

DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE UN DISPOSITIVO DE MONITOREO TÉRMICO EN UN PROTOTIPO DE TIERRA ALIVIANADA

Gonzalo García Villar¹, Lucas Peisino², Laura Giovino³, Araí Rieppi Godoy⁴, Guillermo Rolón⁵

¹ Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda - CRIATIC. Facultad de arquitectura y urbanismo – FAU. Universidad Nacional de Tucumán - UNT. Consejo Nacional de investigaciones científicas y técnicas CONICET, Argentina, arqgonzalogv@gmail.com

Centro experimental de la vivienda económica (CEVE-CONICET-AVE), ²lpeisino@ceve.org.ar; ⁴arairieppigodoy@gmail.com

³ Centro Internacional de Ciencias de la Tierra – ICES, Argentina. Universidad Nacional de Cuyo – UNCUYO, Comisión Nacional de Energía Atómica-CNEA. Consejo Nacional de investigaciones científicas y técnicas - CONICET, Argentina, mgiiovino@gmail.com

⁵ Instituto de Investigaciones Tecnológicas y Territoriales para la Producción del Hábitat – INTEPH, Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional de Tucumán FAU - UNT. Consejo Nacional de investigaciones científicas y técnicas - CONICET. Argentina, guillerolon02@gmail.com

Palabras clave: acondicionamiento térmico, termocuplas, sensores, sistemas de entramado

Resumen

La técnica tierra alivianada encofrada (TAE) tiene la particularidad de aportar a las edificaciones aislamiento térmico por resistencia, asegurando el estado de confort interior bajo condiciones de diseño adecuadas. Esta técnica se aplicó en un prototipo ejecutado como depósito para la Asociación Campesina de Tucumán (ACT), el cual se está monitoreando para determinar su eficiencia, principalmente para temperaturas de verano. Para llevar a cabo el monitoreo se diseñó y construyó un dispositivo *ad hoc*. En este artículo, se exponen los criterios de diseño del dispositivo, la estrategia de medición y disposición de sensores aplicados para realizar el monitoreo térmico del prototipo y se presentan los primeros resultados, incluido un ajuste del modelo elaborado. Se desarrolló un dispositivo electrónico de bajo costo para la toma de datos, mediante la lectura de sensores de temperatura, termocuplas diferenciales, y almacenamiento de los mismos, para luego realizar el procesamiento y análisis mediante el software R. A fin de poder, por un lado, estimar la transferencia de calor en el muro y evaluar la resistencia térmica de la técnica TAE, y, por otro, evaluar el diseño del dispositivo y su funcionamiento, se colocaron sensores en las 4 paredes exteriores y en dos fracciones del techo, como así también sensores de ambiente. Los registros parciales fueron graficados para explicitar el ajuste del modelo realizado en un trabajo previo. Los resultados parciales obtenidos (durante 2023 y parte de 2024) indican un funcionamiento óptimo del dispositivo, como así también en la capacidad aislante de este tipo de muros. Las altas temperaturas en los meses de verano conllevan a pensar en nuevas estrategias para mejorar el confort de los espacios interiores, empleando ventilación en horarios de la tarde, y una mejora en la aislación de las aberturas. Además, de los datos obtenidos se reflexiona sobre el ajuste de la geometría del modelo virtual del edificio para su posterior simulación termo-energética.

1 INTRODUCCIÓN

Las estimaciones de comportamiento térmico de las edificaciones pueden realizarse mediante cálculos manuales, simulación con software específicos, o con mediciones *in situ* utilizando dispositivos para la obtención de datos reales según su uso y funcionamiento. El comportamiento térmico es un factor relevante para determinar el confort interior y la habitabilidad de los espacios construidos. Este comportamiento está asociado a la época del año, a la actividad de los usuarios y a los materiales utilizados en la construcción del edificio.

Algunas de las investigaciones que se mencionan a continuación se han enfocado en el análisis *in situ*. En Tucumán, los estudios de Ortega et al. (2021a, 2021b) se han enfocado en el desempeño térmico de viviendas construidas con tierra, realizando monitoreos y estudios higrotérmicos en viviendas de adobe como de la técnica tierra alivianada encofrada (TAE). Sin embargo, sus investigaciones han utilizado sensores datalogger de temperatura y humedad que registran la temperatura del aire y no la temperatura de la superficie de un material ni en el interior de las capas de la envolvente.

Hasta el momento son escasos los estudios sobre el desempeño térmico de construcciones resueltas aplicando la técnica de tierra alivianada para cerramiento de las construcciones, sea de manera encofrada en los muros o con bloques para aislamiento térmico de techos (Volhard, 2016; Wieser; Onnis; Meli, 2020). Menos aún para regiones subtropicales como en la que se emplaza la provincia de Tucumán, donde los veranos son sumamente calurosos, húmedos y con eventos de lluvia intensos, en tanto que los inviernos son poco pronunciados. Eso pone en relieve la falta de conocimiento específico de este sistema constructivo para la provincia y la región. Un estudio previo de Giovino et al. (2022) constituye el único análisis realizado hasta el momento para estas condiciones ambientales señaladas y sólo mediante una simulación del desempeño térmico a partir del uso del programa EnergyPlus 9.2. Este estudio se aplicó para el edificio simulado del prototipo co-construido con la Asociación Campesina de Tucumán (ACT). En el análisis se consideró que el edificio se ubica en la ecorregión del Chaco semiárido y en la zona bioclimática II b, cálida, la cual se caracteriza por presentar una amplitud térmica menor a 14 °C, y las temperaturas críticas suceden en verano (diciembre a marzo) con una media de 24 °C y máximas superiores a los 40 °C (IRAM, 2011). Cabe señalar que en tal estudio aún no se ha logrado ajustar el modelo de simulación con datos de registros de monitoreo higrotérmico necesarios para establecer los parámetros introducidos en la simulación. Sin embargo, dichos parámetros no son los propios del material empleado específicamente, sino que se recurrió a datos existentes de materiales similares.

En cuanto a los sistemas o dispositivos desarrollados para mediciones térmicas, Díaz y otros (2021) desarrollan la caja caliente HD20. El HD20 es un aparato a base de doble placa caliente con guarda que permite la medición de las propiedades de transferencia de calor por conducción. Otros autores (Flores-Larsen et al., 2021; Hongn et al., 2019, 2022) también han contribuido en propuestas de medición de propiedades térmicas de envolventes edilicias *in situ*. En este caso, estimaron el comportamiento de envolventes de muros de adobe del Cabildo de la ciudad de Salta, para llevar a cabo estudios sobre su rehabilitación energética. Para ello emplearon un sistema de termocuplas desarrollado específicamente para medir la conductividad térmica y la transferencia de calor *in situ* de estos muros.

1.1 Caso de estudio

La provincia Tucumán posee temperaturas extremas en sectores de su territorio, principalmente para la estación de verano. Esta situación sucede en las ecorregiones selva de yungas y chaco semiárido, donde las temperaturas pueden superar los 40 °C, y la humedad relativa oscila entre 80% y 100% (Brown et al., 2009; RIDES, 2018). Por lo cual resulta fundamental diseñar espacios que conlleven estrategias de disminución de las temperaturas (Gonzalo et al., 2016), considerando desarrollar nuevos materiales, a la vez de optimizar técnicas constructivas para lograr mayor aislación térmica, y finalmente evaluar esas tecnologías (Balter; Miranda Gassul, 2022).

La ACT es un grupo de trabajadores rurales nucleados por intereses comunes ligados a la forma de vida y a la cercanía en su territorio. Como asociación lograron construir el primer espacio de la sede, correspondiente a un depósito de alimentos y oficinas. Este espacio se llevó a cabo mediante un proceso de vinculación tecnológica entre la ACT y el programa de Mejora del Hábitat Participativo del Instituto de Investigaciones Tecnológicas y territoriales para la Producción del Hábitat del CONICET. El proceso involucró el diseño participativo del edificio, la propuesta de técnicas constructivas a incorporar, y la construcción de una parte del mismo. Esto se logró mediante un subsidio del Ex Ministerio de Desarrollo Social de la Nación. Durante la construcción se impartieron una serie de capacitaciones a los y las integrantes de la ACT que participaron de la misma. Este sector construido correspondió al depósito de alimentos, en el prototipo ejecutado se empleó la técnica de TAE en los muros y bloques de tierra alivianada en el cielorraso del techo. El terreno y la construcción están ubicados en el departamento de Leales, provincia de Tucumán, Argentina, en un paraje denominado Las Tusquitas, inserto dentro de la ecorregión Chaco semiárido (figura 1).



Figura 1. Ubicación del terreno (polígono amarillo) y el prototipo (polígono rojo). Mapa base Google Earth

La técnica constructiva TAE, propuesta para paredes y aislación de techo, tiene como materiales constitutivos suelo de la zona, residuo agrícola de cosecha de la caña de azúcar, denominado localmente malhoja (Valeiro; Biaggi, 2019), y una estructura portante de tablas de obra de pino. Una de las principales características de esta técnica es una baja conductividad térmica, hasta 5 veces menor que la de un muro de ladrillo macizo convencional, variando entre 0,1 y 0,47 W/mK, mientras que su densidad puede variar entre 300 kg/m³ y 1200 kg/m³. Lo antes mencionado y el procedimiento constructivo de la TAE son los que otorgan finalmente un muro liviano con infinidad de vacíos estancos en su interior, lo que posibilita una considerable aislación térmica por resistencia (Neves; Faria, 2003; Volhard, 2016; Wieser et al. 2020).

1.2 Objetivo

Los objetivos de esta investigación son, por un lado, evaluar el diseño y funcionamiento de un dispositivo de bajo costo elaborado *ad hoc* para el monitoreo de temperaturas en el depósito de alimentos de la ACT, construido con la técnica TAE y, por otra parte, interpretar y analizar el comportamiento térmico de los muros a partir de los datos recolectados. El análisis de estos datos permite considerar mejoras constructivas y de diseño del edificio.

2 METODOLOGÍA

2.1 Diseño del dispositivo de adquisición de datos

Para la adquisición de datos de temperatura se diseñó y construyó un dispositivo electrónico con el fin de monitorear el comportamiento térmico del edificio de la sede de la ACT. Dicho dispositivo cuenta con dos partes principales: la unidad de procesamiento y el sistema de sensores (figura 2).

En la figura 3 se presenta una fotografía de la unidad de adquisición y procesamiento de datos, la cual consta de un microchip Atmega328p programado en código fuente Arduino para realizar la lectura, cálculo y escritura de los datos en una tarjeta de memoria microSD. Con el objetivo de realizar un registro temporal de los datos, el sistema posee un reloj, el cual aporta la fecha y hora (módulo RTC DS3231). La mencionada unidad cuenta además con una etapa de multiplexado de 16 canales (módulo 74hc4067) y amplificación de instrumentación, construida a partir de amplificadores operacionales tipo LM358. Finalmente, todo el sistema es energizado mediante una fuente lineal simétrica y regulada de 5 V, 12 V y -12 V la cual se encuentra conectada a la red de provisión de energía eléctrica de 220 V. Se consideró,

además, la autonomía del dispositivo para reiniciar el registro luego de cualquier interrupción del flujo eléctrico.

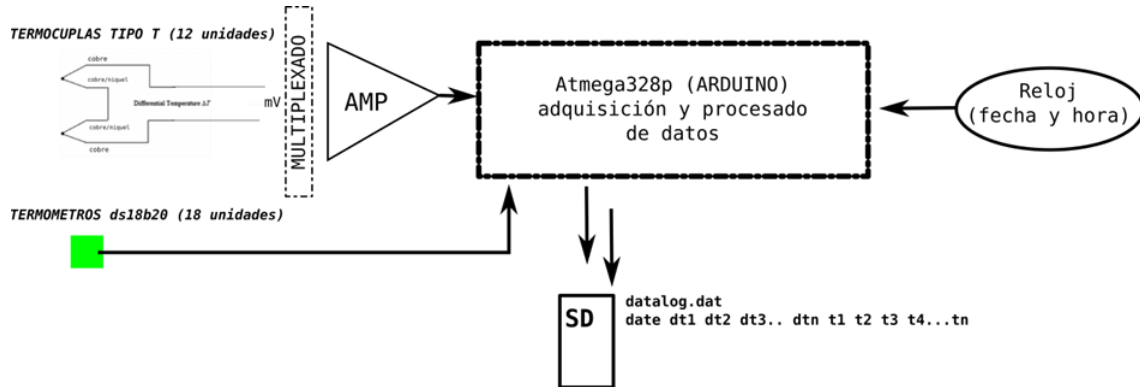


Figura 2. Diagrama de bloques del sistema de adquisición de datos

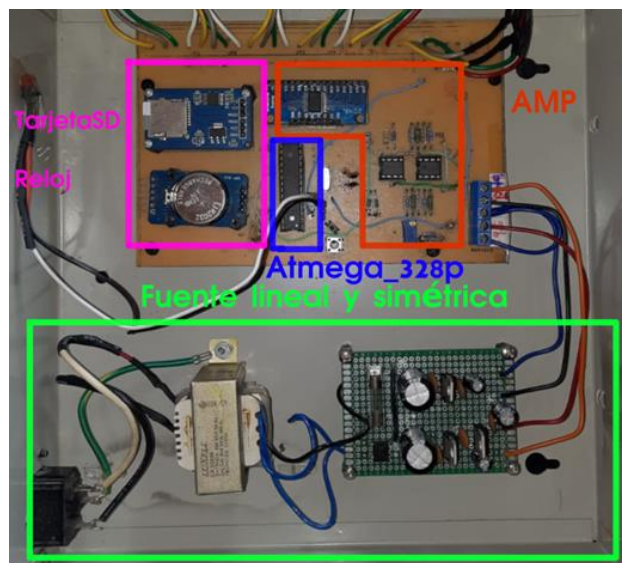


Figura 3. Fotografía de la unidad de adquisición y procesamiento de datos

Se emplearon dos tipos de sensores para realizar el monitoreo de temperaturas del edificio y sus partes, sensores digitales tipo ds18b20, los cuales fueron calibrados con un termómetro de referencia de mercurio y se corrigieron mediante software con la incorporación de bias, y termocuplas diferenciales tipo T para la medición de diferencias de temperatura entre el interior y exterior de los muros y techos (figura 4). Las mismas se construyeron con cables flexibles de termocupla tipo T. La señal analógica entregada por la termocupla diferencial es acondicionada mediante la etapa de amplificación de instrumentación para luego ser adquirida y procesada por el microchip Atmega328p. Además de las termocuplas diferenciales para medición, el sistema cuenta con una termocupla diferencial de referencia isotérmica, en la cual las dos puntas de medición se encuentran a la misma temperatura durante el monitoreo.



Figura 4. Fotografía de las termocuplas diferenciales tipo T

Finalmente, los datos de temperatura medidos por los sensores digitales ds18b20 son registrados como t1, t2, t3 ... t18 y los datos de diferencias de temperatura medidos por las termocuplas diferenciales son registrados como dt1, dt2, dt3, ... dt12, dichos datos son escritos en un archivo de texto DATALOG.dat que posee la siguiente información y formato:

| day | hour | dt1 | dt2 | dt12 | t1 | t2 | t18 |
|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2024/4/2 | 23:37:10 | -3.75 | -4.72 | -1.63 | 25.04 | 25.11 | 18.83 |
| 2024/4/2 | 23:39:33 | -3.85 | -4.83 | -1.73 | 24.98 | 25.05 | 18.77 |
| 2024/4/2 | 23:41:57 | -3.75 | -4.72 | -1.63 | 25.05 | 24.99 | 18.65 |

2.2 Funcionamiento del dispositivo de adquisición de datos

Como se mencionó anteriormente, se utilizaron termocuplas diferenciales para la medición de temperatura interna y externa de los muros y techos de la sede. En la figura 5 se puede ver que una termocupla diferencial mide la diferencia de temperatura entre la superficie interna y externa de los revocos de tierra (dT1 con 19 cm de largo) y la otra mide la diferencia de temperatura entre las interfaces revoque interno/relleno de TAE y revoque externo/relleno de TAE (dT2 con 16 cm de largo). Acompañando al extremo de la termocupla, que se encuentra en el interior de la construcción, se ubicó un sensor de temperatura digital ds18b20, indicado en color verde en el diagrama de la figura 5. Esto es para conocer tanto la temperatura superficial del revoque interior, como la de la interfaz revoque/relleno de TAE.

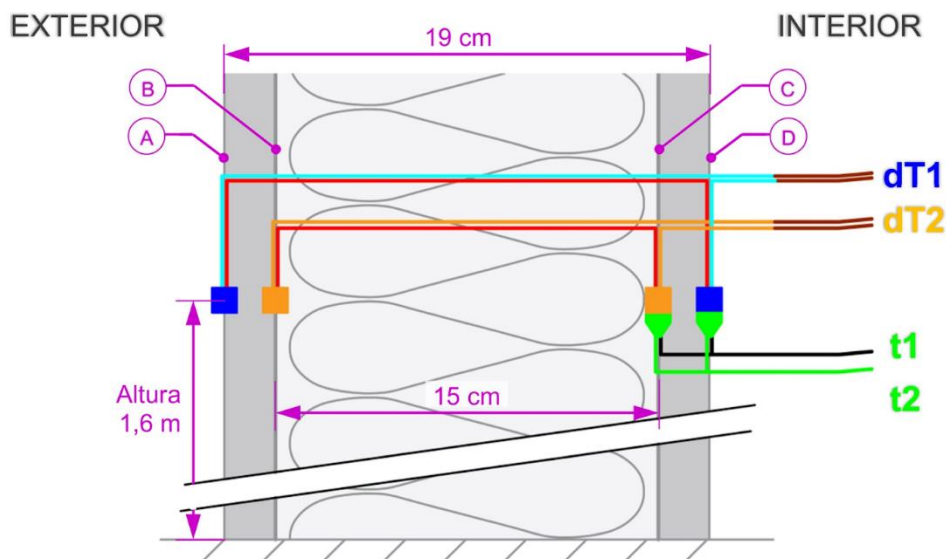


Figura 5. Esquema de la ubicación de los sensores en los muros: a) Sensores ds18b20 en color verde (T1 y T2); b) termocupla diferencial de 19 cm de largo ubicada en superficies externa (A) e interna (D) del revoque de tierra en color azul (dT1); c) termocupla diferencial de 15 cm de largo ubicada en la interfaz revoque externo/relleno de TAE (B); y, d) revoque interno/relleno de TAE (C) en color amarillo (dT2)

Como se puede observar en el plano de la figura 6, en cada muro se instalaron las termocuplas diferenciales en tres posiciones diferentes para obtener un dato promediado por muro. Los sensores de temperatura solo fueron colocados en el centro del muro. Se instalaron a una altura de 1,6 m desde el nivel de piso interior. Los diferentes sensores colocados en los muros se describen en la tabla 1. A su vez, se colocaron dos sensores para medición de la temperatura ambiente interior (T14 y T16) y dos sensores para la medición de la temperatura ambiente exterior, en las caras direccionadas al norte y al sur (T13 y T17).

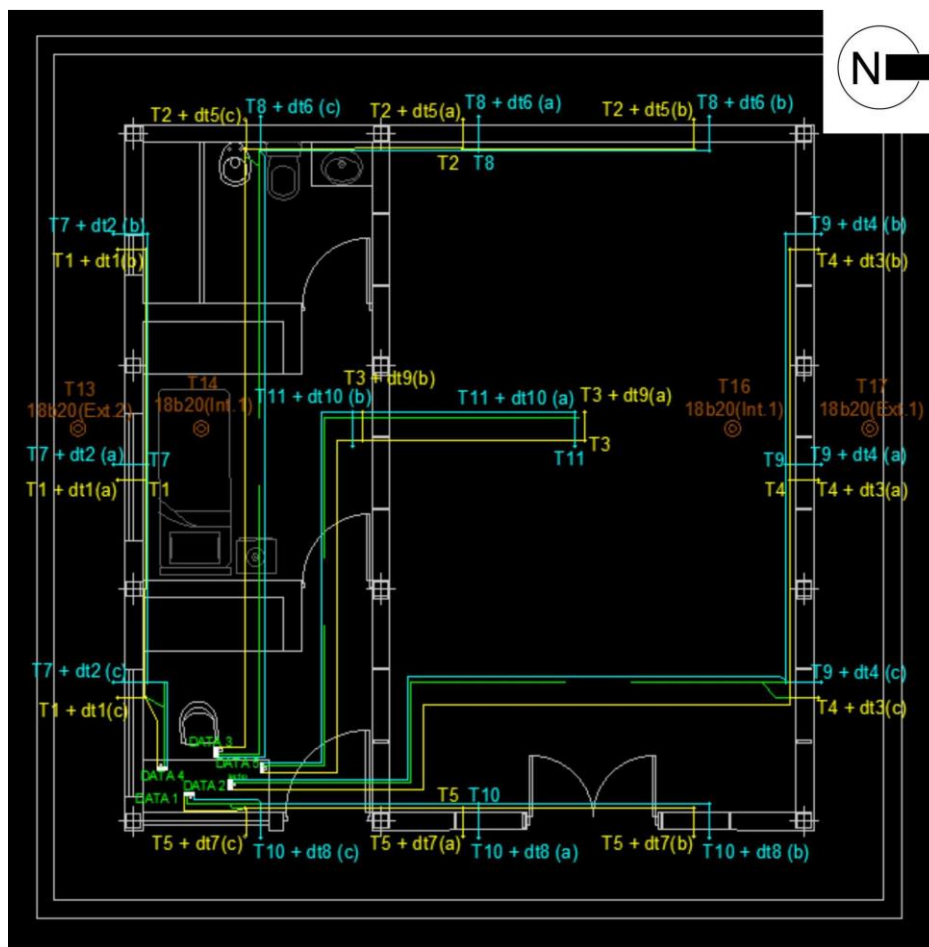


Figura 5. Plano de la planta de la sede de ACT y ubicación de las termocuplas diferenciales. Orientación norte hacia la derecha

Tabla 1. Distribución de sensores y termocuplas en los muros del edificio

| Muro | Revoque interno (D) | Interface interna (C) | TAE | Interface externa (B) | Revoque externo (A) |
|-------|---------------------|-----------------------|-----|-----------------------|---------------------|
| Sur | T7 | T1 | --- | T1 + dt1 | T7 + dt2 |
| Oeste | T8 | T2 | --- | T2 + dt5 | T8 + dt6 |
| Norte | T9 | T4 | --- | T4 + dt3 | T9 + dt4 |
| Este | T10 | T5 | --- | T5 + dt7 | T10 + dt8 |
| Techo | T11 | T3 | --- | T3 + dt9 | T11 + dt10 |

2.3 Características climáticas y aspectos arquitectónicos del edificio

La edificación se construyó en el departamento Leales, Tucumán (-27.11830 S, -64.92061 O), a una altitud de 350 m. Se encuentra dentro de la ecorregión del Chaco semiárido, específicamente en la zona bioclimática II b, de clima cálido. Esta región se caracteriza por una amplitud térmica que no supera los 14 °C, con temperaturas críticas durante el verano (diciembre a marzo), donde la media alcanza los 24 °C y se registran máximas por encima de los 40 °C (IRAM 11.603, 2011). El edificio bajo análisis incluye un depósito de alimentos y un puesto de seguridad con oficina y baño (figuras 1 y 7).

En cuanto a la construcción de los muros, tanto interiores como exteriores, se adoptó el criterio de utilizar el mismo sistema constructivo. Estos muros consisten en un bastidor de pino de 1" x 6" dispuesto horizontal y verticalmente cada 0,80 metros aproximadamente. Para la

estructura, se han añadido cañas tacuara (*Guadua chacoensis*) en sentido perpendicular dentro de cada panel de malhoja. El espacio entre los bastidores se relleno con malhoja y tierra, alcanzando un espesor de 0,15 m. Tanto el interior como el exterior de los muros se han revestido con una capa de tierra de 1,5 cm, resultando en un espesor total de muro de 0,19 m. El techo está compuesto por chapas sinusoidales calibre n° 25 (espesor de 0,5 mm), sobre las cuales se ha instalado una capa aislante de bloques de malhoja encofrada de 0,13 m de espesor, dispuestos sobre un entablonado de madera de 0,025 m. El piso consta de un contrapiso de 0,10 m de espesor, seguido por una carpeta cementicia de 0,03 m y finalmente un revestimiento cerámico de 0,2 cm de espesor. La estructura del edificio está compuesta por vigas, columnas y bases de hormigón armado. El techo se sustenta en vigas principales de doble perfil "C" con una altura de 0,12 m, acompañadas de vigas secundarias de madera con un espesor de 6". Sobre estas vigas se han colocado clavaderas de madera con un espesor de 2". Finalmente se colocaron ventanas corredizas de aluminio con DVH y como puerta de acceso se utilizó una abertura de chapa con aislación poliuretánica.



Figura 7. Prototipo analizado

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

El dispositivo diseñado demostró tener un funcionamiento óptimo generando los registros esperados. Todos los datos faltantes dentro del rango temporal mostrado correspondieron a momentos en el que el suministro eléctrico se discontinuó por diferentes motivos. El dispositivo pudo reiniciarse en todos los casos y retomar el registro. Del monitoreo se observó que las variaciones de temperatura exterior/interior mostraron un comportamiento homogéneo en todos los sectores, y se evidencia un notable amortiguamiento de la temperatura posibilitado por el elemento constructivo de TAE y los revoques de tierra.

En la figura 8 se muestran las temperaturas promediadas censadas en techos norte y sur. La línea roja muestra la temperatura interior y la línea gris representa la temperatura exterior. En todo el periodo analizado la diferencia de temperatura entre el interior/exterior oscila entre 4 °C y 11 °C. Además, se puede observar como la línea de temperatura interior (roja) se mantiene aproximadamente contenida en el medio de la línea de temperatura exterior (gris) evidenciando diferencias de temperatura de 8 °C máximo entre el día y la noche. Mientras que en el exterior existe una considerable amplitud térmica llegando a observarse diferencias de hasta 21 °C en algunos periodos. Si se observa el rango de temperatura interior, se puede notar una relativa estabilidad dentro del espacio tanto en el día como en la noche, y en las tres estaciones monitoreadas (primavera, verano, otoño). En otoño, específicamente en el mes de mayo, se observa como el confort dentro del establecimiento se conserva,

manteniendo temperaturas interiores por encima de los 15 °C, mientras que en el exterior las temperaturas alcanzan valores por debajo de los 10 °C.

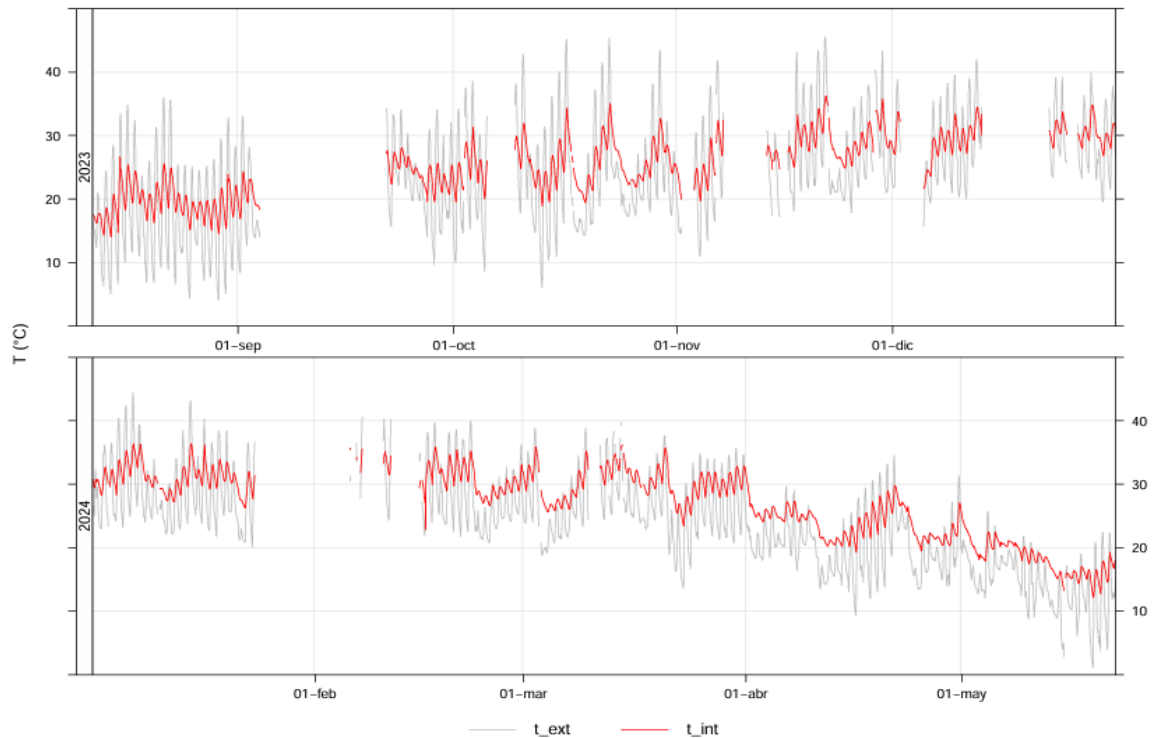


Figura 8. Temperaturas promediadas censadas en techos norte y sur. En línea gris las temperaturas exteriores y, en línea roja, las interiores. Las interrupciones de continuidad evidencian períodos sin registro por falta de energía eléctrica

Por su parte, el gráfico de la figura 9 representa las temperaturas tomadas en el muro oeste en los días de mayores temperaturas durante el verano, correspondiente al mes de enero del 2024. Los muros en las demás ubicaciones y el techo tienen un comportamiento semejante al presentado en este gráfico. Este muro (oeste) es el que mayor radiación solar recibe, sobre todo entre las 14 y 16 h, en las cuales se monitorean las temperaturas exteriores más altas. Como se puede observar, la temperatura de la superficie exterior del muro (línea naranja $t8_dt6$) posee el rango de temperatura más elevado de todos los sensores; por ejemplo, en el día 6 de enero corresponden a un mínimo de 23°C con un máximo de 47°C (amplitud térmica de 24°C). En ese sentido, la temperatura del ambiente exterior (línea violeta t_ext) muestra para el mismo día una amplitud térmica de 20°C, con un máximo de 43°C. De esta forma, lo que se ve es un sobrecalentamiento por acumulación de calor de la superficie exterior del muro. Este sobre calentamiento provoca que la interfase externa, entre el revoque y el muro TAE indicado con línea verde $t2_dt5$, presente valores similares en los momentos más críticos de calor. Esto expone, para esta orientación, que las temperaturas extremas de verano anulan la capacidad de aislación por parte del revoque exterior aun cuando el espesor del mismo propicia una caída de temperatura de aproximadamente 3,5°C.

Las temperaturas registradas en t_int siempre están contenidas dentro del rango de las temperaturas tomadas por t_ext , lo cual confirma lo analizado en la figura 8 del período general tomado en consideración, donde t_int y t_ext se muestran sin una gran variación, un rango de $6\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$, para este caso de los cuatro días de enero. Las temperaturas registradas en la superficie interior del muro ($t8$) y en la interfase interior revoque muro ($t2$) se muestran sin variaciones a considerar, y difieren de t_int en $1\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$. Esto nos permite considerar estas últimas variables iguales en magnitud y separadas por un pequeño lapso de tiempo.

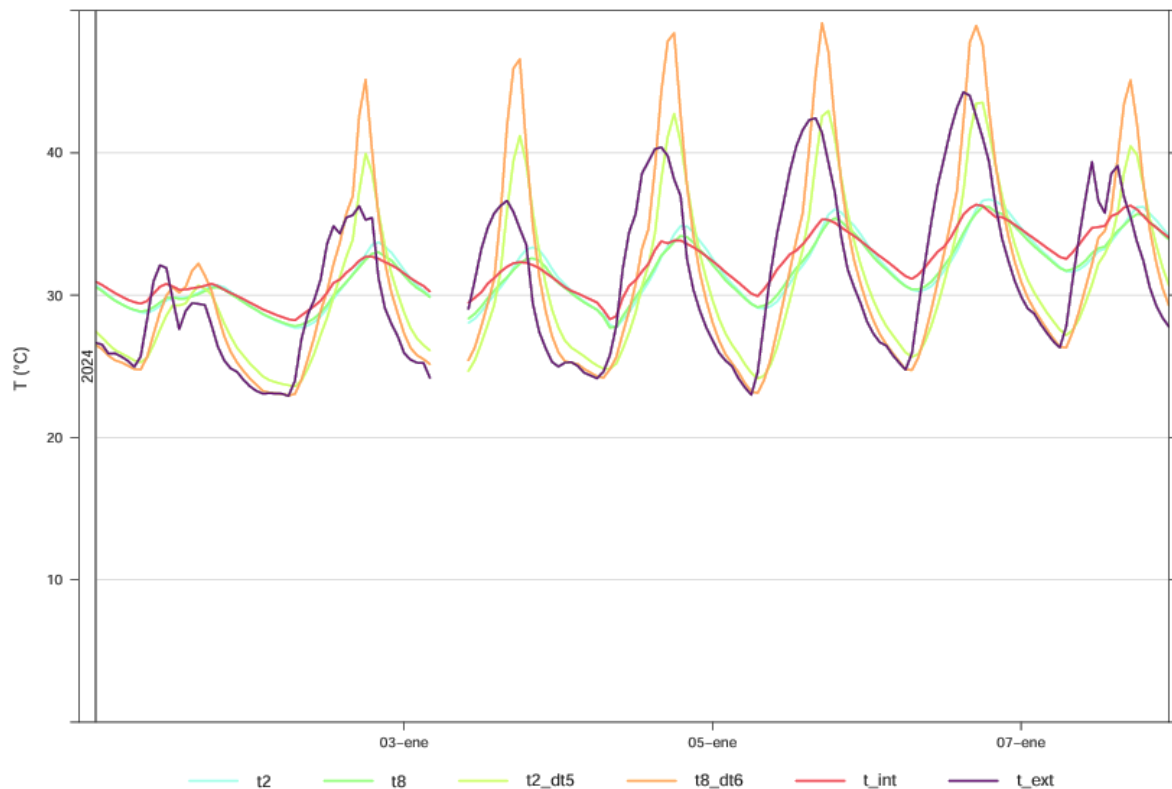


Figura 9. Representación de todas las temperaturas registradas en el muro oeste los días 4, 5, 6 y 7 de enero de 2024; t2: temperatura en la interfase revoque muro interno; t8: temperatura superficial del revoque interno; t2_dt5: temperatura en la interfase revoque muro externo; t8_dt6: temperatura superficial del revoque exterior; t_int: temperatura en el interior de la edificación; t_ext: temperatura en ambiente exterior

4 CONSIDERACIONES FINALES

La invención del dispositivo, su funcionamiento, y el diseño de la disposición de los sensores presentó un desempeño que finalmente cumple las expectativas y el objetivo planteado. Esto se manifiesta en la obtención de valores de temperatura en los distintos puntos, su variabilidad y captación de las diferencias entre las temperaturas del interior y el exterior. Además, ha permitido analizar el comportamiento de los muros y la aislación de techo pudiendo identificar los rangos de funcionamiento.

Los dispositivos existentes de mayor uso, tipo Hobo o datalogger, para medición de temperaturas interiores o exteriores están diseñados para registrar datos del ambiente, pero no superficiales sobre muros o cielorrasos, ni en el interior de los muros. Si bien existen otros métodos de registro de temperaturas en las superficies de los elementos constructivos y en su interior, el método utilizado en esta investigación permite ampliar el rango de mediciones posibles a realizar y al mismo tiempo reducir los costos monetarios de ejecución. En este sentido, una mejora a futuro para el dispositivo consiste en la implementación de baterías o fuentes alternativas de energías que permitan el continuo funcionamiento del mismo, evitando así periodos con pérdida de información por falta de la energía eléctrica como sucedió en esta investigación.

El comportamiento de la técnica empleada en los muros y aislación del techo muestra resultados prometedores en la medida que se observó una diferencia considerable entre las temperaturas ambientales exteriores e interiores alcanzadas en el rango de los 10 a 12 °C logrando aplacar el estrés térmico diario. Es posible que el tipo de aberturas colocadas en las puertas o ventanas puedan ser causantes de las pequeñas fluctuaciones de temperaturas registradas en el interior en tanto que la estanqueidad del aire interior podría estar

favoreciendo una temperatura media interna aún elevada por encima del rango de confort. Estas cuestiones finales abren nuevas preguntas y sobre las cuales hay que plantear nuevas metodologías, de modo de otorgarle mayor seguridad a estos supuestos. Estas afirmaciones se realizan debido a que, por un lado, existe un amortiguamiento considerable de la temperatura exterior en todos los lugares registrados, además la temperatura registrada en la interfase revoque muro en el interior es asemejable a la registrada en el interior de los espacios. Considerando las observaciones de Wieser et al. (2020), es posible que un incremento de espesor del muro TAE pueda experimentar mejoras en el aislamiento térmico del conjunto, cuestión en la que se avanzará en proyectos futuros. Los cálculos de resistencia térmica y transmitancia se estimarán luego del monitoreo definitivo que se encuentra actualmente en proceso, formando parte de trabajos futuros.

Por último, una estrategia a considerar en los interiores en verano, es ventilar los espacios durante la tarde y la noche, de manera de comenzar el día con temperaturas inferiores a las registradas en esta investigación para esa estación. Esta simple acción mejoraría de manera considerable el confort interior al reducir la temperatura de los espacios, visto que los muros y la aislación del techo tienen la capacidad de mantener la temperatura interior sin grandes variaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balter, J.; Miranda Gassul, V. (2022). Nuevas tecnologías de construcción prefabricada en el hábitat popular. Análisis socioeconómico y térmico para el caso de Mendoza. *AREA*, 28(2), 1–14. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/205934>
- Brown, A. D.; Blendinger, P. G.; Lomáscolo, T.; García Bes, P. (2009). Selva pedemontana de las yungas. Historia natural, ecología y manejo de un ecosistema en peligro (A. D. Brown, P. G. Blendinger, T. Lomáscolo, & P. García Bes, Eds.; Ediciones).
- Díaz, A. E.; Hernández, A. L.; Quiñonez, J. E.; Ortiz, G.; López, F. (2021). HD20: aparato de placa caliente con guarda para la medición de las propiedades de transferencia de calor por conducción en hormigones. *ASADES*, 47, 49–57.
- Flores-Larsen, S.; Hongn, M.; Valdez, M.; Gonzalez, S.; Gea-Salim, C. (2021). International journal of conservation science in-situ determination of the wall's thermal properties for energy retrofit in a colonial heritage building: the cabildo of salta, argentina (Vol. 12). www.ijcs.ro
- Giovino, M.L.; García Villar, G.; Dorado, P.; Rolón, G. (2022). Desempeño térmico simulado de un edificio construido con tierra alivianada encofrada en Tucumán. Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, 20. Memorias 20°. Trinidad, Cuba: PROTERRA/Oficina del Conservador. p. 559-569
- Gonzalo, G.; Ledesma, S. L.; Nota, V.; Martínez, C.; Cisterna, S.; Quiñones, G. (2016). Evaluación de las condiciones físicas, ambientales y de consumo energético de viviendas unifamiliares. Repositorio Institucional de La UNLP, 1–23.
- Hongn, M.; Montenegro, F.; Salim, C. G.; González, S. (2022). Modelo semi-dinámico para la determinación del comportamiento térmico de sistemas radiantes de tubos embebidos. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 50, 13–21.
- Hongn, M.; Valdéz, M.; Flores Larsen, S.; Gea Salim, C.; Gonzalez, S. (2019). Determinación in situ de la resistencia térmica de muros en edificios históricos: métodos estacionario y dinámico. *ASADES*, 23, 45–54.
- IRAM 11603 (2011). Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Neves, C.; Faria, O. B. (ed). (2003). Técnicas mixtas de construcción con tierra. Programa CYTED-Sub-programa XIV/Protterra. https://redprotterra.org/wp-content/uploads/2020/06/3_PP-T%C3%A9cnicas-Mixtas_2003.pdf
- Ortega, M.; Fernández, A.; Garzón, B. (2021a). Comportamiento térmico de una vivienda PRO.CRE.AR. de tierra en Tucumán. *Arquitecto*, 17, 43. <https://doi.org/10.30972/arq.0174982>

Ortega, M.; Giuliano, G.; Garzón, B. (2021b). Modelos de balance térmico para la evaluación de una vivienda social de adobe. *Pensum*, 7, 100–117.

RIDES (2018). Mapa de ecorregiones y ambientes naturales. In Ministerio de desarrollo productivo. Gobierno de Tucumán. <https://rides.producciontucuman.gov.ar/ecorregiones-ambientes-naturales/>

Valeiro, A.; Biaggi, C. (2019). Revisión crítica de la evolución tecnológica de la cosecha de la caña de azúcar en la Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 45(1), 31–43.

Volhard, F. (2016). *Construire en terre alégée*. Algés: Actes Sud.

Wieser, M.; Onnis, S.; Meli, G. (2019). Desempeño térmico de cerramientos de tierra alivianada Posibilidades de aplicación en el territorio peruano. *Revista de Arquitectura*, 22(1). <https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2633>

AUTORES

Gonzalo García Villar, arquitecto y doctor por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Tucumán. Becario doctoral del CONICET con lugar de trabajo en CRIATiC. Diseñador y director de obras de arquitectura en tierra y bioclimáticas. Docente de tecnologías constructivas en tierra. Miembro de la red Iberoamericana PROTERRA, y de la red argentina PROTIERRA.

Lucas E. Peisino, doctor en ciencias químicas por la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Investigador adjunto de CONICET. Integrante del grupo de nuevos materiales del Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE) y la Asociación de Vivienda Económica. Miembro de la red argentina PROTIERRA.

M. Laura Giovino, Magister en Energía, Ecología y Sociedad por la Universidad París-Diderot, arquitecta (UBA) y doctoranda en Ciencias, área Energías Renovables como becaria CONICET. Formación en Artes Visuales en UNA e ISI SURAKARTA en Indonesia. Aborda temas de eficiencia energética, estrategias bioclimáticas y técnicas constructivas con tierra, los cuales investigó en Francia, Marruecos y Argentina.

Araí S. Rieppi Godoy, ingeniera civil, becaria doctoral de CONICET, estudiante del doctorado en ingeniería mención materiales en UTN-FRC, lugar de trabajo Centro Experimental de la Vivienda Económica CEVE-CONICET-AVE. Miembro de la red argentina PROTIERRA.

Guillermo Rolón, doctor por la Universidad de Buenos Aires con especialidad en arqueología, master en restauración y gestión integral del patrimonio construido, arquitecto. Investigador adjunto del CONICET e investigador adscripto del CRIATiC. Integrante del programa de extensión universitaria MHaPa (Mejoramiento del Hábitat participativo), miembro de la Red Iberoamericana PROTIERRA.