

SIMULACION TERMICA DE UN EDIFICIO DE OFICINAS CON DOBLE FACHADA VIDRIADA EN LA CIUDAD DE SALTA

Silvana Flores Larsen
Estudio térmico

INENCO – Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional
Universidad Nacional de Salta – CONICET
Avda. Bolivia 5150, 4400 Salta, Argentina
Tel. 0387-4255424 – Fax: 0387-4255389 – Email: seflores@unsa.edu.ar

Luis Rengifo, Lorena Gómez Paz, Ovidio Gómez de la Lastra
Diseño arquitectónico
Estudio Gómez de la Lastra, Av. Las Rosas 1, 4400 Salta, Argentina
Tel. 0387-4398259 – Email: rgp@salnet.com.ar

RESUMEN: Se presenta el estudio térmico para un día tipo de invierno y uno de verano de un edificio de oficinas de ocho plantas (cinco pisos y tres subsuelos) actualmente en construcción en el microcentro de la ciudad de Salta. El diseño del edificio incluye doble fachada vidriada en su cara oeste y doble vidriado hermético en su cara este, lo cual hizo presuponer que, para las condiciones climáticas de Salta, se podría producir un excesivo sobrecalentamiento en los meses estivales. Se realizó la simulación térmica mediante el software Energy Plus, encontrándose que se producirá un importante sobrecalentamiento en verano. En invierno se requerirá de calefacción auxiliar sólo en días con baja radiación y bajas temperaturas exteriores. Como soluciones para verano se proponen: una fachada verde en el lado Este, ventilación natural y el uso del aire proveniente de los subsuelos para enfriamiento de la masa térmica del edificio.

Palabras clave: arquitectura bioclimática, simulación térmica, eficiencia energética, doble fachada, Energy Plus

INTRODUCCIÓN

La mejora de las condiciones térmicas en edificios de oficinas para alcanzar el nivel de confort con menores consumos de energía convencional es un tema de estudio de gran importancia en el ámbito científico y de la construcción a nivel internacional. Estos edificios son grandes consumidores de energía debido a que en su mayoría utilizan equipamiento convencional para refrigeración y calefacción, la cual normalmente se utiliza durante todo el periodo de ocupación para mantener una temperatura interior dentro del rango de confort. En climas como el de Salta, con veranos calurosos y altos niveles de radiación solar, el consumo de energía para refrigeración es importante. En este caso el diseño y tecnología del edificio tienen un papel preponderante en el consumo energético, particularmente en construcciones con altos porcentajes de áreas vidriadas.

Dentro de este grupo se encuentran las dobles fachadas y la doble piel de vidrio (dos vidrios con cámara de aire ventilada), tecnologías de reciente inclusión en el país las cuales, debido a sus altos costos iniciales, están dirigidas a un sector específico de la población con mayores ingresos y tienen muy buena aceptación en el caso de edificios de oficinas. Sin embargo, existe controversia respecto de la eficiencia energética de este tipo de fachadas, por lo que actualmente su comportamiento térmico es permanente objeto de estudio. Estas tecnologías permitirían obtener importantes ahorros energéticos en invierno si están acompañadas de diseños cuidados y eficientes o, en su ausencia, podrían transformar a los edificios en grandes devoradores de energía con el consiguiente impacto en el medio ambiente. En invierno, las grandes áreas vidriadas proporcionan buenas superficies de captación de la radiación disminuyendo el consumo de calefacción. Según trabajos de investigación recientes, la doble piel de vidrio permitiría obtener un 30% de ahorro en calefacción, aunque este valor corresponde principalmente al hemisferio Norte (Chan et al., 2009). En verano, un mal diseño o elección de materiales puede producir sobrecalentamiento excesivo, con un importante incremento en el consumo de energía para acondicionar los ambientes (Faggembau et al., 2003; Gratia y De Herde, 2003; Ciampi et al., 2003). En la doble piel de vidrio, la elección del material exterior requiere de un cuidadoso estudio de las propiedades ópticas y térmicas de los vidrios la elección del tamaño, orientación y tipo de vidrio a utilizar (se utilizan vidrios con baja transmitancia en el infrarrojo que a la vez posean transmitancias visibles aceptables, para no disminuir los niveles de iluminación natural), además de un estudio previo de la orientación y el área de ganancia solar. Existen estudios realizados principalmente para Europa, Estados Unidos, Canadá, China y Japón (Chiheb Borden, 2007; Chan et al., 2009; Manz y Frank, 2005), con sus correspondientes condiciones climáticas, pero en Argentina este estudio es aún incipiente. Esta situación es preocupante, debido a que en las ciudades medianas y grandes de nuestro país están comenzando a aparecer grandes edificios que utilizan estos sistemas con la premisa de otorgarles un aspecto estético “moderno”.

Por otra parte, se sabe que los edificios con sistema de acondicionamiento central (aire acondicionado y calefacción) que no permiten a los usuarios un manejo de su entorno presentan altos niveles de discomfort. Es conocido que, el simple hecho de que un usuario pueda abrir o cerrar una ventana para favorecer la entrada de aire exterior, incide enormemente en su sensación de confort, permite trabajar con temperaturas interiores más altas (menor consumo de energía) y produce una sensación de bienestar que el sistema centralizado es incapaz de proveer. Debido a ello, el diseño de edificios eficientes está incluyendo lo que se conoce como “sistemas híbridos de acondicionamiento”, que no son más que un correcto balance entre el uso de ventilación natural en conjunto (pero no en simultáneo) con el sistema de acondicionamiento. Esto permite disminuir notoriamente el consumo de electricidad para acondicionar los ambientes.

Otra de las tecnologías que actualmente se aplican a edificios en altura es la fachada vegetal, que consiste en una cobertura verde que proporciona sombreado a la fachada del edificio y crea un pequeño microclima que favorece las condiciones térmicas interiores. Se han realizado investigaciones al respecto que incluyen tanto la simulación computacional de este tipo de fachadas (Stec et al., 2005; Ip et al., 2010), su influencia en la temperatura superficial de muros (Papadakis et al., 2001) y la evaluación experimental del porcentaje de sombreado producido por diversas especies vegetales (Cheng et al., 2010; Ip et al., 2010; Papadakis et al., 2001), entre otros aspectos.

Dentro de este marco, este trabajo presenta los resultados preliminares del comportamiento térmico y consumo energético para refrigeración de *Palermo*, un edificio de oficinas actualmente en construcción en el microcentro de la ciudad de Salta, cuyo frente (Oeste) y contrafrente (Este) están revestidos por una piel de vidrio. El edificio cuenta con buena aislación en la envolvente, sombreado en el techo y vidrios con altas reflectancias en el infrarrojo para reducir el sobrecalentamiento y minimizar la carga térmica. El objetivo del análisis fue estudiar el comportamiento térmico de un edificio con este tipo de tecnología en la ciudad de Salta, y buscar posibles alternativas para disminuir el consumo energético sin comprometer la existencia de las fachadas vidriadas, las cuales no pueden ser modificadas debido a cuestiones de imagen y marketing del edificio. Las simulaciones computacionales se realizaron mediante el software ENERGY PLUS, desarrollado en el NREL (National Renewable Energy Laboratory, USA) de cálculo del comportamiento térmico transitorio de edificios multiambientes.

DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio se ubica en la ciudad de Salta, en la región Noroeste de Argentina (24.8° S, 65.5° O, 1216 m sobre el nivel del mar). La ciudad se encuentra en la zona bioambiental IIIa (IRAM 11603), que corresponde a un clima templado cálido, con amplitudes térmicas diarias mayores a 14°C. Se caracteriza por veranos relativamente calurosos e inviernos no muy fríos, como se puede ver en la Tabla 1. El edificio, actualmente en construcción, está ubicado a 150m de la plaza principal, en el casco histórico de la ciudad. Debido al trazado original de la ciudad, las calles del microcentro tienen forma de damero, en sentido Norte-Sur y Este-Oeste (la desviación es de solamente 4°), por lo que la fachada del edificio está orientada hacia el Oeste (274°).

	Junio	Diciembre
Tmax media (°C)	19.8	28.3
Tmedia (°C)	10.4	21.3
Tmin media (°C)	4.0	18
HR (%)	77%	71%
Heliofanía Relativa	0.49	0.4
Rad. Sup. Hor. (MJ/m ² día)	10.8	19.2
Veloc. Media de Viento(km/h)	4.7	5.7

Tabla 1: datos meteorológicos para la ciudad de Salta (Servicio Meteorológico Nacional). Los datos de irradiación solar y heliofanía relativa se obtuvieron del Atlas de Energía Solar de la República Argentina (Grossi Gallegos y Righini, 2007).

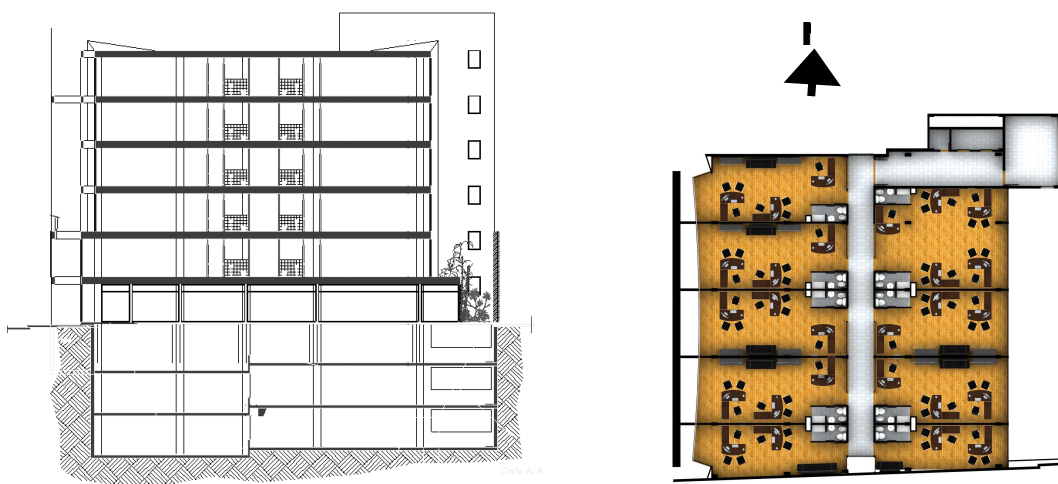


Figura 1: Corte del edificio (izquierda) y planta de los pisos de oficinas 2 a 5 (derecha).

El edificio tiene una superficie cubierta de 5500m², repartida en tres subsuelos para estacionamiento, planta baja para locales comerciales y cinco pisos para 45 oficinas de aproximadamente 50m² cada una. La Figura 1 muestra un corte del edificio (izquierda) y la planta de los pisos de oficinas 2 a 5 (derecha). Los muros exteriores son de ladrillo macizo de 30cm de espesor en los subsuelos y de ladrillo cerámico hueco revocado con aislación térmica (3 pulgadas de lana de vidrio) y placa de yeso interior en las paredes exteriores. Las divisiones interiores son dobles paneles de yeso con aislación acústica. Por encima del cielorraso, conformado por placas de yeso y aislación acústica, existe un espacio técnico en donde se ubican los conductos para refrigeración, cableado, etc. El revestimiento de los pisos de las oficinas es del tipo cerámico. El techo del último piso es especialmente cuidado, puesto que sobre la membrana hidrófuga que cubre la losa se dispone de un revestimiento cerámico colocado de forma que existe una pequeña cámara de aire ventilada entre la membrana y el revestimiento, que actúa de elemento de sombreado.

En cuanto al entorno del edificio, la envolvente sur linda con un edificio antiguo de dos pisos perteneciente a la Universidad Nacional de Salta, por lo que el porcentaje de envolvente sur en contacto con el exterior es muy reducido. Esta situación es altamente beneficiosa en el verano. La fachada Oeste recibe sombreado por parte de un edificio de baja altura ubicado al frente, mientras que la fachada Norte recibe sombra del edificio TELECOM ubicado a aproximadamente 20m hacia el Norte de Palermo. La envolvente Este no está sombreada por edificios circundantes.

Descripción de la fachada con doble piel de vidrio y la contrafachada

El vidrio exterior de la fachada es un cristal templado serigrafiado incoloro de 12mm de espesor, separado del edificio una distancia de aproximadamente 1m. La Figura 2 muestra la vista Oeste del edificio y un corte de la doble piel de vidrio. Como se aprecia en el corte de la Figura 1, en el primer piso la piel se encuentra más separada del edificio que en los pisos 2 a 5. Esta superficie genera un espacio ventilado, entre el vidrio y el edificio propiamente dicho. Las oficinas, tanto las que dan al Este como al Oeste, cuentan con aventanamientos de piso a techo en los que se utiliza doble vidrio hermético tonalizado con control solar (SunCool 3+3 color bronce – cámara de aire de 12mm – vidrio incoloro de 4mm). Este tipo de vidrio permite, mediante el color tonalizado, disminuir la transmitancia solar proporcionando iluminación natural, reduciendo la radiación solar infrarroja que ingresa al edificio debido a la capa reflectante SunCool y disminuir la transmitancia térmica debido a la cámara hermética de aire entre los vidrios. Las propiedades ópticas del DVH utilizado se encuentran en la Tabla 2. Algunas de estos aventanamientos poseen ventanas proyectantes que se abren hacia el exterior. En la planta baja, principalmente ocupada por locales comerciales, se utiliza vidrio simple incoloro.

Visible		Solar		UV	Transmitancia térmica K (W/m ² K)	Factor Solar ¹	Coeficiente de Sombra ²
Transmitancia	Reflectancia	Transmitancia	Reflectancia	Transmitancia			
19%	21%	12%	21%	1%	2.8	0.22	0.25

Tabla 2: propiedades del DVH SunCool Bronce utilizado en los aventanamientos de las oficinas. Fuente: www.vasa.com.ar

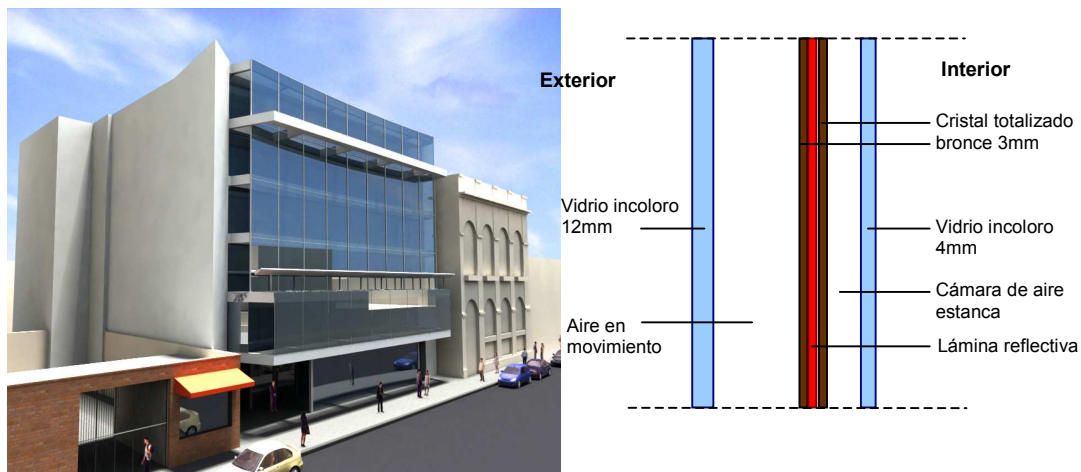


Figura 2: Imagen computarizada del mismo (izquierda) y corte de la doble piel de vidrio (derecha).

Por otra parte, se analizó cualitativamente la configuración de la doble fachada vidriada. La doble fachada puede producir diversos efectos, algunos favorables y otros adversos, dependiendo de su orientación, de si tiene o no aberturas en la parte

¹ Factor Solar: es la relación entre la cantidad total de energía que atraviesa el cristal (suma de la energía solar que penetra por transmisión y la energía desprendida por el cristal hacia el interior como consecuencia de su calentamiento por absorción energética) y la energía solar incidente. Para un cristal incoloro de 3mm de espesor el factor solar es 0.87.

² Coeficiente de Sombra: es el factor solar dividido por 0.87, que corresponde al factor solar de un cristal incoloro de 3mm de espesor. Es una medida de la capacidad de filtrar el calor producido por los radiación solar, respecto de un vidrio incoloro de 3mm de espesor

inferior o superior, y de las condiciones climáticas exteriores. Además de sobrecalentamiento, un diseño de fachada que no esté acorde con las condiciones de viento y asoleamiento puede producir efectos catastróficos en un edificio, como la inyección de aire caliente desde la doble fachada hacia las oficinas, o la contaminación del aire de las oficinas superiores con aire viciado proveniente de las oficinas en los pisos inferiores. Un buen diseño hace que la fachada funcione como una chimenea, extrayendo el aire caliente del interior del edificio (en caso de ventanas abiertas y circulación de aire) y eliminándolo por la parte superior.

En el caso del edificio Palermo, se observa que la doble fachada del edificio se ubica prácticamente hacia el Oeste (el Oeste del edificio está desviado del Oeste verdadero apenas 4° hacia el Norte), por lo que en verano el asoleamiento directo se produce a partir de aproximadamente las 13:15 hs. Por otra parte, en en la ciudad de Salta la dirección predominante de viento es NE (Servicio Meteorológico Nacional), durante todo el año. En los meses calurosos (noviembre a febrero) la velocidad de viento promedio varía entre 7km/h (noviembre) y 3km/h, con velocidades máximas promedio entre 35km/h (noviembre) y 25km/h (febrero). De acuerdo a estos datos, la doble fachada del edificio Palermo se encuentra a sotavento (situación favorable para ventilar la fachada). En el trabajo de Gratia y De Herde (2003) se concluye que, cuando la fachada recibe radiación solar con viento a sotavento, el efecto del viento es predominante y el efecto de chimenea refuerza la succión del aire de las oficinas si la parte superior de la fachada está abierta y la inferior está cerrada (si ambas están abiertas el efecto es menor, pero sigue existiendo). En el caso de Palermo, si las oficinas tuvieran la posibilidad de utilizar ventilación natural (el diseño original no lo permite), ésto sucedería por la tarde. Cuando la fachada no recibe radiación solar (por la mañana), el viento exterior produciría succión sólo si tuviera velocidad suficiente.

MODELO TERMICO EN ENERGY PLUS

Para simular el comportamiento térmico del edificio se utilizó el software de libre disponibilidad EnergyPlus (versión 5) desarrollado en el NREL. Para ello, se dividió el edificio en 21 zonas térmicas. Cada piso del subsuelo se consideró una zona térmica, con muros de ladrillo macizo de 30cm de espesor en contacto con el suelo. Cada uno de los pisos restantes se dividió en tres zonas de acuerdo a su orientación (Zona Este, Pasillo y Zona Oeste), como puede verse en la zonificación térmica de la Figura 3. La piel de vidrio se trató en una primera aproximación como un elemento que reduce la radiación incidente en el doble vidriado, por lo que se le definió una transmitancia global solar constante de 0.87, correspondiente a la transmitancia solar de un vidrio incoloro a incidencia normal. Esto supone que el aire que circula entre la piel de vidrio y la fachada del edificio está a la temperatura exterior, por lo que el calor se transfiere entre el nodo aire correspondiente a la oficina y el nodo aire correspondiente al exterior. En un sentido estricto, la transferencia de calor se realiza con un nodo intermedio correspondiente al aire entre la piel de vidrio y la fachada propiamente dicha. Este nodo puede tener temperaturas diferentes a la temperatura exterior, debido al calentamiento del aire en contacto con los vidrios a mayor temperatura. Por otra parte, puede existir un efecto chimenea que produzca una distribución de temperatura en sentido vertical, por lo que será necesario utilizar más de un nodo para representar la temperatura de esta masa de aire. EnergyPlus cuenta con un módulo para cavidades ventiladas pero se aplica a pieles exteriores opacas. En este artículo se utiliza un modelo simplificado de la piel de vidrio como un elemento homogéneo de sombreado (en EnergyPlus: ShadingDevice), dejándose para un futuro trabajo la simulación detallada de la fachada ventilada. Debido a que los muros y vidriado Oeste de las oficinas no reciben la incidencia directa del viento, se utilizaron coeficientes convectivos diferenciados para esta fachada, los cuales se obtienen de correlaciones habituales de la bibliografía (ISO 2003). En las restantes, en contacto con el viento, se utilizó la opción por defecto de EnergyPlus que correlaciona los coeficientes convectivos con la velocidad de viento y la rugosidad de la superficie.

Para todos los locales se consideró carpintería hermética de aluminio. Las propiedades térmicas de los materiales de construcción se obtuvieron de la bibliografía, mientras que las propiedades del doble vidriado con cámara de aire y recubrimiento SunCool se tomaron de las especificaciones técnicas de fábrica (Tabla 2). Se consideraron 4 renovaciones de aire por hora durante el periodo diurno, que corresponde al valor mínimo sugerido para oficinas, y renovaciones mínimas durante la noche, correspondientes a las infiltraciones por la carpintería, debido a que se considera el edificio cerrado por cuestiones de seguridad. El cálculo se realizó para el edificio ocupado y con ganancias internas provenientes del uso de equipamiento eléctrico y luminarias. Se consideró una ocupación de oficina tipo (8 a 20hs) con una densidad de ocupación de 12.5m²/persona. Se simuló el edificio sin la utilización de acondicionamiento convencional (estufas y/o aires acondicionados), para un día tipo de verano y uno de invierno, con los valores que se muestran en la Tabla 1 para las temperaturas máxima, media y mínima

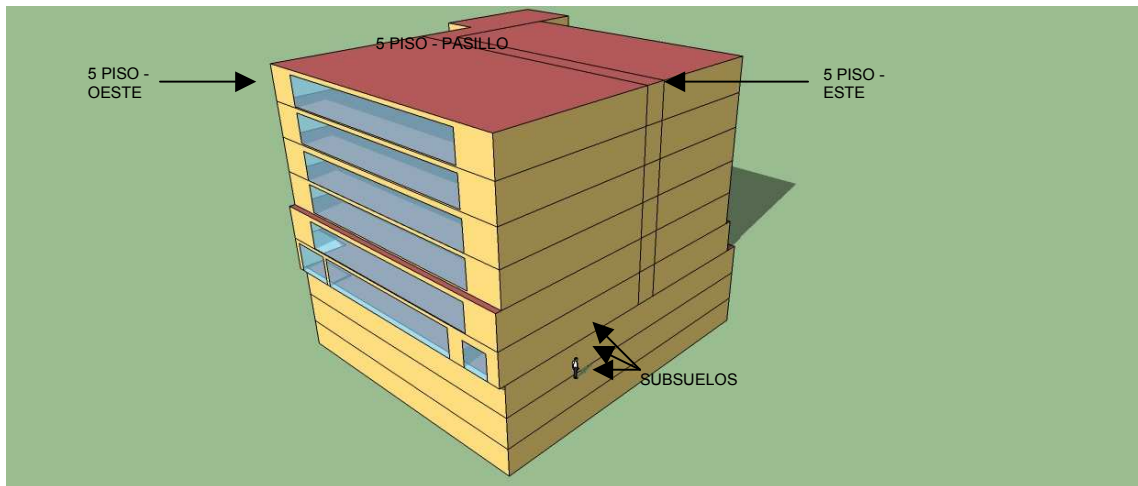


Figura 3: Zonificación térmica del edificio Palermo. Sombras correspondientes al 31 de diciembre, 17:00PM.

SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para simplificar el análisis, los resultados de las simulaciones se muestran para el primer y cuarto piso del edificio, los cuales se seleccionaron por ser zonas intermedias. Se analizan un día tipo de verano y uno de invierno. Los resultados de la simulación se muestran en la Figura 4. En verano se observa que se producirá gran sobrecalentamiento: la temperatura durante las horas de ocupación (8 a 20hs) se ubican mayoritariamente entre 36 y 40°C. Existe una marcada diferencia entre las oficinas de la zona Este y Oeste, siendo las temperaturas de la zona Este entre 3°C y 4°C más altas que las de la zona Oeste. Esto se debe al sombreado producido sobre la fachada Oeste por los edificios circundantes, lo cual no sucede en la fachada Este. Debido a la aislación en muros y a la baja transmitancia térmica del doble vidriado el coeficiente global de pérdidas es bajo, por lo que la energía proveniente de la ganancia solar directa se acumula en la masa térmica del edificio. Al no tener ventilación nocturna, esta energía no escapa rápidamente al exterior durante la noche, por lo que las temperaturas interiores permanecen altas.

En invierno, las temperaturas interiores se encuentran dentro del rango de confort térmico, ubicándose entre 20°C y 27°C, por lo que el requerimiento de calefacción auxiliar durante los meses fríos se limitará a aquellos días en donde las temperaturas sean menores que el promedio histórico y/o días con bajo nivel de radiación solar.

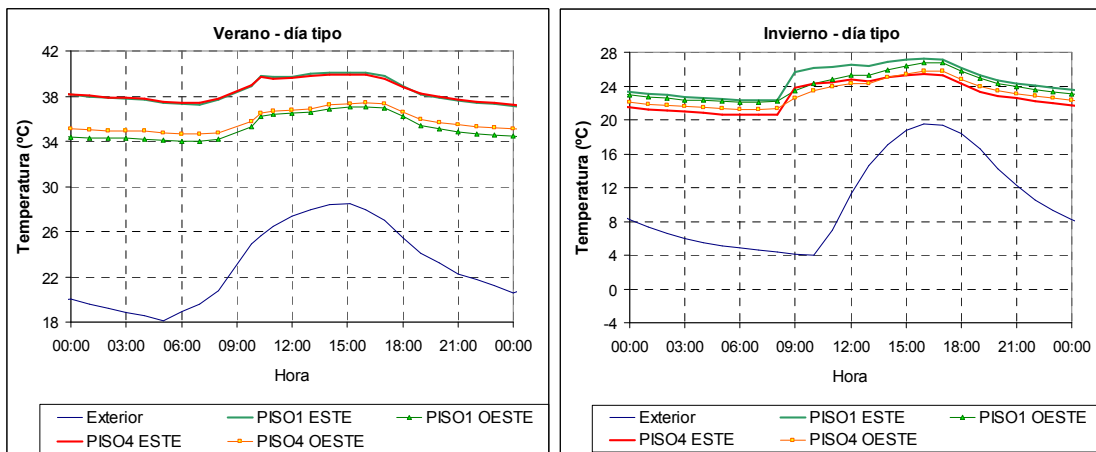


Figura 4: Temperaturas interiores de las oficinas del 1er piso y 4to piso (Este y Oeste) para un día tipo y un día extremo de verano.

Ante esta situación, se analizaron una serie de opciones tendientes a disminuir la carga de enfriamiento del edificio. Como se explicó anteriormente, por cuestiones estéticas no se consideró la posibilidad, más económica y efectiva, de disminuir el tamaño de las aberturas para reducir la ganancia solar directa. Para la zona Este, en donde las grandes ganancias energéticas se producen por el tamaño del doble vidriado, se propuso la utilización de una fachada verde, concepto totalmente innovador para los edificios de la ciudad de Salta. Dicha fachada fue pensada como una estructura metálica que cubriera los cinco pisos, con acceso en cada uno de ellos para mantenimiento y riego, en los cuales se ubican cajas metálicas con tierra y abono en donde se hacen crecer las plantas. El objetivo es que el follaje de las mismas protejan la fachada Este del asoleamiento en verano, a la vez que se genera un espacio térmico intermedio, entre el vidrio exterior y el follaje, de temperatura menor a la

exterior. Al tener una diferencia de temperatura interior-externa más baja, disminuirán las pérdidas térmicas del edificio a través del área vidriada. Por otra parte, para estas oficinas sería posible el uso de ventilación natural en ciertas horas de la mañana y la tarde, permitiendo el ingreso a las oficinas de aire proveniente del Este-Noreste, más fresco que el exterior debido a su paso por la fachada verde.

Se simuló el edificio con la adición de una fachada verde sobre el lado Este para cuantificar el efecto sobre la temperatura interior de esta zona respecto de la situación original. La simulación de una fachada verde reviste cierta complejidad, debido a que el tamaño y color de las hojas, en conjunto con el número de capas de hojas que debe atravesar la radiación solar es variable a lo largo del año. Ip et al. (2010) estudiaron la performance de sombreado durante las diferentes estaciones del año de un tipo de planta utilizado comúnmente para este efecto (variedad Virginia, Parthenocissus quinquefolia), para lo cual aplicaron tratamiento digital de imágenes en conjunto con mediciones experimentales. Los autores obtienen una expresión para calcular la transmitancia del follaje de acuerdo al día del año, el cual varía entre 0.45 (verano) y 0.95 (invierno) para esta especie particular. Estos valores variarán de acuerdo a la variedad vegetal a utilizar y a la caducidad del follaje. Como una primera aproximación, para analizar el efecto del sombreado de la fachada verde en verano, se utilizó el valor de 0.45 obtenido por Ip et al. (2010). La Figura 5 muestra que, en un día de verano, la fachada verde podría disminuir hasta 3°C la temperatura interior en las oficinas del ala este durante las horas de la mañana, con lo cual se obtendrían importantes ahorros de energía para refrigeración.

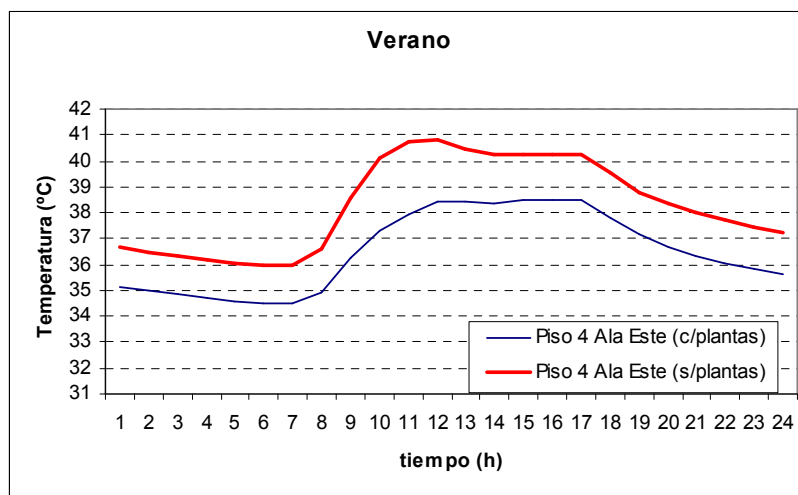


Figura 5: Temperaturas interiores durante un día de verano (en rojo sin fachada verde; en azul, con fachada verde).

Una segunda alternativa para disminuir la carga de enfriamiento sería la utilización de ventilación nocturna cruzada para provocar el enfriamiento de la masa térmica interior del edificio. Debido a la dirección predominante de los vientos, cuyas velocidades durante la noche suelen ser bajas, se requeriría la colocación de aberturas en la parte superior de las paredes que conectan las oficinas con el pasillo central. Una nueva simulación realizada bajo condiciones de ventilación natural durante la noche permitiría disminuir el consumo energético entre aproximadamente un 10% (para temperaturas exteriores nocturnas de 20°C, día extremadamente caluroso) y un 20% (para temperaturas exteriores nocturnas de 16°C, día de verano promedio). La Figura 6 muestra la carga de enfriamiento desglosada por piso, para ambos casos.

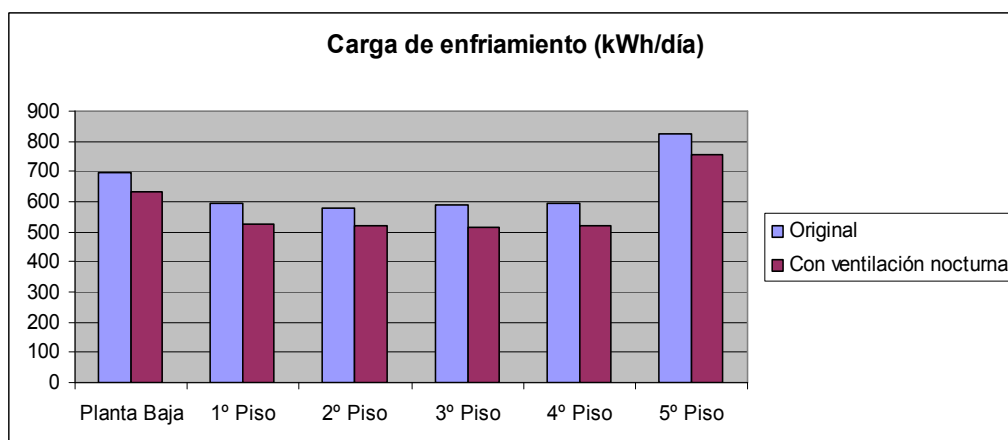


Figura 6: Carga de enfriamiento para el edificio en su formato original y con la adición de ventilación nocturna.

La tercera alternativa propuesta fue la utilización del aire proveniente de los subsuelos para el enfriamiento de la masa térmica del edificio, aprovechando el espacio técnico, en el que se encuentran las tuberías de refrescamiento. El aire proveniente de los subsuelos no se puede inyectar directamente a las oficinas porque está contaminado con las emisiones de gases de los escapes de los automóviles del estacionamiento. Las simulaciones muestran que, si se utiliza este aire para refrescar pisos y techos de hormigón haciéndolo circular por el espacio técnico, se obtendría una disminución de entre 12 y 15% del consumo anual.

Las alternativas propuestas podrían ser utilizadas simultáneamente o por separado. El análisis de los costos de implementación de las mismas, así como la elección de cuál o cuántas mejoras introducir son factores que los proyectistas del edificio evaluarán de acuerdo al presupuesto de obra y a la factibilidad de cada una.

CONCLUSIONES

El estudio térmico realizado para dos días tipo, de invierno y verano, del edificio Palermo muestra que se producirá un importante sobrecalentamiento en verano. En invierno, las grandes áreas vidriadas contribuyen a elevar las temperaturas interiores ubicándolas dentro de la zona de confort, por lo que se requerirá de calefacción auxiliar sólo en aquellos días con temperaturas exteriores muy bajas.

Las propuestas de mejora para disminuir la carga de refrigeración incluyen la utilización de una fachada verde en el lado Este, la utilización de ventilación natural y el uso del aire proveniente de los subsuelos para enfriamiento de la masa térmica del edificio. Los resultados de la simulación muestran que, en un día de verano, la fachada verde podría disminuir hasta 3°C la temperatura interior en las oficinas del ala este durante las horas de la mañana, con lo cual se obtendrían importantes ahorros de energía para refrigeración. Con la utilización del aire proveniente de los subsuelos para refrescar pisos y techos de hormigón, haciéndolo circular por el espacio técnico, se obtendría una disminución de entre 12 y 15% del consumo anual. Finalmente, la ventilación natural durante la noche permitiría disminuir el consumo energético entre un 10% y un 20%. La utilización de ventilación nocturna cruzada requeriría la colocación de aberturas rebatibles en la parte superior de las paredes que conectan las oficinas con el pasillo central, para favorecer la ventilación natural cruzada durante la noche y la succión del aire caliente de las oficinas hacia la fachada ventilada (esta última para estaciones intermedias). La ventilación podría mejorarse con extractores de aire, debido a que en Salta las velocidades de viento durante la noche son relativamente bajas. Esta solución, si bien es eficiente y económica, conlleva el problema de que deberá existir acción por parte de los usuarios, quienes deben abrir las aberturas durante la noche, puesto que durante el día es de esperar que estén cerradas por cuestiones de privacidad. En un edificio de las dimensiones de Palermo, es poco práctico dejar librado este accionar a un número grande de usuarios.

Para el presente estudio fue de suma importancia incorporar al estudio del edificio la simulación del entorno construido. El sombreado de los edificios circundantes, en el caso particular de Palermo, produce un efecto positivo en las temperaturas interiores, tanto en invierno como en verano. Esto se debe a que: 1. en verano, la ubicación de edificios circundantes provoca un sombreado interesante durante horas de la tarde para las oficinas ubicadas hacia el Sur, y principalmente en la planta baja, con el consiguiente ahorro en refrigeración; 2. en invierno, la sombra arrojada se ubica en la parte inferior Sur de las oficinas, con un porcentaje de sombreado menor al 25% del área total expuesta de Palermo, por lo que no afecta sustancialmente la colección de ganancia directa en invierno.

Las temperaturas exteriores utilizadas corresponden a los valores promedio provistos por el Servicio Meteorológico Nacional. Es posible que los valores promedio de temperaturas máxima, media y mínima en el microcentro de la ciudad sean mayores debido al efecto de isla de calor, no cuantificado para la ciudad de Salta. Esto, sumado al hecho de que en verano las temperaturas exteriores superan los 34°C, incidirá negativamente en las temperaturas interiores de verano, incrementándolas aún más.

El presente estudio constituye un gran avance respecto de la interacción entre profesionales privados de la construcción e investigadores para transferir resultados académicos hacia el sector edilicio, particularmente a edificios cuyos consumos energéticos son considerables. En un trabajo futuro se prevee estudiar en mayor profundidad el modelo a utilizar para simular fachadas ventiladas, además de analizar la influencia del follaje de una fachada vegetal en la temperatura del aire cercana al edificio.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por CIUNSa 1699. Los autores desean expresar su agradecimiento al estudio de Arquitectura Dakak, a cargo de la construcción del edificio.

REFERENCIAS

- Chan A.L.S., Chow T.T., Fong K.F., Lin Z. Investigation on energy performance of double skin facade in Hong Kong. *Energy and Buildings* 41 (2009) 1135–1142.
- Cheng C.Y., Cheung Ken K.S., Chu L.M. (2010). Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls. *Building and Environment* 45, pp. 1779-1787.
- Chiheb Borden. Influence of glass curtain walls on the building thermal energy consumption under Tunisian climatic conditions: The case of administrative buildings. *Renewable Energy* 32 (2007) 141–156.
- Ciampi M., Leccese F., Tuoni G. (2003). Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings. *Solar Energy* 75, pp. 491-502.

EnergyPlus. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

- Faggembau D, Costa M, Soria M, Oliva A. Numerical analysis of the thermal behavior of glazed ventilated facades in Mediterranean climates. Part II: applications and analysis of results. *Solar Energy* 75 (2003) 229–39.
- Gratia E, De Herde A. (2003). Natural Ventilation in a double skin facade. *Energy and Buildings* 36, pp. 137–46.
- Grossi Gallegos H., Righini R. (2007). Atlas de Energía Solar de la República Argentina. Universidad Nacional de Luján.
- Ip K., Lam M., Miller A. (2010). Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy. *Building and Environment* 45, pp. 81-88.
- ISO (2003). ISO15099:2003, Thermal performance of windows, doors, and shading devices – Detailed calculations. International Organization for Standardization.
- Manz H., Frank Th. (2005). Thermal simulation of buildings with double skin facades. *Energy and Buildings* 35, pp. 1114-1121.
- Papadakis G., Tsamis P., Kyritsis S. (2001). An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. *Energy and Buildings* 33, pp. 831-836.
- Stec W.J., van Paassen A.H.C., Maziarz A. (2005). Modelling the double skin facade with plants. *Energy and Buildings* 37, pp. 419-427.

ABSTRACT: the thermal response of an eighth-story office building (5 stories and 3 underground floors) are presented for typical winter and summer days. Nowadays the building is in construction at the historical center of Salta city. The design of the building includes a double-skin West façade and hermetic double glazing in the East facade, so for the climatic conditions of Salta, overheating was presumed to occur during summer. The thermal simulation was performed with the software Energy Plus; which predicted overheating in summer. Auxiliary heating could be necessary only in winter days with low solar irradiance and low exterior temperatures. The proposed solutions for summer include: a green facade in the Eastern envelope, natural ventilation, and cooling of the building thermal mass by using the fresh air provided by the underground levels.

Keywords: bioclimatic architecture, thermal simulation, energy efficiency, double skin facade, Energy Plus