

DETERMINACIÓN DEL FACTOR K DE VENTANAS. UTILIZACIÓN DE PROGRAMAS DE SIMULACIÓN DE PRECISIÓN PARA EVALUAR EL IMPACTO DEL DISEÑO DE MARCOS Y DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS.

M. de Gastines¹, A. Villalba², A. Pattini³

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda – Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV INCIHUSA)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Avenida Ruiz Leal S/N Pque Gral San Martín. C.P. 5500 Mendoza – Argentina
Tel. 02615244345. e-mail: mdegastines@mendoza-conicet.gob.ar

Recibido 14/08/14, aceptado 27/09/14

RESUMEN: El Factor K caracteriza el comportamiento térmico de las aberturas. Varía en función del diseño, la tecnología y el material de los perfiles (marcos y hojas) y de las condiciones de entorno de la ventana. Se evalúa la sensibilidad a estas variables de los programas de simulación de precisión THERM y WINDOW, considerando dos tipos de marco de aluminio y dos conjuntos de condiciones climáticas. La carpintería con ruptura de puente térmico obtiene mejores valores de K que la tradicional, en los dos casos de condiciones de entorno. Asimismo, el porcentaje de variación debido a las distintas condiciones de entorno es similar para las dos ventanas. Estos resultados demuestran la adecuada sensibilidad de las herramientas de simulación tanto a los materiales y diseño de perfiles de las aberturas como a los parámetros climáticos, abriendo el camino hacia su uso para la certificación energética de ventanas al nivel nacional y el diseño bioclimático de edificios.

Palabras clave: Factor K, Ventana, Condiciones de entorno, Simulación

INTRODUCCIÓN

Las ventanas tienen un impacto importante sobre los costos de acondicionamiento térmico de los edificios, porque ocupan cada vez más superficie de fachada y su transmitancia térmica es generalmente mucho más alta que la de otros componentes de la envolvente (Sinha y Kutnar, 2012; Pattini et al., 1997; PICTO ENARGAS 0133). En Argentina el consumo energético final asociado a los sectores residencial, comercial y público representó más del 30 % del consumo total en 2012, según la Secretaría de Energía de la Nación. Gran parte de esta energía está destinada al acondicionamiento térmico de edificios, por lo que las ventanas juegan un papel importante en el proceso de reducción del consumo energético y de los impactos ambientales negativos relacionados, tales como las emisiones de gases de efecto invernadero y el agotamiento de recursos no renovables. Otra consecuencia de la alta transmitancia térmica de las aberturas de uso más frecuente es que su temperatura superficial interior es más baja en invierno y más alta en verano que la de las paredes opacas, lo cual resulta en una falta de confort térmico para los habitantes debido al fenómeno de asimetría radiante. Para disminuir los impactos energéticos ambientales relacionados con el consumo energético del sector edilicio y mejorar el confort térmico de los usuarios, resulta fundamental la mejora de las aberturas en cuanto a sus aspectos térmicos. Para ello se ha empezado a utilizar en Argentina la tecnología del doble vidriado hermético, que permite reducir las transferencias de calor en toda la superficie del acristalamiento. Sin embargo, el marco puede cubrir un porcentaje significativo del área total de la ventana y su transmitancia térmica en el caso de un marco metálico suele ser muy alta, por lo que se torna indispensable su consideración en el proceso de optimización del diseño y tecnologías de aberturas desde el punto de vista térmico.

El Factor K (o coeficiente de transmitancia térmica, también denominado Factor U) es utilizado para caracterizar el comportamiento térmico de las aberturas (Norma IRAM 11507; ASHRAE, 2009; Norma ISO 15099; NFRC 100-2010). Expresa el flujo de calor entre el lado más cálido y el lado más frío de la carpintería, por unidad de área y por grado de diferencia de temperatura entre ambas caras.

¹ Becaria Doctoral CONICET

² Becaria Doctoral CONICET

³ Investigadora Independiente CONICET

$$W = K \cdot A_T \cdot (T_i - T_o) \quad (1)$$

La Ecuación 1 ilustra esta definición, donde W es el flujo de calor, A_T es el área total de la superficie, y T_i y T_o son respectivamente las temperaturas interior y exterior del aire. El Factor K de un elemento es la inversa de su resistencia total. Mientras más bajo es el valor del Factor K , mejor es la aislación térmica del componente. Esto resulta en una disminución del consumo energético y una mejora del confort térmico de los habitantes, dado que en invierno aumenta la temperatura superficial de la ventana y en consecuencia la temperatura media radiante del ambiente, mientras que en verano las mismas disminuyen.

El flujo de calor a través de la abertura es el resultado de una compleja combinación entre distintos modos de transferencia de calor: la conducción a través de los materiales (caracterizada por la conductividad térmica k), la convección y la radiación en las cavidades de los perfiles de marco/hoja y del vidrio, tanto como en las superficies interna y externa de la abertura. El concepto del Factor K se puede ilustrar a través de la analogía eléctrica siguiente (Figura 1) donde T_i y T_o son las temperaturas interior y exterior del aire, T_{si} y T_{se} son las temperaturas superficiales interior y exterior de la ventana, y T_{ri} y T_{ro} son las temperaturas medias radiantes interior y exterior. h_{co} y h_{ro} son los coeficientes convectivo y radiativo exteriores mientras que h_{ci} y h_{ri} son los coeficientes convectivo y radiativo interiores. A_T es el área total de la superficie y W es el flujo de calor neto a través del componente.

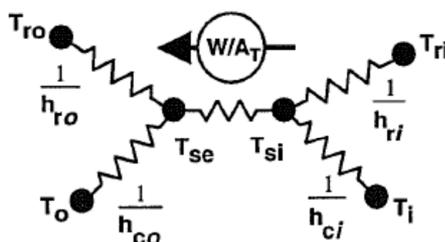


Figura 1: Analogía eléctrica describiendo el Factor K (Klems, 1997)

Este esquema demuestra la dependencia del Factor K a las condiciones de entorno. El coeficiente convectivo exterior h_{co} depende fuertemente de la velocidad y dirección de viento respecto de la orientación de la ventana (Emmel et al., 2007). Numerosos modelos han sido desarrollados a partir de mediciones de campo o de simulaciones con programas de dinámica de fluidos, para predecir el valor de este coeficiente (Palyvos, 2008). La temperatura media radiante exterior T_{ro} caracteriza la radiación infrarroja de onda larga proveniente del entorno. Los intercambios radiativos con el exterior se calculan en base a la temperatura del aire, al factor de visión del cielo y a la emisividad de cielo. La misma se puede calcular a partir de varios modelos que toman en cuenta la nubosidad, la temperatura ambiente y la presión de vapor (Crawford y Duchon, 1999). En cuanto a los fenómenos de convección y radiación interiores, es común usar un coeficiente combinado radiativo-convectivo h_c . Sin embargo, un método más detallado consiste en calcular por un lado los intercambios radiativos (a través de un modelo basado en los factores de vista entre elementos de un recinto cerrado) y por otro lado el coeficiente convectivo en función de la altura del vidrio y del material del marco (NFRC 100-2010). Por lo tanto, el conocimiento de las condiciones climáticas (temperaturas del aire, velocidad de viento, radiación de onda larga recibida del cielo, etc.) sumado a la selección de modelos de convección y de radiación, permite definir las condiciones de entorno y calcular el flujo de calor que estas generarían a través de la ventana.

Existen varios estándares internacionales para la certificación energética de ventanas, que difieren principalmente por las distintas condiciones de entorno que imponen para el cálculo del Factor K y que llevan a veces a valores de K muy distintos para una misma carpintería (RDH Building Engineering Ltd., 2014). Las condiciones de entorno establecidas por el procedimiento NFRC 100-2010 y utilizadas para certificar energéticamente ventanas en EEUU (Tabla 1) no son representativas de la Argentina, en particular para el análisis realizado en este trabajo de un clima templado como el de Mendoza. Por lo tanto el K obtenido por este procedimiento no refleja las transferencias de calor que ocurrirían a través de la ventana si estuviera expuesta a las condiciones climáticas características de la región de interés. Para obtener valores más representativos del comportamiento térmico de la ventana en la región donde se implante, se deben ajustar las condiciones de entorno utilizadas en el método de los elementos finitos realizado por THERM.

Por estas razones, se desarrollaron los modelos de precisión para que los cálculos de transmitancia térmica fueran sensibles a las condiciones climáticas específicas y para poder establecer una relación entre el comportamiento térmico en un clima determinado y el diseño, tecnología y materiales que conforman los perfiles; de esta manera no solo se permite una clasificación energética, sino que se provee información para mejoras de diseño y el cálculo del impacto térmico del componente en el edificio con mayor precisión.

El presente estudio apunta a evaluar la sensibilidad del programa THERM a las condiciones climáticas regionales que permitan cuantificar más ajustadamente el comportamiento térmico del diseño y tecnología empleados en los perfiles de marcos/hojas de ventanas típicas utilizadas a nivel nacional.

METODOLOGÍA

Se escogieron dos ejemplos de carpinterías de alta prestación disponibles en el mercado argentino, ambas de tipología de abrir, de dimensiones iguales (600 x 1500 mm) y con vidriado simple, debido a que en este trabajo no se evalúa el impacto de la superficie vidriada sino la tecnología y diseño de marcos/hoja. La diferencia entre ambas perfilierías metálicas es la ruptura de puente térmico, utilizada para mejorar el comportamiento térmico. El primer marco está hecho con perfiles de aluminio (conductividad térmica alta: $k = 160 \text{ W/mK}$) mientras que el segundo también es de aluminio pero tiene ruptura de puente térmico (RPT), es decir que incluye varillas de poliamida (material aislante: $k = 0.3 \text{ W/mK}$) para atenuar el flujo de calor entre la superficie de mayor temperatura y la de menor temperatura del marco. La Figura 2 ilustra la geometría de las dos carpinterías.

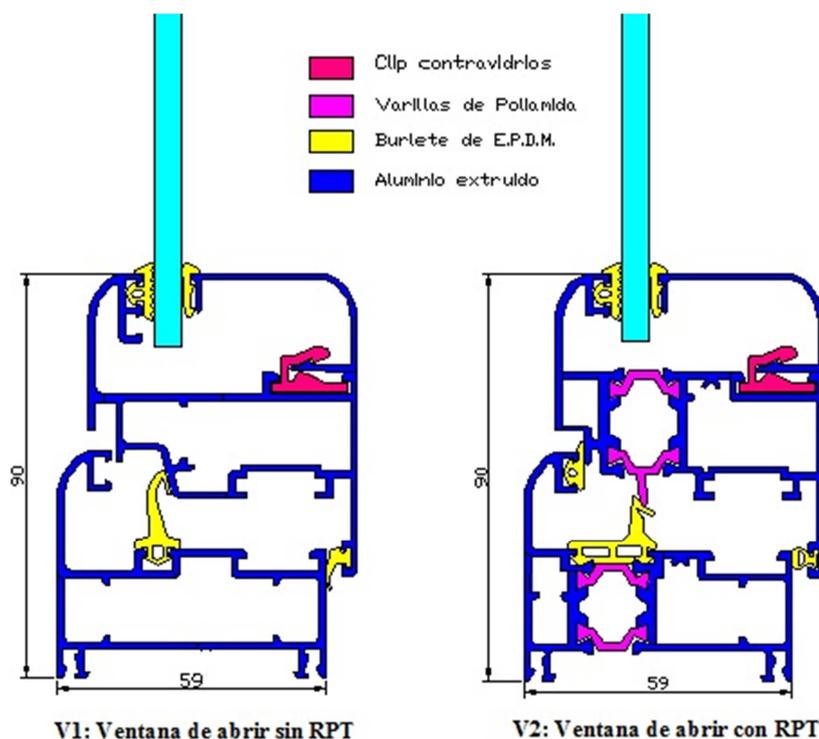


Figura 2: Cortes de las carpinterías estudiadas, adaptado de www.aluar.com.ar

Para calcular el Factor K de cada una de las carpinterías, se utilizaron los programas de simulación de precisión WINDOW y THERM, desarrollados por el LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory). El primero permite calcular el K_v del centro del acristalamiento, mientras que THERM utiliza el método de los elementos finitos para calcular la transmitancia térmica del marco K_m y del borde del vidrio K_b . Luego se realiza el promedio ponderado de los valores obtenidos para conocer el Factor K global de la ventana, según la fórmula siguiente:

$$K = \frac{K_v \cdot A_v + K_m \cdot A_m + K_b \cdot A_b}{A_{pt}} \quad (2)$$

Donde A_v es el área del centro del acristalamiento, A_m es el área del marco, A_b es el área de la frontera entre ambos y A_{pt} es el área proyectada total de la ventana.

WINDOW y THERM son herramientas potentes, numerosos estudios han sido llevados a cabo para comprobar su confiabilidad, comparando los valores calculados con mediciones realizadas en calorímetros (Griffith et al., 1998). La organización NFRC (National Fenestration Rating Council) estableció procedimientos basados en la utilización de estos programas para la certificación de aberturas en EEUU, en los cuales determina las condiciones de entorno que deberían ser usadas (Tabla 1-(C1)). Sin embargo, tanto WINDOW como THERM dan la posibilidad al usuario de configurar las condiciones de entorno que desee.

Con el fin de evaluar la sensibilidad del factor K a las condiciones de entorno, se consideran dos casos (Tabla 1Tabla 1): (C1) NFRC, condiciones estipuladas por el NFRC para la certificación de ventanas en Estados Unidos, y (C2) Mendoza, condiciones propuestas para el presente estudio como características del invierno en Mendoza. Los datos para Mendoza se determinaron en base a los datos climáticos provistos por la estación meteorológica Mendoza Observatorio. El diseño bioclimático generalmente considera condiciones climáticas críticas para asegurar que las condiciones de confort sean alcanzadas la mayoría del tiempo. Por lo tanto, se consideró como temperatura exterior la mínima media de julio (el mes más frío). La temperatura interior es la misma temperatura de confort que en la norma NFRC (21°C). En cuanto al coeficiente convectivo exterior, se utilizó el modelo de Kimura con el máximo valor medio de velocidad de viento (2.5 m/s) y la orientación barlovento. En cuanto a la temperatura de cielo, no se dispone de datos ni modelos específicos para la región. Si bien Mendoza cuenta con una condición de cielo despejado frecuente (lo cual le otorga un gran potencial de enfriamiento), se puede hacer la aproximación que esta característica no influiría tanto en el balance térmico de la ventana dado que el factor de visión de cielo se ve reducido por la orientación vertical de las fachadas, la morfología urbana y en algunos entornos urbanos por la forestación que tiene la ciudad. Por lo tanto, si bien este aspecto merece ser profundizado en futuros trabajos, para el presente estudio se consideró una temperatura de cielo igual a la temperatura exterior y una emisividad de cielo igual a 1. Finalmente, para el lado interior de la carpintería se tomó un coeficiente combinado radiativo-convectivo de 7 W/m²K.

| (C1) NFRC | | (C2) MENDOZA | |
|---|------------|---|------------|
| Temperatura exterior | -18°C | Temperatura exterior | 2.8°C |
| Temperatura interior | 21°C | Temperatura interior | 21°C |
| Coeficiente convectivo exterior | 26 W/m²K | Coeficiente convectivo exterior | 9.45 W/m²K |
| Temperatura de cielo | -18°C | Temperatura de cielo | 2.8°C |
| Emisividad de cielo | 1.00 | Emisividad de cielo | 1.00 |
| Coeficiente convectivo interior (aluminio) | 3.29 W/m²K | Coeficiente combinado (radiativo-convectivo) interior | 7 W/m²K |
| Coeficiente convectivo interior (aluminio c/ RPT) | 3.00 W/m²K | | |
| Temperatura media radiante interior | 21°C | | |

Tabla 1: Condiciones de entorno: (C1) estipuladas por el NFRC para la certificación de ventanas en Estados Unidos, (C2) propuestas para el presente estudio como condiciones características del invierno en Mendoza.

RESULTADOS

Se determinaron los coeficientes de transmitancia térmica K_{m1} y K_{m2} de los marcos de las dos ventanas para cada caso de condiciones de entorno, y luego se calculó el porcentaje de variación entre ellos. Los resultados se muestran en la Tabla 2 y se graficaron en la Figura 3. El porcentaje de variación es del -39.1 % para las condiciones de entorno (C1) y del -33.8 % para el caso (C2). Asimismo, se calcularon para cada caso los factores K_1 y K_2 para las ventanas completas, los porcentajes de variación entre los mismos y se representaron en un gráfico (Tabla 3, Figura 4). El porcentaje de variación entre K_1 y K_2 es prácticamente igual para los dos casos (-16.4 % y -16.2 %). Al promediar los valores K_{m1} y K_{m2} de los marcos con el mismo valor K_v de transmitancia térmica del vidrio, disminuye la diferencia entre los valores finales K_1 y K_2 . Estos resultados demuestran que si bien el Factor K de una misma carpintería puede variar de forma significativa en función de las condiciones de entorno, es válida la comparación de dos carpinterías (desde el punto de vista térmico) siempre y cuando se calculen los Factores K en base a unas condiciones de entorno idénticas. Una vez fijadas las mismas, se puede entonces utilizar el valor del Factor K para clasificar y certificar las carpinterías.

| | (C1) NFRC | (C2) MZA |
|------------------------------------|------------------|-----------------|
| K_{m1} (W/m²K) | 7.57 | 5.86 |
| K_{m2} (W/m²K) | 4.61 | 3.88 |
| Variación (%) | -39.1 % | -33.8 % |

Tabla 2: Valores de K para los marcos de la ventana 1 (K_{m1}) y de la ventana 2 (K_{m2})

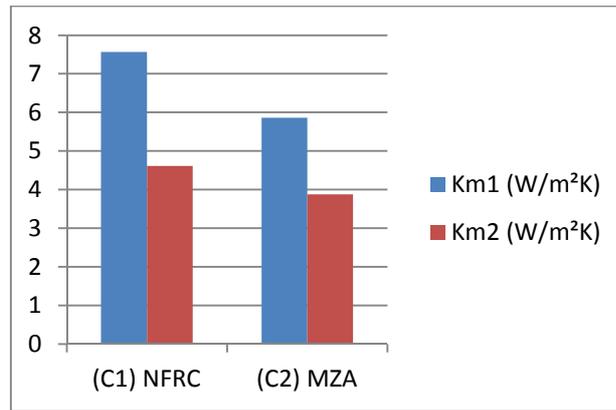


Figura 3: Comparación entre los valores de K para el marco de la ventana 1 (K_{m1}) y el marco de la ventana 2 (K_{m2})

| | (C1) NFRC | (C2) MZA |
|----------------------|---------------|---------------|
| K1 (W/m²K) | 6.41 | 5.06 |
| K2 (W/m²K) | 5.36 | 4.24 |
| Variación (%) | -16.4% | -16.2% |

Tabla 3: Valores de K para la ventana 1 (K_1) y para la ventana 2 (K_2)

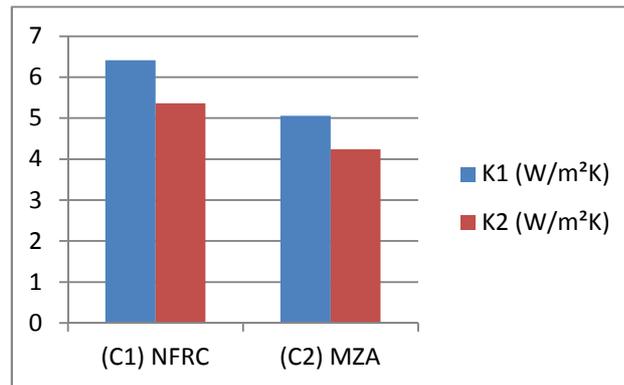


Figura 4: Comparación entre los valores de K para la ventana 1 (K_1) y para la ventana 2 (K_2)

Asimismo, el Factor K permite cuantificar la mejora aportada por alguna tecnología o geometría específica respecto de otra. En el ejemplo de estudio, el Factor K de la carpintería con RPT es más bajo en los dos casos (C1) y (C2). Se puede graficar la distribución de temperatura y del flujo de calor (Figura 5, Figura 6) para entender dónde están los puentes térmicos, lo cual convierte el THERM en una herramienta valiosa para el diseño de carpinterías más eficientes.

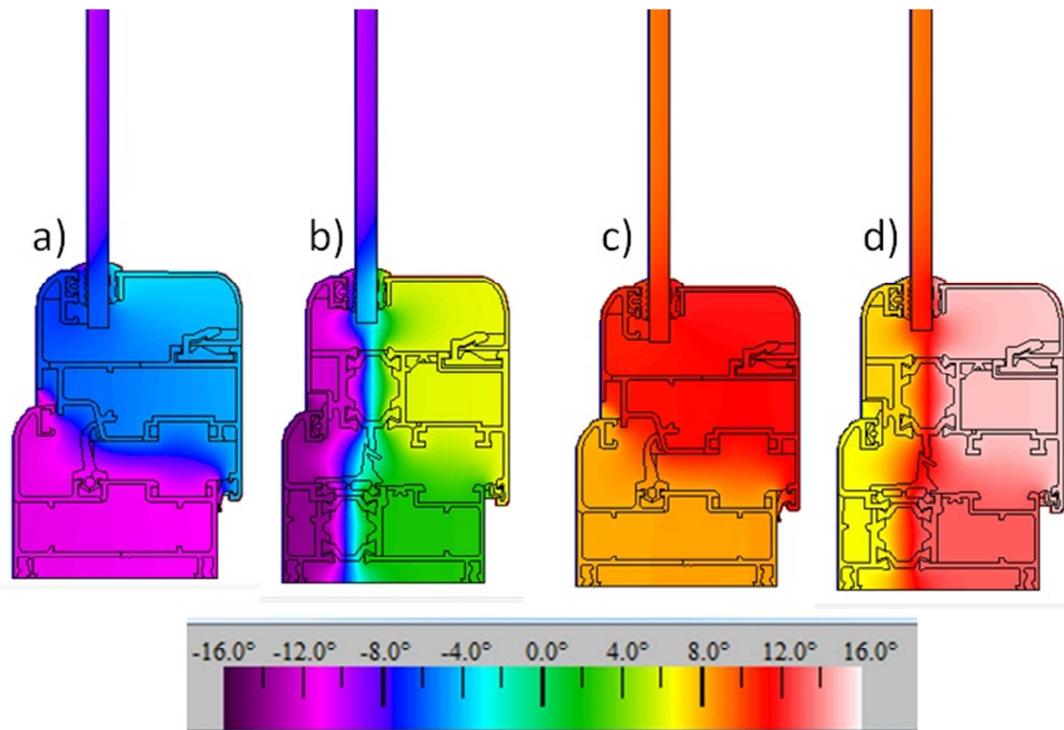


Figura 5: Distribución de temperaturas: a) V1 en caso (C1)NFRC, b) V2 en caso (C2)NFRC, c) V1 en caso (C2)MZA y d) V2 en caso (C2)MZA.

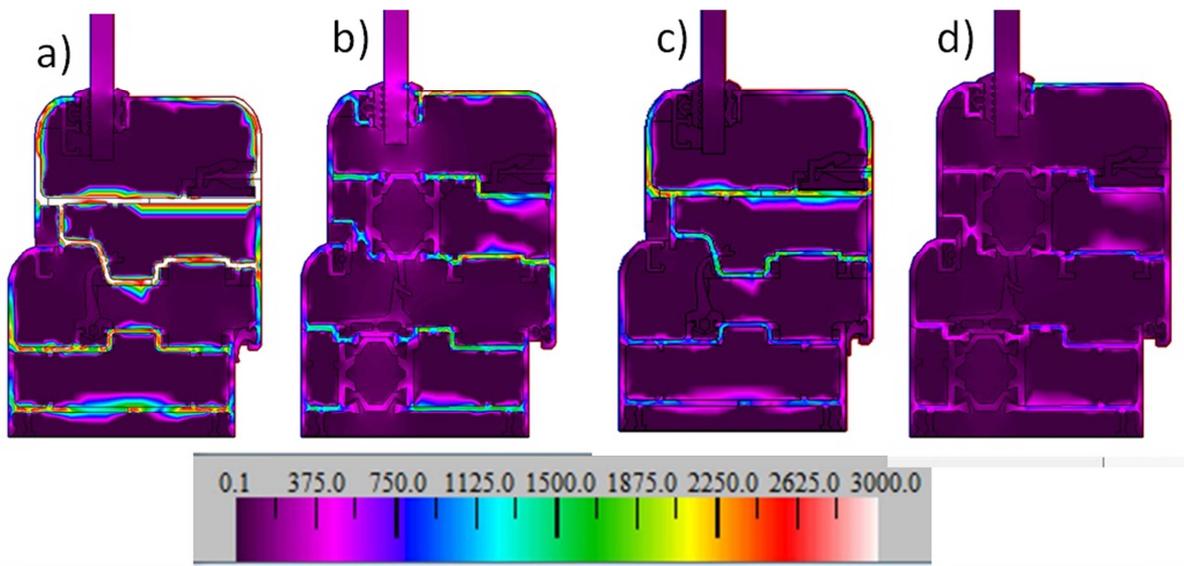


Figura 6: Distribución de la densidad de flujo de calor (W/m^2): a) V1 en caso (C1)NFRC, b) V2 en caso (C2)NFRC, c) V1 en caso (C2)MZA y d) V2 en caso (C2)MZA.

Los perfiles de flujos de calor y temperaturas son similares en los casos (C1) y (C2), y ponen en evidencia la existencia de puentes térmicos importantes en la carpintería V1, que se ven reducidos por la presencia de las varillas de poliamida en la ventana V2. La distribución de temperaturas en esta carpintería se ve más estratificada, con una diferencia marcada entre las temperaturas superficiales interior y exterior. Las simulaciones realizadas con las condiciones de entorno (C1) tanto como (C2) permiten comprobar la eficiencia de la tecnología de ruptura de puente térmico y la comparación de los valores de K de las dos ventanas permite cuantificar el ahorro energético subsecuente. Sin embargo, los valores de temperatura obtenidos en la superficie de la ventana difieren significativamente, siendo al nivel del acristalamiento de $-9^{\circ}C$ en el caso NFRC (C1) y de $10^{\circ}C$ en el caso (C2) de Mendoza. Para predecir los aspectos de condensación o de confort térmico, importa conocer estas temperaturas superficiales con más precisión. La intensidad de flujo de calor también es mucho más alta en el caso (C1) que en el caso (C2), lo cual implica más pérdidas de energía. Esto se ve reflejado en los valores de K, que observan una disminución del 21 % entre los casos (C1) y (C2) para las dos ventanas (Tabla 4). En conclusión, el valor de K obtenido en el

caso NFRC no es representativo del comportamiento de la abertura en climas como el de Mendoza, que tengan datos climáticos muy diferentes de los usados para la simulación.

| | (C1) NFRC | (C2) MZA | Variación |
|-----------|--------------|--------------|-----------|
| Ventana 1 | $K_1 = 6.41$ | $K_1 = 5.06$ | -21.1 % |
| Ventana 2 | $K_2 = 5.36$ | $K_2 = 4.24$ | -20.9 % |

Tabla 4: Porcentaje de variación del factor K obtenido en el caso (C1) y en el caso (C2) para cada ventana

CONCLUSIONES

El Factor K calculado en base a los datos (C2)MZA difiere de un -21 % respecto del valor obtenido con las condiciones de entorno (C1)NFRC. Esta variación es incluso más grande que la variación obtenida entre los dos diseños de carpinterías en unas mismas condiciones de entorno (-16 %), lo cual resalta la necesidad de definir condiciones climáticas más representativas del entorno en el cual va a ser implantada la abertura. Para diseñar un edificio sustentable, el proyectista generalmente utiliza herramientas de simulación energética como SIMEDIF, COMFEN, ENERGY PLUS, etc. Al ingresar los datos del proyecto se debe estimar el valor del Factor K de las ventanas. Existen valores de tablas (ASHRAE, 2009; IRAM 11507-4) calculados en base al procedimiento NFRC, pero no reflejan las características de la carpintería (dimensiones, geometría) ni la realidad del clima propio a cada región o alguna característica particular del edificio de estudio. Sin embargo el Factor K de las ventanas influye considerablemente sobre las pérdidas térmicas del espacio, más todavía en los edificios cuya fachada tiene un porcentaje alto de superficie vidriada. Cuando el objetivo es predecir el comportamiento térmico del edificio dentro de su contexto geográfico, se vuelve interesante ajustar el valor de K de todos los componentes del edificio para obtener resultados más exactos. Esto implica una selección cuidadosa de modelos de convección y temperatura de cielo en función de los datos del proyecto (orientación y altura de la abertura, nubosidad y presión de vapor promedios de la localidad, etc.).

En resumen, se observó que los programas WINDOW y THERM son herramientas muy valiosas para el diseño y la evaluación energética de las carpinterías exteriores. Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que tienen una buena sensibilidad a la tecnología de la carpintería tanto como a las bases climáticas, permitiendo evaluar con precisión el comportamiento térmico de una abertura en su clima regional.

Actualmente en Argentina, se trabaja sobre la elaboración de la norma IRAM 11507-6- Carpintería de obra y fachadas integrales livianas. Ventanas exteriores. Parte 6: Etiquetado energético de ventanas. Una manera de obtener el valor del Factor K de forma precisa como muestra este artículo es a partir de los modelos de predicción THERM y WINDOW, actualmente aceptados por la normativa de varios países como método de cálculo para certificar ventanas (NFRC 100-2010; Pattini et al., 2013; PICTO ENARGAS 0133) por lo que su conocimiento y utilización adecuada permitirá aportar al proceso de clasificación y certificación energética de ventanas a nivel nacional.

Agradecimientos: las autoras agradecen la valiosa revisión y aportes a este trabajo de la Dra. Erica Correa.

REFERENCIAS

- ASHRAE, 2009. Fundamentals, 2009 ASHRAE Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 15-8.
- Crawford, T.M. y Duchon, C.E., 1999. An improved parametrization for estimating effective atmospheric emissivity for use in calculating daytime downwelling longwave radiation. *Journal of Applied Meteorology*, 38, 474-480.
- Emmel, M.G. y Abadie, M.O., Mendes, N., 2007. New external convective heat transfer coefficient correlations for isolated low-rise buildings. *Energy and Buildings* 39, 335-342.
- Finlayson, E., Mitchell, R., Arasteh, D., Huizenga, C. y Curcija, D., 1998. THERM 2.0 Program description. A PC program for analysing the two-dimensional heat transfer through building products, University of California, Berkeley.
- Griffith, B., Curcija, D., Türlér, D. y Arasteh, D.K., 1998. Improving computer simulations of heat transfer for projecting fenestration products: Using radiation view-factor models. *ASHRAE Transactions* 104(1). LNBL-40706.
- IRAM 11507-4, 2010. Carpintería de obra y fachadas integrales livianas, Ventanas exteriores, Parte 4- Requisitos complementarios. Aislación térmica.
- ISO 15099, 2003. Thermal performance of Windows, doors and shading devices – Detailed calculations. International Standard.
- Klems, J.H., 1997. Greenhouse Window U-Factors Under Field Conditions, Lawrence Berkeley National Laboratory LBNL-40448
- LBNL, 2011. THERM 6.3/WINDOW 6.3 NFRC Simulation Manual, Lawrence Berkeley National Laboratory
- NFRC, 2010. Procedure for Determining Fenestration Product U-Factors (NFRC 100-2010). National Fenestration Rating Council, Inc.
- Palyvos, J.A., 2008. A survey of wind convection coefficient correlations for building envelope energy systems' modeling. *Applied Thermal Engineering*, 28, 801-808.

- Pattini A., Esteves A., Mitchell J., de Rosa C. 1997. Tecnología de cerramientos transparentes para edificios en zonas aisladas: incorporación de dobles vidrios y perfiles eficientes de bajo costo. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 1 N° 1, pp. 165-168. Río Cuarto, Argentina.
- Pattini, A.E., Villalba, A., Correa, E. y Fernández Llano J.C., 2013. Análisis de la certificación de eficiencia energética de ventanas. Índices termo-lumínicos. Encuentro Latinoamericano de Uso Racional y Eficiente de la Energía – ELUREE2013.
- RDH Building Engineering Ltd., 2014. International Window Standards – Final Report.
- Secretaría de Energía de la República Argentina, 2012. Balance Energético, www.energia.gov.ar (consultado el 11/08/2014)
- Servicio Meteorológico Nacional,
- Sinha, A. y Kutnar, A., 2012. Carbon Footprint versus Performance of Aluminum, Plastic, and Wood Window Frames from Cradle to Gate. Buildings 2012, 2, 542-553.
- www.aluar.com.ar (consultado el 07/08/2014)

ABSTRACT: The U-factor characterizes the thermal behavior of windows. It depends on the design, the technology and the material of the profiles (frames and sashes) and on the environmental conditions of the fenestration system. The sensitivity of the heat transfer calculation software THERM and WINDOW to those characteristics is evaluated, considering two types of aluminum frames and two sets of environmental conditions. The thermally broken frame obtains better values of U than the traditional one in both cases of environmental conditions. On the other hand, the percentages of variation of U between one case of environmental conditions and another are practically the same for both windows. Those results demonstrate the adequate sensitivity of the simulation programs to the materials, design of window profiles and climatic parameters, opening the way to their use for windows national energy certification and for bioclimatic buildings design.

Keywords: U-Factor, Window, Environmental conditions, Simulation