



Desempeño termo-energético de viviendas en altura en Mendoza: incidencia de la masa térmica en la envolvente vertical opaca.

Thermo-energetic performance of residential high-rise buildings in Mendoza: incidence of the opaque vertical envelope thermal mass.

Julieta Balter

Filiación: Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) CCT Mendoza. CONICET.

Facultad de Ingeniería- Carrera de arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina

Dirección: Av. Ruiz Leal s/n. Parque General San Martín (5.500)

Correo: jbalter@mendoza-conicet.gob.ar

María Victoria Mercado

Filiación: Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) CCT Mendoza. CONICET.

Facultad de Ingeniería- Carrera de arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina

Dirección: Av. Ruiz Leal s/n. Parque General San Martín (5.500)

Correo: mvmercado@mendoza-conicet.gob.ar

Carolina Ganem

Filiación: Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) CCT Mendoza. CONICET.

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

Dirección: Av. Ruiz Leal s/n. Parque General San Martín (5.500)

Correo: cganem@mendoza-conicet.gob.ar

Código del manuscrito: 10_004

Fecha de aceptación: 04/10/2019

Resumen

En regiones de clima templado con grandes amplitudes térmicas diarias, la inercia térmica de la envolvente se supone crucial en el logro del confort térmico interior y en la disminución de los consumos energéticos para climatización. El objetivo del presente trabajo se enfoca en evaluar el desempeño termo-energético de unidades de vivienda con distintas soluciones de envolvente vertical en relación a su componente másico, para el contexto micro-climático de la ciudad de Mendoza. La metodología de trabajo consta de la validación de un modelo de simulación dinámica (Energy Plus V.8.4) a partir de mediciones *in situ* de un edificio de estudio y del ensayo de diferentes configuraciones de la materialidad de la envolvente vertical. Se evalúan seis resoluciones en función de combinar dos variables: el porcentaje de estructura de hormigón armado en la envolvente expuesta (3) y diferentes materialidades de cerramientos opacos difundidos en el contexto de estudio (2). Los resultados muestran un desempeño más eficiente en el caso de mayor masa en su envolvente vertical. Se observó que los consumos disminuyen a medida que aumenta el porcentaje de hormigón en la envolvente. No obstante, la mayor diferencia es provocada por la materialidad del cerramiento opaco. Las conclusiones indican, en función de tender a la eficiencia energética de los nuevos edificios construidos en Mendoza, la importancia de considerar materialidades con masa térmica en los elementos de cerramiento vertical.

Palabras claves: Envolvente vertical, Masa térmica, Edificios en altura, Consumos energéticos, Comportamiento térmico



Abstract

In regions of temperate climate with large daily thermal amplitudes, the thermal inertia of the enclosure is crucial in achieving internal thermal comfort and in reducing energy consumption for air conditioning. The objective of this work is to evaluate the thermo-energy performance of housing units with different solutions of vertical envelope in relation to its mass component, for the micro-climatic context of the city of Mendoza. The work methodology consists of the validation of a dynamic simulation model (Energy Plus V.8.4) from on-site measurements of a study building and the testing of different configurations of the vertical envelope materiality. Six resolutions were evaluated based on combining two variables: the percentage of reinforced concrete structure in the exposed envelope (3) and different materials of opaque enclosures diffused in the study context (2). The results show a more efficient performance in the case of greater mass in its vertical envelope. It was observed that consumption decreases as the percentage of concrete in the envelope increases. However, the biggest difference is caused by the materiality of the opaque enclosure. The conclusions indicate, in order to tend to the energy efficiency of the new buildings built in Mendoza, the importance of considering materials with thermal mass in the vertical enclosure elements.

Keywords: Vertical envelope, Thermal mass, High-rise buildings, Energy consumption, Thermal behavior

Introducción

El estudio del comportamiento térmico en los espacios habitables cobra relevancia a partir del alto grado de influencia que ejerce sobre los consumos energéticos para climatización. En Argentina, las demandas de energía eléctrica en el sector edilicio residencial se incrementan desde hace más de dos décadas. Estudios realizados revelan que los requerimientos energéticos de dicho sector para refrigeración, corresponden al rubro de mayor importancia de energía demandada en verano (Evans, J. M. y De Schiller, S.; 2001). Asimismo, el informe del Ministerio de Energía y Minería de la Nación “Escenarios Energéticos 2030” (2017) estima para el período 2016-2030 un crecimiento promedio del consumo del 3.4%; y en este escenario, el sector de mayor crecimiento es el residencial, con un 4,5% de crecimiento promedio anual. Esta problemática, en un contexto mundial en donde la energía se constituye como un recurso en escasez, sumado a la situación nacional de crecimiento tarifario, requiere estudios que profundicen el análisis de acuerdo a la situación climática-ambiental de cada zona del país.

La ciudad en estudio, Mendoza, Argentina (32° 40' LS - 68° 51' LO) cuenta con una estructura urbana caracterizada por ser una Ciudad-Oasis (Bórmida, 1984) debido a su intensa forestación inscrita en una zona árida. La ciudad define desde el punto de vista ambiental dos estratos en altura dados por dicha forestación: con y sin arbolado. En este contexto, los espacios interiores ubicados hasta el tercer nivel -bajo la copa de los árboles- cuentan con una situación micro-climática moderada y se ven beneficiados térmica y energéticamente. Sin embargo, en los espacios de los niveles superiores –a partir del cuarto nivel, es decir, sobre la copa de los árboles- la situación es más extrema y los consumos para climatización son mayores debido a la exposición completa de sus envolventes.

Respecto a las condiciones climáticas de la ciudad, Mendoza se emplaza en una zona de clima templado continental, con considerables diferenciaciones en las temperaturas estacionarias y variaciones de temperatura diarias muy pronunciadas (de 10 a 20°C). En regiones con este tipo de climas resultan adecuadas las construcciones con materiales máxicos con propiedades de inercia térmica debido a su comportamiento como reguladores térmicos. Es por esto que la inercia en la materialidad de la envolvente de los edificios en Mendoza se supone crucial para el logro del confort térmico interior en función de disminuir los consumos energéticos para climatización. Por otra parte, debido al alto potencial sísmico de Mendoza, resultan necesarios materiales portantes y por ende máxicos, resultando el hormigón armado como el principal elemento estructural en las construcciones de la ciudad.



En cuanto a los materiales de cerramiento de los edificios en altura existentes en Mendoza, el ladrillo cerámico hueco es el elemento utilizado en la mayoría de las construcciones de las últimas décadas del 1900. Sin embargo, los edificios en torre construidos a partir del siglo XXI y hasta la fecha, tienden a contar con una estructura de hormigón y resolver la envolvente con materiales transparentes. Esta situación, si bien favorece las posibilidades de regulación ambiental mediante la masa térmica del hormigón, se ve amenazada en dos sentidos: por un lado, cuando se intenta reducir el costo de la estructura de los edificios mediante el uso de materiales cada vez más delgados y livianos. Y por otro lado, la utilización de materiales contemporáneos que no necesariamente son adecuados al clima - como el vidrio y el acero- y pueden implicar un aumento significativo en los consumos energéticos para climatización.

Por los motivos expuestos, el objetivo de este trabajo se enfoca en evaluar el desempeño termo-energético de unidades de vivienda en la estación de verano, con distintas soluciones de envolvente vertical en relación a su componente másico. La particularidad del contexto de Ciudad-Oasis indica la necesidad de estudiar la relación entre la inercia térmica existente en la envolvente edilicia de los edificios en altura y los consumos energéticos para acondicionamiento de estos espacios.

Estado del arte del problema

Uno de los aspectos fundamentales en el diseño de un edificio energéticamente eficiente, consiste en controlar las características termo-físicas de la envolvente, como la transmitancia y la inercia térmica. En este sentido, el estudio de los beneficios térmicos y energéticos en las condiciones interiores de las construcciones mediante la utilización de materiales másicos data desde hace más de 3 décadas. Balaras (1996) afirmaba que la inercia térmica resulta uno de los parámetros más importantes para mejorar el confort interior de los edificios, y para reducir las demandas energéticas de calentamiento y enfriamiento. El autor realizó una extensa revisión de los trabajos que describen los parámetros utilizados para definir los efectos de la masa térmica y de los avances en el desarrollo de herramientas de diseño simplificados -numéricas y computacionales- para calcular las cargas de refrigeración en edificios. Las conclusiones del trabajo citado se refieren a dos aspectos: por un lado, al papel esencial y positivo que juega la estructura másica en el desempeño térmico de los edificios; y por otro lado, en la abrumadora oferta existente de diferentes métodos de cálculo, por lo que recomienda a los usuarios una selección basada en criterios específicos para una aplicación determinada.

Asimismo, el estudio de las mejoras del comportamiento térmico de la envolvente edilicia ha estado relacionado a mantener los niveles de transmitancia de elementos opacos y transparentes lo más bajo posible. A nivel internacional -e incluso en Argentina con las Normas IRAM-, existen normativas relacionadas al ahorro energético- edilicio que regulan máximos y mínimos de valores de coeficientes de transmitancia en relación a las condiciones climáticas del entorno. Sin embargo, el estudio de la incorporación de inercia térmica en la envolvente presenta una situación diferente debido a que se puede conseguir valores de transmitancia baja con bajos o altos niveles de masa térmica. En este tipo de edificios es común que se atienda a los valores de U, menospreciando el valor de la incorporación de masa térmica o la necesidad de la inercia en climas templados.

Existen numerosos estudios que reportan distintas estimaciones en relación a la influencia de las propiedades térmicas de las paredes de los edificios mediante la comparación de diferentes sistemas de construcción. Gregory *et al.* (2008) analizan mediante cálculos numéricos -en un clima templado con altas amplitudes térmicas diarias- el comportamiento de un módulo al cual le introducen variaciones en cuanto a aberturas y materialidad. Los resultados indican que el módulo más eficiente es el que cuenta con la materialidad de mayor masa térmica, constituida por ladrillo en el interior, una cámara de aire sin ventilar y un revestimiento exterior de fibrocemento. Kossejca y Kosny (2002) comparan el comportamiento de paredes con el mismo valor de transmitancia, evaluando la influencia de diferentes espesores y la posición de materiales aislantes. El estudio de los consumos energéticos se realiza mediante simulaciones dinámicas para seis climas diferentes de EEUU.

En todos los casos el mejor rendimiento se obtiene cuando las capas con inercia térmica se ubican en el lado interno del cerramiento con exposición directa al interior. Por otra parte, el trabajo de Reilly y Kinnane (2017) utiliza un método estático en combinación con análisis dinámicos para cuantificar el efecto de la masa térmica en la energía requerida para calentamiento y enfriamiento de edificios. En relación a la estación de verano el trabajo concuerda con la literatura existente en que las estructuras de alta masa térmica son efectivas en climas templados con alta amplitud térmica; sin embargo, plantean que en estaciones frías la alta masa térmica puede causar un aumento en el uso de energía.

En relación a los edificios en altura, variadas investigaciones han identificado tipologías en términos de materialidad, diferenciando consideraciones según la masa térmica de su envolvente (Bojic y Yic, 2005; Peg, 2010; Palme *et al.*, 2013; Gagliano *et al.*, 2014). Los trabajos citados afirman que las construcciones másicas tienen un mejor desempeño energético y ambiental, indicando que la masividad es una estrategia contundente para reducir el impacto del cambio climático futuro en el ambiente construido.

Metodología

La metodología de trabajo consta de tres etapas, caracterizadas por: a-creación y validación de un modelo de simulación dinámica a partir de mediciones *in-situ* de un edificio de estudio; b-ensayo de diferentes configuraciones de la materialidad de la envolvente vertical y c-la presentación de los resultados.

Descripción del edificio en estudio: diagnóstico del caso en condiciones normales de uso

El caso seleccionado es un edificio con orientación Norte correspondiente a la tipología de Torre sin retiros de las líneas divisorias de edificación. Dicha tipología corresponde a una de las tres existentes en Mendoza de acuerdo a la clasificación morfológica según las normativas edilicias en el momento de su construcción (Balter *et al.*, 2013). La unidad de vivienda monitoreada (superficie cubierta de 122 m²) es frontal (orientada a la vía pública) y se ubica en el 5to nivel -a más de 15m de altura-, es decir que se encuentra por encima de la copa de los árboles. Asimismo, para la selección del caso se consideró pertinente, dado el contexto urbano que lo favorece, que la acera inmediata al Norte del edificio sea una plaza asegurando la ausencia de sombras por entorno (ver Figura 1).



Ubicación del edificio de estudio



Fachada del edificio



Planta tipo del edificio (izquierda).
Planta de la vivienda monitoreada (derecha)

Figura 1. Ubicación, imagen y plantas del edificio monitoreado. Fuente: Elaboración propia; 2015.

En cuanto a la materialidad, es un edificio mayormente másico, con un 73% de materiales opacos en su envolvente expuesta. El edificio cuenta, en cada unidad de vivienda, con un 10% de la envolvente vertical de

estructura de hormigón armado, por lo que el 90% restante corresponde al material de cerramiento: los muros exteriores son de ladrillo cerámico hueco de 0.30m con revoque y pintura sin aislación y las divisiones interiores son del mismo material de 0.10 m de espesor. Los vidrios son simples de 4mm ($K= 5.8W/m^2°C$, factor solar = 0.87) y la carpintería de las ventanas es de madera. Como elementos de protección solar el edificio cuenta con balcones de 1.20m de profundidad y persianas corredizas con celosías de madera color blanco.

a- Validación del modelo de simulación dinámica

Monitoreo de la unidad de vivienda

Respecto a las mediciones higrotérmicas se realizaron auditorías *in situ* en un período comprendido entre el 28 de marzo al 12 de abril de 2013. 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, criterio adoptado de acuerdo a las recomendaciones de Longobardi y Hancock (2000).

Fueron instalados 3 micro-adquisidores ubicados en diferentes ambientes: dos en el interior (estar y habitación) y uno en el exterior (balcón) protegido de la radiación solar. Los mismos se ubicaron a una altura media de 2 metros, y a una distancia suficiente de la masa de las paredes a los efectos de evitar distorsiones en los datos (Oke, 2004).

Calibración del modelo mediante Energy Plus V.8.4

Las mediciones efectuadas fueron utilizadas para validar modelos de simulación dinámica mediante el programa Energy Plus, versión 8.4. Este programa gratuito fue desarrollado por el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (LBNL) y es actualmente el software oficial para la simulación del Departamento de Energía de EE.UU. Los datos de temperatura y humedad utilizados para el archivo climático de la simulación para validar el modelo fueron extraídas de las mediciones realizadas *in situ* simultáneamente con las mediciones interiores. Respecto a los datos de radiación, se ingresaron los datos de acuerdo a mediciones de Radiación Global con un Solarímetro CM 5 KIPP & ZONEN en los mismos períodos y con la misma frecuencia de toma de datos establecida para las mediciones de temperatura de aire y humedad relativa. Las mismas se efectuaron en el Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CCT Mendoza) el cual se ubica dentro de un radio de 2km, distancia apropiada para la validez de los datos (Grossi Gallegos, 2011).

Para la simulación térmica de los espacios se tuvieron en cuenta los aspectos detallados en trabajos publicados (Balter *et al*, 2016). En la Tabla 1 se muestra la descripción de la materialidad opaca ingresada. Los datos fueron extraídos de la norma IRAM 11601, de aislamiento térmico de edificios (IRAM, 2002).

Tabla 1. Propiedades de los materiales ingresados en el modelo de Energy Plus. Fuente: Elaboración propia; 2015.

Capas	Rugosidad	Espesor [m]	Conductividad [W/m°C]	Densidad [Kg/m3]	Calor Especifico [J/Kg°C]
MUROS EXTERIORES					
Revestimiento exterior	Muy rugoso	0.025	0.93	1900	1000
Ladrillo cerámico hueco	Rugoso	0.3	0.41	1200	600
Revestimiento interior	Muy rugoso	0.025	0.93	1900	1000
MUROS INTERIORES					
Revestimiento interior	Muy rugoso	0.025	0.93	1900	1000
Ladrillo cerámico hueco	Rugoso	0.1	0.41	1200	600
Revestimiento interior	Muy rugoso	0.025	0.93	1900	1000
PISOS / CUBIERTAS					
Yeso	Suave	0.025	0.48	741.3	836.3
Hormigón	Rugoso	0.12	1.7	2400	800
Mortero cemento	Rugosidad Media	0.1	1.63	2400	800
Parket de madera	Suave	0.025	0.11	500	2800

La validación del modelo se realizó en otoño, por tratarse de un período que no requiere aportes de calefacción o enfriamiento en el interior de los espacios. Esta situación se observó en los comportamientos térmicos auditados y se corroboró en las entrevistas realizadas a los usuarios que confirmaron que no se utilizaron medios mecánicos de climatización en dicho período. Las simulaciones se programaron 10 días antes de la fecha seleccionada dado que resulta importante que el modelo físico entre en régimen con anticipación. La calibración se realizó en el estar por ser el espacio más ocupado y en el que se pudo saber con mayor detalle la influencia de los usuarios. En la Figura 6 se presenta la curva del ajuste realizadas en el periodo del 6 al 11 de abril.

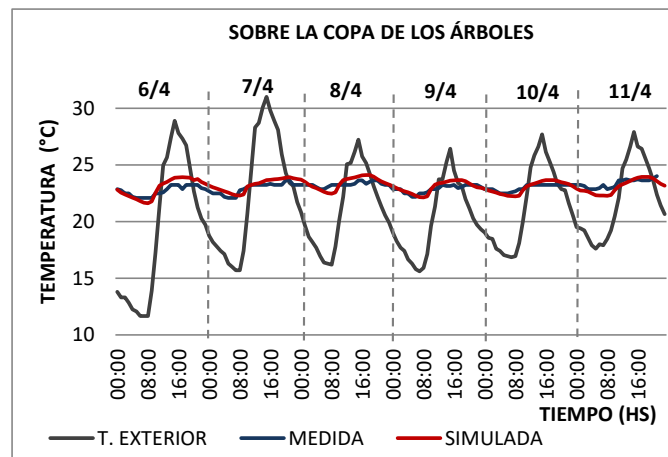


Figura 2. Ajuste de las mediciones en el modelo Energy Plus para la vivienda ubicada sobre la copa de los árboles. Fuente: Elaboración propia; 2015.

b- Simulación termo-energética interior variando la materialidad de la envolvente vertical

Las simulaciones de estudio y análisis se trabajan sobre la envolvente vertical opaca expuesta, ensayando dos composiciones materiales de la misma, -con y sin inercia térmica- difundidos y utilizados en el contexto de estudio. Las simulaciones se realizan en función de considerar modificaciones en dos variables:

- El porcentaje de estructura de hormigón armado en la envolvente expuesta, considerando los valores: 10%, 30% y 50%.
- Los materiales de cerramientos opacos difundidos en el contexto de estudio:
 - Con inercia térmica: ladrillo cerámico con aislación ($U= 0.44W/m^2K$)
 - Sin inercia térmica: sistema liviano de construcción en seco ($U=0.77W/m^2K$)

La Tabla 1 muestra los 6 casos a evaluar resultantes de las variables consideradas.

Tabla 1. Casos a evaluar resultantes de las dos variables consideradas en el estudio. Fuente: Elaboración propia; 2019.

		MATERIALIDAD	
		Ladrillo cerámico con aislación	Panel liviano de construcción en seco
% DE ESTRUCTURA DE H°A° EN LA ENVOLVENTE	10%	LC_10	PL_10
	30%	LC_30	PL_30
	50%	LC_50	PL_50

Para los casos con inercia térmica se trabajó con la misma envolvente del edificio existente, más la incorporación de aislación de poliestireno expandido de 5cm. Para los casos sin inercia se trabajó con un sistema liviano comercializado y utilizado en Mendoza, compuesto por dos placas de fenólico (OSB), un marco de madera empleado como elemento de unión entre los paneles, y núcleo de espuma de poliuretano rígido en el medio. Los datos de las propiedades constructivas de estos materiales fueron provistas por la empresa que comercializa el sistema. Asimismo, en todos los casos se incorporó aislación de poliestireno expandido de 5cm en la cara exterior de las superficies con hormigón. En la Tabla 2 se presentan las características termo-físicas de los materiales ingresados para cada paquete de envolvente vertical exterior.

Tabla 2. Propiedades de los materiales ingresados para la envolvente vertical exterior en los modelos de Energy Plus.
Fuente: Elaboración propia; 2019.

Capas	Rugosidad	Espesor	Conductividad	Densidad	Calor Específico	Capacidad calorífica volumétrica
		[m]	[W/m°C]	[Kg/m3]	[J/Kg°C]	[KJ/m ² °C]
PAQUETE CON INERCIA TÉRMICA						312.3
Revoque exterior	Muy rugoso	0.025	0.93	1900	1000	
Poliestireno expandido	Rugosidad Media	0.05	0.04	20	1300	
Ladrillo hueco	Rugoso	0.3	0.41	1000	600	
Revoque interior	Muy rugoso	0.025	0.93	1900	1000	
PAQUETE SIN INERCIA TÉRMICA						104.5
Revoque exterior	Muy rugoso	0.025	0.93	1900	1000	
Placa OSB	Rugoso	0.02	0.049	150	1560	
Aire	Muy suave	0.06	0.33	1	1004	
Espuma de poliuretano	Rugoso	0.0015	0.042	50	1700	
Placa OSB	Rugoso	0.02	0.049	150	1560	
Revoque interior	Muy rugoso	0.025	0.93	1900	1000	

Asimismo, para el análisis térmico, con el objetivo de enfriar la masa térmica de la envolvente, se incorporó ventilación natural en todos los ambientes de la vivienda en estudio. Y para el análisis de los consumos energéticos para enfriamiento, se programaron termostatos de 24°C para todas las zonas del edificio. La ventilación natural se simuló con el módulo de cálculo "AirFlowNetwork" (algoritmo AIRNET) del software Energy Plus. Para los datos de flujo de presión promedio en la superficie (Cp) se toma la opción del programa del cálculo promedio por superficie, que considera los recomendados por Swami & Chandra (1988) siendo modelos analíticos calibrados con mediciones experimentales. Para el control del flujo de aire se utilizó el objeto AirflowNetwork:MultiZone:Component:DetailedOpening donde se debe especificar diferentes propiedades de las ventanas y puertas cuando están cerradas o abiertas. El coeficiente de flujo de masa de aire cuando la abertura está cerrada (Air MassFlowCoefficientWhenOpeningisClosed) contempla cuatro grietas alrededor del perímetro de la ventana o puerta y está en función de las dimensiones de la abertura y se utilizaron los datos propuestos por el programa siendo adoptados del trabajo de Linddament (1986). (Tabla 3).

Tabla 3: Valores adoptados en el modelo de simulación en el objeto (ASHRAE Handbook, 2009). Fuente: Elaboración propia; 2019.

Valores adoptados	Puertas	Ventanas
Coefficiente de flujo de aire-masa cuando la abertura está cerrada [Kg/s-m]	0.00124	0.00058
Exponente de flujo de aire-masa cuando la abertura se cierra (adimensional)	0.65	0.65
Factor de abertura -número (adimensional)	2	2
Valor máximo de factor de abertura (adimensional)	1	0.5

Resultados

Los resultados térmicos (Figura 3) muestran que de los seis casos evaluados para el período de verano, el que menores temperaturas presenta –media de 27.1°C y máxima de 28.7°C-, es el caso de envoltorio de ladrillo con aislamiento y 50% de hormigón (LC-50), mientras que el que cuenta con mayores temperaturas –media de 27.6°C y máxima de 29.8°C-, es el de envoltorio de paneles livianos y 10% de hormigón (PL-10). Los casos restantes (LC-10, LC-30, PL-30 y PL-50) presentan temperaturas similares, en el orden de 27.2°C de media y 29°C de máxima.

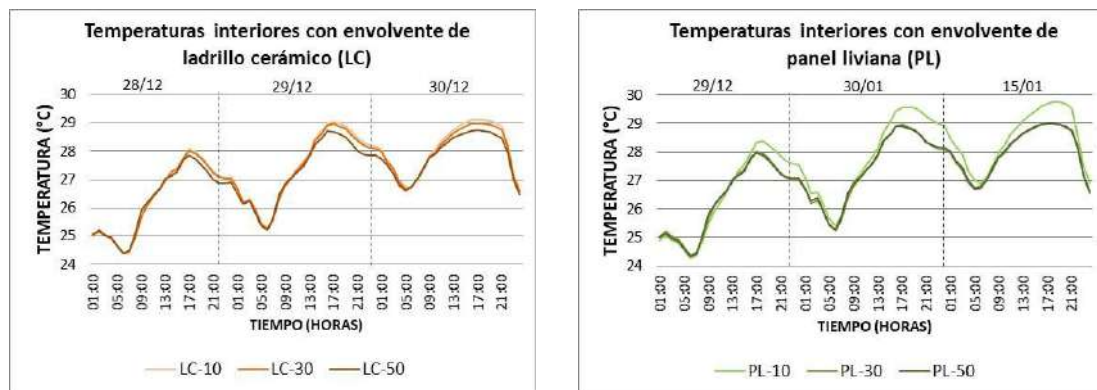


Figura 3. Comportamiento térmico de la vivienda ubicada en el 5° con diferente materialidad de envoltorio opaca. Fuente: Elaboración propia; 2019.

Los consumos energéticos (Figura 4) resultan consecuentes a los resultados térmicos: el caso con menores consumos para enfriamiento es el de envoltorio de ladrillo con aislamiento y 50% de hormigón (LC-50), con 1475kWh mensuales. Mientras que el caso que cuenta con mayores valores de consumo, es el de envoltorio de paneles livianos y 10% de hormigón en la envoltorio (PL-10), con 1687kWh mensuales. No obstante, existen diferencias del orden del 10% entre las dos materialidades analizadas; y se observa que si bien los consumos disminuyen a medida que aumenta el porcentaje de hormigón en la envoltorio, la mayor diferencia es provocada por la materialidad del cerramiento (con y sin masa térmica).

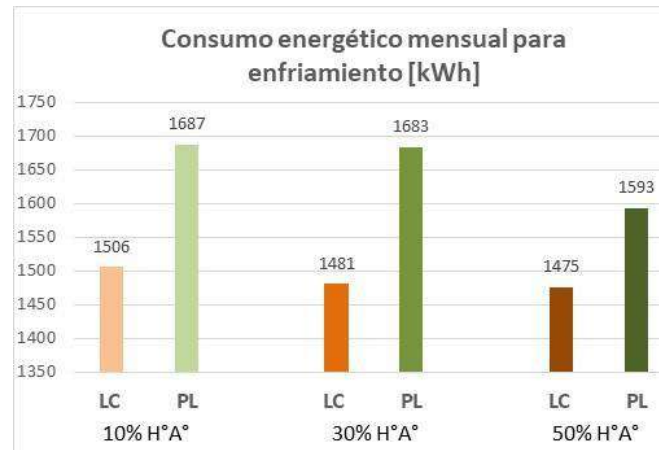


Figura 4. Consumos energéticos totales (para todas las viviendas del edificio) mensuales para enfriamiento. Fuente: Elaboración propia; 2019.

Discusión y Conclusiones

El comportamiento de los casos evaluados en la estación de verano responde a lo esperado en cuanto al efecto de la inercia térmica en el desempeño térmico interior de los espacios: el caso de mayor capacidad calorífica ($312.3 \text{ KJ/m}^2\text{°C}$) y mayor masa en su envolvente vertical es el que cuenta con menores temperaturas interiores y menores consumos energéticos para enfriamiento; mientras que el caso con menor capacidad calorífica ($104.5 \text{ KJ/m}^2\text{°C}$) y menor masa en la envolvente es el de mayores temperaturas interiores y mayores consumos para enfriamiento.

En cuanto a la relación de las dos variables analizadas –porcentaje de estructura de hormigón armado en la envolvente y materialidad del cerramiento-, los resultados energéticos obtenidos en el caso de estudio muestran que las características de inercia térmica en el cerramiento exterior vertical resulta más influyente que la cantidad de estructura de hormigón armado existente en la envolvente expuesta.

Asimismo, el caso en estudio resulta representativo -en cuanto a su materialidad y al porcentaje de superficie opaca en la envolvente (73%)-, de una gran cantidad de edificios en altura media existentes en la zona central de Mendoza. Sin embargo, los nuevos edificios residenciales en altura que se están construyendo actualmente en la ciudad cuentan en su envolvente con estructura de hormigón armado y cerramientos de vidrio. Los resultados obtenidos en este trabajo nos permiten deducir que si esta tendencia continúa, la regulación ambiental de la masa térmica del hormigón, aunque constituya el 50% de la envolvente expuesta, no resultaría suficiente para atenuar las condiciones climáticas exteriores. Esta hipótesis se puede corroborar considerando estudios realizados en la ciudad Mendoza (Balter *et al.*, 2016), en donde un edificio con el 48% de estructura de hormigón en la envolvente y cerramiento de vidrios simples de 6mm, presenta consumos para enfriamiento de 4.5 kWh/m^2 . Considerando que el mayor consumo de los casos evaluados en este trabajo es de 2.3 kWh/m^2 , es decir, un 50% menor al edificio vidriado citado (ambos consumos, con termostatos de 24°C) resulta fundamental que en función de tender a la eficiencia energética de los nuevos edificios construidos en Mendoza, se considere esencial la masa térmica de los elementos de cerramiento vertical, así como la opacidad de la envolvente.



Por último, teniendo en cuenta el crecimiento edilicio en altura en muchas ciudades en vías de desarrollo, se considera necesaria la regulación de medidas tendientes a disminuir los consumos energéticos para climatización. Por esto, se prevé la realización de trabajos futuros mediante esta metodología de abordaje, en donde se analicen diferentes tecnologías de materiales y sus efectos en relación a la masa térmica para la situación climática de la ciudad de Mendoza, tanto en verano como en invierno.

Referencias

- Balter, J., Ganem, C., Cantón, M.A. (2013). Evolución morfológica y materialización en edificios en altura en la ciudad de Mendoza. Incidencias en el comportamiento térmico interior. Revista Área 19, 8 - 25.
- Balter, J., Ganem, C., Dicoli, C. (2016). On high-rise residential buildings in an Oasis-city: thermal and energy assessment of different envelope materiality above and below tree canopy. Energy and Buildings 113, 61-73.
- Bojic, M., y Yic, F. (2005). Cooling energy evaluation for high-rise residential buildings in Hong Kong. Energy and Buildings 37, 345-351.
- Bórmida, E. (1984). *Mendoza, una ciudad Oasis*. Mendoza: Universidad de Mendoza.
- Evans M., De Schiller S. (2001). Evaluador energético: método de verificación del comportamiento energético y ambiental de viviendas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Nº5, 49-53.
- Gagliano, A., Patania, F., Nocera, F., Signorello, C. (2014). Assessment of the dynamic thermal performance of massive buildings. Energy Buildings 72, 361-370.
- Gregory, K., Moghtareidi, B., Sugo, H., Page, A. (2008). Effect of thermal mass on the thermal performance of various Australian residential constructions systems. Energy and Buildings 40, 459-465.
- Grossi Gallegos, H., Nollman, U., Lopardo, R. y Atienza, G. (1983). Evaluación preliminar del recurso solar en Argentina. 8° Actas de Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 179-194.
- Kossecja, E., y Kosny, J. (2002). Influence of insulation configuration on heating and cooling loads in a continuously used. Energy and Buildings 34, 321-331.
- Liddament, M. Air Infiltration Calculation Techniques – An Applications Guide. Bracknell, Berkshire. 1986.
- Longobardi, I. y Hancock, M. (2000). *Field Trip Strategies*. Proceedings of TIA.Oxford
- Normas IRAM 11.6001 (2002). Aislamiento térmico de edificios. Tercera edición 2002-04-12.
- Oke, T.R., (2004). *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites*. Iom Report, Td In Press, World Meteorological Organization, Geneva.
- Palme, M., Isalgué, A., Coch, H. (2013). Avoiding the Possible Impact of Climate Change on the Built Environment: The Importance of the Building's Energy Robustness. Buildings 3, 191-204.
- Peng, X. (2010). *Demand Shifting with Thermal Mass in Light and Heavy Mass Commercial Buildings*. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Reilly; A., Kinnane, O. (2017). The impact of thermal mass on building energy consumption. Applied Energy 198, 108-121.
- Secretaría de Energía (2017). Escenarios Energéticos 2030. Extraído de: <http://datos.minem.gob.ar/dataset/escenarios-energeticos>
- Swami M. V. & Chandra S. (1988). Correlations for pressure distribution on buildings and calculation of natural-ventilation airflow. *ASHRAE Transactions*, 94(1): 243–266.