

MONITOREO Y SIMULACIÓN TÉRMICA DE DOS VIVIENDAS SOCIALES UNIFAMILIARES BAJO CONDICIONES REALES DE USO EN LA LOCALIDAD DE COLALAO DEL VALLE, TUCUMÁN

B. Garzón¹, C. Mendonca²

¹. Investigadora Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas; Docente Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Directora Proyectos FAU-SECyT, UNT; CONICET-MinCyT.. bgarzon@gmail.com

². Becario Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas; Integrante Proyecto Facultad de Arquitectura y Urbanismo y Secretaria de Ciencia y Técnica, UNT. Av. Roca 1900, Tucumán, Argentina. calb.mendonca@gmail.com

RESUMEN: En el trabajo se presentan los resultados de mediciones y simulaciones realizadas a dos viviendas construidas por el Instituto Provincial de Vivienda y Desarrollo Urbano de la provincia de Tucumán y por el Banco Hipotecario Nacional en los años 1987 y 2000. El objetivo es verificar el comportamiento térmico de las mismas bajo condiciones reales de uso para la situación crítica de invierno de acuerdo a la localización. La simulación con el programa SIMEDIF permitirá evaluar la vivienda bajo diversas condiciones durante diferentes periodos del año. Para la selección de las viviendas se identificaron aquellas construidas por el Estado y que poseen diferentes resoluciones constructivas en la materialización de sus cerramientos verticales.

Palabras clave: Medición, Simulación, Comportamiento Térmico. Vivienda Social Unifamiliar.

INTRODUCCIÓN

EL Instituto Provincial de la Vivienda y Desarrollo Urbano (IPVyDU), con financiamiento del Fondos Nacional de la Vivienda (FONAVI), es el que ha tenido el mayor peso en la producción estatal de viviendas (Garzón, 2007), según cifras oficiales elaboradas por el Fondo Nacional de la Vivienda representan el 42% de crecimiento de hogares. Existen otras modalidades de construcción que parten de fondos solicitados al Banco Hipotecario Nacional (BHN) y se desarrollan siguiendo distintos criterios de producción.

En la localidad de Colalao del Valle, departamento de Tafí del valle, provincia de Tucumán, durante los años '80 se desarrolló un barrio construido por el Banco Hipotecario Nacional, resultando el primer emprendimiento de este tipo. El mismo se localiza en el extremo Noreste de la localidad manteniendo la inclinación de las manzanas.

Posteriormente durante el 2000 el Instituto Provincial de la Vivienda y Desarrollo Urbano de Tucumán construye, en la misma localidad, un barrio de viviendas manteniendo la inclinación de manzanas adoptadas por el barrio del BHN. Las viviendas construidas representan menor número que las construidas por el BHN y la tecnología empleada para materializar los cerramientos verticales es diferente.

El trabajo tiene por finalidad determinar el comportamiento térmico de viviendas construidas con diferentes resoluciones constructivas en la materialización de la envolvente vertical con superficies, volumetría y orientaciones similares. Se decide realizar el análisis, evaluación y comparación del comportamiento térmico de los dos prototipos de viviendas que se construyeron por el BHN y por el IPVyDU en condiciones reales de uso, emplazadas en el Valle Calchaquí Tucumano. Este valle constituye un sistema de valles y montañas con una longitud igual a 550 km atravesando tres provincias. La localidad se sitúa dentro de la zona Bioambiental IIIa (IRAM 11603), con latitud: -26.35, longitud -65.95 a 1900 msn. Su clima es árido o de desierto según clasificación de Köppen. Posee amplitudes térmicas mayores a 14°C y temperatura media anual de 15.6°C con precipitación anual de 160.1 mm.

Resulta necesario resaltar que la adecuación de la arquitectura al medio físico y el grado de habitabilidad de los espacios y el mejor aprovechamiento de la energía, no está sujeta a formulas universales, es un problema de diseño en el que deben tomarse en consideración las circunstancias particulares de cada caso. (Garzón, 2007)

El criterio de selección de las viviendas se basa en que ambas mantengan la misma orientación y que no cuenten con ampliaciones o modificaciones. Partiendo de esta base, se realiza la descripción de la vivienda y se analiza su comportamiento térmico haciendo uso de la herramienta de simulación SIMEDIF (Flores Larsen, Lesino; 2000).

DESCRIPCIÓN DE LAS VIVIENDAS

Se evalúan dos viviendas construidas por el IPVyDU de la provincia de Tucumán y por el BHN. El partido arquitectónico corresponde al de viviendas unifamiliares compactas con desarrollo en planta baja en torno a un espacio central correspondiente al Estar-Comedor. Se orientan con sus ejes principales en sentido Noreste-Suroeste. Se encuentran emplazadas en las proximidades de la comuna de Colalao (considerado centro de la localidad.

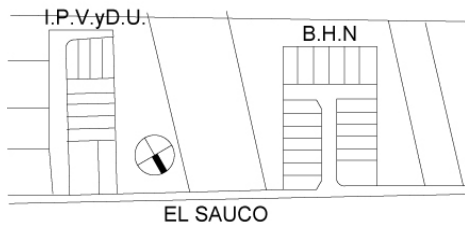


Figura 1: Plano de barrios IPVyDU y BHN.

Figura 2: Barrio IPVyDU

Figura 3: Barrio BHN

Ambas viviendas cuentan con energía eléctrica, red de agua potable y desagüe cloacal independiente y carecen de provisión de gas natural debido a que en la zona no llega el suministro.

A continuación, se describe el programa de arquitectura y los sistemas constructivos empleados para la materialización de los cerramientos:

a) Vivienda construida por el Instituto Provincial de la Vivienda y Desarrollo Urbano (IPVyDU):

Posee una superficie cubierta de 47.20 m² y volumen igual a 113.28 m³ (las medidas incluyen muros), el programa de arquitectura se conforma por estar-comedor-cocina de 19.31 m², dormitorio Suroeste de 8.37 m², dormitorio Sureste de 8.22 m² y baño de 3.51 m² (superficies interiores) con altura de piso a cielorraso igual a 2.40 m. Las viviendas forman grupo de dos, compartiendo el muro medianero correspondiente al estar-comedor-cocina. No posee proyección de la cubierta sobre la fachada la cual es construida con una pendiente con sentido a la fachada principal.

Los muros perimetrales exteriores son de mampostería doble de ladrillos macizos comunes asentados sobre mortero aéreo reforzado (ladrillo común exterior de 0.12 m + poliestireno expandido + ladrillo común interior de 0.06 m), la totalidad del perímetro exterior posee terminación de ladrillo visto mientras que, la terminación interior es de mortero de revoque; los muros interiores divisorios son realizados de ladrillo cerámico de 0.8 m mientras que, los interiores portantes se construyen de ladrillo cerámico macizo. Cuenta con puertas metálicas en ambos accesos a la vivienda mientras que las puertas interiores son de tipo placa. Las ventanas son de chapa plegada con celosía del mismo material y con vidrio simple de 4mm. La cubierta es de chapa galvanizada N° 24 (e= 0.5 mm) sobre correas metálicas y cielorraso independiente de madera de pino de 0.0125 m con aislación constituida por lana de vidrio de 0.025 m. La terminación correspondiente al piso se construye de alisado de cemento sobre contrapiso de hormigón asentado sobre terreno natural. La estructura se materializa a través de zapatas corridas (fundación directa) y de columnas y viga de encadenado superior de hormigón armado.

A continuación se presenta la planta, un detalle constructivo, un corte general y una imagen de la vivienda. El punto negro ubicado en el plano de planta corresponde a la ubicación del sensor el cual registró los valores de temperatura del aire.

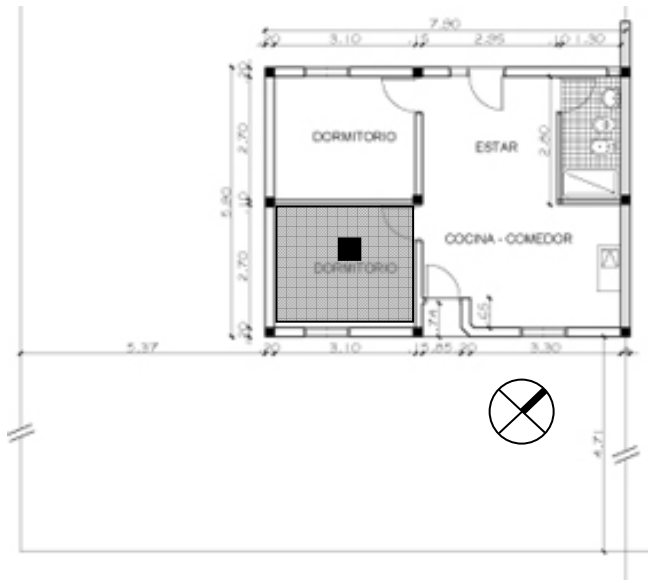


Figura 4: Planta de vivienda IPVyDU.

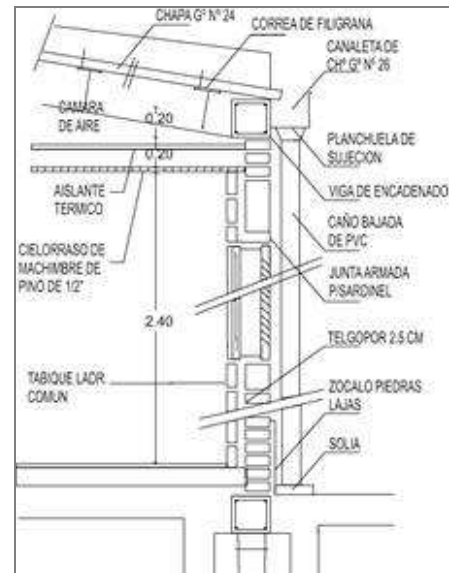


Figura 5: Corte tecnológico (detalle muro-cubierta).

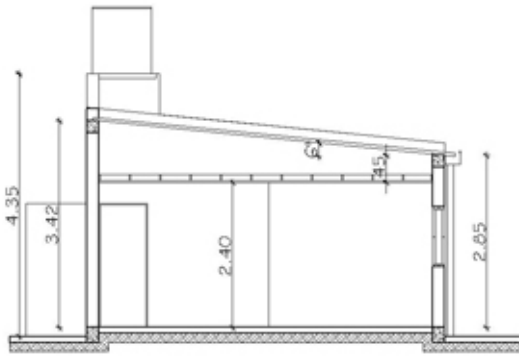


Figura 6: Corte de vivienda IPVyDU.



Figura 7: Fachada principal de la vivienda.

a) Vivienda construida por el Banco Hipotecario Nacional (BHN):

Tiene una superficie cubierta de 47.57 m² y volumen igual a 114.17 m³ (las medidas incluyen muros), el programa de arquitectura se conforma por estar-comedor de 10.87 m², dormitorio Noroeste de 8.70 m², dormitorio Noreste de 9.30 m² y baño de 3.38 m², cocina de 3.77 m² y paso de 2.52 m² (superficies interiores) con altura de piso a cielorraso igual a 2.40 m. Las viviendas, al igual que en el caso anterior, forman grupo de dos, compartiendo el muro medianero, pero en este caso es el correspondiente a los dormitorios. No posee proyección de la cubierta sobre la fachada la cual es construida con una pendiente con sentido a la fachada principal.

Los muros perimetrales exteriores son de mampostería ladrillo macizo comunes asentados sobre mortero aéreo reforzado (ladrillo común de 0.27 m), la totalidad del perímetro exterior posee terminación de ladrillo visto con pintura blanco mate, La terminación interior es de revoque de mortero de cemento y cal; los muros interiores divisorios son realizados de ladrillo cerámico de 0.8 m mientras que, los interiores portantes (soporte de correas) se construyen de ladrillo cerámico macizo. Sus carpinterías son metálicas de chapa plegada para puertas de ambos accesos a la vivienda mientras que las puertas interiores son de tipo placa. Las ventanas poseen vidrio simple de 4mm. La cubierta es de chapa galvanizada N° 24 (e= 0.5 mm) sobre correas metálicas y cielorraso independiente de placa de yeso de 0.007 m con aislación de lana de vidrio de 0.025 m. La terminación correspondiente al piso es de cerámico esmaltado asentado sobre carpeta de cemento y este sobre contrapiso de hormigón el cual descansa sobre el terreno natural. La estructura se materializa a través de zapatas corridas (fundación directa) y de columnas y viga de encadenado superior de hormigón armado.

En las siguientes figuras se presenta la planta de arquitectura, un corte general y una imagen de la vivienda. El punto negro ubicado en el plano de planta corresponde a la ubicación del sensor el cual registró los valores de temperatura del aire.

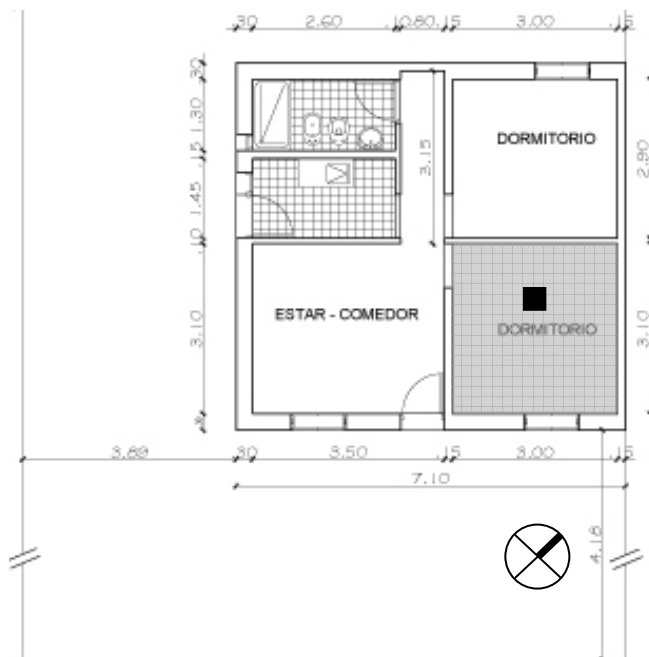


Figura 8: Planta de vivienda Banco Hipotecario Nacional.

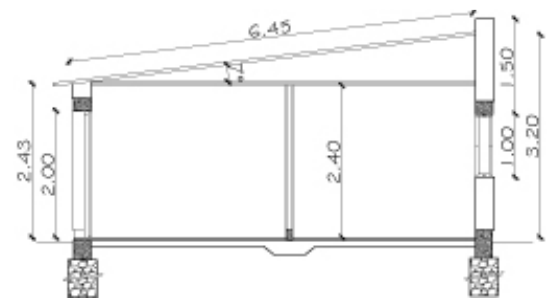


Figura 9: Corte de vivienda BHN.



Figura 10: Fachada principal de la vivienda.

MONITOREO Y SIMULACIÓN TÉRMICA DE LAS VIVIENDAS

El monitoreo de las dos viviendas se realizó los días 06 y 07 de Julio en coincidencia con periodos de baja temperatura. El registro de la temperatura interior para los días mencionados se obtuvo con un datalogger marca RHT10, ubicando los sensores en el centro de los dormitorios a dos metros de altura, en el centro del local. La temperatura exterior se registró con un sensor tipo Hygrotherm el cual mide los valores de temperatura y humedad relativa del aire. Los valores de irradiación solar sobre el plano horizontal se determinó analíticamente con el método de día claro de Page, utilizando el programa GEOSOL (Hernández, 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). Introduciendo 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, el programa realiza el cálculo de la evolución térmica del aire.

El método utilizado para determinar el calor proveniente del metabolismo se obtiene de acuerdo al tipo de actividad desarrollada. Se estima para el estado de reposo un valor de 65 W/m^2 y para una actividad débil de 100 W/m^2 . Para el cálculo de la superficie corporal se utiliza la fórmula de Dubois. Los valores obtenidos no son constantes durante cada hora, se estima en función de la actividad desarrollada, dato suministrado por los ocupantes de la vivienda.

La ganancias internas expresada en promedio diarias según su origen y por persona son para cocción de alimentos de 136 W, producción de agua caliente según número de personas de $16 \text{ N} + 25$ y artefactos eléctricos como heladera de 30 W, luces de 15 W y televisión de 27 W (Filippín, Flores Larsen; 2005)

a) Monitoreo y simulación térmica de la vivienda construida por el I.P.V.yD.U.:

Para realizar el cálculo se adoptan valores de renovación de aire igual a 2 para los locales habitables y de 1 para el ático. La transmitancia térmica para las ventanas con celosía 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 0.60, para interiores (revoque sin pintura) de 0.55, para cubierta de 0.5 y para piso de 0.55 (IRAM 11605). Se consideró el volumen de los espacios habitables determinado por la superficie de los mismos relacionado con la altura que existe desde el piso al cielorraso. Se añadió para el cálculo el espacio comprendido entre la cubierta y el cielorraso (ático). El horario de apertura y cierre de carpinterías, el horario de cocción y horneado de alimentos y el correspondiente a la actividad de los usuarios (disipación metabólica), se obtuvo a través de una entrevista con la ocupante que permanece mayor tiempo en la vivienda. Para ajustar las curvas de simulación y medición se debió considerar la disminución de temperatura por cambio de fase (calor latente) producto de la limpieza del dormitorio para los horarios comprendidos entre las 12hs y 13hs.

En la Figura 11, se muestran los valores que se obtienen de la medición y la simulación para el Dormitorio Sureste.

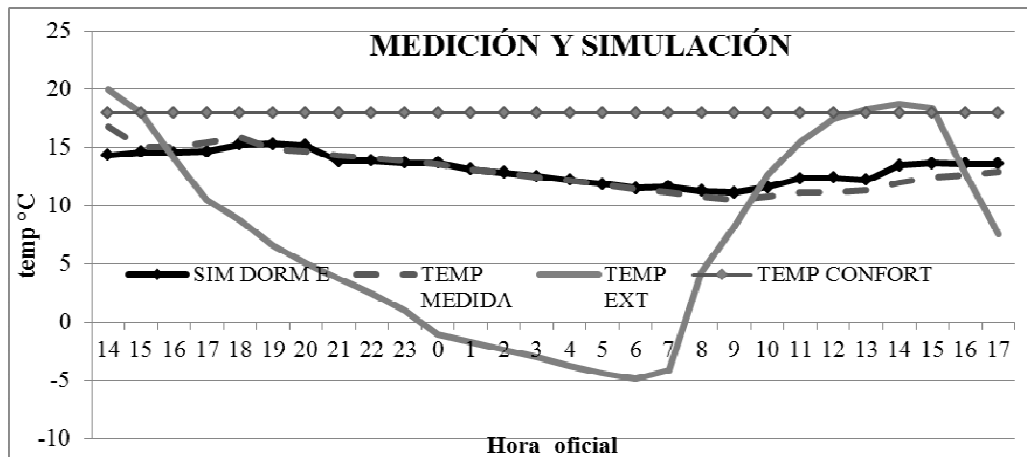


Figura 11: Resultados obtenidos de la medición y simulación de la vivienda construida por el IPVyDU.

Los valores medidos y simulados se aproximan para los horarios nocturnos y presentan una ligera desviación del orden de 1.05°C (temperatura medida igual a 11.2°C y temperatura simulada igual a 12.25°C para las 12:00 hs del día 07 de Julio). El comportamiento de la vivienda se encuentra por debajo de la temperatura mínima de confort (aproximadamente 18°C para el periodo invernal) variando de un valor máximo de 15.9°C para las 18:00hs del día 06 de Julio y un mínimo de 10.5°C para las 09:00hs del día 07 de Julio. La amplitud térmica registrada en el interior es de 5.4°C manteniendo una temperatura relativamente constante durante todo el día.

b) Monitoreo y simulación térmica de la vivienda construida por el B.H.N.:

Al realizar el cálculo se consideraron valores de renovación de aire igual a 3 para los locales habitables y de 1 para el ático. Se considera al igual que para el anterior caso una transmitancia térmica para las ventanas con celosía entre $5.82 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ sin protección -celosía abierta- y de $2.79 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ con protección (IRAM 11601). Los coeficientes convectivos son de $10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para superficies exteriores y de $8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ y $6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para superficies interiores con y sin asoleamiento respectivamente. Se adoptó un coeficiente de absorción para muros exteriores e interiores igual a 0.40 (paredes pintadas de blanco mate), para cubierta de chapa galvanizada 0.5 y para piso de 0.5 correspondiente a cerámico color gris (IRAM 11605). El cálculo se realiza considerando la totalidad de los espacios los cuales cuentan con un volumen determinado por la superficie de los mismos relacionado con la altura que existe desde el piso al cielorraso. Se considera para el cálculo ático como espacio independiente vinculado con el local que se encuentra debajo del mismo. El horario de apertura y cierre de carpinterías, el horario de cocción y horneado de alimentos y el correspondiente a la actividad de los usuarios (disipación metabólica), se obtuvo a través de una entrevista con la ocupante de la vivienda. Para ajustar las curvas de simulación y medición se debió considerar, al igual que el caso anterior, la disminución de temperatura por cambio de fase (calor latente) producto de la limpieza del dormitorio para los horarios comprendidos entre las 11hs y 12hs.

En la siguiente figura, se muestran los valores que se obtienen de la medición y la simulación para el Dormitorio Noreste.

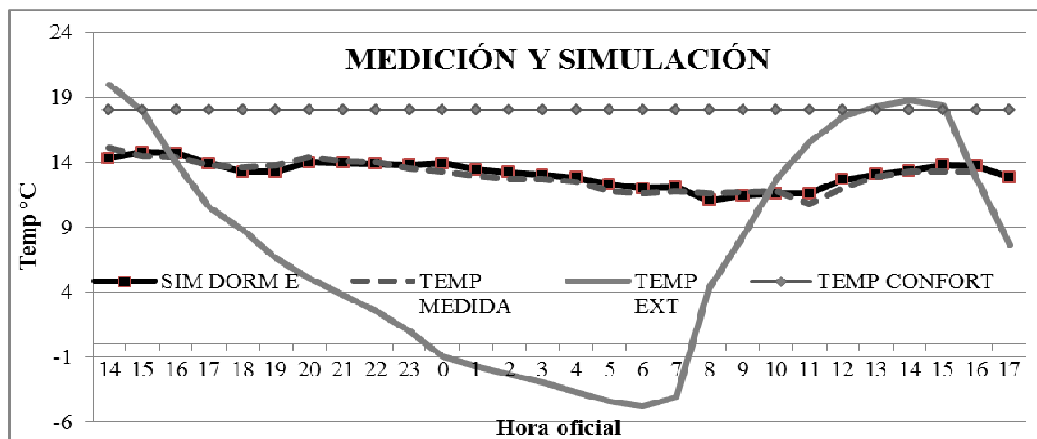


Figura 12: Resultados obtenidos de la medición y simulación de la vivienda construida por el BHN.

De los resultados obtenidos se observa que los valores de temperatura simulada y medida coinciden durante la mayor parte del periodo de estudio. La mayor divergencia de valores coincide para el horario de 11:00hs, resultando una diferencia entre los valores simulados y medidos igual a 0.8°C (11.6°C y 10.8°C respectivamente). La amplitud térmica registrada es de 3.7°C (14.4°C registrado a las 15:00hs del día 06 de Julio y 10.8°C registrado a las 11:00hs del día 07 de Julio). La temperatura registrada se encuentra por debajo de la temperatura mínima de confort (18°C para el periodo invernal). Al registrarse valores de temperatura interior por debajo de la temperatura de confort resulta necesaria la incorporación de energía auxiliar para incrementar dicha temperatura.

COMPORTAMIENTO TÉRMICO MEDIDO DE LAS VIVIENDAS DEL IPVyDU Y BHN

Se decide contrastar los resultados obtenidos de la medición realizada en las viviendas del IPVyDU y del BHN, para el mismo periodo de tiempo viviendas con la finalidad de verificar el comportamiento térmico de una respecto a otra. A continuación, en la Figura 13 se presenta los resultados obtenidos de dicha comparación:

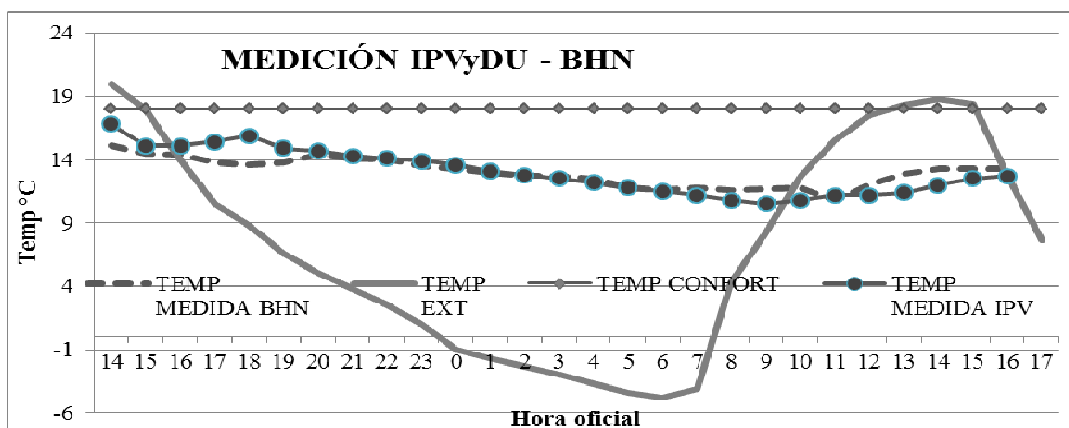


Figura 13: Comparación de los resultados obtenidos de la medición para las viviendas del IPVyDU y BHN.

Se observa que las viviendas presentan un comportamiento térmico casi semejante. Difieren en algunos periodos de tiempo relativamente cortos. El máximo desfase se presenta durante el día (máxima actividad de los usuarios) y permaneciendo casi invariable durante la noche. Ambos edificios poseen superficies y volúmenes semejantes, con la misma orientación e inclinación de la cubierta como así también iguales superficies de exposición a la radiación solar. La diferencia que presenta mayor importancia se debe a la diferente resolución tecnológica para materializar las paredes siendo para la vivienda del IPVyDU desarrollada con doble muro con espesor total igual a 0.23m mientras que, para la vivienda desarrollada por el BHN los muros perimetrales se materializan de ladrillo cerámico macizo de 0.27m.

CONCLUSIONES

La evaluación térmica de las viviendas permitió determinar el comportamiento de las mismas en condiciones reales de uso. La metodología empleada que incluye medición y simulación permitiendo determinar el comportamiento térmico de la vivienda para la condición crítica de invierno y obtener los modelos de viviendas con el programa SIMEDIF, permitiendo analizarla bajo diferentes condiciones de uso y en distintos periodos del año.

Los datos obtenidos durante periodos de baja temperatura permitieron contrastar con los valores de temperatura mínima de confort, y con ello establecer si resulta necesaria la incorporación de energía auxiliar.

Al analizar los resultados obtenidos de la medición y simulación de la vivienda construida por el IPVyDU se determina que la desviación registrada entre los datos medidos y simulados podría deberse a pequeñas variaciones referidas a apertura y cierre de carpinterías y a ganancias de calor debido a actividades de los usuarios. Para que la curva ajuste en los horarios donde presentaba desfases (entre las 10hs y 12hs) se consideró la disminución de temperatura por cambio de fase producto de la limpieza del piso. En general, se observa que los valores medidos y simulados coinciden y presentan pequeñas variaciones.

Con respecto a la medición y simulación de la vivienda construida por el BHN, se estima que el motivo del desfase entre ambas medidas podría deberse a la dificultad de determinar la disminución de temperatura por cambio de fase (calor latente) producto de la limpieza del dormitorio durante ese periodo de tiempo. El comportamiento térmico de la vivienda es estable ofreciendo una baja amplitud térmica durante todo el día.

Al comparar el resultado de las mediciones realizadas en ambos edificios las diferencias observadas pueden deberse a la interacción de los usuarios ya que, los mayores valores de divergencia se generan durante los momentos del día de mayor actividad de los usuarios. La diferencia en la resolución tecnológica de los muros perimetrales no resulta un factor determinante que influya en el comportamiento térmico de las viviendas y genere importantes diferencias en la misma.

Si bien el comportamiento térmico de las viviendas evidencia la necesidad de mejorar las mismas mediante otras estrategias de diseño y disminuir la diferencia observada entre la temperatura registrada y la temperatura mínima de confort, se destaca que se registran temperaturas interiores casi uniformes, es decir, sin saltos térmicos importantes.

REFERENCIAS

- Instituto Argentino de Normalización (IRAM) 11601, (2002).
- Instituto Argentino de Normalización (IRAM) 11603, (1996).
- Instituto Argentino de Normalización (IRAM) 11605, (1996).
- Garzón B., (2007). *Arquitectura Bioclimática*, NOBUKO, Buenos Ares. p. 39-40.
- Flores Larsen, Lesino. SIMEDIF 2000, (2001): Nueva versión del programa de diseño y cálculo de edificios. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, v 5, pp. 08.25.
- Hernández A. GEOSOL V. 2.0 para Windows, (2003).
- Filippín C, Flores Larsen, (2005): Comportamiento térmico de invierno de una vivienda convencional en condiciones reales de uso. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, v 9, pp. 05.70.
- Consejo Nacional de la Vivienda. (CNV) Fondos específicos p.4, (1999).

ABSTRACT

This paper presents the results of measurements and simulations of two houses built by the Provincial Institute of Housing and Urban Development in the province of Tucuman and the National Mortgage Bank in the 1987 and 2000. The objective is to verify the thermal behaviour of the same under actual use conditions for the plight of winter according to location. The simulation program will assess the housing SIMEDIF under various conditions during different periods of the year. For the selection of homes identified those built to the State and which have different resolutions constructive in the realization of its vertical walls.

Keywords: Measurement, Simulation, Thermal Performance. Houses.