohigrómetros. **Fuente:** Elaboración propia adaptado según documentación proporcionada por los propietarios de la vivienda.

**Figura 5.** Vistas de la vivienda. **Fuente:** elaboración propia adaptado de la documentación proporcionada por los propietarios de la vivienda

La relación de llenos y vacíos sobre la fachada es uno de los determinantes en el diseño bioclimático y en las construcciones en tierra. En el caso de estudio (Fig.5) la superficie del muro es 81,78 m<sup>2</sup>, de los cuales 48,68 m<sup>2</sup> corresponden a la superficie del muro en tierra, 18,95 m<sup>2</sup> de la superficie de piedra, 3,69 m<sup>2</sup> se compone de la superficie de carpintería en madera, y la superficie vidriada es 10,46 m<sup>2</sup>; lo que significa que la relación de superficie vidriada respecto la superficie de muro es de 15,5%. Otro dato pertinente para el análisis es la relación área vidriada sobre el área piso la cual es de 23,8%. Si la relación llenos y vacíos no está proporcionada de acuerdo con la necesidad de ganancia solar y sombra, o si no es tenida en cuenta la orientación de los vanos, los beneficios de la tecnología de construcción con tierra no serían del todo provechosos ya que las ganancias térmicas ganadas por el muro no se compensarán con las pérdidas a través de los vanos ni tampoco se podría conservar la ganancia solar en invierno. La vivienda cuenta con una galería al oeste que le proporciona protección solar en verano. Para el clima frío seco, en invierno, es importante captar la ganancia solar directa por radiación en los aventanamientos orientados al norte.

## Metodología

Para estudiar la vivienda se utilizó una combinación de métodos cualitativos y cuantitativos. Los métodos cualitativos incluyen observación directa y entrevistas semiestructuradas a los usuarios, como así también la participación colaborativa durante el proceso constructivo de la vivienda, que permitió conocer las características particulares de la composición del muro. Mediante las entrevistas y la observación directa, se buscó caracterizar los periodos de encendido de la calefacción y los de ventilación a través de la apertura y cierre de ventanas. El estudio cuantitativo se llevó a cabo a través mediciones experimentales de temperatura y humedad relativa en el interior y exterior de la vivienda, para lo que se utilizaron sensores de temperatura y humedad HOBO Onset Modelo UX100-003. Los sensores higrotérmicos registran en un rango de -20 a +70°C; de 15 a 95% HR, tienen una exactitud de +/- 0,21°C (de 0 a 50°C); +/- 3,5% HR (de 25% a 85%) y una resolución de 0,024°C / 0,07% HR (a 25°C). Se instalaron en el espacio interior principal (sensor 1), en el baño (sensor 2) y en la galería (sensor 3), los cuales registraron datos cada 10 minutos. Se monitorea el comportamiento térmico en media estación, invierno y verano (marzo a mayo/2020, julio/2020 y enero 2021). Durante la primera medición, hubo un uso intensivo de la vivienda debido a la situación de confinamiento social por la pandemia de COVID-19. De cada estación se seleccionaron subperiodos de 5-10 días para realizar un estudio más detallado: media estación (30 de marzo al 8 de abril del 2020), estación fría (del 19 al 24 de mayo y del 27 al 31 de julio del 2020) y estación cálida (15 al 25 de enero de 2021).

La caracterización del comportamiento térmico de modo estacionario se realizó a partir de calcular la transmitancia térmica (K), el coeficiente volumétrico global de pérdidas de calor (Gcal) W/m<sup>2</sup>K km según los procedimientos y datos de la serie 11600 de las Normas IRAM. Se utilizó el calculador *The Concrete Center, 2022. Dynamic Thermal Properties Calculator* (ver.1.0)<sup>4</sup> para obtener los valores de transmitancia térmica de los muros de tierra de acuerdo con los procedimientos de la Normas ISO 13786 y ISO 6946. Los datos climáticos empleados se tomaron de la Norma IRAM 11603. De acuerdo con la norma IRAM 11604 se calcula (Gcal) el coeficiente volumétrico de pérdidas de calor del edificio vivienda calefaccionado, en W/m<sup>3</sup>K Km. Para realizar el cálculo de carga térmica se empleó la fórmula  $Q = 24 \cdot D \cdot Gcal \cdot V / 1000$  según la norma IRAM 11604. Para el cálculo de la condensación superficial e intersticial se emplearon las planillas de cálculo CEEMACON<sup>5</sup> desarrollado por Gonzalo, G.E., (2002); Gonzalo, G.E., Ledesma, S.L., Noto, V.M. y Martínez, C.F. del CEEMA-FAU-UNT, el calculador TRANS-Q-E desarrollado por Garzón, B. y Mendonca, C. (2013).

<sup>4</sup> Disponible en <https://www.concretecentre.com>. El calculador se basa en la norma ISO 13786.

<sup>5</sup> Centro de estudios de energía y medio ambiente – IAA-FAU-UNT, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán.

A partir de la temperatura y humedad relativa registradas en los ambientes interiores, se estimó el nivel de confort térmico en la vivienda durante el periodo de monitoreo. Para realizar este análisis se utilizó el módulo independiente del software SIMEDIF V2.0 (2020). Este módulo utiliza la norma ANSI/ASHRAE 55 para estimar la sensación de confort mediante el PMV (Voto Medio Predicho) y el PPD (Porcentaje de Personas Insatisfechas) en base a un archivo con datos de temperatura y humedad interior medidos de forma horaria. El método analítico calcula ambas variables hora por hora, en base al índice de arropamiento, la tasa metabólica, la velocidad de aire, la temperatura operativa y la humedad. De acuerdo con ASHRAE, se considera el valor de 1 para el índice de arropamiento para invierno ( $Clo=1$ ), que dista de las costumbres habituales en viviendas de nuestro país en zonas andinas, en las que es costumbre utilizar más de una prenda de abrigo en el invierno, aún en los espacios interiores. El método predice el PMV en una escala con 7 rangos: Muy frío ( $PMV < -2.5$ ), Frío ( $-2.5 < PMV < -1.5$ ), Fresco ( $-1.5 < PMV < -0.5$ ), Neutral de confort ( $-0.5 < PMV < +0.5$ ), Cálido ( $+0.5 < PMV < +1.5$ ), Caluroso ( $+1.5 < PMV < +2.5$ ), Muy caluroso ( $PMV > +2.5$ ). La zona de confort establece las condiciones en las que el 80% de las personas, en actividad sedentaria o de actividad ligera, encuentran el ambiente térmicamente aceptable. El software entrega los resultados de manera gráfica y en archivos de texto plano. Las condiciones de cálculo que se utilizaron para determinar la sensación de confort de los locales son las definidas según norma ANSI/ASHRAE 55 (índice de arropamiento: 0.5-1 Clo; tasa metabólica: 1.3 MET y velocidad del aire mínima: 0.1 m/s).

## Resultados

### *Caracterización del comportamiento térmico según régimen estacionario*

De acuerdo con los cálculos realizados, la transmitancia térmica para el muro de quincha resulta  $K=0.95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , considerado para una conductividad térmica del muro de quincha de  $\lambda = 0,25 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  (Cuitiño et al., 2019). Este valor verifica, tanto para invierno y verano, el nivel C (mínimo) de confort higrotérmico para las zonas bioambientales III y IV según la norma IRAM 11605 (1996). Dicha norma establece la transmitancia térmica máxima admisible de invierno y verano ( $K_{\text{max adm}}=1.36 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  en invierno y  $K_{\text{max adm}}=2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  en verano) para el nivel C. Para el cálculo, se consideró la temperatura de diseño mínima exterior de invierno (TDMN) para Chacras de Coria en  $-6.4^\circ\text{C}$ , y la temperatura de diseño máxima de verano (TDMX) en  $36.8^\circ\text{C}$ , según la Norma IRAM 11603 (2012). Se adoptaron los valores de Chacras de Coria ya que se encuentra más cerca del caso de estudio y con condiciones climáticas similares. El muro se constituye también por un zócalo de piedra el cual representa 22.97% con  $18 \text{ m}^2$  respecto de la superficie total de fachada mientras que la superficie del muro en quincha es de  $47.02 \text{ m}^2$ , es decir, el 57.06%. La transmitancia térmica del zócalo de piedra resulta  $K=2.92 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , por consiguiente, no verifica con los valores de transmitancia térmica máxima admisible mencionados para muro.

De acuerdo con los cálculos realizados, el techo presenta una transmitancia térmica de  $K=0.58 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  en invierno y  $K=0.56 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  en verano. La transmitancia térmica máxima admisible en invierno para el nivel C es  $K_{\text{max adm}}=1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , para el nivel B es  $K_{\text{max adm}}=0.66 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  y para el nivel A es  $K_{\text{max adm}}=0.256 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  mientras que en verano para el nivel C es  $K_{\text{max adm}}=0.76 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , para el nivel B es  $K_{\text{max adm}}=0.48 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  de acuerdo con la norma IRAM 11605 (1996) y según las zonas bioambientales III y IV que corresponde al caso de análisis (Figura 1.a- adaptada de Norma IRAM 11603:2011). De esta manera el techo verifica en el nivel B-medio en invierno y verifica para el nivel C-mínimo en verano. A pesar de ser mínima la diferencia, la transmitancia térmica del techo varía según las condiciones climáticas y las propiedades térmicas de los materiales, y en el caso de invierno el calor acumulado en el interior puede evacuarse por la cubierta debido al enfriamiento radiativo. Para el piso se obtuvo un valor de transmitancia térmica de  $K=0.99 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  en invierno y  $K=0.93 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  en verano. En el caso de los cerramientos no opacos, se adoptan de la norma los valores de transmitancia térmica para un DVH con las características más próximas al caso de estudio. La norma IRAM 11.601 (2002) establece para ventanas DVH 3/12/3, Doble Vidriado Hermético, compuesto por 2 vidrios comunes incoloros de 3 mm cada uno y una cámara de aire de 12 mm, un valor de  $K=3,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Por su parte, las puertas están

constituídas con diversas maderas y espesores por ser recicladas y construida de manera artesanal, por lo cual se adopta para un espesor de 5 cm y las propiedades de madera de la norma 11601 (2002), obteniendo un valor de transmitancia térmica de  $K=3.15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

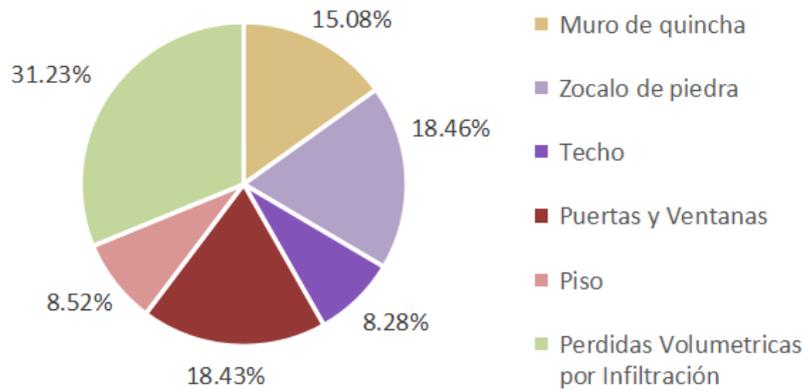
En cuanto al coeficiente global de pérdida de calor, se estimó en  $G_{cal}=2,241 \text{ W}/(\text{m}^3\text{K})$ , para un volumen de vivienda de  $132.7 \text{ m}^3$  y para  $1593 \text{ °D}$  de calefacción (para a localidad de Chacras de Coria de acuerdo con la Norma IRAM 11603:2002). Para el cálculo térmico se adopta TD18, temperatura interior de diseño de  $18 \text{ °C}$ . De esta manera resulta un  $G_{cal}=2,241 \text{ W}/(\text{m}^3\text{K})$  del cual  $124 \text{ W}/(\text{m}^3\text{K})$  corresponde a las pérdidas por cerramientos opacos (siendo  $44,84 \text{ W}/(\text{m}^3\text{K})$  las pérdidas del muro de quincha,  $54,9 \text{ W}/(\text{m}^3\text{K})$  las pérdidas del zócalo de piedra, y  $24,64 \text{ W}/(\text{m}^3\text{K})$  las pérdidas por el techo)  $54,82 \text{ W}/(\text{m}^3\text{K})$  corresponden a las pérdidas a través de los cerramientos no opacos ( $43,38 \text{ W}/(\text{m}^3\text{K})$  por las ventanas y  $11,44 \text{ W}/\text{m}^3\text{K}$  por las puertas) y  $25,34 \text{ W}/(\text{m}^3\text{K})$  corresponde a las pérdidas a través del piso en contacto con el terreno; mientras que  $0.70 \text{ W}/(\text{m}^3\text{K})$  corresponden a las pérdidas por las renovaciones de aire, se adopta 2 renovaciones de aire por hora. El valor para la condición de piso ( $P_p$ ) resultó  $0,93$  para este caso con el piso con aislación, lo que resulta un valor de  $2.3 \text{ W}/(\text{m}^3\text{K})$ . Según la norma IRAM 11604 (2001), el valor de pérdida de calor ( $G_{cal}$ ) debe ser igual o menor que el valor obtenido de pérdida de calor admisible ( $G_{adm}$ ). En el presente caso, se ha obtenido un valor de  $G_{cal}$  de  $2,241 \text{ W}/(\text{m}^3\text{K})$ , el cual excede el valor admisible de  $G_{adm}$  de  $1.907 \text{ W}/(\text{m}^3\text{K})$ . Por lo tanto, no se verifica la norma mencionada en relación con el resultado obtenido. En la tabla 1, se visualiza que los valores para la transmitancia térmica de muros y techo en verano e invierno verifica la norma lo que representa que alcanzan los parámetros de construcción mínimo requerido. Sin embargo, se visualiza que no es así para los valores de pérdida global de calor.

		VERANO			INVIERNO		
TRANSMITANCIA TÉRMICA	Elemento constructivo de envolvente	K	Kadm	Verifica	K	Kadm	Verifica
		W/(m²K)	W/(m²K)		W/(m²K)	W/(m²K)	
	MURO DE QUINCHA	0,95	2	Nivel C	0,95	1.36	Nivel C
	TECHO	0.56	0.48	Nivel C	0.58	0.66	Nivel B
	PUERTA	3,154	1,25	-	3,154	1,25	-
	VENTANA	3,08	1,25	-	2,184	1,25	-
	ZÓCALO DE PIEDRA	2,9	2	No	2,9	1.36	No
COEFICIENTES VOLUMÉTRICOS					de Calefacción Gcal		
					Gcal	Gadm	Verifica
					W/(m³K)	W/(m³K)	
					2,241	1,907	No

**Tabla 1.** Resultados de Transmitancia Térmica, Carga Térmica y Coeficiente Volumétrico. **Fuente:** elaboración propia

La figura 6 presenta los porcentajes de pérdidas volumétricas de calor por elemento. Se observa que la mayores pérdidas de calor se deben a las infiltraciones (31,23%) respecto de cada elemento en particular; mientras que en la pérdidas de calor por la envolvente, el techo es el que menor pérdida de calor presenta (8,28%) y el zócalo de piedra presenta la mayor pérdida (18,46) a pesar de tener menor superficie que el muro de quincha (22,97% de superficie de la envolvente), seguido por las ventanas (18,43%); el muro de quincha siendo que tiene mayor superficie (57,06%) puede compensar las pérdidas de calor (15.08%).

Resultados del coeficiente volumétrico de pérdidas de calor - Gcal



**Figura 6.** Resultados del coeficiente global de pérdidas de calor de la vivienda calefaccionada (Gcal). **Fuente:** Elaboración propia.

*Diagnóstico del comportamiento higrotérmico*

*Media estación, otoño. Del 30 de marzo al 8 de abril de 2020.*

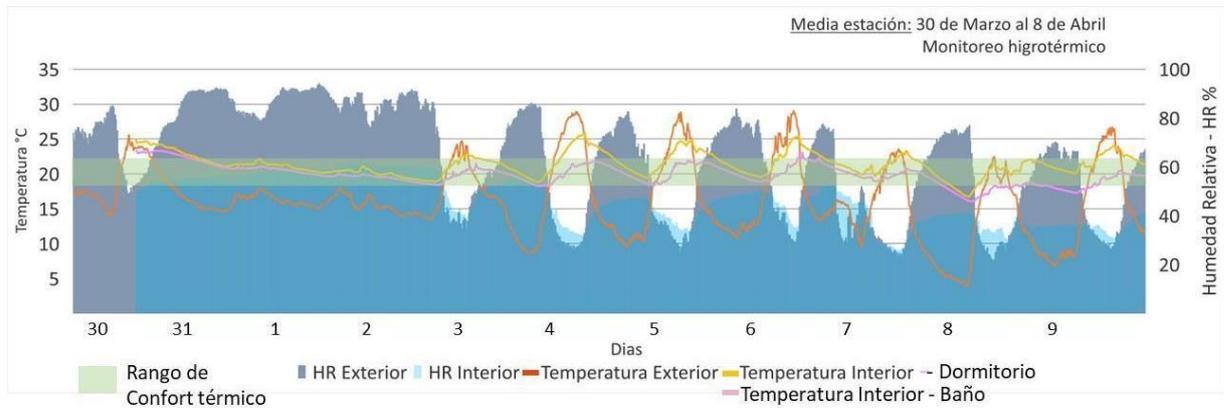
En este periodo se observan dos situaciones de insolación<sup>6</sup> diferentes: días nublados (30 de marzo al 1 de abril) y días soleados (2 al 8 de abril), las cuales permiten analizar el comportamiento de la vivienda bajo estas dos condiciones. La temperatura máxima absoluta exterior en este periodo fue de 28,5°C el día 3 de abril, mientras que la temperatura mínima fue de 4°C el 7 de abril.

Durante los primeros días de monitoreo (días nublados) se observa un descenso brusco de la temperatura exterior de 11°C, con una temperatura de 25°C de máxima que fueron decreciendo hasta los 14°C de mínima manteniéndose estable alrededor de los 15,9°C durante 2 días debido a la presencia de mucha nubosidad y algunas lloviznas esporádicas muy tenues. Esta nubosidad ocasionó que la amplitud térmica exterior se redujera a 2°C. En el interior de la vivienda la temperatura también se mantuvo estable en un valor medio de 21,0°C, con una amplitud térmica diaria prácticamente imperceptible. Se puede concluir que, durante el periodo nublado, la vivienda se mantuvo a una temperatura interior 6°C mayor a la exterior debido a la baja transmitancia térmica de su envolvente (K de muro de quincha = 0,95 W/(m²K) y K del techo = 0.56 W/(m²K). En cuanto a los valores de humedad relativa durante estos primeros días se observa en el exterior valores que alcanzan el 94%, mientras que en el interior se ubican en el 65% con promedios de 87,4% en el exterior y 58,1% en el interior. En el interior, la diferencia de humedad relativa entre el baño y el espacio principal es del 2% mayor, a excepción de los momentos en que los usuarios utilizan la ducha en el cual aumenta.

La segunda situación de análisis de este período (días soleados) ocurre a partir del 2 de abril. A diferencia de los primeros días nublados, se observa el incremento de la amplitud térmica exterior diario que alcanza diferencias de 19°C, con una temperatura media del orden de 13,5°C. Las temperaturas máximas alcanzaron los 29°C (día 3) y las temperaturas mínimas alcanzaron los 5 grados (día 7), lo cual es usual de los días de otoño en los que alternan periodos más fríos con días cálidos. En el interior, la temperatura media se ubicó alrededor de los 20,6°C con una amplitud térmica máxima de 6°C. Nuevamente, se puede concluir que la masa térmica de los muros es capaz de amortiguar el salto térmico exterior. En cuanto a la humedad relativa, ésta disminuye progresivamente hasta los últimos días de la serie alcanzando 21% en el exterior y 26% en el interior con un promedio humedad relativa exterior de 51,2% e interior de 36,5 %. Se observa además que las curvas de temperatura interior por local son

<sup>6</sup> De acuerdo con los datos relevados en campo por observación directa in situ y los valores de radiación obtenidos de: Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas. Ministerio de Economía, Infraestructura y Energía, Provincia de Mendoza. Estación Perdriel.

similares, siendo levemente la línea naranja, que indica el local del estar-dormitorio. En este período no se ha calefaccionado la vivienda.



**Figura 7.** Mediciones de temperatura y humedad relativa interior (del ambiente principal y del baño), y exterior (en la galería), para la estación intermedia (otoño). **Fuente:** Elaboración propia.

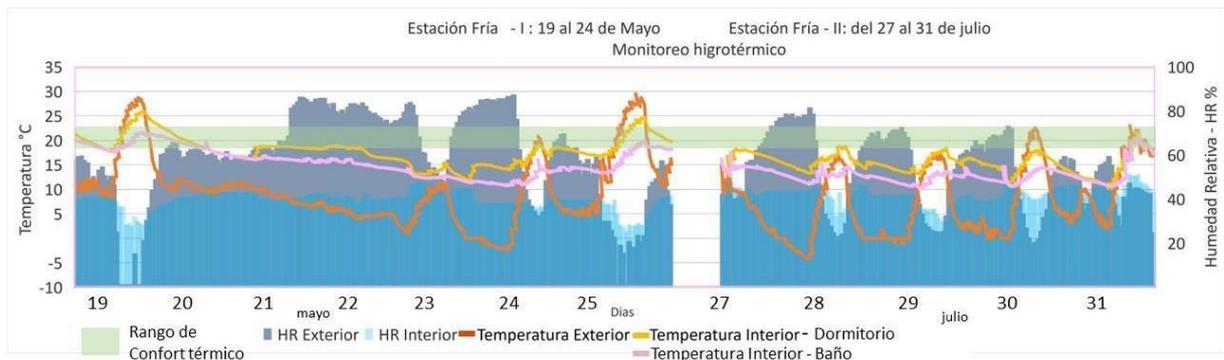
*Estación fría. Del 19 al 24 de mayo y del 27 al 31 de julio de 2020.*

Las primeras temperaturas invernales se detectaron en otoño (desde el 19 de mayo) con temperaturas que llegaron a los  $-4^{\circ}\text{C}$ , por lo cual se consideraron para el análisis. Se seleccionan entonces 10 días no consecutivos en 2 momentos: del 19 al 24 de mayo y del 27 al 31 de julio.

En la primera serie la temperatura exterior desciende desde los  $28.4^{\circ}\text{C}$  del día 19 a las 17.00hs hasta los  $-2,5^{\circ}\text{C}$  el día 23 a las 8.00 hs mientras que la humedad relativa exterior aumenta de manera constante hasta alcanzar el 87%. La temperatura exterior aumenta hasta  $29.4^{\circ}\text{C}$  y la humedad relativa exterior vuelve a disminuir hasta 15% el día 24. El comportamiento de la temperatura interior presenta una similitud con la temperatura exterior cuando esta última disminuye de manera constante durante los primeros días, manteniéndose en una diferencia de entre  $10.8^{\circ}\text{C}$  y  $14.2^{\circ}\text{C}$  con respecto a la temperatura exterior. La temperatura máxima interior del estar-dormitorio se registra el día 19 de mayo en  $25.7^{\circ}\text{C}$  y desciende a los  $11^{\circ}\text{C}$  el día 24 al mismo momento que los picos máximos de la temperatura exterior. Durante el rango temporal que abarca desde el día 20, donde se registró un pico mínimo de temperatura exterior de  $10.3^{\circ}\text{C}$  y una temperatura interior de  $21.1^{\circ}\text{C}$ , hasta el pico máximo de temperatura exterior mínima de  $1.18^{\circ}\text{C}$ , mientras que la temperatura interior correspondiente fue de  $15.4^{\circ}\text{C}$ . De esta forma, se logra amortiguar la diferencia de temperatura del exterior con  $2.7^{\circ}\text{C}$  menos caluroso en el pico máximo (día 19) y  $14.2^{\circ}\text{C}$  mayor con el pico de temperatura más frío (día 22). Las temperaturas más críticas en el interior se registran entre las 18.00 hs hasta las 15.00 hs del día siguiente, donde las temperaturas interiores son menores a los  $18^{\circ}\text{C}$ , valor establecido como límite de confort térmico. El día 21 se encendió la estufa aumentando la temperatura interior desde  $16.1^{\circ}\text{C}$  a  $18,6^{\circ}\text{C}$ . Los días posteriores, la temperatura exterior mantiene máximas de hasta  $22^{\circ}\text{C}$  y mínima de  $-4.1^{\circ}\text{C}$  con lo cual la amplitud térmica varía entre  $18^{\circ}\text{C}$  y  $22^{\circ}\text{C}$ . La humedad relativa exterior varía del 60% al 80% en la noche y entre 17% y 25% durante el día. La temperatura interior es  $3^{\circ}\text{C}$  mayor en el dormitorio-estar que en el baño y las curvas de temperatura de ambos varían con un mismo comportamiento. De la misma manera sucede con la humedad relativa interior con una diferencia de 10% siendo mayor en el baño.

En la segunda serie, del 27 al 31 de julio, se observan que la temperatura exterior desciende hasta  $-4.1^{\circ}\text{C}$  el día 28 a las 8.00 hs y aumenta hasta su temperatura máxima en  $16^{\circ}\text{C}$  a las 16.00 hs, con lo cual la amplitud térmica diaria es de  $20^{\circ}\text{C}$ . La temperatura máxima fue de  $22^{\circ}\text{C}$  el día 31 en la tarde. La humedad relativa exterior más alta llegó al 77% durante la noche y descendió al 23% durante el día, debido a las heladas que suceden en la madrugada. La

temperatura interior se encuentra por debajo de los niveles de confort excepto entre las 16.00 hs y las 18.00 hs en la cual la temperatura interior del estar-dormitorio llega hasta los 18°C. La vivienda logra amortiguar hasta 18°C de temperatura entre el exterior-interior, siendo de 14°C la temperatura del estar-dormitorio en el momento más crítico cuando en el exterior llega a -4.1°C. Las temperaturas interiores tanto en el estar-dormitorio y el baño oscilan con el mismo comportamiento con una diferencia constante de 3°C siendo menor en el baño. Esto es debido a la orientación al sur sin ganancia solar del mismo y a la mayor composición de piedra en el muro. La humedad relativa interior presenta valores entre 8% y 13% más en el baño que en el estar-dormitorio los cuales durante la noche presentan valores de 52% en el baño y 44% el estar-dormitorio, luego desciende la humedad a un 46% y 32% respectivamente durante el día.



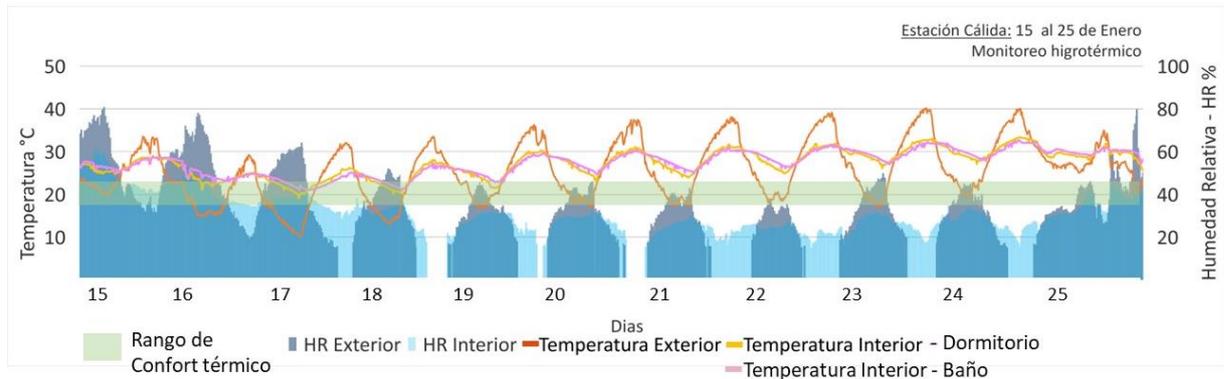
**Figura 8.** Mediciones de temperatura y humedad relativa interior (del ambiente principal y del baño), y exterior (en la galería), para la estación fría. **Fuente:** Elaboración propia

*Estación cálida. Del 15 al 25 de enero de 2021.*

En el último periodo de monitoreo higrotérmico corresponde a la estación cálida (verano) donde se analizaron 10 días, del 15 al 25 de enero. Se observan también dos situaciones, una situación con temperaturas con menor amplitud térmica diaria (hasta 13°C en los días 15 y 16 de enero) y valores de humedad relativa altos para Mendoza que llegan hasta el 80%, seguido por una transición en la que comienza a aumentar la temperatura exterior y disminuir la humedad relativa llegando a una situación más usual para el clima de Mendoza, con una humedad relativa menor al 40% y una amplitud térmica diaria de temperatura de hasta 23°C. Los resultados muestran que las temperaturas del aire más elevadas en el exterior indican un pico máximo de 40.1 °C el día 23 de enero a las 18:00, la temperatura máxima más baja durante la serie fue de 29°C el día 16 de enero; mientras que las temperaturas más bajas exteriores llegaron a los 10°C el día 17 de enero a las 06.00 hs y la temperatura mínima más elevadas fue de 20°C el día 15.

Por su parte, los resultados de las temperaturas del aire interior se muestran por encima de los niveles de confort durante todo el periodo monitoreado a excepción de los días 17 y 18 en la madrugada donde la temperatura interior pudo descender hasta los 21°C en el estar-dormitorio y 20°C en el baño. Como se observa en la figura 9, la curva de temperatura interior indica una máxima de 33°C el día 24 con lo cual se disminuyó 7°C respecto del exterior la cual alcanzó los 40°C. La oscilación entre temperaturas máxima interior y mínima interior varía entre 8°C y 4°C en el estar-dormitorio y entre 6,5°C y 2°C en el baño. Se observa además que el comportamiento térmico se desempeña de igual manera para los dos ambientes, el espacio principal dormitorio-comedor y el baño, con una diferencia de 2°C de temperatura. Esto es debido a que el baño no presenta aventanamientos que permitan la ganancia solar, además de ser un ambiente con mayor humedad, menor volumen y tener una superficie de muro constituida con mayor porcentaje en piedra que el ambiente principal. La humedad relativa interior llegó a un

máximo del 50% el día 15 cuando en el exterior llegaba a 80%, en los días siguientes disminuye hasta el pico mínimo en 15% y un valor máximo de humedad relativa interior de 30%.

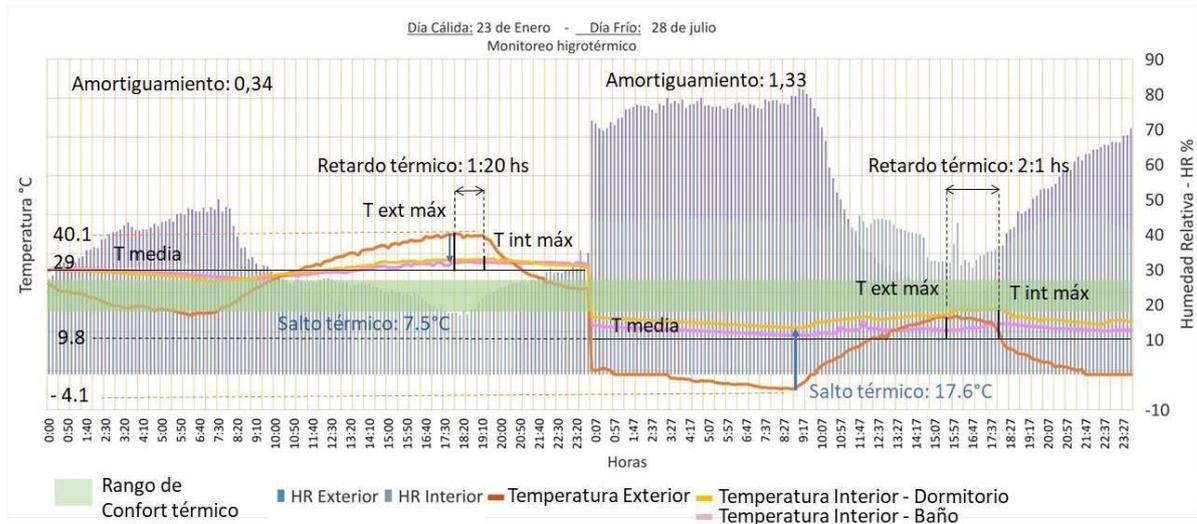


**Figura 9.** Mediciones de temperatura y humedad relativa interior (del ambiente principal y del baño), y exterior (en la galería), para la estación cálida. **Fuente:** Elaboración propia.

## Retardo térmico

### *Temperatura cálida y fría*

A fin de analizar el retardo térmico entre el interior y el exterior, se eligieron los días más extremos en términos de temperatura: el 23 de enero y el 28 de julio. En la figura 10 se observa la gran amplitud térmica diaria de la temperatura exterior y la leve oscilación de la temperatura interior en ambas situaciones. En verano, la diferencia máxima de temperatura entre el exterior y el interior es de 7.5°C con 40.1°C a las 18:00 horas y 32.6°C, respectivamente). La temperatura interior mínima fue de 26°C a las 7:10 horas. El retardo térmico considerando los picos máximos entre la temperatura exterior e la interior es 1:20 hs (la temperatura máxima interior fue de 32,8°C a las 19:20 horas) y el amortiguamiento es 0,34 calculado como el cociente entre la temperatura interior respecto la temperatura media (11,1) sobre la temperatura exterior respecto de la temperatura media (3,8); la temperatura media se registró en 29°C. En invierno, el pico de temperatura máxima exterior se registró a las 15:27 horas, alcanzando los 16.5°C, mientras que el pico de temperatura máxima interior se registró a las 17:37 horas, con una temperatura de 18.7°C. Además, en ese momento comenzó a disminuir la temperatura exterior, lo que resultó en un desfase de 2 horas y 10 minutos. El descenso de la temperatura exterior se produjo con mayor oscilación que la temperatura interior, lo que generó una diferencia de hasta 17.6°C a las 8:50 horas, con -4°C en el exterior y 13.4°C en el interior. El amortiguamiento es de 1,3 considerando una temperatura media de 9.8°C. De esta manera, en invierno se logra amortiguar la temperatura casi 4 veces más que en verano. Aunque se logró reducir la temperatura interior en comparación con la exterior en ambas situaciones, siendo aún más favorable en invierno, ninguna de las situaciones alcanzó los rangos de temperaturas de confort en el interior, es decir, entre 18°C y 22°C según la norma ASHRAE 55.



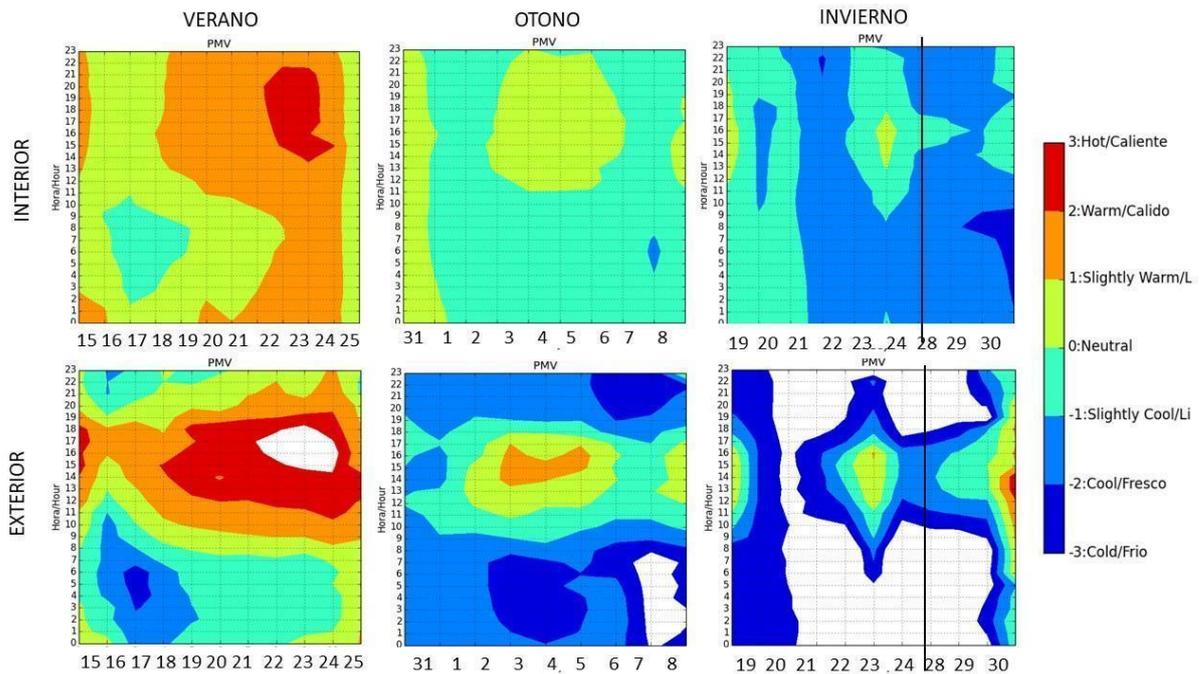
**Figura 10.** Mediciones de temperatura y humedad relativa interior (del ambiente principal y del baño), y exterior (en la galería) para el día representativo de cada serie: a- media estación, b- estación fría, c- estación calidad. **Fuente:** Elaboración propia en base a los monitoreos realizados con los sensores higrotérmicos HOBO.

De acuerdo con los resultados, se puede ver tanto para los días de verano como de invierno, que la masa del muro contribuye a amortiguar la diferencia de temperatura exterior con el interior logrando un adecuado desempeño térmico de la vivienda. Se reduce el salto térmico siendo menos caluroso en el interior en verano ( $6,8^{\circ}\text{C}$ ) y en  $17^{\circ}\text{C}$  menos frío que el exterior en invierno, cuando las temperaturas exteriores son extremas y rondan los  $40,1^{\circ}\text{C}$  y  $-4,1^{\circ}\text{C}$ . Con lo cual es más favorable en la situación de temperaturas frías que para las temperaturas altas cálidas para la zona bioambiental de estudio. Durante el otoño se logra alcanzar valores de confort térmico interior a pesar de una gran amplitud térmica diaria. Las temperaturas exteriores más bajas y altas durante esta estación no son tan extremas como en verano e invierno, lo cual es el desempeño térmico de la vivienda es el más deseable. En invierno, se detecta un buen salto térmico interior-exterior, por el efecto de la masa (tierra) del muro ya que en este período no se ha encendido la estufa como mencionaron los usuarios en las entrevistas. Como referencia, los estudios de Michael, A., Philokyprou, M., Thravalou, S., Ioannou, I. (2017) alcanzan un desfase de 5 horas de retardo térmico entre el exterior y el interior, utilizan espesores de muros de 50 cm en técnicas de construcción de tierra de adobe (mientras que en el caso de estudio de análisis el espesor de masa de muro es de 26 cm).

### Diagnóstico del confort térmico

Dado que la estación intermedia (del 31 de marzo al 8 de abril) presenta una oscilación de temperaturas interiores de acuerdo con la figura 7 que muestra el rango de temperaturas de confort en el interior, es decir, entre  $18^{\circ}\text{C}$  y  $22^{\circ}\text{C}$  (ASHARE 55) y se verifica en concordancia con el análisis de la sensación térmica que se visualiza en la figura 11. En ambiente interior se mantuvo durante el 82% (178 hs) en confort térmico ( $-0,5 < \text{PMV} < 0,5$ ), con un 2% (6 hs) con sensación ligeramente cálida ( $0,5 < \text{PMV} < 1,5$ ) y un 14% ligeramente fresca ( $-1,5 < \text{PMV} < -0,5$ ). Los valores de confort para la humedad relativa son entre el rango del 30% y el 60%. En este periodo, tanto la humedad relativa como la temperatura interior se mantienen en el rango de confort sin necesidad de acondicionar la vivienda. Durante este periodo, los usuarios no emplean ninguna forma de acondicionamiento térmico mecánico, tanto de refrigeración como de calefacción. Se ventiló la vivienda al menos una vez por día durante 30 minutos en la tarde (aproximadamente desde el mediodía hasta las 17.30 hs). Para la estación calidad en verano (del 15 al 25 de enero) se observa en la figura 11 que el interior de la vivienda estuvo 23% (63 hs) en sensación de confort térmico ( $-0,5 < \text{PMV} < 0,5$ ), un 50% (135 hs) con sensación ligeramente cálida ( $0,5 < \text{PMV} < 1,5$ ), un 24% (66 hs) cálida. Para los días de la estación fría en los dos períodos analizados (mayo y julio) se observa

que el ambiente interior se mantuvo 12% (30 hs) en sensación de confort térmico ( $-0.5 < PMV < PMV < PMV < -0.5$ ), un 1% (30 hs) con sensación ligeramente cálida ( $0.5 < PMV < 1.5$ ), un 55% (133 hs) con sensación ligeramente frío ( $-1.5 < PMV < -0.5$ ), y un 29% (70 hs) con sensación Fresco ( $-2.5 < PMV < -1.5$ ). Tanto en invierno como en verano se observa que el ambiente interior mantiene una oscilación de la temperatura más atenuada respecto de la amplia variación de temperatura que ocurre en el exterior. Se supera con un completo disconfort térmico en un 10% (28 hs) con sensación caliente en verano ( $PMV > 2.5$ ), y 55% (147 hs) en sensación de frío en invierno ( $PMV < -2.5$ ). Dichos resultados se obtuvieron de acuerdo con las condiciones de cálculo según los valores de temperatura y humedad relativa registrados en el monitoreo y los valores de índice de arropamiento en verano: 0,5 clo; en otoño: 0,72 clo; en invierno en el interior: 1.1 clo, en invierno exterior: 1.3<sup>7</sup>; tasa metabólica: 1,3 met, y velocidad del aire: 0,1 m/s. En la figura 11 se observa los resultados de la sensación térmica (PMV) por medio del código de color.



**Figura 11.** Sensación térmica analizada a través del PMV para la estación cálida (verano), intermedia (otoño) y fría (invierno y días en otoño) en donde en el eje y se muestran las horas del día y en el eje x se muestran los días de la serie monitoreados. **Fuente:** Elaboración de autoras a partir del Software SIMEDIF.

A partir de los resultados, surge el interrogante de si es factible alcanzar el confort térmico en la vivienda durante las tardes de verano sin el uso de refrigeración. Una posible solución sería reducir la ganancia solar directa a través de las ventanas mediante el uso de postigones, aleros u otros elementos de sombreado, así como aumentar las ventilaciones durante la noche para aprovechar el refrescamiento nocturno y evacuar el exceso de calor acumulado en el interior. Según los habitantes de la vivienda, se adaptan a las condiciones del verano permaneciendo en la galería, a la sombra con lo cual se evita el uso del interior de la vivienda. Durante el invierno, recurren a ropa térmica durante el día y mantas de plumas para dormir, y en ocasiones utilizan una estufa eléctrica para mantener el ambiente cálido en los horarios del atardecer y amanecer.

<sup>7</sup> Knee-length skirt, long-sleeve shirt, half-slip, long-sleeve sweater: 1.10. 5 plus suit jacket, long underwear bottoms: 1.30. Knee-length skirt, short-sleeve shirt (sandals): 0.54. Long-sleeve coveralls, T-shirt: 0.72 (ASHRAE 55)

## Conclusiones

El empleo de técnicas constructivas en tierra logra mayor acumulación de calor en la masa del muro por las propiedades de la tierra, la cual por su inercia térmica logra disipar con retardo la temperatura hacia el interior como se observó en las curvas de temperatura. Por lo tanto, la incidencia de los muros de tierra en el comportamiento térmico de la vivienda permite reducir la oscilación térmica interior y amortiguar la diferencia de la temperatura exterior. La acumulación de calor en el muro se produce durante el día por la ganancia solar y se logran amortiguar las pérdidas de calor que suceden durante la noche. A pesar de que la envolvente representa el 31% de la mayor pérdida de calor de la vivienda y tiene gran incidencia en su desempeño térmico. Por lo cual, actuar solo en la envolvente no garantiza la totalidad del acondicionamiento térmico pasivo, siendo indispensable un diseño integral que aplique en su conjunto estrategias bioclimáticas.

Si bien las técnicas de construcción con tierra presentan ventajas por las propiedades de los materiales en dicha técnica, el diseño arquitectónico bioclimático es imprescindible para lograr un adecuado confort térmico, el cual contribuye a un adecuado desempeño térmico de la vivienda. En este caso se podrían mejorar a partir de incorporar estrategias de diseño bioclimático en consideración de la técnica constructiva de quincha y adaptado al recurso solar. Captar la radiación solar en invierno para que se pueda acumular el calor a través de la masa del muro de tierra, mientras se protege en verano mediante el uso de aleros o galerías que deben calcularse para garantizar la adecuada sombra para evitar captar la ganancia solar como así también el uso de una adecuada ventilación que permita evacuar el excedente de calor acumulado.

De acuerdo con los resultados de monitoreo higrotérmico se puede ver tanto para los días de verano como de invierno que la vivienda logra un desempeño térmico adecuado para amortiguar la diferencia de temperatura exterior con el interior. Reduce en un salto térmico hasta 7.5°C en verano y aumenta 17°C en invierno (40.1°C y -4.1°C en el exterior) con un retardo de 2,10 hs en invierno. De esta manera se observa un mejor desempeño térmico de la vivienda en la estación fría, sin embargo, no logra alcanzar un confort térmico interior con un acondicionamiento térmico pasivo. En verano un 23% del tiempo el ambiente interior presenta sensación de confort térmico y en invierno un 12%, considerando además que el 50 % del tiempo se mantuvo con sensación de ligeramente cálido en verano y 55% con sensación ligeramente frío en invierno. En otoño se logra alcanzar los valores de rango de confort térmico interior durante un 82 % del periodo analizado, sin necesidad de acondicionar la vivienda, siendo este el comportamiento más deseable. A su vez, por medio de las entrevistas, los usuarios manifestaron sentirse satisfechos en su grado de confort.

Por lo tanto, para la zona climática templada fría de montaña donde se sitúa el caso de estudio, y donde suceden temperaturas exteriores con gran amplitud térmica, se concluye que el efecto de la masa térmica en los muros de quincha incide y contribuye en el salto térmico entre el exterior y el interior, como así mismo en la atenuación de la oscilación de la variación de la temperatura interior. Sin embargo, no es suficiente para lograr un acondicionamiento térmico pasivo de la vivienda en invierno y verano. En verano deben integrarse otras estrategias bioclimáticas para evacuar el exceso de calor acumulado en el interior de la vivienda (como refrigeración pasiva, ventilación nocturna y un adecuado uso de la protección solar de aleros y galerías) mientras que en invierno por el contrario se debe aumentar la ganancia solar y conservar la carga térmica acumulada. Por lo tanto, el estudio a priori del diseño arquitectónico bioclimático para las técnicas de quincha con estrategias de acondicionamiento térmico pasivo resulta adecuado a partir de un diseño arquitectónico integral que considere su tectónica adaptada al clima en función del desempeño higrotérmico de la vivienda.

## Agradecimientos

La investigación se realizó en el marco de la beca doctoral de CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) que ha brindado el soporte financiero con el cual a partir del estipendio de beca se pudo acceder a los equipos técnicos de medición. Las autoras agradecen a la Estación Meteorológica de Perdriel por

haber brindado los datos climáticos para el período analizado y a los propietarios de la vivienda por permitir auditar su casa y participar de las entrevistas. Como así también se agradece a los colegas (Arq. Ortega y Arq. Czajkowski) quienes contribuyeron con su disponibilidad para consultar en los procedimientos de cálculo.

## Bibliografía

- Abanto, G. A., Karkrib, M., Lefebvre, G., Horna, M., Solisa, J. S. y Gómez, M., (2017). Thermal properties of adobe employed in Peruvian rural areas: Experimental results and numerical simulation of a traditional bio-composite material. *Case Studies in Construction Materials*, (6), 177–191.
- Alonso-Frank, A., y Kuchen, E. (2017). Validación de la herramienta metodológica del Alonso-Frank & Kuchen para determinar el indicador de nivel de eficiencia energética del usuario de un edificio residencial en altura, en San Juan - Argentina. *Hábitat Sustentable*, 7(1).<http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2740>
- ASHRAE (2010). Standard 55. Thermal environmental conditions for human occupancy.
- Balaguer, L., Vegas López-Manzanares, F., Mileto, C. y García-Soriano, L. (2019). Assessment of the thermal behavior of rammed earth walls in the summer period. *Sustainability*, 11(7).
- Borhi, J.C., Hernández, L.H., Juárez, P.R., Loguercio, J. y Balderrama, C. (2012). Análisis de índices de confort térmico para las condiciones de la República Argentina, comenzado por C.A.B.A. y la pcia. de Buenos Aires. Seminario Nacional Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza - Instituto Regional de Estudios sobre Energía, Eficiencia Energética. Mendoza.
- Caña, I. y Martín, S. (2004). Recovery of Spanish vernacular construction as a model of bioclimatic architecture. *Building and Environment*, (39), 1477 – 1495.
- Castellarnau Visús, A. (2019). Caracterización de la transmitancia térmica de un muro de tierra comprimida. 19º Memorias SIACOT, Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra: conservación sostenible del paisaje, tierra y agua. (Oaxaca de Juárez, México). *FUNDASAL / PROTERRA*, 19. San Salvador. 718 -732. ISBN 978-99923-880-6-8
- Czajkowski, J.D. y Calisto Aguilar, G. (sf) Clima y Arquitectura. Recuperado en <http://www.arquinstal.com.ar/atlas/climayarq.html>
- Czajkowski, J.D. y Gómez, A.F. (2002). Diseño bioclimático y economía energética edilicia. Fundamentos y métodos. *Editorial de la Universidad Nacional de La Plata*. La Plata. ISBN: 978-987-05-4908-6
- Cuitiño G., Esteves A., Marín L. y Bertini R. (2016). Salón de usos múltiples con tecnología de quincha en zona de montaña. Análisis térmico de su comportamiento. Acta de la XXXIX Reunión de Trabajo de ASADES, *Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4, 95-103.
- Cuitiño, G., Rotondaro, R., y Esteves, A. (2021). Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra. *Revista de Arquitectura*, 22 (1), 138 –151.
- Elsinger, D. y Garzon, B. (2020). Incidencia del usuario en el consumo energético de viviendas: el caso de las casas gemelas. *Pensum*, 6 (6), 208-226.
- Fernandes, J., Peixoto, M., Mateus, R. y Gervásio, H. (2019). Life cycle analysis of environmental impacts of earthen materials in the Portuguese context: rammed earth and compressed earth blocks. *Journal of Cleaner Production*, 241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118286>

- Fernández Llano, J. (mayo de 2020). Apuntes de confort térmico y balance energético edilicio. Seminario virtual de posgrado dictado en la Universidad Tecnológica Nacional - Regional Mendoza. Mendoza.
- Filippín C., Flores Larsen, S. y Marek, L. (2020). Performance térmico-energética de un edificio bioclimático en una zona de alta radiación de Argentina. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 45, 21-31.
- Flores Larsen, S. (2019). SIMEDIF. Software para el cálculo del comportamiento térmico transitorio de edificios. Manual del usuario. INENCO-UNSa-CONICET. Salta, Argentina.
- Garzón, B. y Mendonca, C. (2013). TRANS-Q-E: Programa calculador de transmitancia, cargas térmicas de calefacción y refrigeración y consumos energéticos, según Normas IRAM 11601(2004), 11603 (2012), 11604 (2004), 11605 (2002), 11659- 1 (2007), 11659- 2 (2007).
- Gea Salim, C., Hong, M., González, S. y Flores Larsen, S., (2019). Evaluación térmica y de confort en salas del cabildo de salta en invierno. *Actas de ASADES, Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 23.
- Giovino, M.L., (2016). Bilan énergétique, technique de construction et efficacité énergétique: Le Pavillon Suisse à Paris et les Maison en terre dans le sud-est marocain. Tesis de maestría realizada en la Universidad de Paris VII, Université Paris-Diderot, UFR Physiques. Inédita. 94p.
- Giovino, M.L., García Villar, G., Dorado, P. y Rolón, G. (2022). Desempeño térmico simulado de un edificio construido con tierra alivianada encofrada en Tucumán. *Memorias del 20º Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. PROTERRA/Oficina del Conservador*, 20. Trinidad, Cuba. 559-569.
- Gonzalo, G.E. (2002). Programa para el cálculo de transmitancia térmica y verificación de condensación superficial e intersticial. Centro de Estudios de Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán.
- Heathcote, K. (2011). The thermal performance of earth buildings. *Informes de la Construcción* 63 (523), p. 117-
- International Standard Organization (2014). Thermal insulation. Building elements. In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance. Part 1: Heat flow meter method. ISO 9869-1.
- Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, CSIC. (2019). Código Técnico de la Edificación <https://www.codigotecnico.org> (Access on 25 January 2019).
- IRAM (1996). Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Norma N° 11605. *Instituto Argentino de Normalización y Certificación*. Buenos Aires.
- IRAM (2000). Aislamiento térmico de edificios. Aislamiento térmico de edificios Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en los paños centrales de muros exteriores, pisos y techo. Norma N° 11625. *Instituto Argentino de Normalización y Certificación*. Buenos Aires.
- IRAM (2000). Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en puntos singulares de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general. Norma N° 11630. *Instituto Argentino de Normalización y Certificación*. Buenos Aires.
- IRAM (2002). Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario. Norma N° 11549. *Instituto Argentino de Normalización y Certificación*. Buenos Aires.
- IRAM (2002). Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario Norma N° 11601. *Instituto Argentino de Normalización y Certificación*. Buenos Aires, 1–52.

- IRAM (2004). Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites. Norma N° 11604. *Instituto Argentino de Normalización y Certificación*. Buenos Aires.
- IRAM (2007). Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 2: Edificios para viviendas. Norma N° 11659. *Instituto Argentino de Normalización y Certificación*. Buenos Aires.
- IRAM (2012). Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Norma N° 11603. *Instituto Argentino de Normalización y Certificación*. Buenos Aires.
- IRAM (2017). Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo. Norma N° 11900. *Instituto Argentino de Normalización y Certificación*. Buenos Aires.
- Kimura, K. y Yamazaki, K. (1982). Passive cooling of thatched roofs in traditional Japanese vernacular homes. In PLEA Proceedings, Passive and Low Energy Architecture (PLEA), Bermuda.
- Kuchen, E. y Kozak, D. (2020). Transición energética argentina. El nuevo estándar de eficiencia energética en la evaluación de la vivienda social. Caso de estudio: vivienda de barrio Papa Francisco. *Hábitat Sustentable*, 10(1), 44 -55. <https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.04>
- Maristany, A. y Angiolini, S. (2017). Calor, envolventes y eficiencia energética. *Editorial de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba*, 1a edición. Córdoba.
- Martins Neves, C. (Coord.) (2003). Técnicas Mixtas de Construcción con Tierra. *PROTERRA, CYTED*.
- Michael, A., Philokyrou, M., Thravalou, S. y Ioannou, I. (2017). The role of adobes in the thermal performance of vernacular dwellings. Actas Terra Lyon 2016. *CRAterre*. Villefontain. ISBN 979-10-96446-12-4.
- Minke, G. (2006). Building with earth: design and technology of a sustainable architecture. *Birkhäuser*. Basel/Berlin/Boston.
- Minke, G. (2008). Manual de construcción en tierra (3ª edición en castellano). *Editorial Fin de siglo*.
- Michael C., Pérez, R. y Blasco Lucas, I. (2015). Análisis térmico-energético de vivienda proyectada con Tecnologías apropiadas para San José de Jáchal. Actas de ASADES, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 19, 69-80. ISSN 2314-1433.
- Molina Flores, (2018). Uso del programa EnergyPlus para la simulación del consumo energético de un módulo bioclimático ubicado en Imata, Arequipa a 4519 msnm. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias, Lima, Perú.
- Muñoz Vázquez, N. (2019). Caracterización térmica de un edificio construido según los estándares recomendados para la región centro bonaerense - estimación de las pérdidas y ganancias de calor mediante el desarrollo de modelos específicos que contemplan análisis inverso y directo; Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires Facultad de Ciencias Exactas Grupo Flujos Geofísicos y Ambientales.
- Neves, C., Faria, O., Rotondaro, R., Cevallos, P. y Hoffmann, M.V. (2009). Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra. Prácticas de campo. *PROTERRA, CYTED*. Lisboa, Portugal.
- Neves, C. y Borges Farías, O. (Orgs.) (2011). Técnicas de Construcción con Tierra. *UNESP / PROTERRA*. [https://redprotterra.org/wp-content/uploads/2020/05/4a\\_PP-Tecnicas-de-construccion-con-tierra\\_2011.pdf](https://redprotterra.org/wp-content/uploads/2020/05/4a_PP-Tecnicas-de-construccion-con-tierra_2011.pdf)
- Ortega, M., Garzón, B y Fernández, A. (2020). Comportamiento térmico de una vivienda PRO.CRE.AR. de tierra en Tucumán. *Arquitectmo*, (17), 43-52.

- Ortega, M., Giuliano, G. y Garzón, B. (2021). Modelos de balance térmico- energético para la evaluación de vivienda social de adobe. *Pensum*, 7 (7), 100-117. ISSN: 2469-0724.
- Parra-Saldivar, M.L. y Batty, W. (1994). Thermal behaviour of adobe constructions. *Building and Environment*, 41 (2006) 1892–1904.
- Patrone, J. C. (2017). Eficiencia energética en la construcción con tierra. Tesis de la maestría interdisciplinaria de la energía. Dirigida por el Dr. Arq. John Martin Evans. CEARE- Centro de estudios de actividad regulatoria de la energía. Buenos Aires.
- Red PROTIERRA Argentina (2020). Relevamiento y análisis de normas jurídicas y técnicas referidas a la construcción con tierra, vigentes en la República Argentina. *Red Protierra Argentina*. Disponible en: [http://redprotierra.com.ar/wp-content/uploads/2020/07/ANALISIS-NORMAS-JUR%C3%8DDICAS-Y-T%C3%89CNICAS-CONSTRUCCION-CON-TIERRA-ARGENTINA\\_Completo.pdf](http://redprotierra.com.ar/wp-content/uploads/2020/07/ANALISIS-NORMAS-JUR%C3%8DDICAS-Y-T%C3%89CNICAS-CONSTRUCCION-CON-TIERRA-ARGENTINA_Completo.pdf)
- Red PROTIERRA Argentina (2021). Proyecto de ordenanza de Arquitectura y Construcción con tierra. [http://redprotierra.com.ar/wp-content/uploads/2021/08/PROYECTO-DE-ORDENANZA-DE-AyCT\\_julio-2021.pdf](http://redprotierra.com.ar/wp-content/uploads/2021/08/PROYECTO-DE-ORDENANZA-DE-AyCT_julio-2021.pdf)
- Rincón, L., Carrobé, A., Martorell, I. y Medrano, M. (2019). Improving thermal comfort of earthen dwellings in sub-Saharan Africa with passive design. *Journal of Building Engineering*, 24.
- Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H. E., Órnelas-Nuñez, J. L. y Garnica-Romo, M. G. (2010). Optimización de la extracción del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*). *XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*.
- SIMEDIF V2.0. Software de cálculo del comportamiento térmico dinámico de edificios. Disponible en: <http://www.leb.unsa.edu.ar/software/>
- Vázquez Espi, M. (2001). Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales. *Informes de la Construcción*, 52(471), 29–43. DOI: <https://doi.org/10.3989/ic>
- Viñuales, G.M. (2007). Tecnología y construcción con tierra. *Apuntes*, 2 (20), 220-231.
- Wieser, M., Rodríguez-Larraín, S. y Onnis, S. (2021). Estrategias bioclimáticas para clima frío tropical de altura. Validación de prototipo en Orduña, Puno, Perú. *ESTOA*, 10(19), 9-19. doi: 10.18537/est.v010.n019.a01
- Zamorano, M. (1950). Acerca de la vivienda natural en la República Argentina y especialmente en Mendoza. En: *Anales de Arqueología y Etnología*, 11, 89-100.