

RESULTADOS DEL MONITOREO TÉRMICO DE UNA VIVIENDA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE SALTA Y SU SIMULACIÓN DETALLADA MEDIANTE SIMEDIF¹

Alejandro L. Hernández
INENCO – Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional – U.N.Sa. - CONICET
Universidad Nacional de Salta
Avda. Bolivia N° 5150, 4400, Salta, Argentina
FAX: 54-87-4255489, Tel: 54-87-4255579
EMAIL: alejo@unsa.edu.ar

RESUMEN. En este trabajo se presentan los resultados del monitoreo y posterior simulación computacional del comportamiento térmico de una vivienda construida en la ciudad de Salta. Debido a que las áreas de ganancia directa por ventanas y los valores de aislación térmica son insuficientes para alcanzar el confort interior bajo las condiciones meteorológicas del lugar, el edificio debe ser calefaccionado con energía auxiliar durante todo el invierno y parte de la primavera. Mediante SIMEDIF se obtuvo un modelo físico del edificio que ajusta las temperaturas monitoreadas con un error del orden de 1 °C. Se determinaron las cargas de calefacción diarias (por local) necesarias para mantener el edificio a 20 °C y se obtuvieron correlaciones lineales que permiten determinar dichas cargas en función, exclusivamente, de la temperatura media exterior. Este edificio requiere calefacción auxiliar siempre que la temperatura media externa sea inferior a 18 °C.

Palabras claves: Monitoreo de edificios, Simulación computacional, Comportamiento térmico.

INTRODUCCION

En un trabajo anterior (Hernández, 2005) se presentaron los resultados de la simulación del comportamiento térmico de una vivienda de dos plantas que comenzó a construirse en el año 2003 en la ciudad de Salta. En esa oportunidad no se contaba con datos medidos de temperatura en el interior de la vivienda, razón por la cual se presentaba la estimación del consumo de energía auxiliar (y su costo si fuera de origen eléctrico) durante las épocas de invierno y verano, evaluados mediante PREDISE (Hernández, 2002a) y SIMEDIF (Flores y Lesino, 2001). La descripción del edificio se detalla en dicho trabajo. En la figura 1 se observa el diseño de ambas plantas y en la 2 una vista del edificio desde la dirección noreste.

Durante el mes de octubre de 2005, el autor desarrolló una campaña de monitoreo de variables meteorológicas y temperatura de todos los locales durante 12 días (del 2 al 14/10), sin habitantes ni ganancias internas por artefactos en su interior. El objetivo del presente trabajo es entonces comparar el modelo físico alcanzado mediante SIMEDIF en julio del año 2005 con los datos arrojados por el monitoreo en octubre del mismo año a fin de determinar la validez de las estimaciones de las cargas de calefacción requeridas para el acondicionamiento térmico de la vivienda. De esta forma se avanza un nuevo escalón en el proceso de evaluación del comportamiento térmico del edificio caracterizado por las siguientes etapas:

- 1) Prediseño térmico del edificio para determinar las áreas de colección solar y acumulación de calor. (CUMPLIDA)
- 2) Definición del diseño en base a los resultados de la etapa anterior. (CUMPLIDA)
- 3) Simulación térmica detallada del Diseño – Estimación de cargas de calefacción y/o refrescamiento. (CUMPLIDA)
- 4) Construcción del edificio. (CUMPLIDA)
- 5) Monitoreo de variables meteorológicas y temperaturas interiores. (CUMPLIDA)
- 6) Ajustes al modelo físico alcanzado en la etapa (3) en base a los resultados de la (5). (CUMPLIDA AHORA)
- 7) Planteo de modificaciones constructivas, de ser necesario, para lograr el confort interior. (SIN CUMPLIR)

BREVE DESCRIPCION DEL EDIFICIO

El edificio posee dos plantas, ocupando la vivienda sólo un tercio del área de terreno disponible. La orientación de la fachada principal es de 24° al oeste, lo cual permite un aprovechamiento del recurso solar del 90 % del aprovechado si tal orientación fuera exactamente al norte. El área de ganancia directa es del 11 % del área total de piso en la planta baja y del 5 % en la planta alta, valores insuficientes para alcanzar el confort térmico pasivo (Hernández, 2002b), razón por la cual, será necesario el uso de calefacción auxiliar durante el invierno. Los muros exteriores son de ladrillón macizo de 18 cm de ancho mientras que los interiores son de ladrillo macizo de 13 cm en la planta baja y de cerámico hueco de 15 cm en la alta. La ubicación de las aberturas fue planificada de tal forma de favorecer la ventilación cruzada en la mayoría de los locales. Los techos de la planta alta son de machimbre sobre tirantes de pino y tejas francesas y están aislados térmicamente con poliestireno expandido de 3 cm de espesor con barrera de vapor de polietileno de 200 µm.

¹ Trabajo financiado por ANPCYT PICT 2000 N°13-09991 y por CIUNSa N°1088.

La carpintería es de madera y todas las ventanas poseen vidrio simple repartido. El edificio tiene un área cubierta de 170 m² y un volumen de 342,5 m³. La planta baja consta de un living y un escritorio orientados al norte, un garaje al este y una cocina comedor al sur comunicada con la galería mediante una puerta simple. La escalera en forma de U, ubicada entre el escritorio y la cocina, permite alojar un pequeño toilette debajo del tramo más elevado. La planta alta posee dos dormitorios con ventanas al norte y uno comunicado con un balcón techado a través de una puerta ventana por donde no ingresa radiación solar directa, un baño sobre el sector sudoeste y un hall de comunicación con puerta ventana al sur hacia la terraza que constituye el techo de la galería de la planta baja. En la figura 1 se observa el diseño de ambas plantas.

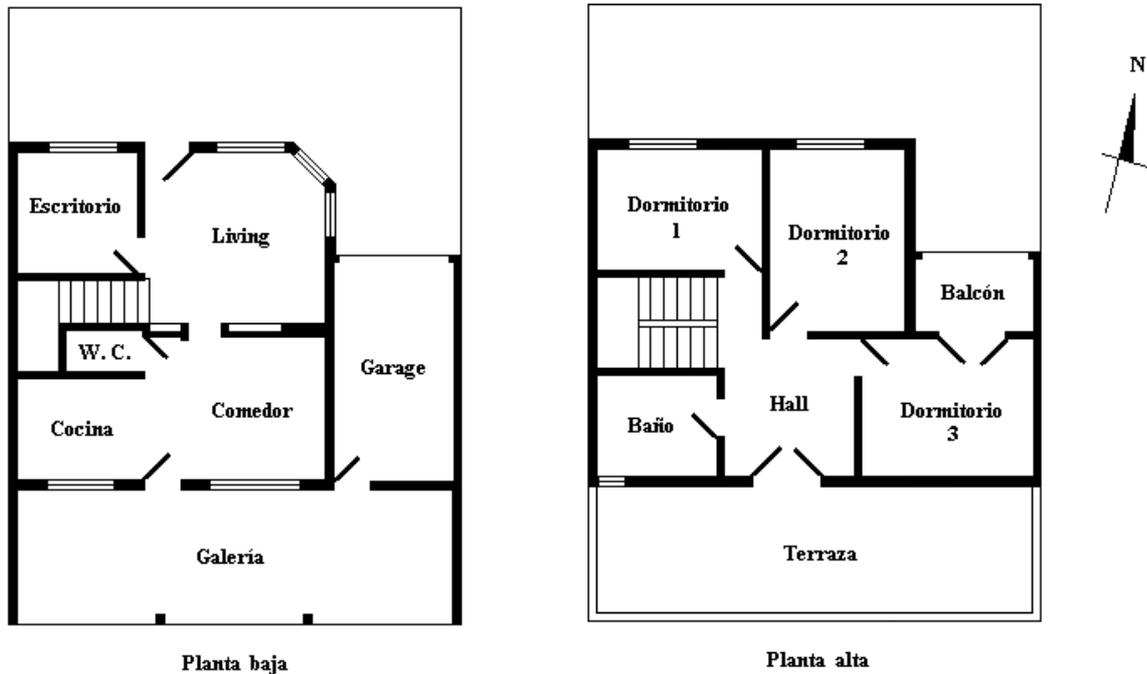


Figura 1: detalle de ambas plantas del edificio.



Figura 2: vista del edificio desde la orientación noreste.

EL EQUIPO DE MONITOREO

Como sistema de adquisición de datos se emplearon dos módulos ADAM 4018 con 8 canales analógicos cada uno comandados desde una agenda electrónica Hewlet Packard con puerto I/O serie y protocolo de comunicación RS232. Los sensores de temperatura fueron termocuplas tipo T (Cobre-Constantán) calibradas en horno termostático entre 10 y 40 °C. Se utilizaron 12 de estos sensores para medir, cada 15 min, la temperatura de cada local, del balcón y de la galería, estando cubiertos por conos de papel de aluminio sin base y con perforaciones a fin de garantizar la ventilación de los mismos y el apantallamiento del intercambio radiativo infrarrojo con el entorno. No se monitoreó la humedad relativa interior debido a que el edificio todavía no ha sido habitado y, por lo tanto, no existen aportes de humedad debidos al uso de la vivienda. Las variables meteorológicas (temperatura y humedad ambiente, radiación solar y velocidad de viento) fueron sensadas cada 15 min. mediante una micro estación meteorológica autónoma HOBO, modelo H21, instalada por encima del tanque de agua.

RESULTADOS DEL MONITOREO

En la figura 3 se observan los valores de temperatura medidos en los locales de la planta baja. De los 12 días monitoreados, tres se presentaron seminublados y fríos. Los restantes fueron soleados con amplitudes térmicas diarias superiores a 10 °C. El garaje registra los valores más altos de temperatura ya que presenta la mayor área expuesta al sol durante las horas de la mañana. Su amplitud térmica diaria es del orden de 5 °C sin manifestar desfase respecto de la hora en que se produce el máximo en la temperatura exterior. Los tres locales habitables (escritorio, living y cocina-comedor) presentan amplitudes térmicas diarias inferiores a 5 °C, siendo el escritorio el que más se calienta durante las horas de sol. El local más frío es el comedor por estar al sur. Sus desfases son del orden de 6 hs. según corresponde a un espesor de 18 cm de ladrillo macizo. Durante el período frío, los cuatro locales registraron un descenso en su temperatura del orden de 7 °C. Estos valores de amplitudes térmicas y desfases horarios indican que la planta baja dispone de una cantidad adecuada de masa térmica.

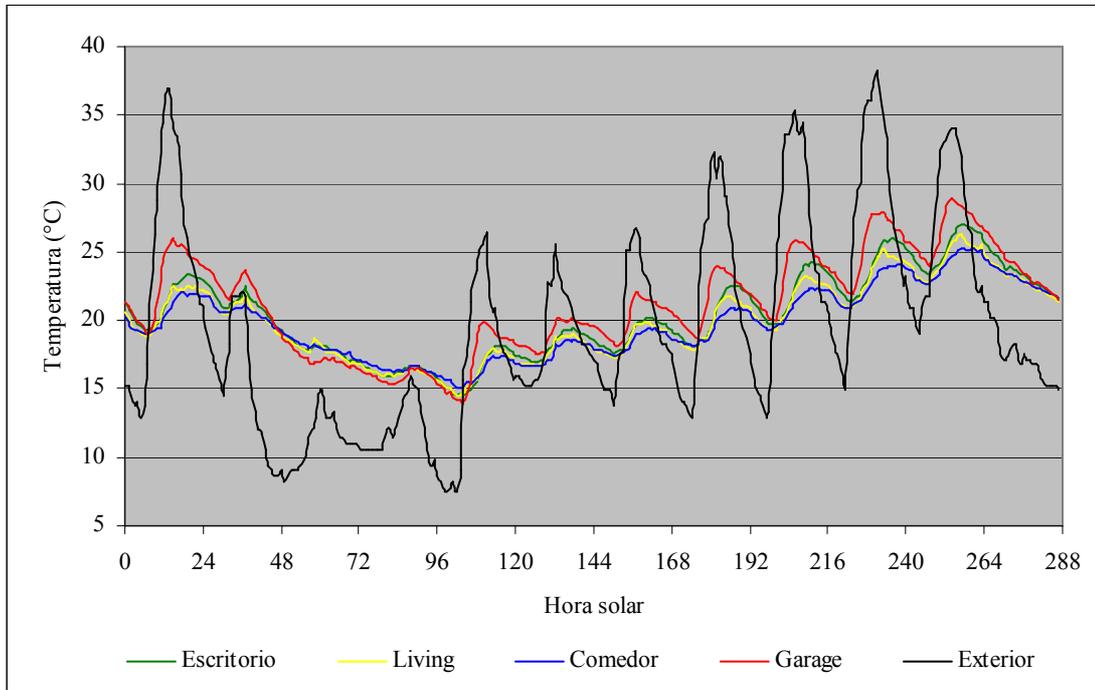


Figura 3: valores de temperatura registrados en la planta baja.

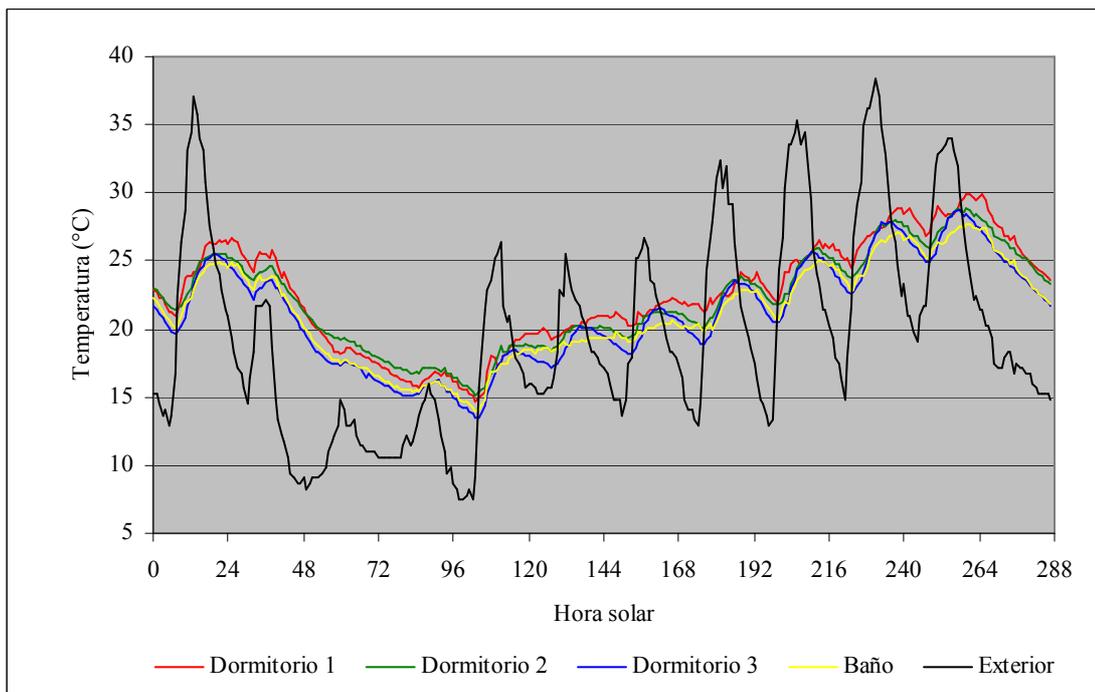


Figura 4: valores de temperatura registrados en la planta alta.

En la figura 4 se aprecian los valores de temperatura medidos en la planta alta. El comportamiento térmico de los cuatro locales es muy parecido, siendo el más cálido el dormitorio 1. Este local posee mayor relación área vidriada / área de piso que el dormitorio 2. El dormitorio 3 y el baño, además de no recibir radiación solar por ganancia directa, tienen grandes áreas expuestas al exterior sobre la orientación sur, razón por la cual registran las temperaturas más bajas. Las amplitudes térmicas en esta planta son también inferiores a 5 °C y los desfases son del orden de 6 a 7 hs.

Ambas plantas se encuentran dentro del rango de confort en sólo 6 de los 12 días monitoreados, con 4 días por debajo de 20 °C y 2 días por encima de 25 °C. Esto evidencia la necesidad de emplear energía auxiliar para el acondicionamiento térmico del edificio tanto para calefacción como para enfriamiento. Durante los días posteriores a los dos más fríos se observa que la pendiente de calentamiento de la planta alta es mayor que la de la planta baja debido a que, al poseer ladrillos cerámicos huecos en el tabicado interior, su masa de acumulación de calor es menor y, por ende, es menor su constante de tiempo.

SIMULACION TERMICA CON SIMEDIF

Como modelo del edificio se empleó el logrado en el trabajo anterior (ya mencionado) y se lo modificó para lograr el ajuste. Los locales simulados fueron el escritorio, living, comedor y garage en la planta baja y los tres dormitorios, el hall y el baño en la planta alta. Como coeficientes convectivos externos se empleó un valor de 11,8 W/m² de acuerdo a la velocidad promedio del viento en el período que fue de 1,6 m/s. Los coeficientes convectivos interiores se fijaron en 6 W/m² y los números de renovaciones de aire por hora con los que se obtuvieron los mejores ajustes fueron 2 para los locales de la planta baja y 1 para los de la alta. A continuación se presentan los gráficos comparativos entre valores medidos y simulados para los seis locales más importantes: escritorio (figura 5), living (figura 6), comedor (figura 7) y los tres dormitorios (figuras 8, 9,10).

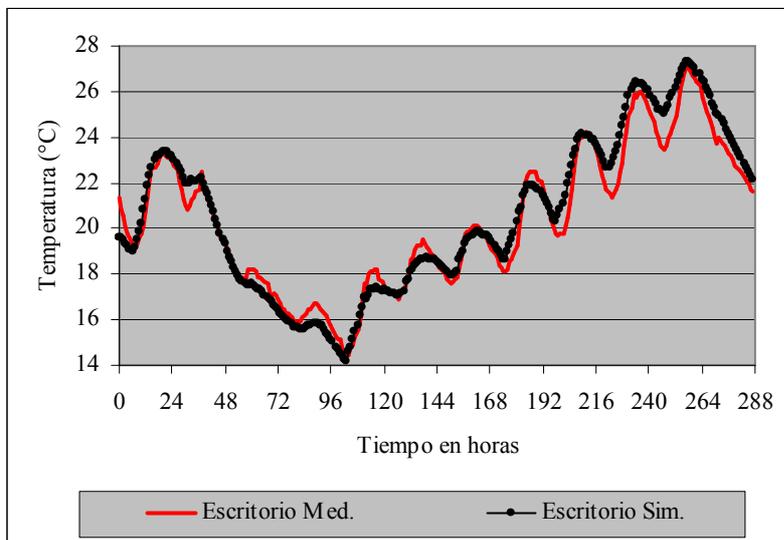


Figura 5: comparación de valores de temperatura medidos y simulados en el Escritorio.

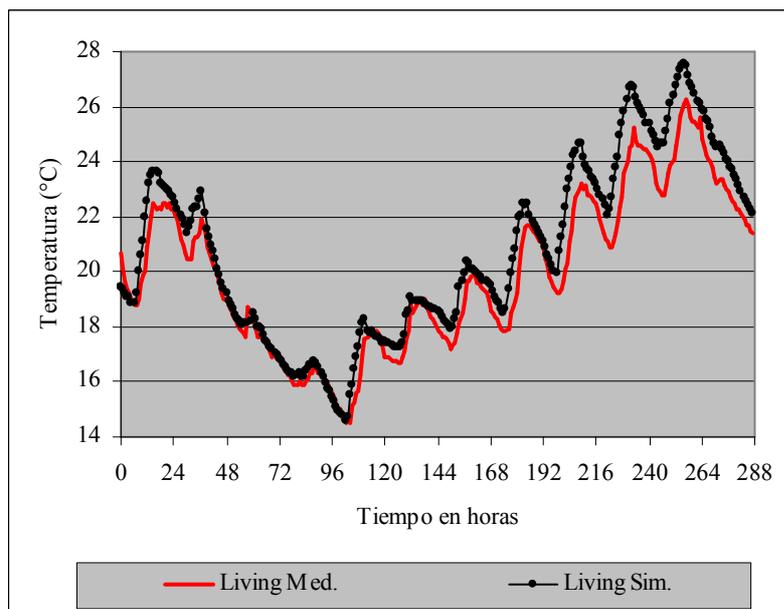


Figura 6: comparación de valores de temperatura medidos y simulados en el Living.

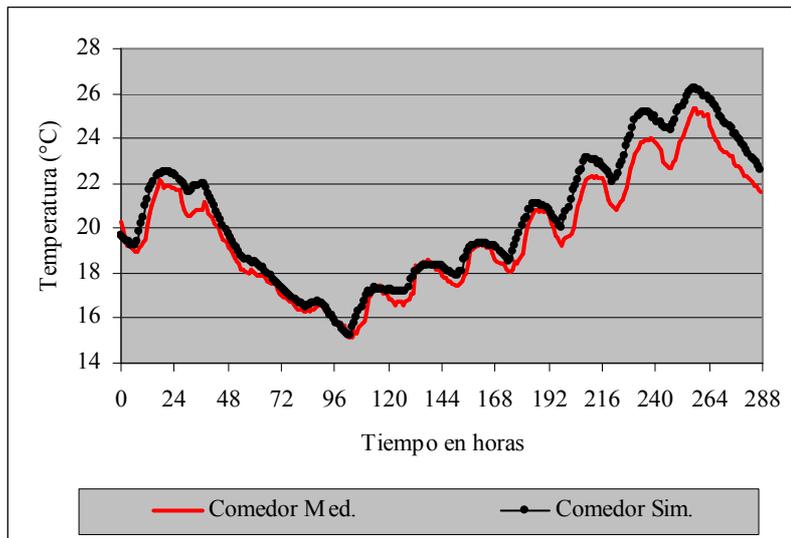


Figura 7: comparación de valores de temperatura medidos y simulados en el Comedor.

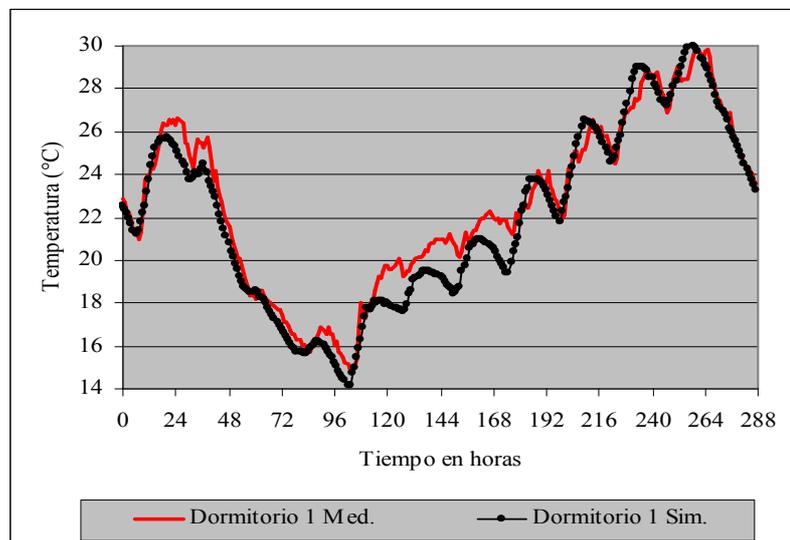


Figura 8: comparación de valores de temperatura medidos y simulados en el Dormitorio 1.

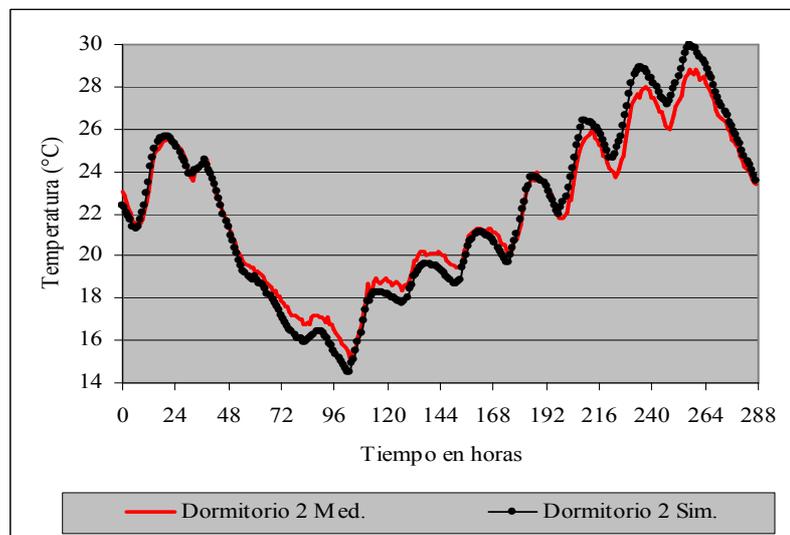


Figura 9: comparación de valores de temperatura medidos y simulados en el Dormitorio 2.

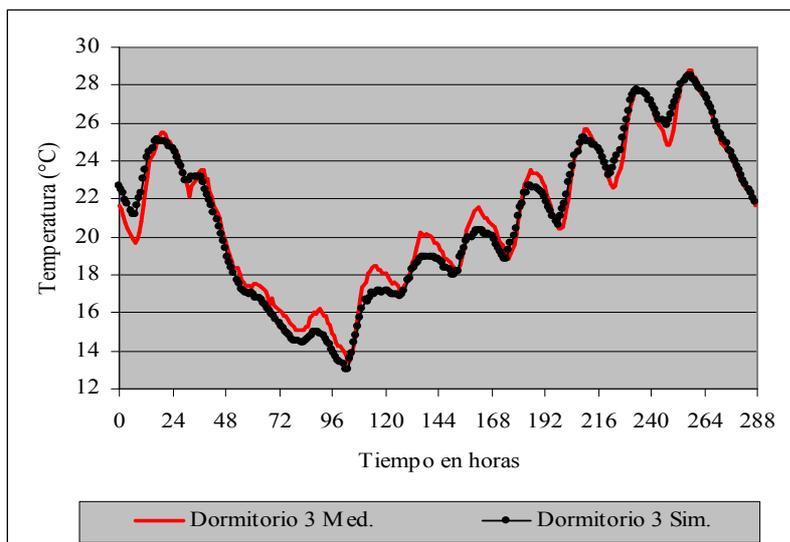


Figura 10: comparación de valores de temperatura medidos y simulados en el Dormitorio 3.

Según se observa en estas 6 figuras, el error de ajuste entre los valores medidos y simulados con SIMEDIF es del orden de 1 °C para la mayoría de los locales. El garaje de la planta baja, el hall y el baño de la planta alta resultaron también con muy buenos ajustes, razón por la cual se acepta como suficientemente correcto el modelo físico alcanzado con la simulación.

SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TERMICO DEL EDIFICIO EN INVIERNO

Durante el año 2005 se registraron datos meteorológicos del lugar (con la mini estación HOBO colocada sobre el tanque de agua) entre el 6 de agosto y el 27 de noviembre. Dado que el edificio fue monitoreado durante 12 días de la primavera 2005 y se disponen de datos de temperatura ambiente, irradiancia solar y velocidad de viento para la segunda mitad del invierno, se aplicaron estos valores climáticos al modelo logrado con el SIMEDIF a fin de analizar su comportamiento durante la época más fría del año. A continuación se presentan los resultados simulados de las temperaturas de los locales más importantes para el período de 30 días comprendido entre el 7 de Agosto y el 7 de Setiembre. La curva de temperatura exterior representa los valores medidos durante ese período.

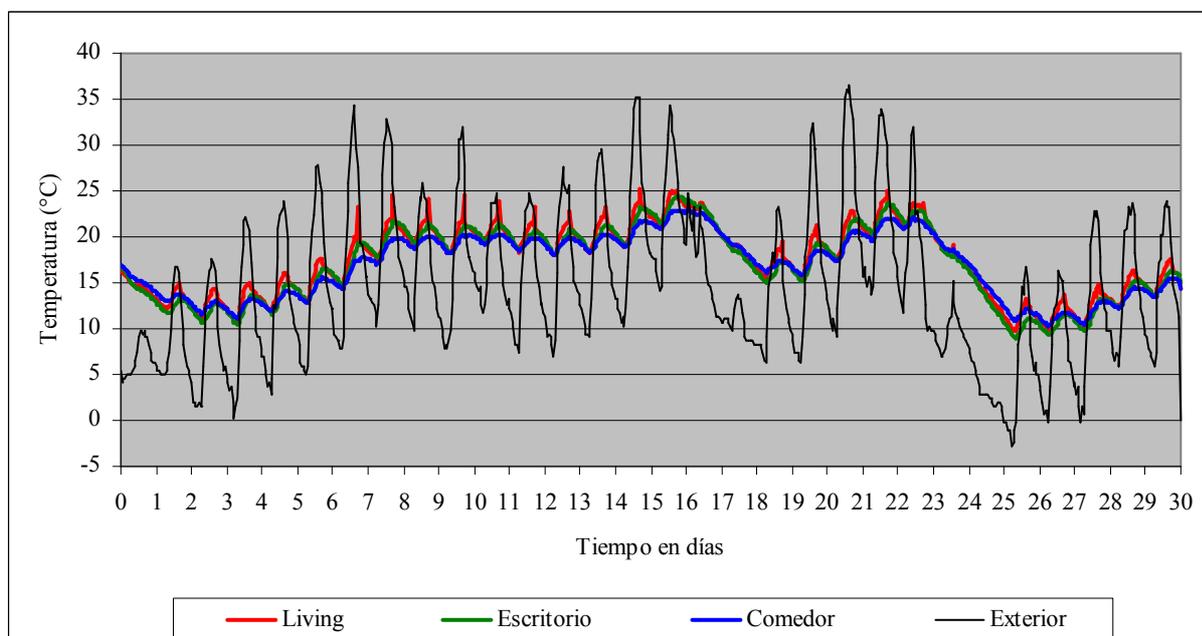


Figura 11: valores de temperatura de la planta baja simulados con datos meteorológicos medidos en Agosto de 2005.

Del análisis estadístico de los valores medidos surge que, durante este período, la temperatura externa tuvo un valor medio de 14,6 °C, con un valor máximo medio de 25 °C y un valor mínimo medio de 6,9 °C. La máxima absoluta fue de 36,6 °C y la mínima absoluta de -2,9 °C. Promediando los valores de temperaturas interiores simuladas se tiene que la temperatura media de la planta baja es 17 °C y la de la planta alta es 18 °C (figura 12). Esto demuestra que, como ya se determinara en el trabajo

anterior en base sólo a simulaciones, ambas plantas necesitan calefacción auxiliar durante el invierno debido a que las áreas de colección solar por ganancia directa y los valores de aislación térmica son insuficientes para alcanzar el confort interior.

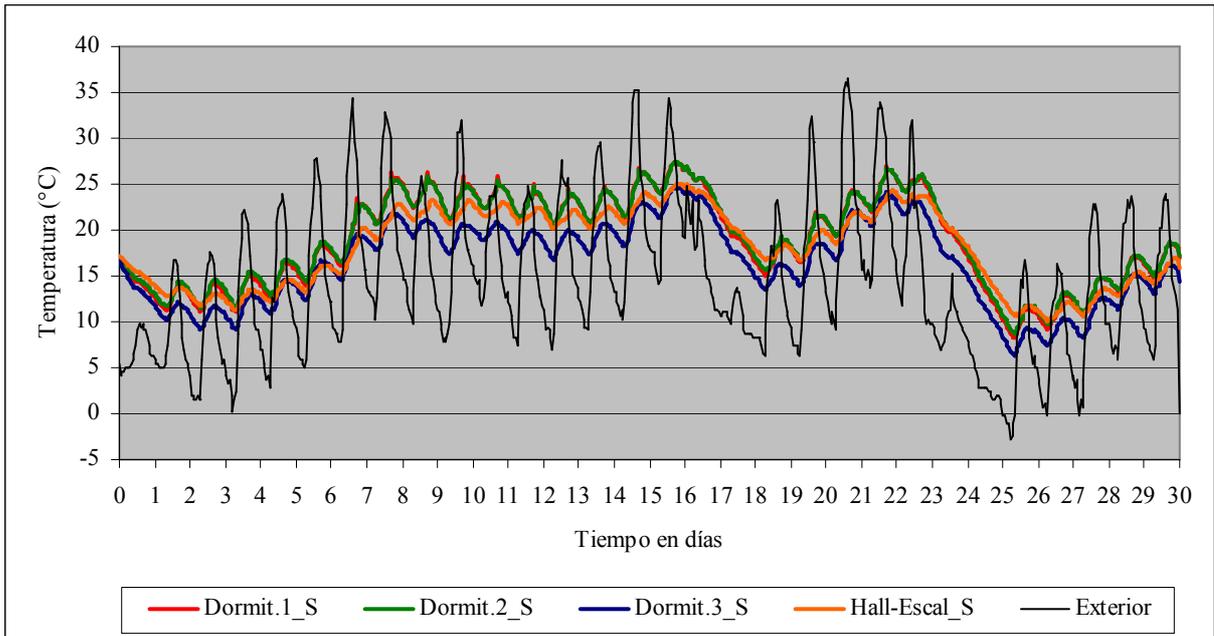


Figura 12: valores de temperatura de la planta alta simulados con datos meteorológicos medidos en Agosto de 2005.

En la figura 11 y 12 se observa claramente durante el descenso de temperatura ocurrido entre los días 23 y 25 del período monitoreado, que la planta baja posee mayor acumulación de calor que la alta debido a que su pendiente de enfriamiento es menor. Se observa también que los dormitorios 1 y 2 son los locales más cálidos de la planta alta por sus ganancias directas.

El SIMEDIF permite estimar los montos de energía auxiliar que debe entregarse a cada local para mantener sus temperaturas constantes a lo largo de todo el día (termostatación). En este caso se fijó la temperatura del living, escritorio, comedor y dormitorios en 20 °C y por simulación se obtuvieron las cargas diarias de calefacción para estos locales. Graficando sus valores en función de la temperatura exterior media diaria se obtuvo el gráfico de la figura 13.

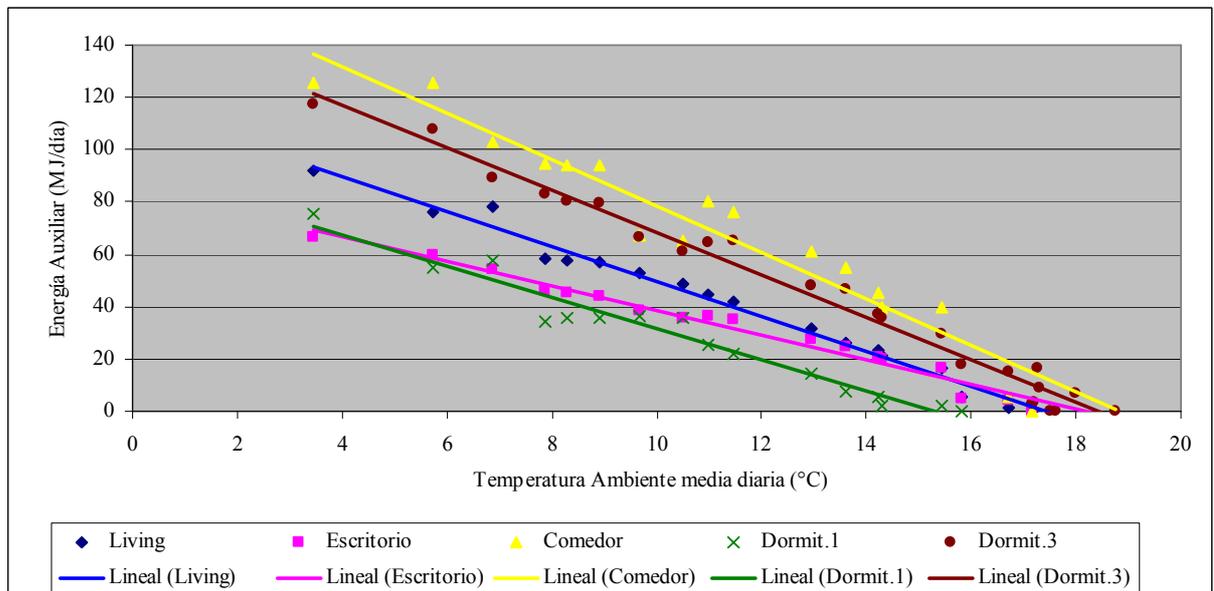


Figura 13: dependencia de las cargas diarias de calefacción de cada local con el clima exterior.

Se observa en la figura anterior que la dependencia entre las cargas de calefacción y la temperatura media diaria en el exterior del edificio puede aproximarse muy bien mediante curvas de regresión lineal. En la tabla 1 se indican los valores de las pendientes, ordenadas al origen y coeficientes de correlación R^2 para cada local estudiado. La importancia fundamental de estas curvas radica en el hecho de que permiten estimar los consumos energéticos de calefacción de cada local de este edificio (para mantener sus temperaturas fijas en 20 °C) **con sólo conocer la temperatura media diaria exterior.**

Por ejemplo, considerando el valor de temperatura media de 10 °C correspondiente al mes de julio en Salta (promedio de 10 años), serían suficientes tres estufas a gas de 2.000 Kcal/h encendidas durante 12 hs.: una en el living (que calentará también al escritorio) y otra en el comedor entre las 10 y las 22 y la tercera en el dormitorio 3, entre las 21 y las 9 del día siguiente. En los dormitorios 1 y 2 sería suficiente mantener encendido un caloventor de 1.000 W por local entre las 21 y las 9 hs.

	Living	Escritorio	Comedor	Dormitorio1	Dormitorio 2	Dormitorio 3
Pendiente	-6,73	-4,73	-8,89	-5,97	-8,15	-8,10
Ordenada Al origen	117	85,8	167,4	91,3	116,4	149,5
Coeffic. R²	0,98	0,98	0,93	0,96	0,93	0,98

Tabla 1: valores de los coeficientes de regresión lineal de los montos de energía auxiliar versus la temp. media exterior

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron los resultados obtenidos durante una campaña de monitoreo del comportamiento térmico de una vivienda construida en la ciudad de Salta. El monitoreo se desarrolló durante 12 días en la primavera de 2005 y los resultados fueron simulados con SIMEDIF, obteniéndose un modelo físico que ajusta las temperaturas de todos los locales con un error del orden de 1 °C.

Tanto el escritorio como el living y el comedor poseen amplitudes térmicas diarias inferiores a 5 °C, siendo el escritorio el que más se calienta durante las horas de sol. El local más frío en la planta baja es el comedor por estar ubicado al sur y no disponer de ganancia solar. Sus desfases son del orden de 6 hs. según corresponde a un espesor de 18 cm de ladrillo macizo. En la planta alta el local más cálido es el dormitorio 1 ya que posee mayor relación área vidriada / área de piso que el dormitorio 2. El dormitorio 3 y el baño, además de no recibir radiación por ganancia directa, tienen grandes áreas expuestas al exterior sobre la orientación sur, razón por la cual registran las temperaturas más bajas. Las amplitudes térmicas en esta planta son también inferiores a 5 °C y los desfases son del orden de 6 a 7 hs. Estos valores de amplitudes térmicas y desfases horarios indican que ambas plantas disponen de una cantidad adecuada de masa térmica.

Con el modelo físico ajustado mediante SIMEDIF, se simuló el edificio con valores de temperatura ambiente, radiación solar y velocidad de viento medidos durante el mes de agosto del mismo año a fin de analizar su comportamiento en la época más fría del año. Con este análisis se comprobó que ambas plantas necesitan calefacción auxiliar durante el invierno debido a que las áreas de colección solar por ganancia directa y los valores de aislación térmica son insuficientes para alcanzar el confort interior en forma pasiva.

Como resultado importante de este trabajo se determinó que las cargas de calefacción diarias del edificio estimadas con SIMEDIF pueden ser correlacionadas mediante regresión lineal con la temperatura media exterior. De esta forma, conociendo el clima de la zona puede determinarse cuánta energía auxiliar deberá entregarse por local para mantener su temperatura a 20 °C. En función de estas curvas se deduce que el edificio deberá ser calefaccionado en forma auxiliar siempre que la temperatura media exterior sea inferior a 18 °C.

REFERENCIAS

- Hernández A., (2002a), "PRELISE" – Un Novedoso y Práctico Programa de Evaluación Térmica de Edificios, *AVERMA, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 6 – N° 2, Sección 8, pág. 61 – 66.
- Hernández A., (2002b), Análisis de Estrategias Para el Diseño de Envoltentes de Construcciones Bioclimáticas en la Ciudad de Salta, *AVERMA, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 6 – N° 1, Sección 1, pág. 53 – 58.
- Flores S. y Lesino G., (2001), A new code for the hour-by-hour thermal behavior simulation of buildings. *Proceedings of Seventh International IBPSA Conference*, 75-82. Río de Janeiro, Brasil.
- Hernández A., (2005), Diseño y Evaluación Térmica Mediante PRELISE y SIMEDIF de un Edificio Residencial Ubicado en el Barrio Más Elevado de la Ciudad de Salta, *Revista AVERMA*, Vol. 9 - N° 1, Sección 5, pág. 31 - 36. Argentina.

ABSTRACT

In this work, the results of the monitoring and later computational simulation of the thermal behavior of a residential building constructed in Salta city are presented. The windows areas for solar direct gain and the values of thermal insulation are insufficient to reach the interior comfort under the meteorological conditions of the site. Then, the building should be heated with auxiliary energy during the whole winter and part of the spring. By means of SIMEDIF, a physical model of the building was obtained. It adjusts the monitored temperatures with an error of 1 °C. The daily heating loads necessary to maintain the building at 20 °C, all over the day, were determined (for zones) and lineal correlations that allow to determine this loads in function, exclusively, of the average external temperature were obtained. This building requires auxiliary heating whenever the average external temperature is less than 18 °C.

Key words: Buildings Monitoring, Computational Simulation, Thermal Behavior.