

## MONITOREO Y SIMULACIÓN TÉRMICA DE UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN FORMOSA, ARGENTINA

Garzón, Beatriz<sup>(1)</sup>; Mendonça, Carlos<sup>(2)</sup>

- (1). Investigadora del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET); Directora Proyecto Facultad de Arquitectura y Urbanismo y Secretaria de Ciencia y Técnica, Universidad Nacional de Tucumán (FAU-SeCyT, UNT); Docente Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán. [bgarzon@gmail.com](mailto:bgarzon@gmail.com)
- (2). Becario CONICET; Integrante Proyecto FAU-SeCyT, UNT. [calb.mendonca@gmail.com](mailto:calb.mendonca@gmail.com).  
Av. Roca 1900, Tucumán, Argentina. 54-381-4364093.

### Resumo

*O trabalho tem como objetivos avaliar o comportamento térmico-energético dos fechamentos que conformam uma habitação de interesse social construída na cidade de Formosa, Argentina e realizar a comparação dos resultados obtidos com os requerimentos que estabelecem as normas em tal país. A recopilación da informação de campo é realizada com a adoção de um critério metodológico participativo, o que incentiva os atores abrangidos a interagir na investigação com a equipe de trabalho. É apresentada a descrição das disposições arquitetônicas e tecnológicas utilizadas na produção da habitação e são efetuadas correlação de dados, permitindo um estudo comparativo de situações. Ademais é realizada a medição da temperatura interior da habitação com instrumentos adequados e é executado um modelo para simular o comportamento térmico da habitação com o programa SIMEDIF, com a finalidade de contrastar os dados obtidos para ajustar o modelo e aproximá-lo ao comportamento térmico da habitação em condições reais de uso para qualquer época do ano. A partir da análise dos resultados se obtém a resposta térmico-energética da habitação para as condições de inverno e verão, derivado da localização da mesma, em condições reais de uso e se relacionam com os requerimentos normativos.*

**Palavras chave:** Monitoramento, Simulação, Envelope, Comportamento térmico-energético.

### Abstract

*The study has the aims to evaluate the thermal-energetic behavior of the enclosures that make up a social housing built in the city of Formosa, Argentina and accomplish the comparison of the results obtained with the requirements that set out the rules in that country. The field data collection is done by adopting a participatory methodological approach, encouraging stakeholders to interact with the research team. The description of the architectural and technological measures used in the production of housing and are carried out instances of data correlation, allowing a comparison of situations. Besides we perform a measurement of the temperature inside the house with proper equipment and made a model to simulate the thermal behavior of the housing with the program SIMEDIF, in order to contrast the data to fit the model and bring it closer to the thermal behavior of housing in real conditions of usage for any time of the year. From the analysis of the obtained results achieved to determine the thermal-energetic response of the house for winter and summer conditions, derivate from the site, under practical conditions of using and also the relationship to regulatory requirements.*

**Keywords:** Monitoring, Simulation, Envelope, Thermal-energy adequateness.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la Argentina, la producción anual de viviendas financiadas con el Fondo Nacional de la Vivienda representan el 42 % (cuarenta y dos por ciento) de crecimiento de los hogares, de acuerdo con las proyecciones elaboradas por el INDEC (CNV, 1999). En su mayoría, las viviendas producidas en las últimas décadas, privadas y estatales, han presentado deficiencias, sobre todo en relación con cuestiones de habitabilidad (control climático, superficies, etc.), de producción, funcionamiento y mantenimiento (materiales, consumo energético, etc.). (GARZON, 2007); sin embargo, desde 2003 se ha iniciado y continuado un dinámico proceso de abordaje para revertirlo. La demanda de energía eléctrica para uso residencial para el año 2010, representó entre el 34,5% y el 46,3% de la demanda requerida por todos los usuarios (FUNDELEC, 2012), significando 1/3 del consumo de energía eléctrica del país por sectores. Al analizar los periodos en que se registran los mayores consumos globales se hallan comprendidos entre los meses de diciembre a marzo y de junio a agosto; es decir, el consumo de electricidad, en hogares en la Argentina, se ve incrementado con los mayores o menores registros de temperatura (FUNDELEC, 2012).

## 2. OBJETO ARQUITECTÓNICO

El edificio se localiza en la ciudad de Formosa, Argentina (Lat. -26.2; Long. 58.2; 60 msnm), en la zona bioambiental Ib (IRAM 11603), con clima subtropical húmedo (KOPPEN), caracterizada por veranos calurosos y húmedos e inviernos leves (temperatura media superior a 26,3°C). Se emplaza en el extremo NE de la ciudad, en una zona residencial de baja densidad, con una inclinación de su cuadrícula de 17° con respecto al N.

Figura 1 – Loc. Formosa

Figura 2 – Loc. del barrio en la ciudad

Figura 3 – Trama del sector



El programa corresponde al de una vivienda unifamiliar conformada por estar-comedor-cocina de 18.10 m<sup>2</sup>, paso de 2.16 m<sup>2</sup>, dos dormitorios de 9.93m<sup>2</sup> cada uno, baño de 3.25m<sup>2</sup>, lavadero de 0.90 m<sup>2</sup> y hall de acceso de 5.89 m<sup>2</sup> con superficie cubierta total de 64.67 m<sup>2</sup> y con altura de piso a cielorraso igual a 2.60 m. Se desarrolla en torno a un paso central desde el cual se accede a la totalidad de los locales. Su eje longitudinal se orienta de NO-SE exponiendo las fachadas de mayores superficies al NO y al SO. Las viviendas forman grupos que permite compartir los muros perimetrales NE-SE. El local estar-comedor-cocina cuenta con proyección de cubierta de 0.60 m sobre la fachada NE y, de 0.90 m para la SO. Los muros perimetrales exteriores son de ladrillo cerámico macizo (e= 0.26 m) con revoque completo en ambas caras (e= 0.02 m) y, asentado sobre mortero aéreo reforzado; los muros interiores divisorios presentan la misma característica que los exteriores (e= 0.15 m). Cuenta con puertas de madera de cedro y algarrobo tipo tablero, opaca y semi-vidriada, ventanas con celosía del mismo material y vidrio simple. La cubierta es de chapa galvanizada ondulada N° 24 (e= 0.5 mm) sobre correas metálicas y cielorraso independiente de madera de pino. El piso se conforma por contrapiso de hormigón pobre, (e= 0.10 m), carpeta de cemento (e= 0.02 m)

y piso cerámico esmaltado ( $e = 0.005$  m). Su estructura está conformada por viga de encadenado inferior y pilotines, columnas y viga de encadenado superior, de hormigón armado. Posee agua corriente y energía eléctrica, no así de gas natural.

Figura 4 – Planta de la vivienda

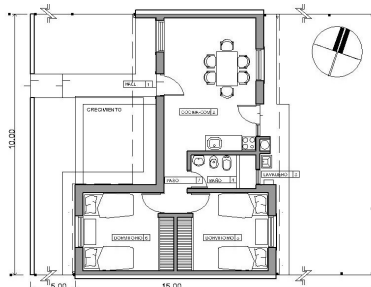


Figura 5 – Detalle constructivo

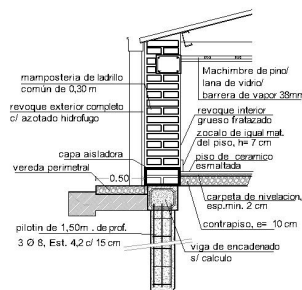


Figura 6 – Vista de la vivienda



### 3. ANALISIS TÉRMICO DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Se realiza el cálculo de la transmitancia térmica de los cerramientos verticales y superior, debido a que esta característica termo-física influye en forma directamente proporcional en la ganancia o pérdida de calor a través de la envolvente arquitectónica, luego se contrasta con los requerimientos normativos máximos admisibles (IRAM 11605), vigentes para la Argentina. Se establecen tres niveles de confort: A es el nivel recomendado, el B el intermedio y el C el mínimo admisible. La verificación se realiza para las condiciones de invierno y de verano.

#### 3.1. Condición de Invierno

Los valores de conductividad térmica de cada uno de los elementos que componen el muro son: ladrillo cerámico macizo  $\lambda = 0.81$  [W/m.K]; revoque completo exterior  $\lambda = 1.16$  [W/m.K]; revoque completo interior  $\lambda = 0.93$  [W/m.K]; con resistencia térmica superficial  $R_{si} = 0.13$  [m<sup>2</sup>.K/W] y  $R_{se} = 0.04$  [m<sup>2</sup>.K/W]; ventana con vidrio común y celosía de madera  $K = 2.79$  [W/m<sup>2</sup>.K]; puerta opaca de madera dura  $K = 3.06$  [W/m<sup>2</sup>.K]; puerta medio vidriada (IRAM 11601). Se procede al cálculo de la siguiente manera:

$$R_{MURO} = R_{si} + \sum (e_i/\lambda_i) + R_{se} \rightarrow R_M = 0.53 \text{ [m}^2\text{.K/W]} \text{ [Eq 01]}. K_{MURO} = 1/R_T \rightarrow K_M = 1.85 \text{ [W/m}^2\text{.K]} \text{ [Eq 02]}$$

$$K_{MPMURO} = (\sum (K_i \cdot S_i)) / (\sum S_i) \rightarrow K_{MPMURO} = 2.07 \text{ [W/m}^2\text{.K]} \dots \dots \dots \text{ [Eq 03]}$$

La transmitancia térmica del muro  $K_{MURO} = 1.85$  es igual a  $K_{MAX ADM MURO} = 1.85$  (IRAM 11605) cumpliendo con la condición C. Se calcula la transmitancia térmica media ponderada del componente constructivo arrojando como resultado condición  $K_{MPMURO} = 2.07$ , siguiendo los procedimientos de cálculos de la norma IRAM 11900 se determina el valor de la variación media ponderada de la temperatura entre la superficie interior de la envolvente y la temperatura de diseño  $t_m = 3.39$  °C ubicándose en la clase de eficiencia energética G (3.5 °C  $t_m \leq 4$  °C). Dentro de la escala de valoraciones, la etiqueta A representa el nivel de eficiencia óptimo del edificio y la H representa la menos eficiente ( $t_m = 4$  °C).

En relación a la transmitancia térmica de la cubierta (con ático y espesor variable): La existencia del ático se debe a su delimitación debido a la cubierta y el cielorraso suspendido. La cubierta al poseer un ángulo  $\alpha = 15^\circ$  determina su espesor variable. El tímpano que conforma el ático, es de ladrillo cerámico macizo, -con ausencia de revoque interior- y, con  $R_{MURO} = 0.51$  [m<sup>2</sup>.K/W]. Para el cálculo de esta resistencia térmica, se debe determinar el grado de ventilación de la cámara de aire, el cual es función de la relación  $S/A_f$ , donde S (cm<sup>2</sup>)

es la sección total de los orificios de ventilación y  $A_f$  ( $m^2$ ) es el área del componente en contacto con el espacio interior. El ático cuenta con cuatro rejillas de ventilación con  $S = 360 \text{ cm}^2$  y  $A_f = 41.21 \text{ m}^2$ . La relación da como resultado 8.74, característica que según la norma para áticos (IRAM 11601) corresponde a “medianamente ventilado” (rango entre  $3 \leq S/A_f \leq 30$ ). A continuación se procede al cálculo de la resistencia total del techo:

$$R_{\text{FORJADO}} = R_{si} + \sum (e_i/\lambda_i) + R_{se} \rightarrow R_{\text{FORJADO}} = 1.746 [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}] \dots\dots\dots [\text{Eq 04}].$$

Se considera  $R_{si} = R_{se}$ . El aire del interior del edificio tiene el mismo comportamiento que el aire interior del ático (IRAM 11601) ajustándose a una dirección del flujo de calor ascendente -Resistencias superficiales-  $e_i/\lambda_i$  pertenece al cielorraso de madera y a la aislación térmica.

$$R_{\text{CUBIERTA}} = R_{si} + \sum (e_i/\lambda_i) + R_{se} \rightarrow R_{\text{CUBIERTA}} = 0.14 [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}] \dots\dots\dots [\text{Eq 05}].$$

Los valores de  $R_{si}$  y  $R_{se}$  se extraen de la tabla 2 –Resistencias superficiales.  $e_i/\lambda_i$  corresponde a la cubierta de chapa galvanizada (IRAM 11601).

$$R_{\text{TECHO}} = 0.85 (R_F + R_C) \rightarrow R_{\text{TECHO}} = 1.603 [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}] [\text{Eq 06}] \quad K_{\text{TECHO}} = 1/R_T \rightarrow K_{\text{TECHO}} = 0.62 [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$$

La transmitancia térmica de la cubierta  $K_{\text{TECHO}} = 0.62$   $K_{\text{MAX ADM TECHO}} = 0.83$  (IRAM 11605) cumple con la condición B (condición media). Se analizan las pérdidas volumétricas globales por la envolvente determinándose que la carga térmica de calefacción anual (Q) es igual a 1809 KWh, calculado con los procedimientos establecidos en la IRAM 11604. Se lo relaciona con el costo de la electricidad para la ciudad de Formosa (EROSP, 2011), comprobándose un costo anual de calefacción sin subsidio de 865 pesos argentinos (US\$ 193).

### 3.2. Condición de Verano

La transmitancia del muro perimetral  $K = 1.85 [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$  calculado para la condición de invierno. Se lo compara con el máximo admisible para la condición de verano, (IRAM 11605)  $K_{\text{MAX ADM MURO}} = 2.16 [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$ , ubicándose entre el nivel C y el B, con buenas condiciones.

La transmitancia térmica del techo  $K_{\text{TECHO}}$ , se calcula con la metodología empleada para la condición de invierno, considerando valores de  $R_{si}$  y  $R_{se}$  con dirección del flujo de calor descendente igual a 0.17 y 0.04 [ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ] respectivamente, extraídos la norma (IRAM 11601).

$$R_{\text{TECHO}} = 0.85 (R_F + R_C) \rightarrow R_{\text{TECHO}} = 1.785 [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}] \dots\dots K_{\text{TECHO}} = 1/R_{\text{TECHO}} = 0.56 [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$$

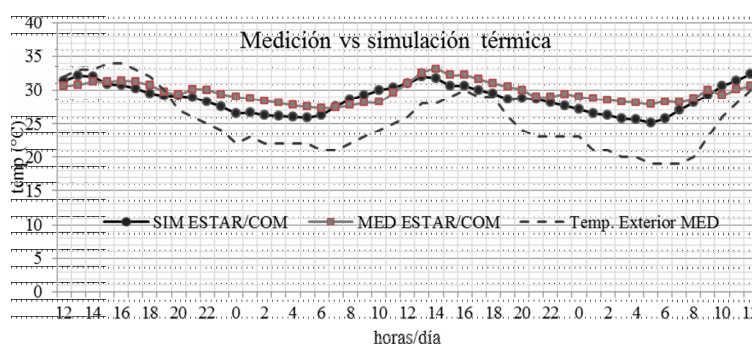
La transmitancia térmica del techo  $K_{\text{TECHO}} = 0.56$   $K_{\text{MAX ADM}} = 0.585$  condición B (IRAM 11605) cumpliendo con la condición solicitada. Se plantea una aproximación sobre el consumo de energía eléctrica destinada al enfriamiento de la vivienda, considerando la ganancia de calor a través de los cerramientos y por renovaciones de aire (Q) igual a 4706 KWh. Con la misma metodología propuesta para el cálculo de carga térmica de calefacción anual se introduce el valor de grados hora de refrigeración necesaria obteniéndose el Q en KWh. Se relaciona con el costo de la electricidad (EROSP, 2011) comprobándose un costo anual, sin subsidio, de enfriamiento es igual a 2252 pesos argentinos (US\$ 500)

## 4. MONITOREO Y SIMULACIÓN TÉRMICO-ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA

El monitoreo se realizó para la condición del periodo cálido. El registro de la temperatura interior para los días comprendidos entre el 01 y el 03 de Abril, se obtuvo con un datalogger

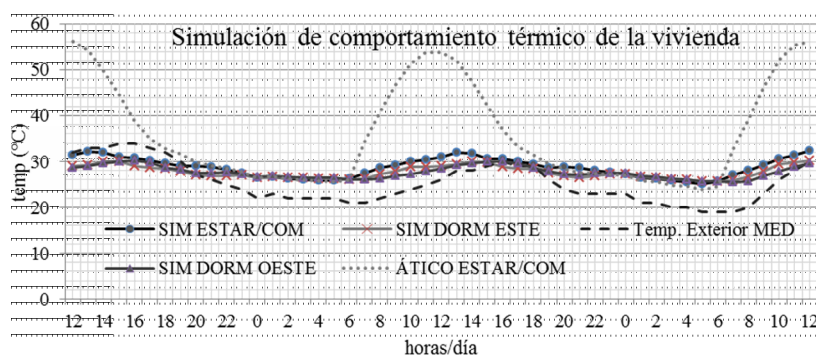
marca RHT10, ubicado en el estar-comedor a 2 metros de altura, en el centro del local. La temperatura exterior se adquirió del Servicio Meteorológico Nacional y, el valor de irradiación solar media diaria sobre el plano horizontal igual a  $25 \text{ MJ/m}^2$  se determinó analíticamente con el método de día claro de Page, utilizando el programa GEOSOL (HERNANDEZ, 2003). La simulación del comportamiento térmico del aire interior se realizó para el mismo periodo de tiempo del monitoreo y con el programa SIMEDIF (FLORES LARSEN, LESINO, 2000). En el programa se introducen las propiedades termo-físicas de cada componente, la energía proveniente de la disipación metabólica, de artefactos eléctricos, de la cocción y horneado de alimentos y la infiltración de aire a través de carpinterías. Para los muros se considera  $K=0.72 \text{ W/m.K}$ ,  $C_p=920 \text{ J/Kg.K}$  y Densidad de  $1800 \text{ Kg/m}^3$ . Se adoptan valores de renovación de aire igual a 8 para los locales habitables y de 1 para el ático. La transmitancia térmica para ventanas con celosía de madera varían entre  $5.82 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  sin protección -celosía abierta- y de  $2.79 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  con protección (IRAM 11601). Los coeficientes convectivos son de  $10 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  para superficies exteriores y de  $8 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  y  $6 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  para superficies interiores con y sin asoleamiento respectivamente. Se adoptó un coeficiente de absorción para muros exteriores igual a 0.45, para interiores de 0.40, para cubierta de 0.5 y para piso de 0.55 (IRAM 11605). El horario de apertura y cierre de carpinterías, el de cocción y horneado de alimentos y el de la actividad de los usuarios (disipación metabólica), se obtuvo a través de una entrevista con los ocupantes. En figura 7 se muestran los valores obtenidos de la medición y la simulación para el Estar-Comedor.

Figura 7 –Datos medidos y simulados



El gráfico permite comparar los valores registrados y simulados, los mismos se aproximan para los momentos del día en el que se registran las mayores temperaturas exteriores y se alejan en los periodos de descenso de la temperatura exterior. La máxima diferencia entre el valor medido ( $27.9\text{°C}$ ) y el simulado ( $25.14\text{°C}$ ) se registró a las 05:00. La amplitud térmica registrada en el interior oscila entre  $33.1\text{°C}$  y  $27.3\text{°C}$ . A continuación se detalla en la figura 8, la simulación térmica del aire interior de los espacios habitables, incorporándose el comportamiento del ático perteneciente al estar-comedor.

Figura 8 –Simulación térmica de la vivienda





Se establece que los dormitorios, de menor volumen y menor superficie en contacto con el aire exterior, poseen menor temperatura que el estar-comedor (entre 1-1.5°C). Esta diferencia cuenta con picos de 3°C al mediodía. En ambos casos la temperatura alcanzada se aleja de la temperatura de confort. El ático adquiere valores próximos a los 54°C en coincidencia con el mediodía y obtiene una temperatura próxima al de los locales habitables, durante la noche.

## 5. CONCLUSIONES

Con el registro de la temperatura del aire interior de la vivienda, se logra determinar su comportamiento en condiciones reales de uso y permite contrastar con la simulación de la misma, obteniéndose un modelo adecuado para analizar al edificio frente a diferentes condiciones climáticas. Al contrastar los resultados obtenidos se observa que, los mayores desfases de temperatura interior se registran entre las 00:00 hs y 06:00 hs, requiriendo para su ajuste, de un análisis y evaluación de diferentes casos para el periodo antes descripto. La temperatura del aire interior, se encuentra alejada de la temperatura de confort, requiriendo que se contemplen las condiciones climáticas del lugar durante su etapa de diseño y un mayor control en su materialización.

Para el cálculo de la transmitancia térmica (K) de los sistemas constructivos, se consideró los requerimientos estipulados en los pliegos constructivos establecidos por el organismo que ejecuta la vivienda. En este sentido, la condición crítica se manifiesta en los muros perimetrales, ubicándose en el límite admisible. Si se realiza este cálculo para el muro con el espesor real construido ( $e = 0.29\text{m}$ ), se establece un valor  $K_{\text{MURO}} = 1.89$   $K_{\text{MAX ADM}} = 1.85$   $[\text{W}/\text{m}^2.\text{K}]$ . Del mismo modo, si se calcula la cubierta sin la aislación (como se logró determinar en obra para este caso), el valor  $K_{\text{TECHO}} = 2.83$   $K_{\text{MAX ADM TECHO}} = 0.94$   $[\text{W}/\text{m}^2.\text{K}]$ , no cumple con los exigencias de la norma. El motivo por el cual las paredes poseen menor espesor, podría deberse a la dificultad de obtener en el mercado, ladrillos con las dimensiones necesarias y, la inexistencia de aislación térmica en el techo se relaciona a un error u omisión durante la materialización del cielorraso.

Por otro lado, al considerar la transmisión térmica del muro con sus diferentes componentes: mampostería y carpinterías, es decir su  $K_{\text{MPMURO}}$  siguiendo criterios de cálculo de la RAM 11900 se obtiene una clasificación de eficiencia energética de la vivienda para calefacción igual a G arrojando malas condiciones. Dentro de la clasificación la categoría A se adjudica a las envolventes de los edificios más eficientes y la H a las menos eficientes.

## REFERENCIAS

- INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN (IRAM) 11601: Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario, Argentina, 2002. p 8-9, 10, 14-17, 30.
- INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN (IRAM) 11603: Clasificación Bioambiental de la República Argentina, 1996. p. 32.
- INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN (IRAM) 11605: Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos, 1996. p. 7-8, 23.
- GARZÓN B. Arquitectura Bioclimática, NOBUKO, Buenos Aires, 2007. p. 39-40.
- FLORES LARSEN S., LESINO G. SIMEDIF 2000: Nueva versión del programa de diseño y cálculo de edificios. AVANCES EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE, v 5, pp. 08.25. 2001.
- HERNANDEZ A. GEOSOL V. 2.0 para Windows.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL (SMN). Temperatura de Marzo y Abril. Buenos Aires, 2012.
- CONSEJO NACIONAL DE LA VIVIENDA. (CNV) Fondos específicos p.4, 1999.

FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO ELÉCTRICO (FUNDELEC). Consumo hogareño de electricidad y su impacto en la tarifa final. Informe, Buenos Aires, 2011.