

# APLICACION DEL PSTAR AL ANALISIS DE LA PERFORMANCE TERMICA DE UN EDIFICIO PESADO

Alejandro Hernández <sup>1</sup> y Graciela Lesino <sup>2</sup>

INENCO, Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional

Universidad Nacional de Salta - CONICET

Calle Buenos Aires N° 177. (4400) Salta.

TE/FAX (087)-251034

## Resumen

El método PSTAR [1] fue desarrollado para edificios livianos (generalmente de madera) típicos de los Estados Unidos de América, de allí que los períodos de monitoreo consten de pocos días dado que no existen masas grandes que deban entrar en régimen. Dada la relativa simplicidad involucrada en el proceso de medida resultaba interesante saber si podía adaptarse a edificios masivos como los nuestros.

En el presente trabajo se aplicó este método a un edificio convencional de nuestro país y se presentan los resultados de una serie de seis días de monitoreo y los gráficos de los flujos considerados "primarios". Los valores de los parámetros que renormalizan estos flujos indican una fuerte subestimación de los flujos acumulados por las masas.

Se empleó el programa SIMEDIF para la determinación de la constante de tiempo del edificio acusando valores del orden del triple de los correspondientes al prototipo liviano evidenciando así su mayor masa.

## Descripción del edificio

El edificio, que data del año 1953, está ubicado a 1 km al sureste de la plaza central de la ciudad de Salta por lo que su ubicación geográfica y clima coinciden con los del prototipo liviano [2].

La estructura consta de mampostería de ladrillo cocido y revoque de mortero, encadenado antisísmico de 0,2 m de altura y ancho de acuerdo al muro, techo de placas acanaladas de fibrocemento a dos aguas que descargan hacia la medianera central, paralela al muro norte y contrapiso de 0,1 m de espesor cubierto con baldosas de cemento. No existe aislamiento térmico ni cielorraso. El azimut del muro norte es de  $172^\circ$  ( $8^\circ$  E) aproximadamente.

El edificio posee seis locales interiores y un lavadero techado según se observa en la figura 1 que corresponde a una escala 1:100.

Los muros exteriores son de 0,3 m de espesor (salvo la medianera entre el lavadero y el dormitorio que da al este que es de 0,16 m) y los interiores de 0,16 m de espesor.

<sup>1</sup>Becario de perfeccionamiento de CONICET

<sup>2</sup>Investigador de CONICET

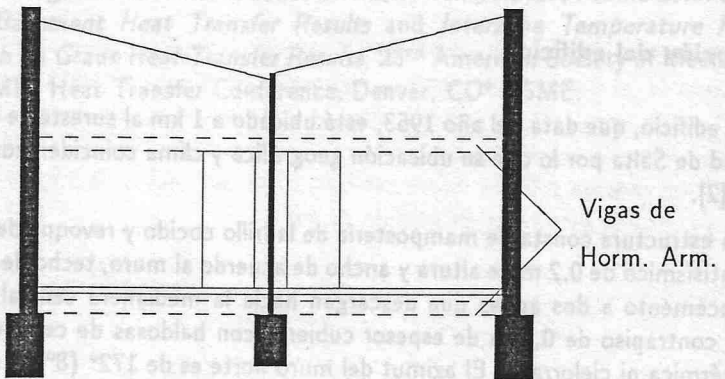
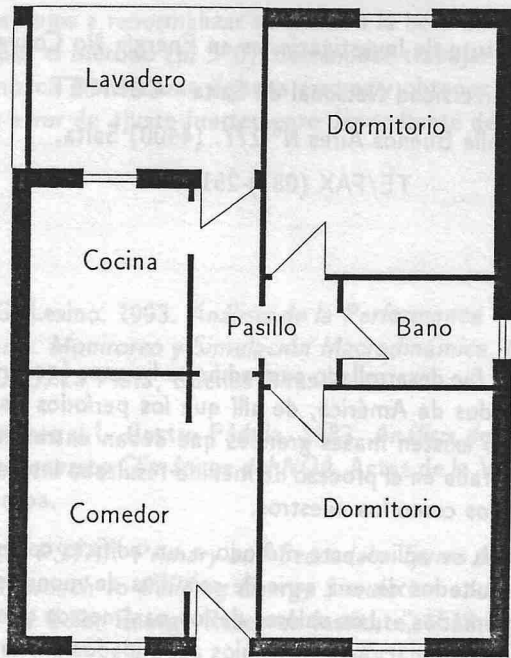


Figura 1: Planta y corte del edificio pesado

Los cerramientos constan de una puerta (salvo la cocina y la comunicación entre el comedor y el pasillo que tienen sólo el marco) por local y una ventana en carpintería de madera de dos hojas con vidrios simples en la cocina y el baño y tres hojas en los dormitorios y el comedor.

## Protocolo de monitoreo

Debido a que este edificio posee más locales que el liviano, el protocolo debe durar más días a fin de poder calefaccionar los ambientes más importantes.

Así, se planificó monitorear una noche de iniciación, un día de datos de radiación, una noche de calefacción simultánea de dos locales con dos estufas de 1200 W por local, otro día con datos de radiación, una noche de enfriamiento, nuevos datos diurnos, una noche de calefacción de los otros dos locales y finalmente un último día con datos diurnos.

Los locales seleccionados para el calentamiento fueron el comedor y la cocina sobre el ala norte y los dos dormitorios sobre el ala sur.

Al aplicar este protocolo la carga eléctrica durante el calentamiento resultó tan grande que se quemaron los fusibles a media noche. A partir de entonces se calefaccionó un local por vez con dos estufas de 1200 W c/u aumentándose entonces el período de monitoreo en dos noches y dos días.

El orden de calefacción fue el siguiente:

1. Cocina
2. Dormitorio oeste
3. Dormitorio este
4. Comedor

Se eligió este orden a fin de obtener buenos saltos térmicos entre locales próximos.

## El equipo de medición

Básicamente, el equipo de medida consta de los mismos instrumentos que en la experiencia anterior, agregándose en esta oportunidad cuatro sensores de temperatura LM335. Las variables monitoreadas fueron:

- Seis temperaturas interiores, dos temperaturas exteriores (al norte y al sur) y la temperatura del lavadero considerada como externa para la cocina y el dormitorio este.
- Dos radiaciones, las mismas que en el edificio liviano.
- Energía entregada por dos estufas de 1200 W cada una.
- Velocidad del viento.

- Humedad relativa mediante registros tridiurnos del psicrómetro manual.

Así, se monitorearon 13 de los 16 canales del datalogger.

### **Cálculo de admitancias**

Para la modelización de los muros se consideró que por cada  $m^2$ , el 69% corresponde a ladrillo y el 31% a argamasa. Con el programa ADMIT se evaluaron las admitancias térmicas por muros, pisos y cerramientos.

Las ganancias solares directas por las ventanas del comedor y los dormitorios se asumieron como ganancias internas de calor por el aire interior sin considerar su acumulación en pisos y muros debido a que el área vidriada por local es pequeña. El cálculo de las admitancias solares por muros es idéntico al del prototipo liviano.

Debido a que el método empleado para el cálculo de los flujos al suelo fue desarrollado para edificios unizonaes [3], produciéndose las pérdidas más importantes a lo largo del perímetro, se estimaron estos flujos a partir del correspondiente a un edificio de una sola zona con el perímetro y el área del monitoreado, ponderando las pérdidas de cada local con su perímetro externo y las acumulaciones con su área.

### **Estimación de infiltraciones**

Debido a la falta de disponibilidad del equipo necesario para la realización de ensayos de presurización en edificios grandes, se estimaron las infiltraciones en base a los valores medidos en el prototipo liviano. En este sentido se supuso para el edificio pesado un número igual de renovaciones de aire por hora que para el liviano, estimación que deberá mejorarse en el futuro.

La estimación de estas infiltraciones es una de las fuentes más peligrosas de error puesto que dependen fuertemente del tamaño de las rendijas por donde pasa el aire y de la velocidad del viento circundante.

### **Estimación de las pérdidas por radiación al cielo**

El cálculo de estas pérdidas se efectuó en manera similar a la del prototipo, estimándose la temperatura de la cubierta de fibrocemento mediante su balance de energía.

### **Ecuaciones de balance de energía**

Dado que el edificio consta de seis locales, en cada paso de tiempo deben resolverse simultáneamente seis ecuaciones de balance energético del tipo de las del prototipo liviano. El comedor y los dormitorios poseen ganancias internas provenientes de la radiación solar que entra por sus ventanas mientras que en el pasillo el equipo de monitoreo genera una ganancia interna de  $\approx 0,07$  MJ/h.

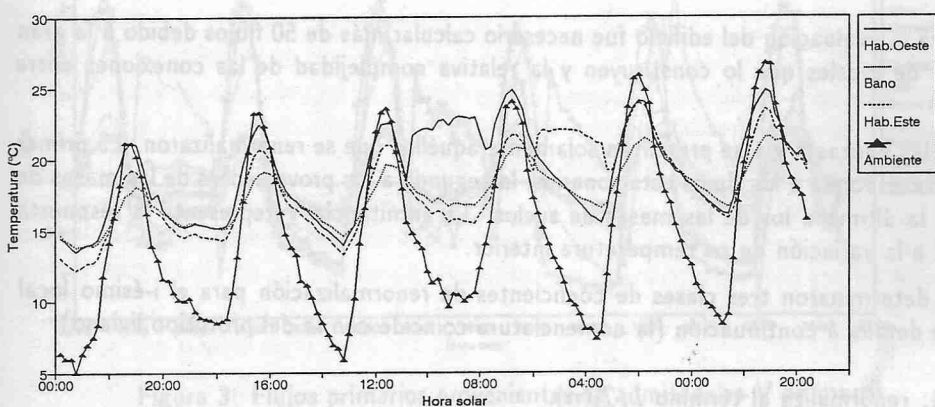
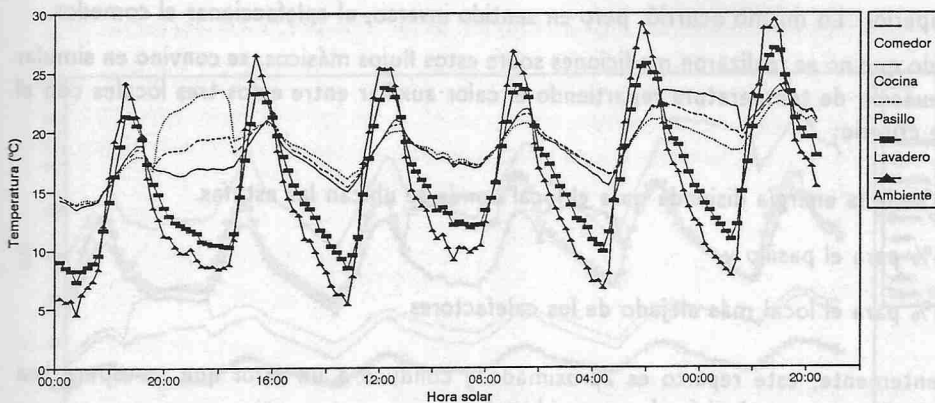


Figura 2: Temperaturas medidas en el edificio pesado.

### Datos medidos

En la figura 2 se presentan los resultados correspondientes al período 13 al 18 de Mayo seleccionado para la evaluación dada la regularidad en el funcionamiento de todos los aparatos y la puesta a punto del protocolo. La temperatura ambiente de la gráfica superior fue medida sobre el muro norte y la de la inferior sobre el muro sur. En estos gráficos se observa claramente la rápida disminución de la temperatura en los locales luego de terminar el calentamiento. Los días estuvieron, en general, soleados con algo de bruma durante las primeras horas de la mañana.

El monitoreo se llevó a cabo con las puertas de los dormitorios y el baño cerradas a fin de disminuir los flujos máxicos desde estos locales. Ahora bien, las aberturas de comunicación entre el comedor, el pasillo y la cocina no disponen de cerramientos por lo que al calefaccionar esta última, la diferencia de densidades del aire generó un loop convectivo que elevó la temperatura de los otros dos ambientes según se aprecia en la

figura superior. Lo mismo ocurrió, pero en sentido inverso, al calefaccionar el comedor.

Dado que no se realizaron mediciones sobre estos flujos máxicos, se convino en simular dicha elevación de temperatura repartiendo el calor auxiliar entre estos tres locales con el siguiente criterio:

- 50% de la energía disipada para el local donde se ubican las estufas.
- 35% para el pasillo y
- 15% para el local más alejado de los calefactores.

Evidentemente, este reparto es aproximado y conduce a un error que se espera sea menor que el que se produciría al no considerarlo.

### Renormalización de los flujos primarios

Para la evaluación del edificio fue necesario calcular más de 50 flujos debido a la gran cantidad de locales que lo constituyen y la relativa complejidad de las conexiones entre ellos.

En las figuras 3 y 4 se presentan solamente aquéllos que se renormalizaron. La primer gráfica corresponde a los flujos estacionarios, la segunda a los provenientes de las masas de muros y la última a los de las masas de suelos. La admitancia  $V$  representa la respuesta del local a la variación de su temperatura interior.

Se determinaron tres clases de coeficientes de renormalización para el  $i$ -ésimo local según se detalla a continuación (la nomenclatura coincide con la del prototipo liviano):

1. **p1:** renormaliza al término  $L_i T_i(n)$ .
2. **p2:** renormaliza al término  $Q_{i,i}^{acum} + Q_{i,i}^{acum.suelo}$ .
3. **p3:** renormaliza al término  $S_{i,T} I_{i,T}$ .

Procediendo con la renormalización sobre todo el período de monitoreo, se obtuvieron los valores de la Tabla 1.

Local	p1	p2	p3
Pasillo	0,8034	3,1697	—
Comedor	0,9721	—	—
Cocina	0,9579	3,8981	—
Dorm. Oeste	0,9206	3,8292	—
Baño	0,9171	3,9819	0,7407
Dorm. Este	0,9048	3,7797	—

Tabla 1: Coeficientes de renormalización.

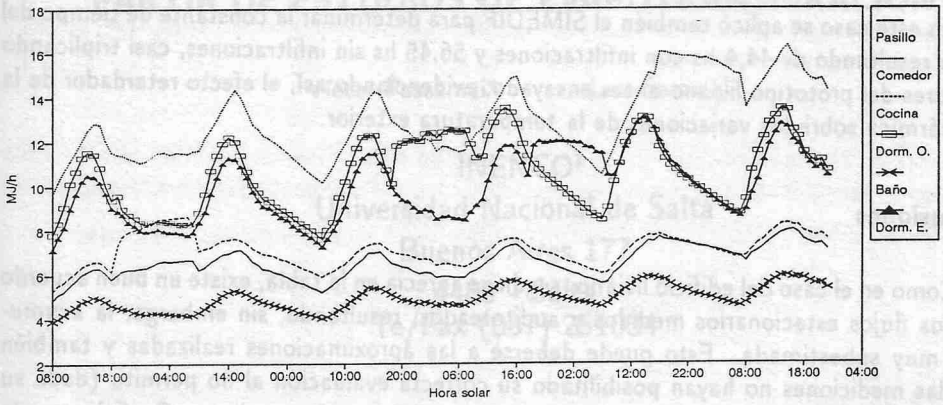


Figura 3: Flujos primarios provenientes de admittancias V de muros.

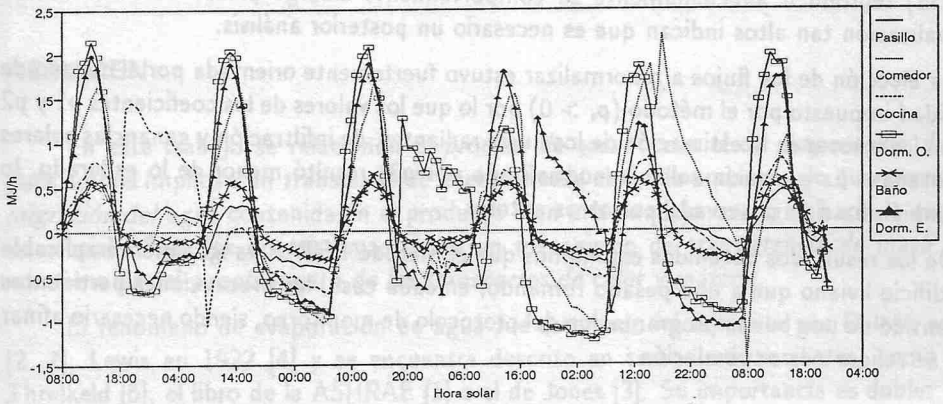


Figura 4: Flujos primarios provenientes de admittancias V de suelos.

## Cálculos con SIMEDIF

En este caso se aplicó también el SIMEDIF para determinar la constante de tiempo del edificio resultando de 44,4 hs con infiltraciones y 56,45 hs sin infiltraciones, casi triplicando los valores del prototipo liviano antes ensayado, evidenciando así, el efecto retardador de la masa térmica sobre las variaciones de la temperatura exterior.

## Conclusiones

Como en el caso del edificio liviano, según se aprecia en la tabla, existe un buen acuerdo entre los flujos estacionarios medidos y auditoreados, resultando, sin embargo, la acumulación muy subestimada. Esto puede deberse a las aproximaciones realizadas y también a que las mediciones no hayan posibilitado su correcta evaluación al no permitir (dada su brevedad) reproducir adecuadamente su comportamiento a largo plazo. Coeficientes de renormalización tan altos indican que es necesario un posterior análisis.

La elección de los flujos a renormalizar estuvo fuertemente orientada por el criterio de estabilidad impuesto por el método ( $p_i > 0$ ) por lo que los valores de los coeficientes  $p_1$  y  $p_2$  incluyen los errores en la estimación de los flujos radiantes, de infiltración y ganancias solares por ventanas. La ganancia solar (renormalizada por  $p_3$ ) resultó menor de lo esperado, lo que también ha sido observado por otros autores.

De los resultados obtenidos estimamos que el método PSTAR es igualmente aplicable a un edificio liviano que a uno pesado tomando, en cada caso, las precauciones pertinentes en el sentido de una buena programación del protocolo de monitoreo, siendo necesario afinar lo que se refiere a la acumulación.

## REFERENCIAS

1. K. Subbarao, 1988, *PSTAR—Primary and Secondary Terms Analysis and Renormalization: A Unified Approach to Building Energy Simulation and Short-Term Monitoring*, Technical Report of Solar Energy Research Institute, 1617 Cole Boulevard, Golden, CO.
2. A. Hernández y G. Lesino, 1993. *Análisis de la Performance Térmica de un Prototipo de Vivienda Liviana: Monitoreo y Simulación Macrodinámica. Parte I*. XVI Reunión de Trabajo de ASADES, La Plata, Buenos Aires.
3. M. Krarti, D. Claridge and J. Kreider, 1985, *Interzone Temperature Profile Estimation—Below Grade Basement Heat Transfer Results and Interzone Temperature Profile Estimation—Slab on Grade Heat Transfer Results*, 23<sup>rd</sup> American Society of Mechanical Engineers (ASME) Heat Transfer Conference, Denver, CO. ASME.