

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA DOBLE FACHADA VERDE PARA EL CLIMA DE LA CIUDAD DE SALTA

Constanza Belén López Ruiz¹, Silvana Flores Larsen², Daniel Hoyos

INENCO - Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Universidad Nacional de Salta (UNSa)

Tel. +54 387 4255424- Fax +54 387 4255489 e-mail: conyblopezruiz@gmail.com

Recibido 15/08/19, aceptado 21/10/19

RESUMEN: La integración de vegetación en la envolvente edilicia permite reducir el consumo energético de refrigeración en verano y mejorar las condiciones de confort interior en edificios. Esto se debe a que, en verano, las plantas son energéticamente más eficientes que los elementos de sombreado tradicionales debido a que las hojas regulan su temperatura superficial a través de la evapotranspiración. En este marco, el objetivo del presente trabajo consiste en estudiar la eficiencia de una doble fachada vegetal aplicada a una vivienda social del IPV ubicada en la ciudad de Salta, la cual se simula para cuatro posibles orientaciones. Para ello, se utilizó el software SIMEDIF en su reciente versión 2.0, que incluye el modelo térmico de dobles fachadas vegetales. Se analizó la disminución de la temperatura interior y de la temperatura superficial de los muros, de acuerdo a sus orientaciones. Los resultados muestran que, en días calurosos en la ciudad de Salta, sería posible obtener disminuciones de entre 13°C y 20°C en la temperatura superficial de muros Este y Oeste y de entre 0.3°C y 1.5°C en los ambientes interiores. Se concluye que, para el clima de Salta, las dobles fachadas vegetales son una estrategia útil para disminuir las temperaturas interiores en verano y reducir el consumo energético destinado a refrigeración.

Palabras clave: doble fachada verde, simulación transitoria, enverdecimiento urbano

INTRODUCCIÓN

En Argentina, entre el 35% y el 40% de la energía primaria está destinada al acondicionamiento de espacios interiores. El notorio incremento en las ventas de equipos de refrigeración sumado a condiciones climáticas adversas (excesivo calor en verano) viene provocando un paulatino incremento en el consumo eléctrico. Uno de los caminos efectivos para reducir el consumo energético de verano en las construcciones es la aplicación de estrategias bioclimáticas de diseño (orientación del edificio, aislación térmica, materiales utilizados, ganancia directa, etc.) y, en particular, la utilización de fachadas protegidas por material vegetal (Oropeza-Pérez y Østergaard, 2018). Estudios prometedores muestran que existen medidas para contrarrestar los efectos de las altas temperaturas urbanas tales como techos y materiales frescos o enverdecimiento urbano (Santamouris et al., 2018; Alchapar et al., 2016; Sosa et al., 2017). Esta estrategia tiene la ventaja de poder ser incluida no sólo durante la etapa de diseño del edificio, sino como mejora de un edificio preexistente (rehabilitación). En verano, las plantas se comportan mejor térmicamente que los elementos de sombreado tradicionales debido a que la temperatura superficial de las hojas es menor que la de un dispositivo de sombreado convencional. Esto se debe a que un buen porcentaje de la radiación solar absorbida por la planta (alrededor de un 60%, dependiendo del tipo de planta, nivel de humedad, época del año, etc.) es transformado en calor latente debido al proceso fisiológico de evapotranspiración, lo que ocasiona que la temperatura de las hojas no se eleve tanto como en el caso de los materiales convencionales de los dispositivos de sombreado, en los que toda la energía absorbida se transforma en calor sensible. Además, las plantas presentan otros efectos interesantes cuando se utilizan en edificios, que van desde lo ambiental

¹ Tesista de grado de Licenciatura en Energías Renovables, Fac. Cs Exactas, Universidad Nacional de Salta

² Directora de tesis

(disminución de CO₂, influencia en el microclima, etc.) hasta lo estético y psicológico (disminución del estrés, atenuación del nivel sonoro exterior, acercamiento visual a elementos naturales).

El uso de plantas en la envolvente de edificios se extendió notablemente con el sistema de techos verdes, para el cual existe buena cantidad de estudios experimentales y de modelos físicos. En el caso de las fachadas verdes, la información es mucho más escasa y su aplicación en casos concretos mucho más reducida, por lo que se considera que está aún en una etapa de desarrollo e investigación. Podemos encontrar trabajos que contribuyen de forma significativa a la modelización térmica de las fachadas verdes, como el de Stec et al. (2005), quienes consideraron que el calor latente expulsado por la planta debe ser proporcional a la radiación absorbida y proponen un modelo basado en la analogía eléctrica-térmica. El modelo de red térmica también fue usado por Kontoleon y Eumorfopoulou (2010), quienes investigaron el comportamiento térmico de las zonas de construcción con fachadas verdes. El modelo matemático desarrollado por Scarpa et al. (2014) para dos tipos de paredes vivas mostró buenos resultados en cuanto a la temperatura en la superficie de la pared y los flujos de calor en verano e invierno. Por su parte, Susorova et al. (2013) desarrollaron un modelo matemático de una pared exterior con plantas trepadoras y lo verificaron experimentalmente en verano. Los autores consideraron el comportamiento variable de la resistencia estomática (resistencia al intercambio gaseoso y la transpiración) de la planta con la radiación solar, el cual es un parámetro crucial para determinar el nivel de transpiración de la planta. Recientemente, el software SIMEDIF V2.0 (SIMEDIF, 2019) ha incluido un módulo de cálculo de dobles fachadas verdes que utiliza un modelo físico que incorpora el impacto de la humedad relativa, radiación solar y temperatura del aire en el balance energético de la planta y de la envolvente edilicia.

En este marco, el objetivo del presente trabajo consiste en estudiar la eficiencia de una fachada vegetal aplicada a una vivienda social del IPV ubicada en la ciudad de Salta, para disminuir el consumo energético destinado a refrigeración y mejorar las condiciones térmicas de los ambientes interiores.

METODOLOGÍA

Para la simulación se seleccionó una vivienda del IPV localizada en la ciudad de Salta (24° 03' latitud Sur, 65°44' longitud Oeste, 1187 msnm). Según la norma IRAM 11603 de acondicionamiento térmico de edificios, la ciudad de Salta pertenece a la región IIIa, zona templada cálida con amplitudes térmicas mayores de 14°C. Los datos climáticos horarios se obtuvieron del año típico meteorológico TMY para la ciudad de Salta, disponible en climate.onebuilding.org, el cual fue generado mediante la metodología de Bre y Facchinotti (2014) y se encuentra en formato EPW (EnergyPlus Weather) compatible con SIMEDIF. Según las estadísticas, el mes de noviembre es el más caluroso del año, por lo que las simulaciones se realizaron para este mes.

Descripción de la vivienda

La vivienda, construida por el Instituto Provincial de Vivienda, tiene una superficie construida de 63.7 m². Consta de tres habitaciones, una cocina-comedor y un baño, como muestra la Figura 1. La envolvente vertical es de ladrillo cerámico hueco de 0.18m con revoque grueso y fino a la cal en ambos lados, con un espesor de 0.01 m, sin aislación térmica. La envolvente horizontal es un techo en pendiente compuesto por un cielorraso suspendido de placas de yeso (9.5 mm de espesor) el cual se encuentra ubicado a 2.6 m del suelo. Por encima del cielorraso se encuentra una cámara de aire luego de la cual está la chapa de calibre 25 (5×10^{-4} m). El cielorraso está sujeto a la chapa mediante correas perfil "C" de fijación. Para tener en cuenta el espesor de la cámara de aire que corresponde a cada local, se consideraron dos espesores promedio, uno de 0.95 m de alto asignado a los dormitorios 3 y 2, y 0.78 m para el comedor, el baño y el dormitorio restante. Los muros interiores son de mampostería de ladrillos cerámicos huecos de 0.08m y 0.12 m, también revocados en ambos lados. En cuanto a la carpintería, las puertas son de madera de cedro y las ventanas son de vidrio simple incoloro de 4 mm de espesor.

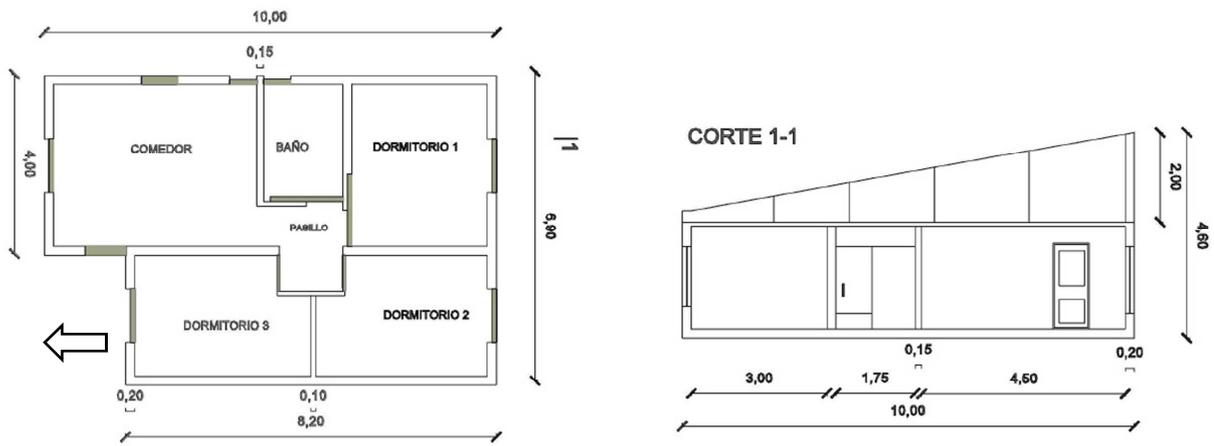


Figura 1: (Izq.) Vista en planta de la vivienda analizada. (Der.) Vista en corte de la vivienda.

Simulación térmica con SIMEDIF

Se utilizó el software SIMEDIF V2.0 para realizar la simulación térmica del prototipo base y del prototipo con fachada vegetal incorporada. Para ello, se definieron 6 zonas térmicas cuyas superficies, volúmenes y áreas vidriadas se muestran en la Tabla 1. En la simulación se utilizaron 2 renovaciones de aire. Los muros y piso se definieron como masivos, mientras que el techo se consideró como un tabique compuesto por tres capas (cielorraso de yeso + cámara de aire + chapa, con conductancia térmica equivalente de $0.025 \text{ W/m}^2\text{-K}$). Las propiedades térmicas de los materiales de muros, pisos y techos se obtuvieron de las normas IRAM 11601 y se muestran en la Tabla 2. Para los muros exteriores se fijó una absorptancia solar de 0.6, correspondiente a una pintura de color medio. El coeficiente global de pérdida de muros interiores se fijó en 6 y $8 \text{ W/m}^2\text{-K}$ (superficies interiores no asoleadas y asoleadas, respectivamente), mientras que el coeficiente global de pérdida h de las superficies exteriores se estimó en $15 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ a través de la correlación de Duffie y Beckman (2005) con la velocidad media de viento v (m/s):

$$h = 5.7 + 3.8 v$$

Local	Área de suelo (m^2)	Volumen (m^3)	Área vidriada (m^2)
Comedor	16.2	42.12	2.16
Dormitorio 3	9.99	25.97	1.32
Dormitorio 2	11.61	30.19	1.32
Dormitorio 1	10.8	28.08	1.62
Baño	4.55	11.83	0.24
Pasillo	3.3	8.58	0

Tabla 1: Locales y características de las zonas térmicas.

		$k \text{ (W/m K)}$	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$C_p \text{ (J/kg K)}$	Espesor (m)
Muro exterior	Revoque exterior	1.16	1900	800	0.02
	Ladrillo cerámico hueco	0.38	636	850	0.18
	Revoque interior	0.93	1900	800	0.02
Muro interior	Revoque exterior	0.93	1900	800	0.02
	Ladrillo cerámico hueco	0.33	631.3	1009	0.12
	Revoque interior	0.93	1900	800	0.02
Techo	Cielo raso	0.58	1200	1080	0.095
	Cámara de aire	0.024	1.02	1012	0.78
	Chapa galvánica	58	7900	450	0.0005

Tabla 2: Propiedades térmicas de los materiales de muros y techos requeridos para la simulación.

Se simuló el mes de noviembre (30 días), que corresponde al mes más caluroso del año. Para el análisis, se eligió el día más caluroso del periodo (29 de noviembre), en que la temperatura mínima fue de 17.8°C, la media de 26.8°C y la máxima de 35°C. Se consideraron cuatro orientaciones para el “Caso Base” (sin fachada vegetal) y cuatro orientaciones para el “Caso mejorado” (con fachada vegetal). Las fachadas verdes se ubicaron en las orientaciones con mayores niveles de radiación solar (Este y Oeste) y con áreas de posible sombreado suficientemente grandes como para que el efecto de la cobertura verde sea significativo (Figura 2).

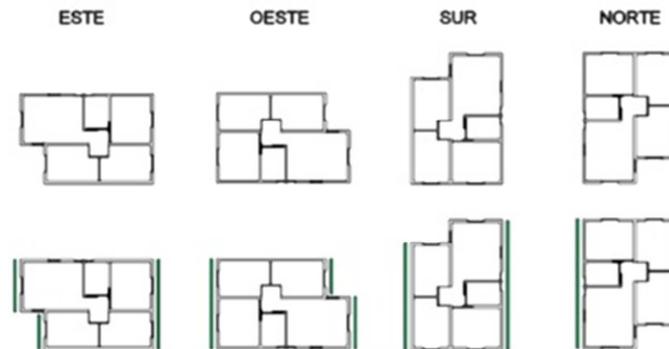


Figura 2: Caso Base y Caso Mejorado, con la ubicación de las fachadas verdes, para las cuatro orientaciones.

Para la fachada vegetal, se propuso el uso de la trepadora *Parthenocissus tricuspidata*, conocida también como *parra Virgen*, una enredadera de hoja caduca cuyo follaje permitiría cubrir la totalidad del área en la cual se instale durante la estación estival. Se trata de una planta resistente a la radiación solar y a temperaturas elevadas que es de uso habitual en la zona. Para simular la fachada vegetal, SIMEDIF utiliza el modelo térmico descrito en Flores Larsen et al. (2015). Para ello, el software crea automáticamente dos elementos: una nueva zona térmica (que representa la cavidad entre la planta y la pared) y un tabique (que representa a la planta). La nueva zona térmica tiene las dimensiones de la cavidad formada entre la planta y la pared el área interna de la planta y la pared (con un número de renovaciones de aire que deben ser ingresadas por el usuario de acuerdo al follaje y velocidad de viento; normalmente 20 o más si hay buena ventilación de la cavidad). Esta zona térmica es una zona de transición intermedia entre el espacio interior y el espacio exterior. En cuanto al tabique, es un elemento de conexión entre la cavidad y el exterior con el espesor y la conductividad térmica de la hoja. Los coeficientes globales de convección-radiación se reasignan automáticamente: a la superficie de la planta expuesta al viento se le asigna, como primera aproximación, el mismo coeficiente original del muro del Caso Base, mientras que las superficies del lado de la cavidad se recalculan a partir de correlaciones para cavidades ventiladas (Manual de EnergyPlus, 2019). El efecto de sombreado de la planta se tiene en cuenta a través de la disminución de la radiación solar que incide sobre la pared. Para ello, SIMEDIF primero calcula la transmitancia de una hoja (modelo PROSPECT D, Féret et al., 2017) y luego la transmitancia de la planta completa, de acuerdo al número de capas de hojas (descrito con el Índice de Área Foliar) y a la distribución promedio de las hojas (horizontal, vertical, a 45° o esférica). El modelo completo de cálculo de transmitancia se encuentra descrito en Flores Larsen et al. (2018). Una vez calculada la transmitancia de la planta τ , SIMEDIF automáticamente modifica la absorptancia de la pared, multiplicándola por τ . De esta manera, la cantidad de radiación que es absorbida por el muro contempla el efecto de sombreado de la doble fachada vegetal.

El módulo de SIMEDIF requiere de los siguientes datos para las fachadas vegetales:

1. Pared en la que se monta la fachada (pueden ser varias paredes)
2. Alto y ancho de la fachada verde (el área cubierta no puede exceder el área de la pared)
3. Distancia entre el material vegetal y la pared y renovaciones horarias de aire de la cavidad.
4. LAI (Índice de Área Foliar, área de hoja respecto del área vertical).
5. Características biológicas de la planta (largo de la hoja, espesor, resistencia estomática, contenido de agua, pigmentos, etc.). Dado que muchas de estas características no son sencillas

de determinar, el software incluye dos bases de datos (Angers y Lopex'93) de diferentes tipos de plantas. Como ambas bases tienen distintos tipos de datos, luego de seleccionar la planta se deben chequear los valores que se cargan automáticamente, ya que puede ser necesario el ingreso de algunos datos adicionales en forma manual.

6. Temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad de viento promediadas durante las horas de mayor nivel de radiación solar (con estos valores el software calcula el porcentaje de evapotranspiración de la planta, que se considera constante durante las horas de sol).

En el caso de estudio, se utilizó un largo de hoja de 15cm, espesor 0.2 mm, resistencia estomática de 160 s/m., temperatura media del aire en las horas de sol de 30.3°C, humedad relativa media de 30% y velocidad de viento promedio de 5.4 m/s.

RESULTADOS

Caso Base

La Tabla 3 presenta los resultados simulados de temperatura media de cada zona térmica y sus correspondientes amplitudes térmicas, para cada una de las cuatro orientaciones de la Figura 2, para cada ciudad el día representativo.

Temperatura media diaria \pm Amplitud Térmica (°C) para la ciudad de Cafayate				
Zona térmica	Orientación Norte	Orientación Sur	Orientación Este	Orientación Oeste
Comedor	28.4 \pm 4.8	28.4 \pm 4.8	28.5 \pm 4.5	28.5 \pm 4.8
Dormitorio 3	29.8 \pm 2.6	29.8 \pm 2.6	30.2 \pm 2.7	29.9 \pm 2.5
Dormitorio 2	29.7 \pm 2.5	29.9 \pm 2.5	30.0 \pm 2.4	30.1 \pm 2.6
Dormitorio 1	29.8 \pm 2.4	29.9 \pm 2.4	30.2 \pm 2.4	30.5 \pm 2.7
Baño	29.3 \pm 1.7	29.2 \pm 3.3	28.9 \pm 1.5	29.0 \pm 1.5
Pasillo	28.7 \pm 2.3	28.6 \pm 2.3	28.8 \pm 1.5	28.8 \pm 2.4

Tabla 1: Temperaturas medias y amplitudes térmicas obtenidas de la simulación para el 29 de noviembre, para el Caso Base en sus cuatro orientaciones.

Se observan temperaturas medias altas en todos los casos, de entre 28.4°C y 30.5°C, con amplitudes térmicas diarias de entre 3°C y 10°C, consistentes con una vivienda sin aislación térmica. La orientación más desfavorable es la Oeste, que presenta las mayores temperaturas interiores, seguida por la orientación Este. Esto se debe a la mayor área de envolvente expuesta a la radiación solar proveniente de estas orientaciones (Figura 2). En todos los casos, los interiores sobrecalentarán significativamente con el consecuente discomfort térmico.

Caso Modificado

La Figura 3 muestra la disminución en la temperatura superficial de las paredes sombreadas por las plantas en los muros orientados hacia el Este y el Oeste, para las distintas orientaciones. Las viviendas con orientación norte y sur tienen un área de cubierta vegetal mayor a la de los dos casos restantes. Debido a esto se esperaría que dicha disminución sea más notoria en los locales vinculados a estas paredes. En el Caso Base-Orientación Norte, la temperatura superficial de los muros Este y Oeste alcanza los 48°C (alrededor de las 10AM) y 55°C (alrededor de las 16PM), respectivamente, mientras que cuando se somborean estos muros la temperatura disminuye entre 2°C y 6°C en la orientación Este, y entre 13°C y 16°C, dependiendo de la zona térmica. Estos valores son similares a los encontrados por otros autores, como Papadakis et al. (2001) que midieron diferencias de entre 9°C y 12°C para un muro de concreto de 20cm de espesor en Atenas, orientado al Sureste y pintado de amarillo claro, en días calurosos de verano (agosto). Por su parte, Wong et al. (2010) encontraron disminuciones de temperatura de la superficie externa de muros entre 1.1°C y 11.6°C, dependiendo del tipo de

vegetación. Otros estudios informaron reducciones de 5.5 °C (Pérez et al., 2011) y entre 1.9–8.3°C (Eumorfopoulou y Kontoleon, 2009).

Respecto a las mismas paredes, pero del caso base, las orientaciones norte y sur presentaron una disminución de 6.9°C en promedio durante el día para la pared Este (que conecta el dormitorio 3 con el exterior), siendo su mayor disminución entre las 8AM y las 11AM y, con un promedio de alrededor de 7.5°C para la pared oeste que conecta el comedor con el exterior. La disminución más notoria ocurrió durante las horas de la tarde, entre las 13PM y las 18PM para la vivienda orientada hacia el Norte. Para la vivienda orientada hacia el Sur, la disminución promedio fue de 8.1°C para la pared Este (que conecta el Comedor con el exterior), y de 6.8°C para la pared Oeste (que conecta el Dormitorio 3 con el exterior). La mayor disminución también ocurre durante el mismo intervalo horario que en el caso anterior. Los dos casos restantes no mostraron grandes variaciones, salvo para la pared que conecta el Dormitorio 2 con el exterior donde la disminución promedio es de 6.5°C para la vivienda orientada hacia el este y de 6.8°C para la orientación restante, siendo esta más notoria entre las 8AM y las 11AM para el primer caso y entre las 14PM y las 17PM para el segundo.

La Figura 4 muestra la disminución de la temperatura interior horaria de las zonas térmicas respecto del Caso Base, para las orientaciones Norte y Sur. Para la orientación Sur, se observa que la mayor disminución de temperatura se obtuvo en el Dormitorio 3, con 1.4°C en el periodo comprendido entre las 19PM y las 21PM. Para la orientación Norte, también el Dormitorio 3 presenta las mayores disminuciones, ligeramente más bajas que en el caso anterior, con valores de 1.1°C en el periodo entre las 15PM y las 16PM, en horas en las que la temperatura exterior llega a su máximo. El local con menor impacto de la fachada verde es, para ambas orientaciones, el Dormitorio 2, en donde las disminuciones son menores a 0.5°C. Los espacios restantes (Comedor y Dormitorio 1) presentan disminuciones máximas que oscilan entre 0.8°C y 1.0°C, principalmente en horas de la tarde.

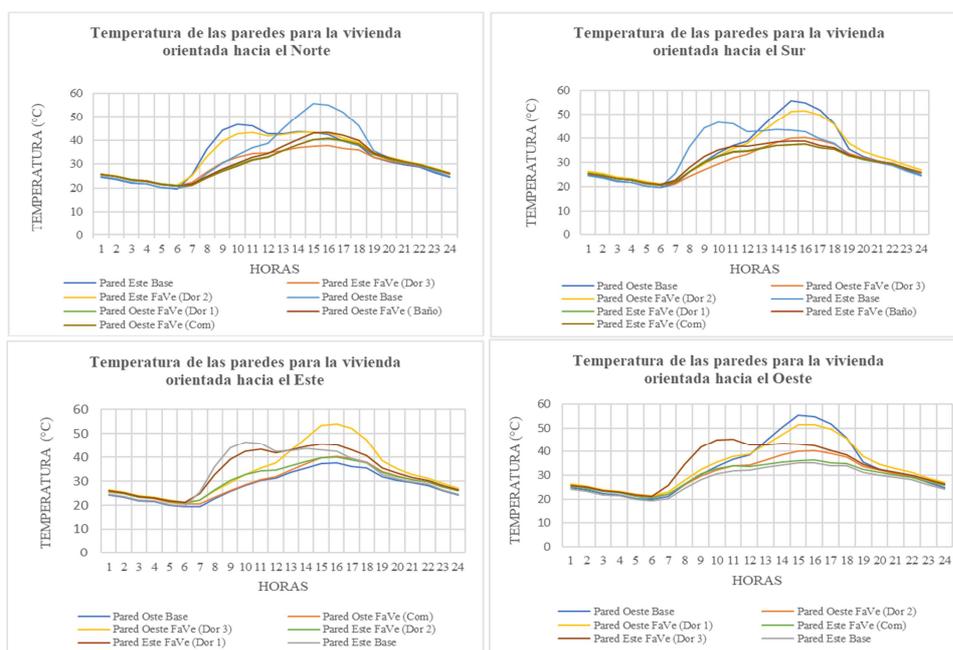


Figura 3: Temperatura superficial de las paredes exterior Este y Oeste, en el Caso Base y con la doble fachada verde, para las distintas zonas térmicas y orientaciones de las viviendas (Dor=Dormitorio, Com=Comedor, Base=Caso Base, FaVe=Caso con Fachada Vegetal).

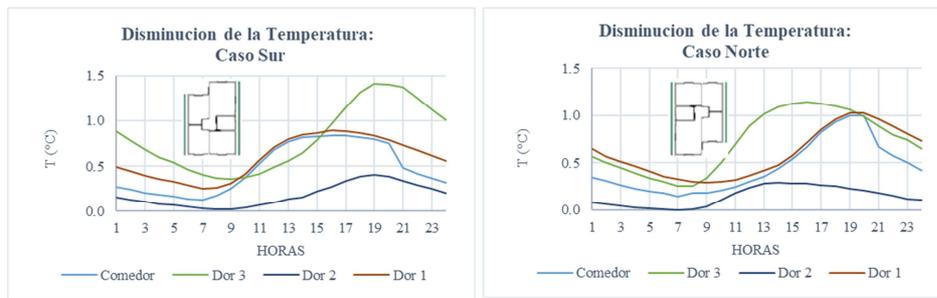


Figura 4: Disminución de las temperaturas en el interior de los espacios cuyas superficies externas están cubiertas por la doble fachada verde.

CONCLUSIONES

La utilización de dobles fachadas verdes para el sombreado de fachadas asoleadas permite disminuir la temperatura superficial de los muros y, en consecuencia, el ingreso de energía térmica hacia el interior. Este efecto será más evidente en aquellos muros que no contengan aislación térmica, como el caso de la vivienda social analizada en el presente trabajo. En un día extremo de verano, los muros orientados al Oeste disminuyeron su temperatura máxima de 55°C a 35-42°C, dependiendo del espacio. Esto significa una disminución de la temperatura superficial de entre 13°C y 20°C alrededor de las 16PM. Una disminución similar se observa en muros con orientación Este, en los que las mayores disminuciones ocurren alrededor de las 10AM. Por otra parte, en los ambientes interiores se obtuvo una disminución de temperatura del aire de entre 0.3°C y 1.5°C, dependiendo del espacio y de la orientación de la vivienda.

Finalmente, debe destacarse que, si bien en este trabajo se analizó la influencia de la vegetación sobre la temperatura de la vivienda, existen beneficios adicionales y muy importantes derivados del enverdecimiento de la fachada, como la mejora del confort térmico exterior debido a la disminución de la temperatura media radiante (por disminución de la temperatura superficial del muro), o los beneficios estéticos, psicológicos y biológicos a nivel urbano.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por PICT ANPCYT 2014-2605 y por la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa-A N°2489).

REFERENCIAS

- Alchapar N.L., Erica N. Correa, M. Alicia Cantón, 2014. Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones. *Energy and Buildings* 69, pp. 22-32, 2014.
- Bre F., Fachinotti V. “Generación del año meteorológico típico para la ciudad de Santa Fe en la región litoral argentina”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 18, pp.11.01-11.08, 2014.
- Eumorfopoulou, E.A., Kontoleon, K.J., 2009. “Experimental approach to the contribution of plant covered walls to the thermal behaviour of building envelopes”. *Building and Environment* 44, 1024–1038.
- Feret J. B., Gitelson A. A., Noble S. D., Jacquemoud S., 2017. PROSPECT-D: Towards modeling leaf optical properties through a complete lifecycle, *Remote Sensing of Environment*, pp. 204-215. Ed. Elsevier.
- Flores Larsen S., Filippín C., Lesino G. “Modeling double skin green façades with traditional thermal simulation software”. *Solar Energy* 121, pp. 56-67, Ed. Elsevier, Noviembre 2015.
- Flores Larsen S., Castro N., Filippín C., López C. “Modeling the spectral solar transmittance of double green facades for energy simulation”. *International Conference on Energy Engineering and Smart*

- Grids (ESG 2018). Fitzwilliam College, University of Cambridge, Inglaterra, 25 al 26 de Junio de 2018. ISBN: 978-1-912532-04-9.
- Kontoleon K.J, Eumorfopoulou E.A., 2010. The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. *Building and Environment* (45), 1287–1303.
- Manual de Energy Plus, 2019 Disponible en www.energyplus.net
- Oropeza-Pérez I., Østergaard P.A., 2018. Active and passive cooling methods for dwellings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 82, Part 1, February 2018, Pages 531-544.
- 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.
- Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J., Cabeza, L., 2011. Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Appl. Energy* 88, 4854–4859.
- Santamouris M, Cooling the cities –A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments, *Sol. Energy*. 103 (2014) 682–703.
- Scarpa M., Mazzali U., Peron F., 2014. Modeling the energy performance of living walls: Validation against field measurements in temperate climate. *Energy and Buildings* (79), 155–163.
- SIMEDIF, 2019. V2.0. Laboratorio de Edificios Bioclimáticos. INENCO. Universidad Nacional de Salta-CONICET. <http://170.210.201.130/index.php/es/software/simedif-2-0-calculo-termico-de-edificios/>
- Stec W.J., van Paassen A.H.C., Maziarz A., 2005. Modeling the double skin façade with plants. *Energy and Buildings* (37), 419–427.
- Susorova I., Angulo M., Bahrami P., Stephens B., 2013. A model of vegetated exterior façades for evaluation of wall thermal performance. *Buildings and Environment* (67), 1-13.
- Wong, N.H., Kwang Tan, A.Y., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P.Y., Chan, D., et al., 2010. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Build. Environ.* 45, 663–672.

ANALYSIS OF THE ENERGY EFFICIENCY OF A DOUBLE GREEN FAÇADE FOR THE CLIMATE OF SALTA CITY

ABSTRACT: One of the effective ways to reduce summer energy consumption in buildings is the integration of vegetation in the building envelope, in particular, the double green facades. The reason is that, in summer, plants are more energy efficient than traditional shading elements because of their lower surface temperature, that is, the leaves regulate their temperatures through evapotranspiration. The thermal modelling of a double green facade must include these biological aspects that affect the energy balance of the leaves, and it is not usually included in the available thermal simulation software. SIMEDIF software in its recent version 2.0 includes this model. Within this framework, the objective of this work is to study the efficiency of a double green facade applied to a social housing of the IPV located in the city of Salta, which is simulated for four possible orientations. The decrease of the interior temperature and that of the surface wall’ temperatures are analyzed through transient thermal simulation. The results show that, on hot summer days in Salta city, it would be possible to obtain decreases ranging between 13 and 20°C in the surface temperature of East and West walls and between 0.3°C and 1.5°C in the indoor environments.

Keywords: double green façade, thermal simulation, urban greening