

EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO TERMICO DE MUROS DE CERRAMIENTO EN LA REGION NEA MEDIANTE “SIMUSOL”

Gallipoliti¹ V. A, Gea² M. D, Alías¹ H. M, Sogari³ C. N; Jacobo¹ G. J.

¹Área de la Tecnología. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional del Nordeste Campus Resistencia – Av. Las Heras 727 – 3500 Resistencia – Chaco – Argentina Tel: (03722) 425573 - e-mail: angelinag2@arnet.com.ar / heralias@arg.unne.edu.ar / gjjacobo@arg.unne.edu.ar

²INENCO, UNSa- CONICET: Instituto de Investigación en Energías No Convencionales – Universidad Nacional de Salta- Av. Bolivia 5150 C.P. 4400- Salta Tel – Fax: 0387-4255489 e-mail: geam@unsa.edu.ar

³GER- Grupo de Energías Renovables – FaCENA- UNNE- Av. Libertad 5460- 3400 Corrientes- Tel: +54 3783 473931 / Fax: +54 3783 473930 / e-mail: noemi_fisica@yahoo.com.ar

RESUMEN: Se realizó la simulación numérica de veinticinco muros con el Programa SIMUSOL. Algunos de dichos muros representan tipologías de uso masivo en emprendimientos constructivos de la Región Nordeste de Argentina (NEA), en tanto que otros constituyen soluciones menos económicas, aunque optimizadas higrotérmicamente. La simulación se realizó para tener una visión más particular del desempeño teórico de dichos muros, en función del comportamiento térmico de sus elementos constitutivos y de las particularidades e incidencias del diseño tecnológico en dicho desempeño. Los tipos de cerramientos verticales cuyas tecnologías constructivas son diferentes, exhiben comportamientos térmicos también diferentes, lo que permitirá potenciar los resultados obtenidos con el simulador. El Programa SIMUSOL es un software de uso libre, creado en el INENCO (Instituto de Energías No convencionales), CONICET, en la Universidad Nacional de Salta. También se evalúa la utilización del simulador como herramienta útil para otros posibles campos de aplicación dentro de la edificación.

Palabras Claves: Simulación - SIMUSOL –Muros – Comportamiento térmico - Transmitancia térmica

1. INTRODUCCIÓN - ANTECEDENTES

Simusol es un programa que facilita la descripción de circuitos y su simulación numérica. Fue creado inicialmente para el estudio de sistemas solares a parámetros concentrados, desde el punto de vista térmico. Pero en la actualidad es utilizado para el estudio de otros sistemas como los eléctricos y/o mezcla de sistemas diferentes.(Alía de Saravia y Saravia, 2001) A diferencia de otros programas utilizados actualmente en Arquitectura como el SIMEDIF, TRANSYS, entre otros y que han obtenido resultados muy satisfactorios, Simusol se presenta, en este ocasión, como una alternativa diferente, posible para aplicaciones en áreas de la construcción, las que se pretenden evaluar en este trabajo.

Los sistemas que se estudian corrientemente como la masa de cobre o una masa de agua, se caracterizan por parámetros de una sola variable de interés como es la temperatura. Las variaciones posibles de la misma en estos sistemas son muy pequeñas por lo que se toman como un parámetro concentrado para su estudio. Para el caso de los muros o paredes consideramos sistemas extensos ya que en ellos se produce una distribución continua de temperaturas. Se divide en múltiples partes de manera que cada una de ellas sea lo suficientemente pequeña para que ser considerada como un elemento concentrado. Para el balance energético de cada elemento, Simusol planteara un conjunto de n ecuaciones cuya solución permitirá determinar la temperatura en cada elemento. La ecuación para el elemento i tendrá en cuenta: la masa del elemento i , la que acumula calor; el flujo de energía conductivo desde el elemento $i-1$ al i , y el flujo de energía conductivo que va desde el elemento i al $i+1$. la suma de los tres únicos aportes debe ser cero:

$$k.A.(T_{i-1} - T_i)/e + k.A.(T_{i+1} - T_i)/e = cp.A.e. \rho.\Delta T_i \quad (1)$$

Se contó con información de un trabajo previo de Alías y Jacobo (1997) de tipologías de muros comúnmente usadas en la región. Se analizaron los aspectos técnicos y sus propiedades físicas: densidad, calor específico, conductividad, etc. También valores de espesores mas usados, transmitancia térmica, niveles de construcción y costos asociados. Se consultaron estudios previos referentes a trabajos realizados por los investigadores citados sobre las mismas unidades de análisis (UA): *Estudio teórico y análisis de las ganancias solares a través de las UA* y *Estudio teórico del comportamiento térmico de las UA aplicando mecanismos de control* (revisión Normas IRAM 11.605/95) *para la zona bioambiental I (a y b)* (Alías y Jacobo, 2003). Por otra parte, se realizó un avance de este trabajo en *Evaluación del comportamiento térmico de componentes constructivos en muros de cerramientos usuales en la región NEA con programa simulador* (Gallipoliti, V. A. et al 2007). Esta previsto realizar mediciones experimentales en los que se verificarán los comportamientos de estos muros expuestos a las temperaturas de la región. Para este trabajo se obtuvieron datos técnicos y constructivos de 25 tipos de cerramientos del NEA, los que se agrupan en la Tabla I que a continuación se expone.

Referencias	Tipología de muro
1	Muro simple ladrillo visto 0,15
2	Muro simple lad. visto 0,20
3	Muro simple lad. visto 0,30
4	Muro simple ladrillo común revoc.0,15
5	Muro simple lad. común revoc.0,20
6	Muro simple lad. común revoc.0,30
7	Muro simple ladrillo hueco.0,20
8	Muro simple lad. hueco 0,15
9	Muro doble mixto c/C.A.(exterior lad. común)
10	Muro doble lad. común c/C.A.
11	Muro doble mixto c/C.A. (exterior lad. hueco)
12	Muro doble lad.hueco c/C.A.
13	Muro doble lad. común c/C.A.rellena fibra vidrio
14	Muro doble mixto c/C.A.rellena poliest. expandido
15	Muro doble lad. común c/C.A.rellena poliest. exp.
16	Muro doble mixto c/C.A.rellena poliest. exp.
17	Muro doble lad.hueco c/C.A.rellena poliest. exp.
18	Muro doble mixto sin C.A. (ext:lad. común)
19	Muro doble lad. común visto sin C.A.
20	Muro doble mixto sin C.A. (ext:lad. hueco revoc.)
21	Muro doble lad. hueco sin C.A.
22	Cerramiento panel de madera
23	Muro bloques H° 0,20
24	Muro bloques H° 0,20 relleno poliest. exp.
25	Muro bloques H° 0,20 relleno fibra vidrio

Tabla I: Tipos de muros simulados con SIMUSOL. En color azul se destacan las tipologías de las cuales se presentan aquí los gráficos arrojados por el Programa SIMUSOL. Las demás, si bien se han simulado, por cuestiones de espacio –y al no haber arrojado diferencias muy significativas en cuanto a desempeño térmico- no se exponen gráficamente, si bien se comentan los resultados obtenidos.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Modelo y Simulación: Para la utilización del Programa Simusol, cada sistema a analizar, en este caso una pared, deberá quedar definido por un cierto número finito de temperaturas y los elementos que lo forman estarán en contacto con pares de temperatura y serán capaces de transmitir energía entre ellas. El sistema estará representado por una *red* de elementos que une nodos de temperatura. Esta red recibe el nombre de “*modelo del sistema*” Además de conocer la *red*, se deberán dar un conjunto de valores que determinan las propiedades de los elementos. Todos estos valores se introducen mediante un conjunto de “*cuadros*”, cada uno con su nombre identificatorio. Finalmente, una vez terminado el cálculo, Simusol entregará gráficos de la variación de las variables de interés y almacenará los resultados en archivos de texto usables para su análisis posterior.

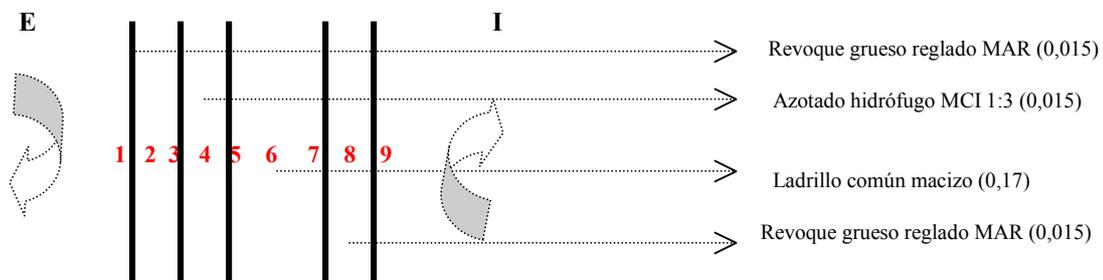


Figura 1: Ubicación de los Nodos de Temperatura dentro del muro simple de ladrillo revocado en ambos paramentos

Para la elaboración del diagrama representativo con el que trabaja Simusol, se tomó cada uno de los dos muros y se ubicaron tantos puntos en su interior como *nodos de temperaturas* fueran necesarios para un mejor análisis. La transmisión del calor se simula con *resistencias conductivas*, en el interior del muro y con *resistencias convectivas* en las superficies del muro que tienen contacto con el aire (exterior e interior), conectadas a los nodos de temperaturas. Se prefirió colocar por lo menos un nodo en cada tipo de material que componía el cerramiento, de modo de poder visualizar la contribución de todos y cada uno de ellos. Por ejemplo, para el caso del muro simple de ladrillo revocado en ambos paramentos, consideramos *nodos de temperatura* en el exterior de la superficie de pared externa (1), otro en el interior del revoque (2), junta entre revoque y el azotado hidrófugo (3), en el interior del azotado (4), en la junta del hidrófugo con ladrillo (5), en el material del ladrillo (6), junta entre ladrillo y revoque (7), en el interior del revoque interno (8), y finalmente, en el exterior de la pared interior (9). En la figura 1 se esquematiza el muro con la ubicación de los mismos, comenzando desde el exterior hacia el interior de un recinto determinado. Las flechas gruesas indican la forma en que el aire “lame” las superficies externas e internas.

Como en nuestro ejemplo la pared de ladrillos revocada presenta tres tipos de materiales distintos (revoque grueso reglado, azotado hidrófugo y ladrillo común macizo), más el revoque grueso que se repite, en el modelo del circuito aparecerán 4 acumuladores que sintetizarán las masas de esos elementos, C2-C4-C6 y C8. En el cuadro DATOS se colocan la masa térmica, las fuentes de temperaturas, que para la externa fueron de valores variables (Tabla 2 en Cuadro) y la temperatura interna de 0°C. En este cuadro también se colocan los datos de las resistencias conductivas y convectivas. Para el caso de las

resistencias conductivas (R12, R23, R34, R45, R56, R67, R78 y R89), se fija el área (1 m²) de pared plana, el espesor del elemento (m) y la conductividad térmica W/ (m.°C) En el cuadro INICIALES el programa exige que se den valores iniciales de temperatura a los acumuladores. En el cuadro TIEMPO, se fija el tiempo de duración de la simulación y en el cuadro RESULTADOS se escriben los nombres de las variables que interesen. En este caso se solicitó los valores de temperaturas en todos los nodos (del 1 al 9) y flujos de calor en las resistencias RE1, R56 y R91.

3. RESULTADOS

Por cuestiones de espacio, si bien se comentarán los resultados obtenidos para la totalidad del conjunto de UA simuladas, sólo se expondrán los gráficos de resultados obtenidos para algunas de dichas UA.

3.1. Muros simples de ladrillo común visto

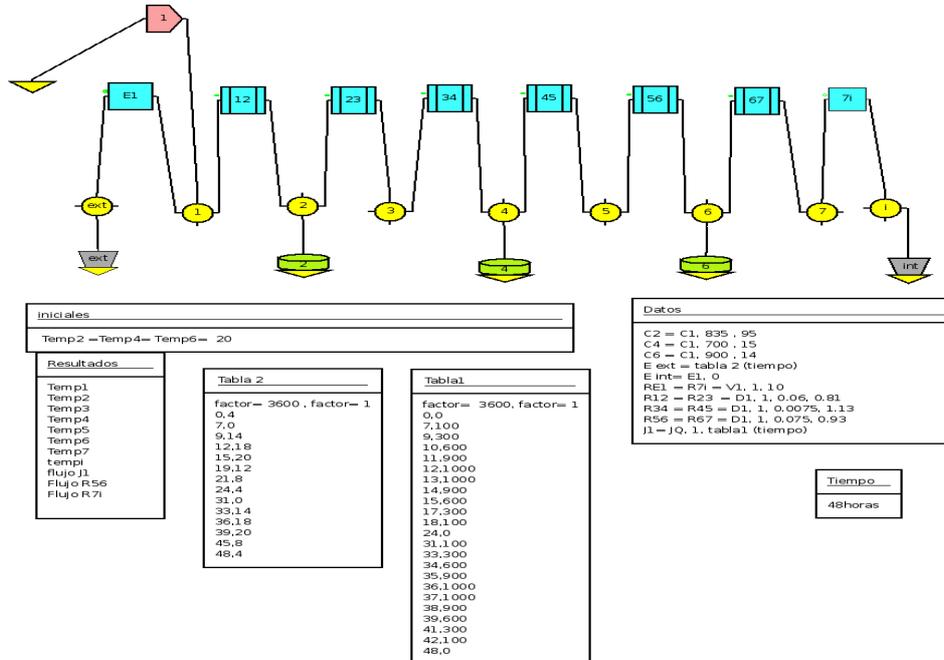
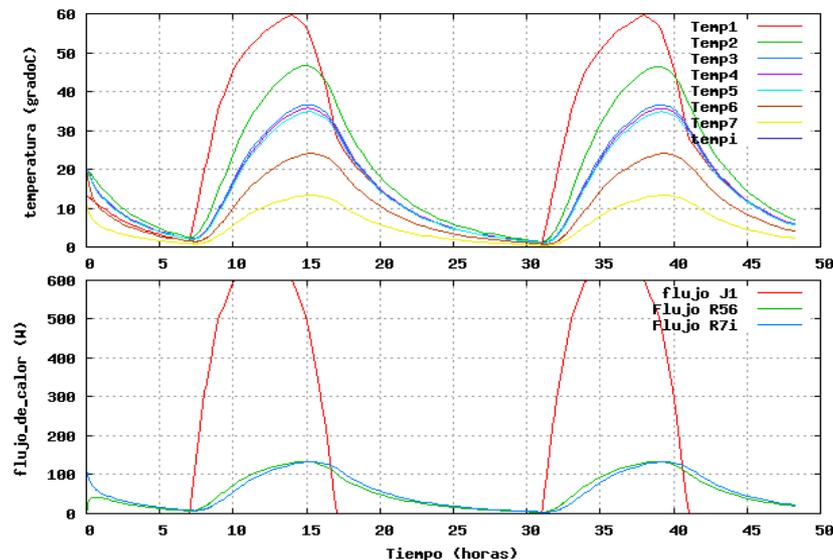


Figura 2: Esquema de muro y circuito para Simulor



Figura 3: Ubicación de los Nodos de Temperatura dentro del muro simple de ladrillo común visto



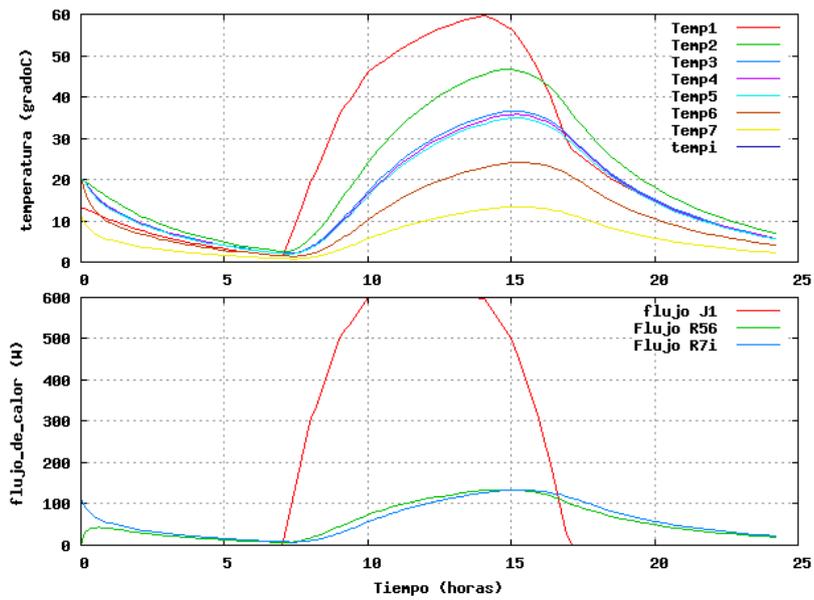


Figura 4: Gráficos de temperaturas en cada componente del muro y flujos de calor entre algunos de ellos. Los dos primeros corresponden a 48 hs. y los dos finales a 24 hs.

3.2. Muro simple de ladrillo común macizo revocado en ambos paramentos

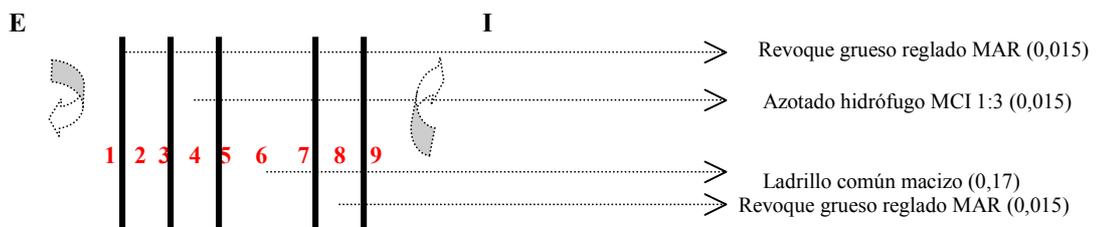
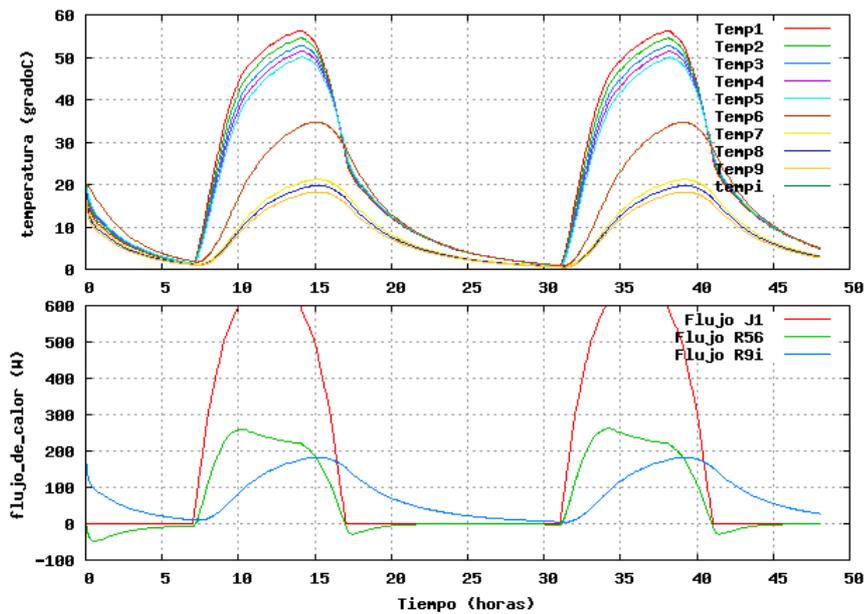


Figura 5: Ubicación de los Nodos de Temperatura dentro del muro simple de ladrillo revocado en ambos paramentos.



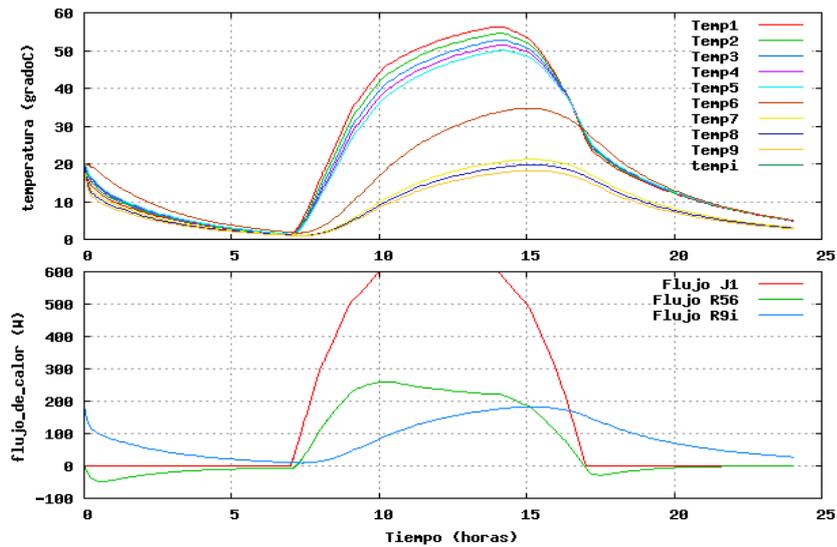


Figura 6: Gráficos de temperaturas en cada componente del muro revocado y flujos de calor entre algunos de ellos. Los dos primeros corresponden a 48 hs. y los otros dos finales a 24 hs.

Los muros simples de ladrillos comunes, al estar revocados en ambas caras, suprimen la mayor absorción de calor por color exterior oscuro. No obstante, en espesores de 0,15 y 0,20m., que son los usuales en las construcciones de Corrientes y Resistencia, y en general en del NEA, no resultan plenamente satisfactorios desde el punto de vista térmico.

3.3. Ladrillos cerámicos huecos. Corresponde el mismo esquema de nodos de Temperatura y circuito que para los muros simples de ladrillo revocado en ambos paramentos (Ladrillos comunes)

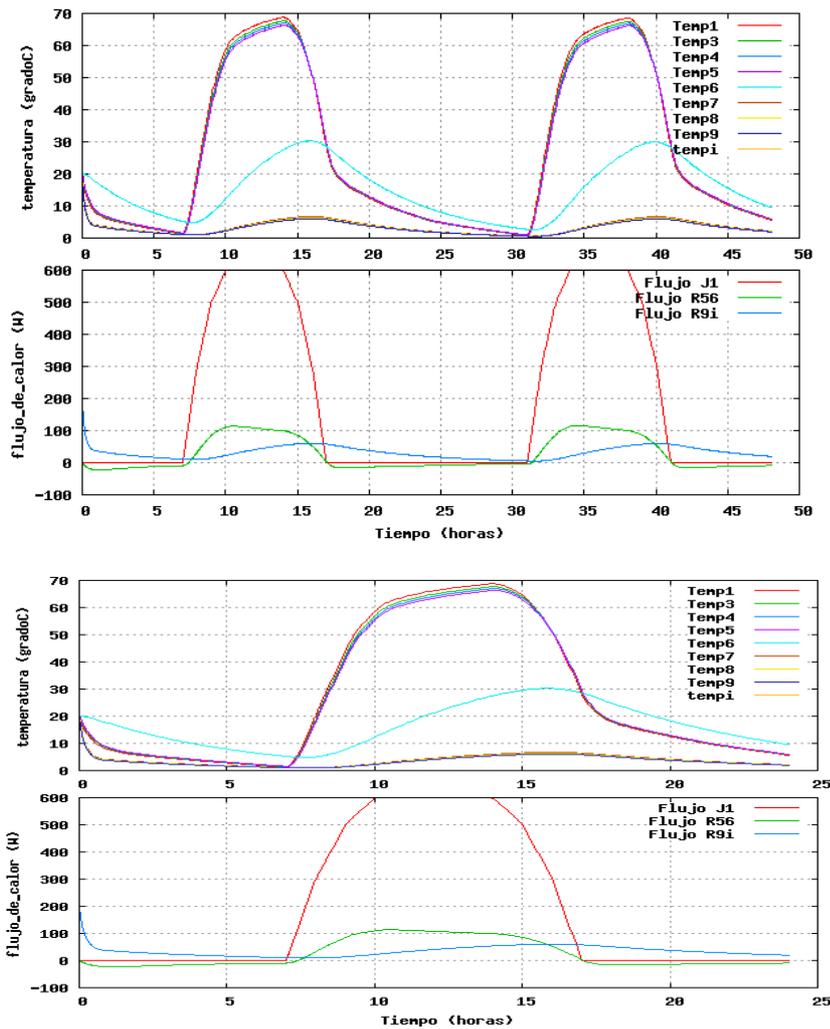


Figura 7: Gráficos de temperaturas en cada componente del muro ladrillo hueco y flujos de calor entre algunos de ellos.

Según estudios previos, a igualdad de espesor, el muro de ladrillos cerámicos huecos presenta valores más bajos de Transmitancia térmica “K” que el muro de ladrillos macizos comunes. Pero el inconveniente radica en el hecho de que invariablemente se producen condensaciones entre el ladrillo cerámico hueco y el azotado hidrófugo exterior, inconveniente que no presentan los muros de ladrillos comunes (Alías y Jacobo, 1996).

3.4. Muros dobles con cámara de aire estanca

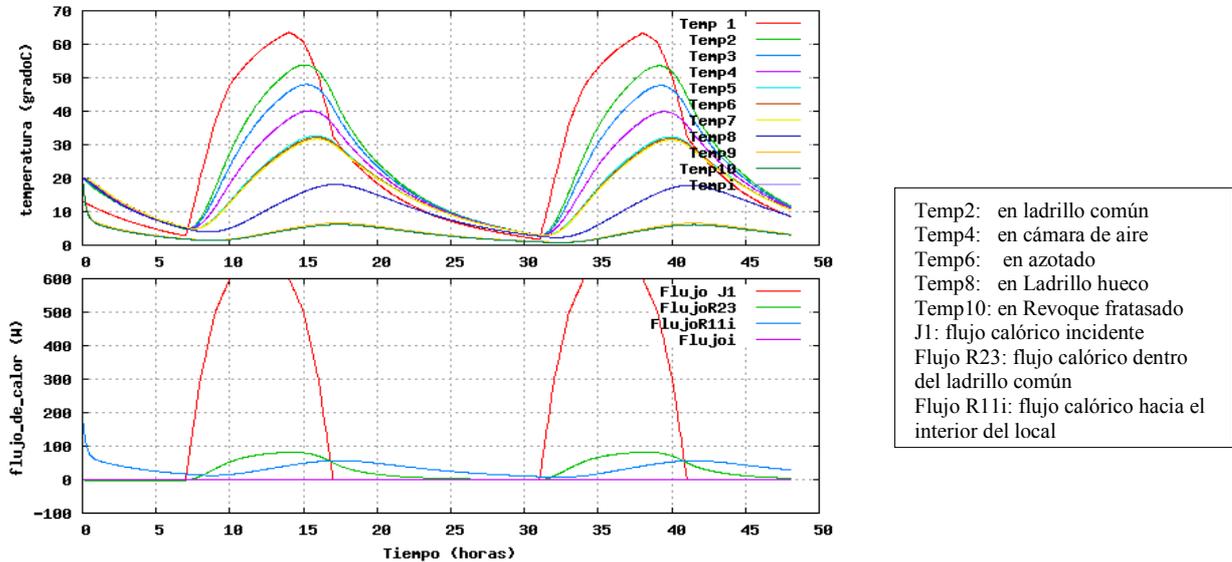


Figura 8: Gráficos de temperaturas en cada componente del muro doble y flujos de calor entre algunos de ellos correspondientes a 48 hs. Referencias

El muro doble con cámara de aire estanca, si bien representa una mejora del desempeño térmico con respecto a las tipologías analizadas anteriormente, podría acarrear dificultades constructivas y precauciones extra durante su ejecución y, además, podría presentar el problema, en algunas de sus variantes, de las condensaciones intersticiales, por lo que demanda un cuidadoso estudio de la ubicación de sus diferentes componentes, capa a capa.

3.5. Muros dobles con cámara de aire rellena de material aislante

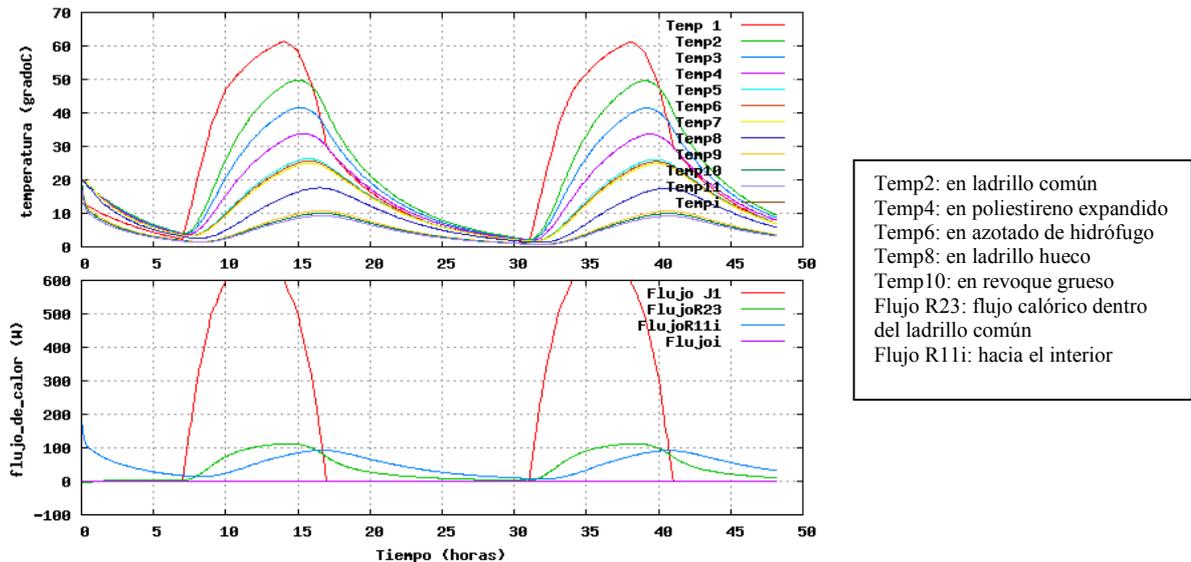


Figura 9: Gráficos de temperaturas en cada componente del muro doble c/cámara de aire rellena y flujos de calor entre algunos de ellos. Referencias

Con la colocación del poliestireno expandido entre las dos hojas del muro, se suprime la transmisión de calor por radiación de una hoja a la otra, como también se suprime el transporte de calor por la convección del aire dentro de la cámara.

3.6. Panel madera

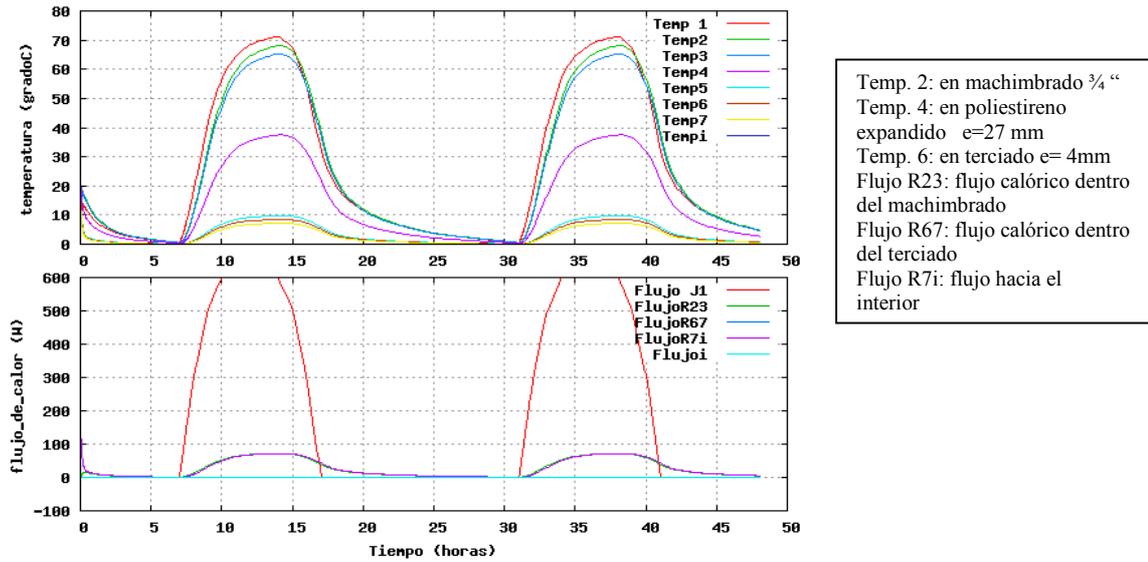


Figura 10: Gráficos de temperaturas en cada componente del panel de madera y flujos de calor entre algunos de ellos. Referencias y esquema del panel

4. DISCUSIÓN

En todos los gráficos se muestran períodos de tiempo en los que se analiza cada muro: para los primeros tres casos son de 48 horas y de 24 horas; este último se prefirió para poder observar con más nitidez los valores de temperatura y flujos de calor. Para el resto de los casos mostrados, solo se pudieron incluir gráficos de 24 hs. pero se reverenciaron las variables en un cuadro al costado. En cada grupo de estos se observan los valores de temperatura a cada hora del día que van registrando los distintos elementos dentro del muro. Se colocaron como datos valores temperatura ambiente y radiación solar variables en el tiempo (forma sinusoidal) característicos de la región NEA, obtenidos de una base de datos del Dpto. Termodinámica de la Facultad de Ingeniería (colaboración) de la UNNE.

Se verificó, en todos los gráficos, esta forma senoidal de las respuestas en Temperatura y flujo de calor dentro de los distintos elementos que componen el cerramiento. Se observa la disminución paulatina de los valores de temperatura en estos componentes que van desde el componente exterior hacia el interior. En todos los muros se registraron retrasos térmicos de la onda calórica, que variaba entre 1 a 4 horas, según los componentes de cada caso. Los casos de valores máximos de temperatura registradas en las caras más externas mediante la simulación se ubicaron alrededor de los 60°C y 70 °C, valores que se reducen un poco en los casos de muros con revoque exterior. A partir de estos valores, las temperaturas registradas en los diferentes componentes de los muros, decrece en una forma más o menos constante, cada 10 °C aproximadamente, dependiendo de los elementos constitutivos, como los casos de revoques en donde la diferencia de temperatura es mínima, produciéndose una concatenación de valores en las curvas de los gráficos.

Así, por ejemplo, en los muros simples de ladrillo común visto, se registra una temperatura máxima de 50°C (14 hs) en la masa de ladrillo, mientras que en el revoque hidrófugo la temperatura es de 40°C; luego en el revoque interno la temperatura es de 25°C, y finalmente la temperatura en el interior sería de 15°C aproximadamente. El retraso térmico se verifica entre 1 y

4 horas, dependiendo del espesor del muro: a mayor espesor, más retardo térmico, verificándose un mejor comportamiento térmico para el muro de espesor igual a 0,30 m. También se destacan diferencias mínimas de temperaturas en el revoque hidrófugo, así como también en los elementos próximos al él (en los casos en que los hubiese). Ese elemento “mantiene” las temperaturas más altas en 35°C (ver gráficos). Los valores de flujos de calor “flujo J1” “flujo R56” y “flujo R7i” representan los flujos calóricos externos, entre el hidrófugo y revoque grueso y flujo interno (hacia el recinto) respectivamente.

En los muros simples de ladrillo revocado en ambos paramentos, se destaca la poca diferencia de temperaturas que ocurre entre el revoque grueso y el hidrófugo y, a su vez, la propiedad de actuar como buenos aislantes manteniendo el valor de las temperaturas más altas en la zona “alta” de los gráficos. Luego, en la masa del muro de ladrillo, se verifica la reducción de esos valores, que variarán desde 35°C a 25°C, dependiendo del espesor del muro. La temperatura interior que se registra en el ambiente puede estimarse a partir del último elemento del circuito (T9). Se verifican valores bajos cercanos a los iniciales. Para estos muros se registran pequeños valores de flujo calórico transmitidos hacia el interior (0 a 150 w), durante las horas de mayor temperatura ambiental y radiación. El retraso térmico registrado para estos muros no es muy extenso, va desde 1 a 2 horas. Para los muros de ladrillos cerámicos huecos se verifica también el “filtrado” de las temperaturas mas elevadas por las distintas capas de revoque, reduciendo valores de hasta 30 °C . También aquí es beneficioso para el buen comportamiento térmico del conjunto el valor de espesor del ladrillo cerámico hueco. Se verifica también un menor valor de flujo calórico hacia el interior, comparado con los muros anteriores y el retraso térmico es igual a estos.

08.13

Los muros dobles con cámara de aire estanca presentan gráficas con más cantidad de curvas, debido a la mayor cantidad de elementos que los componen. Las curvas de temperaturas describen un “degradé” que va desde los elementos más externos a los mas internos (fríos) con una diferencia aproximada de 5 °C cada una. Los espesores de los muros externos que componen el conjunto son importantes para lograr la aislación total y la cámara de aire un poderoso factor que contribuye a ello, produciendo hasta una reducción de 25 °C. No se registran valores de transmisión de flujo calórico hacia el interior. Los muros dobles con ladrillo común visto del lado externo presentan mejor comportamiento.

Los muros dobles con cámara de aire rellena con poliestireno expandido permiten registrar un buen desempeño térmico gracias a estos aislantes que consiguen reducir hasta 30 °C, lo que combinado con los revoques, según sea el caso, logra valores menores de temperatura transmitida que los muros antes vistos. También se registran retrasos térmicos de hasta 3 horas. Se verifica un retraso térmico mayor en los muros mixtos (que incluyen una hoja de ladrillos comunes macizos y otra de ladrillos cerámicos huecos), del lado del muro de ladrillo común visto. Se observa, en los muros dobles sin cámara de aire (hojas unidas por juntas de mortero) una distribución de temperaturas en “degradé” que se realiza dentro de valores mas acotados de temperaturas. Así, hay muy poca diferencia de temperatura entre los componentes hidrófugos, o muros de ladrillos huecos, o revoques. Para el panel de madera se verifica un buen comportamiento térmico del conjunto, sobre todo a partir del poliestireno expandido, logrando éste una reducción de casi 30 °C a partir de la temperatura incidente en el machimbrado. En general, presenta una buena respuesta a las temperaturas y radiación incidente. No se registra transmisión de flujo calórico hacia el interior.

5. CONCLUSIONES

Se verifica que muros con idénticos componentes en su sección, pero con diferente ubicación de dichos componentes del exterior al interior en dicha sección, presentan diferencias sustanciales en cuanto a su comportamiento térmico, por lo que un adecuado desempeño termo – energético global dependerá de un diseño tecnológico – constructivo acertado, que a su vez surgirá de la consideración de múltiples variables, como el análisis del retraso térmico, de riesgo de condensación, de transmitancias térmicas, de ganancias solares, todo ello dinamizado mediante la aplicación de soportes informáticos específicos, como SIMUSOL en este caso, que ayudará a evaluar tipologías en fases iniciales de diseño, para así llegar a aquéllas cuyo uso resultaría óptimo, desechar aquéllas cuyo uso resulta inaceptable y profundizar en el estudio de las mejoras que sería necesario introducir en aquéllas que presentan malas condiciones sólo en algunas de las variables (y muy buenas en otras) para tratar de mitigar los factores desfavorables y lograr incluirlas en la categoría de “aceptables”. En este estudio se verifican adecuados comportamientos térmicos para los muros simples de ladrillo común visto y revocados en ambos paramentos en sus espesores mayores. En los muros dobles con cámara de aire rellena se presenta mejor desempeño con revoques externos. En los casos de hojas unidas por junta de mortero es mejor el caso de muros dobles con ladrillo común visto externo. El panel de madera también presenta un aceptable comportamiento térmico y en el caso de bloques de hormigón, solo aquellos que permitan relleno con aislante en su interior. El caso de muros doble con cámara de aire estanca, se deben considerar los aspectos señalados anteriormente.

Se obtuvieron buenos resultados en la apreciación de los gráficos logrados con este simulador, se considera buenas potencialidades del mismo para futuras aplicaciones en la edificación. El uso del Programa Simusol, ofrece muchas ventajas para el estudio de las situaciones térmicas internas de los elementos constructivos que componen los cerramientos de los edificios. Responde adecuadamente a todos y cada uno de los requerimientos solicitados en esta oportunidad. Entre las ventajas mas importantes se mencionan el idioma castellano tanto el manual como sus leyendas que agiliza el aprendizaje y el programa Sceptre que informa, constantemente y en forma ordenada, los errores presentes.

6. REFERENCIAS

Alía D y Saravia L. (2005). *Manual de Simusol*. Facultad de Ciencias Exactas, U.N.Sa – Inenco- Consejo de Investigación.

- Alías, H. M. y Jacobo, G. J. (1996). *Comportamiento de los materiales de Construcción en muros de cerramiento. Condiciones Ambientales y su adecuación al NEA*. Informe de Investigación Ciencia y Técnica – UNNE.
- Gallipoliti, V. A. et al (2007). *Evaluación del comportamiento térmico de componentes constructivos en muros de cerramientos usuales en la región NEA con programa simulador*. Comunicación en la revista Avances en energías renovables y Medio Ambiente (AVERMA) ISSN 0329-5184.
- Volantino, V. et al. (1999). *Método de Evaluación integral del comportamiento higrotermico de sistemas constructivos*. Revista AVERMA vol 3, N° 2. ISSN 0329- 5184.

ABSTRACT We performed the numerical simulation of twenty-five walls with the SIMUSOL. Some of these walls represent typologies of mass use in constructive endeavors of the Northeast Region of Argentina (NEA), while others are less economic solutions, but optimized higrotérmicamente. The simulation was conducted to take a more particular theoretical performance of these walls, depending on the thermal behavior of its constituent elements and the particularities and impact of technological design in that performance. The types of vertical fences constructive whose technologies are different, too different thermal behaviors exhibited, which will enhance the results obtained with the simulator. The program is a SIMUSOL use of free software, created in the INENCO (Institute for Non-Conventional Energy), CONICET, at the National University of Salta. It also assesses the use of the simulator as a useful tool for other possible fields of application within the building.

Keywords: Simulation- SIMUSOL -walls – thermal performance - thermal transmittance.