

EVALUACIÓN DEL BALANCE ENERGÉTICO DE VENTANAS EN MENDOZA. IMPACTO DE SU TECNOLOGÍA Y ORIENTACIÓN.

M. de Gastines¹, E. Correa², 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 02/09/15, aceptado 08/10/15

RESUMEN: Las ventanas tienen un fuerte impacto sobre los consumos energéticos edificados. Las tecnologías de aberturas aislantes desarrolladas internacionalmente han mostrado resultados en los países fríos, pero no son necesariamente las más adecuadas para climas templados y soleados. Se calcularon mediante simulación los índices térmicos (K y FS) de tres tecnologías de ventanas con distintos niveles de aislación térmica, en el entorno climático de Mendoza. Luego se realizaron los balances energéticos detallados asociados, con el objetivo de cuantificar los ahorros energéticos inherentes a una mejora tecnológica de las aberturas (doble vidrio hermético y ruptura de puente térmico). Asimismo, se analizó el impacto de la orientación de las aberturas en una vivienda sobre el consumo energético, para luego confrontar ambas estrategias. Los resultados sugieren que para las zonas de baja densidad edilicia, la adecuada distribución de las ventanas tiene mayor potencial de ahorro energético que la utilización de tecnologías conservativas de mayor costo y demanda tecnológica.

Palabras clave: Ventana. Factor K. Factor solar. Balance energético.

INTRODUCCIÓN

El sector edificio representa un tercio del consumo energético final mundial. Para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, es primordial el diseño de envolventes energéticamente eficientes (International Energy Agency, 2013). En las últimas décadas, se han desarrollado internacionalmente tecnologías de aberturas aislantes con el objetivo de disminuir las transferencias de calor a través de las envolventes, considerando que las aberturas tienen un impacto negativo sobre los consumos energéticos edificados (Pattini et al. 1997; Laustsen y Svendsen, 2005; Sinha y Kutnar, 2012). Por ejemplo, en Noruega, en un edificio de 8 x 10 m² con 2 pisos de 2,5 m y 30% de la fachada cubierta por ventanas, cuya envolvente cumple con los requerimientos del código de edificación noruego en cuanto a la transmitancia térmica de sus elementos, aproximadamente el 60% de las pérdidas de energía se producen a través de las ventanas. Reduciendo la superficie vidriada a un 20% de la fachada, las pérdidas a través de las ventanas representan un 45% de las pérdidas totales de energía del edificio (Gustavsen, 2008).

En Argentina, las ventanas de aluminio sin ruptura de puente térmico con simple vidrio siguen siendo predominantes en el mercado, sin embargo se observa un progreso de tecnologías alternativas inspiradas de los desarrollos a nivel internacional. Las ventas de carpinterías de PVC (material mucho más aislante que el aluminio) han ido aumentando mientras que las empresas extrusoras de aluminio ofrecen ahora líneas de productos con Ruptura de Puente Térmico (RPT). Asimismo, es cada vez más

¹ Becaria Doctoral CONICET

² Investigadora Adjunta CONICET

³ Investigadora Principal CONICET

frecuente el uso de Doble Vidriado Hermético (DVH), el cual es un aislante térmico y acústico. Sin embargo, no necesariamente las tecnologías que fueron desarrolladas para climas fríos son las más convenientes en climas templados cálidos y muy soleados como los que caracterizan buena parte del territorio argentino. La preponderancia de las pérdidas en el balance energético del edificio es característica de los climas fríos que disponen de un recurso solar escaso. En los climas cálidos y con mucha radiación solar como Mendoza, la ganancia solar toma relevancia, porque permite disminuir las cargas de calefacción durante el invierno, y por otro lado produce cargas de enfriamiento durante el verano. Debido a la variabilidad de la disponibilidad de radiación solar según las distintas orientaciones de fachada, resulta de interés estudiar además la influencia de la distribución de las aberturas sobre el balance energético de una vivienda.

Si bien se han realizado varios estudios que analizan el impacto energético de las aberturas en este tipo de climas (Balter et al., 2012; Barea et al., 2011; entre otros), los mismos carecen de precisión en cuanto a los índices térmicos de las aberturas (valores de tabla poco representativos del diseño específico de cada ventana) y no ofrecen una visión integral de la contribución del diseño, tecnología y materiales de aberturas (ganancias/pérdidas, invierno/verano). Este trabajo tiene como objetivo cuantificar detalladamente los ahorros energéticos asociados a la tecnología de aberturas en relación al entorno climático de Mendoza, comparando los balances energéticos anuales de una ventana de aluminio tradicional con simple vidrio, la misma ventana con DVH y una ventana que tenga DVH y ruptura de puente térmico. Asimismo, se estudiará la influencia de la orientación de las aberturas en una vivienda para analizar el impacto de la tecnología versus la distribución adecuada de las ventanas para aprovechar el recurso solar.

METODOLOGÍA

En este trabajo no se consideraron los ahorros energéticos por uso de iluminación natural. En cuanto a las infiltraciones de aire, si bien este aspecto puede variar significativamente en el caso de las carpinterías comúnmente usadas en Argentina, depende fuertemente de la correcta colocación de burletes (Volantino and Siles, 2007). En este trabajo se supuso que las infiltraciones de aire no se veían modificadas de forma significativa entre los diferentes casos estudiados, y que por lo tanto no influían en la comparación entre las distintas tecnologías de aberturas estudiadas. Además se supuso que no hay obstrucciones del entorno, es decir que toda la radiación solar disponible se puede aprovechar.

Selección de los casos de estudio

Para llevar a cabo el estudio propuesto, se seleccionaron 3 tecnologías de aberturas dentro de las carpinterías disponibles en el mercado nacional. Se eligió para el caso base (caso base SV) un modelo típico, liviano y con simple vidriado de 3 mm, de gran distribución en todo el país. En particular, este tipo de carpinterías se usa masivamente en los barrios construidos por el Instituto Provincial de la Vivienda. La tipología más usada es la corrediza y las dimensiones típicas son 1.10 x 1.50 m. Los casos mejorados contemplan la colocación de un DVH 3-6-3 a esta carpintería base (caso 1 S/R DVH) y el uso de un marco con RPT asociado a un DVH 4-12-4 (caso 2 C/R DVH). La Ilustración 1 muestra las secciones horizontal y vertical de las 3 tecnologías de aberturas seleccionadas e indica el porcentaje del área total ocupado por el marco.

Caracterización del entorno climático

Luego se caracterizó el entorno climático de Mendoza. Se utilizaron los datos provistos por el Servicio Meteorológico Nacional y correspondientes a la estación “Mendoza Aeropuerto” para el período de tiempo 2001-2010. En cuanto a la irradiancia horizontal global diaria, se utilizaron los datos promediados por mes de un archivo TMY3 (“Typical Meteorological Year”) elaborado por Weather Analytics a partir del modelo CFSR (“Climate Forecast System Reanalysis”) del NOAA/NCEP, el cual establece el año meteorológico típico que mejor represente las condiciones climatológicas del lugar (Keller y Khuen 2012). Los datos utilizados en este trabajo se muestran en la Tabla 1.

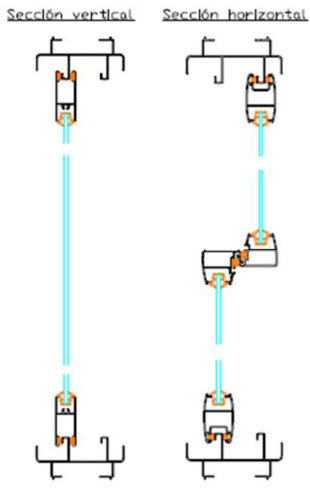
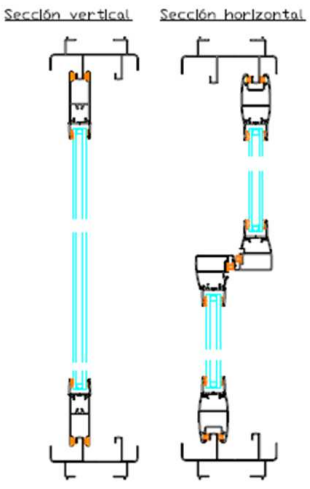
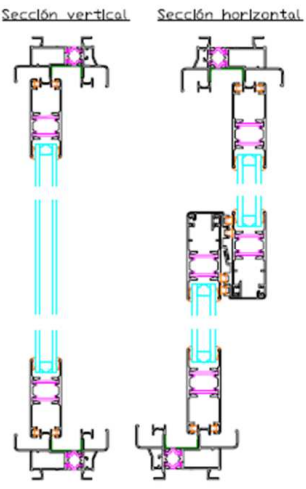
| Caso base Vidrio float 3mm S/R | Caso mejorado 1 DVH 3/6/3 S/R | Caso mejorado 2 DVH 4/12/4 C/R |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Área marco: 0.45 m ² . Área marco/área ventana=27%. | Área marco: 0.52 m ² . Área marco/área ventana=32%. | Área marco: 0.62 m ² . Área marco/área ventana=38%. |

Ilustración 1: secciones vertical y horizontal de los 3 casos de estudio.

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temperatura máxima media (°C) | 32.8 | 31.6 | 28.2 | 23.4 | 17.9 | 16.0 | 15.6 | 18.2 | 21.3 | 26.4 | 29.6 | 31.8 |
| Temperatura media (°C) | 26.0 | 24.5 | 21.7 | 16.3 | 11.4 | 8.7 | 8.1 | 10.5 | 14.3 | 19.3 | 22.5 | 24.8 |
| Temperatura mínima media (°C) | 19.2 | 18.0 | 16.0 | 10.3 | 6.1 | 2.8 | 2.2 | 4.2 | 7.7 | 12.2 | 15.5 | 17.9 |
| Radiación promedia diaria (MJ/m ²) | 33.12 | 29.45 | 23.94 | 18.63 | 12.98 | 11.54 | 11.91 | 15.78 | 21.42 | 26.88 | 32.01 | 33.97 |
| Intensidad de viento promedia (m/s) | 2.31 | 1.92 | 1.67 | 1.36 | 1.25 | 1.17 | 1.36 | 1.67 | 1.86 | 2.25 | 2.47 | 2.44 |

Tabla 1: Datos climáticos utilizados en este trabajo.

Necesidades de acondicionamiento térmico

Se calcularon los períodos de calefacción y refrigeración tomando como temperatura base 18°C en invierno y 23°C en verano. De acuerdo a este criterio se consideró que el período de invierno se extiende desde abril a septiembre, mientras que el período de verano incluye los meses de diciembre a febrero. La Tabla 2 muestra las condiciones de temperatura, viento e irradiancia promedio calculadas para los dos períodos así definidos.

| | Invierno (abr-set) | Verano (dic-feb) |
|--|--------------------|------------------|
| Temperatura máxima media (°C) | 18.7 | 32.1 |
| Temperatura media (°C) | 11.6 | 25.1 |
| Temperatura mínima media (°C) | 5.6 | 18.4 |
| Radiación promedia diaria (MJ/m ²) | 15.4 | 32.2 |
| Intensidad de viento promedia (m/s) | 1.44 | 2.22 |

Tabla 2: Condiciones de entorno para los períodos Invierno y Verano.

Cálculo de los índices térmicos K y FS

El Factor K y el Factor solar (FS) de las 3 ventanas seleccionadas se determinaron mediante simulaciones en los programas WINDOW 6.3 y THERM 6.3 (Robin et al., 2011), que demostraron tener buena sensibilidad al diseño y tecnología de marcos así como a las condiciones climáticas (de Gastines, Villalba, and Pattini, 2014). Ambos programas requieren una definición de las condiciones de borde para calcular las transferencias de calor a través de las distintas secciones de las carpinterías. Se eligió como temperatura interior la temperatura de confort, fijada en 20°C para el invierno y en

25°C en verano. La temperatura exterior, velocidad de viento e irradiación diaria se definieron con base en los datos de la Tabla 1. Se adoptó el modelo convectivo exterior de Kimura. Este modelo es el que mejor ajusta con los valores de coeficientes convectivos medidos en la estación del MoWitt (Yazdanian and Klems, 1994) y corresponde usarlo ya que la densidad edilicia en Mendoza, excepto en el microcentro, es baja, al igual que el ejemplo de estudio (vivienda unifamiliar). En cuanto a los intercambios radiativos con el exterior, se consideró el modelo de cuerpo negro asignando al cielo la misma temperatura que el aire. Finalmente, se consideró un modelo combinado radiativo-convectivo del lado interior con un coeficiente pelicular de 8 W/m²K.

Balance energético de la ventana

El balance energético de la ventana consiste en hacer la suma algébrica de las ganancias y pérdidas de energía a través de la misma. Por un lado se obtuvieron las transferencias de calor debidas a la conductancia de la ventana, multiplicando el Factor K (expresado en W/m²K) por la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, y por el tiempo (en este caso se consideró un día). Por otro lado, se calculó la ganancia solar tomando en cuenta por separado los factores solares del marco y del vidrio. Se supuso que el factor solar del marco no depende del ángulo de incidencia de la radiación solar, considerando que se trata de un medio opaco. En el caso del vidriado, esta hipótesis no es válida debido a la transparencia del medio, donde las refracciones y reflexiones sucesivas dependen del ángulo de incidencia. Además, la radiación tiene una componente directa (direccional) y una difusa (resultado de múltiples reflexiones y por lo tanto multi-direccional).

Para cada mes, se seleccionó el día en el cual la radiación diaria extraterrestre más se aproxima al valor medio mensual. Estos días fueron recomendados por Klein, quién advirtió que usar el día 16 de cada mes llevaría a cometer errores en la estimación de la radiación promedia mensual, particularmente en junio y diciembre. Los días representativos se muestran en la tabla 3 (Klein, 1977).

| Mes | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Día del año | 17 | 47 | 75 | 105 | 135 | 162 | 198 | 228 | 258 | 288 | 318 | 344 |
| Fecha | 17/01 | 16/02 | 16/03 | 15/04 | 15/05 | 11/06 | 17/07 | 16/08 | 15/09 | 15/10 | 14/11 | 10/12 |

Tabla 3: días representativos de la radiación promedia mensual según Klein (Klein, 1977).

Se utilizó GEOSOL (Hernández, 2003) para conocer los valores de irradiancia sobre las fachadas verticales en las 4 orientaciones cardinales, considerando un albedo de 0.3 y utilizando el método de Liu-Jordan, que descompone la radiación total diaria en valores horarios de irradiación para cada orientación. Dado que el valor de irradiación global sobre superficie horizontal deriva de un promedio entre días claros y nublados, el método de Liu-Jordan es más conservativo que los otros métodos (Page y Hottel) disponibles en GEOSOL. Con el mismo programa se determinaron también la altitud (β) y el azimut (γ) solares para cada hora diurna. Estos datos permitieron luego calcular el ángulo θ de incidencia de la radiación solar sobre la ventana (en posición vertical y de azimut Z) para cada hora, según la fórmula (1):

$$\cos(\theta) = \cos(Z - \beta) \cdot \cos(\gamma) \quad (1)$$

Luego se dedujo para cada hora el factor solar (angular) del vidrio para la radiación directa, se multiplicó por la intensidad de la misma (para la orientación de fachada considerada), y se sumaron los valores de todo el día, obteniendo así la ganancia directa diaria por la superficie vidriada de la ventana. En cuanto a la componente difusa de la luz, se utilizó el factor solar hemisférico dado por WINDOW, que integra los valores de FS sobre todo el hemisferio. Los valores de FS_{dif} y FS_m son constantes a lo largo del día, por lo tanto se multiplicaron directamente por las irradiaciones totales diarias I_{dif} e I_{tot}. Asimismo, se consideró K es constante, y que se mantiene la temperatura interior constante al valor de confort (20°C en invierno, 25°C en verano). Por lo tanto el balance energético de la ventana se pudo escribir de acuerdo a la ecuación (2).

$$Q = 24 * K * (T_{ext_media} - T_{int}) * A_{tot} + FS_{dif} * I_{dif} * A_v + FS_m * I_{tot} * A_m + \sum_{n=1}^{24} (FS_{dir_n} * I_{dir_n} \quad (2)$$

Donde A_v , A_m y A_{tot} son respectivamente las áreas proyectadas del vidrio, del marco y de la ventana completa, I_{dir_n} y FS_{dir_n} son respectivamente la irradiancia directa que incide sobre el plano de la ventana en la hora n , y el factor solar angular asociado.

Influencia de la distribución de ventanas en una vivienda

Para evaluar la influencia de la distribución de ventanas por fachada, se consideraron 3 configuraciones distintas. La primera fue considerada uniforme (25% de la superficie total de ventanas por fachada) lo cual corresponde al caso general, debido a que generalmente los arquitectos privilegian el aspecto estético y funcional de las viviendas sin considerar criterios térmicos, y muchas veces no son conscientes de los beneficios de orientar las aberturas hacia una dirección o la otra. Asimismo, los modelos de casas propuestos por los programas de crédito para la construcción no definen una orientación preferible, por lo tanto las casas se ubican en función de la orientación del lote y no de la trayectoria solar. Las otras dos configuraciones propuestas para el estudio se definieron de manera a aprovechar el recurso solar, orientando la mayor superficie de ventana al norte, con distintos grados de exigencia.

RESULTADOS

Cálculo de los índices térmicos K y FS

Los valores de K y FS obtenidos se indican en la Tabla 4. Figuran también los valores de los factores K del vidrio (K_v) y del marco (K_m) que permiten discernir el impacto de cada parte de la ventana sobre el valor final del índice K. Asimismo, se aclaran las contribuciones del vidriado y del marco al valor final del factor solar (FS_v y FS_m respectivamente).

| K | Invierno | | | Verano | | |
|------------------|----------|-------|------|--------|-------|------|
| | K_v | K_m | K | K_v | K_m | K |
| CASO BASE (SV) | 4.74 | 10.00 | 6.17 | 4.86 | 10.24 | 6.33 |
| CASO 1 (S/R DVH) | 2.97 | 9.13 | 4.98 | 3.09 | 9.36 | 5.13 |
| CASO 2 (C/R DVH) | 2.63 | 4.66 | 3.45 | 3.09 | 4.77 | 3.56 |

| FS Incidencia normal | Invierno | | | Verano | | |
|-------------------------|----------|--------|-------|--------|--------|-------|
| | FS_v | FS_m | FS | FS_v | FS_m | FS |
| CASO BASE (SV) | 0.870 | 0.101 | 0.661 | 0.869 | 0.096 | 0.659 |
| CASO 1 (S/R DVH) | 0.772 | 0.107 | 0.560 | 0.771 | 0.099 | 0.557 |
| CASO 2 (C/R DVH) | 0.781 | 0.055 | 0.508 | 0.780 | 0.052 | 0.506 |

Tabla 4: Valores de K y FS obtenidos para los 3 casos de estudio (períodos de invierno y verano)

A partir de estos valores, se puede observar que el factor solar de una ventana dada es casi idéntico para las condiciones de invierno y de verano. El Factor K es un poco más bajo para las condiciones de invierno, debido a la velocidad de viento promedia más baja que durante el verano, lo cual se traduce en un coeficiente convectivo exterior más bajo.

Comparando los valores de transmitancia térmica de los distintos casos de estudio, se observa que el factor K de la ventana 2 es más bajo que el de la ventana 1, lo cual se debe a la ruptura de puente térmico (diferencia importante entre los valores de K_m). Asimismo, el factor K de la ventana 1 es más bajo que el de la ventana base, por efecto del vidriado más aislante (diferencia importante entre los valores de K_v). En cuanto al factor solar, se reduce de un 15% aproximadamente entre los casos 1 y 2, debido esencialmente al número de panes vidriados, y luego se reduce de otro 9% entre los casos 2 y

3, lo cual se atribuye a la disminución de la superficie transparente (utilización de un marco más ancho).

En cuanto al vidriado, debido a su transparencia, el factor solar depende del ángulo de incidencia de la radiación respecto a la normal al plano de la ventana. En la Tabla 5 figuran los valores FSv del factor solar del vidrio en función del ángulo de incidencia. También se indica el valor hemisférico, el cual se puede interpretar como factor solar equivalente para la radiación difusa.

| FSv según ángulo de incidencia | Invierno | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | hemis |
| CASO BASE (SV) | 0.870 | 0.870 | 0.869 | 0.865 | 0.857 | 0.838 | 0.792 | 0.681 | 0.431 | 0.793 |
| CASO 1 (S/R DVH) | 0.772 | 0.772 | 0.770 | 0.764 | 0.752 | 0.722 | 0.655 | 0.513 | 0.271 | 0.674 |
| CASO 2 (C/R DVH) | 0.781 | 0.781 | 0.779 | 0.774 | 0.762 | 0.732 | 0.664 | 0.519 | 0.273 | 0.683 |

| FSv según ángulo de incidencia | Verano | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | hemis |
| CASO BASE (SV) | 0.869 | 0.869 | 0.867 | 0.864 | 0.856 | 0.837 | 0.790 | 0.679 | 0.430 | 0.792 |
| CASO 1 (S/R DVH) | 0.771 | 0.770 | 0.768 | 0.763 | 0.750 | 0.721 | 0.653 | 0.511 | 0.270 | 0.672 |
| CASO 2 (C/R DVH) | 0.780 | 0.780 | 0.778 | 0.773 | 0.761 | 0.731 | 0.663 | 0.518 | 0.272 | 0.682 |

Tabla 5: Valores del factor solar del centro del vidrio (FSv) según el ángulo de incidencia de la radiación sobre el plano de la ventana (períodos de invierno y verano)

Se observa una disminución significativa (10 a 15%) del factor solar angular respecto del índice FS a incidencia normal, cuando el ángulo de incidencia respecto al plano de la ventana es 60°, valor a partir del cual la ganancia solar disminuye drásticamente. Considerando que en el solsticio de verano la altitud solar al mediodía es 81° en Mendoza, surge la necesidad de realizar un balance detallado hora a hora.

Balance energético de las ventanas

Se grafica la ganancia solar diaria para cada orientación y cada ventana estudiada (Ilustración 2). Durante el período de calefacción, la ganancia solar al norte varía entre 7,5 y 11,0 MJ/m² para las ventanas con DVH (casos 1 y 2) mientras que varía entre 10,5 y 13,2 MJ/m² en el caso base (con simple vidriado), es decir una diferencia superior a 2 MJ/m². Se observa que a pesar de que la intensidad de la radiación horizontal global disminuya significativamente entre mayo y julio (valores alrededor de 12 MJ/m² contra 18,63 MJ/m² en abril, 21,42 MJ/m² en setiembre y 33,97 MJ/m² en diciembre), la ganancia al norte es máxima en junio debido a que en este mes, los rayos llegan con un ángulo de incidencia menor respecto a la normal a la ventana, lo cual corresponde a un valor más elevado de FS_v.

Al este y al oeste, las ventanas reciben radiación directa únicamente en la mañana o en la tarde, siendo además la radiación de menor intensidad en estas horas que alrededor del mediodía solar. Esto explica por qué la ganancia solar en estas orientaciones es relativamente baja, variando entre 4,3 MJ/m² y 7,7 MJ/m² diarios durante el período de invierno. Sin embargo, en el período de verano, corresponden a la mayor ganancia solar. Esto se debe a que la radiación es más horizontal en la mañana y en la tarde, sumado a valores de irradiancia solar más elevados en estos meses.

La ganancia solar al sur corresponde únicamente a la radiación difusa (vidriado y marco) durante el período de calefacción, debido a que no llega radiación directa a la ventana entre el equinoccio de marzo y el de setiembre. Por lo tanto se mantiene en valores bajos (2 MJ/m² diarios). En el período de refrigeración aparece radiación directa en la orientación sur, por lo tanto estos valores aumentan ligeramente hasta alcanzar los 4,9 MJ/m² diarios.

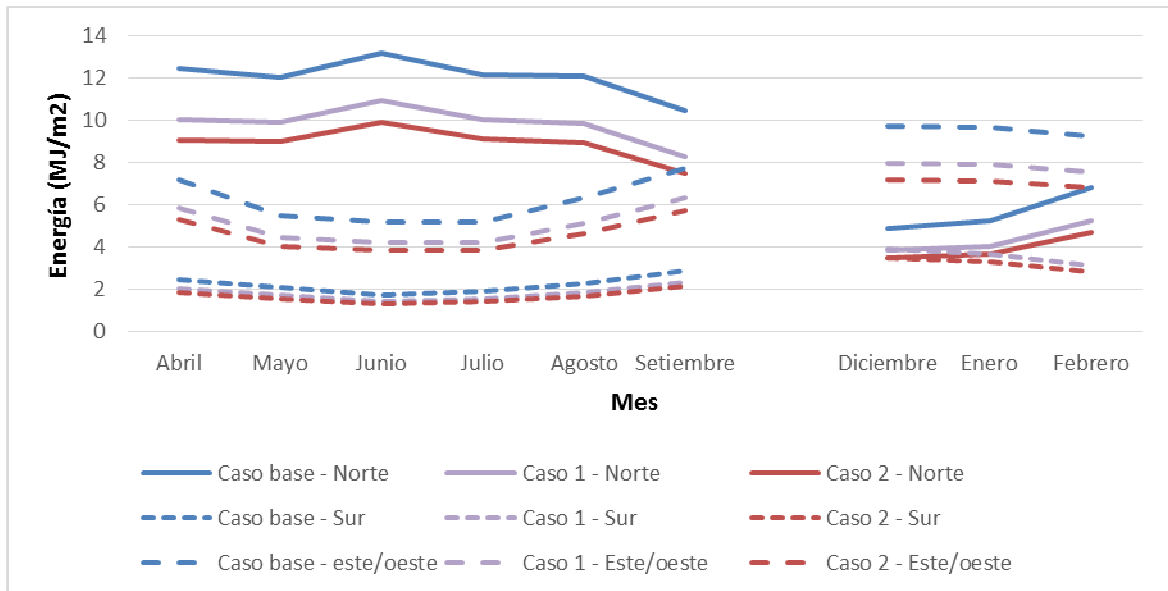


Ilustración 2: Ganancia solar (MJ/m^2) por orientación en los 3 casos estudiados

La Ilustración 3 muestra las transferencias de calor (pérdidas en invierno, ganancias en verano) ocasionadas por diferencia de temperatura interior/exterior e infiltraciones de aire.

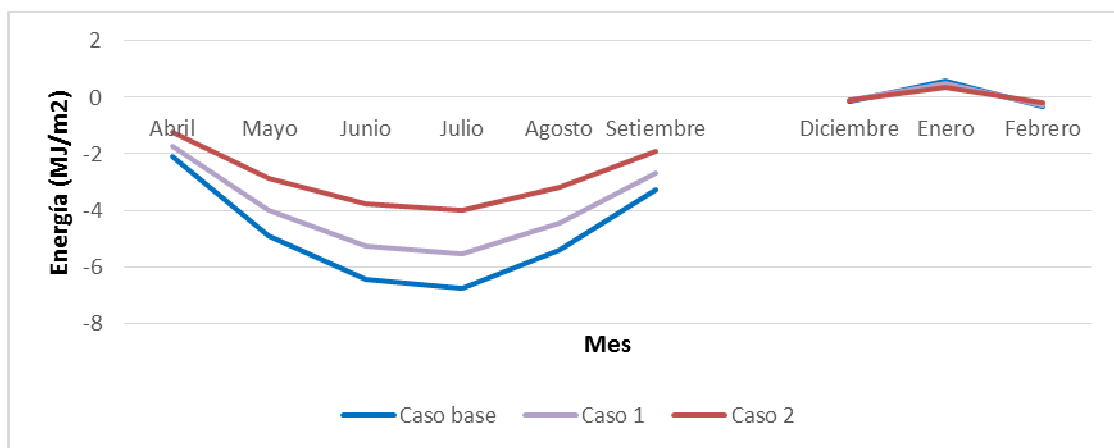


Ilustración 3: Transferencias de calor por diferencia de temperatura e infiltraciones de aire (MJ/m^2)

En el período de refrigeración, las transferencias de calor por diferencia de temperatura son insignificantes (ganancia máxima: $0,6 MJ/m^2$ diarios) debido a que la diferencia entre la temperatura media diaria y la temperatura de confort es muy pequeña. Por lo tanto en el balance energético va a influir muy poco el valor del K. En el período de calefacción, hay una diferencia significativa entre las transferencias de calor correspondientes a las distintas ventanas. En el mes de julio, cuando más pérdidas de energía hay, la ventana base pierde $6,8 MJ/m^2$ diarios, contra $4,0 MJ/m^2$ para la ventana 2 (la más aislante). La ventana 1 tiene un comportamiento intermedio.

Sumando las ganancias y pérdidas, se obtiene el balance energético diario (en MJ/m^2) para las 3 ventanas y las 4 orientaciones cardinales en los distintos meses. Los resultados están graficados por orientación en la Ilustración 3.

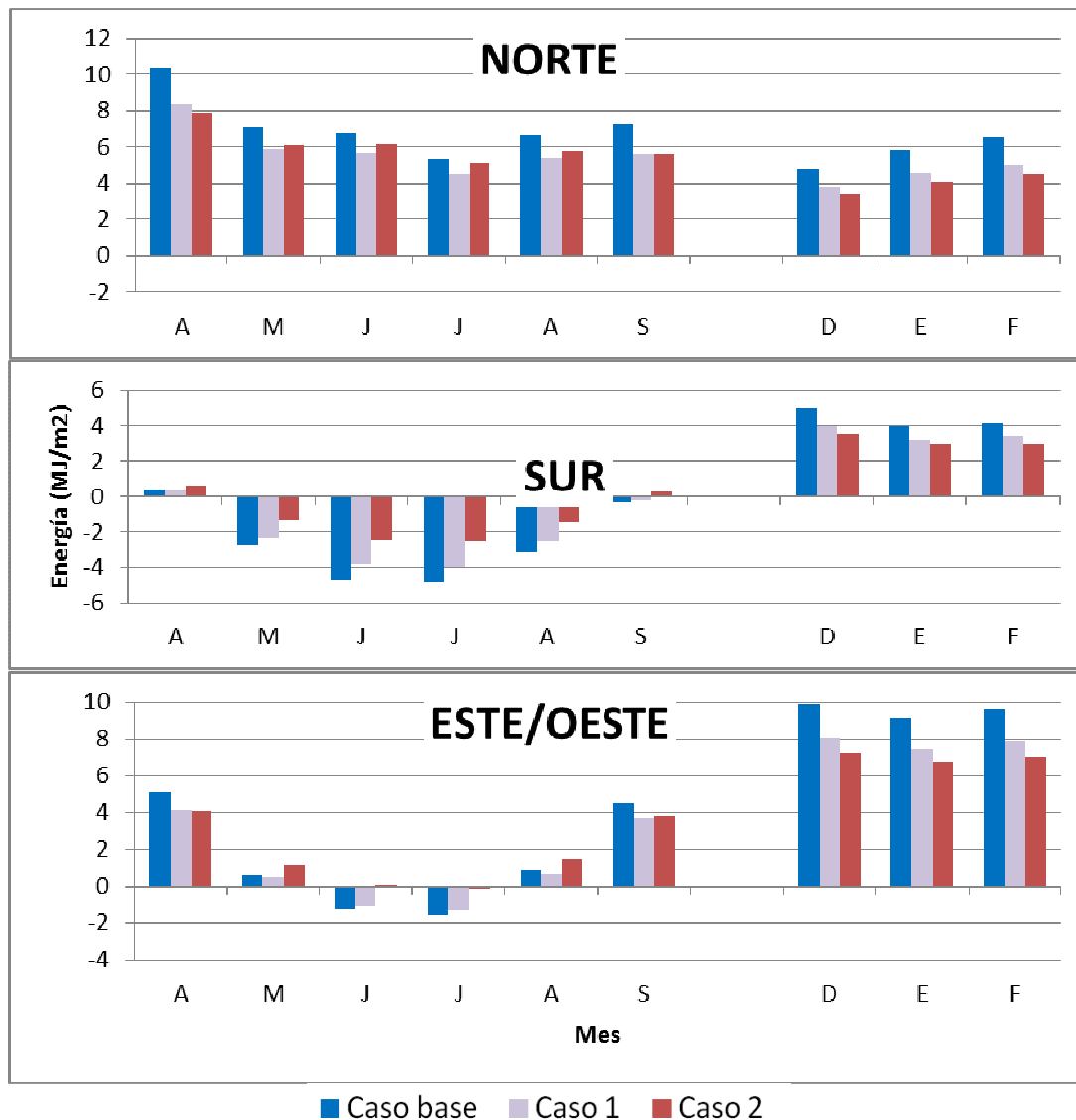


Ilustración 3: Balance diario (MJ/m²) por orientación para los 3 casos de estudio, en cada mes

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que en el período de calefacción, para los 3 casos de ventanas, el balance correspondiente a la orientación norte es positivo, siendo el valor mínimo de 4,50 MJ/m² para la ventana 1 en el mes de julio. Esta ventana (con DVH y sin RPT) tiene el balance más desfavorable en los meses más fríos de invierno (mayo a agosto). Si bien esta ventana es más aislante que la ventana base, su factor solar es más bajo produciéndose menos ganancia de energía. Gracias a su factor solar elevado, la ventana base es la más conveniente para la orientación norte y en el período de calefacción.

En la orientación sur, el balance generalmente es negativo, alcanzando valores de -4,84 MJ/día (ventana base, julio). La ventana con el balance más favorable es la ventana 2, por su baja transmitancia térmica, seguida por la ventana 1. La ventana base siendo la menos aislante, tiene el balance energético más bajo debido a la poca ganancia solar en la orientación sur en invierno. Las orientaciones este y oeste son más complejas. En abril y setiembre es más conveniente la ventana base, mientras que desde mayo a agosto es preferible la ventana 2. El balance es poco significativo en invierno, se acerca a valores nulos. En verano se producen ganancias de energía elevadas (6,80 a 9,89 MJ/día) comparado con las otras orientaciones (2,97 a 6,55 MJ/día).

En el período de refrigeración, el balance siempre es positivo. La mejor ventana para estos meses es la que tiene el balance más bajo, en este estudio la ventana del caso 2, que es la más aislante y tiene el factor solar más bajo. Le sigue la ventana del caso 1, y la peor ventana es la del caso base.

Influencia de la orientación de las ventanas sobre el balance total

Se calculó el balance diario total por metro cuadrado de ventana, para tres distribuciones distintas de las aberturas en la vivienda:

- 1) repartición uniforme (25% por fachada)
- 2) distribución 40% norte, 20% otras orientaciones
- 3) distribución 60% norte, 10% sur, 15% este/oeste.

En la ilustración 4 figuran los resultados para los distintos meses de los períodos de acondicionamiento térmico.

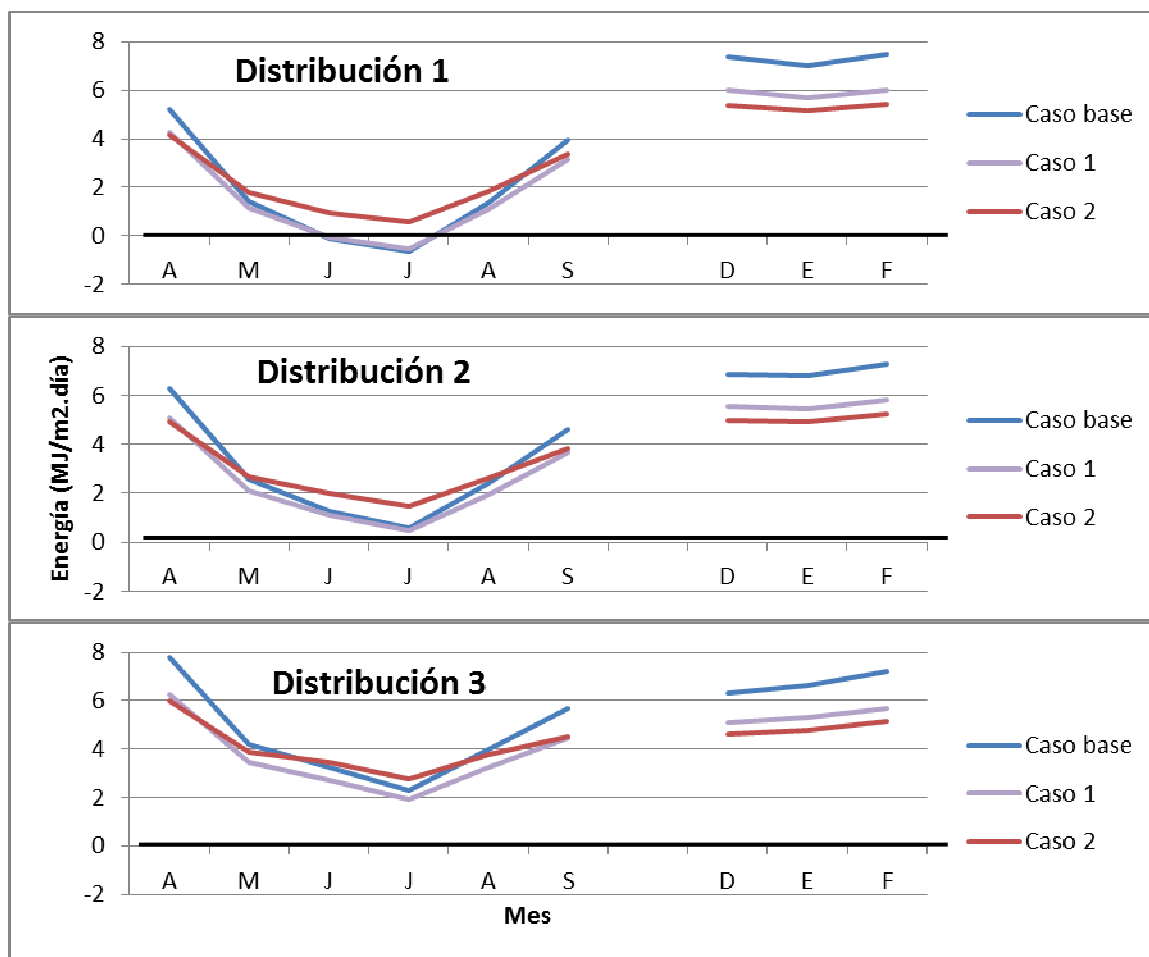


Ilustración 4: Balance diario por m² de ventana para los 3 casos de ventanas y en función de la distribución de las aberturas por fachada (MJ/m².día), en los períodos de acondicionamiento térmico..

Comparando las tres distribuciones de aberturas estudiadas, se evidencia una mejora significativa del balance energético en el período de invierno, cuando la superficie de ventanas orientadas al norte aumenta. En la configuración 1 (donde la repartición es uniforme), el balance toma valores negativos en junio y julio para la ventana base y la ventana 1. Estos mismos casos presentan un balance alrededor de 1 MJ/m².día en la segunda distribución, y el balance supera los 2 MJ/m².día en la tercera configuración.

Comparando ahora las distintas tecnologías de ventanas, se observa que para el período de calefacción, generalmente conviene la ventana 2, sin embargo en los meses de abril y setiembre el balance está a favor de la ventana base. La ventana 1 (con DVH y sin RPT) en ningún mes es la más conveniente.

En el período de refrigeración, la distribución de las aberturas influye poco sobre el balance energético. Se evidencia que la ventana más conveniente es la ventana con RPT y DVH, seguida de la ventana 1 (con DVH) mientras que la ventana base tiene el balance más elevado, es decir que aumenta las necesidades de refrigeración de la vivienda.

Para poder concluir cuál ventana es más conveniente, se calcula el balance total para los dos períodos, multiplicando el balance diario por la cantidad de días del mes y sumando luego todos los meses del período. Los resultados se muestran en la ilustración 5.

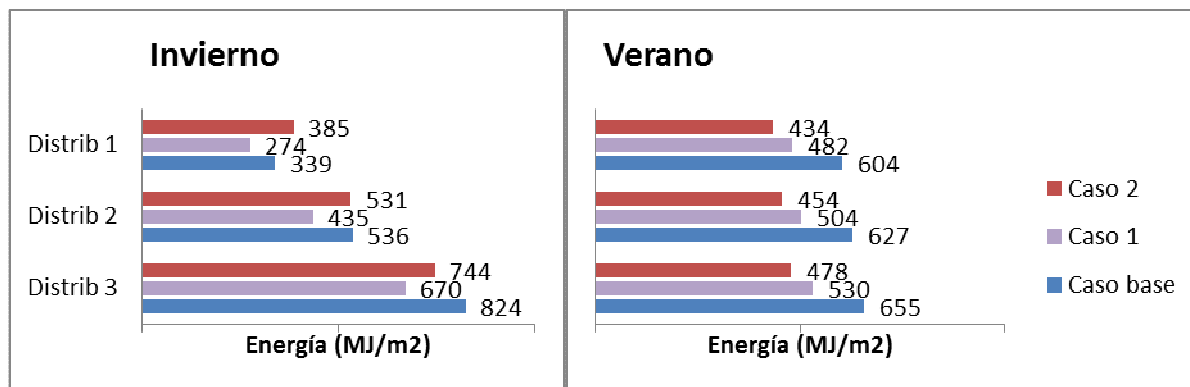


Ilustración 5: Balance energético de las ventanas (MJ/m^2) según la distribución por orientación, en los períodos de calefacción y refrigeración.

Como primera observación, se puede destacar que los balances asociados a las tres tecnologías de ventanas son globalmente positivos en el período de invierno. Esto remarca la necesidad de un análisis regional del impacto de las ventanas sobre los consumos edilicios, ya que las ventanas en el clima de Mendoza no representan un impacto negativo como en los países fríos, sino que son beneficiosas, cuanto puede disponerse a pleno del recurso solar disponible.

Se puede concluir de los gráficos (ilustración 5) que la mejor opción es la ventana 2 para los dos períodos de acondicionamiento térmico para el caso en el cual las ventanas están repartidas de forma equitativa en cada fachada de la vivienda. En comparación con el caso base, permite ahorrar $46 \text{ MJ}/\text{m}^2$ en invierno y $170 \text{ MJ}/\text{m}^2$ en verano, es decir que para una vivienda de 15 m^2 de superficie de aberturas la mejora de las aberturas resultaría en un ahorro energético de $3.24 \text{ GJ}/\text{año}$ ($900 \text{ kWh}/\text{año}$). Sin embargo, en las otras configuraciones (distribuciones 2 y 3) la ventana base pasa a ser la más conveniente para el período de invierno. Esto se debe a que esta repartición se basa en un concepto bioclimático donde la ubicación de las aberturas se hace preferiblemente al norte para maximizar las ganancias. Por lo tanto la tecnología más conveniente es la que tiene el factor solar más alto.

La ventana 1 (con DVH y sin RPT) obtiene el balance más desfavorable durante el período de invierno. Si bien el DVH puede tener ventajas independientemente del balance energético final (por ejemplo disminuyendo el salto térmico y controlando los problemas de condensación) este resultado sugiere que las mejoras aisladas en la ventana no funcionan tan bien como mejoras en conjunto de la misma, caso similar a no mejorar en conjunto los distintos componentes de la envolvente de la vivienda (Balter et al., 2012).

A modo de comparación, se calcula la diferencia entre los balances de la ventana base para las distribuciones 1 y 3. Se obtiene que el ahorro generado por la orientación de aberturas al norte es de $6,51 \text{ GJ}/\text{año}$ ($1808 \text{ kWh}/\text{año}$), es decir el doble del ahorro generado por la mejora tecnológica en el caso de la repartición uniforme. Por otro lado, comparando el balance de la ventana 2 entre las configuraciones 1 y 3, la diferencia es de $4,73 \text{ GJ}/\text{año}$ ($1313 \text{ kWh}/\text{año}$). Este ahorro es significativamente menor (-27%) que el observado para la ventana base. Estos resultados demuestran que para la ventana conservativa (caso 2 C/R DVH), la orientación de las aberturas en la vivienda no es tan relevante como en el caso de las ventanas económicas, que pueden dar buenos resultados pero con la condición de ser expuestas a la radiación solar (fachada norte).

CONCLUSIONES

Se calcularon mediante simulación en WINDOW y THERM los índices térmicos K y FS de tres tipologías de ventanas, para las condiciones de entorno de invierno y de verano características de

Mendoza. Los valores de K obtenidos varían entre 3,45 y 6,33 W/m²K de acuerdo al nivel de aislación térmica de cada tipología y al período del año considerado (invierno o verano). Los valores de FS obtenidos para las ventanas estudiadas son significativamente más bajos (0,506 a 0,661) que los factores solares de los vidriados sin los marcos (0,772 a 0,870) debido a que éstos cubren entre el 27% y el 38% de la superficie total de las ventanas.

Se calculó el balance energético de las tres tipologías de ventanas para las distintas orientaciones, demostrando que en invierno, el balance más favorable se obtiene para las 3 ventanas en la orientación norte, y que en este caso particular el modelo de ventana económica es más eficiente que la ventana que tiene DVH y RPT. Las orientaciones este y oeste son más ambiguas, ya que no hay una ventana que sea siempre más eficiente. Para la orientación sur y, de manera general, en el período de verano, la ventana más conservativa (caso 2 C/R DVH) es la más conveniente.

Analizando el balance energético total sobre los períodos completos de acondicionamiento térmico, y considerando 3 casos de distribución de las aberturas de una vivienda por orientación, se demostró que en el caso general de una repartición uniforme por fachada, la ventana conservativa es la más eficiente, pero que sin embargo, en una configuración en la cual se orienta mayor superficie de ventanas al norte, la ventana económica de aluminio sin RPT y con simple vidrio se vuelve la más conveniente para el período de invierno.

Se concluye de este análisis que las tecnologías de ventanas conservativas que se están introduciendo en el mercado en Argentina permiten reducir los consumos energéticos edificios, y su uso se aconseja en zonas densamente urbanizadas (con poco acceso al recurso solar). Sin embargo, se demostró que en la ciudad de Mendoza, se pueden lograr ahorros energéticos incluso mayores utilizando modelos económicos de ventanas, mediante la adecuada distribución de las aberturas de la vivienda que se diseñe para hacer un uso eficiente de energía y aprovechamiento solar en función del clima. Esta estrategia se recomienda para las zonas de baja densidad edilicia. Los resultados cuestionan el camino a seguir hacia una mayor eficiencia de las envolventes, sugiriendo que es fundamental tomar en cuenta las características climáticas regionales para un mejor aprovechamiento del recurso solar e incluir tales consideraciones en los códigos de edificación de las zonas residenciales de baja densidad edilicia. Este trabajo puede ayudar además a la toma de decisión en la etapa de pre-diseño arquitectónico, recordando siempre que la vivienda es un sistema integral por lo cual se deben tener en cuenta parámetros adicionales en función del proyecto: componentes de la envolvente opaca, obstrucciones del entorno, elementos de sombreado, rol del usuario, entre otros.

REFERENCIAS

- Balter J. et al. (2012). Auditoría y simulación termoenergética como instrumentos de validación para el estudio y mejoramiento de edificios en altura en “ciudades oasis”. Ejemplo de aplicación sobre una unidad de vivienda en la ciudad de Mendoza. *Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente*, 16, 05.59–05.66.
- Barea G. et al. (2011). Estimación de energía solar ganada por ventanas multiacimutales en relación a su orientación y a su geometría. Situación invernal. *Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente*, 15, 08.173–08.181.
- De Gastines M. et al. (2014). 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. *Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente*, 18, 08.35–08.42.
- Gustavsen A. (2008). State-of-the-art highly insulating window frames-Research and market review. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Hernández A. (2003). Geosol: una herramienta computacional para el cálculo de coordenadas solares y la estimación de irradiación solar horaria. *Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente*, 7(2), 19–24.
- International Energy Agency. (2013). Technology Roadmap - Energy efficient building envelopes.
- Keller J. L. y Khuen C. A. (2012). A new climate & hourly data delivery system providing global support for precision modeling and control. In *SimBuild*.
- Klein S. A. (1977). Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces. *Solar Energy*, 19(4), 325–329.

- Laustsen J. y Svendsen S. (2005). Improved windows for cold climates. In Proceedings of the 7th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering.
- Pattini A. et al. (1997). Tecnología de cerramientos transparentes para edificios en zonas aisladas: incorporación de dobles vidrios y perfiles eficientes de bajo costo. In Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (p. Vol. 1 N° 1, pp. 165–168). Río Cuarto, Argentina.
- Robin et al. (2011). C., Curcija, C. 2011. “THERM 6.3/WINDOW 6.3 NFRC Simulation Manual.”
- Sinha A. y Kutnar A. (2012). Carbon Footprint versus Performance of Aluminum, Plastic, and Wood Window Frames from Cradle to Gate. *Buildings*, 2(4), 542–553.
- Volantino V. L. y Cornejo Siles E. J. (2007). Ahorro energético inherente a infiltraciones de aire por correcciones en el diseño de carpinterías utilizadas en viviendas de interés social. *Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente*, 11, 08.51–08.57.
- Yazdanian M. y Klems J. H. (1994). Measurement of the exterior convective film coefficient for windows in low-rise buildings. *ASHRAE Transactions*, 100, 1.

ABSTRACT: Windows are a key factor in the building efficiency. Highly insulated windows developed internationally have shown positive results in cold climates, but they are not necessarily the most suitable technologies for temperate and sunny climates. The U-factor and solar heat gain coefficient of three windows technologies with different thermal insulation levels were calculated via simulation, in the climatic context of Mendoza. Then the associated energy balances were analyzed, in order to quantify the energy savings inherent to the window technological improvement (double glazing and thermal break). Furthermore, the influence of windows orientation on house energy consumption was analyzed, and both energy savings strategies (technological improvements and bioclimatic design) were compared. The results suggest that, in low building density contexts, an adequate windows distribution is more convenient in terms of energy savings, than the use of conservative windows.

Keywords: Window. U-factor. Solar Heat Gain Coefficient. Energy balance.