

DESEMPEÑO ENERGÉTICO DE UNA VIVIENDA EN MENDOZA MEDIANTE REHABILITACIÓN CON ENVOLVENTE VENTILADA

Julieta Balter¹, Carolina Ganem^{1,2}, María Victoria Mercado^{1,3}

¹Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Mendoza, Argentina

²Facultad de Arte y Diseño. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina

³Carrera de Arquitectura, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina
Tel. 0261 524-4309 – E-mail: jbalter@mendoza-conicet.gob.ar

Recibido 20/08/2022; Aceptado 15/10/2022

RESUMEN.- Las envolventes ventiladas representan un gran potencial de aplicación para rehabilitación energética edilicia debido a las reducciones que implican en los consumos de energía para climatización en zonas de alta radiación solar. El sistema puede ser implementado tanto en el plano vertical (fachada) como horizontal (cubierta). El abordaje metodológico del trabajo parte del monitoreo higro-térmico *in situ* de una vivienda inserta en un barrio de baja densidad de Mendoza, y de la validación de modelos dinámicos con el software *EnergyPlus*. Se simula el comportamiento termo-energético interior de la vivienda utilizando un objeto de construcciones avanzadas. Los resultados muestran ahorros para climatización del 67% en verano y 69% en invierno, con lo cual se demuestra la potencialidad del sistema para el contexto en estudio.

Palabras clave: Fachada ventilada. *EnergyPlus*. Consumos para climatización.

HOUSING ENERGY PERFORMANCE IN MENDOZA BY MEANS OF VENTILATED ENVELOPE RETROFIT

ABSTRACT.- Ventilated envelopes have a great potential for building energy rehabilitation in regions with high solar radiation, both in facades and roofs. The methodological approach starts with *in situ* hygro-thermal monitoring of a house with a solid brick envelope commonly used in the city of Mendoza -characterised by an arid continental climate-, in order to validate its dynamic model in *EnergyPlus* (E+). After that, the interior thermo-energetic behaviour of the house is simulated by incorporating a ventilated envelope as a building energy rehabilitation strategy. To achieve this, the “advanced buildings” module of E+ is used. Results show savings for air conditioning of 67% in summer and 69% in winter, demonstrating the potential of the system for the context under study.

Keywords: Ventilated facade. *EnergyPlus*. Air conditioning consumptions.

1. INTRODUCCIÓN

Frente a la actual crisis energética mundial, en donde el sector edilicio resulta uno de los más ineficientes en cuanto al incremento en sus consumos, la rehabilitación de la envolvente se configura como una estrategia potencial en función de disminuir las demandas energéticas en el ámbito construido. En este marco, los sistemas de envolventes ventiladas resultan una alternativa de aplicación muy difundida, debido a las mejoras en el comportamiento térmico de los espacios y las consecuentes reducciones que implican en los consumos de energía para climatización. El sistema se conforma a partir de un doble cerramiento, compuesto por una capa interior (de construcción tradicional o liviana), más un material de aislación térmica por el lado exterior del muro; y una capa exterior – placas generalmente de juntas abiertas-, que funciona como filtro o protección al microclima del lugar. Entre las dos capas se encuentra una cámara naturalmente ventilada (por efecto chimenea) que reduce los flujos de calor transmitidos al interior de los espacios.

Según los antecedentes, uno de los principales factores que influyen en su correcto desempeño es la incidencia de radiación solar (Patanía et al., 2010; Stazi et al., 2011; Suarez y Molina, 2015; Autores, 2019), lo cual produce una variación de la densidad del aire interior de la cámara respecto al exterior, con el consiguiente movimiento del aire por convección natural. Durante el verano, la hoja exterior bloquea la radiación solar, disminuyendo la temperatura superficial de la hoja interior; mientras que en invierno, el movimiento del aire en la cámara permite la evacuación del vapor de agua, disminuyendo la posibilidad de condensaciones intersticiales (San Juan et al., 2011). La figura 1 muestra un ejemplo del detalle constructivo de envolventes ventiladas, tanto para fachadas como para cubiertas.

Se identifican trabajos que realizan aportes significativos respecto al desempeño de envolventes ventiladas, en verano e invierno. En cuanto a las fachadas, en la estación estival, un estudio realizado en Italia mediante mediciones *in situ* y simulación con el software ESP-r, muestra reducciones del orden del 58% de la carga térmi-

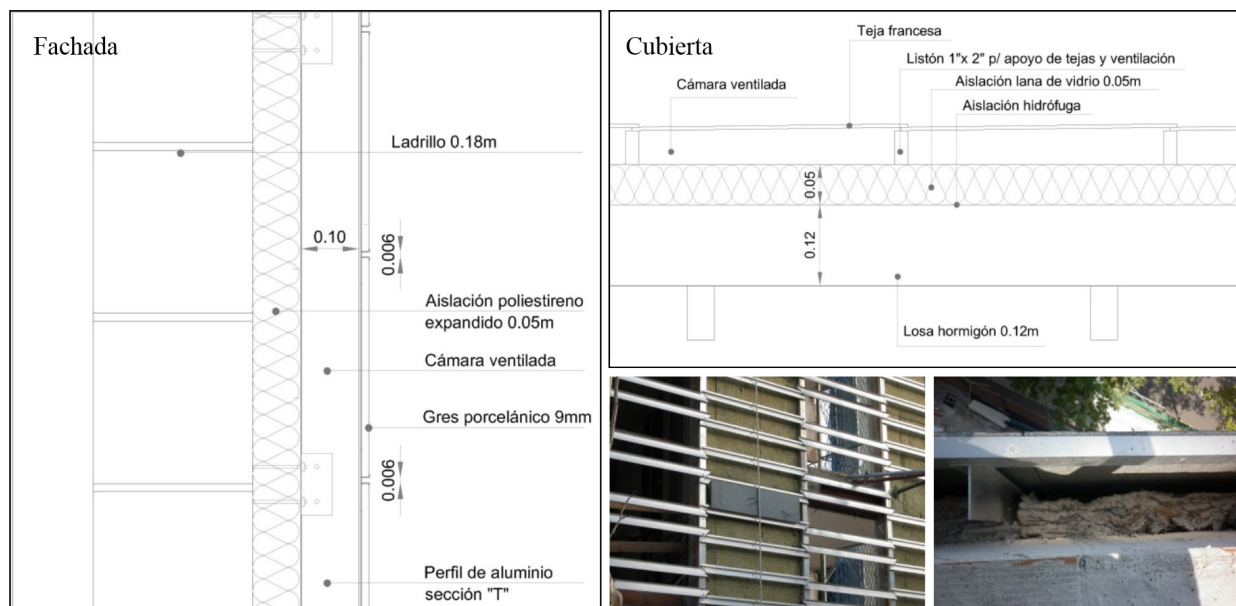


Fig. 1: Detalle constructivo de ejemplos de envolventes ventiladas para fachada y cubierta e imágenes del sistema de fachada ventilada en construcción

ca obtenida al usar una fachada ventilada en comparación a una sin ventilación (Fantucci et al., 2011). Por otro lado, el análisis termo-fluido dinámico de una fachada ventilada mediante la utilización del software *Fluent*, muestra ahorros del orden del 40% cuando incrementa la radiación solar en la fachada (Patania et al., 2010). En relación al invierno, los resultados del desempeño higro-térmico interior en un módulo experimental construido con materiales reciclados en un clima mediterráneo típico de Italia, demuestran que el efecto predominante es el del aislamiento, mientras que la ventilación no aumenta las pérdidas de calor (De Masi et al., 2021). Otro estudio experimental realizado en un clima frío continental de China, obtuvo reducciones en el uso de energía del 6,5% en comparación con una fachada monolítica tradicional (Zhenghao et al., 2022).

Respecto a las cubiertas, el análisis mediante simulación dinámica de fluidos (CFD) del comportamiento térmico de techos ventilados obtuvo reducciones de los flujos de calor en verano del orden del 50% (Gagliano et al., 2012). La misma metodología (CFD) ha sido utilizada para el estudio de la influencia de diferentes parámetros -espesor de la cámara de aire, pendiente de la cubierta, dimensiones de la salida de aire y coeficiente de absorción de la superficie externa- con resultados que muestran la importante influencia del espesor de la cámara en los retardos de temperatura del ambiente interior, recomendando un espesor de 100mm (Li et al., 2016).

No obstante, resulta difícil la comparación entre resultados debido a la diversidad metodológica de los trabajos. Asimismo, resulta llamativa la falta de estudios que simulen el desempeño de envolventes opacas ventiladas con el modelo de *EnergyPlus*. Dicho software es uno de los más accesibles, completos, fiables, y por ello utilizados, en la simulación dinámica edilicia. El software cuenta con un modelo de simulación para envolventes opacas con cavidades con ventilación natural, el cual se sugiere como un marco matemático apropiado para la investigación posterior en función de obtener datos de entrada a partir de mediciones empíricas (Griffith, 2006).

En cuanto al contexto de estudio del presente trabajo, el mismo se emplaza en el Área Metropolitana de Mendoza, Argentina, perteneciente a una zona de clima árido, templado continental, con

considerables diferenciaciones en las temperaturas estacionarias y diarias (entre 10 y 20°C). La ciudad cuenta con cielos despejados durante el 76% del año, con una radiación solar global media en diciembre sobre superficie horizontal de 25,4 MJ/m² por día (verano) y de 9,10 MJ/m² por día en junio (invierno). Esta condición representa una oportunidad para el acondicionamiento pasivo de los espacios, y en este sentido los sistemas de envolvente opaca con ventilación natural, son una alternativa viable de ser incorporada debido a su buen desempeño en zonas de alta radiación.

Respecto a la materialidad constructiva del sector residencial de Mendoza, el sistema de cerramiento vertical predominante es el ladrillo macizo; mientras que en las cubiertas el sistema más utilizado es la losa de hormigón con viguetas pretensadas y losetas cerámicas huecas; o las cubiertas de madera y tejas cerámicas. Por lo general, las soluciones habitacionales del tipo social, construidas en serie, no suelen incorporar materiales aislantes ni en muros ni en cubiertas. De incorporarlos, lo hacen sólo en la cubierta y su espesor resulta insuficiente. En cuanto al uso a nivel nacional y local del sistema de envolvente ventilada en estudio, su incorporación es incipiente y, en Mendoza, está orientado a grandes edificios corporativos que buscan una imagen determinada. En este contexto, resulta importante analizar la factibilidad de adoptar la tecnología de cerramientos ventilados como una opción de envolvente a implementar en las diferentes escalas socio-urbanas, las cuales muchas veces carecen de alternativas tendientes a la eficiencia energética.

De acuerdo a lo expuesto, el presente trabajo presenta el análisis del desempeño energético resultante de la rehabilitación de una vivienda mediante envolventes ventiladas, en un caso de estudio inserto en un área de baja densidad y de alta disponibilidad solar en Mendoza. El objetivo se enfoca en valorar el rendimiento del sistema de envolvente ventilada mediante el modelo de cavidades ventiladas opacas de *EnergyPlus*. De este modo, será posible validar su funcionamiento y las potenciales mejoras en distintas configuraciones urbanas, según la orientación de fachada expuesta.

2. METODOLOGÍA

El abordaje del estudio consta de tres etapas: 1) monitoreo *in situ* de las condiciones higro-térmicas en un caso de estudio

representativo en cuanto a la resolución material de viviendas de Mendoza, ubicada en un barrio de baja densidad, de alta disponibilidad solar; 2) generación de un modelo dinámico en *EnergyPlus* (E+) y validación del modelo con las mediciones *in situ*; 3) simulación del rendimiento energético mediante la incorporación de sistemas ventilados aplicados en fachadas y cubiertas, utilizando el módulo de “Construcciones avanzadas” de *EnergyPlus*.

2.1. Monitoreo de una vivienda representativa: características del área en estudio

El área seleccionada corresponde a un conjunto residencial de baja densidad edilicia ubicado en el departamento de Las Heras, dentro del Área Metropolitana de Mendoza. Se trata del Barrio Cementista, el cual es un caso representativo en la provincia de tipología residencial del tipo social debido a que fue creado -entre 1970 y 1990- por los propietarios de dos fábricas de la industria cementera local, con el fin de proveer viviendas cercanas a los trabajadores de las plantas productoras (Moretti, 2014).

La vivienda caso de estudio (figura 2) se encuentra ubicada entre medianeras, en un canal vial con orientación Norte-Sur, por lo que la construcción orienta sus fachadas expuestas al Este y al Oeste. Tiene una superficie cubierta de 123 m² y semi-cubierta de 47 m² en un lote de 308 m². En cuanto a su materialidad, cuenta con un 86 % de materiales opacos en su envolvente vertical expuesta, compuesta de ladrillos sin aislación, con revoque ($U = 2$ W/m² K). Cuenta con dos tipos de cubiertas: una de losa de hormigón armado de 0.12m cubiertos con teja francesa, y cielorraso de madera tipo machihembrado ($U = 0.60$ W/m² K), y otro de losa horizontal alivianada con viguetas pretensadas, bloques de EPS y armadura de repartición. Los pisos son de cerámica y las aberturas de madera, con vidrios simples de 3mm. Como elementos de protección solar, el caso de estudio no presenta dispositivos de control, excepto por el uso de cortinas interiores.

Se realizaron auditorías *in situ* en un período de verano, comprendido entre el 21 de diciembre al 11 de enero. Se utilizaron micro-adquisidores de datos HOBO U12 de temperatura y humedad relativa y se fijaron intervalos de registro cada 15 minutos sincrónicos en todos los instrumentos. Los sensores fueron instalados en diferentes ambientes: tres en el interior (estar, estudio y habi-

tación 1) y uno en el exterior protegido de la radiación solar. Los mismos se ubicaron a una altura media de 2 metros, siguiendo las recomendaciones y a una distancia suficiente de la masa de las paredes a los efectos de evitar distorsiones en los datos (Oke, 2004).

2.2. Validación del modelo de simulación dinámica en EnergyPlus

Las mediciones efectuadas en la vivienda fueron utilizadas para validar el modelo de simulación dinámica mediante el programa *EnergyPlus*, versión 8.8. En la Tabla 1 se muestra la descripción de la materialidad opaca ingresada.

La vivienda se modeló mediante seis zonas térmicas correspondientes a cada espacio interior. La validación se realizó en el estar principal, debido a que es un espacio en el que no se utilizaron medios mecánicos de climatización durante el período de medición. Esta situación se observó en los comportamientos térmicos auditados y se corroboró en la entrevista realizada a los usuarios. Respecto a las renovaciones de aire, se adoptó el valor de 1 para este local. La simulación se programó 10 días antes de la fecha seleccionada dado que resulta importante que el modelo físico entre en régimen con anticipación. En la figura 3 se presentan las curvas del ajuste realizado en el estar, para el período del 26 al 30 de diciembre, con un R² de 0.93. Se observa que las diferencias en las mínimas del orden de 1°C de los días 27, 28 y 30 se deben a la apertura de ventanas en el caso en uso, situación que no se consideró en la simulación a los fines de aislar la variabilidad de estas situaciones.

2.3. Simulación termo-energética mediante la incorporación de Envolvente Ventilada (EV)

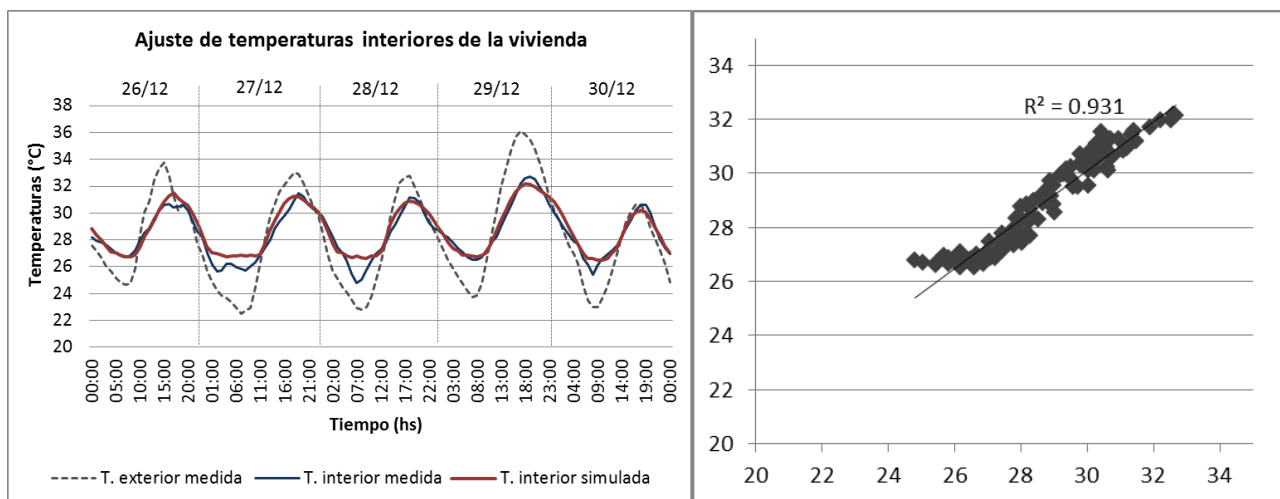
Para la incorporación de envolventes ventiladas se trabajó con el módulo de “Construcciones avanzadas” de *EnergyPlus*. Se utilizó el objeto de “Cavidad exterior naturalmente ventilada” (Exterior Natural Vented Cavity) el cual permite modelar las condiciones de transferencia de calor de una superficie exterior opaca. El manual de ingeniería de *EnergyPlus* explica que la cavidad exterior actúa como una pantalla a la radiación y convección, situada entre el ambiente exterior y la cara exterior de la capa de envolvente interior. El simulador denomina a esta superficie exterior como “deflector” (*baffle*). El objeto se usa entonces para describir las condiciones del deflector, así como las características de la cavidad



Fig. 2: Imágenes del caso de estudio: ubicación de la vivienda monitoreada en el Barrio Cementista; planta de la vivienda y fachada principal

Tabla 1: Características termo-físicas de materiales opacos ingresados en el modelo dinámico

Capas	Espesor [m]	Conductividad [W/m °C]	Densidad [Kg/m ³]	Calor específico [J/Kg °C]
MUROS				
Revoque exterior	0.025	0.92	1950	1200
Ladrillo macizo	0.18	0.81	1800	835
Revoque interior	0.025	0.92	1950	1200
PISOS				
Tierra	1	0.87	2000	840
Mortero de cemento	0.1	1.63	2400	800
Piso cerámica	0.005	0.7	1800	920
TECHO 1				
Tejas francesas	0.005	0.76	1800	1000
Aislación lana de vidrio	0.05	0.037	50	830
Losa alivianada	0.12	1.11	800	920
Madera (tipo machihembrado de madera)	0.001	0.34	1200	2500
TECHO 2				
Mortero cemento	0.1	1.63	2400	800
Losa alivianada	0.12	1.11	800	920
Yeso	0.025	0.48	741.3	836.3

Fig. 3: Validación del modelo de simulación dinámica con EnergyPlus: ajuste de la curva de temperatura interior del estar y coeficiente de determinación. $R^2 = 0.93$.

y las aberturas para la ventilación natural. El modelo asume que la capacidad de calor en el deflector exterior puede despreciarse ya que es mucho menor que la superficie de la masa subyacente. Se supone que el deflector cubre completamente la superficie exterior de la capa interior, resultando opaca a la radiación de onda corta y de onda larga. Esta suposición significa que aunque el deflector tendrá un área abierta para ventilación, no pasa energía solar a través de estas aberturas.

Para vincular esta "Cavidad exterior ventilada" se utiliza el objeto "Superficie de construcción detallada" (*Building Surface: Detailed*) donde se modifica la condición de borde expuesto de la envolvente mediante el modelo de "Otras condiciones laterales" (*Other Side Conditions Model*), en donde se configuró la opción de "Espacio de convección por radiación" (*Gap Convection Radiation*), la cual proporciona las condiciones de contorno para la convección y la radiación térmica de la cámara ventilada modelada por separado a la superficie de la envolvente.

El módulo en estudio se aplicó sólo en la envolvente expuesta de la vivienda; es decir, en los muros exteriores (103.2 m²) y en los techos (122.80 m²). Se solicitaron como variables de salida la temperatura del aire y los consumos energéticos para climatización, con termostatos de 24 °C y 18 °C, para los períodos de enero (verano) y julio (invierno) respectivamente. Se realizaron dos modelos de simulación en función de diferenciar las situaciones estacionarias, incorporando sólo para verano el módulo de cálculo de ventilación natural "Red de flujo de aire" (*Air Flow Network*).

Con el objetivo de analizar el impacto en el desempeño térmico interior de cada uno de los nueve campos del módulo "Cavidad exterior naturalmente ventilada" se corrieron 18 simulaciones en verano, considerando los valores máximos y mínimos admisibles de acuerdo a las características geométricas, termo-físicas y dimensionales correspondientes a cada elemento (fachada y cubierta).

3. RESULTADOS

3.1. Análisis del módulo de Envolvente Ventilada de EnergyPlus en el desempeño térmico interior de los espacios

La Tabla 2 muestra los campos evaluados con los valores fijos considerados para el caso de estudio. Los valores móviles corresponden al rango admisible considerado a partir de lo indicado en el manual de ingeniería de EnergyPlus, y según las características dimensionales estándar del sistema de envolvente en estudio. Las diferencias térmicas medias corresponden a las diferencias de temperatura interior en el estar, resultantes entre el valor mínimo y máximo de los valores móviles.

Los resultados de las simulaciones mostraron que sólo dos campos presentan impactos considerables –del orden de 2°C– en el comportamiento térmico interior de los espacios: la variación de los valores de emisividad térmica (ϵ) de la placa exterior mostró diferencias térmicas medias de 1.75°C; mientras que la variación de la absorptividad solar (α) de la placa exterior mostró diferencias medias de 2.05°C. En el resto de los campos, las variaciones dadas, entre 0.001°C y 0.01°C, no resultaron significativas.

3.2. Desempeño energético interior del caso de estudio mediante la incorporación de envolventes ventiladas (EV)

La figura 4 muestra los consumos resultantes con los valores fijos determinados en la Tabla 2: fachada de placa tipo cementicia color blanco ($\alpha=0.2$, $\epsilon=0.9$), cubiertas de tejas rojas ($\alpha=0.65$, $\epsilon=0.9$). Con el fin de poder comparar el impacto de la ventilación de la cámara de aire en el desempeño interior, se analizan los resultados de una Envolvente Ventilada con aislación, versus una la

aplicación de aislación por el lado exterior de la envolvente de modo tradicional. Se evalúan tres escenarios:

A. CASO BASE (sin EV)

B. CASO BASE + AISLACIÓN (poliestireno expandido de 5 cm)

C. EV + AISLACIÓN (poliestireno expandido de 5 cm)

Los resultados de la simulación energética para toda la vivienda mostraron que los requerimientos para climatización en el escenario B, se reducen en un 49.3 % en verano y un 47.3 % en invierno; mientras que el escenario C muestra reducciones del orden del 64.4 % en verano y 71.2 % en invierno.

Asimismo, dada la influencia de las propiedades opto-térmicas de la placa exterior en el desempeño energético de la vivienda, se corrieron cinco simulaciones por estación, considerando diferentes colores para la superficie exterior, unificando los valores para fachadas y cubiertas (Tabla 3). Los resultados muestran cómo, a medida que aumenta la absorptividad (α) –con termostato a 24°C–, los requerimientos para enfriamiento aumentan en un 68%; mientras que para calefacción –con termostato a 18°C–, disminuyen en el orden del 51% (figura 5).

Sin embargo, se puede observar en la Tabla 3 que la sumatoria de los consumos de verano e invierno es menor con una placa exterior blanca, con la cual se ahorra un 18% respecto a un revestimiento color negro. Las reducciones en los requerimientos energéticos de la vivienda con placa exterior blanca respecto al caso base resultan del 84% en verano y del 64% en invierno; mientras que con placa exterior oscura (color negro) dichas reducciones resultan del 49% en verano y del 76% en invierno.

Tabla 2: Campos del objeto de envolventes opacas ventiladas de EnergyPlus

	Unidad	Valores fijos		Valores móviles		Diferencias térmicas medias [°C]
		Fachada	Cubierta	Min	Máx	
Fracción de área de aberturas	-	1	1	0.01	1	0.06
Emisividad térmica de la placa exterior	-	0.9	0.9	0.05	1	1.75
Absortividad solar de la placa exterior	-	0.2	0.65	0.05	1	2.05
Altura para ventilación	m	2.7	0.2	0.1	3	0.003
Ancho efectivo de la cavidad detrás del deflector exterior	m	0.1	0.1	0.1	1	0.001
Relación entre el área de superficie real y de superficie proyectada	-	1	1.165	0.8	2	0.005
Rugosidad de la superficie exterior	-	Suave	Rugoso	Muy suave	Muy rugoso	0.01
Eficacia de las perforaciones respecto al viento	-	0.05	0.05	0.01	1.5	0.05
Coefficiente de descarga para aberturas respecto al flujo por flotabilidad	-	0.1	0.1	0.01	1.5	0.05

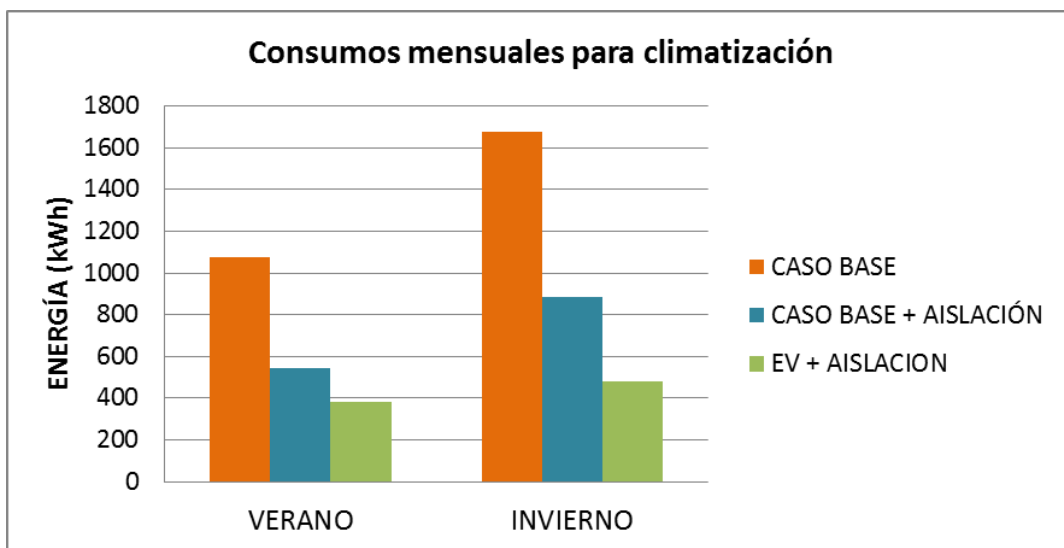


Fig. 4: Energía requerida para climatización para el caso de estudio

Tabla 3: Valores de Absortividad solar (α) y Emisividad térmica de la placa exterior

Color placa exterior	Propiedades opto-térmicas		Consumos (kWh)			Reducciones respecto al caso base (%)	
	α	ϵ	Verano	Invierno	Total	Verano	Invierno
Blanco	0.2	0.9	175.85	606.11	781.96	83.67	63.80
Beige	0.4	0.9	243.88	559.04	802.92	77.36	66.61
Marrón	0.5	0.92	317.52	516.07	833.59	70.52	69.18
Gris	0.7	0.87	397.16	470.19	867.36	63.12	71.92
Negro	0.95	0.88	548.82	401.01	949.83	49.04	76.05

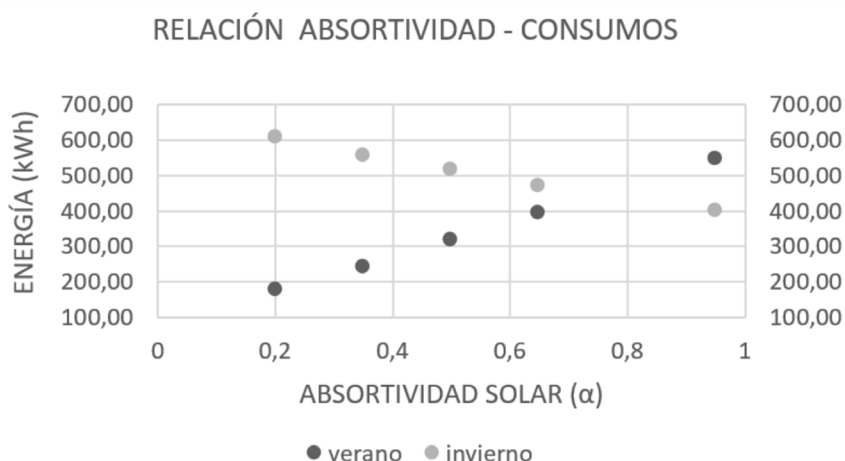


Fig. 5: Relación de la absortividad solar (α) de la placa exterior y los consumos energéticos (kWh) para climatización en el estar

4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS A FUTURO

Los resultados para la vivienda caso de estudio, inserta en un área de baja densidad y alta disponibilidad solar, muestran que la incorporación del sistema de envolvente ventilada (aislación más placas tipo cementicias color blanco en fachadas y tejas en cubiertas) implica ahorros para climatización del 64.4 % en

verano y 71.2 % en invierno, quedando demostrada la potencialidad del sistema para el contexto en estudio. Asimismo, la aplicación de aislación térmica en la envolvente por el lado exterior del cerramiento de modo tradicional (es decir, sin cámara de aire y placa exterior), indica reducciones contundentes, del 49% en verano y 47% en invierno. Esto indicaría que los ahorros obtenidos de la incorporación del sistema de EV se deben prin-

principalmente al efecto de la aislación térmica en la envolvente. No obstante, tanto la ventilación de la cámara como la protección de la placa exterior en las pérdidas o ganancias de calor, también tiene incidencia en los ahorros de energía requerida para climatización.

Respecto al módulo de cavidades opacas ventiladas de *EnergyPlus*, si bien el modelo no considera la capacidad de calor de la placa exterior, los resultados mostraron que los mayores impactos en el comportamiento termo-energético interior tienen que ver con sus características opto-térmicas, como son la absorptividad solar y la emisividad térmica. De todas maneras, se advierte que tanto la resistencia térmica de la placa exterior, así como su masa térmica, podrían tener consecuencias en el desempeño del sistema, dado que dependiendo de las propiedades termo-físicas del material de la placa, la temperatura en el interior de la cámara puede aumentar considerablemente respecto al aire exterior, produciendo un sobrecalentamiento en verano de los espacios interiores.

Dada la gran potencialidad de los resultados del sistema de envolvente ventilada evaluado, se plantean a futuro investigaciones relacionadas a validar experimentalmente el módulo en estudio –de *EnergyPlus*–, para el contexto climático de Mendoza. Si bien en dicho contexto no se localizan viviendas que cuenten con el sistema de fachadas o cubiertas ventiladas, se prevé realizar mediciones de campo en prototipos experimentales en función de caracterizar los valores de entrada apropiados para las áreas de apertura de ventilación y los coeficientes de descarga para varios tipos de sistemas.

Con estos resultados será posible la validación de los modelos desarrollados con el software dinámico, que permitirán valorar las potenciales mejoras edilicias en distintas configuraciones urbanas, según la disposición de viviendas y la orientación de fachadas expuestas.

REFERENCIAS

De Masi, R.; Ruggiero, S.; Vanoli, G. (2021). Hygro-thermal performance of an opaque ventilated façade with recycled materials during wintertime. *Energy and Buildings*, 245 (15), 110994. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110994>

- Fantucci, S.; Marisconi, C.; Serra, V.; Carbonare, C. (2017). Thermal performance assessment of an opaque ventilated facade in the summer period: calibration of a simulation model through infield measurements. *Energy Procedia*, 111, 619-628. DOI: [10.1016/j.egypro.2017.03.224](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.224)
- Gagliano, A.; Patania, F.; Nocera, F.; Ferlito, A.; Galesi, A. (2012). Thermal performance of ventilated roofs during summer period. *Energy and Buildings*, 49, 611618.. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.007>
- Griffith, B. (2006). A Model for Naturally Ventilated Cavities on the Exteriors of Opaque Building Thermal Envelopes. In: *SIMBUILD 2006 CONFERENCE. Proceedings National Renewable Energy Laboratory*. Cambridge, Massachusetts.
- Li, D.; Zheng, Y.; Liu, C.; Qi, H.; Liu, X. (2016). Numerical analysis on thermal performance of naturally ventilated roofs with different influencing parameters. *Sustainable Cities and Society*, 22, 8693. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.02.004>
- Moretti, G. (2014). Cemento, petróleo y paternalismo industrial en Mendoza (1930-1994). *Revista Labor & Engenho*, 8 (4), 17-34. DOI: [10.20396/lobore.v8i4.195](https://doi.org/10.20396/lobore.v8i4.195)
- Oke, T.R. *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. Instruments and Observing Methods*. Report n. 81. Vancouver, Canada: World Meteorological Organization. 2004.
- Patania, F.; Gagliano, A.; Nocera, F.; Ferlito, A.; Galesi, A. (2010). Thermofluid-dynamic analysis of ventilated facades. *Energy and Buildings*, 42, 1148-1155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.02.006>
- Stazi, F., Tomassoni, F., Veglio, A., Di Perna, C. (2011). Experimental evaluation of ventilated walls with an external clay cladding. *Renewable Energy*, 36, 3373-3385. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.05.016>
- Suárez, C.; Molina, J.L. (2015). Análisis del efecto chimenea en fachadas ventiladas opacas mediante correlaciones del flujo másico inducido. Aplicación para el dimensionado de anchos de cámara. *Informes de la Construcción*, 67, 1-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.155>
- Zhenghao, L.; Yehao, S.; Yingnan, C. (2022). An experimental study of the summer and winter thermal performance of an opaque ventilated façade in cold zone of China. *Building and Environment*, 218 (15), 109108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109108>