

## **ENFRIAMIENTO POR VENTILACIÓN NOCTURNA. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DINÁMICO DE DISTINTOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE PARED, PARA LA CIUDAD DE RÍO CUARTO**

P. Galimberti, F. Romero, M. Ziletti, J. Adaro  
Grupo de Energía Solar -Universidad Nacional de Río Cuarto- Ruta Nacional 36. Km 601- 5800 Río Cuarto  
Tel. Fax 058- 4676246 e-mail: pgalimberti@ing.unrc.edu.ar

**RESUMEN:** El objetivo de este trabajo es realizar un estudio del comportamiento térmico de viviendas, en lo referente a la estrategia de enfriamiento con ventilación nocturna. Se analizan diferentes tipos de paredes utilizados actualmente en la ciudad de Río Cuarto. Basándose en simulaciones de una vivienda considerada como típica, con datos climáticos mensuales medios horarios, se obtiene la evolución de temperaturas de la superficie de las paredes y del interior de la vivienda considerado como un nodo isotérmico. Debido a que el enfriamiento nocturno está asociado con los requerimientos energéticos de los ambientes, el comportamiento de la temperatura condiciona el diseño arquitectónico, por lo tanto los resultados obtenidos permitirán la evaluación bioclimática de los diferentes tipos de construcciones.

**Palabras clave:** evaluación bioclimática, ventilación natural, enfriamiento nocturno, simulación.

### **INTRODUCCION**

La ventilación natural es a menudo considerada como una solución eficiente para enfriar una vivienda en aquellos periodos en que la temperatura exterior es menor a la temperatura interior y la velocidad del viento es suficiente. Se constituye así en un método potencial para reducir el costo de energía requerido en el acondicionamiento de los ambientes. Para mantener la salud y la comodidad de los ocupantes de una vivienda, es necesario realizar una ventilación adecuada. Si el objetivo es ventilar naturalmente una vivienda, observando criterios de confort, es necesario estudiar el impacto del clima sobre las condiciones ambientales interiores, que son afectadas por complejas relaciones entre las variables intervinientes (Arboit et al, 2007).

La ventilación natural es una forma de lograr confort ambiental con menores consumos de energía y, por lo tanto, menores costos. La ventilación, ya sea mecánica o natural, puede servir para lo siguiente:

- Control de calidad del aire diluyendo diferentes tipos de contaminantes.
- Enfriamiento de interiores utilizando el aire externo fresco para el transporte convectivo de calor y humedad cuando las condiciones son favorables.
- Pre-enfriamiento nocturno de la masa térmica de los elementos utilizados en la construcción para lograr el confort térmico diurno en el interior de las viviendas.

Una de las ventajas de utilizar la ventilación natural, frente a la ventilación mecánica, es que se reduce el uso de energía, y por lo tanto las emisiones de gases y otros contaminantes asociados con su producción. La ventilación natural, generalmente requiere la disposición del usuario a realizar las operaciones de cierre y apertura de las aberturas, lo que puede ocasionar molestias en algunos casos. Cuando la ocupación del edificio no es permanente, la ventilación natural es solamente posible si se cuenta con sistemas altamente automatizados para el cierre y apertura de las aberturas. Por otra parte la ventilación mecánica generalmente ocasiona cierto nivel de ruido que resulta molesto, y requiere mantenimiento.

La energía potencial de enfriamiento que es posible economizar mediante las estrategias de enfriamiento por ventilación nocturna depende del clima (la temperatura y el viento), perfiles de ventilación, el calor interno ganado, las características térmicas del edificio y las expectativas humanas de confort. En trabajos anteriores (Romero et al, 2009) se presentan datos que caracterizan la velocidad y la dirección de los vientos nocturnos durante los meses de verano, para la ciudad de Río Cuarto.

Existen investigaciones sobre la ventilación natural aplicada a viviendas. En este sentido Emmerich propuso un método para evaluar la influencia de las variables climáticas sobre el enfriamiento nocturno logrado por la ventilación natural (Emmerich et al, 2001). Ghiau y otros estudiaron los efectos de la ventilación natural, analizando diferencias de presión entre la vivienda y el medio externo, contando con datos climáticos satelitales (Ghiau et al, 2002). Yang propuso un modelo para estudiar el potencial de la ventilación natural en edificios residenciales en China (Yang et al, 2005). Graca estudió la influencia de las direcciones del viento en el enfriamiento de edificios residenciales en Shanghai y Beijing (Graca et al, 2002).

Resumiendo, las investigaciones sobre ventilación natural involucran dos categorías. La primera, considera el cálculo de la fuerza motriz (dirección del viento y efectos stack) considerando datos del clima externo y el clima en el interior de los ambientes. La segunda categoría estudia y simula la variación de la temperatura interna del aire, utilizando simulaciones que contemplan temperatura y estudio de flujo de aire (Yao et al, 2009).

El presente trabajo estudia la variación de la temperatura del aire y las paredes de una vivienda adoptada como típica, comparando distintos tipos materiales de construcción en las paredes externa, teniendo en cuenta datos climáticos medios para verano de la ciudad de Río Cuarto. Este criterio es una guía básica dentro de las buenas prácticas tendientes a reducir las necesidades energéticas en los hogares. En este sentido es recomendable, para reducir costos, aplicar medidas simples de conservación energética tales como aislantes térmicos, antes de recurrir a tecnologías más costosas (Ziletti et al, 2007).

## **METODOLOGIA DE TRABAJO**

Como objetivo se planteó realizar un estudio del confort térmico logrado por ventilación nocturna, simulando la temperatura del interior de una vivienda con diferentes tipos de envolventes.

En estudios previos sobre las variables climáticas para la ciudad de Río Cuarto se tuvo en cuenta su variación de acuerdo a la distribución horaria (Galimberti et al, 2008). De los resultados obtenidos se pudo inferir que los meses que poseen requerimiento energético de refrigeración son noviembre con 14 grados día, diciembre y enero con 21 grados día y febrero con 18 grados día. Los mismos estudios indican que los horarios adecuados para realizar la ventilación se establecen entre las 21 hrs. y las 8 hrs., siendo las temperaturas medias en estos horarios mayoritariamente menores a los 20 C y superiores a los 15 C. Los valores medios horarios obtenidos para el mes de enero se adoptaron como perfil diario de las variables climáticas. Se obtuvieron de esta manera las variaciones diarias de: temperatura, humedad relativa, velocidad de viento y radiación solar. Repitiendo este día típico diez veces se logra el intervalo de tiempo adecuado para que las estructuras con mayor inercia térmica alcancen el régimen cíclico estacionario.

Para el modelado se tomó tanto el piso como el techo de la vivienda como límites adiabáticos, esto nos permite, en esta primera instancia, observar claramente el comportamiento de las paredes. Incluir los aportes térmicos del piso mejora los efectos de la ventilación nocturna, puesto que su masa térmica contribuye a sostener los efectos buscados por la ventilación nocturna. Por otra parte, las distintas tipologías de techos que se estilan en la región, utilizan diversos materiales de construcción y tienen un comportamiento térmico notoriamente disímil. En algunos casos, durante el verano, el techo puede constituir una fuente importante de ganancia de calor al interior de la vivienda provocando un efecto adverso al enfriamiento buscado.

Se estudió el comportamiento de cuatro tipos de paredes, simulando con el programa TRNSYS la temperatura interior de una vivienda rectangular de 60 m<sup>2</sup>, con seis metros de frente por diez de fondo, y el frente orientado hacia el norte. La primera pared es la tradicional, utilizada para muros externos, de 30 cm de espesor, construida en ladrillo común sin aislación y con revoque en ambas caras. La segunda es una pared doble de ladrillo común con 5 cm de aislación de poliestireno expandido y revoque en ambas caras. La tercera es de ladrillo cerámico hueco, de 18 cm de ancho, con revoque en ambas caras y sin aislación. Por último se consideró una pared de ladrillo cerámico hueco, de 18 cm de espesor, con 5 cm de aislación de poliestireno expandido en su parte exterior y revoque en ambas caras. Se modeló el ladrillo cerámico hueco como un sólido homogéneo, sin considerar la presencia del aire en los huecos. La conductividad térmica aparente para los cerámicos huecos se adoptó de 1,58 KJ/(h.m.K), con un calor específico de 1,3 KJ/(Kg. K) y una densidad aparente de 125 Kg/m<sup>3</sup>. La selección de este tipo de paredes fue realizada teniendo en cuenta que son de uso común en las construcciones actuales. En relación a las aberturas se adoptó como material de las áreas transparentes al vidrio doble, con un coeficiente global de transferencia de 1,4 W/(m<sup>2</sup>.K). La vivienda modelada posee nueve metros cuadrados de ventanas distribuidas uniformemente en cada una de las paredes. Se consideró una adecuada estrategia de sombreado por lo que el ingreso de radiación directa por las ventanas, durante los meses de verano, se consideró despreciable.

Se modeló la vivienda como una única zona isotérmica, con un coeficiente interno de convección de 11 KJ/(h.m<sup>2</sup>.K), mientras que el coeficiente externo de convección se tomó variable con la velocidad del viento. Los datos climáticos de radiación solar, temperatura y velocidad del viento, son específicos para la ciudad de Río Cuarto. Se tuvo en cuenta una ocupación permanente de cuatro personas (260 W), infiltraciones de 0.6 renovaciones/hora y otras cargas térmicas a razón de 200 W en forma permanente.

En cuanto a la ventilación, inicialmente, se realizaron corridas con distintos volúmenes de barrido. La renovación de aire se mantuvo constante durante toda la noche, entre las 21:00 Hs. y las 8:00 Hs. Obteniéndose resultados similares en las simulaciones correspondientes a 20 renovaciones/hora y 40 renovaciones/hora; registrándose diferencias de apenas 0,5 C en la temperatura superficial de la pared entre ambos regímenes. Dado que la acumulación energética del sistema se encuentra concentrada en las paredes y en ambos casos es similar, el estudio se profundizó fijando 20 renovaciones/hora como valor de referencia.

Un aspecto no tenido en cuenta en este estudio es lo relacionado a la forma en que se logra la ventilación que se pretende, es decir, si ésta es en forma natural o mecánica. Para hacer consideraciones de este tipo, y sobre todo en el caso de ventilación natural, se deberían tener en cuenta los aspectos relacionados a la dirección e intensidad del

viento, horarios en los cuales se logran las condiciones adecuadas, tamaños y orientaciones de aberturas, disposición interna de la vivienda, entre otros.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Realizadas las simulaciones para los distintos tipos de paredes, con las consideraciones enunciadas anteriormente, los resultados obtenidos se muestran en las siguientes gráficas, donde se representa el comportamiento de la temperatura superficial interior de la pared Norte. Las gráficas de las paredes con otras orientaciones dan curvas similares a las mostradas.

La figura 1 corresponde al caso de la tradicional pared de 30 cm utilizada en la mayoría de las viviendas edificadas en la zona durante décadas, construida de ladrillo común sin aislación y con revoque. En el registro sin ventilación, para la temperatura de la zona, se produce un ciclado alrededor de una temperatura de 29 C con una amplitud menor a 1 C. El registro para la temperatura de la superficie de la pared tiene un comportamiento similar a una temperatura levemente inferior. La evolución de las temperaturas para el caso de ventilación con un régimen de 20 renovaciones horarias, muestran que la temperatura superficial interior de la pared Norte oscila entre los 23 y 26 C mientras que la temperatura de la zona llega a un máximo de 27 C con un mínimo de 20 C. Del comportamiento se deduce la importancia de la ventilación nocturna que permite mantener, inclusive durante el día, temperaturas de zona inferiores al caso sin ventilación.

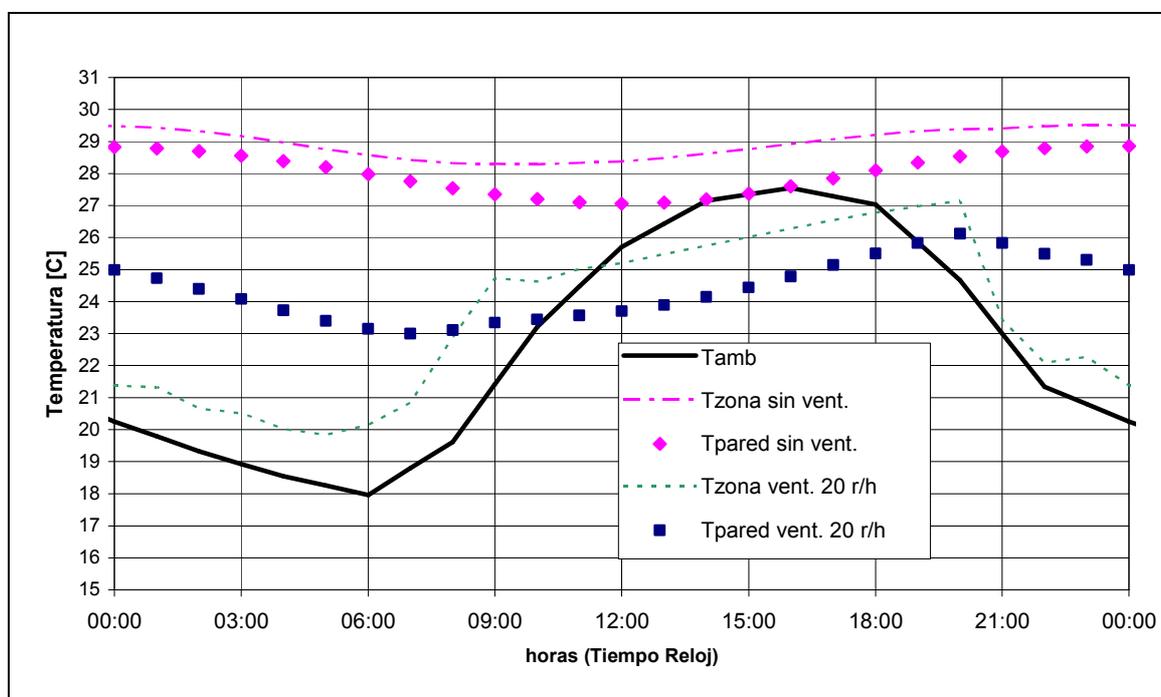


Figura 1: Comparación de la evolución de la temperatura superficial interior para la pared Norte de 30 cm de ladrillo común sin aislación y con revoque, con las temperaturas ambiente interna y externa. Se consideran los casos: sin ventilación y con ventilación de 20 renovaciones por hora.

La figura 2 muestra la evolución de la temperatura superficial interior para la pared Norte, considerando que es doble de ladrillo común con 5 cm de aislación de poliestireno expandido y revoque en ambas caras. En el registro de la temperatura de la zona correspondiente al caso sin ventilación, se produce un ciclado alrededor de una temperatura de 30 C con una amplitud menor a 0.5 C. La temperatura de la superficie de la pared tiene un comportamiento similar. Las temperaturas para el caso de ventilación con un régimen de 20 renovaciones horarias, muestran que la superficie interior de la pared se encuentra entre 22,5 C y 24,5 C mientras que la temperatura de la zona llega a un máximo de 25,5 C con un mínimo de 19,5 C. Comparando el comportamiento con el caso anterior, mostrado en la figura 1, se puede observar que la pared doble con aislación tiene una estabilidad mayor, obteniéndose temperaturas levemente inferiores al de la pared tradicional.

La evolución de temperaturas para el tercer tipo, pared de ladrillo cerámico hueco con revoque en ambas caras y sin aislación, se muestra en la figura 3. En el caso sin ventilación se observa que en la temperatura de zona se producen amplias oscilaciones entre los 24,8 C y 34,6 C y la temperatura de superficie sigue cercanamente el ciclado que describe la temperatura de zona. En cuanto a las temperaturas con ventilación nocturna, se puede observar claramente que el comportamiento resulta inadecuado, llegando a temperaturas superiores a los 32 C, lo que indicaría

rotundamente la necesidad de acondicionamiento por medios electromecánicos, o por lo menos ventilar también durante el día a partir de las 12:00 hs.

La figura 4 muestra la evolución de la temperatura para la pared de ladrillo cerámico hueco con 5 cm de aislación de poliestireno expandido en su parte exterior y revoque en ambas caras. Se puede observar que, en el caso sin ventilación, la amplitud del ciclado se ha disminuido considerablemente desacoplando la estructura mediante el aislamiento, sin embargo los niveles de temperatura a los que se produce el ciclado son elevados, registrándose temperaturas entre los 29,5 C y 32,5 C. Del análisis de la temperatura con ventilación, surge que el ciclado se registra entre los 19,0 C y los 27,0 C. para la temperatura de la zona y entre los 20,8 C y 26,3 C para la temperatura superficial de pared.

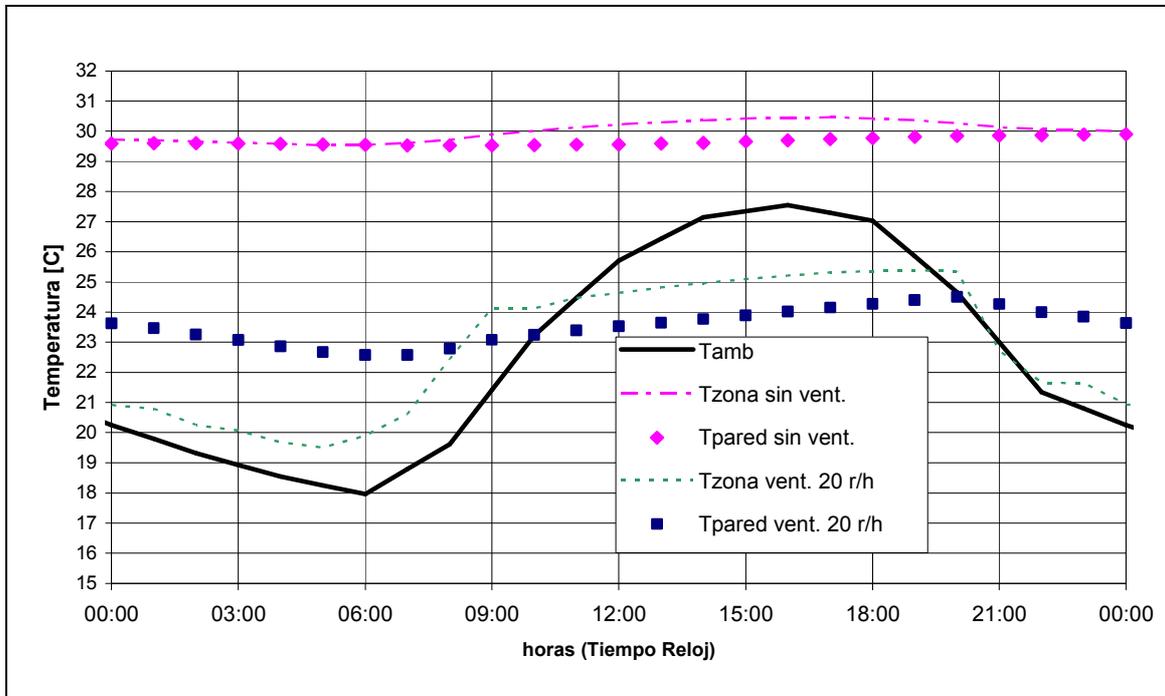


Figura 2: Comparación de la evolución de la temperatura superficial interior para la pared Norte de ladrillo común con 5 cm de aislación de poliestireno expandido y revoque, con las temperaturas ambiente interna y externa. Se consideran los casos: sin ventilación y con ventilación de 20 renovaciones por hora.

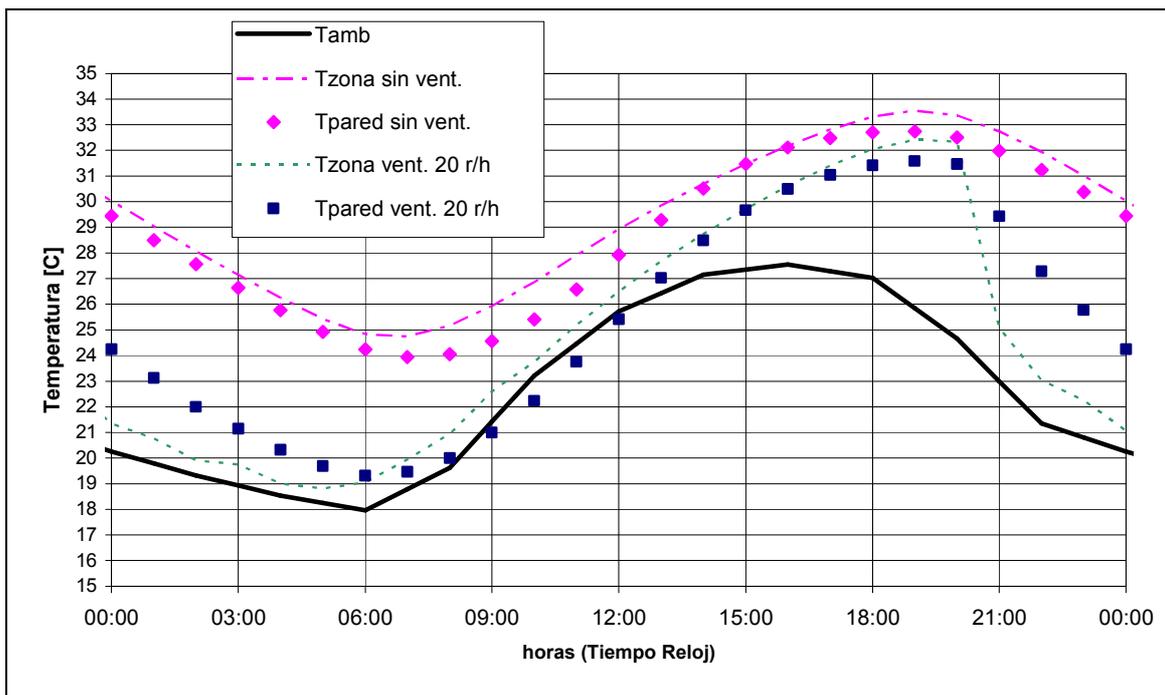


Figura 3: Comparación de la evolución de la temperatura superficial interior para la pared Norte de ladrillo cerámico hueco con revoque y sin aislación, con las temperaturas ambiente interna y externa. Se consideran los casos: sin ventilación y con ventilación de 20 renovaciones por hora.

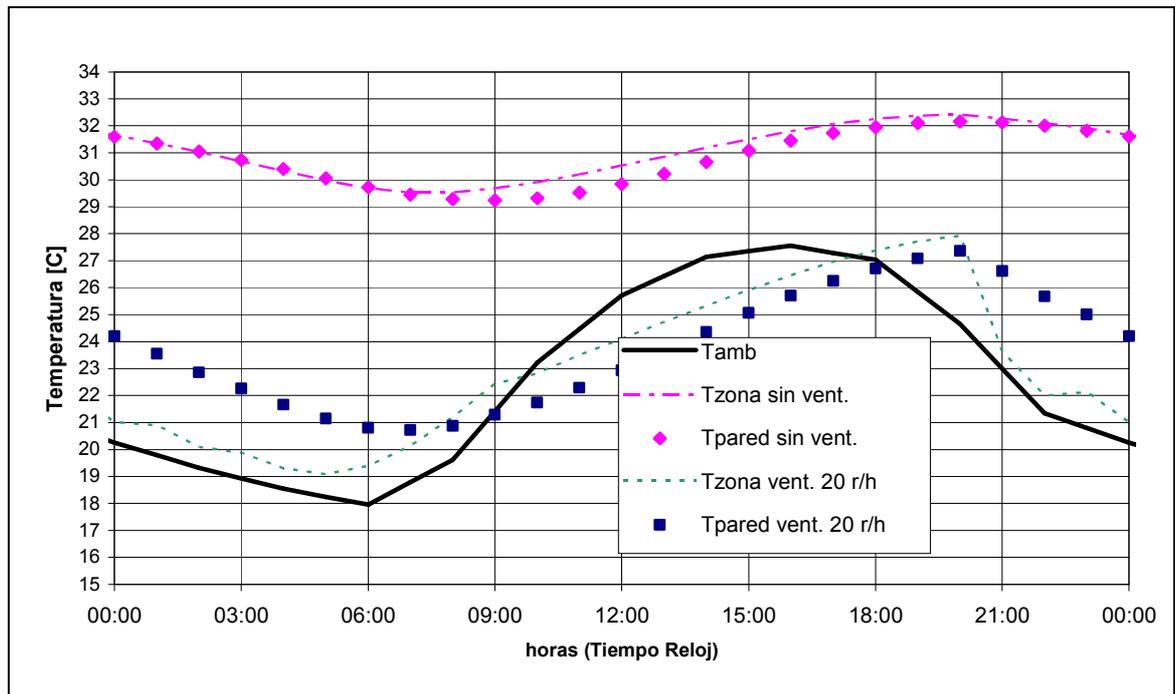


Figura 4: Comparación de la evolución de la temperatura superficial interior para la pared Norte de ladrillo cerámico hueco con 5 cm de aislación de poliestireno expandido en su parte exterior y revoque en ambas caras, con las temperaturas ambiente interna y externa. Se consideran los casos: sin ventilación y con ventilación de 20 renovaciones por hora.

## CONCLUSIONES

La simulación realizada muestra que la pared doble de ladrillo común con 5 cm de aislación de poliestireno expandido y revoque, es la que posee mejor comportamiento térmico en relación al confort humano, considerando la estrategia de enfriamiento por refrigeración nocturna. La pared tradicional de ladrillo de 30 cm de espesor comparada con la anterior muestra un comportamiento similar, aunque de características levemente inferiores. Observamos que la pared de ladrillo cerámico hueco sin aislamiento resulta inapropiada, ya que la temperatura escapa claramente del rango de confort térmico. Si a esta última se le agrega aislamiento se obtiene un comportamiento que se encuentra ajustadamente dentro del confort.

Estos resultados fueron obtenidos despreciando los aportes energéticos de la masa térmica del techo y del piso. En futuros trabajos se prevé incorporar estas variables al modelo, como así también, considerar distintos tipos de asoleamiento, orientaciones y las influencias de construcciones vecinas.

De los resultados obtenidos a partir de la evaluación bioclimática y debido a que el enfriamiento nocturno está asociado con los requerimientos energéticos de los ambientes, el presente trabajo brinda una orientación para el análisis al momento de elegir el tipo de pared en un diseño arquitectónico en la ciudad de Río Cuarto y su zona cercana.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Departamento de Agrometeorología dependiente de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC y al Servicio Meteorológico Nacional que con la generosa transferencia de sus datos permitieron el desarrollo de este trabajo.

## REFERENCIAS

- Arboit, M., Mesa, A., Diblasi, A., de Rosa, C. (2007). Evaluación de Estrategias de Ahorro Energético en la Edilicia Urbana del Área metropolitana de Mendoza. Actas 2007 Reunión de Trabajo de Asades, 05.135-05,142
- Emmerich, S.J.; Stuart Doles, W.; Axley, J.W. (2001). Natural Ventilation Review and Plan for Design and Analysis Tools. National Institute of Standards and Technology. U.S. Department of Commerce.

- Galimberti, P.; Romero, F.; Ziletti, M.; Paisio, G.; Lema, A. (2008). Sistematización de Variables Climáticas para la Ciudad de Rio Cuarto. Actas 2008. Reunión de Trabajo de Asades. 05.97-05.104.
- Ghiau, C.; Allard, F. (2002). Assessing Climatic Suitability to Natural Ventilation by Using Global and satellite Climate Data. ROOMENT 2002, Eight International Conference on Air Distribution in Rooms. Copenhagen. Denmark
- Graca, G.; Chen, Q.; Glicksman, L.R.; Norford, L.K. (2002). Simulation of Wind-driven Ventilative Cooling Systems for an Apartment Building in Beijing and Shanghai. *Energy Build.* 34:1–11.
- Romero F.; Galimberti P., Ziletti M., Paisio G. (2009) Progresos en la sistematización de variables climáticas para la ciudad de Rio Cuarto. Actas 2009. Reunión de Trabajo de Asades. 11.77-11.83
- Yang, L.; Zhang, G.; Li, Y.; Chen, Y.; (2005). Investigating Potential of Natural Driving Forces for Ventilation in Four Cities in China. *Build Environ.* 40:738–46.
- Yao, R.; Li, B.; Steemers, K.; Short, A.(2009). Assessing the natural ventilation cooling potential of office buildings in different climate zones in China. *Renewable Energy.* 34:2697–2705
- Ziletti, M., Mendez, A., Pontin, M. Galimberti, P. (2007). Un problema de Optimización Aplicado al Diseño Bioclimático de un Edificio. Actas 8 Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Perú, 6.64-6.74.

**ABSTRACT:** The aim of this work is to study the thermal performance of housing in relation to the strategy of night ventilation cooling. We analyze different types of walls used today in the city of Rio Cuarto. With simulations of housing considered as typical, with hourly average monthly climate data, we obtain the evolution of surface temperatures of the walls and inside the house as a node considered isothermal. Temperature affects the architectural design. The night cooling is related to the energy requirements of buildings, therefore the results are used in bioclimatic evaluation of different types of buildings.

**Key words:** Bioclimatic evaluation, natural ventilation, night cooling, simulation