





FACHADAS VIDRIADAS: CÁLCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA

GLAZED CURTAIN WALLS: THERMAL TRANSMITTANCE CALCULATION

MAUREEN DE GASTINES

Doctora en Ingeniería mención Civil-Ambiental
Estudiante posdoctoral

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) -Consejo
Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Mendoza, Argentina

<https://orcid.org/0000-0002-0357-9375>
mdegastines@mendoza-conicet.gob.ar

ANDREA PATTINI

Doctora Orientación en Luz y Visión

Investigadora principal y directora del INAHE

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) -Consejo
Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Mendoza, Argentina

<https://orcid.org/0000-0001-6305-1268>
apattini@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

La piel de vidrio es uno de los elementos dominantes de la arquitectura moderna y contemporánea. Este diseño de envoltente puede influir significativamente en la demanda de energía operativa de los edificios. En este trabajo, se analizan los sistemas de fachada de piel de vidrio disponibles en Argentina, con el objetivo de determinar los rangos de transmitancia térmica asociados, en función del diseño de perfiles, del tipo de vidriado y de las dimensiones de los paños vidriados. Inicialmente, se estudia mediante cálculo numérico bidimensional el impacto de varios parámetros de diseño de los perfiles sobre la transmitancia térmica, destacando la relevancia del modo de fijación del vidriado, para luego calcular la transmitancia térmica de las fachadas completas. Los resultados indican que el valor de transmitancia térmica de las fachadas de piel de vidrio depende principalmente de la transmitancia del vidriado empleado, y supera la misma en un 24%, en promedio.

Palabras clave

fachadas, piel de vidrio, índices, sistemas constructivos.

ABSTRACT

Glazing is one of the dominant features of modern and contemporary architecture. This envelope design may have a great impact on operational energy demand of buildings. In this work, glazed façade systems available in Argentina are analyzed, with the purpose of determining the associated thermal transmittance ranges, in terms of the profiles' design, the type of glazing and the size of glass panes. First, by using bidimensional numerical calculation, the impact of several profile design parameters on thermal transmittance is studied, highlighting the relevance of glazing fixing methods, to then calculate the thermal transmittance of the entire facade. The results indicate that the thermal transmittance value of glazed facades, mainly depends on the transmittance of the glass used, and exceeds this by 24% on average.

Keywords

façades, glazing, indices, construction systems

INTRODUCCIÓN

La forma de construir nuestro hábitat no puede estar enfocada únicamente a la búsqueda de funcionalidad y estética arquitectónicas. Debe contemplar, además, la sustentabilidad del espacio construido en pos de reducir a nivel global el consumo de energía final y las emisiones de gases de efecto invernadero. El impacto ambiental del sector edilicio ha ido creciendo en las últimas décadas (Cao, Dai y Liu, 2016), y revertir esta tendencia es un gran desafío que ya ha sido asumido por numerosos países. Los caminos para lograr este objetivo pueden clasificarse en tres categorías: las estrategias de diseño pasivo y conservación de la energía, las tecnologías de eficiencia energética en el funcionamiento del edificio, y la producción de energía a partir de energías renovables (D'Amanzo, Mercado y Karlen, 2020). Dentro de la primera categoría, se encuentra el diseño de la envolvente edilicia, que influye en la demanda de energía operativa.

Una de las características de la envolvente que más determina los consumos de energía para calefacción y enfriamiento de los edificios es la relación de superficie ventana-pared (Window-to-Wall Ratio –WWR– en inglés) (Lam, Ge y Fazio, 2016; de Gastines y Pattini, 2020). En ese sentido, Aste, Buzzetti, Del Pero y Leonforte (2018) analizaron los consumos de electricidad para calefacción, refrigeración e iluminación en una oficina ubicada en ciudades con diferentes climas (Atenas, Estocolmo y Milán) y observaron que, en la ausencia de elementos de sombreado, el WWR tiene un impacto notable en las demandas energéticas (hasta 60% de diferencia entre los casos con WWR de 20% y de 80%). Por lo tanto, las envolventes completamente vidriadas de los edificios con fachadas integrales representan un desafío para los diseñadores, que deben intentar controlar los flujos de energía térmica a través de estas envolventes. Para ello, el conocimiento de los indicadores energéticos de los sistemas de fachadas integrales es imprescindible. Pese al gran protagonismo de los vidriados, cuyas propiedades térmicas están bien documentadas, en estas envolventes, la retícula soporte de la fachada integral puede afectar de manera significativa el valor de transmitancia térmica (U) de la fachada (De Gastines y Pattini, 2019a). Esto se debe a la elevada conductividad del aluminio empleado para la fabricación de los perfiles, y a la baja compacidad que suelen tener los mismos (de Gastines y Pattini, 2019b), lo cual conlleva una mayor exposición a los coeficientes peliculares interiores y/o exteriores (convección y radiación). Además, a pesar de estar oculta atrás de los vidriados, la superficie proyectada de la retícula puede ser importante e impactar significativamente en la transmitancia térmica del sistema de fachada (Bae, Oh y Kim, 2015).

A nivel internacional, se ha buscado mejorar el desempeño energético de los sistemas de fachadas integrales mediante el uso de materiales aislantes, entre ellos, ruptura de puente térmico, triple vidriado hermético, vidriado termocrómico (Arnesano et al., 2021), poliéster reforzado con fibra de vidrio (Cordero, 2015), o bien, a través del uso de una doble envolvente, donde la fachada acristalada disimula otra piel

de baja transmitancia térmica (Bronwyn, 2018) o permite constituir una cámara ventilada (Saroglou, Meiry Theodosiou, 2020). La principal innovación en los sistemas de fachadas integrales es la integración de nódulos fotovoltaicos semi-transparentes en las partes de la fachada que reciben más radiación solar (Mocerino, 2020; Wu y Flemmer, 2020). Sin embargo, estas estrategias están asociadas a un alto costo inicial, que limita su generalización en países en vía de desarrollo.

Los índices energéticos de los sistemas de fachadas integrales en uso en Argentina no han sido caracterizados de manera detallada todavía. Los datos disponibles se limitan a las propiedades de los vidriados (IRAM 11601, 2002) y de los sistemas tradicionales de aventanamientos (de Gastines y Pattini, 2019b), así como al estudio de un diseño de fachada de piel de vidrio (de Gastines y Pattini, 2019b). No obstante, es posible que los valores de transmitancia térmica de los sistemas de fachadas integrales varíen considerablemente de acuerdo a las variantes de diseños existentes.

La piel de vidrio es un sistema de fachada integral que consiste en una retícula compuesta por perfiles verticales portantes y travesaños horizontales de aluminio, que una vez ensamblada en la obra, permite encastrar hojas de aluminio y vidrio. Es uno de los elementos dominantes de la arquitectura moderna y contemporánea (Viteri, 2020), utilizado generalmente para lograr un frente exterior totalmente vidriado, donde la estructura metálica es disimulada atrás de vidrios tonalizados y fijados con pegamento o mediante pequeños contravidrios. Se emplea de manera frecuente en edificios comerciales y de oficinas de mediana a gran envergadura, y en menor medida, en el sector residencial. Este sistema constructivo presenta numerosas ventajas para los edificios en varios pisos, entre las cuales se destacan la facilidad de armado y rapidez de montaje, la liviandad (especialmente relevante para las zonas sísmicas), la estanqueidad, así como un ambiente interior luminoso y confortable (Hamida y Alshibani, 2020; Yalaz, Tavit y Celik, 2018; Huang, Chen, Lu y Mosalam, 2017) siempre que esté garantizado el control de la radiación solar no deseada.

El propósito de este trabajo radica en analizar los sistemas de fachadas de piel de vidrio disponibles en Argentina y determinar los rangos de valores de transmitancia térmica asociados, en función del diseño de perfiles empleados, del tipo de vidriado y de las dimensiones de los paños vidriados.

METODOLOGÍA

ANÁLISIS DE LAS VARIANTES DE DISEÑOS DE PERFILES

La revisión de los catálogos de productos ofrecidos por seis empresas argentinas extrusoras de perfiles para fachadas integrales permitió definir un abanico representativo de los sistemas constructivos de fachadas piel de vidrio.

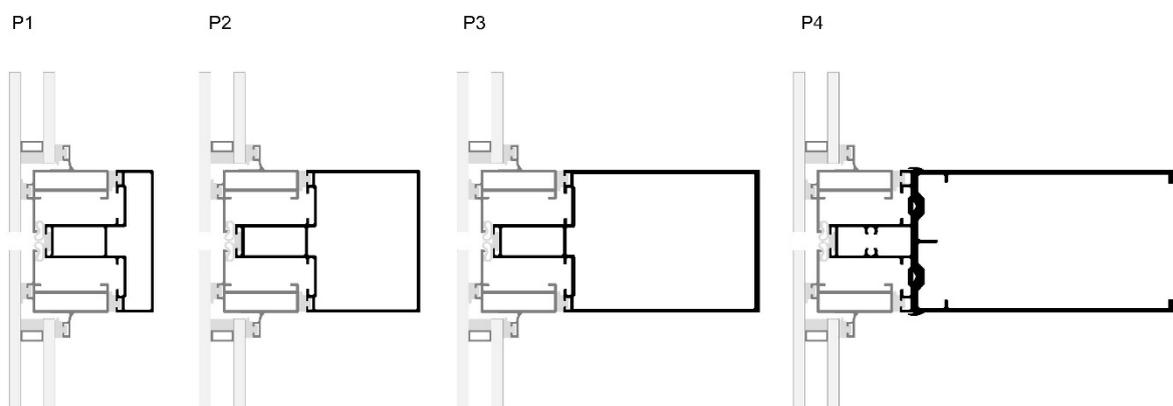


Figura 1. Variación del largo de columna (de izquierda a derecha: 57 mm, 97 mm, 140 mm, 186 mm). Fuente: Elaboración de las autoras.

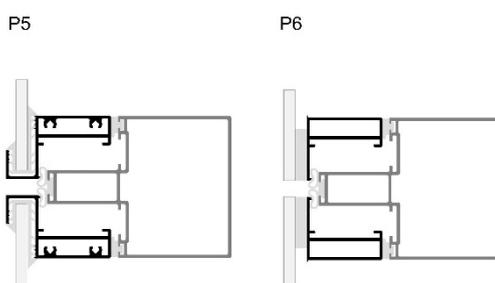


Figura 2. Comparación entre dos modos de fijación del vidriado: contenido (sección P5) y pegado (sección P6). Fuente: Elaboración de las autoras.

Existen diferentes parámetros a tomar en cuenta para elegir un sistema de piel de vidrio. En primer lugar, los perfiles se deben adaptar al ancho del vidriado seleccionado, que varía significativamente según se trate de un vidriado simple (SV) o doble vidriado hermético (DVH). También se ajustan a la apertura de los paños (paño fijo (PF) o móvil (PM)). Finalmente, los perfiles difieren dependiendo de que el vidriado esté contenido (ya sea encapsulado, o bien, fijado mediante contravidrios) o pegado (mediante silicona estructural o cinta VHB). También existe una variante de hoja para el caso de DVH escalonado (*offset*, en inglés). Esta variante permite instalar conjuntamente DVH y SV en ciertas partes de la fachada (por ejemplo, en frente de las losas en edificios de varios pisos), manteniendo un mismo filo exterior en toda la fachada.

Dada la gran variedad de opciones de perfilería, se destacaron parámetros que podrían influir de manera significativa en los valores de transmitancia térmica de los perfiles, y se estudió por separado la relevancia de cada uno de ellos, con el fin de seleccionar una muestra más reducida de perfiles para el posterior análisis de los sistemas de fachada completa. A continuación, se detallan los parámetros relevados.

Parantes (cortes horizontales)

Parámetro 1: Largo de columna. El perfil de columna soporta las cargas de la fachada, por lo que este debe ser seleccionado en función de las dimensiones de los

paños vidriados y del peso de los vidriados, para lograr la resistencia mecánica necesaria. El relevamiento realizado permitió destacar que los largos de columna comunes a la mayoría de los fabricantes son de 57 mm, 97 mm y 140 mm. Existen perfiles más largos, cuyas dimensiones difieren según el fabricante, siendo el más extenso de 186 mm (ensamblaje de columna divisoria y columna suplementaria). Se considera que el largo de columna puede ser un factor que influya significativamente en el valor de transmitancia térmica de la retícula, dado que genera diferentes grados de compacidad interior de sus secciones verticales.

La Figura 1 grafica las cuatro secciones analizadas, en las que el largo del perfil de columna varía según las medidas anteriormente mencionadas.

Parámetro 2: Vidrio contenido o pegado. Si bien hay varios modos de fijación de vidriado, desde el punto de vista térmico se distinguen dos tipos de secciones. La primera, con vidrio contenido (i.e. encapsulado o sujetado mediante contravidrio), donde se genera un puente térmico entre el interior y el exterior por el perfil de hoja; y la segunda, con vidrio pegado, donde los perfiles metálicos están aislados del exterior mediante el vidriado, la silicona y la cavidad parcialmente ventilada en la junta entre paños vidriados.

La Figura 2 representa las dos secciones seleccionadas para comparar el impacto del tipo de fijación del vidriado en el valor de transmitancia térmica.

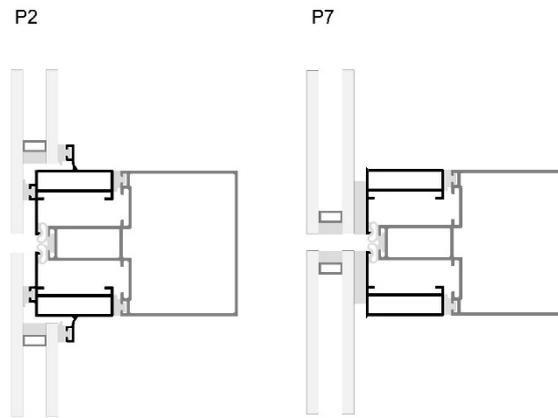


Figura 3. Comparación entre la configuración de parante con DVH escalonado (sección P2) y pegado (sección P7). Fuente: Elaboración de las autoras.

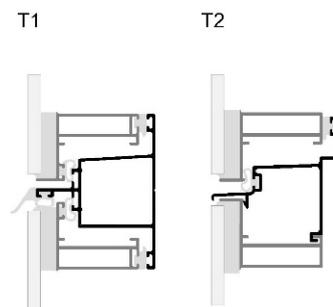


Figura 4. Variantes de diseño de perfil de travesaño: con cavidad (izquierda) y con bota aguas (derecha). Fuente: Elaboración de las autoras.

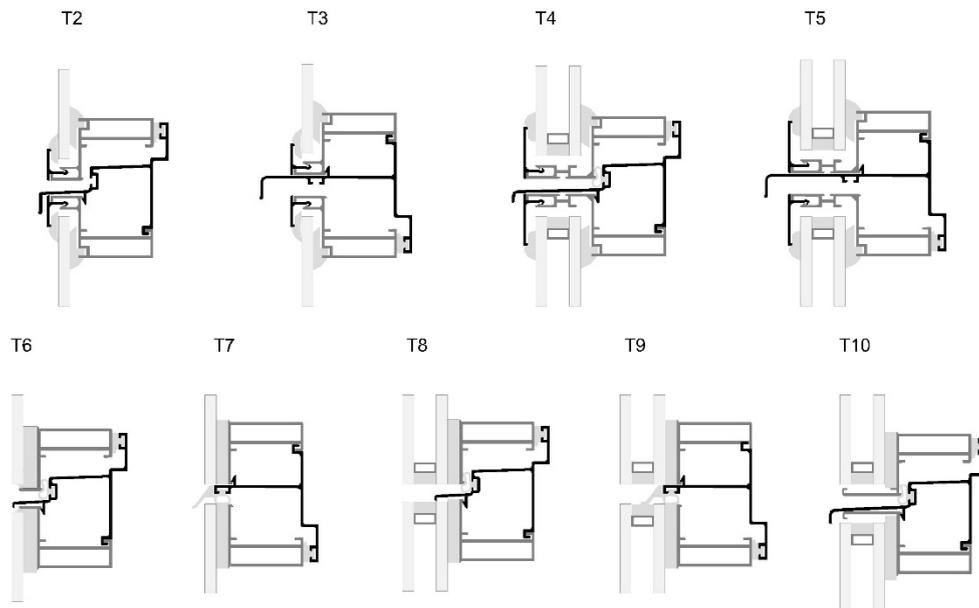


Figura 5. Variantes de diseño del espacio intersticial horizontal: configuraciones con vidrio contenido (arriba) y vidrio pegado (abajo). Opciones con SV o DVH, y cabezal para paño fijo (números pares) o para paño móvil (números impares). T10 es una variante de la sección T8 con bota aguas saliente. Fuente: Elaboración de las autoras.

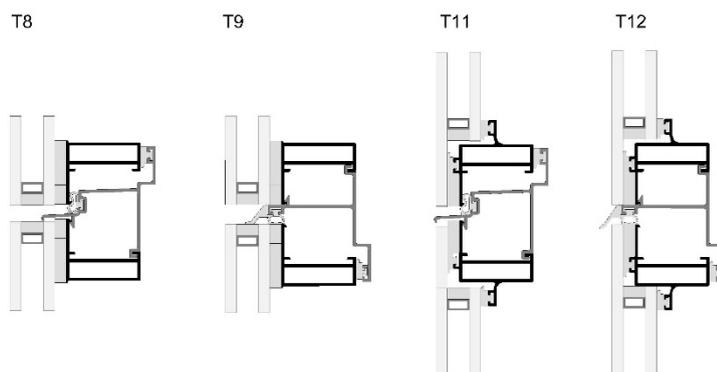


Figura 6. Comparación de las configuraciones de DVH pegado (T8: variante PF y T9: variante PM) y escalonado (T11: variante PF y T12: variante PM). Fuente: Elaboración de las autoras.

Parámetro 3: DVH escalonado. La configuración del DVH escalonado incrementa el ancho proyectado del parante, además de reducir levemente la superficie de perfiles expuesta a las condiciones de borde interiores. Para conocer el impacto de este parámetro, se compara la sección P2 (con columna mediana y DVH escalonado) con una variante similar, pero con DVH pegado (P7) (Figura 3).

Travesaños (cortes verticales)

Parámetro 4: Diseño de travesaño. Se observan 2 tipos de perfiles de travesaño, uno común a dos de los catálogos analizados, con una cavidad, y otro común a los otros cuatro catálogos, llamado “bota aguas” (Figura 4). Al tener morfologías disímiles, en particular distintas cantidades y dimensiones de cavidades internas, podrían tener también diferentes valores de transmitancia térmica.

Parámetro 5: Espacio intersticial horizontal. Dentro de las variantes de perfiles de travesaño con bota aguas, se destacaron 9 opciones de diseños similares en cuanto a su perfil interior (mismo ancho proyectado y coeficiente de compacidad), que se diferencian entre ellos esencialmente por la extensión del bota aguas a nivel del espacio intersticial entre paños vidriados y por la presencia o ausencia de contravidrios. En función del tipo de vidriado (SV / DVH), del tipo de abertura (PF / PM) y del modo de fijación del vidriado (contenido / pegado), el bota aguas puede o no salir hacia el exterior de la fachada, generando o no un puente térmico. Asimismo, la variación en la extensión modifica el coeficiente de compacidad exterior del perfil, pudiendo afectar consecuentemente su valor de transmitancia térmica

Parámetro 6: DVH escalonado. La configuración del DVH escalonado incrementa el ancho proyectado del travesaño, además de reducir levemente la superficie de perfiles expuesta a las condiciones de borde interiores. Aquí, se compararon las secciones de travesaño (variantes PF y PM) con DVH pegado y con DVH escalonado, que pueden apreciarse en la Figura 6.

Ancho proyectado de la sección

Finalmente, se compara el ancho proyectado de los diferentes perfiles, el cual determinará el valor final de transmitancia térmica del sistema de fachada (dado que este depende del porcentaje de superficie de fachada ocupado por la retícula metálica).

SELECCIÓN DE CASOS DE ESTUDIO

Perfiles metálicos

Después de haber aislado los parámetros seleccionados para analizar el impacto de cada uno de ellos en los valores de transmitancia térmica e identificar los parámetros de mayor relevancia, se concentró el estudio en estos últimos.

Cabe aclarar que el trabajo expuesto no contempla el análisis de los perfiles de terminaciones inferiores, superiores y laterales, tampoco de esquinas y rótulas, pues se asume que dichos perfiles ocupan un porcentaje pequeño de la superficie de la fachada.

Vidriados

El vidriado generalmente utilizado en fachadas de piel de vidrio es un DVH de control solar pegado con silicona estructural, que permite limitar las ganancias solares evitando el sobrecalentamiento del edificio y, a su vez, oculta la retícula metálica, logrando una visual completamente vidriada.

Se propone estudiar las siguientes opciones de vidriados, que abarcan un amplio rango de valores de transmitancia térmica:

- V1: DVH reflectivo de control solar y baja emisividad (Eclipse Advantage Evergreen 6 mm / cámara de aire 12 mm / float incoloro 6 mm).
- V2: DVH de control solar y alta reflectividad (Cool Lite STB 120 6 mm / cámara de aire 12 mm / float incoloro 6 mm).
- V3: SV reflectivo pirolítico de control solar y baja emisividad (Eclipse Advantage Evergreen 6 mm).
- V4: SV de control solar y alta reflectividad (Cool Lite ST136 6 mm).

Dimensiones de los paños

El sistema constructivo bajo análisis permite cierta libertad de dimensionamiento de los paños vidriados, siempre y cuando se respeten los límites de utilización estática, que son relaciones entre la distancia entre columna (ancho de los paños) y la distancia (altura) entre los puntos de soporte o anclaje a la estructura del edificio, calculados en función de la presión de viento y del perfil de columna empleado. Se recomienda, adicionalmente, que las dimensiones de los paños no excedan 1,25 m x 1,50 m (ancho por alto).

En la práctica y por lo general, se busca optimizar la utilización de los vidrios, que vienen en placas de 2,40 m x 3,60 m. También la incorporación de paños móviles implica divisiones horizontales que suelen ser un paño umbral fijo, un paño móvil intermedio y un paño dintel fijo.

En este estudio se comparan tres tamaños de paños vidriados. El más grande consta de paños de 1,20 m de ancho por 1,50 m de altura; el intermedio, de 1,20 m por 1,00 m; y el más pequeño, de 0,80 m por 1,00 m.

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

En esta siguiente etapa, se simularon las secciones elegidas utilizando los programas WINDOW 7.7 y THERM 7.7, desarrollados por el LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory). WINDOW permite calcular la transmitancia térmica de los vidriados (U_g), mientras que las secciones de los perfiles de carpinterías se simulan en THERM. Este programa emplea el método de los elementos finitos para calcular los flujos de calor en el componente estudiado de acuerdo a las condiciones ambientales indicadas. De ese modo, arroja el valor de transmitancia del marco (U_f) y del borde del vidriado (U_e), que corresponde a una franja perimetral de 63.5 mm, en la que se manifiestan los efectos de borde entre el marco y el vidriado. La Figura 7 indica las diferentes partes del sistema de fachada integral (centro del vidriado, borde, perfil marco/hoja de parante o travesaño).

Se consideraron condiciones ambientales representativas de un día de invierno en Buenos Aires (de Gastines y Pattini, 2019b), detalladas en la Tabla 1. Los valores de conductividad considerados para los diferentes materiales que componen el sistema de fachada se muestran en la Tabla 2.

Los valores de U_g de los vidriados fueron calculados utilizando WINDOW. Luego, las secciones de parantes y travesaños fueron simuladas en THERM dos veces, insertando sucesivamente los vidriados V3 y V4 (secciones con SV) o V1 y V2 (secciones con DVH) para obtener los valores de U_f y U_e correspondientes. Una vez obtenidos los índices térmicos de las diferentes partes del sistema de fachada integral, se calculó el promedio ponderado por área de los mismos (U), para las diferentes dimensiones de paños vidriados propuestas.

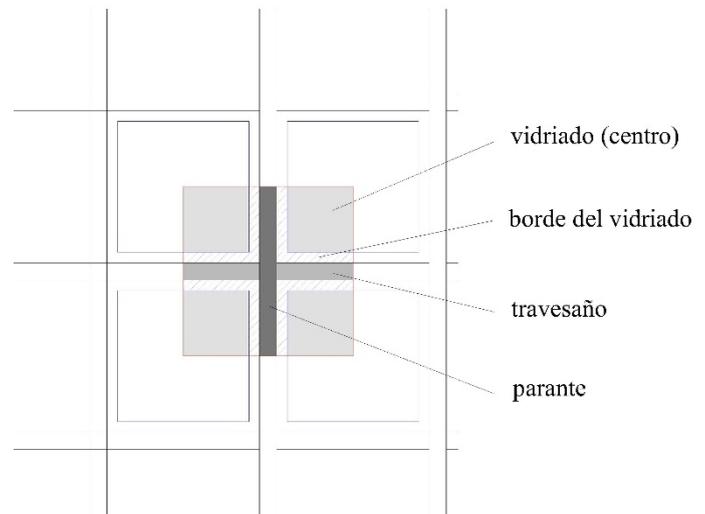


Figura 7. Módulo base del sistema de fachada integral, donde se identifican las diferentes partes que lo componen. Fuente: Elaboración de las autoras.

| To | Tro | hco | Ti | Tri | hci |
|--------|--------|-------------------------|------|------|-------------------------|
| 12.9°C | 12.9°C | 9.33 W/m ² K | 21°C | 21°C | 3.29 W/m ² K |

Tabla 1. Condiciones ambientales utilizadas para el cálculo de la transmitancia térmica, donde T_i y T_o son las temperaturas del aire, interior y exterior, respectivamente; T_{ri} y T_{ro} son las temperaturas medias radiantes, interior y exterior, respectivamente; y h_{ci} y h_{co} son los coeficientes convectivos, interior y exterior, respectivamente. Fuente: Elaboración de las autoras, 2019b

| Material | Conductividad (W/(mK)) |
|--------------|-----------------------------------|
| Aluminio | 199 |
| Burlete EPDM | 0,25 |
| Silicona | 0,35 (Carbary y Kimberlain, 2020) |

Tabla 2. Valores de conductividad considerados en esta investigación. Fuente: Elaboración de las autoras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LOS PERFILES

Los valores de transmitancia térmica U_f de las secciones simuladas se exponen en la Figura 8. A continuación, se analiza la relevancia de los diferentes parámetros anteriormente destacados.

Parámetro 1: Largo de columna. La variación del valor de transmitancia térmica en función del largo de columna se observa en la Figura 9 comparando los valores de U_f de las secciones P1, P2, P3 y P4. Se observa una diferencia significativa entre la transmitancia térmica de las primeras tres secciones (diferencia absoluta de 1,02 W/m²K entre P1

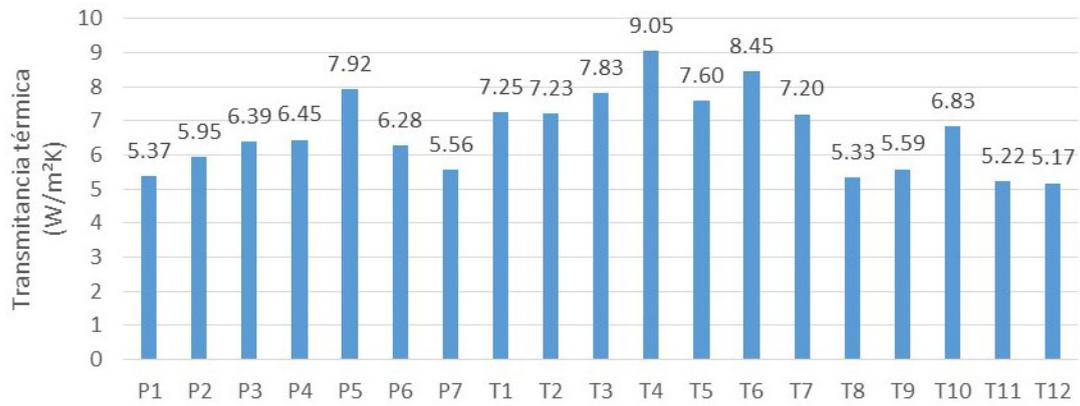


Figura 8. Valores de transmitancia térmica (en W/m²K) de las secciones analizadas. Fuente: Elaboración de las autoras.

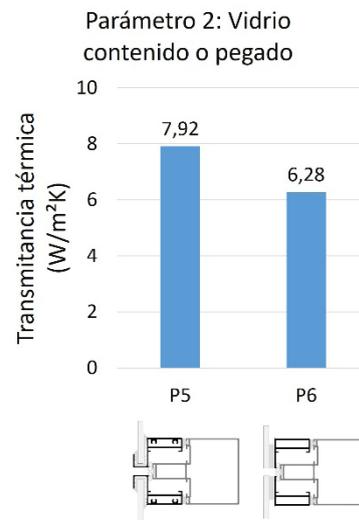
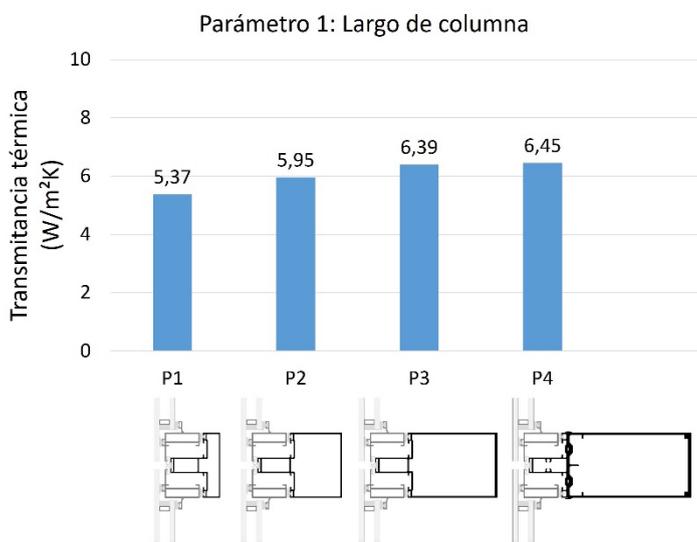


Figura 9. Efecto del largo de columna sobre el valor de transmitancia térmica. Fuente: Elaboración de las autoras.

Figura 10. Efecto del modo de fijación del vidriado sobre el valor de transmitancia térmica. Fuente: Elaboración de las autoras.

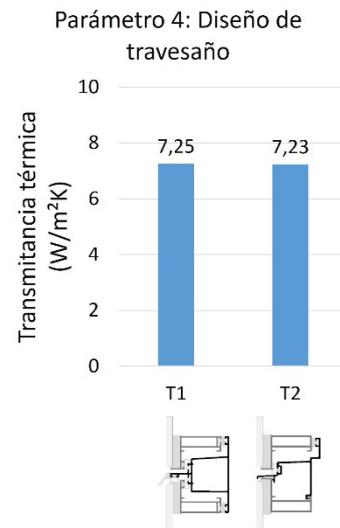
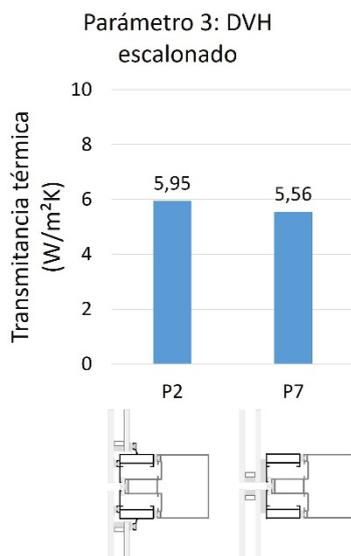


Figura 11. Efecto del DVH escalonado sobre el valor de transmitancia térmica del parante. Fuente: Elaboración de las autoras.

Figura 12. Efecto del diseño de travesaño sobre el valor de transmitancia térmica. Fuente: Elaboración de las autoras.

y P3), mientras que la cuarta (con columna reforzada) presenta un valor de U_f similar a la sección P3.

Parámetro 2: Vidrio contenido o pegado. Comparando los valores de U_f obtenidos mediante simulación de las secciones P5 y P6 (Figura 10), se evidencia una diferencia importante (1,64 W/m²K) entre la transmitancia térmica de las configuraciones de parante con vidriado contenido (sección P5) y pegado (sección P6). La variante con vidriado pegado presenta un mejor desempeño térmico, dado que evita el puente térmico asociado a los contravidrios o al perfil de hoja para vidrio encapsulado.

Parámetro 3: DVH escalonado. La comparación entre los valores de U_f de las secciones P2 y P7 (Figura 11) permite analizar la diferencia en cuanto al flujo térmico entre las configuraciones de DVH escalonado (P2) y DVH pegado (P7) en parantes. El DVH escalonado produce un leve aumento de las transferencias de calor (0,39 W/m²K).

Parámetro 4: Diseño de travesaño. Como se puede advertir en la Figura 12, las dos variantes de travesaño T1 y T2 (respectivamente, con cavidad y con bota aguas) tienen el mismo valor de transmitancia térmica (diferencia despreciable de 0,02 W/m²K). Por consiguiente, este parámetro no es relevante.

Parámetro 5: Espacio intersticial horizontal. La comparación de los valores de U_f de las secciones T2 a T10 (Figura 13) revela que el diseño del espacio intersticial horizontal entre paños tiene un gran impacto sobre la transmitancia térmica del travesaño (diferencia máxima de 3,72 W/m²K).

Los valores mínimos se obtienen en las configuraciones con DVH pegado T8 y T9 (5,33 y 5,59 W/m²K, respectivamente), donde el DVH y la cavidad intersticial actúan como ruptura de puente térmico entre el perfil metálico y el exterior de la fachada. La variante T10 con DVH pegado, pero con bota aguas saliente, obtiene un valor de U_f más elevado (6,83 W/m²K) debido al puente térmico que este genera.

Luego, se encuentran las secciones T6 y T7 (7,23 y 7,20 W/m²K, respectivamente) que son idénticas a las secciones T8 y T9, pero con simple vidriado pegado (fijo y móvil). Al ser más angosto el vidriado, los perfiles de bota aguas sobresalen al exterior de la fachada y generan un puente térmico, por lo cual los valores de transmitancia térmica aumentan significativamente en relación a las secciones T8 y T9.

Las secciones de travesaños con vidriado contenido (T2 a T5) obtienen valores de transmitancia térmica más elevados que las secciones con vidrio pegado, al igual que en los parantes. Entre las secciones con paño fijo T2 y T4 (7,83 y 7,60 W/m²K respectivamente) y las secciones con paño móvil T3 y T5 (9,05 y 8,45 W/m²K respectivamente), son las últimas las que registran valores de transmitancia térmica más elevados. En una configuración de fachada con umbral y dintel fijos y paño intermedio móvil, se utilizan simultáneamente las dos variantes de travesaño, por ende, se pueden promediar los

valores de U_f obtenidos, de lo cual resulta un valor de 8,03 W/m²K para el travesaño con DVH contenido, y de 8,44 W/m²K para el travesaño con simple vidrio contenido.

Parámetro 6: DVH escalonado. En la Figura 14, se comparan las secciones T11 y T12 (travesaños con DVH escalonado, cabezal de paño fijo y de paño móvil, respectivamente) con las secciones T8 y T9 (idénticas, pero con DVH pegado). Sus valores de transmitancia térmica difieren de 0,11 W/m²K (T8 – T11) y 0,42 W/m²K (T9 – T12). Esta diferencia es poco relevante, al igual que para las secciones de parantes.

Ancho proyectado de la sección. La Figura 15 indica los anchos proyectados de todas las secciones simuladas, diferenciadas por el modo de fijación del vidriado. Se observa una correlación entre ambas variables: el ancho es más elevado para la configuración escalonada, intermedio para los vidrios contenidos, y más reducido para los sistemas con vidrios pegados. De esta forma, quedan evidenciadas las diferencias entre estas tres categorías, las que además presentan desempeños térmicos dispares, tanto en las secciones de parantes como de travesaños (parámetros 2 y 5).

TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LA FACHADA

El análisis de las variantes de diseños de perfiles y su impacto en los valores de transmitancia térmica expuesto en el apartado anterior permitió determinar cuáles parámetros son relevantes para establecer rangos de transmitancia térmica de los sistemas de fachada de piel de vidrio.

En cuanto al largo de columna en secciones de parantes, los valores se mantienen en un rango cercano ($\pm 0,6$ W/m²K) al valor de la configuración con columna mediana (P2), por lo cual se utiliza esta sección de perfilería para lo que sigue. Sumado a ello, las dos variantes de diseños de travesaño existentes (parámetro 4) obtuvieron los mismos valores de transmitancia térmica, por lo cual se descartó la variante T1.

Se destacó que las secciones (tanto de travesaños como de parantes) con vidriado contenido obtienen valores de transmitancia térmica más elevados que las secciones con vidrio pegado. Dentro de esas categorías, influye si el vidriado es simple o doble (SV / DVH) y el modo de apertura del paño vidriado (PF / PM). En respuesta a esta observación, por un lado, se simula una sección adicional de parante con DVH contenido (P8). Y, por otro lado, para simplificar el análisis, se promedian los valores de transmitancia térmica de las variantes con PF y PM, considerando que, en una configuración de fachada con umbral y dintel fijos y paño intermedio móvil, se usan simultáneamente las dos variantes de travesaño.

Si bien el DVH escalonado produce solo un leve aumento de las transferencias de calor (entre 0,11 y 0,42 W/m²K) con respecto al DVH pegado, a ese fenómeno se suma el aumento del ancho proyectado del parante en un 30%, todo lo cual contribuye a elevar el valor de transmitancia térmica de la fachada completa. Por lo tanto, este aspecto se analiza como categoría separada.

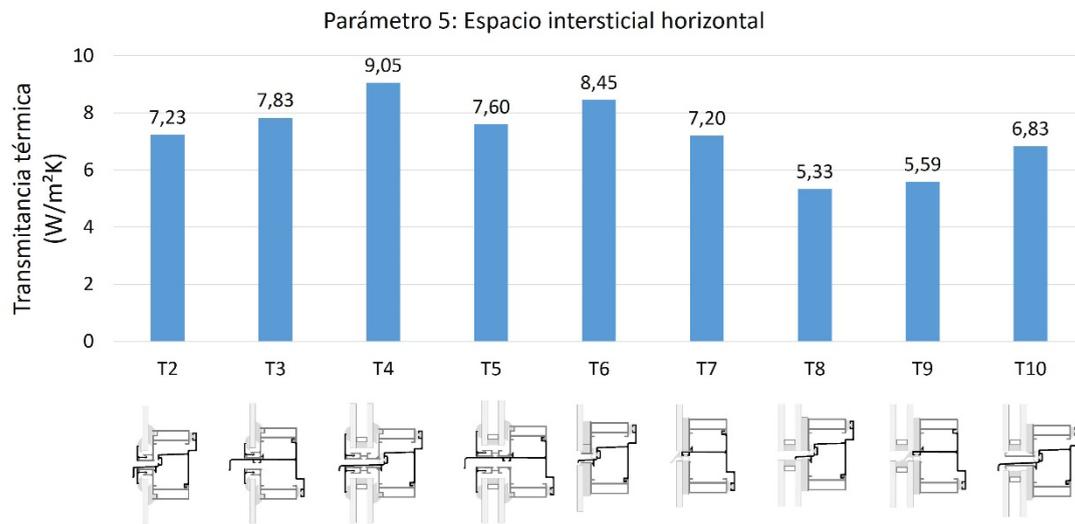


Figura 13. Efecto del espacio intersticial horizontal sobre el valor de transmitancia térmica. Fuente: Elaboración de las autoras.

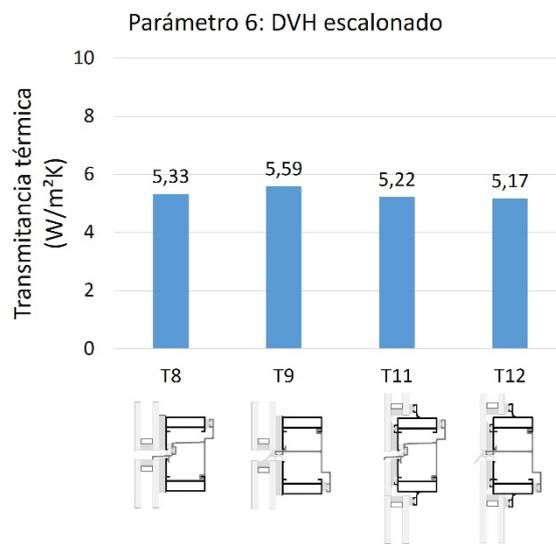


Figura 14. Efecto del DVH escalonado sobre el valor de transmitancia térmica del travesaño. Fuente: Elaboración de las autoras.

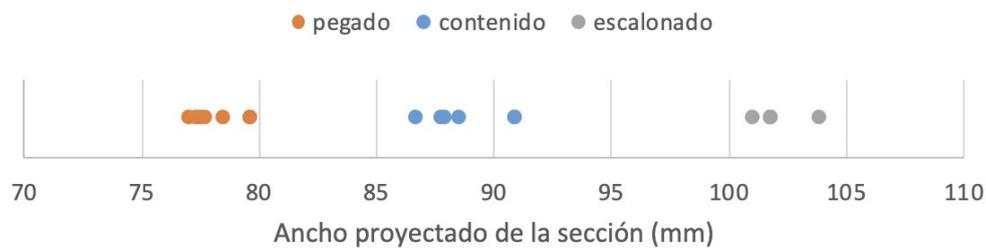


Figura 15. Dispersión de los valores de ancho proyectado de las secciones analizadas, diferenciadas según el modo de fijación del vidriado (pegado, contenido y escalonado). Fuente: Elaboración de las autoras.

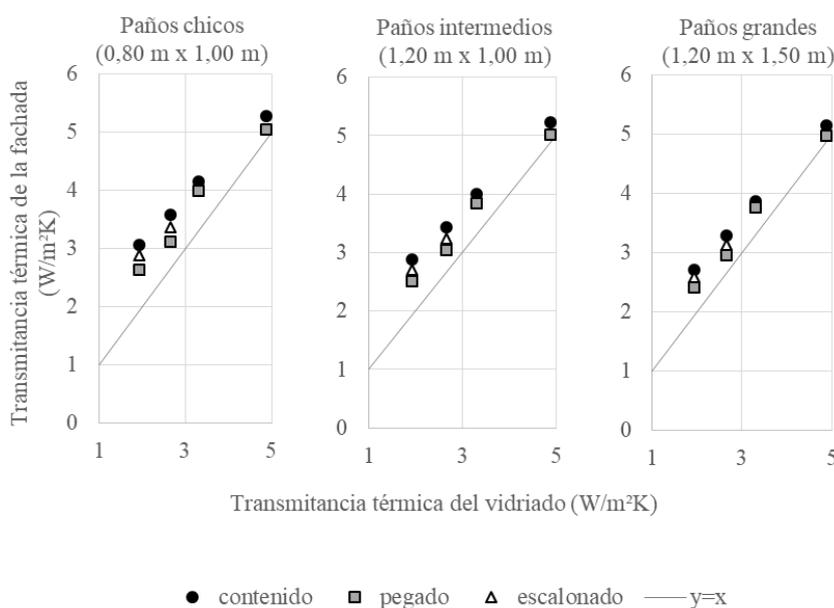


Figura 16. Representación de los valores de transmitancia térmica de los sistemas de fachadas, diferenciados por el modo de fijación del vidriado (pegado, contenido y escalonado) y dimensiones de paños vidriados. Fuente: Elaboración de las autoras.

La Figura 16 presenta los resultados de las simulaciones efectuadas, divididos en tres gráficos (uno para cada dimensionamiento de fachada), donde se expresaron los valores de transmitancia térmica de las fachadas con vidriado contenido, pegado y escalonado, en función del vidriado empleado. Se graficó, además, la función "identidad" para evidenciar el impacto de la retícula metálica sobre el valor U total de la fachada. En promedio, el valor de U supera en un 24% el valor de U_g.

Aun así, se observa que la transmitancia térmica de los vidriados es el factor de mayor importancia a considerar para alcanzar determinados rangos de valores de transmitancia térmica para la fachada completa.

El dimensionamiento de los paños vidriados tiene un impacto variable, siendo la diferencia máxima obtenida del 13%, que corresponde al vidriado V1 contenido, configuración de mayor contraste de transmitancias térmicas (U_g más baja y U_f más elevada). En promedio, se calcula una diferencia del 7% entre las dimensiones extremas estudiadas.

El modo de fijación de los vidriados tiene un impacto significativo en el caso de las fachadas con DVH (diferencias de 11% a 16% entre las configuraciones con vidrio contenido y pegado). Las variantes con DVH escalonado presentan valores de transmitancia térmica intermedios.

CONCLUSIONES

El análisis de las variantes de diseños de perfiles para fachadas de piel de vidrio permitió aislar varios parámetros y luego estudiar el impacto de cada uno de ellos en los valores de transmitancia térmica (U_f) de las secciones de perfilera.

Los parámetros de mayor relevancia identificados son el largo de columna y el modo de fijación del vidriado (contenido o pegado) en secciones de parantes, y el diseño del espacio intersticial horizontal en secciones de travesaños, donde intervienen el tipo de vidriado (SV o DVH) y su modo de fijación, así como el tipo de abertura (PF o PM).

En cambio, el diseño del travesaño (Figura 4) no es relevante, y la configuración con DVH escalonado no modifica significativamente el valor de U_f comparado con el DVH común. Sin embargo, se destaca dicha configuración por presentar un ancho de sección superior a las variantes con DVH pegado o contenido, de manera tal que produce una diferencia en la transmitancia térmica del sistema de fachada completa.

A partir de la información recabada en este estudio preliminar, se seleccionó una muestra más reducida de perfiles para llevar a cabo el análisis de los sistemas de fachada completa. Los resultados indican que los valores de transmitancia térmica de las fachadas de piel de vidrio disponibles en Argentina varían de modo significativo (desde 2,42 hasta 5,28 W/m²K) dependiendo principalmente de la transmitancia térmica del vidriado, pero también del modo de fijación del mismo (contenido, pegado o escalonado), así como de las dimensiones de los paños vidriados.

Los resultados confirman la importancia de disponer de datos de transmitancia térmica de los sistemas de fachadas integrales, ya que utilizar como estimación el valor de transmitancia térmica de los vidriados conduce a subestimar los flujos térmicos que ocurrirán a través de la fachada (24% más elevados en promedio).

Los aportes de este trabajo brindan una herramienta valiosa a los diseñadores y constructores de edificios, para que puedan tomar decisiones no solo dirigidas por criterios económicos y constructivos, sino también desde la óptica de la sustentabilidad.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Ing. Marcos Castagnolo (Mendoglass) y a la Arq. Andrea Santoro (MDT) por sus contribuciones. Fuentes de financiamiento: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, Argentina – Proyecto PICT 2016-1487.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aste, N., Buzzetti, M., Del Pero, C., Leonforte, F. (2018). Glazing's techno-economic performance: A comparison of window features in office buildings in different climates. *Energy Build.* 159, 123–135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.088>

Arnesano, M., Pandarese, G., Martarelli, M., Naspi, F., Gurunatha, K. L., Sol, C., ... y Revel, G. M. (2021). Optimization of the thermochromic glazing design for curtain wall buildings based on experimental measurements and dynamic simulation. *Solar Energy*, 216, 14-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.01.013>

Bae, M. J., Oh, J. H. y Kim, S. S. (2015). The effects of the frame ratio and glass on the thermal performance of a curtain wall system. *Energy Procedia*, 78, 2488-2493. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.234>

Bronwyn, B. (2018). Energy and Design Criticism: Is It Time for a New Measure of Beauty? *Architectural Design*, 88(1), 116-121. DOI: <https://doi.org/10.1002/ad.2266>

Cao, X., Dai, X. y Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and buildings*, 128, 198-213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>

Carbary, L. D. y Kimberlain, J. H. (2020). Structural silicone glazing: optimizing future designs based on historical performances. *Intelligent Buildings International*, 12(3), 169-179. DOI: <https://doi.org/10.1080/17508975.2018.1544881>

Cordero, B. (2020). Thermal performance of novel frame-integrated unitised curtain wall. *Journal of Construction*, 14(1), 23-31. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-915X2018000100112&lng=es&nrm=iso

D'Amanzo, M., Mercado, M. V. y Karlen, C. G. (2020). 10 preguntas de los edificios energía cero: revisión del estado del arte. *Hábitat Sustentable*, 10(2), 24-41. DOI: <https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.02>

De Gastines, M. y Pattini, A. (2019a). Modelización de un sistema de fachada integral en herramienta de simulación energética de edificios. En Villalba, A. y Alchapar, N. (Eds.), *VI Congreso Latinoamericano de Simulación de Edificios - IBPSA LATAM 2019* (pp. 330–339). Recuperado de <http://ibpsa.com.ar/wp-content/uploads/2019/12/actas-IBPSA-LATAM-2019.pdf>

De Gastines, M. y Pattini, A.E. (2019b). Propiedades energéticas de tecnologías de ventanas en Argentina. *Hábitat Sustentable*, 9(1), 46–57. DOI: <https://doi.org/10.22320/07190700.2019.09.01.04>

De Gastines, M. y Pattini, A.E. (2020). Window energy efficiency in Argentina - Determining factors and energy savings strategies. *Journal of Cleaner Production*, 247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119104>

Hamida, H. y Alshibani, A. (2020). A multi-criteria decision-making model for selecting curtain wall systems in office buildings. *Journal of Engineering, Design and Technology*. DOI: <https://doi.org/10.1108/JEDT-04-2020-0154>

Huang, B., Chen, S., Lu, W. y Mosalam, K. M. (2017). Seismic demand and experimental evaluation of the nonstructural building curtain wall: A review. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 100, 16-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.05.025>

Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2002. IRAM 11601. *Aislamiento térmico de edificios. Método de cálculo-Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario.*

Lam, T. C., Ge, H. y Fazio, P. (2016). Energy positive curtain wall configurations for a cold climate using the Analysis of Variance (ANOVA) approach. *Building simulation*, 9(3), 297-310. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12273-016-0275-6>

Mocerino, C. (2020). High Performance and Intelligence of Glass Technologies in Architecture. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 14(4). DOI: <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2020.04.003>

Saroglou, T., Meir, I. A. y Theodosiou, T. (2020). Improving the Energy Efficiency of a Mediterranean High-Rise Envelope. *CTBUH Journal*, (2). Recuperado de <https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/4301-improving-the-energy-efficiency-of-a-mediterranean-high-rise-envelope.pdf>

Viteri, S. L. (2020). *Piel de vidrio en oficinas en altura, hacia una arquitectura Eco-Tech.* Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de http://oa.upm.es/57981/1/TFG_20_Larumbe_Viteri_Sof%C3%ADa.pdf

Wu, Y. y Flemmer, C. (2020). Glass Curtain Wall Technology and Sustainability in Commercial Buildings in Auckland, New Zealand. *International Journal of Built Environment and Sustainability*, 7(2), 57-65. DOI: <https://doi.org/10.11113/ijbes.v7.n2.495>

Yalaz, E. T., Tavail, A. U. y Celik, O. C. (2018). Lifetime performance evaluation of stick and panel curtain wall systems by full-scale testing. *Construction and Building Materials*, 170, 254-271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.061>