

ESTUDIO DE PROGRAMAS DE SIMULACIÓN TÉRMICA DE EDIFICIOS PARA EL CLIMA DE LA CIUDAD DE MONTEVIDEO: SIMEDIF, ARQUITROP Y SETI

Verónica Chauvie

Departamento de Clima y Confort en Arquitectura (DECCA) – Facultad de Arquitectura – Universidad de la República
Bulevar Artigas 1031, C.P. 11200 – Montevideo, Uruguay.
Teléfono: (5982) 400 1106 int 145, Fax.: (5982) 400 6063
E-mail: vchauvie@farq.edu.uy

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es la evaluación de tres programas de simulación térmica de edificios para el clima de la ciudad de Montevideo. El estudio compara las predicciones de los programas con los datos experimentales obtenidos del monitoreo de un prototipo. Se han estudiado tres programas: Simedif, programa de simulación detallada; y Arquitrop y Seti, dos programas de simulación simple basados en el método de la admitancia. Se presentan los resultados de la comparación entre las predicciones de los tres programas de simulación térmica y los datos medidos de un prototipo de un solo local situado en Montevideo. Los resultados muestran una razonable aproximación entre los datos experimentales y las predicciones del programa para Seti y Arquitrop. Los resultados de Simedif presentan una correspondencia muy superior con los datos medidos.

Palabras clave: programas de simulación térmica, evaluación

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enmarca en un proyecto de Iniciación a la Investigación financiado por la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) “Selección de programas de simulación para la predicción del comportamiento térmico de los edificios” desarrollado en el DECCA (Chauvie y Picción, 2003).

En Uruguay no existe información sistematizada en esta área por lo que el proyecto se propone cumplir una etapa necesaria a fin de sistematizar la descripción de objetivos y campos de aplicación de programas, descripción detallada de las habilidades, los insumos que requieren y los resultados que producen, y su evaluación, que lleve a la selección de programas aplicables a nuestro medio tanto a la investigación como en las etapas de diseño.

OBJETIVOS

Evaluación de los programas de simulación estudiados para las condicionantes del clima de la ciudad de Montevideo a través de la comparación con datos experimentales obtenidos de monitoreo de un prototipo.

Evaluación de los resultados obtenidos por los diferentes programas de simulación de acuerdo a su rango de aplicación.

METODOLOGÍA

La metodología aplicada en este trabajo comprende la realización de monitoreos en un prototipo y la aplicación de programas de simulación de comportamiento térmico al mismo prototipo. La evaluación de los resultados se fundamenta en los estudios de correlación de las predicciones de estos programas con los datos experimentales obtenidos a través de monitoreos, tomándose como parámetro de comparación la variación horaria de la temperatura del aire interior.

Descripción del prototipo a estudiar

El prototipo, de características geométricas simples, está conformado por un solo local rectangular de 3.90m x 2.58m y de 2.47m de altura, que funciona como oficina de un aserradero (fig.1).

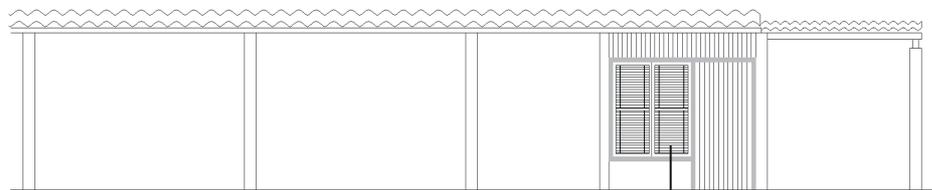
La cubierta, con leve pendiente hacia el NE, está conformada por una chapa de asbesto cemento, una cámara de aire y un cielorraso de PVC corrugado.

Las paredes están constituidas por un muro simple de bloque hueco de hormigón revocado en ambas caras y revestido en madera. Las paredes no poseen elementos estructurales (pilares o vigas) que puedan constituir puentes térmicos. El piso consta de una platea de hormigón armado sobre el cual se colocó un pavimento cerámico.

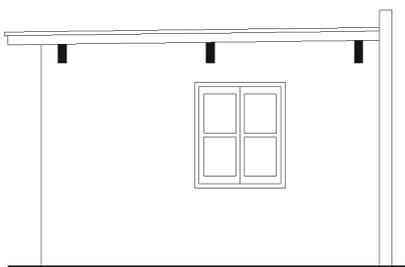
El local cuenta con dos ventanas de simple vidriado (V1 y V2). La ventana V1 cuenta con protección interior compuesta por venecianas de color claro, la V2 no cuenta con ningún tipo de protección solar. La oficina se comunica con el exterior a través de una puerta de madera.



FACHADA PRINCIPAL (NE)



FACHADA LATERAL (NO)



Ventana V1 con venecianas interiores de color claro

Situación climática de la ciudad de Montevideo

El prototipo a estudiar se ubica en la ciudad de Montevideo, situada al sur del Uruguay (34°58' latitud Sur, 56°12' longitud Oeste, y aproximadamente 20m sobre el nivel del mar). El clima del Uruguay es templado con dos períodos (frío y caluroso) bien diferenciados. En el norte del país, de influencia mediterránea, el período caluroso es más largo y tiene amplitudes térmicas mayores. En el sur del país, de influencia marítima, el período caluroso es más corto y las amplitudes térmicas son menores (tabla 1). En general, los valores altos de radiación solar en verano influyen en la temperatura de diseño, sobre todo en los planos más comprometidos para este periodo: plano horizontal y plano oeste. Las temperaturas medias en el período caluroso se acercan más a la zona de confort, no así las máximas medias, mientras que en el período frío se alejan considerablemente de ésta. El período caluroso se extiende del 23 de noviembre al 30 de marzo (127 días) y el período frío tiene una duración de 238 días.

Montevideo	t_x (°C)	t_{xm} (°C)	t_m (°C)	t_{nm} (°C)	t_n (°C)	A (°C)	HR prom (%)	Viento (dir - vel)	Lluvia prom (mm)	Nubosidad (décimos de cielo cubierto)
Enero	42.8	28.5	22.5	16.8	7.6	11.7	67	ESE 17	77	4.7
Julio	28.5	14.8	10.5	6.5	-5.0	8.3	81	NE 15	66	6.2
t_x : temperatura máxima absoluta t_{xm} : temperatura máxima media t_m : temperatura media t_{nm} : temperatura mínima media						t_n : temperatura mínima absoluta A : amplitud media HR : humedad relativa				

Tabla 1

Monitoreo

La existencia de ambos períodos (frío y caluroso) hace necesario que los estudios de simulación y monitoreo se lleven a cabo para ambos períodos de modo que las conclusiones de este trabajo sean representativas del clima de Montevideo.

Para el período caluroso, el monitoreo se realiza entre el 28 de diciembre hasta el 2 de enero de 2002 y para el período frío, entre el 22 de septiembre y el 18 de octubre; no fue posible llevar a cabo el monitoreo en días más representativos del período frío (julio o agosto).

En esta primera instancia de estudio el prototipo se monitoreó desocupado, a fin de poder controlar la mayoría de las variables. En estos días se permite la libre fluctuación de las temperaturas interior y exterior (con incidencia de radiación solar), sin incorporar ningún tipo de elemento que genere energía en el interior del local.

Los parámetros climáticos monitoreados son: temperatura de bulbo seco exterior, humedad relativa exterior, velocidad y dirección del viento y temperatura de bulbo seco interior y humedad relativa interior. Las mediciones de temperatura y humedad relativa fueron realizadas con intervalos de 15 minutos; de datos de viento en intervalos aproximados de 1 hora. No fue posible medir la velocidad de viento en el sitio en un intervalo más bajo para poder realizar una mejor integración horaria. Los instrumentos de medición de temperatura y humedad relativa fueron los sensores Hobo. Al no ser posible calibrar los piranómetros con los que cuenta el DECCA, la radiación solar no fue monitoreada, esta variable se estima a partir de datos de nubosidad y heliofania adquiridos a la Dirección Nacional de Meteorología (DNM).

Simulación

Los programas aplicados son: un programa de simulación detallada y dos programas de simulación simples basados en el método de la admitancia.

1- Simedif

El Simedif (Flores Larsen et al., 2001), desarrollado en el Instituto de Investigación en Energía No Convencional (INENCO), Universidad Nacional de Salta, es un programa de simulación detallada que simula el comportamiento térmico de edificios multizona durante uno o varios días por el método de las diferencias finitas teniendo en cuenta sistemas naturales y pasivos de acondicionamiento y ganancias internas.

Se simularon 4 días para el período frío y 4 días para el período caluroso. A fin de establecer las condiciones iniciales (temperatura inicial), se toma un día de medición previo, debido a que el edificio tiene poca masa. Como se cuenta con datos medidos de temperatura exterior se hace el promedio hora a hora y se ingresan estos datos al programa. En cuanto a la radiación solar se ingresa el total diario estimado a partir de datos de heliofania adquiridos a la D.N.M.

Para los coeficientes de transferencia por convección se han tomado los valores experimentales, recomendados por los autores del programa (S. Flores Larsen, G. Lesino, 2001): $6 \text{ W/m}^2\text{°C}$ para paredes y tabiques internos que no reciben radiación solar, $8 \text{ W/m}^2\text{°C}$ para paredes y tabiques internos que reciben radiación solar y para paredes y tabiques externos en contacto con el viento exterior, $10 \text{ W/m}^2\text{°C}$, este valor se calcula a partir de la velocidad media del viento (v), $h_v (\text{W/m}^2\text{°C}) = 2.8 + 3v$.

La presencia de las superficies techadas impiden el asoleamiento directo de la totalidad de las paredes sureste y suroeste por lo que el área de radiación es igual a cero; la pared noreste se ve afectada parcialmente por la superficie cubierta de chapa traslúcida por lo que el área de radiación se toma como variable de ajuste. También las renovaciones por hora se toma como variable de ajuste.

2- Arquitrop

El Arquitrop (Roriz y Basso, 1996), desarrollado en la Universidad Federal de San Carlos, Brasil, es un programa de simulación simple, basado en el método de la admitancia, que realiza la simulación de las temperaturas y de las ganancias y pérdidas térmicas de un sólo local a lo largo de 24 horas. El programa permite además calcular los consumos de calefacción y refrigeración, los cuales no se aplicaron en el presente estudio. Los días seleccionados para llevar a cabo la simulación térmica fueron un día correspondiente al invierno y otro al verano. Pertenecen a un período en que las condiciones climáticas se mantienen aproximadamente estables, ya que el programa no considera las condiciones antes y después del día seleccionado.

Antes de comenzar el ingreso de datos del edificio deben ingresarse a las bases de datos de clima y materiales de los cerramientos que componen la envolvente (si estos no se encuentran en la base de datos). El programa no posibilita el ingreso de datos horarios sino que deben ingresarse los promedios mensuales de cada parámetro climático (Roriz, 1996). Es por esto que se realiza el artificio de ingresar, en lugar de los datos mensuales, los valores correspondientes a los días simulados de tal manera que los datos de temperatura máxima absoluta, máxima media, mínima absoluta y mínima media, humedad relativa media y velocidad y de dirección del viento requeridos por el programa, correspondan a los datos monitoreados del día a simular. Los datos de nubosidad y de lluvia corresponden a los adquiridos a la DNM.

El programa no tiene forma de contemplar la situación de fachadas total o parcialmente en sombra, para tener en cuenta esta situación, se reduce el coeficiente de absorción. Para este programa el color de las superficies se determina en una escala de 1

a 5 siendo 1 colores blancos y reflejantes y 5 color negro oscuro; la escala se corresponde con valores de absortancias de 0.18, 0.36, 0.54, 0.72 y 0.9.

3- Seti

El Seti (Rivero y Echevarría, 1990), desarrollado en el DECCA, se programó en lenguaje Quickbasic en entorno DOS. Se trata de un programa simple basado en el método de la admitancia, que realiza la simulación de las temperaturas y de las ganancias y pérdidas térmicas de un sólo local a lo largo de 24 horas.

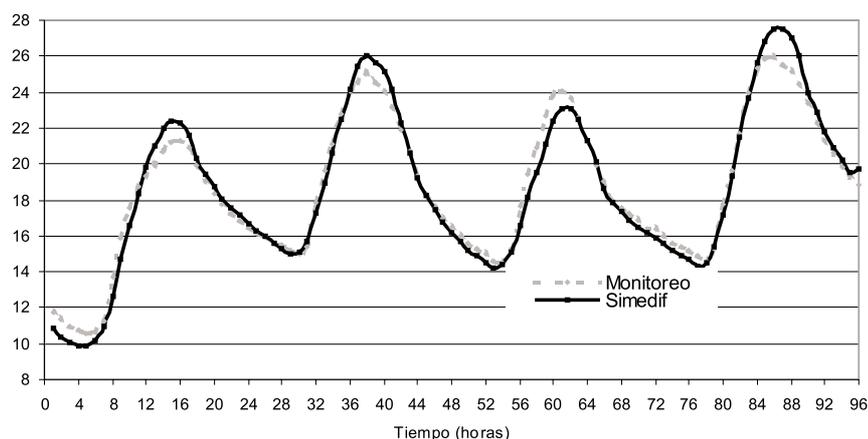
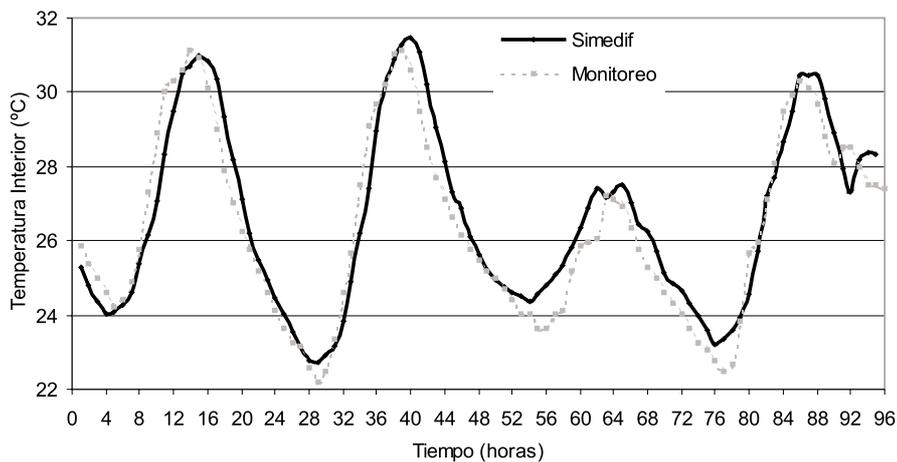
Los días a simular fueron seleccionados con el mismo criterio que el caso del programa Arquitrop. Al igual que el Arquitrop este programa no permite el ingreso de datos horarios de temperatura por lo cual se ingresaron los valores de máxima y mínima medidos (Danter, 1983) y los valores de nubosidad media son los adquiridos a la D.N.M. Posibilita, sin embargo, modificar los datos horarios de radiación solar estimados por el programa, de esta manera se contempla la existencia de obstrucciones modificando manualmente los valores de radiación solar.

RESULTADOS DE LOS PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

A continuación se comparan las predicciones de los tres programas con los datos medidos.

Simedif (fig.2 y 3)

En los estudios de evaluación empírica realizados para el Simedif, se observa una excelente correspondencia con la temperatura media, aproximadamente 0.5°C y muy buena correspondencia con las temperaturas máximas y mínimas, aproximadamente 1°C de diferencia. En general coinciden las horas de ocurrencia de temperaturas máximas y mínimas constatándose en algún caso desfasaje máximo de 1 hora.



Se aprecia una muy buena predicción de las temperaturas hora a hora. En más del 85% de estas predicciones se constatan diferencias menores a 1°C con relación a las temperaturas monitoreadas, siendo la diferencia máxima de aproximadamente 1.80 °C. La mayor divergencia se aprecia en el tercer día de simulación de verano, día de nubosidad alta que varió en forma aleatoria.

Arquitrop (fig.4 y 5)

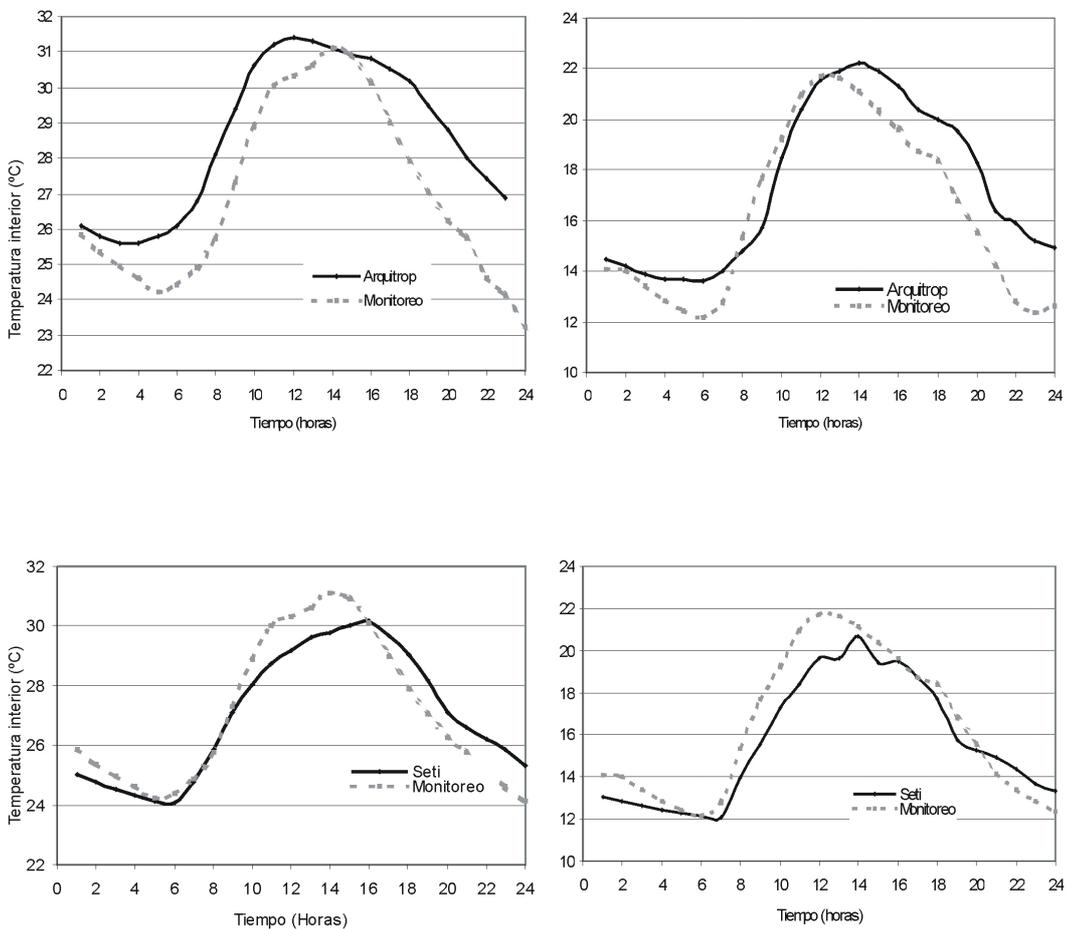
Para el programa Arquitrop se aprecia una buena correspondencia de las temperaturas medias, máximas y mínimas, con una diferencia máxima aproximadamente 1,5°C, siendo esta diferencia levemente menor en el período frío. Las horas de ocurrencia de temperatura máxima y mínima se desfasan 1 ó 2 horas.

Con relación a la variación horaria de las predicciones de temperatura del aire interior, entre un 70 y 80% de los valores difieren menos de 2°C con los valores monitoreados y en un 88% esta diferencia es menor a 3 °C. Hacia las últimas horas de la tarde se observa una marcada discrepancia en las predicciones de aproximadamente 3.5 °C tanto para el período frío como para el caluroso.

Seti (fig.6 y 7)

Para el Seti se aprecia una buena correspondencia de las temperaturas medias, máximas y mínimas, diferencia máxima aproximadamente 1 °C para ambos períodos. Existe un desfase máximo de 2 horas en la temperatura máxima del período frío.

Analizando los valores horarios se observa que, para el período caluroso, en el 67% de los valores la diferencia es menor a 1 °C, en el 100% de los casos la diferencia es menor a 2 °C. Para el período frío, en el 67% de los valores la diferencia es menor a 1 °C, en el 88% de los casos la diferencia es menor a 2 °C, no superando en ningún caso los 2.53 °C de diferencia.



ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

Los programas Arquitrop y Seti permiten, de acuerdo a los resultados obtenidos, una razonable aproximación a los datos medidos, considerando que su objetivo es dotar al proyectista de una herramienta de diseño para asistirlo en la evaluación de sus proyectos. Algunos investigadores (Matews, Richards, 1989) consideran las predicciones de programas simples como satisfactorias cuando, en las comparaciones hora a hora, un 80% de las predicciones se encuentran dentro de los 2 °C de

diferencia con los valores monitoreados y el 95% de las mismas deben diferir menos de 3°C. El Seti se ajusta a este criterio mientras que el Arqitrop presenta una razonable aproximación al mismo. Son programas cuyo ingreso de datos es relativamente rápido y sencillo, reduce las posibilidades de error. Pero son menos precisos y no permiten predecir el comportamiento del edificio en su conjunto, por eso son recomendados para las etapas primarias de diseño o cuando se quiere tener una idea primaria global del desempeño térmico del edificio. Para el caso del Seti, que está escrito en entorno DOS, es necesario mejorar la interface con el usuario en entorno windows más amigable, cualidad importante sobre todo si el programa es utilizado por usuarios no experimentados.

Para este estudio los resultados del Simedif mostraron ser más exactos, es decir, presentan una mayor correspondencia con los datos medidos. Simedif permite obtener la información con mucho más detalle ya que proporciona la temperatura de cada local del edificio estudiado como respuesta a una secuencia de días (soleados o parcialmente nublados o nublados) y permite el estudio de edificios con varios locales (multizona), pero el ingreso de datos es más complejo.

Este programa es aplicable también al proceso de diseño. En programas edificios más complejos los programas simples no son aplicables, por ejemplo, para locales adyacentes con temperaturas muy distintas los programas Arqitrop y Seti podrían producir resultados bastante divergentes, mientras que el Simedif es capaz de simularlo con resultados más ajustados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chauvie, V., Picción, A. (2001-2003). Selección de programas de simulación para la predicción del comportamiento térmico de edificios. Beca de iniciación a la investigación de la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC). Universidad de la República.
- Danter E. (1983) Thermal design of buildings: prediction of building temperatures and heating/cooling loads using the admittance method. Building Research Establishment (BRE). Department of the Environment.
- Echevarría C., Rivero R. (1989) Programa Seti. Departamento de Clima y Confort en Arquitectura (DECCA).
- Eppel, H. (1995) Empirical validation of three thermal simulation programs using data from a passive solar building. Thesis. Montfort University.
- Esteves, J.C., Fernández Llano, M. Basso, J. Mitchel Y.C. De Rosa. (1994). Simulación térmica de edificios: aplicación de los modelos Quick y Simedif. Asades Rosario.
- Flores Larsen, S., Lesino, G., Saravia, L., Alia, D. (2001). Simedif para windows. INENCO. Universidad Nacional de Salta.
- Flores Larsen, S., Hernández A., Lesino G., Salvo N. (2001) Measurement & simulation of the thermal behavior of a thermal massive building with passive solar conditioning. Building Simulation 2001. Seventh International IBPSA Conference Rio de Janeiro..
- Flores Larsen, S., Lesino G. (2001). A new code for the hour-by-hour thermal behavior simulation of buildings. Building Simulation 2001 Seventh International IBPSA Conference Rio de Janeiro. Agosto 2001.
- Jensen S. (1995) Validation of building energy simulation programs: a methodology. Energy and buildings. Vol 22.
- Lomas, K., Eppel, H. (1992). Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs. Energy and buildings.
- Mathews, E. Richards, P. (1989). A tool for predicting hourly air temperatures and sensible energy loads in buildings at sketch design stage. Energy and Buildings, vol 14.
- Roriz M., Basso A. Arqitrop (1996). Confort térmico y economía de energía en las edificaciones. Sistema integrado de rutinas y banco de datos. Versión 3.0. Brasil.

ABSTRACT

The main objective of the present work is the validation of three thermal building simulation programs for the climate of the city of Montevideo. This research compares the programs predictions with the experimental data obtained from the monitoring of a prototype.

Three programs have been studied: Simedif, a detailed simulation program; and Arqitrop and Seti, two simplified programs, both based on the admittance method.

The usefulness of the three programs was established by comparing its predictions with actual field data from a single-room prototype situated in Montevideo.

The results show a reasonable comparison between experimental data and computer predictions for Seti and Arqitrop. A much better correlation is observed for Simedif.

Key words: thermal simulation programs, validation