

## ¿Habitar pide Madera? Hacia la evaluación térmica de viviendas maderas recientes en Uruguay

### Does live request wood? Towards the thermal assessment of recent Wooden Houses In Uruguay

María Noel López 

Magdalena Camacho 

Lucía Pereira 

Área de Clima y Confort, Departamento de Ambiente Construido, Instituto de Tecnología, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

E-mail de contacto: marialop@fadu.edu.uy

#### RESUMEN

El proyecto evaluó térmicamente realizaciones habitacionales en madera. Se tomó una muestra de tres viviendas de dos dormitorios en: Rivera y Salto. Para el período frío y caluroso se registraron mediciones de temperatura de bulbo seco y humedad relativa interior y exteriores registrados cada 15 minutos durante al menos tres semanas. También se recopilaron las características físicas de las construcciones y el confort térmico de los ocupantes. El clima de Uruguay es templado húmedo, pero existen diferencias en los mesos escala climáticos. Las viviendas se sobrecalentaron tanto en invierno como en verano, no logrando controlar los flujos de energía en el tiempo. A pesar de esto, todas las veces que se concurrió, los usuarios indicaron estar en confort térmico en sus viviendas.

#### ABSTRACT

The project thermally evaluated wooden housing constructions. A sample of three two-bedroom homes was taken in: Rivera and Salto. For the cold and hot period, measurements of dry bulb temperature and indoor and outdoor relative humidity were recorded every 15 minutes for at least three weeks. The dwelling physical characteristics and thermal comfort of the occupants were also collected. The climate of Uruguay is temperate humid, however there are differences in the climatic mesoscale. In all cases the houses were overheated, both in winter and summer, failing to control the energy flows over time. However, every time they were consulted, users indicated that they were in thermal comfort in their homes.

**PALABRAS CLAVE:** confort térmico adaptativo, desempeño térmico, sistema liviano.

**KEYWORDS:** adaptive comfort, thermal performance,lightweight system

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 20/06/25 | **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 30/06/25

## INTRODUCCIÓN

Los modos de producción del hábitat influyen en la construcción de ciudad y ciudadanía, y han cambiado al modificarse los patrones culturales y las promociones estatales. En los últimos años se puede constatar la aplicación cada vez más frecuente de sistemas constructivos no convencionales en la construcción en el Uruguay, tales como sistemas constructivos en madera, hormigón celular o metálicos, que tienen como característica similar el hecho de ser ‘livianos’ o de baja inercia térmica.

En el ámbito de las políticas públicas de vivienda, los sistemas constructivos en madera han tenido una primera iniciativa en 2016 cuando la Dirección Nacional de Vivienda (DINAVI) puso a disposición de las Intendencias Departamentales la Memoria descriptiva para el prototipo del módulo habitacional en madera, lo que se conoce como Plan de Vivienda Económica en Madera (PVEM). Más recientemente han recibido un nuevo impulso en el marco de una estrategia nacional de desarrollo forestal, en cuyos objetivos se encuentra transformar la matriz productiva del área forestal, incorporando tecnologías sostenibles e innovadoras en los procesos de industrialización de la madera para la construcción de viviendas. En esta línea, en 2020 el gobierno actual declaró de interés general la “promoción del uso de la madera con fines constructivos de vivienda, carpintería de obra y mueblería” y en el último Plan Quinquenal de Vivienda 2020-2024 del Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial (MVOT) se promueven los sistemas constructivos en madera como respuesta al déficit habitacional histórico de 65.000 viviendas: “promover el uso de la madera de origen nacional en soluciones constructivas tendientes a aumentar la oferta de vivienda pública, reduciendo los tiempos de ejecución y los costos de obra” (MVOT, 2020).

En este contexto, las soluciones habitacionales con sistemas constructivos en madera del sistema público de vivienda son acotadas, tal como se resumen en MVOT y BID (2022), al 2022 “existe registro de al menos 14 proyectos de vivienda de interés social en madera, que suman más de 260 unidades construidas en las últimas décadas.” Con el fin de impulsar este sistema constructivo, bajo el nuevo marco de las políticas públicas mencionadas, se realizó un proyecto piloto de viviendas en sistema constructivo de madera desde MEVIR (Movimiento de Erradicación de la Vivienda Insalubre Rural), quien integra el sistema público de vivienda. El conjunto fue construido en el barrio Tres Cruces en la localidad de Rivera y fue inaugurado en enero de 2022.

Es reconocido que el edificio interactúa con el medio en donde está inserto, en términos térmicos y energéticos el edificio funciona en relación con las condiciones climáticas de su emplazamiento. El clima de nuestro territorio se caracteriza por ser templado, moderado, lluvioso, con una temperatura del mes más cálido superior a los 22.0 °C y una intemperie húmeda, correspondiéndole la categoría «Cfa» de acuerdo a la clasificación climática de Köppen. Mientras que, la norma de Zonificación Climática UNIT 1026:99 (UNIT, 1999), divide al país por isotermas en tres zonas climáticas: cálida (zona IIb), templada cálida (zona IIIb) y templada fría (zona IVb), de noroeste a sureste, respectivamente. Estas características de clima templado y amplitudes térmicas considerables durante todo el año, hacen del clima nacional un caso complejo, en el que el diseño debe dar respuesta a distintos problemas.

En el período frío los principales requerimientos se asocian a la captación de energía solar y a la reducción de las pérdidas de calor. En el periodo caluroso se deberán reducir las ganancias de calor y aumentar las pérdidas. Mientras que, en relación a la amplitud térmica, es necesario comprender la importancia del control de flujos de calor en el tiempo, a través de la amortiguación y el retardo térmico de los cerramientos los cuales se logran principalmente con masa térmica aislada en la envolvente del edificio, lo cual aporta la inercia térmica necesaria para controlar los flujos de calor (Camacho y Sosa, 2019). Como se mencionó, una de las principales características de los sistemas constructivos livianos, entre ellos los de madera, es su baja inercia térmica y bajos valores de transmitancia térmica debido a la presencia de aislante térmico. Aunque se destaca que esto último no es suficiente para alcanzar el comportamiento térmico deseable en un cerramiento exterior en un clima como el nuestro (Camacho,

2023).

Por otra parte, frente a las condiciones de clima complejo las tecnologías que logran bajos niveles de aislación térmica en la envolvente, presentan un buen desempeño durante el periodo frío, pero pueden ocasionar problemas de sobrecalentamiento durante el periodo caluroso, si no se combinan con estrategias de sombreado, ventilación y masa térmica. Condiciones térmicas interiores deficientes se traducen en una mayor dependencia de los sistemas de climatización activos, con las consecuencias económicas que estos implican. El conocimiento del comportamiento térmico de los distintos sistemas constructivos, especialmente en países como Uruguay, donde la mayoría de la población no puede disponer recursos económicos adicionales para obtener condiciones de confort por medios artificiales, es importante para diseñar adecuadamente los espacios con énfasis en las estrategias de diseño pasivo.

Los estudios analíticos sobre la experiencia realizada en Uruguay con estos sistemas, más la información aportada por usuarios y técnicos los señalan como un vacío conceptual, lo que amerita que se profundice en su estudio, ya que se promueve desde el Estado sin una evaluación científica consensuada. Este artículo se centra en la evaluación térmica de las viviendas y de confort térmico de los usuarios de dos tipologías de vivienda en sistema constructivo en madera, los cuales se enmarcan en un proyecto más grande y ambicioso que realizó la evaluación integral de los conjuntos de viviendas a los que las mismas pertenecen.

### **Descripción del sistema constructivo**

Las viviendas seleccionadas tienen en común su sistema constructivo. Son fabricadas con un sistema de entramado ligero de madera desarrollado por una empresa social, en base a paneles estructurales constituidos por bastidores de madera, fabricados en taller de carpintería y montados en obra con la incorporación de otras capas para cumplir con la aislación higrotérmica y acústica.

El sistema podría describirse como una versión prefabricada del sistema plataforma, de entramado ligero o wood framing, ver Figura 1. Según describe su memoria constructiva, el sistema utiliza paneles estructurales de madera, específicamente de eucaliptus grandis, que son fabricados en talleres de carpintería y luego montados en obra. Los cerramientos verticales están conformados por paneles multicapa (“sándwich”) de madera. La cimentación es una platea de hormigón armado. Una vez armada la vivienda la estructura portante consiste en un “pie derecho” en el centro de los paneles y dos “pies derechos” que se unen al ensamblar un panel con el siguiente cada 1,22 m. Los cerramientos verticales exteriores están compuestos por (desde el interior hacia el exterior): placas de cartón-yeso de 12,5 mm pintadas; retardador de vapor de polietileno de 150 micras; placas de contrachapado fenólico de 12 mm como capa interior del panel; bastidor conformado por escuadrías de madera cepillada de 89 x 36,5 mm con aislación térmica y acústica de lana de vidrio de 50mm; placas de contrachapado fenólico de 12 mm como capa exterior del panel con membrana aislante hídrica y transpirable de pared y por último revestimiento exterior en placas de fibrocemento imitación madera de 11mm (Salto) y combinación de placas de fibrocemento lisas e imitación madera de 11 mm (Rivera). Las ventanas son corredizas de aluminio con vidrio simple común. El cerramiento superior se trata de una cubierta ventilada con cielorraso horizontal, compuesta (de interior a exterior): placa de compensado fenólico de 12mm en dormitorios y pasillos (Salto) y estar (Rivera), y placa tipo armstrong en baño y estar-cocina (Salto), placa de yeso en baño y cocina (Rivera); retardador de vapor de polietileno 100 micras; bastidor conformado por escuadrías de madera cepillada de 89 x 36,5mm con aislación térmica y acústica de lana de vidrio de 50mm, cámara de aire ventilada de espesor variable, chapa autoportante prepintada color rojo (Salto), color azul (Rivera) sobre vigas de madera.



Figura 1. Proceso de Obra del sistema estudiado

Fuente: Ñande <https://www.facebook.com/www.nande.com.uy>

## OBJETIVO

Evaluar las condiciones de confort térmico y de las variables ambientales de viviendas construidas con sistema constructivo en madera en el mesoclima cálido de Uruguay, para la futura implementación de medidas de eficiencia energética que mejoren el desempeño energético de este sistema en nuestro clima.

## METODOLOGÍA

El desempeño térmico de los edificios con relación al confort térmico y al ahorro energético resulta de la interacción dinámica de tres variables: clima, edificio y usuario.

Como punto de partida de este estudio se abordaron los tres aspectos. Clima: se monitorearon las variables climáticas de temperatura de bulbo seco y humedad relativa (HR) exterior. La radiación solar y la velocidad del aire no se midieron in situ sino que se tomaron valores de estaciones meteorológicas próximas. Edificio: se miden las variables del ambiente interior (temperatura de bulbo seco, HR), durante algunas semanas del período caluroso y del frío. Usuario: se efectuaron encuestas de confort térmico y de relevamiento de los usos. Se registraron durante al menos tres semanas en el período frío y en el período caluroso, la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa interior en las habitaciones de las viviendas y en paralelo se registraron los mismos parámetros en el exterior. Las mediciones de temperatura de bulbo seco y humedad relativa del aire se realizaron con registradores HOBO UX100-003 y HOBO UX100-011, OnsetHOBO H8 Family y Extech RHT10, configurados con una periodicidad de registro cada 15 minutos. Se adquieren los datos en los locales habitables de las viviendas, con al menos un sensor por habitación, los cuales se ubicaron en las habitaciones considerando que no reciban radiación solar directa y cuando fue posible intentando que estuvieran próximos al baricentro del local.

Se obtuvieron mediciones en un total de 14 viviendas en el mesoclima templado cálido, pero se eligió una de la localidad de Rivera y dos en la localidad de Salto. Si bien Uruguay tiene un clima subtropical húmedo, como se indicó anteriormente, las ciudades de Salto y Rivera, tienen un mesoclima cálido por lo que serían las localidades más comprometidas respecto al exceso de calor. En la Figura 2 se detalla la localización de las viviendas estudiadas en relación a la clasificación climática nacional.

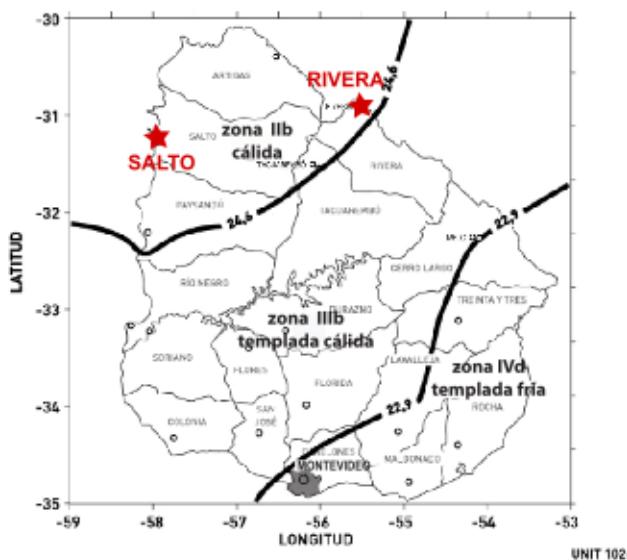


Figura 2. Mapa zonificación climática según UNIT con localización de las viviendas estudiadas

Fuente: *Elaboración propia*

La selección comprendió viviendas en madera con el mismo sistema estructural y construidos en diferentes épocas, formas organizativas, tipologías y escalas. Para comparar los resultados aquí expuestos, en todos los casos se tomaron las viviendas de dos dormitorios, con áreas similares, pero con tipologías distintas.

Las viviendas del conjunto de Salto son apareadas en uno de sus lados, mientras que las del conjunto de Rivera son exentas. En Rivera se midió en dos instancias entre febrero y marzo (período caluroso), y junio de 2022 (período frío). En Salto se midió durante tres semanas de julio de 2023 (período frío).

Para recabar la información necesaria sobre las viviendas y sus ocupantes, se realizaron tres tipos de recopilaciones de datos en los conjuntos habitacionales; la primera, dirigida a relevar las características físicas de las viviendas (orientación, geometría, materiales, protecciones solares, etc.) y las modificaciones introducidas por el usuario al prototipo original; la segunda de las mediciones de los parámetros ambientales interiores y exteriores para sus sistematización y la tercera del perfil de los usuarios (número de ocupantes, edad, empleo, salario, etc.) y la percepción general de la vivienda por parte de los usuarios. Al mismo momento se efectuaron encuestas de confort térmico.

## DESARROLLO

A continuación, se presenta una selección de las mediciones realizadas en las dos ciudades para evaluar su cumplimiento respecto al desempeño térmico.

### Periodo frío:Salto

La vivienda de dos dormitorios de Salto es de 50 m<sup>2</sup> exteriores. Para la monitorización se seleccionaron viviendas de dos dormitorios que corresponden a orientación sur (vivienda 1) y norte (vivienda 2). En la Figura 3 se presentan planta e imágenes, se debe aclarar que las viviendas no estaban apareadas entre sí, se simplifica para su graficación.

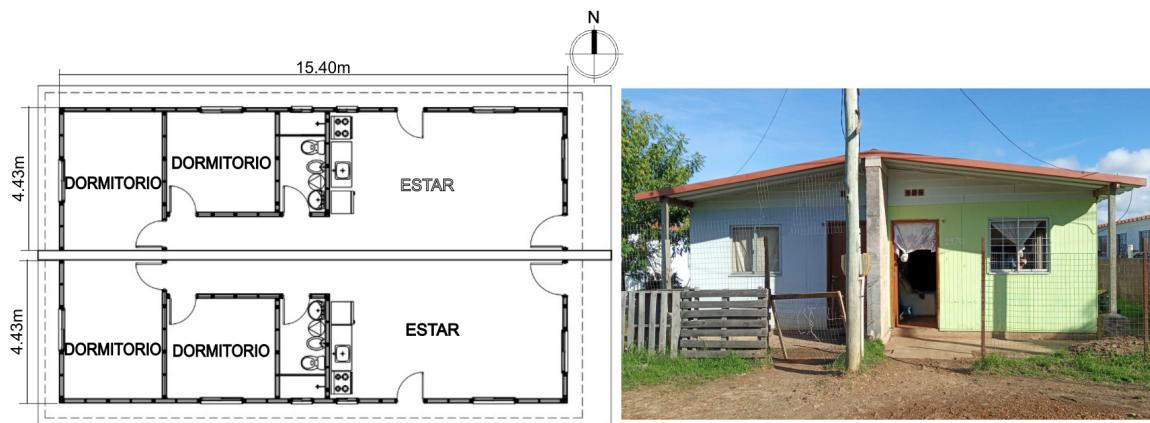


Figura 3. Plantas e imágenes ilustrativas de las viviendas de Salto, vivienda (1) sur y vivienda (2) Norte

Fuente: Elaboración propia

Durante los mismos días de medición, las temperaturas interiores oscilaron entre 25 °C y 12 °C para la vivienda 1 y entre 28 °C y 14 °C para la norte, con una amplitud diaria promedio de aproximadamente 4 °C en la mayoría de los ambientes, ver Figura 4.

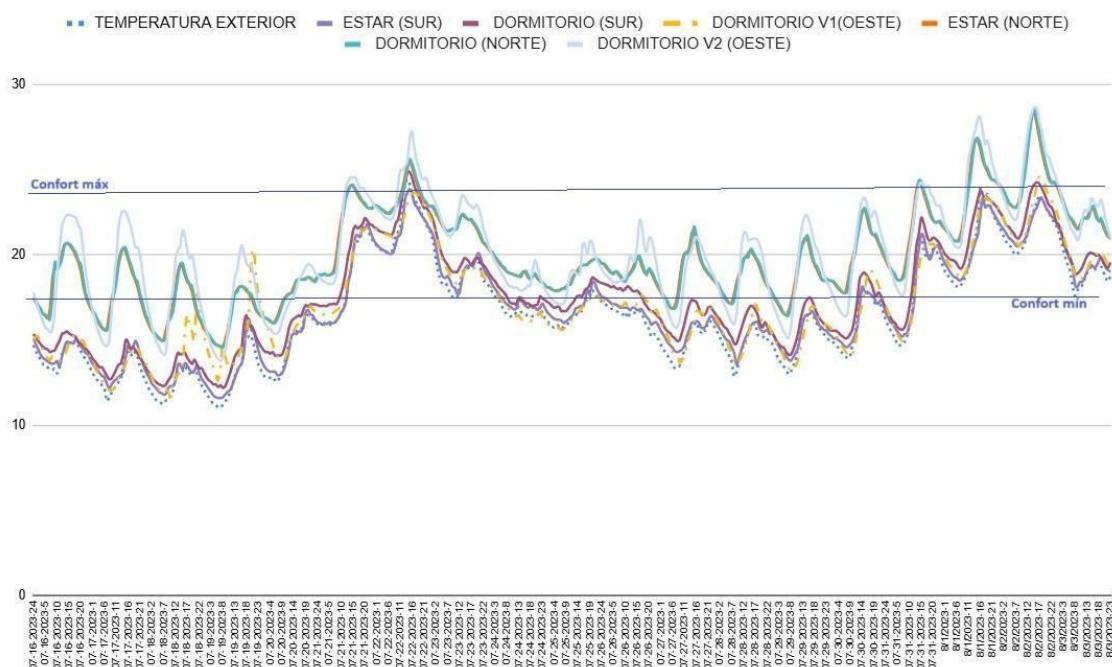


Figura 4. Gráficos de temperaturas interiores y exteriores período frío Salta, vivienda (1) sur y vivienda (2) Norte

Fuente: Elaboración propia

Según los registros de temperatura, las viviendas de sistema liviano de madera tuvieron un desempeño aceptable durante el período frío. En ambos casos las temperaturas interiores de las viviendas copian el andamiento de la temperatura exterior, aunque hay diferencias. En la vivienda 2, cuyos locales están orientados en su mayoría al norte, se observa que la temperatura interior se encuentra dentro del rango de confort térmico definido para la zona Norte del país (Picción et al, 2011) la mayor parte del tiempo, incluso sobrecalentando. En cambio, en la vivienda sur, que tiene menos ocupación y menores ganancias, réplica casi exactamente el exterior. A pesar de tener la misma tipología, se constata que es muy importante la orientación solar ya que en la vivienda norte tenemos más horas de confort debido a sus ganancias, aunque se debe considerar que ésta también tiene más ocupantes que la vivienda sur. Al ser una edificación con poca inercia térmica tienen un desempeño térmico próximo a las variaciones de

la temperatura exterior, es decir la temperatura interior sigue las fluctuaciones de la exterior.

El hecho de almacenar poca energía hace que las temperaturas oscilen, generando picos durante el día. El sistema constructivo en madera presenta una menor capacidad para controlar los flujos de calor en el tiempo que un sistema pesado.

### Periodo frío: Rivera

La vivienda de dos dormitorios de Rivera es de 49 m<sup>2</sup>, exteriores y tiene una ocupación similar a la vivienda con orientación norte de Salto, contando con cuatro ocupantes, ver Figura 5. En esta tipología hay una estufa a leña de tipo eficiente en el centro del Estar la cuál es entregada ya instalada junto con la vivienda, se pudo constatar que ésta situación incide en varios momentos sobre el aumento de las temperaturas interiores.

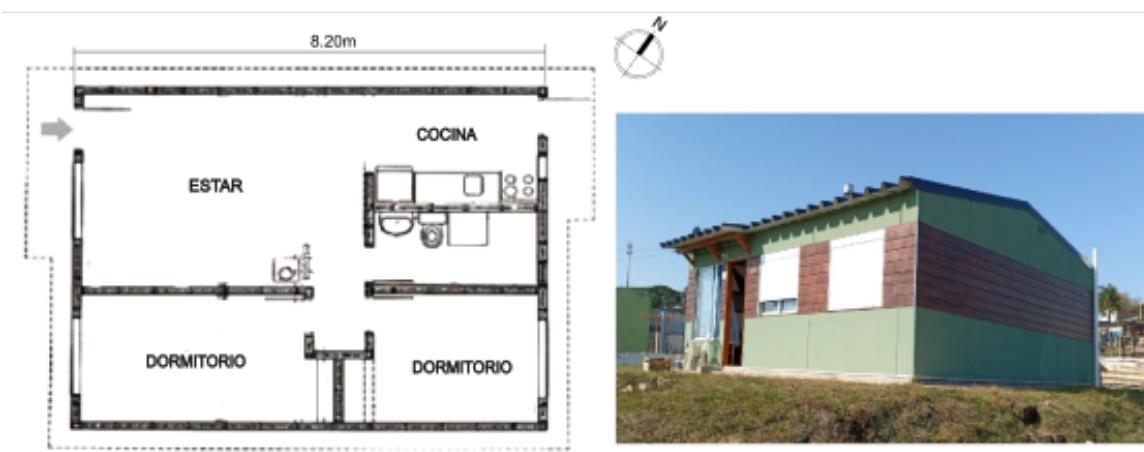


Figura 5. Planta e imagen vivienda monitoreada en Rivera

Fuente: *Elaboración propia*

Según los registros de temperatura, figura 6, la vivienda de sistema liviano tuvo un desempeño aceptable durante el período frío, observándose que la mayoría de las temperaturas interiores de las habitaciones se encontró dentro del rango de confort la mayor parte del tiempo. Las desviaciones que se constataron fueron durante las noches más frías, en las cuales se registraron temperaturas menores a 7°C (alcanzando en el exterior temperaturas del aire de 1°C en algunos casos).

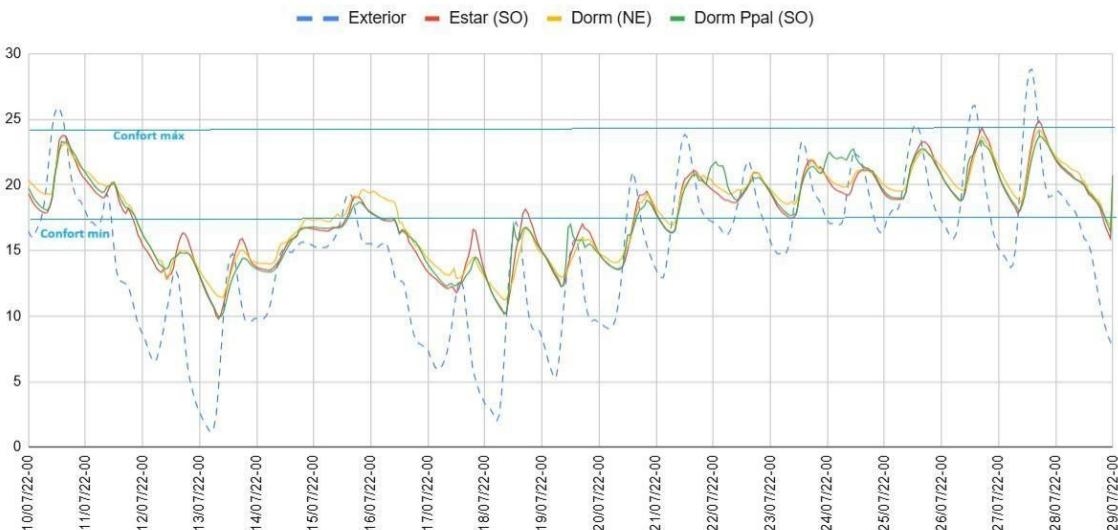


Figura 6. Gráficos de temperaturas interiores y exteriores período frío Rivera

Fuente: Elaboración propia

En esta vivienda se aprecia claramente cuando fue utilizado el calefactor a leña, observándose picos en la temperatura del estar (curva roja). Según lo informado por los residentes, el calefactor fue utilizado generalmente entre las 18hs y las 22hs.

Por otra parte, también es claro como la temperatura del dormitorio, que tiene la ventana orientada al Suroeste, es menor que el dormitorio con ventana orientada al Noreste, el promedio es de casi un grado más. En esta vivienda también es necesario complementar con energía externa los dormitorios durante las noches más frías para estar en confort. Al igual que en las viviendas de Salto, se constató que las temperaturas interiores también copian el andamiento de lo que sucede al exterior.

### Periodo caluroso: Rivera

En los registros del período caluroso, Figura 7, se puede observar como en todas las habitaciones las temperaturas interiores durante el día son similares o superiores a la temperatura exterior, y durante las noches son notablemente superiores. Permaneciendo el interior de la vivienda la mayor parte del tiempo por sobre el rango de confort térmico aceptable.

Se puede constatar, al igual que en las mediciones del período frío, que la oscilación de la temperatura interior replica la exterior, sin controlar los picos de temperaturas. Y qué durante la noche, cuando las temperaturas exteriores son más bajas, la solución constructiva no permite liberar el calor acumulado en el interior.

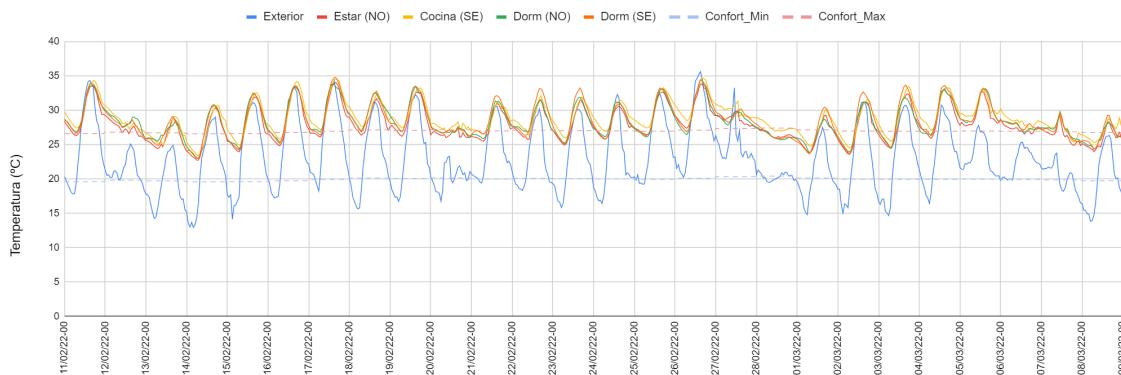


Figura 7. Gráficos de monitoreo de temperaturas interiores y exteriores período caluroso Rivera

Fuente: Elaboración propia

### Entrevista a usuarios y encuestas de confort

Durante las visitas de julio, agosto y marzo se realizaron entrevistas a los ocupantes de las tres viviendas monitoreadas y seleccionadas a fin de determinar el perfil de uso y las condiciones de confort higrotérmico de los usuarios de estas viviendas. Adicionalmente se relevó el uso de ventanas y protecciones solares durante el período caluroso y frío. La información recabada en estas entrevistas es utilizada para determinar los patrones de ocupación y uso por local de cada vivienda durante cada período de medición.

Para abordar un estudio de confort con enfoque adaptativo (que se entiende es el adecuado para usuarios no acostumbrados históricamente a disponer de medios de calefacción o refrigeración artificial permanentes) es necesario recabar, mediante una encuesta de campo, información sobre la sensación y preferencia térmica de las personas en diferentes ambientes y relacionarlas con las variables térmicas en esos espacios, particularmente la temperatura de bulbo seco. En todas las veces que se concurrió, en los espacios de estar los usuarios indicaron que sensación térmica de los usuarios era de confort térmico y le gustaría permanecer en estas condiciones de temperatura de bulbo seco. En lo que refiere al uso de las viviendas, todos indicaron que ventilan los espacios habitables todos los días y que colocan protecciones solares por lo menos cuatro horas todos los días.

### CONCLUSIONES

Se constató que al ser el sistema constructivo de baja inercia térmica tienen un desempeño térmico próximo a las variaciones de la temperatura exterior, es decir la temperatura interior sigue las fluctuaciones de la exterior, en cualquiera de sus modificaciones tipológicas.

El hecho de almacenar poca energía hace que las temperaturas oscilan, generando picos durante el día. Por tanto, este sistema constructivo en madera presenta una menor capacidad para controlar los flujos de calor en el tiempo. Las temperaturas interiores de las viviendas presentaron en ambos períodos, temperaturas superiores a las temperaturas exteriores.

En invierno esto permitió garantizar las temperaturas dentro del rango de temperaturas de confort la mayor parte del tiempo, incluso por encima de las mismas. En verano se generó un sobrecalentamiento, haciendo que la temperatura interior se encuentre por encima de las temperaturas de confort térmico, lo cual no es deseable durante el período caluroso. También se constató que el desempeño térmico de las viviendas está muy vinculado al comportamiento del usuario, al uso de las protecciones solares y la ventilación, aspectos que reafirman los resultados que ya se habían obtenido en otras investigaciones realizadas por el equipo (Pena et al, 2022). A pesar de esto, todas las veces que se concurrió, los

usuarios indicaron estar en confort térmico en sus viviendas. Estas mediciones y relevamientos realizados servirán para la calibración de modelos de simulaciones energéticas con los cuales se evaluarán modificaciones que permitan mejorar las condiciones de confort en este sistema constructivo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Camacho, M. (2023). Implicancias energéticas y de condiciones de confort térmico al considerar construcciones livianas para el clima de Uruguay Tesis de Maestría inédita. Maestría en Arquitectura. Universidad de la República, Montevideo.
- Camacho, M. y Sosa, D. (2019). Construcción en seco. En-clave de energía. Textos de tecnología 00. Instituto de la construcción. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo.
- INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TÉCNICAS (UNIT) (1999). Zonificación Climática. UNIT 1026:99.
- Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial (MVOT) y Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2022). Hoja de ruta para la construcción de vivienda social en madera en Uruguay.
- Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial (MVOT) (2020). Plan quinquenal de vivienda 2020-2024. Montevideo: Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial.
- Pena, G., Kosut, J., Favre, F. y otros (2022). Estudio interdisciplinario para la validación de criterios de diseño de eficiencia energética en los programas de vivienda [en línea]. Montevideo : Udelar. FI : Udelar. FADU : Udelar. FCS.
- Picción, A. Camacho,M, Cheirasco, G, López M y Milicua, S (2011), Aporte a la eficiencia energética a partir de un estudio de casos de las condiciones de confort térmico y visual en edificios públicos en clima templado. Udelar. FADU.