

## MODELOS DE BALANCE TÉRMICO PARA LA EVALUACIÓN DE UNA VIVIENDA SOCIAL DE ADOBE

### Matías Ortega

CONICET y FAU-UNT

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6188-4052>

E-mail: [mateduortega@gmail.com](mailto:mateduortega@gmail.com)

### Gabriela Giuliano

CONICET y FACET-UNSE

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7226-8925>

E-mail: [gm.giuliano@gmail.com](mailto:gm.giuliano@gmail.com)

### Beatriz Garzón

CONICET y FAU-UNT

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3130-8895>

E-mail: [bgarzon06@gmail.com](mailto:bgarzon06@gmail.com)

### Resumen

El objetivo de este trabajo es analizar la eficiencia térmica de una vivienda social, ubicada en Tañi del Valle, provincia de Tucumán, y ejecutada en adobe. Para ello se efectúa el cálculo estacionario aplicando la serie de Normas IRAM 11.600, y el cuasiestacionario mediante el aplicativo de etiquetado de eficiencia energética de viviendas elaborado por la Secretaría de Energía de la Nación. Si bien son grandes las contribuciones que hacen estas herramientas para la evaluación de viviendas, la falta de normativa específica respecto al adobe, limita y condiciona la carga de datos; a la vez estos resultados son deficientes ya que no consideran el calor acumulado en los materiales ni la variable tiempo. Se concluye que el balance energético desde el modelo dinámico mediante la simulación térmica con el software SIMEDIF, resulta el más apropiado para la validación del presente caso de estudio, por sus particularidades climáticas y de la envolvente.

**Palabras clave:** Vivienda social; Construcción en adobe; Modelos de balance energético; Eficiencia térmico- energética.

Fecha recepción: 15 de julio de 2021

## THERMAL BALANCE MODELS FOR THE EVALUATION OF A SOCIAL HOUSING OF ADOBE

### Abstract

*The objective of this work is to analyze the thermal efficiency of a social housing, located in Tañi del Valle, province of Tucumán, and executed in adobe. For this, the stationary calculation is carried out by applying the series of IRAM 11.600 standards, and the quasi-stationary calculation through the home energy efficiency labeling application prepared by the National Secretary of Energy. Although the contributions made by these tools for the evaluation of homes are great, the lack of specific regulations regarding adobe limits and conditions the loading of data; at the same time, these results are deficient since they do not consider the heat accumulated in the materials or the time variable. It is concluded that the energy balance from the dynamic model through thermal simulation with the SIMEDIF software is the most appropriate for the validation of this case study, due to its climatic and envelope characteristics.*

**Keywords:** Social housing; Construction in adobe; Energy balance models; Thermal-energy efficiency.

Fecha aceptación: 10 de diciembre de 2021

## Introducción

Argentina avanza sistemáticamente en el diseño de políticas e instrumentos para la implementación de la Eficiencia Energética (EE) en viviendas. Ya desde la década de los 90, el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), ha publicado varias normas que refieren al aislamiento térmico y al acondicionamiento higrotérmico de los edificios: a la clasificación bioambiental de la República Argentina, con datos climáticos tabulados por zona (IRAM 11603, 2011); a las propiedades térmicas de los materiales para la construcción, estableciendo un método de cálculo para la resistencia térmica total de un elemento constructivo (IRAM 11601, 2002); a la determinación de los valores máximos admisibles de transmitancia térmica para lograr condiciones de habitabilidad en viviendas (IRAM 11605, 1996); a la verificación de los riesgos de condensación del vapor de agua en paños centrales y en puntos singulares (IRAM 11625, 2000); y a la determinación de los coeficientes volumétricos de pérdidas y ganancias de calor, para lograr ahorros en calefacción y refrigeración del aire (IRAM 11604, 2004; IRAM 11659, 2007). También pueden destacarse la norma 11.507, parte 4 y parte 6 (2010; 2018), dedicadas al estudio del aislamiento térmico y eficiencia energética en ventanas; y la IRAM 11.549 (2002) que señala el vocabulario pertinente al “aislamiento térmico de edificios”. En el año 2007, se implementó por decreto el Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE), que declaró de interés y prioridad nacional el uso racional y eficiente de la energía, estableciéndose a la eficiencia energética como una actividad permanente de mediano a largo plazo (Presidencia de la Nación, 2007).

Antecedente importante en la aplicación de medidas de eficiencia energética en la vivienda social fue el Programa "Evaluación de eficiencia energética y energía renovable en el diseño, construcción y operación de la vivienda social", financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), donde se buscó establecer lineamientos normativos y tecnológicos para la construcción de viviendas sociales con Eficiencia Energética y Energía Renovable en todo el país, orientado a disminuir la demanda de energía por parte de los consumidores y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Banco Interamericano de Desarrollo, 2021).

En 2017, la norma IRAM 11.900 (reemplazando a la de 2010 y modificada en 2019), logra establecer el procedimiento de cálculo para la determinación de las prestaciones energéticas y la etiqueta de eficiencia energética en viviendas establecida a nivel nacional. La Secretaría de Energía de la Nación implementó el Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas, mediante el aplicativo informático *Etiquetado de Viviendas* (Secretaría de Energía de la Nación, 2019), que permite valorar una vivienda construida o proyectada según los consumos de energía primaria para climatización, agua caliente sanitaria e iluminación, considerando además las contribuciones de las energías renovables. En 2019, se lanza además el aplicativo para el certificado de eficiencia energética en ventanas (Secretaría de Energía de la Nación, 2021).

A partir de las problemáticas energética, ambiental y habitacional, se presentó en 2019 la *Estrategia Nacional de Vivienda Sustentable*, “en pos del cumplimiento de las metas climáticas, a partir de la incorporación de tecnologías de energías renovables, sistemas constructivos eficientes y la promoción del uso eficiente de los recursos” (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable & Secretaría de Vivienda de la Nación, 2021), componentes que impactarán directamente en el ahorro económico de las familias beneficiarias. Ese mismo año, varios entes gubernamentales del Estado Nacional colaboraron en la publicación del *Manual de Vivienda Sustentable* (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable et al., 2019), buscando aportar sustentabilidad al proceso constructivo y al uso de viviendas en nuestro país y aportando recomendaciones tendientes a mejorar su desempeño ambiental, con el objetivo de dar los lineamientos y la documentación técnica de apoyo a los Institutos Provinciales de Vivienda para la construcción y uso sustentable de barrios y viviendas a desarrollar. Además, la Secretaría de Vivienda de la Nación actualizó el documento “*Estándares mínimos de calidad para viviendas de interés social. Marco para la promoción de viviendas inclusivas, asequibles y sostenibles*” (Secretaría de Vivienda de la Nación, 2019), que incorpora y unifica la totalidad de normativa dictada a la fecha,

junto a nuevos lineamientos vinculados a la integración socio-urbana, el diseño del conjunto, las tecnologías constructivas, el equipamiento incorporado a las viviendas y la sustentabilidad. Respecto al acondicionamiento higratérmico para lograr eficiencia energética, este documento exige el estudio de la transmitancia térmica, de los puentes térmicos, de los riesgos de condensación y de la aislación hidrófuga de la envolvente, como de la presentación del Informe de certificación de eficiencia energética, determinando el Índice de Prestaciones Energéticas (IPE), mediante el uso del aplicativo informático denominado *Etiquetado de Viviendas*.

Si bien se ha avanzado mucho respecto a establecer lineamientos que estimulen las medidas de eficiencia energética en el diseño de las viviendas, poco se conoce respecto al comportamiento térmico de aquellas ejecutadas con los llamados *materiales no tradicionales*, “sistemas y elementos constructivos que no cuentan con normas, reglamentos, disposiciones o resoluciones de Organismos Nacionales que establezcan las condiciones a las que deba ajustarse el uso y fabricación” (Secretaría de Vivienda de la Nación, 2019). Ejemplo de esto son las casas realizadas con muros de adobe en el marco de diferentes programas, que pese a ser un material utilizado históricamente en la región del noroeste argentino, todavía no existe reglamentación en el país respecto a su uso y fabricación.

El objetivo de la investigación es analizar la eficiencia térmico-energética de una vivienda social construida en adobe en la provincia de Tucumán, con la normativa vigente y los instrumentos disponibles, evaluando los resultados de su comportamiento en régimen estacionario, semi estacionario y dinámico.

## Metodología

En una primera etapa se utiliza el método descriptivo para la caracterización climática del entorno y de la vivienda social, así como para su disposición arquitectónica y tecnológica, realizando una valoración del cumplimiento del objeto de estudio con respecto a las recomendaciones de diseño establecidas en Norma IRAM 11.603.

En una segunda etapa se recurre al método analítico, evaluando el comportamiento térmico del caso según tres modelos de balance energético: 1. estacionario, 2. semi estacionario y 3. dinámico o transitorio, para los cuales se utilizan distintas herramientas de cálculo.

1. Modelo de balance energético en régimen estacionario: se evalúa el comportamiento energético de la vivienda aplicando los procedimientos establecidos por el resto de la serie de Normas IRAM dedicadas al acondicionamiento bioambiental. Para ello se utilizan planillas de cálculo que facilitan la determinación del coeficiente K de transmitancia térmica de los distintos elementos que conforman la envolvente (IRAM, 11.601); la verificación del riesgo de condensación del aire superficial e intersticial en paños centrales de muros y techo (IRAM, 11.625); la estimación de valores de pérdidas de calor “G” y el coeficiente volumétrico de calefacción “G<sub>cal</sub>” (IRAM, 11.604); y la determinación de la carga térmica de refrigeración (Q<sub>R</sub>), y de su coeficiente volumétrico “G<sub>R</sub>” (IRAM, 11.659). Los valores obtenidos se comparan con los máximos admisibles recomendados por las Normas y con los rangos de confort para invierno y verano.

2. Modelo de balance energético en régimen semi estacionario: a continuación, se determina el valor del IPE según el aplicativo informático *Etiquetado de Viviendas*, para obtener la etiqueta de eficiencia energética. Este índice da cuenta de la energía primaria que el uso de la vivienda requiere para su acondicionamiento y funcionamiento, conteniendo valores de consumo para la climatización, la iluminación, la generación de agua caliente sanitaria (ACS), y el aporte de las energías renovables.

3. Modelo de balance energético en régimen dinámico o transitorio: se evaluó el comportamiento de la vivienda social mediante su simulación térmica utilizando el software SIMEDIF 2.0 (Flores Larsen, 2019). El modelo

térmico con el que opera “permite la simulación del comportamiento transitorio de edificios de muchos locales a partir de las características geométricas y constructivas del mismo, de las renovaciones de aire, de su ubicación, orientación y de las condiciones climáticas externas.” (Flores Larsen & Lesino, 2001).

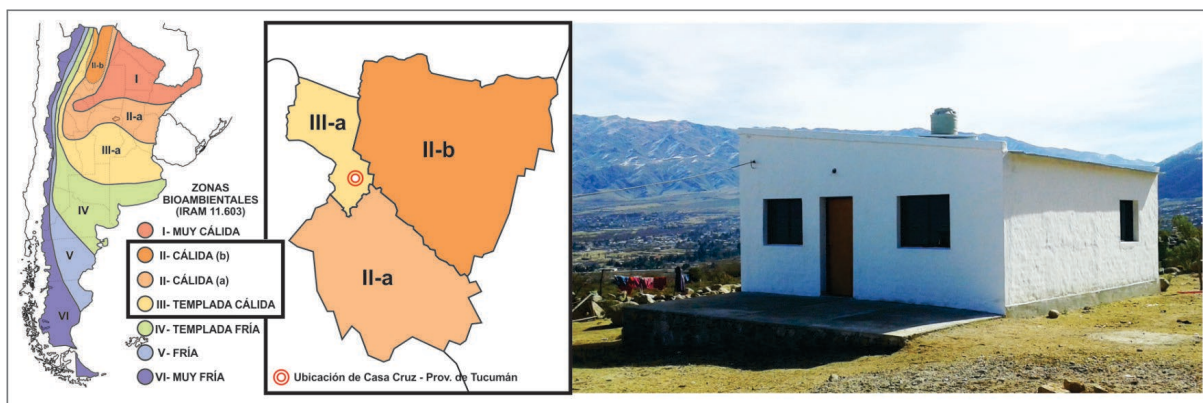
Finalmente se ponen en discusión las fortalezas y debilidades de cada uno de estos modelos, en función a los resultados que aportan, y se realizan algunas recomendaciones para futuras evaluaciones térmicas de viviendas en adobe, con el objeto de que sirvan a la generalización de experiencias constructivas de vivienda social en la incorporación de este material sustentable.

## Resultados

El caso de estudio seleccionado como unidad de análisis en este trabajo es la "Casa Cruz", una vivienda unifamiliar ubicada en Tañi del Valle, provincia de Tucumán, ejecutada en el año 2010 en el marco del PROMAT, acrónimo de Provisión de Materiales, subprograma del Instituto Provincial de Vivienda y Desarrollo Urbano (IPVyDU) y que surge como necesidad de solucionar el problema habitacional de los más necesitados sin posibilidad de acceder a una cuota de vivienda y que habitan en terrenos propios o fiscales. Se trató con él de solucionar sobre todo el problema de vivienda de las familias del interior de la provincia, en un intento de consolidar su hábitat y frenar la migración hacia los centros urbanos.

### 1. Caracterización climática y del sitio de implantación

La Norma IRAM 11.603 establece que el departamento Tañi del Valle, pertenece a la zona bioambiental III templado cálido, subzona a (Figura 1), correspondiéndose con amplitudes térmicas superiores a los 14 °C. Los veranos son relativamente calurosos y presentan temperaturas medias comprendidas entre 20 °C y 26 °C. El invierno no es muy frío y presenta valores medios de temperatura comprendidos entre 8°C y 12°C, y valores mínimos que rara vez son menores que 0 °C.



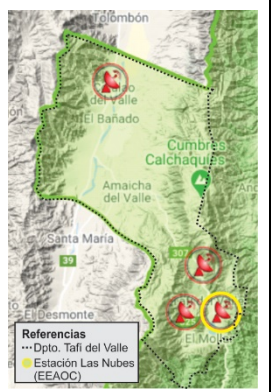
**Figura 1:** Mapas de Zonas Bioambientales de Argentina y Tucumán e Imagen de Casa Cruz. **Fuente:** IRAM 11.603 (2012), PROMAT-IPVyDU y elaboración propia.

El Valle de Tañi se encuentra a una altitud promedio de 2.100 m.s.n.m. Corresponde a una pradera de altura con clima desértico frío, con veranos cálidos e inviernos secos en los que la temperatura media anual oscila los 19 °C y las precipitaciones los 350 mm anuales, que en algunos casos se expresan como nieve o granizo en cualquier época del año (Pastor, 2000).

Este valle se encuentra en la zona de clima subtropical serrano, clima que prevalece en la región de las sierras, donde las temperaturas y las precipitaciones varían según la altitud. El clima del valle es considerado también un

clima de estepa. En Tabla 1, se sintetizan los datos climáticos medios para Tafi del Valle según la estación meteorológica Las Nubes de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC, 2021).

Parámetros climáticos	Unidad	Valores anuales y en solsticios		
		Anual	Invierno Julio	Verano Enero
Temperatura Media	°C	12,9	7,4	16,5
Temperatura Media Máxima	°C	19,5	16,2	20,8
Temperatura Media Mínima	°C	6,4	-1,3	12,1
Humedad Relativa Media	%	70	57	83
Amplitud Térmica Media	°C	13,1	17,5	8,7
Radiación Solar Global Media	W/m <sup>2</sup>	209	146,9	202,4
Velocidad Media del Viento	km/h	3,5	3,8	3
Precipitaciones	mm	2940	1,5	110,2



**Tabla 1:** Datos climáticos medios del año 2018 para Tafi del Valle. **Fuente:** EEAOC y elaboración propia

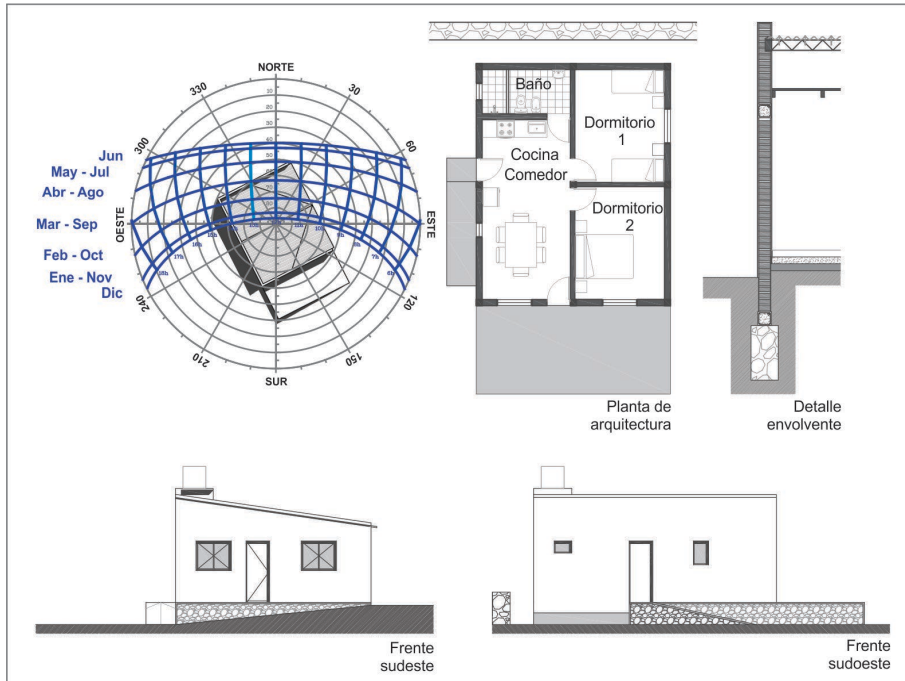
La Casa Cruz, se ubica en la zona de las primeras elevaciones de las Cumbres Calchaquíes, hacia el sudeste de la villa de Tafi del Valle, en la zona conocida como *costa uno*. Se accede desde la ruta 307, a través de la Avenida Lola Mora y, tomando la Calle Túpac Amaru, la vivienda se encuentra hacia el final de la misma, identificándose las siguientes coordenadas de ubicación: 26°51'39,86'' (26.86) (S); 65°40'33,87'' (65.67) (O), y a una elevación de 2086 msnm. En el entorno inmediato, se encuentran casas de otros miembros de la familia Cruz (Figura 2).



**Figura 2:** Ubicación y accesibilidad a conjunto de viviendas de Familia Cruz y Casa Cruz. **Fuente:** Google Earth, Fotografía tomada por autores y elaboración propia.

## 2. Disposición arquitectónica- tecnológica y valoración de las EPDA

El prototipo de vivienda social provincial tiene una superficie cubierta de 54,5m<sup>2</sup> y una superficie útil 46,15 m<sup>2</sup>. La planta se organiza funcionalmente en dos áreas, una social y de servicios y la otra privada (Figura 3). Hacia la izquierda, la zona social de 22 m<sup>2</sup>, cocina-comedor integrada de 14,25m<sup>2</sup>, seguida de un núcleo sanitario de 4,5m<sup>2</sup>. A la derecha, la zona privada de 22 m<sup>2</sup> que contiene dos dormitorios de 11m<sup>2</sup>, cada uno. La familia se constituye por una madre con cuatro hijos, dos de ellos discapacitados.



**Figura 3:** Carta solar para la Vivienda Cruz, Planta de Arquitectura, Frente SE y SO y Corte constructivo. **Fuente:** Programa Solardata (Universidad de Oregon, 2019), y elaboración propia.

La vivienda se resolvió mediante mampostería portante de adobe de 0,40 m de espesor (e) y mezcla de asiento sobre un cimiento corrido de piedra, con un sobrecimiento de mampostería de ladrillo cerámico macizo común. Se incorporó una estructura sísmo resistente de encadenados horizontales y verticales de H<sup>º</sup>A<sup>º</sup>. El techo es liviano de estructura metálica y filigrana, cubierto con una chapa galvanizada de perfil sinusoidal, calibre 24, con membrana aislante de 5mm "tipo isolant", de espuma de polietileno con un film aluminizado en una de sus caras; a continuación, una cámara de aire estanca (ático), y un cielorraso suspendido de madera machihembrada de 1/2" como elementos de cierre (forjado). Las divisiones interiores, también son de adobe. Respecto a las carpinterías, tienen marcos metálicos de chapa plegada calibre 14. Los vidrios de las ventanas son comunes. Ninguna de ellas presenta protecciones solares. La casa tiene dos puertas de acceso de chapa plegada calibre 14, mientras que las interiores poseen marcos metálicos y hojas placadas de madera terciada.

Dada la gran amplitud térmica de la zona bioambiental en la que se encuentra la vivienda, la Norma 11.603 establece recomendaciones generales de diseño que el caso cumple parcialmente: la casa Cruz es una vivienda aislada, pese a la cercanía de las otras edificaciones que componen el conjunto, y sus muros están materializados en adobe, por lo que poseen inercia térmica. Ninguna de sus carpinterías cuenta con protecciones solares y el color de todos sus frentes es blanco. En relación a las orientaciones, son las habitaciones y el baño los locales que dan al noreste y noroeste respectivamente.

Respecto a las Estrategias Pasivas de Diseño Arquitectónico (EPDA), desarrolladas en la Norma 11.900 (2019), el nivel de aprovechamiento de ellas se valora en un 25,1 %, razón por la cual sería necesario incorporar soluciones de mejoras de estrategias pasivas, como: aislación térmica, protección solar en verano y captación solar directa en invierno e inercia térmica.

### 3. Evaluación del comportamiento edilicio según tres modelos de balance térmico

La primera ley de la termodinámica, también conocida como principio de conservación de la energía, expresa que, en el curso de un proceso, la energía no se puede crear ni destruir; sólo puede cambiar de forma. Por lo tanto, toda pequeña cantidad de energía debe tomarse en cuenta en el curso de un proceso. El principio de conservación de la energía, o balance de energía, para un sistema que pasa por cualquier proceso, se puede expresar como “el cambio neto (aumento o disminución), en la energía total de un sistema en el curso de un proceso es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale en el desarrollo de ese proceso” (Cengel, 2007).

Un edificio es un sistema complejo y dinámico, ya que en él operan variables que se modifican todo el tiempo. Para examinar su comportamiento térmico, y poder así determinar las demandas de calefacción y/o de enfriamiento, se debe hacer un balance entre las pérdidas y ganancias de calor para el período de invierno y verano respectivamente. Las variables exógenas que inciden en el intercambio del flujo térmico de un inmueble son la temperatura del ambiente exterior, la potencia de radiación solar en un plano determinado, y la velocidad de viento, las cuales varían con el tiempo. A su vez, el efecto de estas variaciones sobre el espacio interior del inmueble no es inmediato, sino que existe un retardo temporal entre la causa y el efecto. Por ello, el intercambio de energía entre un inmueble y el ambiente exterior, se considera un sistema dinámico.

Para elaborar un balance térmico en un edificio, se distinguen tres modelos: los que utilizan procedimientos de cálculo estacionarios o semi estacionarios y los basados en metodologías de cálculo dinámico. Las principales diferencias entre los distintos métodos son: el intervalo de tiempo considerado, la forma diferente de gestionar las instalaciones del edificio, y la diversidad de cada uno de ellos para calcular el flujo de calor. Los primeros suponen soluciones simplificadas, en las que se pierde mucha información, mientras que los cálculos dinámicos implican soluciones complejas de implementar, de las cuales se puede obtener información muy precisa; la aplicación de un modelo u otro, debe ser acorde al resultado que se busque obtener considerando las ventajas y desventajas de cada cual.

Los modelos estacionarios consideran que, para un período de tiempo dado, todas las variables permanecen constantes e iguales en sus valores medios y los flujos de calor no dependen del tiempo. En estos modelos, la potencia térmica en la entrada del sistema es igual a la potencia térmica en la salida y no hay ninguna variación de la energía térmica interna. No consideran los efectos de la capacidad térmica. Son modelos simplificados en los cuales se pierde mucha información. El modelo numérico, que podemos definir simplificado, contempla, por lo tanto, la transferencia de energía entre el edificio y el entorno externo en condiciones fijas. En otras palabras, las modalidades de uso del edificio como ocupación, cargas internas, etc., y las condiciones climáticas como temperaturas y condiciones atmosféricas, que se mantienen constantes dentro del intervalo de tiempo de la simulación. Por lo tanto, el cálculo energético se efectúa como un simple balance térmico, entre las condiciones internas y externas del edificio.

Los modelos semi estacionarios (o estacionarios con correcciones dinámicas), son modelos estacionarios, que mediante ajustes globales logran compensar y corregir el comportamiento dinámico del sistema. Consideran los efectos de la capacidad térmica de los materiales para el ajuste. Al igual que los anteriores, son modelos simplificados. Aquí, el intervalo de tiempo considerado coincide con un solo mes, a diferencia del régimen estacionario, donde el período de tiempo coincide con la temporada de calefacción o con la temporada de refrescamiento. Un modelo de este tipo se utiliza para calcular el IPE, energía primaria consumida en verano e invierno, sobre la base de tres hipótesis de cálculo: que cada mes tiene días iguales y cada día posee temperatura e irradiancia solar constante igual a la media del mes considerado; que los parámetros son concentrados, por lo que la temperatura interna es representada como un punto; y que los flujos de intercambio de calor son unidireccionales.

Básicamente, en los dos primeros modelos se calcula la energía térmica media transferida a través de la envolvente en función de las condiciones de contorno (estacional o mensual), y de los aportes promedio. Luego, el consumo de energía (electricidad, gas natural, etc.), también se calcula en régimen estacionario o semi estacionario sobre la base de lo antes expuesto, utilizando los respectivos factores de correlación que consideran el tipo de instalación y su eficiencia.

En los modelos dinámicos o transitorios, la temperatura en cualquier punto del sistema varía en el tiempo, y esta variación de temperatura indica una variación de energía térmica interna. Se considera a la hora como la variable temporal y a los efectos de la capacidad térmica de los materiales involucrados, a través de los cuales se da la transferencia de energía. Estos nos permiten tener una descripción detallada del comportamiento del edificio y analizar las distintas características físicas de los materiales, en función de su masa (directamente relacionada con la inercia). Existen métodos computacionales de simulación, los cuales utilizan variables climáticas consideradas en base horaria. Son modelos complejos y arrojan información precisa. También permiten introducir entradas variables, como sistemas inteligentes de detección, controles de iluminación, etc., de modo que calculan con precisión cada una de sus características y permiten simular de manera realista los efectos de cada cambio individual que se decida realizar a la estructura analizada. De hecho, los softwares de simulaciones térmicas dinámicas también permiten simular en detalle los diversos sistemas de climatización activa presentes en los edificios y observar sus efectos en el consumo y en el confort interno. De esta forma, se logra no solo optimizar el suministro y el consumo de energía, sino también el comportamiento de la envolvente, como así también el de las instalaciones para poder optar entre una u otra de manera consciente. El aspecto negativo de este proceso deriva precisamente de su considerable complejidad. De hecho, este tipo de análisis requiere un conocimiento amplio de cada elemento constructivo, del tipo instalaciones del proyecto y del uso que se le dará. Además, el modelado debe ser extremadamente cuidadoso, ya que incluso un simple descuido puede llevar a resultados diferentes y poco realistas.

Hasta aquí se ha hecho una breve descripción de las metodologías de cálculo en régimen estacionario, semi estacionario y dinámico. A continuación, se muestran los resultados del análisis de la vivienda a partir de trabajar con herramientas específicas, propias de cada uno de estos modelos de balance térmico.

### **3.1. Comportamiento térmico según modelo estacionario**

Para caracterizar el comportamiento térmico de la vivienda en régimen estacionario se recurre al análisis según el paquete normativo 11.600 de IRAM y a las planillas de cálculo TRANS-Q-E (Garzón & Mendonca, 2013).

Se recurrió a la Norma 11.601 para identificar las propiedades térmicas de los materiales y determinar así, los valores de transmitancia térmica (K), de los elementos constructivos que definen la envolvente, según las características propias de los muros, del techo y de las carpinterías. Se determina la temperatura de diseño mínima de invierno (TDMN), y la temperatura de diseño máxima de verano (TDMX) con la Norma 11.603, tomando la localidad de Salta como referencia próxima a Tafi del Valle y correspondiendo a la misma zona bioambiental. Los valores máximos admisibles de transmitancia térmica en cerramientos opacos se identifican en la Norma 11.605.

Para determinar el K del muro, se consideró un coeficiente de conductividad de 0,46 W/mK (Bestraten et al., 2011); se recurrió a una fuente bibliográfica para obtener este valor de referencia, ya que en las tablas de propiedades térmicas de los materiales de construcción incorporadas en la Norma 11.601 no figura el material adobe. Se obtuvo un valor de transmitancia de 1,52 W/m<sup>2</sup>K, por lo que el muro del caso estudiado no verifica el nivel mínimo C de confort higrotérmico establecido para las viviendas sociales. Respecto al techo, se siguió el procedimiento de cálculo establecido en IRAM 11.601 para techos con cámaras de aire no homogénea, ya que se trata de un ático de espesor variable y sin ventilar. Para la condición de invierno, el techo presenta una



transmitancia de  $1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ , mientras que en verano el  $K$  es de  $1,37 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Siendo que en invierno el máximo admisible es de  $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$  para corresponderse con el Nivel C, y en verano es de  $0,76 \text{ W/m}^2\text{K}$ , el techo de la casa Cruz no verifica el nivel mínimo establecido para las viviendas sociales. En relación a las carpinterías, todas están realizadas con perfilera de chapa, tienen vidrio común de  $3 \text{ mm}$ , y carecen de protecciones solares. El coeficiente  $K$  determinado por la norma IRAM 11.601, y usando el aplicativo web *Etiquetado de Viviendas*, para este tipo de ventanas es de  $5,95 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Al mismo tiempo, se calculó la transmitancia térmica de la puerta obteniéndose un  $K$  de  $5,88 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Las carpinterías distan mucho de ser aptas para un buen comportamiento térmico energético de la vivienda.

La verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en los paños centrales de muros exteriores, pisos y techos, se realizó con la norma IRAM 11.625. Para el caso del muro de adobe (espesor  $25 \text{ cm}$ ), se verifica que no presenta condensación superficial ni intersticial. En el techo tampoco se registra algún tipo de condensación. Se aclara aquí que la solución constructiva existente contiene una barrera de vapor, materializada en la hoja de aluminio que tiene la aislación térmica en su cara superior.

La Norma IRAM 11.604 señala que “el control de los efectos del clima en los locales de una vivienda está influenciado principalmente por una adecuada selección de los materiales empleados en la construcción, por su combinación según los criterios de máxima funcionalidad y por el óptimo diseño de espacios, vanos y orientaciones” (IRAM 11.604, 2001) por lo que el cumplimiento de los valores de transmitancias térmicas máximas admisibles de la envolvente de la edificación, puede no resultar suficiente para controlar las pérdidas de calor totales del conjunto. Es por esto que la Norma establece un parámetro global que pondere todos los elementos: el coeficiente volumétrico de pérdida de calor ( $G_{\text{cal}}$ ), definido como el flujo de calor que pierde un local calefaccionado por unidad de volumen y por unidad de diferencia de temperatura, en régimen estacionario (IRAM 11.549, 2002), y que permite evaluar el ahorro de energía en calefacción de una vivienda. El mismo, tiene en cuenta las pérdidas de calor a través de los cerramientos que componen la envolvente (opacos, no opacos y en contacto con el terreno), más las pérdidas por renovación de aire de los locales de la vivienda. En función del volumen ( $\text{m}^3$ ) y los grados días de calefacción ( $^{\circ}\text{C}$ ) para el caso de estudio, se determina el  $G_{\text{adm}}$ , siendo el mismo de  $1,68 \text{ W/m}^3\text{K}$ . Las pérdidas de calor a través de la envolvente de la vivienda dan como resultado un  $G_{\text{cal}}$  de  $3,10 \text{ W/m}^3\text{K}$ , valor que no verifica la norma al incumplir con la condición de que  $G_{\text{cal}}$  sea igual o menor a  $G_{\text{adm}}$ .

La norma IRAM 11659-2, a su vez, se aplica para el control de las ganancias de calor totales del conjunto. El parámetro global aquí definido que pondera todos los elementos que intervienen en el proceso, es la carga térmica admisible en refrigeración ( $Q_{\text{r adm}}$ ), y el coeficiente volumétrico de refrigeración admisible ( $Gr_{\text{adm}}$ ). Además, esta norma pone de manifiesto que el concepto de aislamiento térmico, desde el punto de vista de condiciones de habitabilidad y consumo de energía, no solo incluye una mejor calidad de aislamiento de la envolvente, sino además una adecuada selección de la orientación y de las protecciones solares. Para la edificación en estudio, el coeficiente  $Gr_{\text{adm}}$  es de  $22,76 \text{ W/m}^3$ . La vivienda da como resultado un  $Gr$  de  $13,86 \text{ W/m}^3$ , valor que verifica la norma al cumplir con la condición de que  $Gr$  sea igual o menor a  $Gr_{\text{adm}}$ . En la tabla 2 se sintetizan todos los resultados del caso analizado.

Se observa que la mayoría de los valores de cálculo superan los valores admisibles, lo que significa que no se alcanza el estándar mínimo de calidad de construcción sugerido. En el caso de las transmitancias térmicas, los valores de cálculo de todos los elementos de la envolvente, superan los admisibles dispuestos en la norma IRAM 11.605, siendo negativas las diferencias porcentuales y donde las carpinterías presentan los valores más desfavorables, en un orden del  $370 \%$  y  $760 \%$ . Con respecto a las cargas térmicas de refrigeración, resultó una diferencia entre  $QR$  de cálculo y el admisible, verificando para el caso, con un margen positivo del  $49,8\%$ . Así mismo, los coeficientes volumétricos "G" de refrigeración y calefacción, al ser contrastados con los valores de

referencia según normas, resultaron de 39% verificando en el caso de refrigeración y sin hacerlo en calefacción, con una diferencia negativa del 84%.

COMPONENTE Y MATERIAL	VERANO				INVIERNO			
	K	K <sub>adm</sub>	K <sub>dir</sub>		K	K <sub>adm</sub>	K <sub>dir</sub>	
	(W/m <sup>2</sup> K)	(W/m <sup>2</sup> K)	(W/m <sup>2</sup> K)	(%)	(W/m <sup>2</sup> K)	(W/m <sup>2</sup> K)	(W/m <sup>2</sup> K)	(%)
Muro de adobe	1,52	1,25	-0,27	-22	1,52	0,69	-0,83	-120
Techo liviano	1,37	0,48	-0,89	-185	1,85	0,60	-1,25	-208
Puerta metálica	5,88	1,25	-4,63	-370	5,88	0,69	-5,19	-752
Ventanas existentes	5,95	1,25	-4,70	-376	5,95	0,69	-5,26	-762
CARGAS TÉRMICAS	de Refrigeración (QR)				de Calefacción (Q <sub>cal</sub> )			
	QR	QR <sub>adm</sub>	Diferencia QR		Q <sub>cal</sub>			
	(W)	(W)	(W)	(%)	kWh			
	1436,74	2862	1425,26	49,8	19752,63			
COEFICIENTES VOLUMÉTRICOS	de Refrigeración (GR)				de Calefacción (G <sub>cal</sub> )			
	GR	GR <sub>adm</sub>	Diferencia GR		G <sub>cal</sub>	G <sub>caladm</sub>	Diferencia G <sub>cal</sub>	
	(W/m <sup>3</sup> )	(W/m <sup>3</sup> )	(W/m <sup>3</sup> )	(%)	(W/m <sup>3</sup> K)	(W/m <sup>3</sup> K)	(W/m <sup>3</sup> K)	(%)
	13,86	22,76	8,9	39	3,10	1,68	-1,418	-84
CONDENSACIÓN					SUPERFICIAL		INTERSTICIAL	
Muro de adobe					verifica		verifica	
Techo liviano					verifica		verifica	

Tabla 2: Síntesis del comportamiento térmico en régimen estacionario. Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Comportamiento térmico según modelo semi estacionario

Para generar la etiqueta de eficiencia energética de la vivienda, se calcula el Índice de Prestaciones Energéticas (IPE), a través del programa de *Etiquetado de Viviendas*, cuyo modelo térmico es semi estacionario de base mensual; así, cada mes se considera con todos sus días iguales, con una temperatura constante asumida como la media del mes, y lo mismo se hace para la radiación solar. El IPE constituye un valor característico del inmueble, expresado en kWh/m<sup>2</sup>año, y representa el requerimiento teórico de energía primaria para satisfacer las necesidades de calefacción en invierno, refrigeración en verano, calentamiento de agua sanitaria e iluminación, durante un año y por metro cuadrado de superficie, bajo condiciones normalizadas de uso. Dado que, en el aplicativo web desarrollado por la Secretaría de Energía de la Nación, no existe la tecnología del *adobe* para la conformación de los muros, se recurre al bloque de suelo cemento macizo, que tiene una conductividad de 0,62 W/mK (IRAM 11.601). Es por esto que en el aplicativo se utilizaron muros de 0,27 m para que el coeficiente K

de transmitancia térmica se asemeje al  $1,52 \text{ W/m}^2\text{K}$  determinado en el modelo estacionario. El resultado es de  $453 \text{ kWh/m}^2\text{año}$  para esta vivienda, correspondiente a la escala “G” en la etiqueta de Eficiencia Energética. La Figura 4, ilustra el resultado obtenido según la escala de valores.



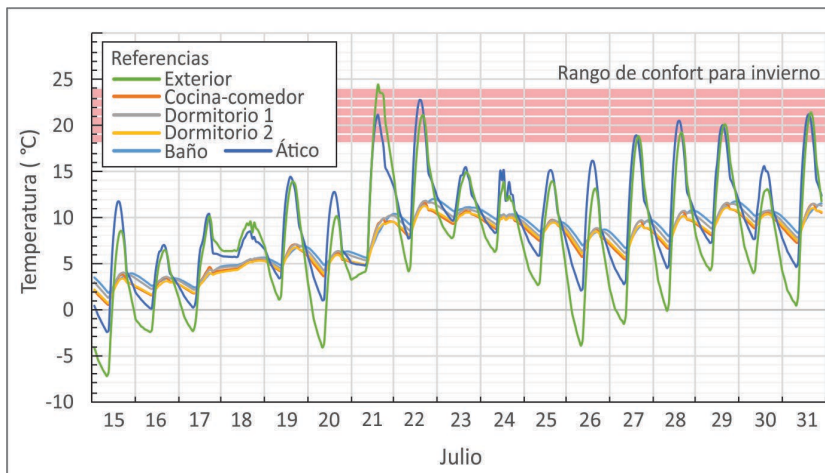
**Figura 4:** Etiqueta de Eficiencia Energética en función del IPE. **Fuente:** Aplicativo web.

### 3.3. Comportamiento térmico según modelo dinámico

Finalmente, se genera el modelo geométrico del caso en SIMEDIF 2.0 (Flores Larsen, 2019), para su simulación en régimen transitorio. Esta es una herramienta de diseño para calcular la temperatura horaria del aire dentro de los espacios de un edificio, la temperatura superficial horaria de las paredes y la energía auxiliar de calentamiento/enfriamiento que se necesita para mantener los espacios a una temperatura determinada por un termostato que puede definirse hora por hora para el año completo. También cuenta con un módulo para calcular condiciones de confort dentro de los espacios (método del Voto Medio Predicho y Porcentaje de Personas en Disconfort, PMV y PPD respectivamente, ASHRAE55). El programa permite analizar el comportamiento del edificio en diferentes condiciones climáticas, detectar problemas de confort térmico, evaluar posibles alternativas en el diseño de un edificio, tales como variaciones en su geometría, orientación, ubicación y tamaño del edificio, la estructura y los materiales de la envolvente, la adición de sistemas pasivos, etc. En los edificios existentes, el software puede utilizarse para validar el modelo de construcción a través de datos medidos o para cuantificar la eficacia de las posibles alternativas de rediseño en el caso de trabajar en rehabilitación energética.

Se identifica a cada uno de los locales habitables y al ático como zonas térmicas. Todos estos locales tienen una renovación de aire por hora para el período de invierno, mientras que se consideran tres renovaciones de aire por hora en verano, salvo el ático que se consideró sin renovaciones de aire. Respecto a las ganancias internas, considerando que en este trabajo se evalúa solo el comportamiento de la envolvente, se decidió no cargar aquí ningún dato para que el factor de uso no intervenga en los resultados. Los coeficientes convectivos de techo y de muro para los períodos de invierno y verano se estiman según la Ley de Hellmann y las velocidades de viento medias para cada período. Para el caso de invierno, se considera el período comprendido entre el 15 y el 31 de Julio.

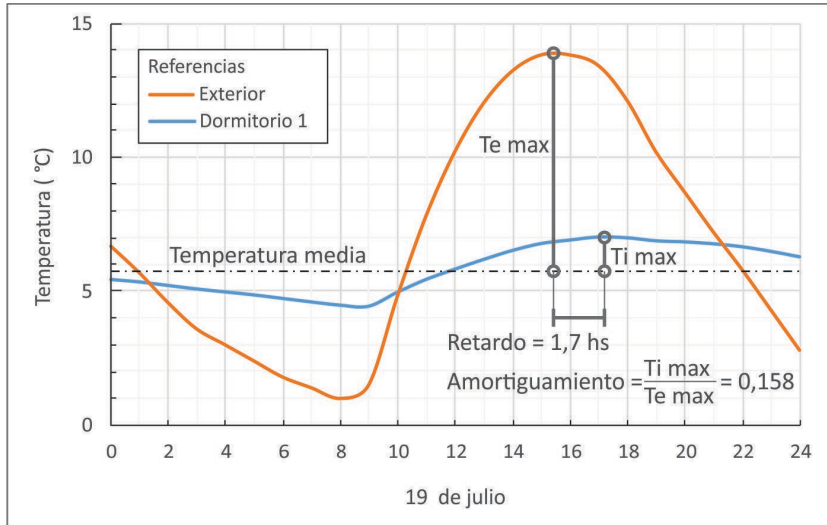
La figura 5 muestra los resultados de la simulación térmica de los cinco locales analizados, presentados junto a las temperaturas exteriores. Se observa que los primeros seis días fueron los más fríos de la serie, con una media exterior de  $4,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , luego siguieron dos días menos rigurosos, donde la temperatura llegó a los  $24,4 \text{ }^\circ\text{C}$  de máxima; siguió luego un período de cuatro días más fríos, para estabilizarse un poco los últimos días.



**Figura 5:** Comportamiento térmico de vivienda para el caso de invierno. **Fuente:** elaboración propia.

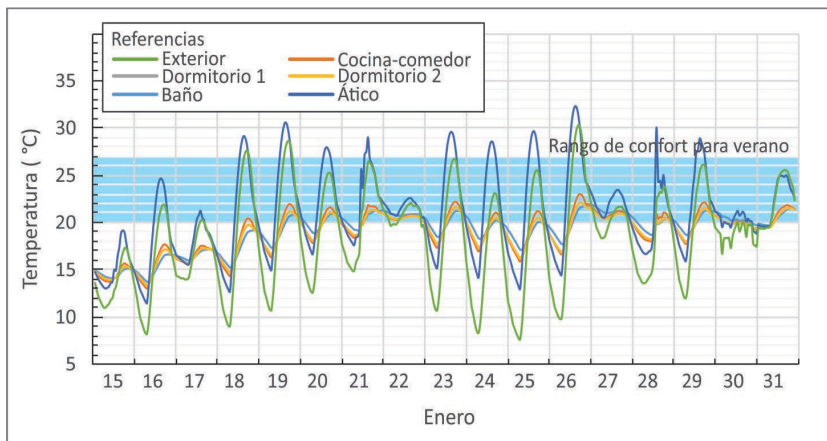
Se observa un buen desempeño de la envolvente para amortiguar la onda térmica exterior; aunque resulta insuficiente para alcanzar temperaturas dentro del rango de confort para invierno, considerada entre 18 a 24 °C (Givoni, 1969), la temperatura media interior se corresponde con la media exterior, siendo esta una respuesta esperada. Los ascensos y descensos de las temperaturas interiores simuladas en todos los locales son menores, teniendo una amplitud media de 2,42 °C cuando en el exterior es de 13,8 °C. Esto se explica por la buena inercia térmica de la envolvente de adobe. A su vez, el diseño de la vivienda y la disposición de las carpinterías no permite el ingreso de radiación solar que pueda calefaccionar la de manera pasiva, como establecen las pautas de diseño bioclimático para esta zona, lo que explica las bajas temperaturas de los ambientes interiores a lo largo de todo el período. Las ventanas, al ser de vidrio común y al no tener celosías, constituyen un factor de pérdidas térmicas permanentes. En el caso del ático, todos los días hubo una amplitud térmica muy similar a la del exterior, y las curvas de temperaturas también son muy semejantes: la mayor diferencia entre ellas se observa el día 26 de julio, donde la temperatura mínima del ático es de 6,09 °C superior a la temperatura exterior, lo que demuestra un mal desempeño de este local por una deficiente aislación térmica.

Se considera el 19 de julio como día representativo de la serie. En el mismo hubo una amplitud térmica exterior de 12,8 °C, con una temperatura mínima de 1 °C a las 8.00 h y una máxima de 13,8 °C a las 16.00 h. La figura 6 ilustra el comportamiento del Dormitorio 1, cuya temperatura máxima tiene un retardo de una 1 hora y 42 minutos respecto a la máxima exterior, aunque la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima en ese local es de sólo 6,79 °C. Se observa entonces que el amortiguamiento, cociente entre la temperatura interior máxima y la temperatura exterior máxima respecto a la media, es de solo 0,158.



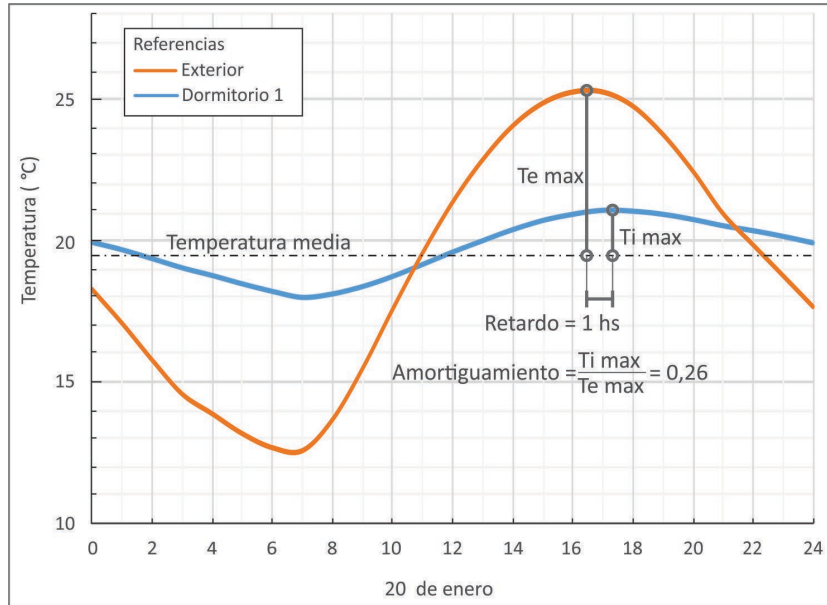
**Figura 6:** Comportamiento térmico del dormitorio 1, el día 19 de julio (invierno). **Fuente:** elaboración propia.

La figura 7 muestra los resultados de la simulación térmica de los cinco locales durante el período estival, comprendido entre el 15 y el 31 de enero. Se observan temperaturas máximas exteriores que superan los 30 °C y mínimas por debajo de los 10 °C, lo que demuestra nuevamente la gran amplitud térmica del valle, teniendo aquí una media de 11,56 °C. En los locales interiores, las amplitudes térmicas diarias llegan a superar los 5 °C debido a que se ingresaron mayores renovaciones de aire por hora, pero la media interior es de solo 2,84 °C. En el caso del ático, las curvas demuestran en cambio una amplitud media de 10,3 °C. En todo el periodo, la vivienda demuestra nuevamente un comportamiento térmico donde predominan las bajas temperaturas, considerando el rango de confort establecido para verano entre 20 a 27 °C (Givoni, 1969), aunque aceptable considerando que la temperatura exterior media durante este período fue de 18,52 °C; para el caso del dormitorio 1 (ambiente seleccionado nuevamente como representativo de los locales habitables), la temperatura media fue de 18,75 °C.



**Figura 7:** Comportamiento térmico de la vivienda para el caso de verano. **Fuente:** elaboración propia.

Para el caso de verano, se consideró el día 20 de enero como el representativo de la serie. Este día hubo una amplitud térmica exterior de 12,7 °C, con una temperatura mínima de 12,6 °C a las 7.00 h y una máxima de 25,3 °C a las 17.00 h. La figura 8 ilustra el comportamiento del Dormitorio 1, cuya temperatura máxima tiene un retardo de 1 hora respecto a la máxima exterior, aunque la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima en ese local es de sólo 4,23 °C. Se observa entonces que el amortiguamiento, cociente entre la temperatura interior máxima y la temperatura exterior máxima respecto a la media, es de solo 0,26.



**Figura 8:** Comportamiento térmico del dormitorio 1 el día 20 de enero (verano). **Fuente:** elaboración propia.

## Discusiones

Se ha visto hasta aquí el comportamiento de la vivienda social según tres modelos de balance térmico e interesa contrastar los resultados entre estos para una mejor valoración. Con respecto al régimen estacionario se observa que la casa Cruz solo verifica condensación superficial e intersticial y el coeficiente volumétrico de refrigeración. Por el contrario, las transmitancias térmicas analizadas para los períodos de invierno y verano, junto al coeficiente volumétrico de calefacción, distan mucho de ser satisfactorios. Todo el paquete normativo 11.600 de IRAM se utilizó para la evaluación según este modelo; sin embargo, la falta de datos respecto a las propiedades térmicas del adobe en la Norma 11.601, llevó a consultar otras fuentes bibliográficas.

Siguiendo a Cuitiño et al. (2020) las conductividades térmicas del adobe, pueden ser muy variables según la fuente a la que uno se refiera, dentro de parámetros que van desde 0,46 W/mK (Bestraten et al., 2011; Moevus et al., 2012), hasta 0,95 W/mK (Arancibia, 2013). Por ello, sería conveniente que la Norma mencionada, en su Anexo A, Tabla A.1 de valores de conductividad térmica de los materiales de construcción, defina el valor de conductividad térmica del mampuesto de adobe, asumiéndolo como material tradicional. Para los *Estándares Mínimos de Calidad para la Vivienda Social*, se consideran materiales tradicionales a “aquellos sistemas portantes y elementos cuyas características principales son las de ser abiertos, con normas y reglamentos específicos para su fabricación, cálculo y ejecución, con antecedentes y tiempos de aplicación comprobada y sin ser exclusivos” (Secretaría de Vivienda de la Nación, 2019), contemplando en esta categoría a los sistemas de mampostería de ladrillo de cerámica, a los sistemas de entramado de madera, y a los sistemas de construcción con estructura de perfiles conformados en frío de chapa cincada. Es así que se deja de lado, entonces, un material que verdaderamente se vincula con la tradición constructiva, no solo en el Valle de Tafí, sino también en muchas zonas de Argentina. La normalización de la ejecución de los adobes, así como de sus propiedades térmicas y mecánicas, es un imperativo social para reconocer un material ampliamente difundido en nuestra cultura material y constructiva, y que se constituye en parte de nuestro patrimonio tangible.

En el modelo semi estacionario se visualiza un mal comportamiento energético, excediendo incluso el menor nivel de calificación de la etiqueta según el valor del IPE. Esto se debe a la gran ponderación que el aplicativo *Etiquetado de Viviendas* hace de los sistemas activos incorporados. En esta dirección, se coincide con

(Fernández et al., 2020), cuando señalan respecto a "la baja incidencia de las estrategias pasivas en la etiqueta de EE edilicia", por lo que se presume aquí que el resultado en la etiqueta del presente caso de estudio es principalmente por no haber incorporado sistemas de calentamiento de agua, calefacción y refrigeración, como así tampoco de energías renovables, haciendo que las características de la envolvente no sean lo suficientemente valoradas. Cabe aclarar que la familia beneficiada con la construcción de esta vivienda, no tiene posibilidad de acceso económico para adquirir dichos sistemas tecnológicos; es fundamental que en las clases populares una buena resolución de las envolventes que materializan sus casas sean eficientes energéticamente y las que garanticen adecuadas condiciones de confort higrotérmico, para que no padezcan de la llamada "pobreza energética", concepto que refiere a la imposibilidad económica que supone para una familia el tener que hacer frente a los requerimientos energéticos básicos. Por esta razón, se considera que el *Etiquetado de Viviendas* podría valorar mejor a las envolventes de bajo coste ambiental, como serían los paramentos de adobe.

En este sentido, tanto el aplicativo como las tablas de propiedades térmicas de los materiales incorporadas en la Norma 11.601 resultaron una limitación: niveles adecuados de confort deben asegurarse a través de una buena resolución de la envolvente, especialmente en las viviendas de interés social destinadas a sectores de la población que no pueden costear el acondicionamiento térmico por medios mecánicos, razón por la cual dicha resolución tiene que ser apropiadamente considerada en ambas herramientas. En las viviendas sociales ubicadas en climas como el analizado, con importantes amplitudes térmicas diarias, una envolvente materializada en adobe tiene un buen comportamiento dada la aislación capacitiva que lo caracteriza; según Yáñez Parareda (2008), "el aislamiento capacitivo tiene una respuesta diferida en el tiempo" y se utiliza en climas con gran amplitud térmica a lo largo del día.

Por su parte, el modelo dinámico de balance térmico muestra resultados satisfactorios, debido a que las temperaturas medias diarias interiores se corresponden con la media exterior del período de estudio, a la vez que las amplitudes térmicas observadas en los locales habitables son significativamente menores a las del exterior.

Se entiende que el análisis a partir de estos tres modelos permite diferentes aproximaciones al comportamiento térmico-energético de la vivienda, pero resulta difícil comparar sus resultados: en el modelo estacionario, los elementos de la envolvente superan los máximos admisibles de K para ambos períodos y de G de calefacción, es decir, no cumplen con los valores que recomiendan las normas y los estándares mínimos de calidad constructiva; por el contrario, en el modelo dinámico se observa un comportamiento razonable de la envolvente. A su vez, en el modelo semi estacionario, además de proporcionar una etiqueta, aporta varios otros gráficos que permiten una mayor comprensión del caso, y que pueden ser análogos a las curvas expresadas a partir de la simulación dinámica; por ejemplo, los valores de pérdidas térmicas por elemento que el aplicativo arroja en W, pueden ser observados también en la energía en tránsito por local que expresan dichas curvas, como se observa en el techo y el ático, respectivamente.

Respecto a los datos climáticos, existen también diferencias: en el modelo estacionario se utilizaron los valores tabulados en las Normas correspondientes a datos medios anuales históricos; en el semi estacionario, se conoce que el aplicativo de etiquetado trabaja con datos aportados por el Servicio Meteorológico Nacional para la localidad Tañi del Valle, pero esto no se puede constatar, ya que no permite acceso a los archivos de clima incorporados; y en el modelo dinámico, en cambio, con el programa SIMEDIF 2.0 se trabaja con un archivo de clima .met en formato .csv, incorporado a este y correspondiente al año 2015.

## Conclusiones

En conclusión, para este trabajo resultó una limitación no disponer de datos tabulados tanto en IRAM 11.601 como en el aplicativo *Etiquetado de Viviendas*, ya que adolecen de información respecto al material adobe para poder evaluar el comportamiento térmico del caso en estudio; pese a que se disponen de referencias

bibliográficas, se considera necesario normalizar sus características para que se incluya al adobe en los programas de vivienda social en mayor escala, estimulando así la producción de un hábitat más sustentable y la revalorización de un material de uso milenario que aún persiste.

Así como en los *Estándares mínimos de calidad para la vivienda social* (2019), del Plan Nacional de Vivienda, que marca la metodología de diseño y análisis de los proyectos de todos los Institutos Provinciales de Vivienda y Desarrollo Urbanos (IPVyDU), se consideran los modelos estacionarios (a partir de la normativa IRAM 11.600) y semi estacionarios (a partir de IRAM 11.900 y del aplicativo web), se observa aquí la necesidad de que se incorporen también los modelos dinámicos para un balance energético más ajustado; el K de norma no es suficiente para esto, y el aplicativo para el etiquetado pondera en gran medida los sistemas activos incorporados, valorando menos las estrategias pasivas del diseño arquitectónico, como lo es la resolución tecnológica-constructiva de la envolvente aquí presentada. Para este caso, donde los muros de adobe tienen valores altos de capacidad térmica, y en un clima con grandes amplitudes diarias, la simulación dinámica permite observar que la envolvente tiene una buena respuesta ante las particularidades del entorno, razón por la cual se recomienda el modelo dinámico para un estudio más aproximado del comportamiento térmico-energético de la vivienda social.

La producción de los materiales de construcción impacta sobre el ambiente, genera contaminación y reduce los recursos naturales disponibles. Conforme al *Manual de Vivienda Sustentable*, la consideración de los materiales que se incorporen a la obra, debe tener en cuenta estrategias de diseño que permitan reutilizar materiales, optimizar su rendimiento e integrar aquellos materiales locales, extraídos y procesados en la región en la que se utilizan, para fomentar la economía regional y disminuir el costo de transporte, reduciendo así los impactos ambientales. Otra de las puntualizaciones que establece, es que se utilicen materiales que incorporen la Declaración Ambiental de Producto (del inglés, Environmental Product Declaration, EPD), documento que informa sobre el desempeño ambiental de un producto o material; se entiende aquí que el adobe es de los mampuestos que menos GEIs emiten a la atmósfera (Bestraten et al., 2011), y esto, sumado a sus propiedades térmicas, lo hacen un material de construcción amigable con el ambiente.

El aporte del presente trabajo permite visibilizar debilidades y fortalezas de cada una de las metodologías de balance térmico presentadas, en los regímenes estacionario, semi estacionario y dinámico, y de las herramientas más extendidas que trabajan con estas, para la evaluación de una vivienda ejecutada con una tecnología de construcción verdaderamente tradicional, como lo es el adobe. Su inclusión formal en la serie 11.600 de IRAM, permitirá normalizar sus características y la revalorización del material, lo que redundará en su mayor incorporación en el mercado de materiales de la industria de la construcción. Se considera de suma necesidad e importancia la incorporación de herramientas de simulación dinámica por parte de los organismos que diseñan e implementan las políticas públicas para la vivienda social, por entender que los modelos térmicos con los que trabajan aportan mayor información sobre los edificios implantados en los territorios. Por lo demás, soluciones tecnológicas como las etiquetas de EE para las viviendas son de enorme valor, implicando un verdadero avance en lograr objetos habitacionales más eficientes; su generalización, así como la de aquellas experiencias de construcción de vivienda social que incorporaron formalmente adobes en sus paramentos, colaboran en la solución al problema de la vivienda, y en la configuración de un hábitat sustentable.

## Bibliografía

Banco Interamericano de Desarrollo. (2021). *BID apoya incorporación de eficiencia energética y energía renovable en la vivienda social de Argentina*. <https://www.iadb.org/es/noticias/bid-apoya-incorporacion-de-eficiencia-energetica-y-energia-renovable-en-la-vivienda-social>

Bestraten, S., Hormías, E. y Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de La Construcción*, 63(523), 5–20. <https://doi.org/10.3989/ic.10.046>



Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico*.

Cuitiño, Rotondaro y Esteves. (2020). Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra TT - Comparative analysis of thermal aspects and mechanical resistance of building materials and elements with earth. *Revista de Arquitectura*, 22(1), 138–151. <https://bbibliograficas.ucc.edu.co/scholarly-journals/análisis-comparativo-de-aspectos-térmicos-y/docview/2476869316/se-2?accountid=44394>

EEAOC. (2021). *Datos meteorológicos históricos de la estación Las Nubes, provincia de Tucumán, Argentina*. <https://agromet.eeaoc.gob.ar/graficos.php?estacn=10&desde=01%2F01%2F2018&hasta=31%2F12%2F2018&opcion=1>

Fernández, A., Garzón, B. y Elsinger, D. (2020). Incidencias de las estrategias pasivas de diseño arquitectónico en la etiqueta de eficiencia energética en Argentina. *Habitat Sustentable*, 10(1), 56–67. <https://doi.org/https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.05>

Flores Larsen, S. (2019). *SIMEDIF: Manual de usuario*. INENCO - UNSa.

Flores Larsen, S. y Lesino, G. (2001). Modelo térmico del programa simedif de simulación de edificios. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, (9), 15-24. [https://www.researchgate.net/profile/Silvana-Flores-Larsen/publication/265997504\\_MODELO\\_TERMICO\\_DEL\\_PROGRAMA\\_SIMEDIF\\_DE\\_SIMULACION\\_DE\\_EDIFICIOS/links/555286f608ae6943a86d74a4/MODELO-TERMICO-DEL-PROGRAMA-SIMEDIF-DE-SIMULACION-DE-EDIFICIOS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Silvana-Flores-Larsen/publication/265997504_MODELO_TERMICO_DEL_PROGRAMA_SIMEDIF_DE_SIMULACION_DE_EDIFICIOS/links/555286f608ae6943a86d74a4/MODELO-TERMICO-DEL-PROGRAMA-SIMEDIF-DE-SIMULACION-DE-EDIFICIOS.pdf)

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)*.

Givoni, B. A. (1969). *Man, Climate and Architecture*. Elsevier Architectural Science Series.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. (2010). *Carpintería de obra y fachadas integrales livianas. Ventanas exteriores. Parte 4: Requisitos complementarios. Aislación térmica* (IRAM 11507-4).

Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. (2018). *Carpintería de obra. Ventanas exteriores. Parte 6: Etiquetado de eficiencia energética* (IRAM 11507-6).

Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. (2002). *Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario*. (IRAM 11549).

Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. (2002). *Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario* (IRAM 11601).

Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires (2011). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina* (IRAM 11603). I.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. (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* (IRAM 11604).

- I Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos* (IRAM 11605).
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. (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* (IRAM 11625).
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. (2007). *Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 2: Edificios para viviendas* (IRAM 11659).
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. (2019). *Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo* (IRAM 11900: 2017-12).
- Pastor, G. C. (2000). Vivienda vernácula del noroeste argentino. El caso de la vivienda rural de Tucumán. Siete aspectos para una definición de la vivienda rural del Valle de Tafi. *Gazeta de Antropología*, (16), 1–13. <https://doi.org/10.30827/digibug.7520>
- Decreto 140/2007 de 2007 - Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía*. [Presidencia de la Nación]. 21 de diciembre de 2007 <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/135000-139999/136078/norma.htm>
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable y Secretaría de Vivienda de la Nación. (2021). *Se presentó en Mendoza la Estrategia Nacional de Vivienda Sustentable*. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/se-presento-en-mendoza-la-estrategia-nacional-de-vivienda-sustentable>
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Secretaría de Vivienda y Secretaría de Energía. (2019). *Manual de vivienda sustentable*. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/desarrollo-sostenible/vivienda/manual>
- Secretaría de Energía de la Nación. (2019). *Etiquetado de Viviendas*. <https://etiquetadoviviendas.energia.gob.ar/>
- Secretaría de Energía de la Nación. (2021). *Calificación y etiquetado de carpintería de obra*. <https://etiquetadoventanas.energia.gob.ar/>
- Secretaría de Vivienda de la Nación. (2019). *Estándares mínimos de calidad para viviendas de interés social* (pp. 1–154). if-2019-72275570-apn-dnasyfmi
- Universidad de Oregon. (2019). *Programa Solardata*. <http://solardat.uoregon.edu/PolarSunChartProgram.html%0A>
- Yáñez Parareda, G. (2008). *Arquitectura solar e iluminación natural: conceptos, métodos y ejemplos*. Munilla-Lería.