

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UNA TIPOLOGÍA DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN DOS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

THERMAL ANALYSIS OF A SOCIAL HOUSE ARCHETYPE WITH TWO CONSTRUCTIVE MATERIALITY

Federico Favre^a, Gabriel Pena^a, Pedro Galione^a, María Noel López^b, Lucía Pereira^b y Juan Rodríguez^c

^a*Instituto de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial, Facultad de Ingeniería, UdelaR, Julio Herrera y Reissig 565, 11300 Montevideo, Uruguay, <http://www.fing.edu.uy/iimpi>*

^b*Instituto de Tecnologías. Área de Clima y confort en Arquitectura, Facultad de Arquitectura y Diseño Urbano, UdelaR, Bv. Gral. Artigas 1031, 11200 Montevideo, Uruguay, <http://www.fadu.edu.uy>*

^c*Departamento de Física del litoral Norte, UdelaR, <http://www.les.edu.uy/fisica/>*

Palabras clave: Modelado energético de Edificios, Viviendas de interés Social

Resumen. En el presente trabajo se analiza el desempeño térmico de una vivienda unifamiliar de interés social de la organización MEVIR (Movimiento de Erradicación de la Vivienda Insalubre Rural). Se comparan dos soluciones constructivas de esa tipología, una con construcción tradicional en paredes y techo liviana y la otra basada en paneles de madera para las paredes y techo liviano con cámara ventilada. Se implementaron modelos de EnergyPlus, que se ajustaron a partir de mediciones de temperatura del interior de las viviendas. Se realizaron simulaciones anuales con y sin acondicionamiento térmico. Los resultados mostraron mayores demandas (o discomfort) en verano en ambas soluciones constructivas. La vivienda con envolvente de madera y techo con cámara de aire ventilada presentó la menor demanda energética, principalmente debido a la solución constructiva del techo.

Keywords: Building Energy Modelling, Social Housing.

Abstract. This paper examines the thermal performance of a low-income single-family home designed by MEVIR (Movement for the Eradication of Unhealthy Rural Housing). Two construction solutions of this typology are compared: one involving traditional walls and a lightweight roof, and the other employing wood panels for walls and a lightweight roof with ventilated cavity. EnergyPlus models were adjusted using interior temperature measurements. Annual simulations were conducted with and without thermal conditioning. The results revealed increased energy demand (or discomfort) during summers for both construction types. The dwelling with a wood envelope and roof featuring a ventilated air cavity exhibited the lowest energy demand, primarily attributed to the roof construction.

1. INTRODUCCIÓN

Los planes de vivienda social representan un instrumento muy importante para que permitan el acceso a soluciones habitacionales de calidad a poblaciones vulnerables. Un aspecto central es el confort térmico que puedan proveer las viviendas a sus habitantes. En ese sentido las simulaciones energéticas de edificios pueden colaborar en los diseños, uso y mejoras de las viviendas en general, y de las viviendas de interés social en particular. En el trabajo de [Gazquez et al. \(2022\)](#) se comparan dos viviendas sociales con sistemas constructivos tradicional y contemporáneo en Argentina, evaluando tanto la energía embebida de los materiales y el consumo de energía durante el uso de la vivienda mediante un análisis de ciclo de vida. El trabajo de [Triana et al. \(2023\)](#) estudia estrategias de eficiencia energética en viviendas de interés social en Uruguay. También para viviendas sociales en Brasil se tiene el trabajo de [Dalbem et al. \(2019\)](#) que utiliza simulaciones numéricas para estudiar la posibilidad de alcanzar estándares mínimos según la regulación de ese país, e incluso para alcanzar el estándar Passive-House.

En Uruguay se tienen antecedentes de estudios que han permitido incorporar mejoras en diseños de viviendas sociales [Pena et al. \(2022\)](#); [Favre et al. \(2023\)](#). Uno de los emprendimientos de vivienda social de más impacto en Uruguay es MEVIR¹, el cual presta especial cuidado en el desempeño térmico de sus viviendas. En el presente trabajo se hace un primer abordaje para la comparación del comportamiento de dos sistemas constructivos de una misma tipología, una en construcción tradicional para sus paredes y la otra basada en paneles de madera. En ambos casos se tiene cerramiento horizontal liviano. En este estudio se realiza un análisis comparativo únicamente del desempeño térmico de la vivienda durante su uso.

El análisis se basa en simulaciones de ambas viviendas utilizando el software EnergyPlus. Los modelos se desarrollan a partir de la información de planos y visitas a sitio. El desempeño de los modelos se verifica comparando con mediciones realizadas en dos viviendas seleccionadas. En la Sección 2 se describen los casos de estudio, incluyendo la información básica de materialidad, ubicación y uso de las viviendas. En la Sección 3 se describen los modelos utilizados en las simulaciones de EnergyPlus y en la Sección 4 se presentan los principales resultados, incluyendo la comparación de los modelos con las mediciones en sitio y las comparaciones de demanda energética y desconfort térmico. Finalmente se resumen las principales conclusiones en la Sección 5.

2. CASOS DE ESTUDIO

Los casos analizados en el presente trabajo corresponden a dos soluciones constructivas de la denominada tipología “Cardal” de MEVIR, siendo un sistema constructivo tradicional y el otro un plan piloto en madera. “Cardal” tiene una disposición que separa las áreas de dormitorios de las áreas de estar. El estar y la cocina conforman un único espacio siendo un espacio integral. Los dormitorios conforman espacios de mayor privacidad, comunicados por un pasillo. El cerramiento horizontal consiste en un techo a dos aguas con cielorraso acompañando la pendiente en el sistema tradicional y cielorraso horizontal en el sistema constructivo en madera. La planta se presentan en la Figura 1.

Ambas soluciones constructivas de vivienda tienen una fundación superficial de platea de 12cm, construida con hormigón armado. Las ventanas son de aluminio anodizado natural, la puerta cuenta con un sector vidriado. En los dormitorios las ventanas cuentan con cortina de enrollar de PVC. La puerta secundaria en ambas viviendas es de aluminio anodizado con un sector vidriado.

¹MEVIR: Movimiento de Erradicación de la Vivienda Insalubre Rural



Figura 1: Invierno tradicional

En el presente estudio se toman como referencia las viviendas construidas en la localidad Cuchilla del Ombú en el departamento de Tacuarembó (-31.77, -55.69) para la solución Tradicional, y las viviendas ubicadas en el barrio La Canilla de Rivera (-30.87, -55.58) para la solución en Madera.

Para una vivienda particular de cada tipo se realizaron mediciones de temperatura en el interior durante dos períodos, uno en verano y otro en invierno, datos que se utilizaron para la verificación y ajuste del modelo. Se pidió a los residentes de dichas viviendas que registraran lo mejor posible el uso y ocupación de la vivienda. Particularmente el uso de cortinas, apertura de ventanas, horario de ocupación de los distintos ambientes por algún integrante de la familia y para invierno el uso del calefactor a leña. Se obtuvieron también en esos casos el consumo eléctrico de las viviendas en dichas semanas con el fin de definir cargas internas por equipos.

Además de los casos de vivienda particular que se monitorearon, se realizaron encuestas a los usuarios (16 viviendas, 8 viviendas de sistema tradicional y 8 de sistema madera en cada período caluroso y frío), sobre su comportamiento en relación al uso de la vivienda, equipamiento de las mismas, conocimiento y al empleo de estrategias de acondicionamiento térmico, se definió un usuario tipo único, el cual se utiliza para comparar ambas soluciones. El mismo es un promedio de los usuarios de Rivera y Tacuarembó, los cuales tienen perfiles de uso con diferencias apreciables.

2.1. Características vivienda Tradicional

La tipología “Cardal” de sistema tradicional pesado de MEVIR presenta paredes exteriores de muro doble de 22cm, compuesto en su cara interior por ladrillo de campo de 12cm, capa aislación húmedica, arena y portland con hidrófugo y emulsión asfáltica de 1 cm, aislación térmica de poliestireno expandido de 3cm, cámara de aire de 1cm y capa exterior de ladrillo de campo 5,5cm. Los muros interiores son de ladrillo de campo de 12cm, con las dos caras bol-seadas. Los cerramientos superiores están compuestos por tirantes de eucalipto, cielorraso de fenólico compensado de 15mm, barrera de vapor y aislación térmica de lana de vidrio de 50mm con foil de aluminio hacia el espacio interior y como terminación exterior chapa galvanizada trapezoidal. La puerta principal es de aluminio anodizado natural con un sector vidriado. Las características principales de la envolvente a los efectos del modelo se resumen en la Tabla 1.

Se realizó para esa misma vivienda el ensayo de BlowerDoor obteniéndose una medida de la

	Conductancia	$\dot{m}c_P$	Área	Propiedades ópticas
Paredes Exteriores	$0,84W/m^2K$	$5,41kWh/K$	$85m^2$	$\alpha_s = 0,5$
Paredes Interiores	$5,42W/m^2K$	$2,60kWh/K$	$60m^2$	–
Techo	$0,78W/m^2K$	$0,85kWh/K$	$61,4m^2$	$\alpha_s = 0,55$
Ventanas	$5,87W/m^2K$	–	$7,26m^2$	$\tau_s = 1$

Tabla 1: Características térmicas de la Evolvente de la vivienda tradicional.

permeabilidad global. El ensayo dio un valor de $n_{50} = 10RPH$. A partir de esta medición, y las características de la envolvente, se definió la permeabilidad distribuida estimando valores de coeficientes de flujo para los distintos componentes siguiendo la metodología descrita en Romero (2022).

2.2. Características vivienda en Madera

La tipología “Cardal” liviana utiliza el sistema constructivo diseñado en base a paneles estructurales constituidos por bastidores de madera. Las paredes exteriores están conformadas por paneles multicapa de madera, formados del interior al exterior por: placas de yeso de 12,5mm, polietileno de 150 micras, placas de contrachapado fenólico de 12mm, bastidor conformado por escuadrías de madera, aislación de lana de vidrio de 50mm, placas de contrachapado fenólico de 12mm, tyveck de pared y por último superboard Siding. Los cerramientos interiores están compuestos por placas de yeso de 12,5mm, masillado y pintado en ambas caras. En baño y cocina se utilizan placas cementicias, resistentes a la humedad de 12,5mm, placas de contrachapado fenólico de 12mm, bastidor conformado por escuadrías de madera, lana de vidrio de 50mm y placas de contrachapado fenólico de 12 mm como capa exterior del panel. La puerta principal es de tipo bastidor con estructura de madera de eucalipto, enchapado con compensado de virola y revestida al exterior con con tablillas de madera machihembrada.

El cielorraso está compuesto por bastidor de escuadrías de madera y sus capas son de interior a exterior: placa de compensado fenólico de 12mm, polietileno de 150 micras, lana de vidrio de 50 mm con foil de aluminio colocado hacia el exterior y membrana tyvek. Por sobre el cielorraso horizontal, se presenta una cámara de aire ventilada y una cubierta a dos aguas de chapa auto-portante. Las características principales de la envolvente a los efectos del modelo se resumen en la Tabla 2.

	Conductancia	$\dot{m}c_P$	Área	Propiedades ópticas
Paredes Exteriores	$0,84W/m^2K$	$5,41kWh/K$	$85m^2$	$\alpha_s = 0,6$
Paredes Interiores	$XXXW/m^2K$	$2,60kWh/K$	$60m^2$	–
Techo	$0,78W/m^2K$	$0,39kWh/K$	$61m^2$	$\alpha_s = 0,5$
Ventanas	$5,87W/m^2K$	–	$7,26m^2$	$\tau_s = 1$

Tabla 2: Características térmicas de la Evolvente de la vivienda en madera.

3. MODELO

El análisis de desempeño térmico de las viviendas se realiza mediante simulaciones utilizando el software EnergyPlus.

Para modelar los balances de calor superficiales y calcular los coeficientes de convección se utilizaron los modelos definidos por defecto en EnergyPlus. Para resolver los flujos de calor por conducción en paredes y techos se utilizó el modelo `ConductionTransferFunction`. Para determinar el flujo de calor por el piso se utilizó el modelo `GroundDomain:Slab`. Para el flujo de calor por las ventanas se realizó la aproximación de capa-por-capas. Para el cálculo de las renovaciones de aire ocasionadas por las infiltraciones y la ventilación natural, así como su efecto en el balance térmico, se utilizó el método `AirflowNetwork`. Para utilizar dicho modelo se definieron las características distribuidas de la vivienda a partir del valor global de permeabilidad medido mediante el ensayo de `BlowerDoor`. Finalmente, para calcular los requerimientos de energía para mantener el confort térmico se utiliza un modelo de HVAC ideal.

Se definió una zona térmica para cada dormitorio (D1, D2 y D3), una para el baño (B), una para el corredor (C) y una única para la sala de estar y la cocina por su configuración de concepto abierto (Ek).

Para la sistematización de corridas de simulación y parametrización de entradas, salidas y análisis de resultados, se realizaron códigos en Python utilizando las librerías Eppy.

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el presente estudio. En la primera subsección se muestra el trabajo de ajuste y verificación del modelo, a partir del monitoreo que se hizo en una vivienda de cada tipo durante dos periodos, uno en verano y uno en invierno. En las subsecciones siguientes se presentan los resultados obtenidos al simular ambas viviendas para un mismo clima y con un mismo usuario y se compara el desempeño térmico de las viviendas. Primero se realiza manteniendo las casas en confort térmico y se comparan los requerimientos de refrigeración y calefacción, luego se analizan los casos en oscilación libre y se compara la evolución de la temperatura en el interior para ambos casos.

4.1. Verificación y ajustes del modelo

Como se mencionó previamente, ambas viviendas fueron monitoreadas. Esto es, se midió la temperatura en el interior de cada zona térmica de cada vivienda, se llevó a cabo un registro por parte de las propias familias de los horarios de ocupación de las viviendas y se registró el consumo eléctrico en los mismos periodos. Los periodos incluyeron la semana del 10/07 al 16/07 del 2022 para el invierno, y la semana del 14/02 al 20/02 de 2022 para el verano.

A partir de los registros llevados a cabo por las propias familias y las entrevistas realizadas se definieron los cronogramas de ocupación de cada zona y los cronogramas de uso de protecciones solares y apertura de ventanas para ventilación. La vivienda Tradicional la ocupa una familia de cinco integrantes con una alta presencia en la vivienda. La familia en la vivienda de madera está integrada por 6 personas y también tiene una ocupación alta.

Los archivos climáticos para cada caso se construyeron integrando cuatro fuentes de datos diferentes.

Para el caso de Tradicional (ubicado en Tacuarembó) se utilizaron mediciones de temperatura y humedad relativa la estación de medida La Magnolia del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Para la irradiancia solar se utilizaron mediciones del Laboratorio de Energía Solar (LES, UdelaR), estación también ubicada en La Magnolia, INIA. Para los datos de velocidad de viento se utilizaron las mediciones de la estación más cercana de la Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE) que en este caso fue Piedra

Sola.

Para el caso de vivienda en Madera (Rivera) los datos de temperatura ambiente y humedad relativa se obtuvieron los datos del sitio web OGIMET, los cuales provienen de una estación meteorológica ubicada en Santana do Livramento, Brasil. Para la irradiancia solar se utilizaron estimativos satelitales elaborados por el LES y para la velocidad del viento nuevamente mediciones de la estación más cercana de UTE, en este caso Juan Pablo Terra.

El ajuste de los modelos se realizó de manera iterativa analizando los resultados obtenidos. En ambos casos se varió la absorptividad solar del techo ya que los resultados son muy sensibles a dicho parámetro y su valor presenta incertidumbre. Se variaron aspectos del uso de la vivienda, principalmente en lo que refiere al uso de las protecciones solares y la ventilación natural. Para ello se contrastó la información registrada por las familias y las temperaturas medidas en ciertas zonas de la vivienda donde estos usos afectan de manera significativa.

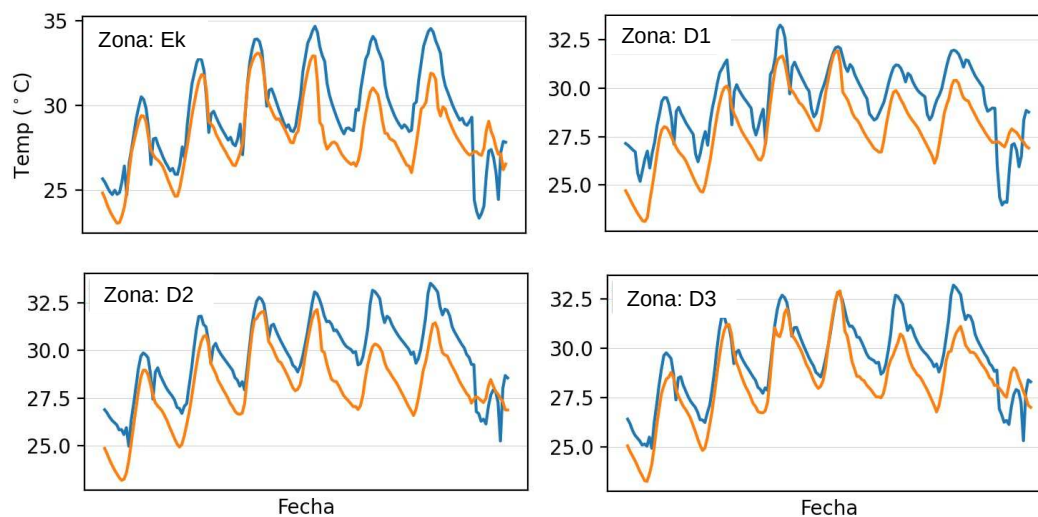


Figura 2: Temperaturas medidas y simuladas para las diferentes zonas térmicas de la vivienda tradicional para el periodo de verano. Azul: Mediciones; Amarillo: Simulaciones.

Las temperaturas simuladas y monitoreadas para cada una de las zonas del modelo para el periodo de verano se presentan en la Figura 2 para el caso tradicional y en la Figura 3 para el caso en Madera. Además, en la Tabla 3 se muestra el la raíz del error cuadrático medio para cada caso (RMSE).

Se observa que los resultados de simulación describen bien en general la evolución de las temperaturas en todas las zonas térmicas y que los errores son bajos en todas las zonas.

	Tradicional				Madera			
	Ek	D1	D2	D3	Ek	D1	D2	D3
RMSE (Verano)	1,94	1,79	1,89	1,32	1,96	1,39	1,20	1,28
RMSE (Invierno)	1,37	0,77	1,10	1,16	1,55	1,28	1,31	1,03

Tabla 3: Resultados del error de las calibraciones para cada vivienda tradicional en período caluroso y frío

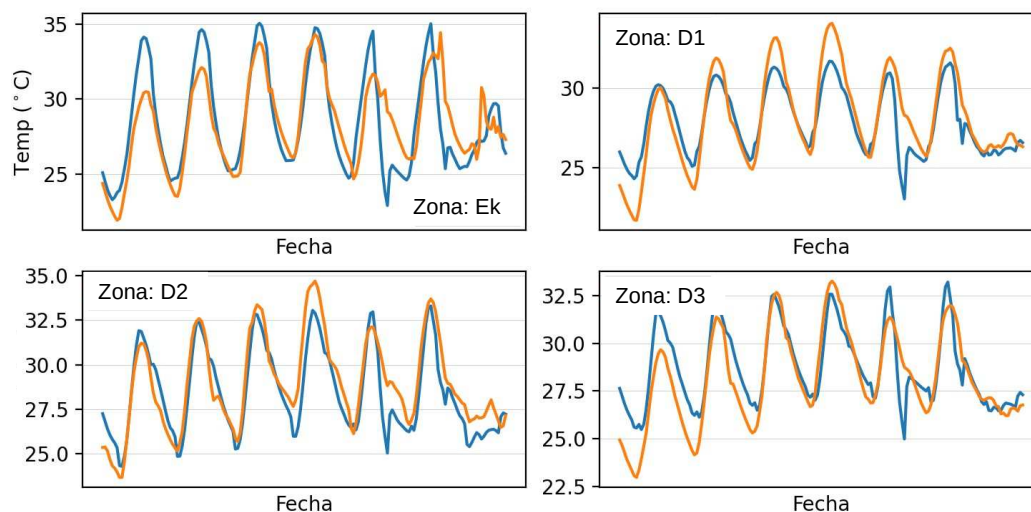


Figura 3: Temperaturas medidas y simuladas para las diferentes zonas térmicas de la vivienda en madera para el periodo de verano. Azul: Mediciones; Amarillo: Simulaciones.

4.2. Comparación de requerimiento para las soluciones constructivas

Se analiza el desempeño de la vivienda en sus dos variantes para las distintas orientaciones de la fachada principal simulando cada 30° , a fin de determinar la orientación de mejor desempeño. Se define el caso base (orientación 0°) con la fachada principal orientada al norte, y las demás orientaciones corresponden a rotar la vivienda en sentido horario (ver Fig. 4).

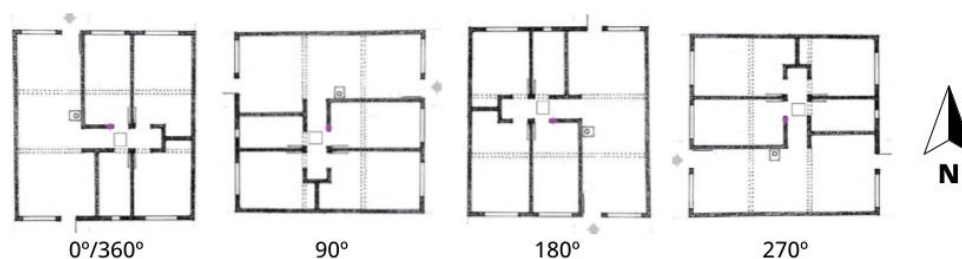


Figura 4: Plano de planta para distintas orientaciones de la fachada principal.

Los resultados obtenidos de requerimientos energéticos para acondicionamiento térmico se presentan en la Figura 5 distinguiendo entre refrigeración y calefacción. Para todas las orientaciones solares la demanda energética de refrigeración supera ampliamente la de calefacción.

Para ambos casos se obtiene una importante dependencia con la orientación. Las orientaciones 0° y 180° son las que presentan mejor comportamiento tanto en verano como en invierno. Esto se debe a que en estos casos todas las ventanas de las viviendas quedan orientadas al sur o al norte, lo cual es beneficioso tanto en verano (fachadas de menor radiación solar) como en invierno (fachadas de mayor radiación solar).

Para los casos de orientación 0° se presentan los aportes de energía de cada componente de la vivienda acumulados en el mes de enero en la Figura 6. Se puede ver que la principal diferencia entre soluciones constructivas se da en el techo. Cabe destacar que si bien ambas construcciones presentan un cerramiento horizontal liviano con similar aislación térmica, en el caso de la vivienda en Madera se tiene un cielorraso horizontal en toda la vivienda con una cámara ventilada.

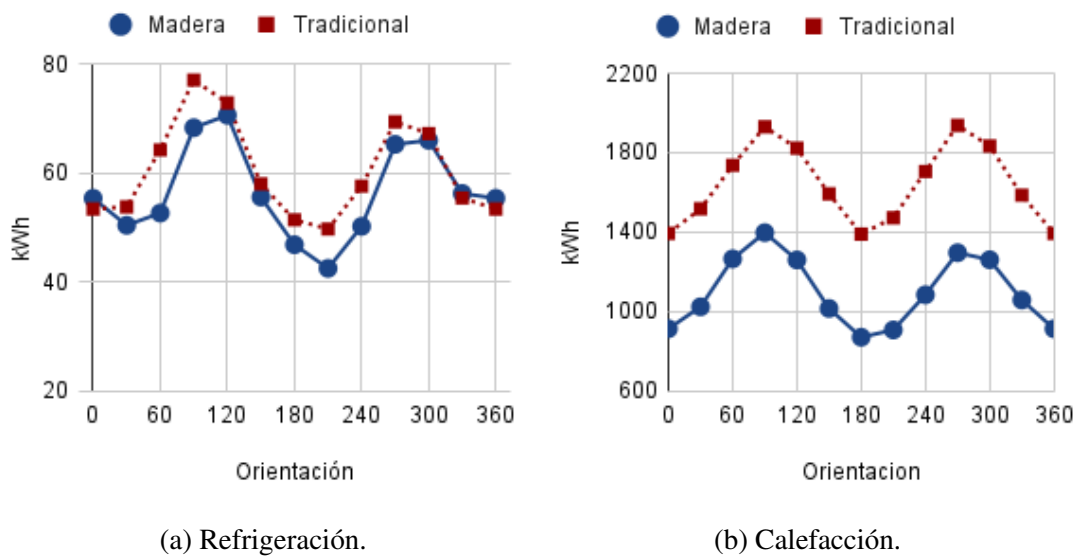


Figura 5: Requerimiento anual de energía para acondicionamiento térmico para ambas viviendas en función de la orientación de la fachada principal.

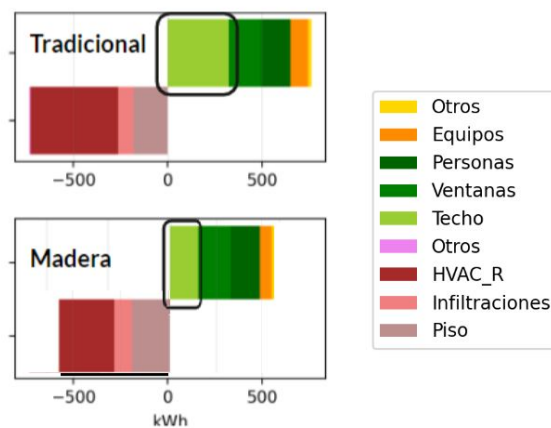


Figura 6: Aporte de energía para el mes de Enero para ambos casos para orientación 0°

4.3. Comparación de las soluciones constructivas en casos sin acondicionamiento

Se simularon los casos base para la orientación 0° en oscilación libre, o sea, sin incluir acondicionamiento térmico de las viviendas. Se obtienen las temperaturas del aire alcanzadas en los espacios interiores y se estima el nivel de confort térmico por medio del cálculo de los grados-hora (GH) de desconfort de calor y frío para períodos de una semana.

La evolución de la temperatura de la zona térmica Ek (sala de estar y cocina) de ambas viviendas para la semana de invierno se presenta en la Figura 7, junto con la temperatura exterior y la banda de confort térmico utilizada. Ambas temperaturas se mantienen la mayor parte del tiempo en niveles de confort, lo cual es coherente con los bajos valores de requerimientos de energía para calefacción obtenidos (ver Sección 4.2).

En la Figura 7 se observa también que en la semana de invierno las temperaturas medias entre ambos casos son similares, y que la amplitud térmica en el interior de la vivienda tradicional es menor. Esto último era esperable debido a la mayor inercia térmica de sus paredes. Debido

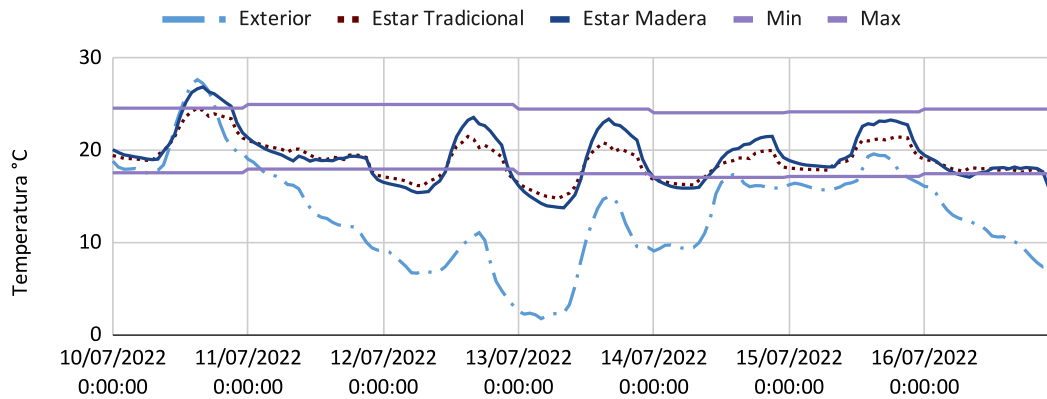


Figura 7: Temperatura durante una semana de verano en la zona Ek para ambas viviendas.

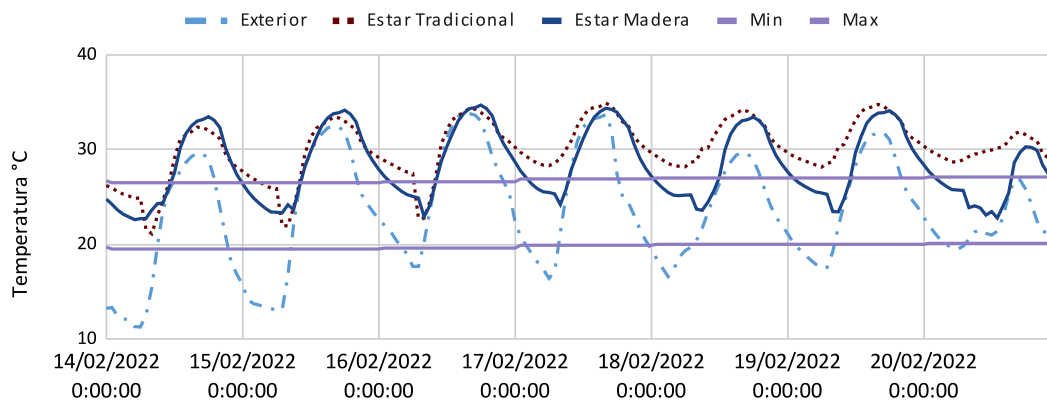


Figura 8: Temperatura durante una semana de invierno en la zona Ek para ambas viviendas.

a esto, la vivienda de madera en su interior presenta mínimos de temperatura más bajo, lo que implica un mayor disconfort en invierno. Esto se verifica también en al calcular los grados-hora de disconfort (ver Tab. 4).

	Calor	Frío
Tradicional	84,1°C <i>h</i>	6,55°C <i>h</i>
Madera	57,6°C <i>h</i>	9,78°C <i>h</i>

Tabla 4: Promedio diario de grados-hora de disconfort para ambas viviendas en invierno y verano.

Los resultados de temperatura obtenidos para la semana de verano se presentan en la Figura 8. Se puede ver que la temperatura media en la vivienda tradicional es más alta comparada con la vivienda de madera, esto se debe a que el ingreso de calor a la vivienda del diseño tipológico tradicional es mayor. Se verificó (no se muestra aquí) que al igual que en los casos con acondicionamiento térmico ideal, la principal diferencia se da en el ingreso de energía por el techo. Debido a esto, para poder disipar el calor (por paredes, piso, y renovación de aire) se tiene una mayor temperatura interna. Lo que resulta en un mayor disconfort en la vivienda tradicional en el período caluroso. El valor de grados-hora de disconfort de calor es notoriamente mayor

en la vivienda Tradicional que en la vivienda en Madera, y en ambos casos es muy superior al valor de grados-hora de discomfort de frío (ver Tab. 4).

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se implementó el modelo de viviendas de la tipología “Cardal” de MEVIR para dos soluciones constructivas diferentes, una de tipo tradicional y una basada en paneles de Madera. Tras un proceso de ajuste los resultados obtenidos por los modelos representaron de buena forma la evolución de la temperatura en el interior de las viviendas.

Con dichos modelos se comparó el desempeño térmico de ambas soluciones constructivas en dos situaciones, con y sin acondicionamiento térmico. Para todos los casos se observó que el período caluroso es el más exigente desde el punto de vista térmico, tanto si se mira el confort en oscilación libre como si se mira la demanda de energía con la vivienda acondicionada. Para ambas soluciones constructivas se comprobó una alta dependencia de los requerimientos energéticos con la orientación solar, siendo las orientaciones con la fachada principal apuntando al norte o al sur las más convenientes, tanto en verano como en invierno.

La vivienda de madera presentó menor demanda energética que la de construcción tradicional debido principalmente a la inclusión de la cámara ventilada en el techo.

La diferencia constructiva del techo resulta muy notoria y dificulta la comparativa de la solución constructiva entre tradicional y madera. Por ejemplo, al comparar la evolución de la temperatura en los casos en oscilación libre es notoria la influencia de la alta inercia de la construcción tradicional en la que se observan amplitudes térmicas menores. Esto en invierno, período en el que la incidencia del techo es menor, genera que la vivienda tradicional presente mayor confort térmico. En verano, es de esperar que por esta misma razón, si se tuvieran techos similares, la vivienda con paredes de construcción tradicional presentaría mejor desempeño.

AGRADECIMIENTOS

Los autores le agradecen a la Dirección Nacional de Energía y a MEVIR por brindar información necesaria para la realización del trabajo y por el apoyo económico.

REFERENCIAS

- Dalbem R., Grala da Cunha E., Vicente R., Figueiredo A., Oliveira R., y da Silva A.C.S.B. Optimisation of a social housing for south of Brazil: From basic performance standard to passive house concept. *Energy*, 167:1278–1296, 2019. ISSN 0360-5442. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.053>.
- Favre F., Pena G., Gervaz S., Romero J., López M., y Pereira L. Thermal analysis of a social interest household in Uruguay. En M.Z. Sogut, T.H. Karakoc, O. Secgin, y A. Dalkiran, editores, *Proceedings of the 2022 International Symposium on Energy Management and Sustainability*, páginas 879–887. Springer International Publishing, Cham, 2023.
- Gazquez L.A.M., Hernández F.F., y López J.M.C. A comparison of traditional and contemporary social houses in Catamarca (Argentina). comfort conditions and life cycle assessment. *Sustainable Cities and Society*, 82:103891, 2022. ISSN 2210-6707. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103891>.
- Pena G., Kosut J., y Favre F. Estudio interdisciplinario para la validación de criterios de diseño de eficiencia energética en los programas de vivienda. Informe Técnico, UdelaR, 2022.

- Romero J. Modelado de infiltraciones y ventilación natural en simulaciones energéticas de edificaciones. 2022.
- Triana M.A., e Silva Machado R.M., Martins Kamimura A., Körbes Bracht M., Melo A.P., y Lamberts R. Energy efficiency strategies for brazilian social housing considering a life cycle perspective: Optimisation between thermal autonomy, energy consumption and costs. *Energy and Buildings*, 295:113254, 2023. ISSN 0378-7788. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113254>.