



Revista
Hábitat
Sustentable

ISSN 0719-0700
Vol. 7 N° 1
Junio
2017



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO



**Revista
Hábitat
Sustentable**

ISSN 0719-0700
Vol. 7 N°. 2
Diciembre
2017



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO

RECTOR:
HÉCTOR GAETE FERES

DECANO FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO:
ROBERTO EDUARDO BURDILES ALLENDE

DIRECTOR GENERAL:
Dr. RODRIGO GARCÍA ALVARADO / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile
rgarcia@ubiobio.cl

EDITORIA GENERAL:
Dra. CLAUDIA MUÑOZ SANGUINETTI / Departamento Ciencias de la Construcción, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
clmunoz@ubiobio.cl

PRODUCTORA EDITORIAL:
JOCELYN VIDAL RAMOS / Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
javidal@ubiobio.cl

CORRECCIÓN DE ESTILO:
Dra. OLGA OSTRIA REINOSO, Departamento Estudios Generales

COMITÉ PRODUCTIVO:

Dra. M^o BEATRIZ PIDERIT MORENO / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile

Dra. PAULINA WEGERTSEDER / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile

CONSEJO EDITORIAL:
Dr. ALEXANDER GONZÁLEZ CASTAÑO / Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, Medellín Colombia.
Dr. OLAVO ESCORCIA OYOLA / Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia
Dra. MAUREEN TREBILCOCK KELLY / Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
Dr. ERNESTO ECHEVERRÍA VALIENTE / Universidad de Alcalá, Madrid, España.

Dra. CRISTINA ENGEL / Universidad Federal, Vitoria, Brasil.
Dr. ERNESTO KUCHEN / Universidad Nacional de San Juan, Argentina
Dr. FLAVIO CELIS D'AMICO / Universidad de Alcalá España, Madrid, España
Dra. MARÍA DEL PILAR MERCADER MOYANO / Universidad de Sevilla, Sevilla, España "

TRADUCCIONES:
THERESA ST JOHN

DIRECTOR DE ARTE Y DIAGRAMACIÓN:
IGNACIO A. SÁEZ ARANEDA

FOTOGRAFÍA PORTADA:
JUAN FELIPE QUESADA MOLINA / Viñeta de Chile, enero 2017

DIRECCIÓN:
Avda. Collao 1202
CP: 4081112, Concepción, Chile
TEL.(56-41)3111409

Revista HS indexada en Emerging Source Citation Index de Web of Science de Thomson Reuters, Avery Index, Latindex catálogo, Open Archives, Dialnet, Redib, Ebsco, JournalTOCs, Rebiun y ARLA (Asociación de Revistas Latinoamericanas de Arquitectura).

Los criterios expuestos en los artículos son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no reflejan necesariamente la opinión de la dirección de la revista.

Revista Hábitat Sustentable es editada por el Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura de la Universidad del Bío-Bío, es financiada por el Fondo de Publicaciones Periódicas de la Vicerrectoría Académica, la Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación y la Dirección de Postgrado de la Universidad del Bío-Bío.

05 EDITORIAL

Dr. Rodrigo García , Dra. Claudia Muñoz Sanguinetti

06 EL CONTROL ADAPTATIVO EN INSTALACIONES EXISTENTES Y SU POTENCIAL EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Daniel Sánchez-García, Carlos Rubio-Bellido, Madelyn Marrero Meléndez, Francisco Javier Guevara-García, Jacinto Canivell

18 EVALUACIÓN TÉRMICA DEL MATERIAL ISOBLOCK EN EL CLIMA CÁLIDO SECO DE CD. JUÁREZ, MÉXICO

Luis Carlos Herrera Sosa

28 DETERMINACIÓN DEL COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS DIFERENTES CLASIFICACIONES PARA UNA VIVIENDA SUSTENTABLE EN LA CIUDAD DE CUENCA, ECUADOR

Jorge Rene Vasquez Palacios, Juan Felipe Quesada Molina

40 POTENCIAL DE DEMANDA ENERGÉTICA CERO EN ENVOLVENTES INDUSTRIALES

Alba Inés Ramos Sanz

50 MONITOREO ENERGÉTICO Y ESTRATEGIAS DE RETROFIT PARA VIVIENDAS SOCIALES EN CLIMA FRÍO

Micaela Andersen, Carlos Alberto Discoli, Graciela Melisa Viegas, Irene Martini

64 INFLUENCIA DEL USO Y GESTIÓN DE LA ENVOLVENTE EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE VERANO DE UNA VIVIENDA EN LA CIUDAD DE MENDOZA, ARGENTINA

Soledad Elisa Andreoni Trentacoste, Carolina Ganem Karlen

EDITORIAL

En el marco de los acuerdos ambientales globales, este semestre se realizó, en Bonn, la 23^{era} Conferencia de Cambio Climático de las Naciones Unidas (COP 23), destinada a revisar la aplicación de compromisos por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El evento estuvo marcado por el retiro de EEUU y las respectivas implicancias de los acuerdos suscritos anteriormente en ese contexto. Sin embargo, de igual forma se materializó el acuerdo de varios países desarrollados y otros en vías de desarrollo, por reducir gradualmente sus consumos de combustibles en base a carbón, como también por desarrollar las propuestas del gobierno de las Islas Fiji -que presidía el encuentro-, orientadas a una mayor incorporación de los temas de género y de los pueblos originarios. Este "viraje" de las orientaciones ambientales, expresa una comprensión cada vez más amplia de los desafíos globales y de los compromisos de bienestar general y sustentable a largo plazo.

En Chile, también se ha visto reflejada -con los resultados del último censo que evidencian un envejecimiento de la población- la necesidad de preocuparse de nuevos segmentos sociales, en cuanto a demandas y acciones ambientales; y, desde luego, de los avances hacia un desempeño energético más renovable. Se trata, entonces, de una comprensión integral que debe abarcar la relación con los flujos naturales del entorno, la cual ha emergido como un foco especial de investigación y desarrollo, tanto por los efectos del cambio climático como por las catástrofes naturales que afectan a las áreas urbanas (basta mencionar la lamentable situación ocurrida con el aluvión de Villa Santa Lucía en la Patagonia Chilena).

Estas orientaciones enmarcan la producción editorial de la Revista Hábitat Sustentable, que pretende convocar los avances iberoamericanos

en la consecución de construcciones y asentamientos humanos ambientalmente más compatibles y eficientes. El número del segundo semestre del 2017 presenta una selección de trabajos de investigadores de España, México, Ecuador y Argentina, que revela el pujante esfuerzo de académicos por revisar los modos actuales de edificación. El primer artículo evidencia las posibilidades de reducción de consumo energético logradas con el control adaptativo de las instalaciones de edificios existentes, mediante un estudio de caso en Sevilla, España. El siguiente revisa las capacidades de bloques de hormigón con aislamiento incorporado que mejora sus prestaciones térmicas, en ejemplos situados en Ciudad Juárez, México. A continuación, un trabajo de Cuenca, Ecuador pondera los sobrecostos de lograr desempeños más sustentables en las viviendas, demostrando márgenes alcanzables para las políticas estatales y/o acciones privadas. La siguiente contribución analiza las posibilidades de reducir consumos en instalaciones industriales a través de mejoramientos de envolvente, en los casos de plantas de vinos en Mendoza, Argentina. Posteriormente, otro estudio demuestra los cambios ambientales logrados con diferentes envolventes de viviendas sociales en climas templados de Bariloche. Cierra la edición, un artículo, también de Mendoza (Argentina), que constata las capacidades de intervención del usuario en viviendas en aras de optimizar el comportamiento térmico.



EL CONTROL ADAPTATIVO EN INSTALACIONES EXISTENTES Y SU POTENCIAL EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

ADAPTIVE CONTROL IN EXISTING FACILITIES AND ITS POTENTIAL IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

DANIEL SÁNCHEZ-GARCÍA
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
sangardaniel@gmail.com

CARLOS RUBIO-BELLIDO
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
carlos.rubio.bellido@gmail.com

MADelyn MARRERO MELÉNDEZ
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
madelyn@us.es

FRANCISCO JAVIER GUEVARA-GARCÍA
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
guevara@us.es

JACINTO CANIVELL
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
jacanivell@us.es

RESUMEN

En la actualidad, la mayoría de los edificios de oficinas tienen un elevado consumo energético provocado principalmente por el uso de los sistemas de HVAC, en los que se logra el confort térmico sin considerar las implicaciones energéticas. El objetivo de la investigación que aquí se expone es reducir la demanda y consumo energético, manteniendo altos niveles de confort térmico adaptativo, en base a la aplicación de temperaturas de consigna adaptativas calculadas según la norma EN 15251, como también identificar el potencial de estos procedimientos en el contexto del cambio climático de los años 2020, 2050 y 2080.

Para ello, se desarrolla una metodología que contempla fases de (1) recopilación de datos; (2) trabajo de campo –monitoreo de las temperaturas del edificio y realización de encuestas de confort térmico-; (3) validación del modelo de simulación, en base a temperatura, voto medio predictivo (PMV) y consumo energético; (4) simulaciones; y (5) obtención de resultados. Como aplicación del método se selecciona un edificio de reciente construcción en Sevilla (España) que cumple la normativa vigente. Los resultados muestran reducciones muy importantes en la demanda y consumo energético, con valores entre 52% y 63% y entre 51% y 61%, respectivamente, dependiendo del escenario climático analizado.

Palabras clave

confort adaptativo, cambio climático, demanda energética, temperatura de consigna

ABSTRACT

Currently, energy consumption is high in most office buildings mainly due to the use of HVAC systems, which achieve thermal comfort without considering the energy implications. The objectives of this research are to reduce energy demand and consumption while maintaining high levels of adaptive thermal comfort, based on the application of adaptive setpoint temperatures calculated according to CEN Standard EN 15251, and to identify the potential of these procedures for the years 2020, 2050 and 2080, in the context of climate change. To that end, a five-stage methodology was carried out, which consisted of: (1) data collection; (2) field work involving monitoring building temperature and conducting thermal comfort surveys; (3) validation of the simulation model, according to temperature, Predicted Mean Vote (PMV), and energy consumption; (4) simulations; and (5) results. The method was implemented in a recently constructed building in Seville (Spain) that complies with current regulations. The results reveal important reductions in energy demand and consumption, with values between 52% and 63%, and between 51% and 61%, respectively, depending on the climate scenario analyzed.

Keywords

adaptive comfort, climate change, energy demand, setpoint temperature

INTRODUCCIÓN

En el año 2010, los edificios usaron el 32% de la energía primaria global final y, a la vez, generaron el 19% de las emisiones globales, contabilizando las emisiones originadas por la energía producida para su consumo en dicho sector (Lucon *et al.*, 2014). Es de conocimiento general que existe una necesidad de reducir las emisiones de CO₂ al ambiente de forma global, cuya urgencia se acentúa al aproximarnos al año 2020, cuando finaliza el plazo para la consecución de los objetivos establecidos en el Paquete de medidas sobre energía y clima hasta 2020 (European Commission, 2008), ampliados en enero de 2014 en valor y plazo en base al Marco sobre energía y clima para 2030 (European Commission, 2014).

Por otra parte, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) (Gobierno de España, 2007) establece unas temperaturas de consigna muy restrictivas (21-23°C en invierno y 23-25°C en verano), que aseguran el confort térmico sin considerar los altos consumos energéticos, mientras que no existe normativa nacional que regule el confort en edificios sin medios mecánicos.

Según datos extraídos del Instituto Nacional de Estadística español, el 30% de los edificios de oficinas fue construido tras la entrada en vigor del RITE y el 55%, tras el Código Técnico de la Edificación (CTE) (Gobierno de España, 2006). De esta forma, se puede observar que una gran proporción de edificios de oficinas no necesitan rehabilitación energética y disponen de unas instalaciones relativamente recientes. Así, para reducir la demanda energética, una de las soluciones factibles es intervenir sobre las instalaciones existentes mediante la variación de las temperaturas de consigna.

Existen estudios en los que se cuantificó la reducción en la demanda por la simple variación de las temperaturas de consigna de calefacción y refrigeración: al ajustarlas a 20°C y 26°C, respectivamente, se obtuvo una reducción en el consumo energético del 45% (Spyropoulos y Balaras, 2011), y al hacerlo a 18.3 y 27.8°C, respectivamente, se consiguió una reducción en el consumo de entre el 32 y 73% en función de la zona analizada (Hoyt, Arens y Zhang, 2014). También se han llevado a cabo investigaciones que aplican modelos de confort adaptativo, entre las que se ha utilizado como temperatura de consigna de calefacción el límite inferior de confort de un modelo desarrollado para los Países Bajos (Van Der Linden *et al.*, 2006), establecido en la norma ISSO 74 (ISSO, 2004), lográndose una reducción del consumo de un 74% (Kramer *et al.*, 2015). Otro estudio aplicó el modelo de ASHRAE Standard 55-2013, obteniendo un valor máximo de reducción en demanda de calefacción y refrigeración de 20% y 80%, respectivamente, (Sánchez-Guevara, Mavrogianni y Neila González, 2016) y considerando que los límites variaban cada 30 días, por lo que se establecieron 12 consignas, una para cada mes del año.

El presente trabajo establece un modelo mucho más ajustado, en el que la temperatura promedio exterior de funcionamiento varía diariamente en base a los 7 días previos. Este método se contempla en ASHRAE 55-2013 y EN 15251 (CEN, 2007).

El edificio analizado se encuentra ubicado en la provincia de Sevilla, que posee clima de categoría Csa, según la clasificación de Koppen-Geiger, caracterizado por inviernos húmedos y suaves, y veranos secos y muy cálidos, producto de lo cual resulta de especial interés el efecto del calentamiento global sobre este clima. De esta forma, se estudian los escenarios climáticos de los años 2020, 2050 y 2080 con el objeto de analizar las implicaciones del modelo de confort adaptativo en el contexto del cambio climático para profundizar en la capacidad de aplicabilidad y ahorro energético, considerando este modelo. Existe la necesidad de estudiar la resiliencia del confort térmico de las personas al calentamiento global, el que podría incrementar los niveles de confort en climas y estaciones frías (Rubio-Bellido, Pulido-Arcas y Ureta-Gragera, 2015), aunque estos efectos no se pueden considerar beneficiosos, ya que conllevan perjuicios más severos en otros ámbitos, entre ellos, el impacto en los ecosistemas. Asimismo, es preciso adoptar medidas para mitigar los efectos del cambio climático, desde la consideración del calentamiento global en la fase de diseño (Rubio-Bellido, Pérez-Fargallo, y Pulido-Arcas, 2016) hasta la implementación de espacios verdes (Tumini y Rubio-Bellido, 2016).

OBJETIVO

El objetivo principal de esta investigación consiste en la cuantificación del ahorro energético mediante el establecimiento de temperaturas de consigna adaptativas, en la actualidad y su proyección futura, considerando el cambio climático. Estas temperaturas se consignan de forma diaria según los criterios de confort adaptativo de la norma EN 15251. Este estudio pretende introducir el concepto de demanda y consumo energético adaptativo (Medida de Ahorro Energético 1, en adelante MAE1), frente al de demanda y consumo energético tradicional, denominado como Medida de Ahorro Energético 0 (en adelante MAE0), basado en modelos de confort con consignas estáticas.

CONFORT TÉRMICO

El confort térmico presenta fundamentalmente dos enfoques: los modelos de confort con consignas estáticas, basados en estudios de Fanger (1970), cuyo referente es la norma ISO 7730 (ISO, 2005), y los modelos de confort adaptativos, donde se destacan las normas ASHRAE Standard 55-2013 y las EN 15251. La principal diferencia entre ellos reside en que en los modelos de confort con

consignas estáticas el ambiente térmico se diseña para su acondicionamiento mediante medios mecánicos, con independencia del ambiente exterior, tomando al ocupante como un receptor de estímulos térmicos; mientras que los modelos de confort adaptativos tienen en cuenta la adaptación del sujeto a las variaciones de temperaturas mediante la ventilación natural y los cambios en su conducta, índice metabólico y arropamiento.

El modelo establecido por la norma EN 15251 se ha desarrollado a partir del proyecto Smart control and thermal comfort (SCATs). A través de ese proyecto, fue posible desarrollar el algoritmo de confort adaptativo (McCartney y Nicol, 2002). Este modelo se puede aplicar en edificios de viviendas, oficinas u otros similares utilizados para ocupación humana, con actividades sedentarias, correspondiendo a valores entre 1 y 1,3 met, con ventanas operables, en los que los ocupantes puedan adaptar su vestimenta a las condiciones térmicas exteriores y/o interiores, para valores entre 0,5 y 1 clo.

En la Figura 1 se representan los límites superiores e inferiores para cada categoría, en función de la temperatura interior operativa ($\theta_{i,o}$) y de la temperatura exterior promedio de funcionamiento (θ_{rm}), de forma que se establecen las categorías I, II y III, en función de las necesidades de los ocupantes. Este modelo es de aplicación cuando la temperatura ponderada exterior de funcionamiento está entre 10°C y 30°C para el límite superior, y entre 15°C y 30°C para el límite inferior. En aquellos momentos en los que dicha temperatura ha superado los límites, se ha tomado la temperatura marcada por tales límites, correspondiente a la más restrictiva dentro de la aplicabilidad.

En este estudio se aplica la categoría III, cuyas fórmulas

para el cálculo de los límites de confort se muestran a continuación:

$$\theta_{i,máx} = 0,33 \cdot \theta_{rm} + 18,8 + 4$$

$$\theta_{i,mín} = 0,33 \cdot \theta_{rm} + 18,8 - 4$$

Donde $\theta_{i,máx}$ es el límite superior, $\theta_{i,mín}$ es el límite inferior, y θ_{rm} es la temperatura exterior promedio de funcionamiento del día para la cual se calculan los límites de confort, mediante la siguiente fórmula:

$$\theta_{rm} = (1-\theta) \cdot \{\theta_{ed-1} + \theta \cdot \theta_{ed-2} + \theta^2 \cdot \theta_{ed-3} \dots\}$$

Donde:

θ_{rm-1} es la temperatura exterior promedio de funcionamiento del día anterior

θ_{ed-1} es la temperatura promedio exterior diaria del día anterior

θ_{ed-2} es la temperatura promedio exterior diaria de dos días antes, y así sucesivamente;

θ es una constante entre 0 y 1; se recomienda usar 0,8.

La propuesta aquí expuesta se basa sustancialmente en dos estudios previos. En el primero de ellos, se calcularon los niveles de confort térmico según ASHRAE Standard 55-2013 y EN 15251, en una vivienda que no incluía aislamiento térmico en su envolvente (Sánchez-García, Sánchez-Guevara y Rubio-Bellido, 2016), y se concluyó que, a pesar de que las temperaturas de verano de Sevilla son muy severas, la mayoría de las horas de malestar térmico tenían lugar en el periodo invernal. En el segundo estudio, se continuó la investigación evaluando el efecto que tendría el cambio climático sobre el confort adaptativo (Sánchez-García et al., 2017), y se mostró que las temperaturas eran capaces de aumentar tanto que podían exceder en gran proporción los límites superiores de confort y de aplicabilidad, por lo que la ventilación natural no era suficiente para alcanzar el confort térmico. En consecuencia, tanto la actual aplicabilidad como la potencialidad del modelo de confort adaptativo EN 15251 son limitadas.

METODOLOGÍA

Con el fin de cumplir el objetivo señalado, se ha llevado a cabo una metodología (Figura 2) basada en las etapas que se muestran, de forma pormenorizada, en los siguientes apartados.

RECOPILACIÓN DE DATOS.

En esta etapa se recogen datos acerca de las propiedades de los sistemas constructivos, de la hipótesis de operación y del sistema de climatización. La fachada, compuesta por piezas prefabricadas de GRC, una cámara de aire sin ventilar, aislamiento térmico de lana de roca y

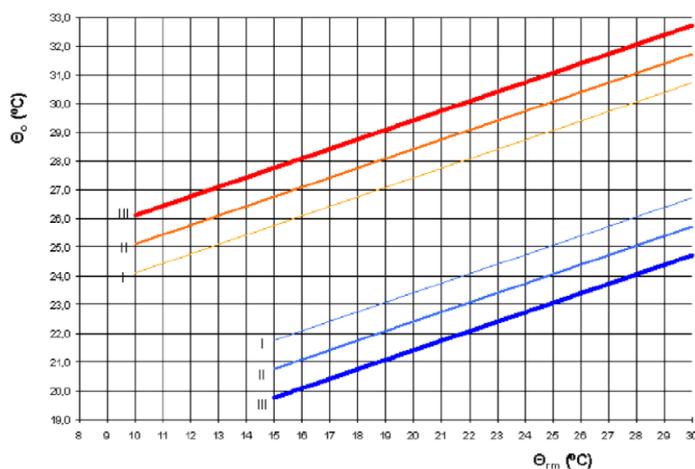


Figura 1. Límites de confort de categorías I, II y III. Fuente: EN 15251.

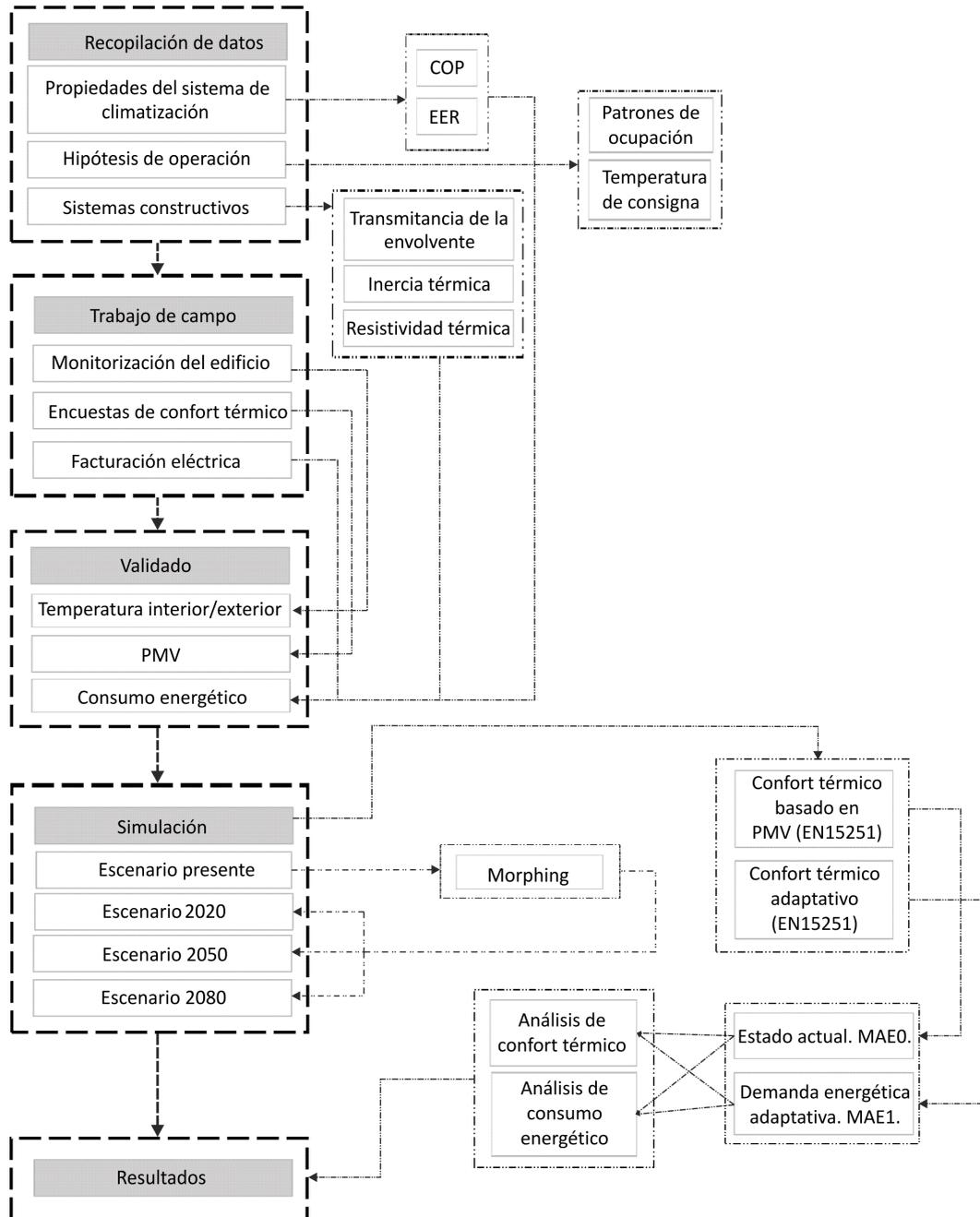


Figura 2. Procesos y subprocesos llevados a cabo en la metodología. Fuente: Elaboración los autores.

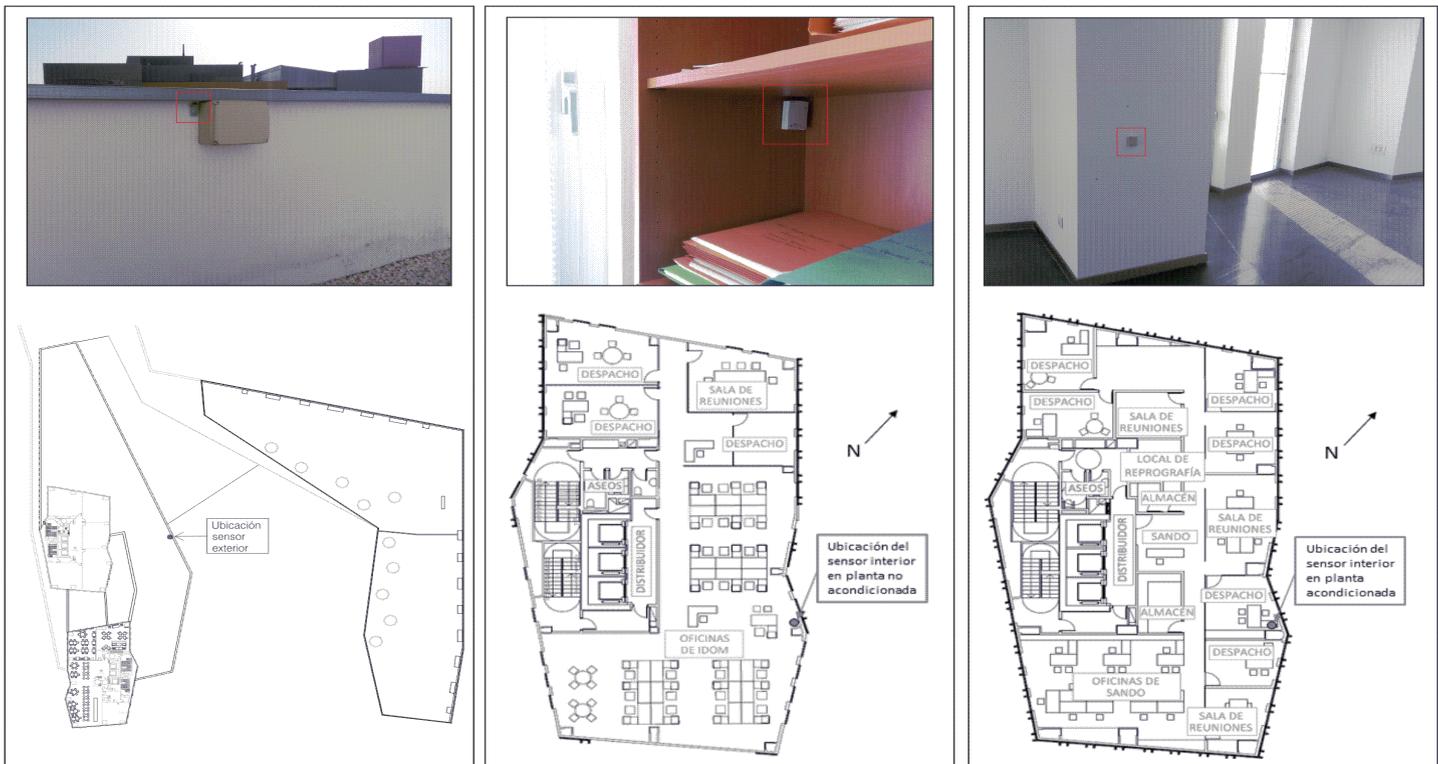


Figura 3. Sensor exterior (izquierda), interior en planta acondicionada (centro) y no acondicionada (derecha). Fuente: Elaboración los autores.

revestimiento interior con panel de yeso laminado, tiene una transmitancia térmica de $0.76 \text{ W/m}^2\text{K}$; las ventanas tienen vidrios $6+12+6$, de $2.82 \text{ W/m}^2\text{K}$ y con marcos de aluminio de $4.72 \text{ W/m}^2\text{K}$. El horario de trabajo es de 9:00 a 14:00 y de 16:00 a 19:00, durante el cual las instalaciones permanecen en funcionamiento, y las temperaturas de consigna de calefacción y refrigeración son, respectivamente, 23°C y 25°C . Las cargas internas para la planta ocupada son constantes durante todo el horario de funcionamiento, siendo éstas: iluminación $16,00 \text{ W/m}^2$, ocupación $6,00 \text{ W/m}^2$ y equipamiento $4,5 \text{ W/m}^2$. El sistema de climatización es un sistema VRV, con valores de EER y COP de 4.42 y 4.95, respectivamente.

TRABAJO DE CAMPO

En esa fase se llevó a cabo la monitorización de las temperaturas horarias del edificio, desde el día 29/11/2016 al 20/06/2017, con un total de 14616 registros. Estas temperaturas fueron recogidas por sensores térmicos, colocados en el exterior y en el interior en plantas acondicionada y no acondicionada (no ocupada) (Figura 3). Para conocer la sensación térmica de los ocupantes, se llevó a cabo una encuesta de confort térmico, tomando como base el modelo de encuesta de ASHRAE Standard

55-2013, realizado en sesiones en invierno, primavera y verano a través de Google Formularios, con un total de 27 encuestas realizadas. Además, se obtuvieron datos reales del consumo energético del edificio mediante facturas eléctricas proporcionadas por los ocupantes. Estos datos fueron recogidos para que, en la siguiente fase de validado, pudieran ser contrastados con los datos simulados, los cuales se obtuvieron de forma provisional para poder llevar a cabo el validado, y no en concepto de resultado de la simulación energética, que tiene lugar en la fase (4).

VALIDADO

El validado, que se muestra en la Tabla 1, en base a las temperaturas exterior e interior, se ha llevado a cabo siguiendo las recomendaciones de la norma ASHRAE Guideline 14-2014 (ANSI/ASHRAE), y habiendo comprobado que todos los errores quedan dentro de los márgenes establecidos por dicha normativa (Mean Bias Error (MBE) $< \pm 10\%$; Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error (CV(RMSE)) $< 30\%$). Además, en la misma tabla se muestran los resultados de la validación en base al PMV y al consumo energético anual.

	Temperatura	MBE	CV(RMSE)
	Temperatura	Exterior	7.40%
Interior acondicionada		-3.17%	8.71%
Interior no acondicionada		1.42%	8.99%
PMV	PMV	Medido	Simulado
	Invierno	-0.27	0.03
	Primavera	-0.09	0.35
	Verano	0.4	0.5
Consumo energético	Consumo energético	Medido (kWh/año)	Simulado (kWh/año)
	Año 2015	365,683	334,408
	Año 2016	356,086	

Tabla 1. Validación del modelo de simulación. Fuente: Elaboración los autores.

	Escenario	MAE	Refrigeración	Calefacción	Climatización				
	Demanda energética (kWh/m ² -año)	Presente	0	55,80	-	26,68	-	82,48	-
1			23,53	-58%	6,88	-74%	30,41	-63%	
2020		0	65,71	-	21,58	-	87,29	-	
		1	29,13	-56%	4,51	-79%	33,64	-61%	
2050		0	79,37	-	14,57	-	93,94	-	
		1	37,67	-53%	2,19	-85%	39,86	-58%	
2080		0	96,77	-	8,78	-	-	-	
		1	49,82	-49%	1,24	-86%	51,06	-52%	
Consumo energético (kWh/m ² -año)		Presente	0	15,01	-	3,02	-	18,03	-
			1	6,03	-60%	1,04	-66%	7,07	-61%
		2020	0	17,10	-	2,49	-	19,59	-
			1	7,25	-58%	0,73	-71%	7,98	-59%
	2050	0	20,26	-	1,71	-	21,97	-	
		1	9,27	-54%	0,42	-75%	9,69	-56%	
	2080	0	24,42	-	1,06	-	25,48	-	
		1	12,31	-50%	0,29	-73%	12,60	-51%	

Tabla 2. Resultados de la simulación energética. Fuente: Elaboración de los autores.

SIMULACIÓN

Las simulaciones se realizaron mediante el software Designbuilder, con motor de cálculo Energy Plus, efectuando cálculos horarios a lo largo del año. Con la finalidad de simular en los escenarios futuros, se llevó a cabo un proceso de *morphing* mediante el software CCWorldWeatherGen, desarrollado por Jentsch et al. (2013), en base a los estudios de Belcher, Hacker y Powell (2005). Este software transforma el archivo EPW presente, procedente del Departamento de Energía de los Estados Unidos, para proyecciones futuras del escenario de gases de efecto invernadero A2, estimado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) como "medium-high". El programa contempla la combinación de las pautas de predicción A2a, A2b y A2c del Met Office Hadley Centre Coupled Model 3, considerando los desvíos. Los datos de salida son 3 archivos EPW con los climas transformados para los años 2020, 2050 y 2080, bajo el escenario de emisiones A2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 y Figura 4, se grafican los resultados de demanda y consumo de refrigeración, calefacción y climatización (correspondiente a la suma aritmética de calefacción y refrigeración). En éstas se puede observar la Medida de Ahorro Energético 0 (MAE0), correspondiente al estado actual de edificio, con las temperaturas de consigna que utiliza actualmente, y la Medida de Ahorro Energético 1 (MAE1), tras establecer las temperaturas de consigna adaptativas. Se muestran en negativo los porcentajes de reducción respecto al valor de referencia y en positivo los porcentajes de incremento. Como se puede observar, con la aplicación de la MAE1 se consiguen reducciones significativas de demanda energética y el consecuente consumo, sin modificar más que la programación de los sistemas. En el presente, se dan las reducciones más drásticas, de 82,48 a 30,41 kWh/m²-año de demanda de climatización, que supone un ahorro del 63%. Éste va decreciendo, considerando el calentamiento global, hasta el 52% en 2080. El patrón en el consumo es algo menor debido a que los sistemas contemplados son algo más eficientes en calefacción que en refrigeración, siendo este último el consumo más acusado, con un aumento de la temperatura exterior.

REDUCCIÓN EN DEMANDA Y CONSUMO ENERGÉTICO

El estudio permitió observar, de igual modo, reducciones importantes en la demanda energética de la MAE1 frente a la MAE0 (Tabla 2, Figura 4), con valores de entre el 58% y 49% en refrigeración, y el 74% y 86% en calefacción, entre el presente y el año 2080. La reducción en la demanda de refrigeración decrece con el desarrollo de los escenarios, mientras que la reducción en la demanda de calefacción crece, puesto que es favorecida por el incremento de temperatura. Sin embargo, también se determina que el incremento en demanda de

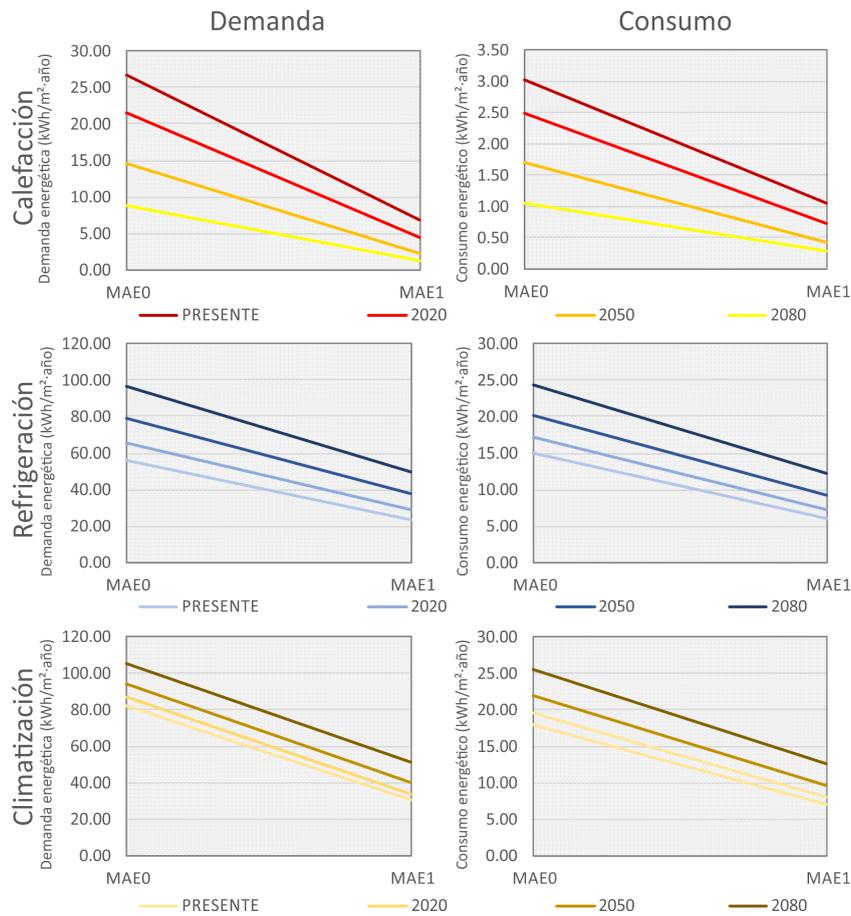


Figura 4. Resultados de la simulación energética. Fuente: Elaboración de los autores.

refrigeración es mayor que el decremento en demanda de calefacción, lo cual tiene como consecuencia que la reducción en la demanda total de climatización es menor a medida que se desarrollan los escenarios, oscilando entre el 63% y 52% entre la actualidad y 2080. Respecto a los valores de consumo, se puede apreciar que siguen una tendencia similar a los valores de demanda, fluctuando el consumo total de climatización de la MAE1 entre el 61% y 51%.

INCREMENTO EN LA DEMANDA POR EL CALENTAMIENTO GLOBAL

En la Figura 5 se exhibe la variación de la demanda energética de refrigeración, calefacción y total de climatización resultantes en el desarrollo de los escenarios climáticos, y las correspondientes líneas de tendencia. En la gráfica de demanda de refrigeración, la MAE1 tiene una pendiente más suave que la MAE0 y en la gráfica de demanda de calefacción, el decremento de la MAE1 es igualmente más suave. Dichas tendencias de la MAE0 se contrarrestan en la demanda total de climatización, haciendo que sea prácticamente paralela a la de la MAE1, por lo que, de forma global, se aprecia que el incremento de temperaturas podría tener un efecto similar en las tendencias de ambas MAEs, aunque la MAE1 permanece alrededor de 2 kWh/m²·año por debajo.

Sin embargo, este efecto no es proporcional, ya que las MAEs tienen distintos porcentajes de variación en el desarrollo de los escenarios climáticos. Mientras que la demanda de refrigeración en la MAE0 se incrementa entre el 18% y 73%, en la MAE1 lo hace entre el 24% y 112%, para los años 2020 y 2080, respectivamente. En el caso de la demanda de calefacción, en la MAE0 decrece del 19% al 67%, mientras que en la MAE1, del 34% al 82%. Se puede constatar que la demanda total de climatización incrementa en la MAE0 entre el 6% y 28%, mientras que en la MAE1, entre el 11% y 68%, por lo que la MAE1 tiene un incremento mayor respecto del escenario presente que la MAE0. Por consiguiente, la influencia del cambio climático tiene un efecto mayor en la MAE1, como cabe esperar en un sistema basado en la adaptación; aun así esta propuesta siempre brinda una reducción significativa en la demanda en todos los escenarios temporales con respecto al MAE0.

NIVELES DE CONFORT TÉRMICO

En el análisis de confort de la MAE1, es necesario tener en cuenta que la demanda y consumo energético adaptativo implica la variación del modelo de confort adaptativo de EN 15251, por lo que es posible que dicha aplicabilidad quede desvirtuada de su concepto original, basado en

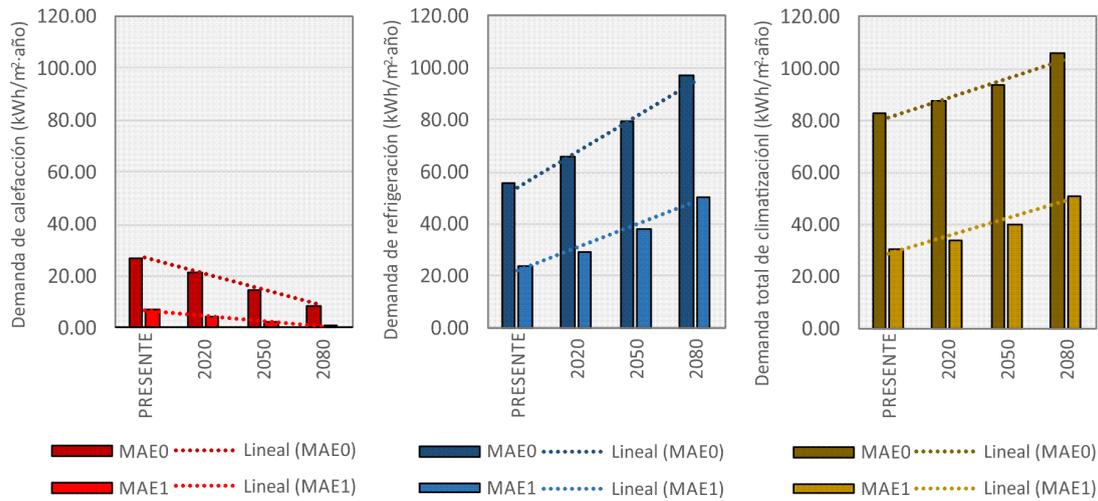


Figura 5. Variación en demanda en el desarrollo de los escenarios. Fuente: Elaboración de los autores.

que por encima de dichos límites de aplicabilidad, el ser humano sentirá malestar térmico, y al no tener en consideración los valores de la temperatura interior, se asume que no serán aceptables para el confort humano, ya que el edificio tiene ventilación natural y, por lo tanto, una estrecha relación con el ambiente exterior. Es necesario recalcar que dicho malestar térmico corresponde a las horas en las que la temperatura operativa quedaría fuera de la zona de confort de la norma EN15251, y no al porcentaje predictivo de insatisfechos (PPD), concepto perteneciente al modelo de confort basado en el PMV, desarrollado por Fanger. No obstante, en el cálculo del consumo energético adaptativo se activan los sistemas de climatización, y, por ende, en determinadas circunstancias, se rompe la relación con el ambiente exterior. Por ello, se han calculado los porcentajes de confort sin considerar los límites de aplicabilidad y, consecuentemente, con la única condición de que la temperatura operativa interior esté dentro de los límites de confort (Tabla 4).

Las reducciones en la demanda y consumo energético mostradas con anterioridad no han sido logradas en base al perjuicio del confort térmico, ya que se observa que prácticamente todas las horas quedan dentro de la zona de confort, siendo el mínimo un 94%.

El análisis de confort se ha realizado con valores de temperatura horarios, extraídos de los resultados de la simulación de DesignBuilder. Estas temperaturas horarias son calculadas realizando el promedio de cada simulación en cada intervalo de tiempo, es decir, en nuestro caso, cada seis minutos. De esta forma, y teniendo en cuenta que el programa necesita tres iteraciones para alcanzar la temperatura de consigna, la temperatura de la primera hora tras activar los sistemas de acondicionamiento no queda dentro de la zona de confort, porque la temperatura operativa interior promedio durante dicha hora excede ligeramente el límite de confort adaptativo. Esta es la causa de que haya algunas horas de malestar térmico en

MAE	Demanda	Incremento o decremento respecto presente		
		2020	2050	2080
MAE0	Refrigeración	18%	42%	73%
	Calefacción	-19%	-45%	-67%
	Climatización	6%	14%	28%
MAE1	Refrigeración	24%	60%	112%
	Calefacción	-34%	-68%	-82%
	Climatización	11%	31%	68%

Tabla 3. Porcentajes de incremento o decremento de demanda respecto del presente. Fuente: Elaboración de los autores.

	Horas por encima, dentro, o por debajo de la zona de confort	MAE1	
		Horas	%
Presente	Por encima	3.00	0.14%
	Dentro	2,077.00	99.86%
	Por debajo	0.00	0.00%
2020	Por encima	29.00	1.39%
	Dentro	2,051.00	98.61%
	Por debajo	0.00	0.00%
2050	Por encima	49.00	2.36%
	Dentro	2,031.00	97.64%
	Por debajo	0.00	0.00%
2080	Por encima	125.00	6.01%
	Dentro	1,955.00	93.99%
	Por debajo	0.00	0.00%

Tabla 4. Niveles de bienestar y malestar térmico en el desarrollo de los escenarios en la MAE1. Fuente: Elaboración de los autores.

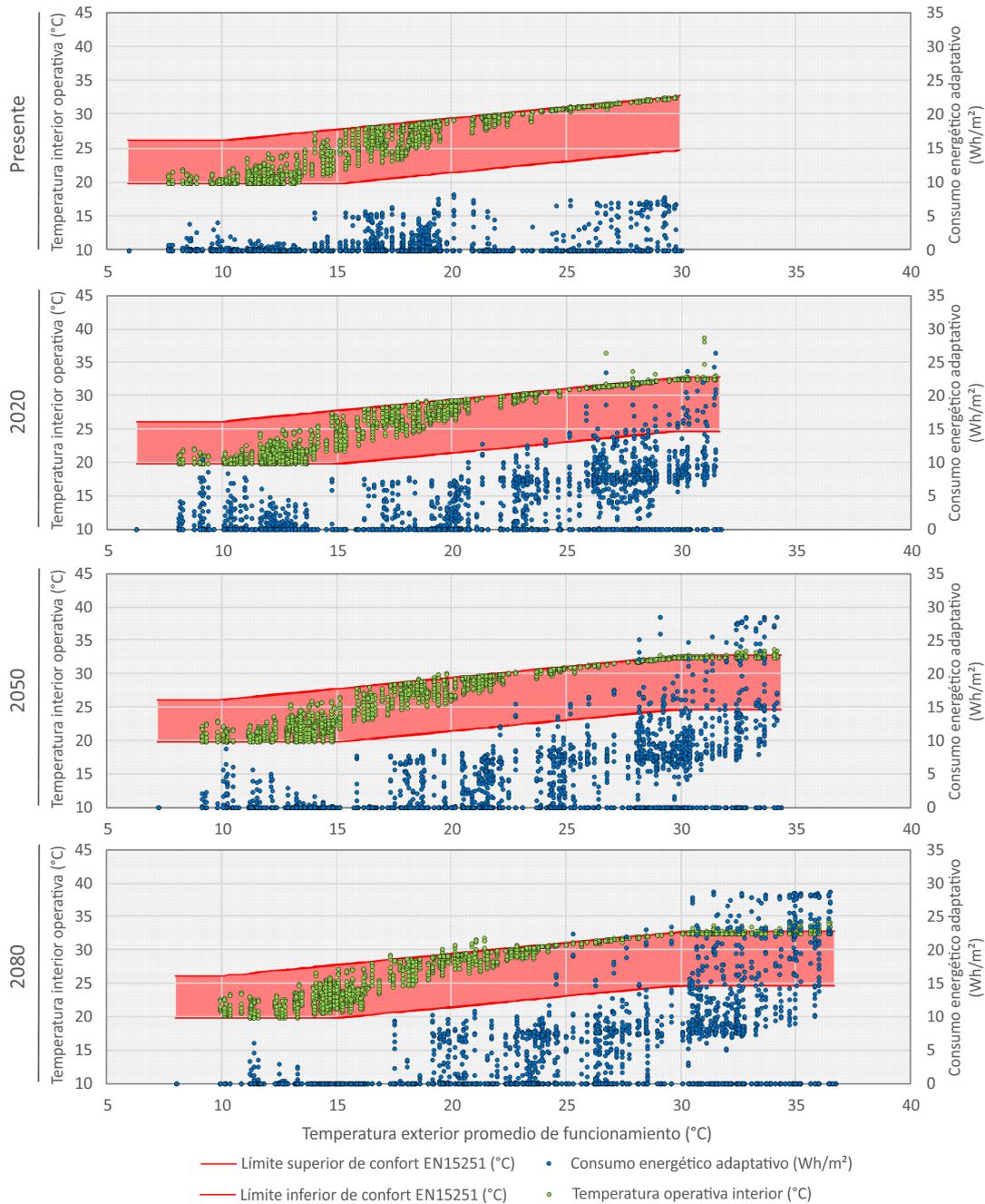


Figura 6. Dispersión de puntos de temperatura y demanda en el desarrollo de los escenarios en la MAE1.
 Fuente: Elaboración de los autores.

el análisis de confort, que realmente representan escasos minutos, por lo que el balance de malestar térmico debería ser mucho menor.

Dichos porcentajes de confort se corroboran al observar que la mayoría de las temperaturas horarias (puntos verdes) quedan dentro de los límites de confort (Figura 6). En la misma figura, se expresan además los valores horarios de consumo energético adaptativo (puntos azules), ambos representados sobre la temperatura exterior promedio de funcionamiento, por lo que existe una correlación

entre ellos. Toda aquella temperatura operativa interior sin medios mecánicos que excede los límites de confort, genera un valor horario de consumo energético adaptativo.

Con todo, se reconoce que, en todos los escenarios climáticos, en torno a los 15°C de temperatura exterior promedio de funcionamiento, existen valores de temperaturas sin sus valores correlativos de consumo adaptativo. Este es el punto de inflexión entre la demanda de calefacción, a la izquierda, y la demanda de refrigeración, a la derecha. Esto se debe a que la temperatura operativa

interior permanece dentro de los límites sin medios de acondicionamiento y, por tanto, no se generan los correspondientes valores de consumo adaptativo.

Por otra parte, con el desarrollo de los escenarios climáticos, la nube de puntos correspondientes al consumo de calefacción y refrigeración, respectivamente, decrece y crece en densidad y valor, debido al efecto del calentamiento global.

CONCLUSIONES

En la investigación aquí presentada se ha estudiado la cuantificación de la demanda y el consumo energético debido al establecimiento de temperaturas de consigna adaptativas, así como de los niveles de confort térmico adaptativo correspondientes a dicha reducción y su potencialidad en escenarios simulados para los años 2020, 2050 y 2080, en el contexto del cambio climático. En ese sentido, los resultados que se proporcionan de reducción de la demanda y consumo son orientativos para edificios que cumplan el CTE en el clima del arco mediterráneo. La metodología es extrapolable a cualquier edificio en cualquier clima, contemplando, desde luego, las respectivas variaciones de temperatura exterior y operativa interior, los límites de confort adaptativos y, por lo tanto, el consumo y la demanda adaptativa. Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, se puede destacar las siguientes conclusiones:

-La MAE1 estudiada permite reducir la demanda y consumo total de climatización entre un 63% y 52% y 61% y 51%, respectivamente, dependiendo del escenario climático analizado, únicamente con el ajuste diario de las temperaturas de consigna de los sistemas de acondicionamiento, el cual puede ser llevado a cabo de forma manual por personal de mantenimiento o los propios ocupantes. Esta medida de ahorro energético solo tiene efecto en el control de las instalaciones existentes, por lo que no supone coste alguno.

- El incremento de temperatura provocado por el cambio climático tiene un efecto similar en la demanda total de climatización en la MAE0 y en la MAE1, haciendo que las líneas de tendencia sean prácticamente paralelas, aunque la MAE1 permanece alrededor de 2000 Wh/m²·año por debajo. Si se observa pormenorizadamente dicha demanda de climatización, se puede advertir que la demanda de calefacción decrece y que, por el contrario, la demanda de refrigeración se incrementa.

- Las reducciones en la demanda y consumo no se han logrado en detrimento del confort térmico, puesto que, en cualquier escenario o MAE, más de un 90% de las horas de funcionamiento del edificio están en zona de confort y, como se ha comentado antes, el porcentaje restante corresponde en parte a promedios de la simulación. Se ha comprobado que, en la totalidad de los escenarios climáticos, los sistemas de acondicionamiento

se activan en el horario de trabajo, aunque no alcancen instantáneamente la temperatura de consigna. Esto provoca que existan algunas horas de malestar térmico, en las que los sistemas se van ajustando a las consignas, que realmente representan escasos minutos. Por ello, el balance de malestar térmico debería ser mucho menor.

No obstante, existen limitaciones respecto al confort térmico adaptativo, ya que al ser este un modelo estadístico estandarizado carece de las particularidades de adaptabilidad propias de las personas y los contextos geográficos, culturales y socioeconómicos concretos. Además de estos contextos y entendimientos del medio, se plantea como una gran incertidumbre la adaptabilidad de las personas a las temperaturas en escenarios venideros, que bien puede variar debido a múltiples factores. La última edición de la norma EN 15251 data del año 2007, por lo que su aplicación es vigente en el escenario actual, pero se desconoce la adaptabilidad del ser humano a las temperaturas futuras, especialmente en los años 2050 y 2080. De este modo, los diferentes modelos de confort deben ser renovados y revisados en próximas investigaciones y marcos normativos, con el objeto de ser conscientes con los requerimientos energéticos en base a la adaptación climática de los usuarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSI/ASHRAE. *ASHRAE Guideline 14-2014: Measurement of Energy, Demand, and Water Savings*, 2014.
- ASHRAE. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ANSI/ASHRAE Standard 55-2013*, 2013.
- BELCHER, Stephen; HACKER, Jacob y POWELL, Diana. Constructing design weather data for future climates. *Building Services Engineering Research and Technology* [en línea], 2005, vol. 1, pp. 49–61. DOI: 10.1191/0143624405bt112oa.
- CEN. *EN 15251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings-addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. Brussels: European Committee for Standardization, 2007.
- EUROPEAN COMMISSION. *20 20 by 2020 - Europe's climate change opportunity* [en línea]. Brussels, 2008. [Consultado 20 octubre 2017]. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52008DC0030&from=EN>.
- EUROPEAN COMMISSION. *A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030*. Brussels, 2014.
- FANGER, Povi Ole. *Thermal Comfort*. New York: McGraw Hill, 1970.
- GOBIERNO DE ESPAÑA. *Royal Decree 314/2006 approving the Technical Building Code (Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*. Madrid, España: Imprenta Nacional del Boletín Oficial del Estado, 2006.

GOBIERNO DE ESPAÑA. *Royal Decree 1027/2007 approving the Spanish Thermal Building Regulations (Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios)*. Madrid, España: Imprenta Nacional del Boletín Oficial del Estado, 2007.

HOYT, Tyler; ARENS, Edward y ZHANG, Hui. Extending air temperature setpoints: Simulated energy savings and design considerations for new and retrofit buildings. *Building and Environment* [en línea], 2014, n.º 88, pp. 89–96. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.09.010.

ISO. *ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Geneve: International Organization for Standardization, 2005.

ISSO. *ISSO-publicatie 74: Thermische Behaaglijkheid; eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen*, Rotterdam: ISSO, 2004.

JENTSCH, Mark; JAMES, Patrick; BOURIKAS, Leonidas y BAHAJ, AbuBakr. Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates. *Renewable Energy* [en línea], 2013, vol. 55, pp. 514–524. DOI: 10.1016/j.renene.2012.12.049.

KRAMER, Rick; MAAS, Marco; MARTENS, Marco; VAN SCHIJNDEL, Jos y SCHELLEN, Henk. Energy conservation in museums using different setpoint strategies: A case study for a state-of-the-art museum using building simulations. *Applied Energy* [en línea], 2015, vol. 158, pp. 446–458. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.08.044.

LUCON, Oswaldo; ÜRGE-VORSATZ, Diana; ZAIN AHMED, Azni; AKBARI, Hashem; BERTOLDI, Paolo; CABEZA, Luisa; EYRE, Nicholas; GADGIL, Ashok; HARVEY, Danny; JIANG, Yi; LIPHOTO, Enoch; MIRASGEDIS, Sevastianos; MURAKAMI, Shuzo; PARIKH, Jyoti; PYKE, Christopher y VILARIÑO, Maria Virginia. Buildings. En: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [en línea]. Brussels: European Commission, 2014, pp. 1–66. DOI: 10.2753/JES1097-203X330403.

MCCARTNEY, Kathryn y NICOL, Fergus. Developing an adaptive control algorithm for Europe. *Energy and Buildings*, 2002, vol. 34, pp. 623–635.

RUBIO-BELLIDO, Carlos; PÉREZ-FARGALLO, Alexis y PULIDO-ARCAS, Jesús Alberto. Optimization of annual energy demand in office buildings under the influence of climate change in Chile. *Energy* [en línea], 2016, vol. 114, pp. 569–585. DOI: 10.1016/j.energy.2016.08.021.

RUBIO-BELLIDO, Carlos; PULIDO-ARCAS, Jesús Alberto y URETAGRAGERA, María. Aplicabilidad de estrategias genéricas de diseño pasivo en edificaciones bajo la influencia del cambio climático en Concepción y Santiago, Chile. *Hábitat Sustentable*, 2015, vol. 5 n.º 2, pp. 32–41.

SÁNCHEZ-GARCÍA, Daniel; RUBIO-BELLIDO, Carlos; GUEVARA-GARCÍA, Francisco Javier y CANIVELL, Jacinto. The influence of climate change in extant dwellings through adaptive comfort point of view. En: *Proceedings of the 3rd International Congress on Sustainable Construction and Eco-Efficient Solutions*. Sevilla: Universidad de Sevilla, 2017, pp. 532–544.

SÁNCHEZ-GARCÍA, Daniel; SÁNCHEZ-GUEVARA, Carmen y RUBIO-BELLIDO, Carlos. El enfoque adaptativo del confort térmico en Sevilla = The adaptive approach to thermal comfort in Seville. *Anales de Edificación* [en línea], 2016, vol. 2 n.º 1, p. 38–48. DOI: 10.20868/ade.2016.3197.

SÁNCHEZ-GUEVARA, Carmen; MAVROGIANNI, Anna y NEILA GONZÁLEZ, Francisco Javier. On the minimal thermal habitability conditions in low income dwellings in Spain for a new definition of fuel poverty. *Building and Environment* [en línea], 2016, vol. 114, pp. 344–356. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.12.029.

SPYROPOULOS, Giorgios y BALARAS, Constantinos. Energy consumption and the potential of energy savings in Hellenic office buildings used as bank branches - A case study', *Energy and Buildings* [en línea], 2011, vol. 43, n.º 4, pp. 770–778. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.12.015.

TUMINI, Irina y RUBIO-BELLIDO, Carlos. Measuring Climate Change Impact on Urban Microclimate: A Case Study of Concepción. *Procedia Engineering* [en línea], 2016, vol. 161, pp. 2290–2296. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.830.

VAN DER LINDEN, Kees; BOERSTRA, Atze; RAUE, Arjen; KURVERS, Stanley y DE DEAR, Richard. Adaptive temperature limits: A new guideline in the Netherlands: A new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate. *Energy and Buildings* [en línea], 2006, vol. 38, n.º 1, pp. 8–17. DOI: 10.1016/j.enbuild.2005.02.008.



EVALUACIÓN TÉRMICA DEL MATERIAL ISOBLOCK EN EL CLIMA CÁLIDO SECO DE CIUDAD JUÁREZ, MÉXICO

A THERMAL EVALUATION OF THE ISOBLOCK MATERIAL IN THE WARM, DRY CLIMATE OF CIUDAD JUÁREZ, MEXICO

LUIS CARLOS HERRERA SOSA
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez,
Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte
Juárez, México
carlos.herrera@uacj.mx

RESUMEN

Para que las viviendas mejoren su comportamiento térmico y disminuyan el consumo energético, producto del uso excesivo de sistemas de climatización convencional, las Normas de Eficiencia Energética de México establecen un factor de Resistencia Térmica ("R") mínima de acuerdo con cada región climática del país. Este documento presenta las conclusiones del trabajo de investigación térmica del material denominado Isoblock, que consiste en un block de concreto con aislamiento en su interior, que cumple satisfactoriamente con el factor "R" solicitado por la normativa. La investigación busca demostrar que es necesario que la normativa citada contemple la masa térmica de los materiales dentro de los parámetros térmicos a considerar. Desde ese enfoque, la metodología consistió en comparar el Isoblock con un block de concreto convencional en dos módulos de iguales características durante las temporadas climáticas extremas en Ciudad Juárez, Chihuahua. Por último, se simuló térmicamente con el software Design Builder V4.5 y se correlacionaron los resultados para su validación. A partir de dichos resultados se simuló el módulo de Isoblock con mayor cantidad de masa térmica sin variar su espesor, para medir su impacto en la temperatura interior. Los datos obtenidos demuestran que un material con un mismo factor "R" puede alcanzar temperaturas del aire interior más confortables, en temporadas extremas

Palabras clave

masa térmica, Isoblock, resistencia térmica

ABSTRACT

In order for dwellings to improve their thermal behavior and reduce energy consumption due to the excessive use of conventional air heating and cooling systems, the Mexican Energy Efficiency Standards establish a minimum thermal resistance factor ("R") according to each climatic region of the country. This article presents the conclusions of thermal research on the material known as Isoblock, which: consists of a concrete block with insulation inside and satisfactorily meets the "R" factor required by the regulations. The study seeks to demonstrate the necessity of taking the thermal mass of materials into consideration within the thermal parameters in the aforementioned regulations. From that approach, the methodology consisted in comparing the Isoblock with a conventional concrete block in two modules with the same characteristics during the extreme seasons in Ciudad Juárez, Chihuahua. Lastly, a simulation was carried out using Design Builder V4.5 software and the results were correlated for validation. With these results, the Isoblock module was simulated with a greater amount of thermal mass without varying its thickness, to measure its impact on the interior temperature. The results obtained demonstrate that a material with the same "R" factor can produce more comfortable indoor air temperatures in extreme seasons

Keywords

thermal mass, Isoblock, thermal resistance

	Techos			Muros			Entrepisos ventilados		
	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de energía
1	1.40	2.10	2.65	1.00	1.10	1.40	NA	NA	NA
3A	1.40	2.30	2.80	1.00	1.23	1.80	0.90	1.40	1.60
4A	1.40	2.65	3.20	1.00	1.80	2.10	1.10	1.80	1.90

Tabla 1. Factor “R” requerido por zona climática. Elaboración del autor en base a la NMX-C-460-ONNCCE-2009.
 *unidades en m2 K/ W

INTRODUCCIÓN

A través de diferentes instituciones, México ha establecido normas de ahorro energético para las edificaciones que buscan la mitigación de los efectos del cambio climático y que promueven la sostenibilidad. Estas normas son producto de los compromisos adquiridos desde 1992 ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y fueron ratificadas ante la Organización de las Naciones Unidas en 1993. Hay considerar además, en este contexto, los acuerdos generados por el protocolo de Kioto, que entró en vigor el 16 de febrero de 2005 para las naciones que lo ratificaron, entre ellas México, que lo hizo en el año 2000 (SEMARNAT, 2016).

Se estima que en México el sector de vivienda emitió 75 millones de toneladas de CO₂ sólo en el año 2006, lo que correspondió el 12% de las emisiones de este gas de efecto invernadero en el país (Comisión Nacional de Vivienda, 2010: 17). Asimismo, este sector representó el 16.2% del consumo total de energía en el país (Fundación IDEA A.C., 2013: 28). Ahora bien, en el caso de la vivienda, hasta el año 2000 no se contaba con ninguna directriz de sostenibilidad o de eficiencia energética.

Desde el año 2001, México, a través de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONNUE) de la Secretaría de Energía, ha emitido Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de eficiencia energética (NOM-ENER). Estas son formuladas por el comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso racional de los Recursos Energéticos (Vallejo, 2014: 46). En este marco, que establece especificaciones técnicas de aplicación obligatoria, se encuentran la NOM-020-ENER-2011 Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios para uso habitacional, y la NORMA MEXICANA NMX-C-460-ONNCCE-2009.

Tales normativas tienen como objetivo limitar las ganancias de calor de los edificios residenciales a través de su envolvente con el fin de racionalizar el uso de energía en los sistemas de enfriamiento (Normas Oficiales Mexicanas, 2015).



Figura 1. ISOBLOCK. Fuente: Grupo Cementos de Chihuahua, 2016.

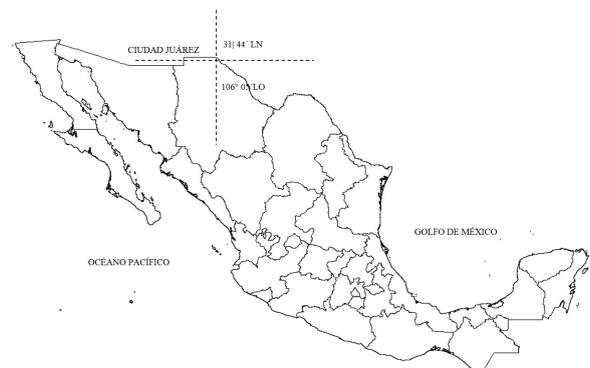


Figura 2. Localización Ciudad Juárez. Fuente. Elaboración del autor en base mapa de INEGI.

Ambas normas establecen un factor de Resistencia Térmica (“R”) mínima de acuerdo a la zona térmica del país, para cada uno de los componentes de la envolvente en contacto con el exterior. El estado de Chihuahua contiene las zonas térmicas 1, 3A y 4A y, específicamente, Ciudad Juárez se localiza en la zona térmica 1 (ver Tabla 1).

Por ese motivo los constructores y desarrolladores de vivienda en Chihuahua han estado realizando diversas búsquedas de materiales que permitan cumplir con lo requerido. En ese sentido, el Grupo Cementos de

Chihuahua, empresa líder en Chihuahua en la producción de cemento y concreto, ha elaborado un material denominado ISOBLOCK, el cual consiste en un bloque de concreto de 12 o 15cm de espesor, 19.4cm de alto y 39.6cm de largo, que contiene en su centro 4.5 o 6.8cm de aislamiento con poliestireno expandido de alta densidad, y a ambos lados concreto de 3.75 o 4.10cm, respectivamente (ver Figura 1).

La resistencia térmica del Isoblock de 12cm de espesor es de 1.4147 m² K/ W y la del de 15cm de espesor es de 1.9005 m² K/ W. Ambos valores se encuentran por encima del mínimo requerido en muros de las zonas térmicas del estado de Chihuahua.

No obstante que cumplen con lo solicitado en las normas, estas no contemplan el efecto que tiene la inercia térmica (masa térmica) del concreto al interior de la edificación, el cual, por su calor específico volumétrico, es capaz de ampliar, de acuerdo al espesor del concreto, el desfase o tiempo de retraso y el amortiguamiento del material.

OBJETIVOS

El objetivo de este estudio es evaluar el impacto que tiene el uso del Isoblock en muros, en la temperatura del aire interior de un espacio y, más concretamente, evaluar el impacto de diferentes espesores de concreto en contacto con el interior del Isoblock en la temperatura interior de un espacio.

METODOLOGÍA

El proyecto de investigación se realizó en las instalaciones del Grupo Cementos de Chihuahua (GCC), ubicadas en Ciudad Juárez, Chihuahua; ubicación escogida por sus condiciones climáticas extremas en las temporadas de invierno y verano.

Ciudad Juárez se localiza al norte del Estado de Chihuahua en México, frontera con la Ciudad de El Paso, Texas en Estados Unidos. Delimita al norte con el Río Bravo, al poniente, con una sierra montañosa y al sur, con una extensión desértica de arenales. Sus coordenadas geográficas son 31° 44' latitud norte, 106° 05' longitud oeste y 1835msnm (ver Figura 2).

La ciudad se caracteriza por ser una zona semidesértica con un clima cálido seco extremoso, de veranos muy calurosos, que presentan temperaturas máximas extremas de hasta 46°C, e inviernos muy fríos, con temperaturas mínimas extremas de -27°C (Comisión Nacional del Agua, 2016). El promedio anual de humedad relativa es de 46%, con humedades mínimas de 29% y máximas de hasta 80%, en enero.

Con propósitos comparativos, se determinó la zona de confort para Ciudad Juárez de acuerdo a ANSI/ASHRAE Standard 55-2010, para verano e invierno, con el promedio de temperaturas medidas en campo durante el periodo de registro de datos:

$$T_n = 17.8 + 0.31 \cdot (T_{amb})$$



Figura 3a y 3b. Módulos de Isoblock y Block de concreto convencional. Fuente. Fotografías tomadas por el autor.

Donde:

T_n = Temperatura neutral

T_{amb} = Temperatura ambiente promedio

El resultado para la temporada de invierno fue de una temperatura neutral de 24.03°C, con un límite superior de 26.53°C y uno inferior de 21.53°C. Para la temporada de verano la temperatura neutral fue de 26.94°C, con un límite superior de 29.44°C y un límite inferior de 24.44°C.

El proyecto de investigación se desarrolló en tres etapas:

En la primera etapa se monitorearon en campo dos módulos durante una semana, tanto en la temporada de invierno o fría (febrero) como en la temporada de verano o caliente (junio). Ambos módulos se construyeron de 1mx1mx1m con espesores de muro de 15cms orientados a cada uno de los puntos cardinales. Uno de los módulos se edificó con muros a base de Isoblock y el otro con block de concreto hueco convencional (ver Figuras 3a y 3b).



Figura 4a y 4b. Módulos de investigación. Fuente: Fotografías tomadas por el autor.

En la cubierta y en la parte en contacto con el piso se colocaron dos placas de aislante de polisocianurato de una pulgada de espesor cada una (ver Figuras 4a y 4b).

Las ganancias solares de los módulos se consideran a través de la temperatura del aire interior, pues al estar constituidos sin vanos el aporte se considera como ganancia solar por conducción con temperatura sol aire. Las ganancias internas no se consideran debido a que los módulos no están habitados para evitar variables durante el proceso de investigación.

En los módulos se colocaron sensores tipo Hobo U12 marca Onset para el registro de la temperatura del aire interior, humedad relativa y la temperatura superficial (temperatura de cable) del muro norte, cada 15 minutos. También se instaló un sensor de temperatura y humedad relativa tipo Hobo 008 marca Onset en el exterior. Estos *data loggers* cumplen con los requisitos de la ISO 7726:1998, Clase I (ver Figuras 5a y 5b).

En la segunda etapa se realizaron simulaciones térmicas con el software Design Builder V4.5.

Al igual que en la etapa de campo, las simulaciones térmicas se realizaron con dos módulos de iguales características, con el registro de temperatura interior del aire y la temperatura exterior.

En la tercera etapa se efectuaron correlaciones de los resultados de las dos primeras etapas para validar resultados. Esto permitió, por un lado, conocer los efectos finales y, por otro, llevar a cabo simulaciones para medir el efecto de la masa térmica del material Isoblock con diferentes espesores en contacto con el interior.

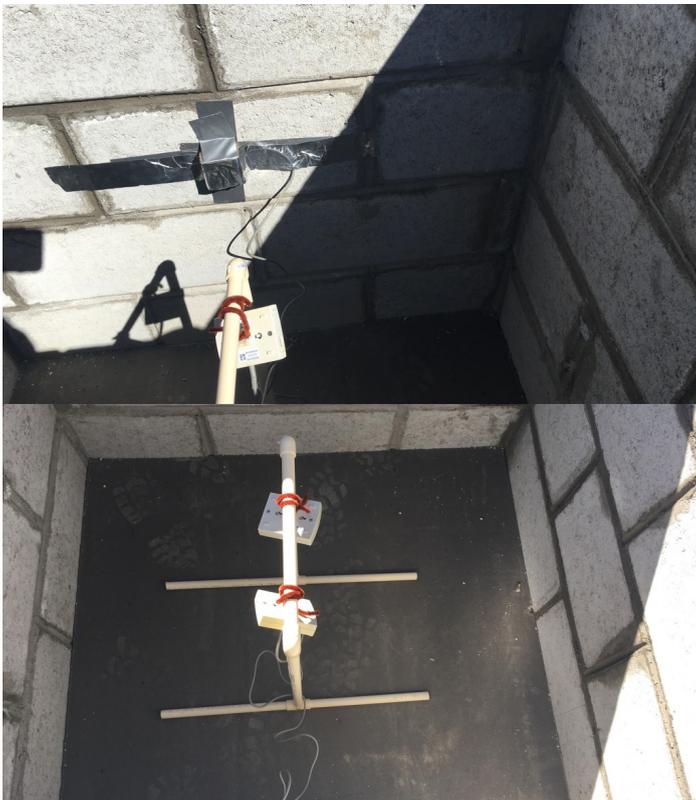


Figura 5a y 5b. Ubicación de *data loggers* tipo hobo. Fuente: Fotografías tomadas por el autor.

CASO DE ESTUDIO

Pese a que la idoneidad técnica del Isoblock determina un valor de resistencia térmica de 1.9005 m² K/ W, se acordó, para objetivos de esta investigación, realizar el cálculo del factor "R" como se establece en la NMX-C-460-ONNCCE-2009 (ver Figura 6).

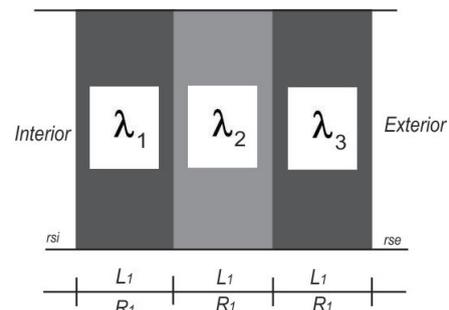


Figura 6. Cálculo de resistencia térmica. Fuente: Elaboración del autor en base a la NMX-C-460 ONNCE-2009.

	ISOBLOCK						
	EXTERIOR	INTERMEDIO	INTERIOR	FACTOR "R" m ² K/ W		FACTOR "U" W /m ²	
	CONCRETO	AISLANTE	CONCRETO	DESIGN BUILDER	460-ONNCCE	DESIGN BUILDER	460-ONNCCE
ORIGINAL	4.1	6.8	4.1	2.168	1.932	0.461	0.518
ANÁLISIS	0.0	6.8	8.2	2.168	1.932	0.461	0.518

Tabla 2. Comparativa de valores "R" del ISOBLOCK. Fuente: Elaboración del autor.

Donde:

$$R_t = r_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + r_{se} = \frac{1}{h_i} + \frac{L_1}{\lambda_2} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \frac{1}{h_e} \text{ m}^2 \text{ K/ W}$$

En base a ese mecanismo, el resultado del cálculo de factor R es de 1.932 M² K/W. La diferencia se debe a que no se consideran las juntas constructivas del material. Como se puede ver en la Tabla 2, el valor de "R" en el Isoblock es igual, independientemente de la ubicación del aislamiento.

Para la simulación térmica con Design Builder, se decidió alimentar el software para el cálculo de acuerdo a los datos de la conductividad térmica, densidad y calor específico que los proveedores del material facilitaron.

Para el módulo de block de concreto convencional, el factor R del material que se contempló fue de 1.11 m² K/W, que es el que establece los ejemplos de la NMX-C-460-ONNCCE-2009.

RESULTADOS

En la temporada de invierno, los resultados del estudio de campo arrojan que la temperatura del aire interior del módulo de Isoblock se encuentra un 62.02% dentro de la zona de confort, en tanto que el del módulo de block de concreto convencional sólo el 24.89%. La temperatura del aire exterior se encuentra 31.86% del tiempo dentro de la zona de confort, lo que indica mejores condiciones que el módulo de block (ver Figura 7).

En la temporada de verano, los resultados del estudio de campo revelan que la temperatura del aire interior del módulo de Isoblock nunca se encuentra dentro de la zona de confort, en tanto que el del módulo de Block de concreto convencional lo hace el 17.92%. La temperatura del aire exterior se encuentra 40.33% del tiempo dentro de la zona de confort, lo que indica mejores condiciones que el módulo de block e Isoblock en condiciones normales (ver Figura 8).

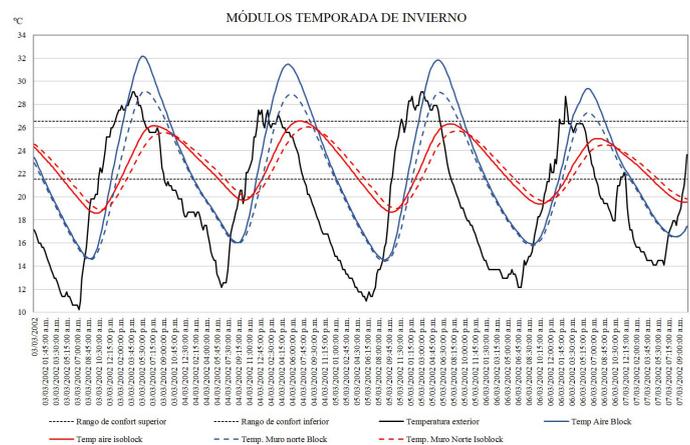


Figura 7. Resultados módulos de campo, temporada de invierno. Fuente: Elaboración del autor.

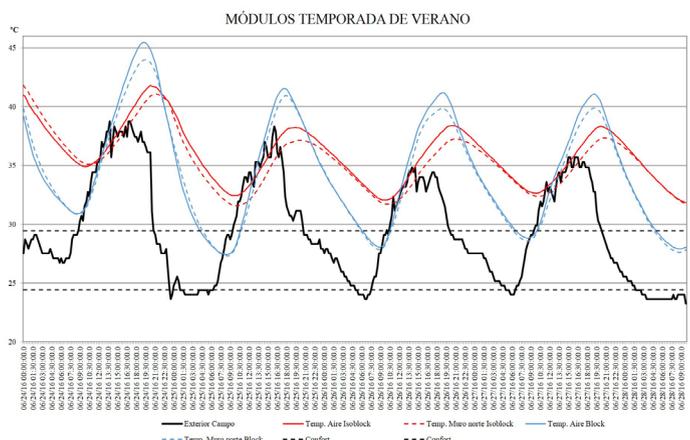


Figura 8. Resultados módulos de campo, temporada de verano. Fuente: Elaboración del autor.

	Exterior aire	Isoblock aire	Block aire	Block cable	Isoblock cable
Máxima	38.77	41.80	45.47	43.98	41.80
Promedio	29.47	35.94	34.53	34.18	35.42
Mínima	23.24	31.84	27.43	27.31	31.59
Oscilación	15.53	9.95	18.04	16.67	10.21

Tabla 3. Temperaturas del trabajo de campo. Temporada de verano. Fuente: Elaboración del autor.

La oscilación de temperatura del módulo de Isoblock es 44.84% menor en comparación con la oscilación del módulo de block. Incluso, la temperatura del cable en el muro norte del Isoblock presenta un 38.75% menos que el del block (ver Tabla 3), lo que demuestra la importancia de la resistencia térmica del material. No obstante, la diferencia de la oscilación térmica del aire indica que el efecto de la masa térmica mejora la eficiencia del muro.

Al obtener los resultados del comportamiento térmico del Isoblock en ambas temporadas y comprobar, en el periodo de verano, que hay un efecto de la masa térmica a considerar, se procedió a hacer simulaciones térmicas con la finalidad de evaluar en otras circunstancias los módulos. Para ello, lo primero que se hizo fue comparar las temperaturas exteriores registradas en campo con las que el software de Design Builder establece.

En ambas temporadas se puede observar un comportamiento similar en las gráficas. En la temporada de invierno, se aprecia que las temperaturas del Design Builder son menores en 7°C en promedio, durante todo el periodo de registro. En tanto, en la temporada de verano las diferencias son de 0.5°C en promedio (ver Figuras 9 y 10).

Para corroborar si lo evidenciado en la gráfica es factible de utilizar en las simulaciones, se procedió a aplicar una correlación de Pearson con los datos obtenidos registrados en el exterior y Design Builder en ambas temporadas de estudio.

En invierno, la correlación indica una R^2 de 0.8163, que significa una correlación de $R=0.903$, lo cual se considera como una correlación positiva muy alta (ver Figura 11).

En verano, la correlación señala una R^2 de 0.81202, que representa una correlación de $R=0.901$, lo cual se considera, nuevamente, como una correlación positiva muy alta (ver Figura 12).

Los resultados de la simulación térmica con el software Design Builder en el periodo invernal indican que la temperatura del aire de los módulos está por debajo de la zona de confort. Y aunque en el estudio de campo los resultados del Isoblock sí se encontraban en la zona de confort, es necesario recordar que la diferencia de temperatura de los datos medidos con los del software tiene una diferencia de hasta 8°C menos, en el software (ver Figura 13).

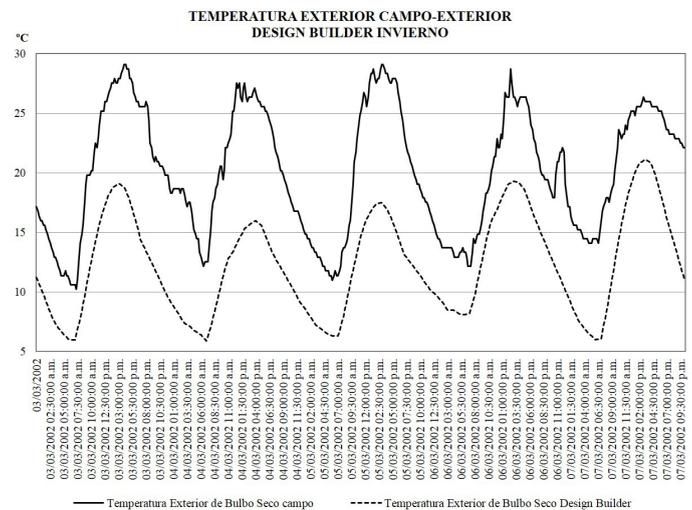


Figura 9. Comparación de temperaturas de invierno del exterior en campo y exterior Design Builder. Fuente: Elaboración del autor.

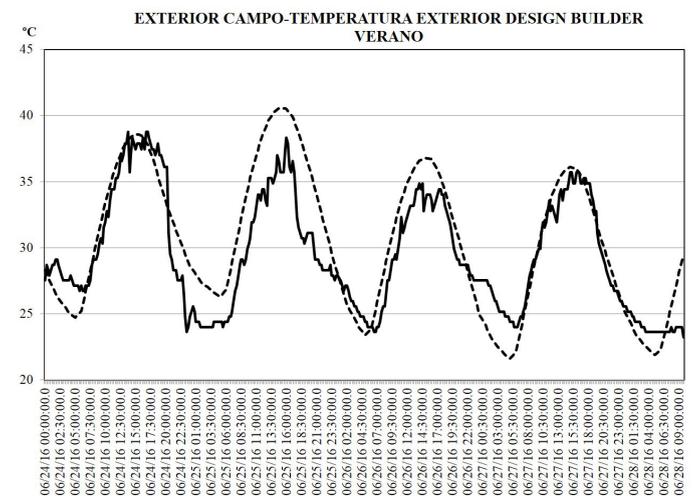


Figura 10. Comparación de temperaturas exterior de verano en campo y exterior Design Builder. Fuente: Elaboración del autor.

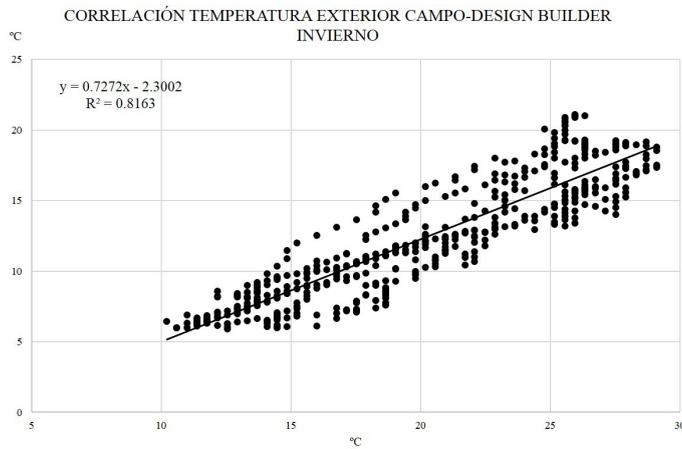


Figura 11. Correlación de Pearson de la temporada de invierno. Fuente: Elaboración del autor.

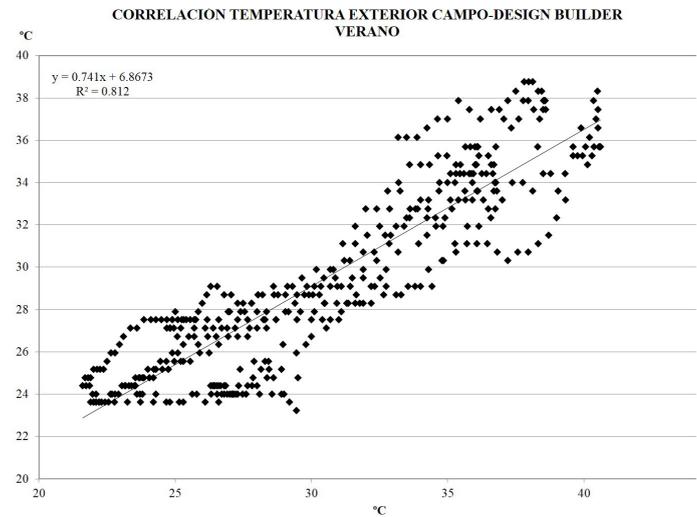


Figura 12. Correlación de Pearson de la temporada de verano. Fuente: Elaboración del autor.

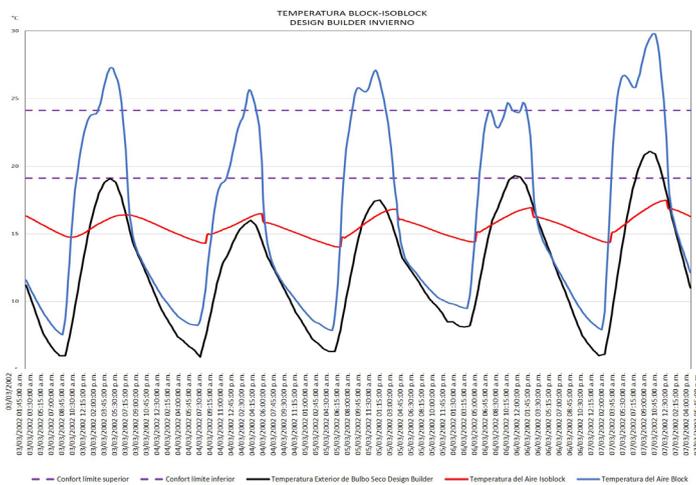


Figura 13. Resultados de la simulación térmica, temporada de invierno. Fuente: Elaboración del autor.

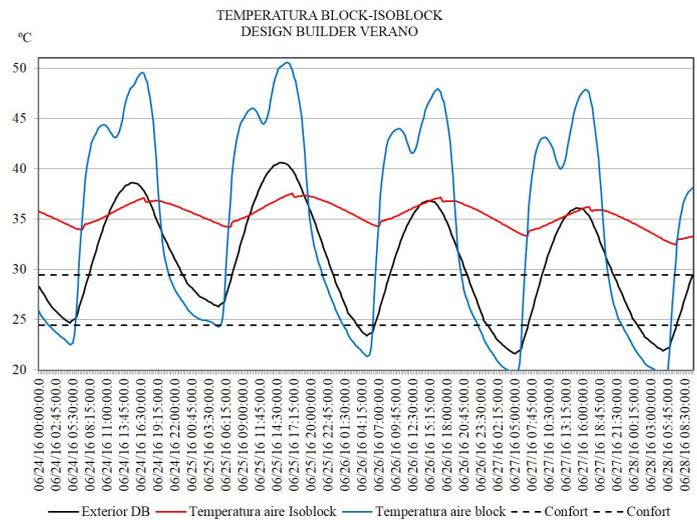


Figura 14. Resultados de la simulación térmica, temporada de verano. Fuente: Elaboración del autor.

En el periodo estival la simulación revela que la temperatura del aire del módulo de Isoblock siempre se encuentra por encima de la zona de confort, al igual que en lo medido en campo. A diferencia de lo que ocurre en el módulo de block convencional, donde solo el 13.24% se encuentra en zona de confort. De la misma manera que en el estudio de campo, lo importante a destacar es la diferencia de la oscilación térmica del Isoblock y el block convencional, pues mientras que en el primero es de 1.56°C, en el segundo es de 8.80°C, lo cual es similar a lo observado en campo (ver Figura 14).

EFECTO DE LA MASA TÉRMICA

Al cambiar las proporciones de los concretos, como se mencionó en la Tabla 2, se observa claramente el efecto que tiene la inercia térmica en el comportamiento de la temperatura

del aire, en el módulo de Isoblock en invierno (ver Figura 15). Esta variación no considera ningún tipo de ganancia de calor extra.

De esta forma, se logra disminuir 0.28°C la temperatura máxima, mientras que la promedio aumenta 0.05°C y la mínima aumenta, también, 0.23°C (ver Figura 16). En concreto, la oscilación térmica del módulo disminuye de 3.45°C a 2.94°C, es decir, 0.51°C, lo que significa un 14.78% de mejora (ver Tabla 4).

En verano es necesario ventilar para evitar el sobrecalentamiento que propician los materiales con un factor R alto y masa térmica, pues -como se observa en la Figura 14- si el espacio no está ventilado, la temperatura interior permanece por encima de la zona de confort.

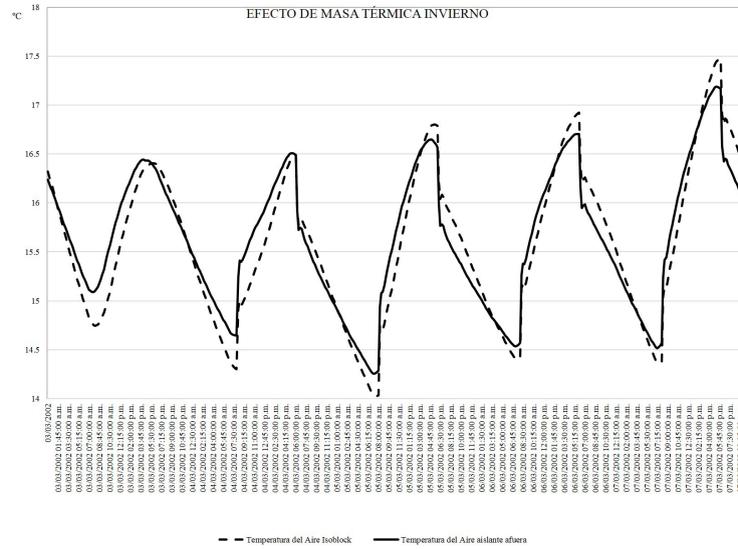


Figura 15. Efecto inercia térmica. Fuente: Elaboración del autor.

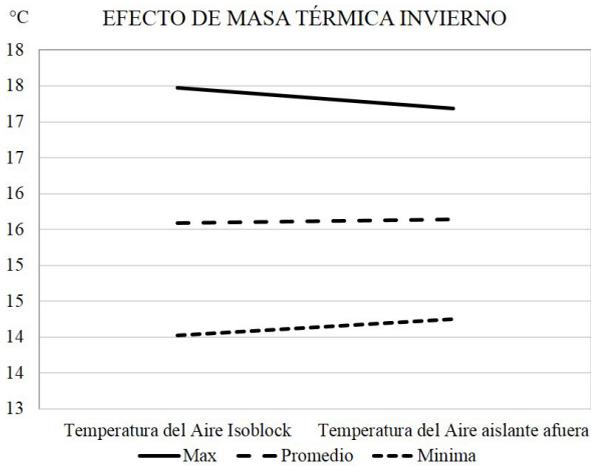


Figura 16. Efecto de la inercia térmica. Fuente. Elaboración del autor.

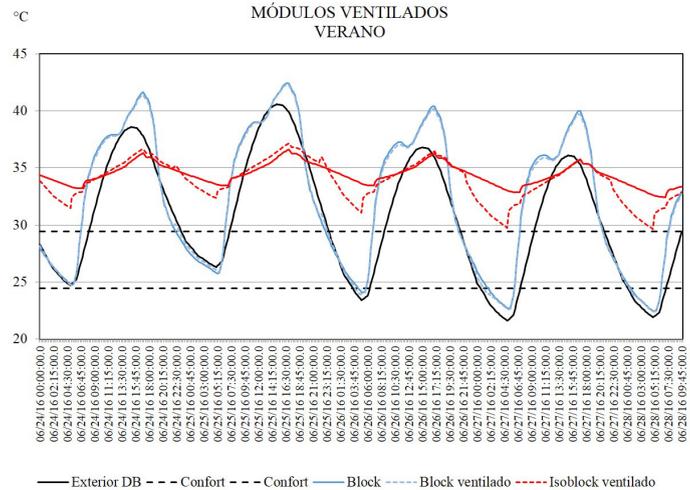


Figura 17. Efecto de la ventilación nocturna y masa térmica en verano. Fuente: Elaboración del autor.

	Temperatura Exterior	Temperatura del aire Isoblock	Temperatura del aire aislante afuera
Max	21.10	17.47	17.19
Promedio	12.31	15.59	15.64
Mínima	5.90	14.03	14.25
Oscilación	15.20	3.45	2.94

Tabla 4. Temperaturas del aire por efecto de la inercia térmica del ISOBLOCK en invierno. Fuente: Elaboración del autor.

La ventilación en este clima debe ser nocturna (enfriamiento convectivo nocturno) para aprovechar que la temperatura del aire baja acuciosamente durante la noche con respecto al día. Al utilizar esta técnica, es posible advertir que al ir pasando los días la temperatura del aire interior va disminuyendo paulatinamente, aunque sin alcanzar, en este caso, la zona de confort (ver Figura 17).

Se puede observar, asimismo, que la temperatura mínima del módulo ventilado de Isoblock disminuye en tanto que la máxima aumenta, lo que trae consigo la ampliación de la oscilación térmica diaria. El módulo de block ventilado no tiene variación en las temperaturas con respecto al que está sin ventilar, lo que confirma el aporte que tiene la masa térmica del concreto, en este caso aislado.

	Exterior	Block	Block ventilado	Isoblock	Isoblock ventilado
Máxima	40.60	42.45	42.31	36.64	37.15
Promedio	30.50	32.15	32.06	34.43	33.89
Mínima	21.60	22.44	22.40	32.45	29.65
Oscilación	19.00	20.01	19.90	4.19	7.51

Tabla 5. Temperaturas del aire por efecto de la inercia térmica del ISOBLOCK en verano. Fuente: Elaboración del autor.

CONCLUSIONES

Es necesario que la normativa mexicana haga una revaloración de la importancia de considerar la masa térmica de los materiales de la envolvente, pues si bien la resistencia térmica reduce la ganancia y/o pérdida de calor, esto no es suficiente para amortiguar las diferencias de temperatura del día y la noche en el clima cálido seco como el de Ciudad Juárez.

Se ha comprobado aquí que el Isoblock tiene un mejor desempeño térmico en invierno en comparación al aire exterior y el block de concreto, producto de su valor de resistencia térmica y del efecto producido por la masa térmica del material.

La temperatura del aire interior del módulo de block de concreto convencional se encuentra el 21.41% del tiempo, en promedio, dentro de la zona de confort. Mientras que la del módulo de Isoblock lo hace el 31.01% del tiempo, en promedio. Ello evidencia que el Isoblock es 44.79% más eficiente que el block en verano, y 59.87%, en invierno. En suma, es un 52.33% más en eficiente.

El uso de materiales con inercia térmica en invierno permite "almacenar calor" durante el día para que sea útil durante la noche, producto de su calor específico volumétrico. Además, amplía el tiempo de retraso y el amortiguamiento del material, lo que reduce la pérdida de calor y dilata el tiempo en el que esto sucede.

En la temporada de verano, las cualidades térmicas de la inercia térmica pueden producir sobrecalentamiento al interior. Sin embargo, la aplicación de enfriamiento convectivo nocturno permite eliminar el calor acumulado durante el día en los materiales, pues si se ventilan los módulos, la eficiencia se incrementa hasta en un 80.4%, lo que aumenta hasta el 71.21% la eficiencia con respecto al módulo con block convencional. Esto demuestra de manera contundente el efecto de la masa térmica en verano, siempre y cuando se ventile durante la noche.

Utilizar de manera adecuada los materiales de construcción de acuerdo a cada una de sus propiedades térmicas permite que las viviendas se acerquen a niveles de confort en cada una de las zonas climáticas. Ello reduce el uso de sistemas de climatización convencional con el consecuente ahorro energético y de recursos naturales.

Se puede evaluar otros espesores de masa térmica, incluso variando las dimensiones de los materiales estudiados, con miras a caracterizar, por medio de simulación las proporciones más adecuadas para cada una de las zonas térmicas del país.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al grupo Cementos de Chihuahua, que financió el proyecto de investigación, por la confianza de compartir los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers, 2010, pp. 11-12.

COMISIÓN NACIONAL DE VIVIENDA (CONAVI). *Soluciones verdes para el sector vivienda*. México: CONAVI, 2010.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA). Servicio Meteorológico Nacional, *Normales Climatológicas por Estación* [en línea]. [Consultado 25 junio 2016]. Disponible en: www.smn.cna.gob.mx

FUNDACIÓN IDEA (para la implementación, diseño, evaluación y análisis de política públicas A.C.). *Estrategia Nacional para la Vivienda Sustentable*. México: Fundación IDEA A.C., 2013.

GRUPO CEMENTOS DE CHIHUAHUA. *Isoblock GCC, block térmico de concreto* [en línea], 2016. [Consultado 20 agosto 2017]. Disponible en: http://www.gcc.com/wp-content/uploads/2016/08/ISOBLOCK-Folleto-0817_digital-final.pdf

NMX-C-460-ONNCCCE-2009. Industria de la construcción-aislamiento térmico-valor "R" para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana-especificaciones y verificación. Secretaría de Economía. 30 julio 2009. México D.F.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México. Blog [en línea]. Actualizada: 10 diciembre 2016. [Consultado 11 diciembre 2017]. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/protocolo-de-kioto-sobre-cambio-climatico?idiom=es>

VALLEJO, Víctor. Las diversas certificaciones aplicables a los edificios sustentables en México. *Multidisciplinar* [en línea], 2014, n° 18, pp. 29-58. [Consultado 25 agosto 2017]. Disponible en: http://www.Acatlan.unam.mx/file_download/2081/multi-2014-05-02.pdf



DETERMINACIÓN DEL COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS DIFERENTES CLASIFICACIONES PARA UNA VIVIENDA SUSTENTABLE EN LA CIUDAD DE CUENCA, ECUADOR

DETERMINATION OF THE CONSTRUCTION COST OF THE DIFFERENT CLASSIFICATIONS FOR A SUSTAINABLE DWELLING IN THE CITY OF CUENCA, ECUADOR

JORGE RENE VASQUEZ PALACIOS
Universidad de Cuenca
Cuenca Ecuador
jorgevasquezp1990@hotmail.com

JUAN FELIPE QUESADA MOLINA
Universidad de Cuenca
Cuenca Ecuador
felipe.quesada@ucuenca.edu.ec

RESUMEN

En Ecuador existe un elevado porcentaje de viviendas con problemas ambientales, debido a la falta de una práctica habitual de incorporar criterios de confort y eficiencia energética, que patentiza la necesidad de implementar estrategias sustentables en los procesos de construcción. El estudio aquí expuesto analiza una vivienda unifamiliar en la ciudad de Cuenca (Ecuador) y determina los costos referenciales de construcción (por metro cuadrado) de los diferentes niveles sustentables que pudiera alcanzar la vivienda con respecto a su semejante convencional. El trabajo se desarrolla en cuatro etapas: (1) desarrollo de una metodología apropiada para identificar los costos; (2) estudio cualitativo sobre la percepción de la vivienda sustentable; (3) estudio cuantitativo de los costos de construcción y el valor agregado ecuatoriano (VAE). A las distintas opciones de viviendas sustentables se las clasifica en una escala de A a C, dependiendo de la cantidad de estrategias que se incorporen, mientras que a la vivienda convencional se le asigna la clasificación D. Se concluye que las viviendas sustentables presentan un incremento de costo, con respecto a la convencional, del 33.14% (A), 15.56% (B) y 4.32% (C), con una reducción del VAE del 15.75%, 4.01% y 3.74%, respectivamente

Palabras clave

viabilidad económica, viviendas unifamiliares, costos de prácticas sustentables, costo inicial, Cuenca-Ecuador

ABSTRACT

In Ecuador, a high percentage of homes have environmental failures due to the lack of customary incorporation of comfort and energy efficiency criteria, which demonstrates the need to implement sustainable strategies in construction processes. This study analyzes a single-family dwelling in the city of Cuenca (Ecuador), and determines the referential construction costs (per square meter) of the different sustainability levels that the home could attain in comparison with a conventional counterpart. The research was carried out in four stages: (1) the development of an appropriate methodology to identify costs; (2) a qualitative study on the perception of sustainable housing; and (3) a quantitative study of construction costs and Ecuadorian Added Value (VAE). The different sustainable housing options were classified on a scale from A to C depending on the number of strategies incorporated, while conventional housing was classified as D. It was concluded that compared to conventional housing, sustainable dwellings present a cost increase of 33.14% (A), 15.56% (B), and 4.32% (C), and a VAE reduction of 15.75%, 4.01% and 3.74%, respectively

Keywords

economic viability, single family homes, costs of sustainable practices, initial cost, Cuenca-Ecuador.

INTRODUCCIÓN

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, UNEP SBCI (2009), manifiesta que el sector de la construcción es uno de los principales contribuyentes de emisiones de gases de efecto invernadero. La región de América Latina es susceptible a los efectos derivados del cambio climático y su nivel de aportación de emisiones se incrementa (Uribe, 2015).

Los edificios, en general, tienen un impacto significativo en el medio ambiente (Oneill y Gibbs, 2014): un análisis comparativo mostró que los diseños de edificaciones sustentables exhibieron un ahorro del 16.3% en su ciclo de vida y hasta un 50% de ahorro anual de energía (Assad et al., 2015), y una reducción del 16% en promedio de su huella de carbono (Kneifel, 2010).

En este sentido, los edificios sustentables son una mejora significativa sobre los edificios convencionales del pasado, ya que consumen menos energía, materiales y agua, y a su vez proporcionan mejores entornos de trabajo y vida saludable.

La sustentabilidad busca el mayor beneficio dados los costos de las prácticas ecológicas, lo cual implica un equilibrio entre mejorar, tanto el desempeño ambiental operativo de la vivienda como la calidad de vida social de los residentes, y reducir el costo del ciclo de vida (García Erviti, Armengot Paradinas y Ramírez Pacheco, 2015; Karatas y El-Rayes, 2015; Zore, Čuček y Kravanja, 2017) (Figura 1).

En la construcción, los costos ecológicos hacen referencia a los generados por la implementación de estrategias sustentables, lo cual optimiza el desempeño ambiental, pero generalmente un aumento del costo inicial (Karatas y El-Rayes, 2015)

Existen numerosos estudios que se enfocan en el desempeño ambiental de las viviendas; sin embargo, en lo económico no se presta mayor atención y existe una incertidumbre sobre las estimaciones de costos de construcción, y una necesidad por mejorar los modelos de predicción de costos de edificaciones sostenibles (Alshamrani, 2017; Berardi, 2013), ya que para que un edificio sea considerado sostenible debe promover una perspectiva a largo plazo de su valor económico, pues constituye uno sus 10 principios (Conseil International du Bâtiment, 2010). Esta perspectiva económica considera el ciclo de vida de una edificación, que involucra la construcción, la operación, el mantenimiento y el final del ciclo (Berardi, 2013).

Al comparar los costos de construcción de edificios convencionales y sustentables, se argumenta que el alto costo de los edificios sustentables es la principal razón que desmotiva a los propietarios a asumir proyectos en este campo (Hwang y Tan, 2012). Contrariamente a este



Figura 1. Diagrama de Venn del modelo de desarrollo sustentable. Fuente: Elaboración de autores.



Figura 2. Ubicación geográfica de la ciudad de Cuenca, Azuay, Ecuador. Fuente: Elaboración de autores.

pensamiento, se menciona que la percepción de los altos costos de construcción sustentable están sobreestimados y, a la vez, el ahorro económico y el beneficio al medio ambiente a largo plazo están siendo minimizados (Bartlett y Howard, 2000). La construcción sustentable implica considerar los costos sociales, ambientales y económicos dentro de todo el ciclo de vida de la edificación, si se amplía la percepción del costo sustentable, en realidad es más barato optar por lo sustentable.

ESTUDIO	AUTOR	METODOLOGÍA	ENCUESTA / ENTREVISTA	COMPARACIÓN DE PRESUPUESTOS
The costs and financial benefits of green buildings: A report to California's Sustainable Building Task Force.	(Kats et al., 2003)	Cualitativa	▪	
Value case for sustainable building in New Zealand	(Fullbrook, Jackson y Finlay, 2006)	Cuantitativa		▪
The cost of green in NYC.	(Urban Green Council, 2009)	Cuantitativa		▪
Greening our built environment: Costs, benefits, and strategies.	(Kats, Braman y James, 2010)	Cualitativa	▪	
Construction costs comparison between 'green' and conventional office buildings.	(Rehm y Ade, 2013)	Cualitativa - Cuantitativa	▪	▪

Tabla 1. Metodologías desarrolladas en investigaciones de costos de construcción de edificaciones sustentables.
 Fuente: Elaboración de autores.

Por otra parte, en el Ecuador no existe una práctica habitual de incorporar criterios de confort y eficiencia energética en la construcción (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, 2014), lo cual refleja un elevado porcentaje de viviendas con problemas ambientales, sin embargo la Constitución vigente reconoce el derecho a "un hábitat seguro y saludable, a una vivienda adecuada y digna, un ambiente sano y ecológicamente equilibrado" (Asamblea Constituyente del Ecuador, 2008).

El presente estudio constituye un aporte, ya que determina si existen costos adicionales por la implementación de estrategias sustentables en una vivienda unifamiliar de la ciudad, permitiendo hacer una predicción de los costos iniciales de una vivienda sustentable y compararla con su semejante convencional.

La investigación se desarrolló en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, situada en la región de la Sierra Ecuatoriana (Figura 2), la que cuenta con una temperatura promedio de 13,1°C, índice de calor de 12,9°C, humedad de 79% y lluvia anual de 610,2mm (EXA, 2017).

Se analiza una vivienda de tipo unifamiliar, pues representa la tipología predominante en la ciudad, al constituir el 76% del total (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010a).

Se adoptó como estrategia de investigación una metodología mixta (encuesta y medición de variables en viviendas), la cual enlaza diversas perspectivas cualitativas y cuantitativas del fenómeno.

Además, como los edificios sustentables son concebidos de forma que empleen materiales locales (Umar, Khamidi y Tukur, 2012) y aprovechen los recursos ambientales mediante la adaptación a su entorno (Gunawansa y Kua, 2014), se plantea evaluar el valor agregado ecuatoriano (VAE), que constituye una política del Ecuador que da preferencia a la producción nacional y permite calcular en cada producto el porcentaje de componente ecuatoriano que incorpora (Servicio Nacional de Contratación Pública, 2015b).

MATERIALES Y MÉTODOS

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Con base en una revisión bibliográfica donde se analizan y determinan los costos de construcción de edificaciones sustentables, se identifica y compara las metodologías empleadas (Tabla 1); de esta manera, se selecciona la metodología de Rehm y Ade (2013) pues brinda mayor profundidad de estudio al enlazar la perspectiva cualitativa y cuantitativa.

ANÁLISIS CUALITATIVO

Se desarrolla a través de una encuesta estructurada aplicada a cabezas de hogares en el sector residencial del cantón Cuenca, con el objetivo de estimar la percepción de la sociedad en cuanto al interés y a costos asociados a la construcción de viviendas sustentables.

El diseño específico del muestreo estadístico aplicado es de tipo probabilístico, polimetálico y aleatorio, y la selección se realiza en base al número de viviendas urbanas existentes en el cantón.

El tamaño de la muestra determinada es de 280 viviendas de un total de 273.186 conforme el Censo 2010 de Población y Vivienda en el Ecuador (INEC, 2010b), por lo cual se considera un nivel de confianza en los resultados de 95% y un error absoluto de 0,06. Esta muestra se encuentra distribuida y clasificada por niveles socioeconómicos en las 15 parroquias urbanas del cantón Cuenca.

ANÁLISIS CUANTITATIVO

El análisis cuantitativo conforma la segunda etapa de la investigación, y consiste en el análisis y comparación del presupuesto de una edificación sustentable frente a una convencional. En esta etapa se optó por un diseño de investigación no experimental, aplicando un estudio transaccional.

Primera etapa: Desarrollo de Metodología.

La metodología desarrollada por Rehm y Ade (2013) recopila los datos de costos reales de edificaciones sustentables en construcción o de proyectos concluidos en un periodo cercano al estudio. Por otro lado, los costos de construcción de las edificaciones convencionales provienen de las principales fuentes referenciales en el país. Determinado el origen de estos, se elaboran los presupuestos para las diferentes tipologías de edificaciones y, además en esta etapa, para que los presupuestos tengan características similares y sean comparables, se retiran de los proyectos los costos de obras interiores exclusivas de cada edificio, obras previas, costo del terreno y costos derivados de préstamos bancarios.

Los presupuestos ajustados son analizados estadísticamente con la prueba no paramétrica de Wilcoxon (1945) de pares emparejados, con el fin de determinar la variación del costo de construcción de una edificación sustentable respecto de su semejante convencional.

Para este análisis se seleccionó un caso de estudio que reuniera las características de una vivienda convencional y se le implementó criterios y prácticas constructivas de sustentabilidad. La vivienda fue modelada con los parámetros de diseño sustentables establecidos en el proyecto de investigación "Método de Certificación de la Construcción Sustentable de la Vivienda" (Vivienda sustentable y segura Cuenca, 2017).

Los costos de construcción de una vivienda convencional y sustentable se obtienen de una misma fuente referencial de costos de construcción local como el boletín técnico de (Cámara de la Construcción de Cuenca, 2016).

Los presupuestos están conformados por capítulos que representan conjuntos de actividades de construcción

relacionadas entre sí por período de ejecución, técnica constructiva o materiales empleados. Esta configuración servirá para comparar y determinar los indicadores de variación entre los diferentes presupuestos.

El método de comparación no paramétrico de pares de Wilcoxon (1945) es aplicado a muestras que deben tener más de 6 pares de observaciones; requerimiento mínimo del cual no dispone este estudio, por lo que se opta por realizar una comparación simple de pares dada la cantidad de observaciones disponibles. La comparación adoptada consiste en confrontar los costos por capítulos y el costo total por metro cuadrado de la vivienda referencial sustentable con los valores semejantes de la vivienda unifamiliar convencional seleccionada como caso de estudio.

Segunda etapa: Aplicación.

Se seleccionó el Boletín Técnico de la Cámara de Construcción de Cuenca (2016), edición del mes de noviembre, como fuente referencial de costos para el análisis de la edificación convencional y sustentable, debido a que su metodología de cálculo refleja: las condiciones de construcción local, los índices de precios de materiales nacionales y locales, la tabla salarial de mano de obra, el rendimiento de la mano de obra local y la disposición del mercado para estimar el costo actual de cada rubro.

Con el fin de completar los presupuestos de la vivienda de estudio se decidió estimar los costos no presentes en dicha publicación, elaborándolos con las mismas consideraciones de cálculo que los costos del boletín seleccionado.

Para la modelación de los costos y presupuestos, en este estudio se utilizó el software especializado de ingeniería de Costos InterPro 2010 versión 2.4.1 Módulo de Ofertas, programa que determina el costo de una actividad de construcción concreta por unidad de cálculo.

Las cantidades de obra de las diferentes actividades de construcción que conforman los presupuestos analizados, así como el cálculo del área total de construcción, provienen de la modelación digital y del levamiento llevado a cabo para el caso de estudio.

Al considerar que los edificios sustentables se conciben priorizando el aprovechamiento de materiales propios de su localidad (Umar, Khamidi y Tukur, 2012), esta investigación calcula el indicador definido como VAE, en aras de determinar el grado de componente ecuatoriano que posee un producto.

Los criterios, metodología y cuadros de cálculo empleados para determinar el VAE se encuentran detallados en las resoluciones No. RE-SERCOP-2015-031

(Secretaría Nacional de Contratación Pública, 2015a) y No. RE-SERCOP-2015-033 (SERCOP, 2015b).

Tercera etapa: Selección de caso de estudio.

Se selecciona, en esta fase, una vivienda unifamiliar convencional que forma parte de un grupo mayor de 11 analizadas dentro del proyecto de investigación "Método de Certificación de la Construcción Sustentable de la Vivienda", del cual forma parte el presente estudio.

La vivienda n° 6 (Tabla 2), que se ubica en la parroquia urbana Machángara, del cantón Cuenca, responde a la tipología analizada y, al ser un modelo continuo de análisis y desarrollo dentro del proyecto de investigación, se convierte en un referencial de estudio.

Cuarta etapa: clasificación de viviendas sustentables.

Con el propósito de establecer el desempeño sustentable, se optó por los niveles de referencia de las viviendas sustentables establecidos por Quesada (2014):

- Práctica Estándar (C)
- Práctica Mejor (B)
- Práctica Superior (A)

Para cada nivel de desempeño, el proyecto de investigación "Método de Certificación de la construcción sustentable de la vivienda" (Vivienda sustentable y segura Cuenca, 2017) define un grupo de estrategias sustentables que las viviendas en la ciudad de Cuenca deben cumplir.

Quinta etapa: Estrategias aplicadas.

Las estrategias sustentables incorporadas en las viviendas eficientes referenciales se determinaron en los estudios: "Eficiencia Energética en el Sector Residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador" (Baquero y Quesada, 2016), "Evaluación del consumo energético en la fase de uso de la edificación residencial en Cuenca, diseño de estrategias para un modelo de vivienda eficiente" (Calle y Ortiz, 2016) y "Sustentabilidad de agua en viviendas de la ciudad de Cuenca" (Molina y Orellana, 2017), los cuales se desarrollan en los ámbitos de energía, envolvente y agua, respectivamente.

En la Tabla 3, se resumen las estrategias consideradas que, en ciertos casos, presentan varias opciones. En función de esto, se presupuesta todas las alternativas planteadas y se obtiene como valores referenciales rangos de Costos y VAE. Un ejemplo concreto es la cubierta de la vivienda, la cual presenta 8 alternativas distintas de aislamiento generando un rango de costos entre \$28,67 a \$72,38 USD (dólares americanos) y un VAE del 63,53% al 95,75%.

Fachada		
Datos generales	Tipo:	Unifamiliar
	Área de construcción (m2):	171,21
	Número de pisos:	2 (P.B. + P.A.)
	Número de dormitorios:	3
	Área social:	Sala, comedor y cocina.
	Sistema de construcción:	Hormigón armado
	Forma:	Cuadrada
	Orientación de fachada:	Noreste
	Antigüedad (años):	14
Energía	Habitaciones:	5
	Energía renovable	No presenta
	Domótica	Medidores de consumo eléctrico.
Envolvente	Iluminación	Iluminación por focos ahorradores o led.
	Muro	Ladrillo
	Piso	Cerámica
	Cubierta	Estructura acero, recubrimiento asbesto y policarbonato
Agua	Ventanas	Aluminio y Vidrio
	Uso de dispositivos ahorradores	No presenta
	Uso de vegetación xerófila y/o nativa en el predio	No presenta
	Ahorro de agua para el riego de jardines	No presenta
	Sistema de reutilización de agua lluvia	No presenta

Tabla 2. Vivienda n° 6 (caso de estudio). Fuente: Elaboración de los autores.

Ámbito de aplicación		Estrategia	Categorías de aplicación	Costo (USD)	Valor agregado ecuatoriano (%)
Energía	Energía renovable	Paneles solares fotovoltaicos para generar energía eléctrica.	A	1849,69	10,50%
		Paneles solares para el calentamiento de agua.	A	1040,24 a 2697,37	08,85% a 48,76%
	Domótica	Sistema de control domótica.	A	1215,77	0,34%
		Sensores multifunción domótica.	A	92,51	2,21%
		Sistema eficiente de iluminación domótica.	A	212,95	18,36%
		Controlador automático de persianas y cortinas.	A	128,00	1,60%
		Sistema de detección, gestión y control del consumo de los electrodomésticos.	A	143,50	0,71%
		Medidores de consumo eléctrico.	A	191,87	1,33%
	Iluminación	Sensores de corriente de consumo eléctrico	A	34,34	2,98%
		Iluminación por focos ahorradores o led.	B - C	51,22 a 76,86	48,99% a 73,52%
Envolvente	Muro	Aislamiento térmico de muro.	A - B	38,85 a 74,03	65,47% a 90,68%
	Piso	Aislamiento térmico de piso.	A - B	45,83 a 55,74	89,12% a 93,16%
	Cubierta	Aislamiento térmico de cubierta.	A - B	28,67 a 72,38	59,44% a 92,55%
	Ventanas	Aislamiento térmico de ventana.	A - B	80,53 a 125,14	57,14% a 89,52%
Agua	Uso de dispositivos ahorradores	Inodoros que presente sistema de ahorro de agua.	A - B - C	72,00 a 352,22	3,49% a 96,66%
		Grifería de lavamanos con sistema de ahorro de agua.	A - B - C	30,55 a 375,37	2,86% a 87,59%
		Grifería de fregadero con sistema de ahorro de agua.	A - B - C	46,33 a 408,78	2,63% a 91,81%
		Grifería de ducha con sistema de ahorro de agua.	A - B - C	56,12 a 622,66	2,06% a 92,32%
	Uso de vegetación xerófila y/o nativa	Uso de vegetación apropiada en jardines.	A - B - C	10,77	89,72%
		Ahorro de agua para el riego de jardines	Sistema de control de riego por goteo	A - B - C	136,75
	Red de distribución de riego por goteo		A - B - C	2,58	92,85%
	Sistema de reutilización de agua lluvia	Sistema de presión para la reutilización agua lluvias	A - B - C	1866,37	21,30%
		Sistema de captación y distribución de agua lluvia para el uso en la vivienda.	A - B - C	992,09 a 1734,30	90,88% a 94,57%

Tabla 3. Resumen de las estrategias sustentables aplicadas en la etapa de construcción. Fuente: Elaboración de los autores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS DE LA ENCUESTA APLICADA (ANÁLISIS CUALITATIVO)

Como resultado de la encuesta aplicada (análisis cualitativo) en las 280 viviendas seleccionadas del cantón Cuenca, se determinó lo siguiente:

- El 29% y el 32% de los encuestados consideran importante y muy importante respectivamente, que una vivienda presente características sustentables (Figura 3).

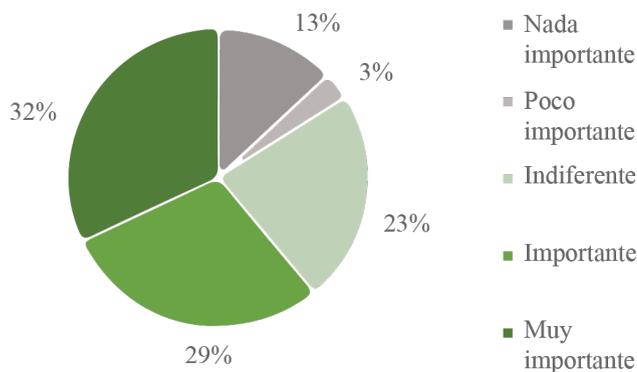


Figura 3. Porcentaje de importancia de una vivienda sustentable en el cantón Cuenca. Fuente: Elaboración de autores.

- El 34% de la población total encuestada está dispuesta a invertir en una vivienda con características sustentables, cubriendo en promedio un 32% del valor adicional. La Figura 4 presenta los porcentajes de inversión según el nivel socio económico.

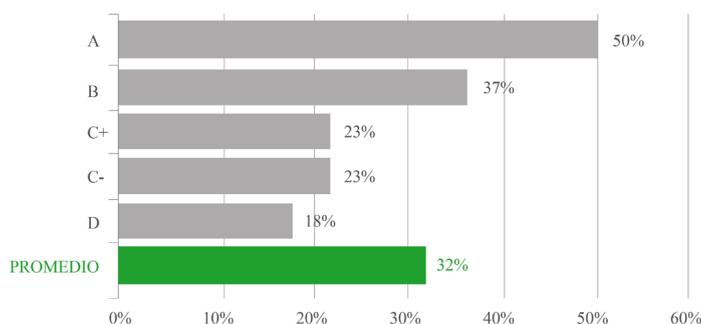


Figura 4. Porcentaje de inversión adicional a pagar por viviendas sustentables en Cuenca (clasificado por nivel socioeconómico). Fuente: Elaboración de autores.

RESULTADOS DEL CASO DE ESTUDIO (ANÁLISIS CUANTITATIVO).

Para determinar los niveles de desempeño de la vivienda sustentable, se analizaron las estrategias establecidas por Baquero y Quesada (2016), Calle y Ortiz (2016) y Molina y Orellana (2017) con las cuales se obtiene una clasificación que se presenta en la Tabla 4.

Clas.	Desc.	Estrategias
A	Vivienda Sustentable Superior	• Aplicación de tecnología a la vivienda (domótica)
		• Implementación de fuentes de energía renovables
		• Aplicación de diseño bioclimático a la envolvente
		• Uso de dispositivos ahorradores de agua (práctica superior)
		• Uso de vegetación xerófila y/o nativa (práctica superior)
B	Vivienda Sustentable Mejor	• Sistema de reutilización de agua lluvia (práctica superior)
		• Uso de luminaria focos ahorradores, fluorescentes o led
		• Aplicación de diseño bioclimático a la envolvente
		• Uso de dispositivos ahorradores de agua (nivel mejores prácticas)
		• Uso de vegetación xerófila y/o nativa en el predio (nivel mejores prácticas)
C	Vivienda Sustentable Estándar	• Ahorro de agua para riego de jardines (mejores prácticas)
		• Sistema de reutilización de agua lluvia (mejores prácticas)
		• Uso de luminaria focos ahorradores, fluorescentes o led
		• Uso de dispositivos ahorradores de agua (práctica estándar)
		• Uso de vegetación xerófila y/o nativa en el predio (práctica estándar)
D	Vivienda Convencional	• Ahorro de agua para riego de jardines (práctica estándar)
		• Sistema de reutilización de agua lluvia (práctica estándar)

Tabla 4. Clasificación de las viviendas sustentables respecto a la aplicación de estrategias obtenidas para Cuenca. Fuente: Elaboración de los autores.

Categoría	Descripción	Costo de construcción por m2			Valor Agregado Ecuatoriano (VAE)			
		Rango (\$)	Media (\$)	Variación respecto la vivienda convencional (%)	Rango (%)	Media (%)	Variación respecto la vivienda convencional (%)	
NIVELES DE DESEMPEÑO SUSTENTABLE	A	Vivienda Sustentable Superior	551,06 a 657,03	604,05	33,14%	67,73% a 75,59%	71,66%	-15,74%
	B	Vivienda Sustentable Mejor	474,80 a 573,79	524,30	15,56%	77,31% a 85,97%	81,64%	-4,01%
	C	Vivienda Sustentable Estándar	464,16 a 482,45	473,31	4,32%	80,30% a 83,44%	81,87%	-3,74%
D	Vivienda Convencional		453,69	453,69	0%	85,05%	85,05%	0%

Tabla 5. Costo de construcción, VAE determinado respecto a la clasificación de las viviendas sustentables en Cuenca-Ecuador.
 Fuente: Elaboración de autores.

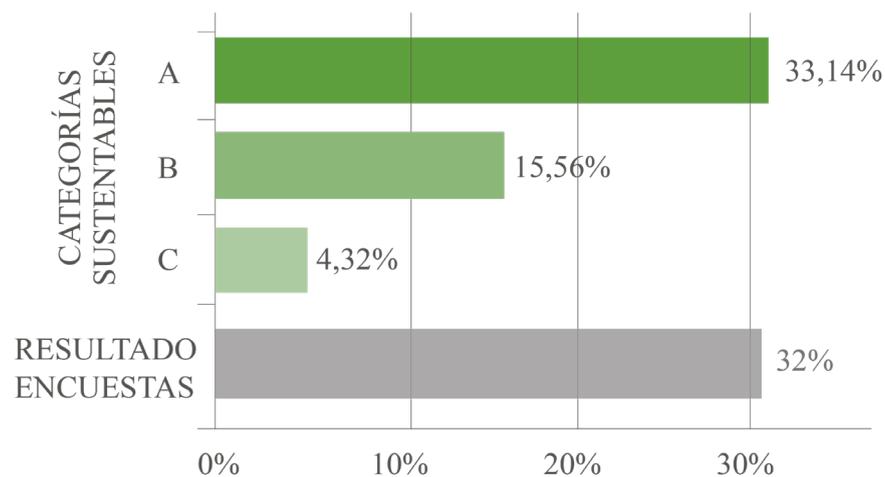


Figura 5. Comparación porcentual entre los resultados del análisis cualitativo y el análisis cuantitativo.
 Fuente: Elaboración de autores.

Costos de la vivienda convencional.

El costo de construcción (por metro cuadrado) y el VAE de la vivienda unifamiliar convencional (caso de estudio) se establecen en \$453,69 USD (dólares americanos) y en el 85,05%, respectivamente. Estos valores son considerados como base de comparación para fijar las variaciones de los valores semejantes de las viviendas sustentables en las diferentes categorías.

Variación del costo de construcción y del VAE según los niveles de desempeño sustentable.

La Tabla 5 detalla, según la clasificación de la vivienda unifamiliar del Cantón Cuenca, los costos de construcción (por metro cuadrado) y el VAE. Los resultados obtenidos se presentan por medio de su rango o límites, el valor promedio y la variación respecto al valor base semejante de la vivienda unifamiliar convencional.

A partir de los resultados obtenidos, se establece que la vivienda unifamiliar sustentable requiere inversiones adicionales en su construcción entre el 4.32% en su clasificación estándar al 33.14% en su clasificación Superior. El VAE en las viviendas sustentables, presenta valores semejantes 81.87% y 81.64% en las categorías Estándar y Mejor, respectivamente; valor que desciende al 71.66% en la categoría Superior.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En Cuenca, las personas interesadas en invertir en una vivienda unifamiliar sustentable están dispuestas a cubrir un costo adicional del 32%, en promedio, sobre el costo de su semejante convencional. Los costos de construcción de este tipo de viviendas son más altos que su semejante convencional, pues requieren una inversión adicional del 33.14%, 15.56% y 4.32% correspondientes a las categorías Superior (A), Mejor (B) y Estándar (C). Si bien la predisposición de la población no cubre el incremento promedio de las viviendas referenciales sustentables en la categoría Superior (A), sí son aceptadas por sus potenciales compradores las categorías Mejor (B) y Estándar (C), según se puede observar en la Figura 5.

Según los resultados presentes en la Tabla 5, todos los valores calculados del VAE en las diferentes categorías de viviendas unifamiliares sustentables son menores al estimado para la vivienda unifamiliar convencional, debido a que, para aprovechar los recursos ambientales presentes en la localidad, reducir el consumo de energía y brindar un mejor entorno de vivienda, es imprescindible el empleo de materiales y equipos especializados, de origen extranjero.

CONCLUSIONES

Este estudio permitió determinar que en Cuenca un alto porcentaje de su población está dispuesto a invertir en una vivienda con características sustentables, a pesar de que los costos de construcción de las viviendas unifamiliares sustentables sí representan un incremento con respecto a sus semejantes convencionales. No obstante, al requerir una inversión adicional mínima del 4,32%, se considera factible su construcción, ya que el costo de incremento es menor al de la predisposición de inversión local.

Se pudo establecer, asimismo, una estimación de la inversión inicial del costo por la aplicación de las estrategias sustentables, el que en una futura investigación podría ser comparado con los beneficios relacionados al ciclo de vida de la edificación para, en definitiva, precisar el costo de la vivienda sustentable.

Por último, se estableció que el VAE de todas las categorías de viviendas sustentables es menor a su semejante convencional, debido a que en gran parte los materiales y equipos deben ser de origen extranjero, pues no existe producción nacional.

AGRADECIMIENTOS

El estudio está basado en los resultados de la tesis para obtener el título de magíster en la Maestría en Construcciones del Centro de Postgrados de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca. Agradecemos el apoyo del proyecto de investigación "Método de Certificación de la Construcción Sustentable de Viviendas", del cual forma parte la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALSHAMRANI, Othman Subhi. Construction cost prediction model for conventional and sustainable college buildings in North America. *Journal of Taibah University for Science*, 2017, n° 11, pp. 315-323.

ASAMBLEA CONSTITUYENTE DEL ECUADOR. Constitución del Ecuador. In., 2008.

ASSAD, Minass, HOSNY, Ossama, ELHAKEEM, Ahmed y EL HAGGAR, Salah. Green building design in Egypt from cost and energy perspectives. *Architectural Engineering and Design Management*, 2015, n° 11, pp. 21-40.

- BAQUERO, María Teresa y QUESADA, Felipe. Eficiencia energética en el sector residencial de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 2016, n° 7, pp. 147-165.
- BARTLETT, Ed y HOWARD, Nigel. Informing the decision makers on the cost and value of green building. *Building Research & Information*, 2000, n° 28, pp. 315-324.
- BERARDI, Umberto. Clarifying the new interpretations of the concept of sustainable building. *Sustainable Cities and Society*, 2013, n° 8, pp. 72-78.
- CALLE, Andrea y ORTIZ, Jessica. *Evaluación del consumo energético en la fase de uso de la edificación residencial en Cuenca: Diseño de estrategias para un modelo de vivienda eficiente*. Tesis de pregrado. Universidad de Cuenca, Cuenca, 2016.
- CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CUENCA. *Boletín técnico*. Cuenca, Ecuador, 2016.
- CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT (CIB). *Towards sustainable and smart-ecobuildings*. Rotterdam, the Netherlands, 2010.
- EXA, Agencia espacial civil ecuatoriana. *Estación climática Cuenca* [en línea]. [Consultado 02 diciembre 2017]. Disponible en: <http://cue.exa.ec/>
- FULLBROOK, D.; JACKSON, Q. y FINLAY, G. *Value Case for sustainable building in New Zealand*. Wellington, New Zealand: 2006.
- GARCÍA ERVITI, Federico; ARMENGOT PARADINAS, Jaime y RAMÍREZ PACHECO, G. El análisis del coste del ciclo de vida como herramienta para la evaluación económica de la edificación sostenible. Estado de la cuestión. *Informes de la Construcción*, 2015, n° 67, pp. 1-8.
- GUNAWANSA, Asanga y KUA, Harn Wei. A comparison of climate change mitigation and adaptation strategies for the construction industries of three coastal territories. *Sustainable development*, 2014, n°, pp.
- HWANG, Bon-Gang y TAN, Jac See. Sustainable Project Management for Green Construction: Challenges, Impact and Solutions. En: *World Construction conference - Global challenges in construction industry*. Colombo: World Construction conference, June 2012, pp. 171-179.
- INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES (INER). *Edificaciones presentación*. Quito: 2014.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS (INEC). *Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador*. Quito: INEC, 2010a.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS (INEC). *Fascículo provincial del azuay*. Ecuador: 2010b.
- KARATAS, Aslihan y EL-RAYES, Khaled. Optimizing tradeoffs among housing sustainability objectives. *Automation in Construction*, 2015, n° 53, pp. 83-94.
- KATS, Gregory; ALEVANTIS, Leon; BERMAN, Adam; MILLS, Evan y PERLMAN, Jeff. *The cost and financial benefits of green buildings: A report to California's sustainable building task force*. California: 2003.
- KATS, Gregory; BRAMAN, Jon y JAMES, Michael. *Greening our built world: costs, benefits, and strategies*. Washington, DC: Island Press, 2010.
- KNEIFEL, Joshua. Life-cycle carbon and cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings. *Energy and Buildings*, 2010, n° 42, pp. 333-340.
- MOLINA, Eduardo y ORELLANA, Diana. *Sustentabilidad de agua en viviendas de la ciudad de Cuenca*. Tesis de magister inédita Universidad de Cuenca, Cuenca, 2017.
- ONEILL, Kirstie J. y GIBBS, David C. Towards a sustainable economy? Socio-technical transitions in the green building sector. *Local Environment*, 2014, n° 19, pp. 572-590.
- QUESADA, F. Métodos de evaluación sostenible de la vivienda: Análisis comparativo de cinco métodos internacionales. *Revista Hábitat Sustentable*, 2014, n° 4, pp. 56-67.
- REHM, Michael y ADE, Rochelle. Construction costs comparison between 'green' and conventional office buildings. *Building Research & Information*, 2013, n° 41, pp. 198-208.
- SECRETARÍA NACIONAL DE CONTRATACIÓN PÚBLICA (SERCOP). *Metodología para determinar el valor agregado ecuatoriano por producto en los procedimientos de contratación pública de bienes*. Quito, 2015a. RESOLUCIÓN N°. RE-SERCOP-2015-0000031.
- SECRETARÍA NACIONAL DE CONTRATACIÓN PÚBLICA (SERCOP). *Metodología para la definición de una oferta como ecuatoriana en los procesos de adquisición de bienes y prestación de servicios*. Quito, 2015b. Resolución N°. R.E. -SERCOP-2015-0000033.
- UMAR, Usman; KHAMIDI, Mohd y TUKUR, Hassan 2012. Sustainable building material for green building construction, conservation and refurbishing. En: U.T.D.M. UTM ed. *Management in construction research association: Postgraduate conference*. Malasia: UTM2012, pp.
- UNEP SBCI, Sustainable buildings and climate initiative. *Buildings and climate change: Summary for decision-makers*. París, Francia: U.N.E. PROGRAMME, 2009.
- URBAN GREEN COUNCIL. *Cost of green in NYC* [en línea]. [Consultado 02 diciembre 2017]. Disponible en: http://blog.urbangreencouncil.org/wp-content/uploads/2012/03/Cost_Study_Full_Download.pdf?_ga=2.161901052.1300835507.1513780553-1076632804.1513780553
- URIBE, Eduardo. *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina*. Naciones Unidas, Santiago: CEPAL, 2015.
- VIVIENDA SUSTENTABLE Y SEGURA CUENCA. *Metodología de la evaluación* [en línea]. [Consultado 08 marzo 2017]. Disponible en: <http://viviendasustentablecuenca.com/certificacion/metodologia/>

WILCOXON, Frank. Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*, 1945, n° 1, pp. 80-83.

ZORE, Žan, ČUČEK, Lidija y KRAVANJA, Zdravko. Syntheses of sustainable supply networks with a new composite criterion – Sustainability profit. *Computers & Chemical Engineering*, 2017, n° 102, pp. 139-155.



POTENCIAL DE DEMANDA ENERGÉTICA CERO EN ENVOLVENTES INDUSTRIALES: EL CASO DE LA VINIFICACIÓN EN ZONAS DE GRAN AMPLITUD TÉRMICA

THE POTENTIAL OF ZERO ENERGY DEMAND IN INDUSTRIAL ENVELOPES: THE CASE OF VINIFICATION IN AREAS OF GREAT THERMAL AMPLITUDE

ALBA INÉS RAMOS SANZ
Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)-Consejo Nacional de
Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET)
San Juan Argentina
draarqalbaramossanz@gmail.com

RESUMEN

En el estudio presentado en este artículo se desarrolla un modelo matemático para la simulación en tiempo real de un envolvente de vinificación representativo de la tecnología de vinificación nacional -de hormigón armado-, y se lleva a cabo un seguimiento térmico tanto del vino almacenado en este interior como en uno de acero inoxidable, con el empleo de sensores de temperatura HOB0 U-12. Mediante tal simulación, se contempla el efecto producido sobre la estabilidad térmica del vino y la demanda térmica originada en la convección forzada -causada por las brisas-, bajo diversas configuraciones de bodegas. Con la herramienta validada, se realiza una sencilla optimización pasiva sobre el caso representativo. Finalmente, comparando los resultados de los casos simulados optimizados y de los casos reales, se concluye una mayor eficiencia termo-energética del caso representativo, frente a los de acero inoxidable. Asimismo, se observa que la estabilidad térmica del vino con demanda cero es factible a partir del empleo de envolventes adecuadas al clima analizado; con sencillas medidas de optimización, dicha estabilidad se acerca al prototipo de demanda cero perseguida en los modelos de referencia para la gestión de la energía

Palabras clave

gestión de la energía, calidad del producto, vinificación, modelización térmica

ABSTRACT

In this study, a mathematical model was developed for the real-time simulation of a winemaking envelope representative of the national vinification technology of reinforced concrete. Thermal monitoring of the wine stored inside this envelope and another of stainless steel was carried out using HOB0 U-12 temperature sensors. The simulation studied the effect on the thermal stability of the wine and the thermal demand originating in the forced convection caused by breezes, under various cellar configurations. With the validated tool, a simple passive optimization was performed on the representative case. Finally, comparing the results of the optimized, simulated cases and the real cases, it was concluded that the representative case has a higher thermo-energy efficiency compared to the stainless-steel cases. Likewise, it was observed that the thermal stability of the wine with zero demand is feasible through the use of envelopes that are suitable for the climate analyzed; with simple optimization measures, this stability comes close to the zero-demand prototype sought after in reference models for energy management

Keywords

energy management, product quality, vinification, thermal modeling

INTRODUCCIÓN

El potencial de ahorro de energía en la República Argentina señala que este podría representar un 45% en el sector residencial, un 28% en el sector de transporte, un 20% en el sector industrial y un 7% en el sector público. En el sector industrial, particularmente, el potencial de ahorro energético se encuentra señalado en los siguientes focos:

1. Sistemas de gestión de la energía (SGEn).
2. Diagnósticos energéticos.
3. Motores eficientes y variadores de velocidad.
4. Eficiencia en calderas industriales.

Los programas vigentes en el país enmarcados en eficiencia energética están orientados a dos áreas: el Etiquetado de Eficiencia Energética y la Eficiencia Energética en la Industria, mediante la adaptación de la Norma IRAM/ISO 50001 (2016). Estas iniciativas buscan generar una necesidad de eficiencia en la producción industrial, apalancada por los altos costos de la energía. La norma IRAM/ISO 50001 hace hincapié en el foco 1 (SGEn) señalado en el párrafo anterior y conforma, hasta el momento, el marco regulatorio que se le otorga a nivel nacional al abordaje del problema de la demanda energética en la industria.

El reconocimiento de la importancia de la temperatura de control de los procesos en la industria agroalimentaria demanda ingentes inversiones sobre los recursos tecnológicos, económicos y energéticos en procesos y control de calidad. La gestión de la energía aplicada al sector industrial impacta negativamente sobre la sustentabilidad energética y rentabilidad del sector económico. Parte del objetivo de mejorar la *performance energética* de una industria alimentaria a través de una correcta gestión de la energía, lo constituye -en el caso de una bodega- la apropiada selección tecnológica de las envolventes de vinificación. Trabajos anteriores basados en datos registrados con sensores y procesados estadísticamente demuestran la existencia de correlación empírica en *función de la envolvente de los fermentadores*, entre la temperatura del vino en el interior de los tanques de vinificación y la temperatura del aire en el exterior de la bodega (Ramos Sanz, 2014). En ese marco, se llevaron a cabo estudios experimentales que registraron temperaturas de conservación del vino más elevadas que las recomendadas por los especialistas. Los resultados estadísticos indicaron, para verano, una temperatura de + 4 K sobre el margen superior de conservación de vinos comunes y, en invierno, una media mínima el doble de cálida de lo que señala la teoría. La desviación estándar en ambos casos fue también superior en un 30% a la teórica, admitiendo un + 0,4 K de inestabilidad térmica.

Una selección inteligente de las envolventes para la gestión de la energía que se orienta hacia el potencial pasivo de la industria, podría generar ahorros de más del 50% de energía en vinificación. Esta definición de la demanda energética en función de capital físico atiende

al mismo fin que la premisa de los *Net Zero Buildings (NZEB)*, persiguiendo un máximo *confort* (del producto) con un mínimo empleo de recursos energéticos. El desconocimiento de la temperatura del producto y su demanda energética perjudica la gestión de la energía en la industria, no siendo posible determinar una acción de mejora. Esta información es la base para la gestión tanto de la calidad del producto como de la eficiencia energética en el sector de procesos de la industria.

Por consiguiente, se considera importante disponer de una herramienta de simulación capaz de pre-diagnosticar cuantitativamente las demandas termo-energéticas y la optimización mediante estrategias pasivas. En la actualidad, se registran escasos datos sobre la optimización pasiva de las envolventes industriales en general, en los cuales se contemple la variedad tipológica y la diversidad material y morfológica de los casos analizados. La cuantificación del efecto de las medidas pasivas de optimización de la *envolvente de vinificación* (EV) proporciona información relevante. Previamente (Ramos Sanz, A: 2015), se difundió un modelo para simular el potencial de optimización de las envolventes de vinificación mediante estrategias bioclimáticas pasivas, con el fin de reducir la demanda energética en control térmico. Se determinó, entonces, el porcentaje de las cargas de frío que se originan en el intercambio de la EV con el medio climático, sobrecargando el sistema de refrigeración. Las estrategias pasivas -optimizaciones- experimentadas para período cálido y sus resultados se enumeran a continuación;

1. Empleo de envolventes subterráneas (79,5 %)
2. Uso de envolventes apiladas en su eje vertical (58,6 %)
3. Incorporación de aislación térmica exterior a la superficie de la EV (50,5 %)
4. Aplicación de terminaciones de acabado claro en las superficies expuestas a la radiación solar directa (51 %)
5. Utilización de envolventes expuestas a la intemperie para promover el recurso de la radiación nocturna (71,5 %) desde la cubierta hacia el cielo.

Entre los resultados de las optimizaciones energéticas mediante la aplicación de las estrategias pasivas, el valor medio obtenido fue del 47,7% de reducción de la carga en control térmico. Entre las variables no experimentadas se encuentra el impacto del viento sobre el intercambio térmico de los fermentadores con el entorno, según su forma y su distribución en el solar. Asimismo, estos resultados corresponden a modelos de simulación simplificados, en régimen estacionario.

En las economías vitivinícolas del mundo como el Reino Unido, Australia y Estados Unidos, se promueve la búsqueda de soluciones a las elevadas demandas energéticas de las bodegas. Best Winery (California Energy Commission; 2005), British Columbia Sustainable Winegrowing Program (2011; UK) y Winery Energy Saving Toolkit (Australian Wine Research Institute, 2012;) son algunas herramientas

desarrolladas por dichos países. Mientras que los resultados cuantitativos normalizados de la aplicación de estrategias pasivas son conocidos en casos de viviendas y edificios residenciales, comerciales y administrativos, son escasos los estudios sistemáticos sobre estos potenciales aplicados a la industria del vino. A pesar de los antecedentes citados, no se tiene conocimiento de experimentación termoenergética en modelos de envolventes de vinificación y su impacto en la demanda energética.

METODOLOGÍA

CONTEXTO DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Contexto geográfico

La zona de estudio comprende el *Valle del Tulum*, ubicado en la ciudad de San Juan (República Argentina), cuyo clima es, de entre los climas cálidos secos de América del Sur, el más extremo. Se localiza, concretamente, a 600 msnm, en los 30° 52' de Latitud Sur y 68° 59' de Longitud en dirección Oeste. Como en otras regiones vitivinícolas del mundo, la marcada amplitud térmica del clima continental agudiza la dependencia energética de la vinificación, originada en el control térmico de procesos. Este tipo de clima se caracteriza por un *terroir* que se repite, por ejemplo, en la zona vitivinícola de la Sierra Foothills¹. El Valle del Tulum es, en efecto, una zona cálida, con amplitudes térmicas diarias superiores a los +/- 14 K (IRAM11603, 1996). A lo largo del año, los vientos son de dirección predominantemente Sur. La velocidad de los mismos se duplica en verano, alcanzando una media de 13 Km/h (IRAM11603, 1996). En dicha estación, se registra una irradiación solar media de 850 W/m² en horas del mediodía y los aportes solares son significativos sobre el plano horizontal y este-oeste. En invierno, las superficies orientadas al norte reciben los rayos directos durante más horas y mayor intensidad que las demás orientaciones. Es necesario aclarar que las condiciones climáticas durante el relevamiento no son representativas del clima considerado, son de hecho una excepción. Esto se debe a la dificultad de coordinar con la empresa los períodos de análisis. Sin embargo, los datos recogidos son útiles a los efectos de disponer de datos reales de temperatura.

Contexto energético nacional

En este estudio se aborda la demanda energética en términos de energía eléctrica destinada al funcionamiento de los sistemas de control térmico de los tanques de vinificación. Esto se basa en la mayor tecnificación de los procesos y su creciente dependencia energética industrial. La República Argentina se encuentra en un momento de transición energética; desde 2016 en adelante los costos de la energía eléctrica se han incrementado un 182%



Figura 1. Imagen satelital del Valle del Tulum, Ullum y Zonda, en la Provincia de San Juan. Fuente: Recursos propios, mediante herramienta Google earth.

para Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs) a causa de una política fiscal contractiva. Este incremento afecta los Índices de Precios al Consumidor (IPC) que han variado un 83% desde 2016 hasta la actualidad, lo cual señala la incidencia del incremento tarifario sobre el nivel de precios del país (Observatorio Económico Social UNR, 2017). Sin embargo, en Argentina la aplicación de las normativas de Eficiencia Energética en la Industria no es obligatoria. Su adhesión es voluntaria y la misma no percibe ningún incentivo o beneficio por parte del Estado o de las entidades bancarias. En este panorama, se pueden hallar los motivos de este tipo de PyME para no integrar acciones de Responsabilidad Social Empresarial (RSE) a sus procesos, con la finalidad de obtener una disminución de la demanda energética y un incremento de su rentabilidad, en claro perjuicio de su sostenibilidad.

SELECCIÓN DEL CASO TESTIGO E INSTRUMENTAL UTILIZADO

Entre las EV, existe cierta diversidad. Éstas pueden ser distinguidas por su ubicación: si son sobre-rasantes, se habla de tanques -acero o metal- o piletas -hormigón o mampostería- y, si son subterráneas, se habla de cisternas -hormigón o mampostería-. El caso seleccionado para la modelización es altamente representativo de las industrias vitivinícolas del país, pues alcanza el 68% de la población provincial de EV (Instituto Nacional de Vitivinicultura *INV*, 2008). El mismo se compone de un volumen cilíndrico de hormigón armado ($e=0,27$ m), cuyo acabado interior es de pintura epóxidica y en el exterior se conserva el hormigón a la vista. La capacidad del caso testigo seleccionado

[1] Las temperaturas medias máximas de verano (TMX; 33 °C) y las temperaturas medias mínimas de invierno (TMN; ≈12 °C) entre ambas localidades vitivinícolas son similares, siendo Sacramento un poco más cálido en invierno debido a su mayor humedad ambiental.

es aproximada a la capacidad promedio del total de la población de EV registrada en el país, con un volumen de 90000 L de vino almacenado. El muro curvo y la cubierta de la EV se encuentran en intercambio directo con el ambiente exterior, mientras la base de la misma (entrepiso de losa) y un muro recto está en contacto con el vino de la pileta subyacente (inferior y lateral) al caso analizado. En la configuración de la bodega, esta unidad se encuentra dispuesta en conjunto con otras EV -como se observa en la Figura 2-, cual banco de tubos;

Así, se relevan los datos de temperatura interior y exterior con sensores HOBO U-12 cuya precisión es de $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$; y un termómetro común, instrumental del enólogo. El efecto de la radiación solar difusa está implícito en los valores registrados de temperatura del aire y de temperatura superficial exterior. Con el fin de analizar la transferencia de calor sin las complejidades de los modelos cinéticos -que implican complejos procesos químicos-, se selecciona el período correspondiente al estado de conservación del vino, durante el cual no se manifiestan reacciones químicas significativas. Este límite impuesto resulta eficaz para determinar la demanda energética base de un tipo de EV. Luego, a esa demanda es posible adicionarle las necesidades de frío originadas en la fermentación, en base a datos específicos tales como la temperatura de ingreso de la uva y el grado de azúcar contenido en el grano. La misma se determina por una sencilla fórmula conocida por los enólogos (véase Oreglia; 1978).

DESARROLLO DEL MODELO MATEMÁTICO

El modelo matemático aquí empleado se construye considerando que el flujo de calor es unidireccional y radial. Las condiciones de frontera son la temperatura exterior y la temperatura en el nodo central, trasponiéndose los resultados por simetría desde el centro de la EV, hacia la otra mitad geométrica. En el exterior de la vasija, circulan las brisas provenientes del sur-este, a una velocidad media -considerada constante- de 13 km/h. Las EV se encuentran ubicadas a la intemperie, dada la ingente capacidad de almacenamiento. La distribución frecuente de estos elementos es semejante a la de un banco de tubos, sobre el cual impactan las brisas en diagonal a la impronta de la bodega. Se consideran dos situaciones donde el viento afecta la transferencia de calor, según la localización de la EV: la primera contempla la vasija como el primer elemento sobre el cual impacta el viento a la velocidad original; la segunda considera a la EV protegida por otras, por entremedio de las cuales circula el fluido, variando su velocidad. El desplazamiento del fluido en ambas situaciones se desarrolla de forma turbulenta.

Los valores de las conductancias superficiales interiores (h_i) y exteriores (h_e) se consideran constantes. Ello, debido al leve gradiente térmico y la gran inercia térmica del producto en conservación, en el caso de h_i , y porque depende fuertemente de otros factores diferentes a la variación térmica ΔT , en el caso de h_e . A continuación, se procede al cálculo en diferencias finitas mediante el método explícito. Los valores de las condiciones iniciales ($T_0^i T_0^e$ y $T_4^i T_4^e$) se estiman a partir de los datos experimentales de temperatura exterior (T_e) e interior (T_i) recogidos con sensores HOBO U-12 a cada minuto

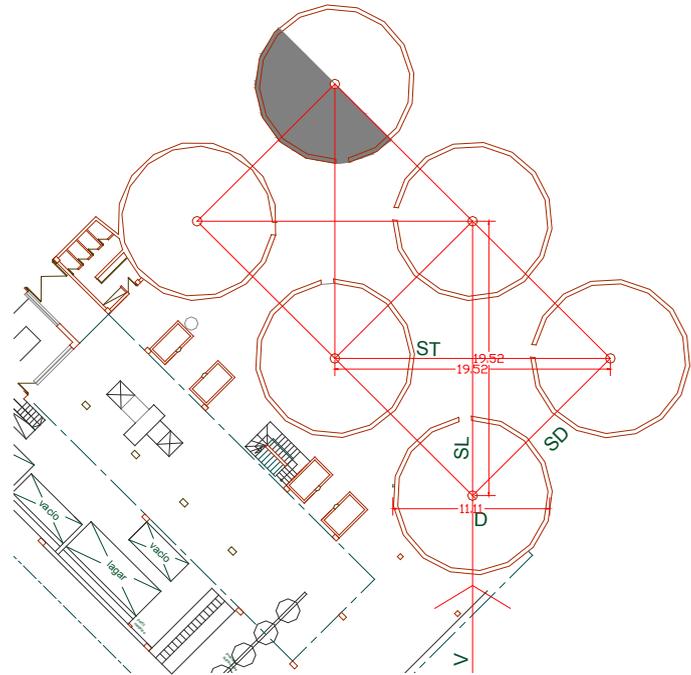


Figura 2. Planta de la distribución de las EV en conjuntos alineados. Fuente: Fotografía tomada por la autora durante relevamiento.



Figura 3. Imagen de la envolvente de las EV. Fuente: Elaboración de la autora en función de datos reales.

y complementando los datos semi-experimentales de h_i y h_e . Para proceder al empleo de este método, se deben discretizar las envolventes, en unidades diferenciales. En la práctica, se suelen tomar tamaños de discretización (Δx) entre 0.05 y 0.10 m. Estas dimensiones reducen el error de truncamiento que se arrastra en las ecuaciones consecutivas, a medida que pasa el tiempo. Para la envolvente-tipo definida, se consideran 5 nodos (M);

$$\Delta x = \frac{L}{M-1} = \frac{0,27 \text{ m}}{5-1} = 0,0675 \text{ m} \quad (m) \quad (1)$$

Con este espaciado nodal se determina el número de malla de Fourier en función del espaciado temporal (Δt) requerido. Dado que los datos recogidos con sensores de temperatura se programaron cada un minuto, entonces se define $\Delta t=60$ segundos;

$$\tau = \frac{\alpha \Delta t}{\Delta x^2} = 0,014 \quad (2)$$

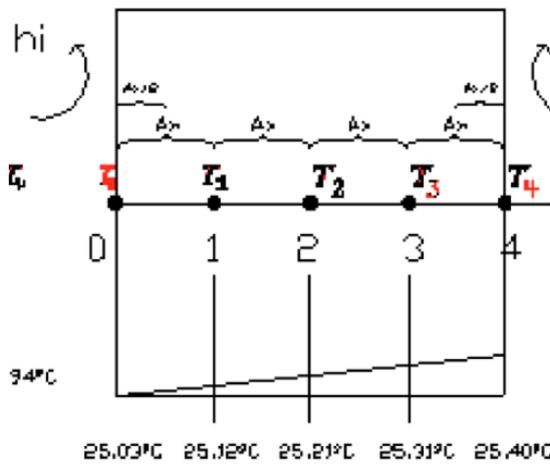


Figura 4. Discretización del elemento pared, en cinco nodos desde $T_0^i T_0^i$ hasta $T_4^i T_4^i$. Fuente: Elaboración de la autora.

Conductancias exteriores [Wh/m2K]	Configuración EV aislada	Configuración EV en conjunto
$h_{\text{laminar medio}}$	1,775	1,834
$h_{\text{turbulento medio}}$	24,957	31,653
$h_{e(\text{Lesino})}$	18,553	19,422
$h_{e(\text{Colombiá})}$	6,337	6,557

Tabla 1. Valores semi-experimentales obtenidos y valores de referencia de la bibliografía consultada, en relación a las conductancias superficiales exteriores, para el intercambio térmico por convección forzada de las brisas sobre las envolventes ubicadas en unidades aisladas y agrupadas. Fuente: Elaboración propia

Nuevamente, se expresan las ecuaciones diferenciales, en este caso para los nodos interiores, M_{n+1} ;

$$\lambda A \frac{(T_0^i - T_1^i)}{\Delta x} + \lambda A \frac{(T_2^i - T_1^i)}{\Delta x} = \rho A \Delta x c_p \frac{T_1^{i+1} - T_1^i}{\Delta t} \quad (3)$$

Para los nodos frontera $M_{T_{si}}$ y $M_{T_{se}}$;

$$\lambda A \frac{(T_n^i - T_0^i)}{\Delta x} + h A (T_{\text{vino}}^i - T_0^i) = \rho A \frac{\Delta x}{2} c_p \frac{T_0^{i+1} - T_0^i}{\Delta t} \quad (4)$$

$$\lambda A \frac{(T_n^i - T_{n+1}^i)}{\Delta x} + h A (T_{\infty}^i - T_{n+1}^i) = \rho A \frac{\Delta x}{2} c_p \frac{T_{n+1}^{i+1} - T_{n+1}^i}{\Delta t} \quad (5)$$

El criterio de estabilidad requerido para el método explícito para los valores Δt y Δx definidos indica que el número adimensional de malla de Fourier τ debe ser ≥ 0 . Este criterio se define con el valor del coeficiente más pequeño de las funciones $T_n^{i+n} T_n^{i+n}$ en las condiciones más restrictivas que son los nodos frontera, en este caso el valor de h_e . Si este criterio no es verificado, los resultados de la simulación pierden coherencia y el modelo pierde su confiabilidad absolutamente.

VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN

Mediante la herramienta de simulación, se obtiene el perfil de temperaturas del vino en conservación en tiempo real, almacenado dentro de una EV inserta en una configuración tipo conjunto de unidades. Se observa que luego de 250 pasos temporales de 60 segundos -equivalentes a 4 horas- el vino comienza a elevar su contenido de energía interna, perdiendo su estabilidad térmica. La parte del fluido más cercana a los muros, amortigua el impacto térmico del clima exterior con sacrificio de la homogeneidad térmica del volumen de vino. La Figura 5 representa el comportamiento del vino almacenado, a lo largo de un período breve de 6 días. Cada línea de color indica un nodo espacial, proyectado en el paso temporal de 60 segundos. En este período, la temperatura interior del vino ha oscilado fuertemente, acompañando las variaciones climáticas exteriores. Los datos del sensor en la masa del vino señalan el comportamiento térmico de la capa límite del fluido, ya que en ese punto se advierten variaciones térmicas de manera semejante y paralela a los nodos más próximos al límite del sistema. El error relativo entre la información registrada y la provista por la simulación, alcanza el 10% para 306 datos recogidos. Este margen implica los saltos térmicos registrados por los sensores, los que se deben a causas externas que motivan *out-layers* dentro de la normalidad de los datos, considerándose, en consecuencia, un error relativo menor. En este tipo de métodos interactivos en los cuales una función se encadena a la anterior y a la siguiente, a la superior y a la posterior -en un esquema matricial-, se promueve además un error de tipo acumulativo que crece con la cantidad de pasos temporales y espaciales que requiera el modelo.

Perfil de Temperaturas nodales en el tiempo

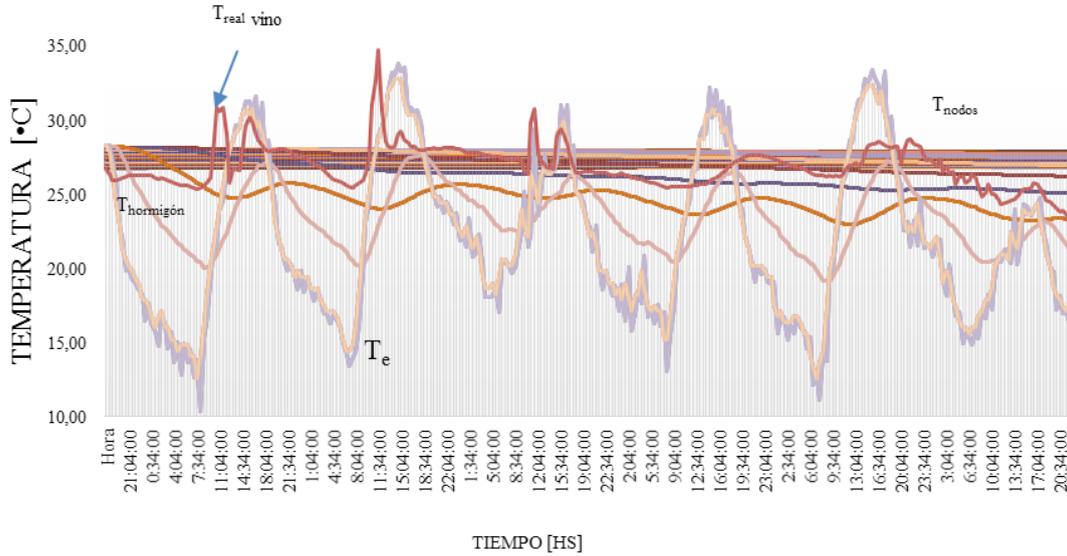


Figura 5. Perfil de temperaturas de los diferentes nodos espaciales a lo largo de seis días. Fuente: Elaboración de la autora en base a modelado con herramienta Excell.

Propiedades del Aire a 25°C			EV AISLADA O PRIMERA		EV EN CONJUNTO ESCALONADO		EV EN CONJUNTO ALINEADOS				
Densidad	(kg/m ³)	1,2	Vel Viento	(Km/h)	13,000	Vel Viento	(Km/h)	12,2	Vel Viento	(Km/h)	31,3
Calor Espe	(J/KgK)	1007,0		(m/seg)	3,611		(m/seg)	3,4		(m/seg)	8,7
Cond. Tern	(W/mK)	0,0	EV			EV			EV		
Dif. Termic	(m ² /seg ²)	0,0	Diametro	(m)	11,100	Diametro	(m)	11,1	Diametro	(m)	11,1
Viscosidad	(Kg/m*seg)	0,0	H	(m)	3,600	H	(m)	3,6	H	(m)	3,6
Viscosidad	(m ² /seg)	0,0				ST	(m)	19,0	ST	(m)	19,0
Pr	(-)	0,7				SD	(m)	21,2	SL	(m)	19,0
Ra	(-)					SL	(m)	19,0			
Re	(-)	2566721									
Nu _{laminar}	(-)	258,9	FALSO	h _{laminar} me	1,834	FALSO	h _{laminar} me	1,8	FALSO	h _{laminar} me	2,8
Nu _{turbulent}	(-)	4468,7	URBULENT	h _{turbulent} n	31,653	URBULENT	h _{turbulent} n	25,0	URBULENT	h _{turbulent} n	55,8

Tabla 2. Valores semi-experimentales de conductancias superficiales exteriores (he) para EV expuestas al viento en configuraciones aisladas, en conjuntos de EV escalonados y en conjuntos de EV alineados. Fuente: Elaboración de la autora.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

EFFECTO DEL VIENTO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS EV

Ante todo, se considera aquí tres tipos de ubicaciones posibles de la EV: aisladas o primeras EV, sobre las cuales el viento impacta a su velocidad original, y dos tipos de configuraciones en conjunto. Estas pueden ser alineadas o escalonadas, siendo las primeras aquellas EV ordenadas en hileras, mientras las escalonadas presentan irrupción de los corredores por los que transita el viento. En estas configuraciones en conjunto, la velocidad del viento se ve alterada, como se observa en la Tabla 2.

Se observa -también en la Tabla 2-, en función de la distribución de las EV en el terreno, que el viento sufre una aceleración mayor en aquellas configuraciones en conjuntos alineados y una leve disminución de su velocidad en conjuntos escalonados, respecto de la dirección predominante de las brisas. El viento impacta en su velocidad original sobre las primeras EV del conjunto. La turbulencia del viento ($h_{turbulento}$) incrementa la velocidad del intercambio de energía entre el aire exterior y el vino. Este impacto es menor en las EV ubicadas escalonadamente frente al viento ($h_{turbulento} = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$), y significativo en conjuntos alineados por cuyos corredores se acelera el flujo ($h_{turbulento} = 55,8 \text{ W/m}^2\text{K}$). Para el caso analizado, se toma la configuración alineada como si se considerara de una configuración escalonada, ya que el viento impacta en su impronta en ángulo de 45° (ver Figura 2).

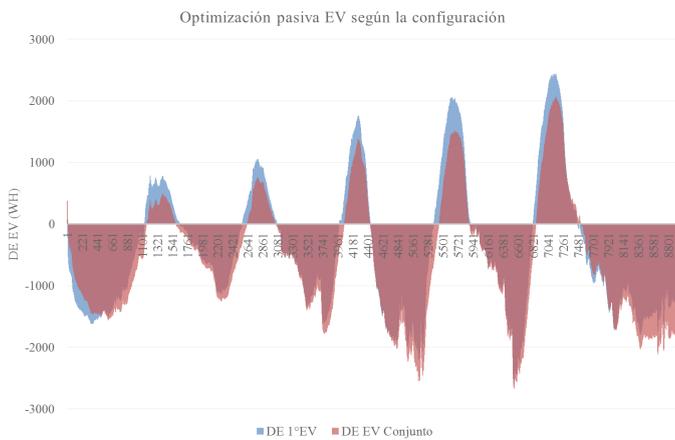


Figura 6. Resultados de la simulación de la variación de la demanda energética, según la ubicación de la EV.
 Fuente: Elaboración de la autora.

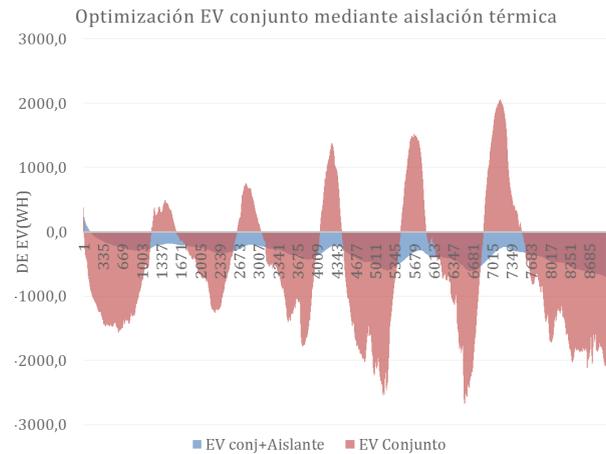


Figura 7. Resultados de la simulación de la demanda energética, a partir de la optimización mediante la incorporación de aislación térmica a la EV.
 Fuente: Elaboración de la autora.

OPTIMIZACIÓN PASIVA DE LA EV

Efecto de la optimización pasiva sobre la demanda energética (DE), según la ubicación de la EV

En este punto, se simula la EV real modelada en diversas configuraciones dentro de la planta industrial, situada en conjunto cual banco de tubos (EV conjunto) y aislada (EV única). Luego, se comparan los resultados térmicos de la ubicación de las envolventes mencionadas en la configuración de la planta industrial. De esta forma, se observa que la selección de la EV a partir del efecto del viento sobre su estabilidad térmica tiene relativamente poca incidencia. Es decir, que a pesar de que existe un incremento de la velocidad del viento entre distintas configuraciones, este no incide de forma significativa en la DE. Sin embargo, como se observa en la Figura 6 es posible afirmar que la EV en la cual impactan las brisas en su velocidad original (1ºEV) presenta mayor amplitud térmica y menor estabilidad que el caso comparado, *EV conjunto*.

Efecto de la optimización pasiva sobre la DE, según la incorporación de aislación térmica en la EV a ambas configuraciones

Se toman, en este paso, ambas configuraciones de EV y se las optimiza mediante la incorporación superficial exterior de una capa de aislación térmica de espuma de poliuretano de 0,06 m de espesor (Cond. Térmica 0,029 W/mK), debajo de una capa de revoque para protección

mecánica, de similar espesor. Se evidencia, entonces, que los casos responden de forma semejante², con una disminución significativa de su DE. Esta estrategia resulta, como se observa en la Figura 7, de una efectividad tan elevada -dadas las condiciones climáticas consideradas en este estudio- que permite alcanzar una demanda casi cero de energía en control térmico.

Efecto de la optimización pasiva sobre la estabilidad térmica del vino

Se observa aquí el desempeño térmico de la EV en cuatro situaciones: EV conjunto, EV conjunto+aislante, 1ºEV y 1ºEV+aislante. Se considera la estabilidad térmica del vino almacenado, en dirección espacial, es decir, desde el elemento muro hacia el punto más alejado del mismo, coincidente con el núcleo del vino. Por otra parte, se considera igualmente la estabilidad térmica del vino a lo largo de los ciclos diarios, en este caso, durante seis días corridos dentro del período estival.

CONCLUSIONES

Cuando se compara los resultados estadísticos de todos los casos simulados con los datos climáticos de temperatura exterior, se advierte que, si bien todos los casos de EV analizados superan los valores medios estadísticos de conservación del vino en verano (22,2 °C), se caracterizan por una inercia térmica relevante. Esto significa que, si el

[2] Por esto, en el gráfico no se ha incorporado el caso de la 1º EV, debido a la semejanza de los resultados.

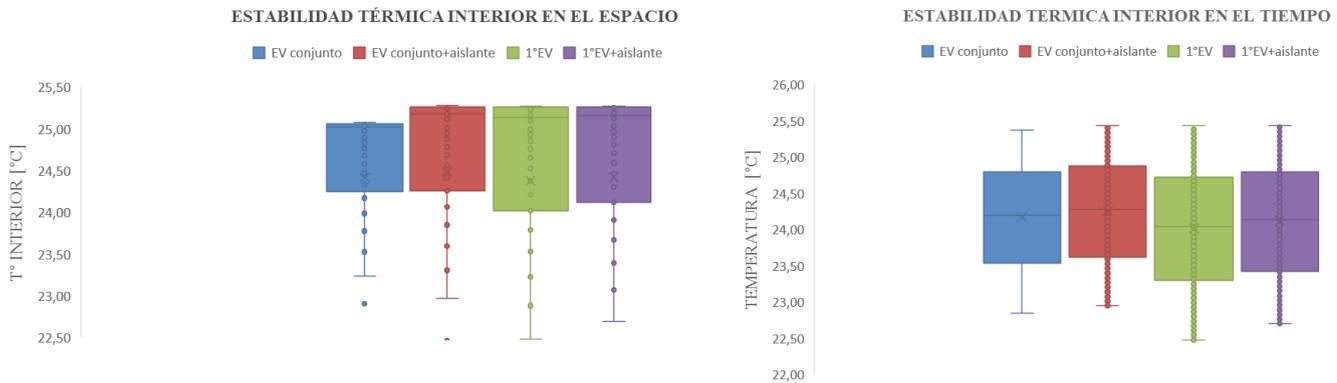


Figura 8. Gráfico de cajas para las temperaturas del vino almacenado en las envolventes simuladas y optimizadas. A la izquierda, la variación térmica en función del espacio (profundidad de la vasija) y, a la derecha, la variación térmica en función del tiempo (seis días). Fuente: Elaboración de la autora.

Los resultados de la optimización de la EV de conservación del vino se analizan estadísticamente, señalando una dispersión térmica diferente para cada caso, desde el nodo en contacto con el elemento EV hacia el núcleo del vino. Se observa en la Figura 8 que esta heterogeneidad térmica en el volumen de vino es mayor en el caso 1°EV con +/- 3,26 K y menor para EV conjunto escalonado, con +/- 1,8 K. Ello muestra que el vino varía térmicamente con cierta homogeneidad en configuraciones de planta industrial tipo conjunto escalonado, o sea, que tiene mayor estabilidad térmica en esta tipología que en el resto de los casos considerados. En este caso, la temperatura superficial interior media es más baja, dado que la línea de tendencia de la temperatura exterior durante el período de medición es descendente y la EV no está aislada. Los otros tres casos señalan una reducción del impacto de la onda térmica exterior. Si bien la temperatura media del vino es más cálida en la superficie en contacto con la envolvente, a medida que los nodos se distancian de esta, se observa el gran potencial de conservación de temperaturas más bajas, en todos los casos considerados de EV.

producto almacenado es pre-enfriado, el mismo conservará su temperatura por al menos un período de una semana, durante la cual se prescindirá del empleo de recursos termoenergéticos para suplir esta demanda. En dicho período la industria se ahorra energía eléctrica, garantizándose simultáneamente la estabilidad térmica del producto. El empleo de esta tipología de EV para la conservación del vino permite una eficiente gestión energética en las bodegas de la zona de análisis. El proceso puede ser complementado mediante recursos geotérmicos -cuya temperatura en la zona se mantiene en los 18°C- sin tratar, o enfriado mecánicamente, dependiendo de los márgenes térmicos demandados por la calidad del producto.

Si se compara, asimismo, los resultados de la simulación con los datos registrados para el caso real, se observa que presentan la misma *performance* energética, con gran estabilidad térmica del producto y mínima asistencia en control de temperatura. Ahora bien, si se compara, además de los anteriores, otros valores reales de una tipología industrial distinta, como los tanques de acero inoxidable, se pueden observar las diferencias. El tanque de acero se asemeja más en su desempeño térmico a la sinusoide de la temperatura exterior del clima que a los casos representativos reales y simulados de la EV de hormigón. El empleo de los tanques de acero inoxidable o metal en la industria parece no favorecer al uso racional y gestión de la energía. A pesar de encontrarse en el interior de una bodega, el estado térmico del vino almacenado en el tanque presenta oscilaciones casi idénticas a las del aire exterior.

En este trabajo se ha desarrollado una herramienta para el pre-diagnóstico energético de envolventes de tipo industrial, cuya aplicación es extensiva a agroindustrias regionales como las olivícolas, cerveceras, lecheras y todas aquellas en donde están implicadas grandes superficies de envolventes expuestas a la intemperie, temperaturas operativas y productos de valor agregado. Esta herramienta también puede aplicarse a envolventes de vinificación más comercialmente difundidas, como tanques metálicos, de PVC o acero inoxidable. Además, es posible complementar la herramienta con un modelo de fermentación alcohólica, integrando una planilla de ingreso de datos específicos (cantidad de azúcar, dióxido de carbono, densidad, etc.) con las expresiones correspondientes a los modelos cinéticos. Otra importancia del modelado es que refleja los cambios en la energía interna del producto guardado, cuya estabilidad térmica es la base de la preservación del mismo, particularmente, en las instancias posteriores a la fermentación, como lo constituyen la estabilización y guarda del producto.

El uso racional de la energía en la industria atiende principalmente a la calificación energética de los sistemas mecánicos porque es este el parámetro de eficiencia energética impuesto y difundido en el mundo desarrollado. Por su parte, la sustentabilidad edilicia se aplica sobre todo a edificios comerciales y residenciales. De esta manera, la eficiencia energética en las envolventes utilizadas en las industrias se caracteriza por escasas soluciones específicas. La definición de prototipos de envolventes eficientes desde

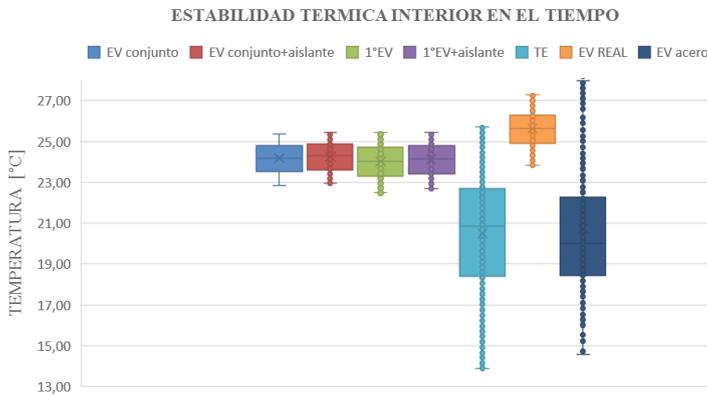


Figura 9. Gráfico de cajas para las temperaturas del vino almacenado en las envolventes simuladas y optimizadas y temperatura exterior. Fuente: Elaboración de la autora.

el uso racional de la energía es una tarea en desarrollo en numerosos trabajos publicados. Los resultados obtenidos en esta investigación siembran un pequeño aporte a los avances en materia de uso racional de la energía para la calificación, certificación y gestión energética de las industrias, en el contexto climático analizado. Se ha demostrado cuantitativamente y de manera comparativa el desempeño de la envolvente representativa en la conservación del vino, frente a una envolvente de tipo comercial, como el hegemónico y ampliamente utilizado tanque de acero inoxidable. Podría decirse, en definitiva, que, para el contexto climático analizado, existe un prototipo de envolvente industrial eficiente para la conservación del vino. Este tipo de envolventes, definidas por su gran poder de inercia térmica, constituye la tipología industrial que más se aproxima al concepto de *Net Zero Buildings* aplicado al contexto de las envolventes industriales.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la empresa *Vitícola Cuyo S.A.* por proveer las instalaciones industriales para llevar a cabo el monitoreo térmico. Se agradece al Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPha) por proveer los instrumentos utilizados para realizar las mediciones. Se agradece, particularmente, al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) por financiar este proyecto enmarcado la investigación Posdoctoral (2014/2016) de la Dra.-Arq. Ramos Sanz, Alba I.

LISTADO DE SÍMBOLOS

- AA área [m^2]
- $\alpha\alpha$ difusividad térmica [m^2/seg]
- $\Delta t \Delta t$ espaciamento temporal [seg]
- $\Delta x \Delta x$ espaciamento espacial [m]
- $c_p c_p$ capacidad térmica específica [$J/Kg^\circ C$]
- $\rho\rho$ densidad [Kg/m^3]

h coeficiente superficial de transferencia de calor [$Wh/m^2^\circ C$]

$\lambda\lambda$ conductividad térmica del fluido [$Wh/m^\circ C$]

L longitud [m]

M cantidad de nodos [u]

$\tau\tau$ número de Fourier [a]

$T_n^i T_n^i$ nodos [u]

EV envolvente de vinificación

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSTRALIAN WINE RESEARCH INSTITUTE. *Winery Energy Saver Toolkit* [en línea], 2012. [Consultado 20 julio 2017]. Disponible en: <http://www.winesa.asn.au>

BRITISH COLUMBIA WINE GRAPE COUNCIL. *Sustainable Winegrowing Program* [en línea], 2011. [Consultado 20 julio 2017]. Disponible en: <http://bcwgc.org>

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION. *Best Winery* [en línea], 2005. [Consultado 20 julio 2017]. Disponible en: www.energy.ca.gov

INSTITUTO NACIONAL DE VITIVINICULTURA, INV. [en línea]. 2008. [Consultado 20 julio 2017]. Disponible en: <http://www.inv.gov.ar>

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN IRAM11603. *Clasificación Bioambiental de la República Argentina*. Buenos Aires, Argentina, 1996.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN IRAM/ISO50001. *Gestión de la Energía en la Industria*. Buenos Aires, Argentina, 2016.

OBSERVATORIO ECONÓMICO SOCIAL UNR [en línea]. [Consultado octubre 2017]. Disponible en: <http://www.observatorio.unr.edu.ar/llego-la-factura-de-la-luz/>

OREGLIA, Francisco. *Enología Teórico-práctica*. Ediciones Instituto Seliciano de Artes Gráficas, Buenos Aires, 1978.

RAMOS SANZ, Alba. *El Confort del Vino en la Envolvente Industrial. Estudio de casos de vasijas vinarias de Bodegas argentinas*. Editorial Publicia, Saarbrücken, Alemania, 2014.

RAMOS SANZ, Alba. *Reducción de la demanda térmica originada en la vinificación en bodegas localizadas en zona de clima árido, mediante modelado térmico semi-empírico*. Revista Hábitat Sustentable, Chile, 2015, vol. 5, n° 2, pp. 6-19.



MONITOREO ENERGÉTICO Y ESTRATEGIAS DE RETROFIT PARA VIVIENDAS SOCIALES EN CLIMA FRÍO

ENERGY MONITORING AND RETROFIT STRATEGIES FOR SOCIAL HOUSING IN A COLD CLIMATE

MICAELA ANDERSEN

Universidad Nacional de La Plata, Instituto de Investigaciones y
Políticas del Ambiente Construido,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
Buenos Aires Argentina
micaela_andersen@hotmail.com

CARLOS ALBERTO DISCOLI

Universidad Nacional de La Plata, Instituto de Investigaciones y
Políticas del Ambiente Construido,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
Buenos Aires Argentina
discoli@rocketmail.com

GRACIELA MELISA VIEGAS

Universidad Nacional de La Plata, Instituto de Investigaciones y
Políticas del Ambiente Construido,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
Buenos Aires Argentina
gachiviegas@yahoo.com.ar

IRENE MARTINI

Universidad Nacional de La Plata, Instituto de Investigaciones y
Políticas del Ambiente Construido,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
Buenos Aires Argentina
irene_martini@yahoo.com.ar

RESUMEN

El presente trabajo aborda la aplicación de tecnologías y pautas para el reciclado masivo de viviendas urbanas representativas. Se evalúa aquí el comportamiento energético actual en una vivienda social "tipo" con un alto nivel de replicabilidad. Para ello, se cuantifica el potencial ahorro energético al aplicar diversas estrategias de mejoramiento de la envolvente edilicia que permitan arribar a valores admisibles de pérdidas térmicas, de acuerdo con la normativa argentina. Se describe la tecnología, el comportamiento térmico y energético de una vivienda perteneciente al barrio "645 Viviendas" (desarrollado por El Instituto de Planificación y Promoción de la Vivienda), ubicada en la ciudad de S. C. de Bariloche, en la zona bioambiental IV, muy fría. Este barrio presenta una emergencia energética de gran magnitud, ya que no se encuentra conectado a la red de gas natural. Posteriormente, se examinan los resultados de la auditoria energética de 2016 y se muestra la simulación térmica realizada en Ecotect Analysis 2011, incorporando las condiciones reales de uso auditadas. Ajustado el modelo, se analizan 24 estrategias de mejoramiento de la envolvente térmica, posibilitando la identificación de las estrategias de mayor impacto en la reducción de la demanda energética.

Palabras clave

evaluación higrotérmica, simulación energética, vivienda social, retrofit.

ABSTRACT

This research studies the implementation of technologies and guidelines for the large-scale retrofitting of representative urban housing. It evaluates the energy performance of a typical social housing dwelling with a high level of replicability. To this end, the potential energy savings resulting from the application of various building envelope improvement strategies in accordance with Argentine regulations are calculated. The technology and the thermal and energy behavior of a dwelling located in the "645 Dwellings" neighborhood (645 Viviendas) built by the Institute of Planning and Promotion of Housing (IPPV) in the city of San Carlos de Bariloche are described. This neighborhood presents a major energy emergency, since the houses are located in bio-environmental zone IV (very cold) and are not connected to the natural gas grid. Subsequently, the results of the 2016 energy audit are examined and a thermal simulation with Ecotect Analysis 2011 software incorporating the actual audited conditions of use is shown. After adjusting the model, 24 thermal envelope improvement strategies are analyzed in order to identify those with the greatest impact on energy demand reduction

Keywords

hygrothermal analysis, energy simulation, social housing, retrofit

INTRODUCCIÓN

En los países en desarrollo, particularmente en América Latina, se presentan problemas complejos producto del rápido crecimiento de las áreas urbanas, tales como la explotación de los recursos naturales, la contaminación ambiental y las emisiones de gases de efecto invernadero (Cerón Palma *et al.*, 2013). Este crecimiento urbano acelerado es resultado de un crecimiento poblacional que demanda vivienda para su hábitat. Ferguson y Navarrete (2003) mencionan en su artículo que, en países en vías de desarrollo, el 70% de la vivienda de los sectores de menores recursos es producto de un crecimiento progresivo y usualmente generado a partir de ocupación de tierras, de manera informal y por autoconstrucción. Pero si nos enfocamos en la respuesta que el Estado otorga sobre la demanda previamente mencionada, denominada como *vivienda social*, Rodríguez y Sugranyes (2004) manifiestan que las políticas en este campo en Latinoamérica se han enfocado en reducir el déficit cuantitativo y no cualitativo de las mismas. La mayor cantidad de unidades de viviendas se construyen con una reducida inversión, por lo que presentan baja calidad constructiva. Esta situación trae aparejados dificultades de habitabilidad a largo plazo y, como consecuencia, se presentan problemas en la salud de sus habitantes, los que en general responden a sectores sociales de menores ingresos.

La problemática antes mencionada ha sido ampliamente estudiada en investigaciones en el contexto latinoamericano. En México, García Rodríguez *et al.* (2015) apunta a evaluar la sustentabilidad en la vivienda social y concluye en la necesidad de reforzar las prácticas sustentables locales. Numerosos trabajos evalúan, de igual forma, la sustentabilidad social de los proyectos habitacionales y observan que los mismos no benefician a los sectores más vulnerables en países como Chile y Colombia (Reis y Lay, 2010; Pérez, 2011). En el caso cubano, se registraron criterios de tecnología apropiada en la vivienda social en los años 60 los cuales se fueron perdiendo con sistemas prefabricados (González Couret, 2009).

En Argentina también se verifica esta situación. Según el Censo Nacional de Población Hogares y Viviendas del 2010, el 16.4% de las viviendas presenta algún tipo de deficiencia. Para subsanar este escenario, el Estado desarrolla políticas públicas de construcción de planes de vivienda, ejecutadas, entre otras operatorias, a través del Fondo Nacional de la Vivienda (FONAVI). No se cuenta con información oficial acerca de la cantidad de vivienda financiada por el Estado respecto del total de viviendas, pero de acuerdo con estimaciones realizadas, y considerando aquellos programas de vivienda que representan un número considerable, al año 2012 se contaba con un total

de 1.500.298, que corresponde al 13.3% respecto del total de vivienda en el país. Las operatorias FONAVI registradas oficialmente entre 1976 y 2009 son de 916.283 viviendas (Ministerio de Infraestructura, 2011). Sin embargo, lo que se ha podido observar es que éstas no responden tipológicamente a los requerimientos climáticos del sitio y presentan severas deficiencias de habitabilidad originadas por la falta de aislación y almacenamiento térmico de la envolvente. Dicha realidad genera la necesidad de un mantenimiento constante, debido a la presentación de patologías de la construcción, como por ejemplo la condensación superficial e intersticial. Asimismo, la falta de aislaciones térmicas en la envolvente, junto con el mal comportamiento de uso por parte de los usuarios, y el uso masivo de calefactores de baja eficiencia (Juanicó y González, 2008), explican los altos consumos de energía que se pueden registrar. Otros autores también han advertido muy altos consumos de gas natural en calefacción en viviendas en diferentes regiones, tales como La Plata (Rodríguez *et al.*, 2012; Vagge, Czajkowski y Filippín, 2008), Río Grande (Díaz y Czajkowski, 2006); Comodoro Rivadavia (Mercado *et al.*, 2008). Estudios sobre la localidad de Mendoza (Mercado, Estévez y Filippín, 2010) se abocan a las problemáticas de habitabilidad de las viviendas sociales y plantean soluciones económicas de mejoramiento mediante simulación. En todos los casos, se observó la falta de aislaciones térmicas como una problemática recurrente, más allá del clima de emplazamiento de las viviendas, justificándose, por tanto, un potencial de mejora de hasta el 75% en reducción del consumo.

Por otro lado, en el año 2016, el Gobierno Nacional Argentino decidió aplicar un aumento tarifario del gas natural de red en un promedio de 203% de lo facturado en el mismo bimestre del año anterior para la categoría residencial, con topes de hasta 400%. En los próximos años se prevé aplicar revisiones semestrales en cada año, hasta arribar al 2022 a un nivel cero de subsidios¹. Los exponenciales aumentos, junto con la alta dependencia del uso de combustibles en el sector residencial, principalmente en el período invernal, plantean un panorama alarmante a la hora de mantener las condiciones de confort y habitabilidad requeridas en las viviendas, como también un preocupante dilema socio-energético, sobre todo en regiones con climas rigurosos como son las zonas bioclimáticas frías y muy frías (IRAM 11603, 1996).

Teniendo en cuenta el escenario actual, se advierte que el sector residencial posee un gran potencial de ahorro energético, por lo cual es menester analizar estrategias para disminuir la tendencia de aumento de consumo, en especial de fuentes fósiles, y sus consecuencias ambientales. Con ese fin, se considera prioritario mejorar la eficiencia de la envolvente de la edificación existente, promoviendo la

[1] Boletín Oficial, resolución 212 07/10/2016. Ministro de Energía, Juan José Aranguren.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Humedad Relativa [%]	52.56	53.94	61.32	68.54	75.08	79.52	78.27	75.61	66.95	61.20	57.16	53.83	65.33
Temp Media [°C]	15.22	15.03	11.95	7.89	4.95	3.12	2.19	2.98	5.19	8.17	10.94	13.56	8.43
Temp Med Máx [°C]	22.77	23.16	19.71	14.59	10.41	7.24	6.86	8.22	11.67	14.95	17.88	20.55	14.83
Temp Med Mín [°C]	6.74	6.74	4.81	2.30	0.54	-0.36	-1.52	-1.10	-0.20	1.81	3.88	5.92	2.46
Precipitaciones [mm]	22.43	17.96	912.90	60.20	19.50	42.10	30.10	14.40	21.00	31.00	29.90	27.10	325.10
TDMN [°C]	-6.60												
Amplitud térmica	Entre 7,6°C y 16,4°C (mayor amplitud en los meses estivales)												
pv. [Pa]	1728	1707	1397	1008	1094	638	548	581	884	994	947	1186	1002
h _{dir.} [MJ/m ²]	28.72	24.91	19.13	12.44	7.98	5.93	6.68	10.30	16.23	22.55	27.49	29.67	
h _{dif.} [MJ/m ²]	3.12	2.78	2.47	2.03	1.64	1.49	1.57	1.85	2.25	2.66	3.02	3.18	
Tot. diaria s/plano [MJ/m ²]	31.84	27.69	21.60	14.47	9.62	7.42	8.25	12.15	18.48	25.21	30.51	32.85	

Tabla 1. Datos climáticos de la localidad. Fuente: Elaboración de los autores en base a temperaturas, humedad y precipitaciones: SMN (1985 a 2012); radiación Solar: Geo Sol Met. Día claro de Hottel.



Figura 1. Ubicación geográfica de la vivienda estudiada en Bariloche, Barrio 645 Viviendas. Fuente: Elaboración de los autores.

conservación de la energía y el uso eficiente del recurso, con niveles normados de habitabilidad.

En ese contexto, el objetivo del trabajo aquí expuesto es evaluar detalladamente la habitabilidad de una vivienda, su equipamiento para climatización y los sistemas constructivos que componen la envolvente. Para ello, se realiza una auditoría termo-energética de una vivienda en uso, donde se sientan fundamentos del estado real de ese tipo de vivienda y, en base a los valores obtenidos, se establecen acciones que buscan mejorar las variables termo-físicas y las condiciones de uso, a partir de las cuales se cuantificará el potencial ahorro energético específico. Dichas acciones tienen como meta la aplicación masiva de diversas estrategias de mejoramiento de la envolvente y, asimismo, plantear niveles de ahorro energético a través de la aplicación desagregada y/o integrada de las medidas propuestas. A partir de los resultados del análisis tipológico y tecnológico, replicar dichas medidas en las viviendas de similares características, favoreciendo la habitabilidad y minimizando la demanda energética a escala barrial.

ÁREA DE APLICACIÓN, SELECCIÓN DEL CASO Y CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVA.

El estudio se realizó en la localidad de San Carlos de Bariloche, la segunda ciudad con mayor población de la región patagónica según el censo 2010. La misma se encuentra en la Latitud 42.2 S, Longitud 71.0 O, a una

Altitud de 840 msnm. Según la clasificación bioambiental de la República Argentina de la Norma IRAM 11603, está ubicada en la zona bioambiental IV, "Muy fría", y los Grados día de calefacción para alcanzar 18°C son de 3.475. El área urbana de Bariloche aloja aproximadamente a 120.000 habitantes, en unas 40.123 viviendas (INDEC, 2010). Según estudios llevados a cabo en el grupo de investigación, 83% de las viviendas son privadas, 70% no comparten medianeras, 48% tienen dos pisos, y el material predominante usado para paredes es de ladrillo cerámico hueco sin aislación térmica en un 41%. También se determinó que las viviendas que más consumen por metro cuadrado son aquellas expuestas y más pequeñas (Andersen *et al.*, 2016), siendo los requerimientos energéticos anuales de 196 GJ/año (4800 m³ de gas y 2300 kWh eléctrico) para una vivienda promedio de 99,7 m², principalmente para calefacción (González, Crivelli y Gortari, 2006).

De las viviendas consideradas de calidad satisfactoria por el INDEC, el 12% corresponden a viviendas sociales construidas por planes FONAVI desde el año 1975, por lo tanto, en la localidad hay una presencia de 3.991 viviendas de tipologías similares.

En función de lo expuesto, este trabajo plantea evaluar el comportamiento energético de una vivienda "tipo", perteneciente al "Barrio 645 viviendas", en su estado actual. Dada su representatividad tipológica y tecnológica, dicha vivienda permite dimensionar el potencial de replicabilidad de las medidas a tener en cuenta.

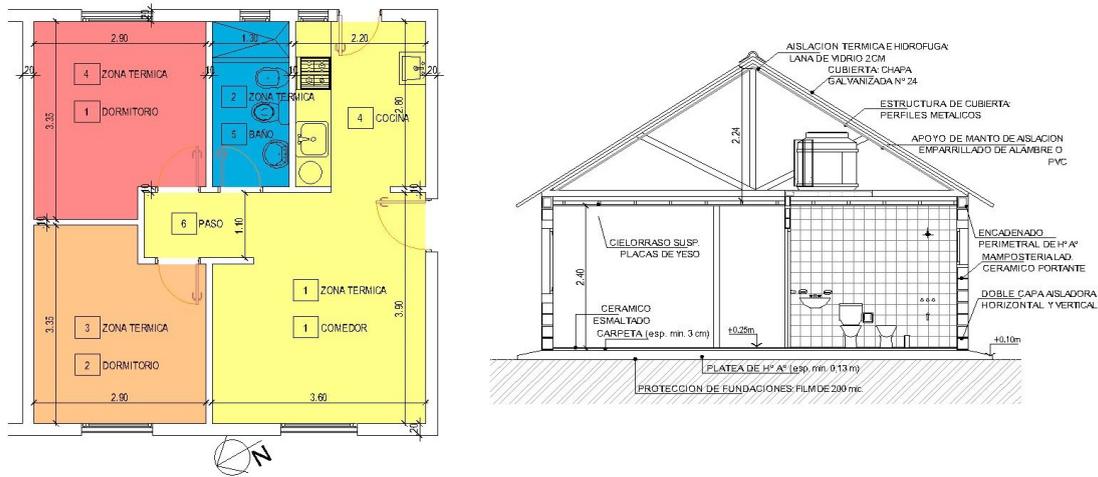


Figura 2. Planta y el corte arquitectónico de la vivienda. Fuente: Elaboración de los autores.

	K (1)		Transmitancia admisible (W/m ² K)(2)			S	V (m ³)	Qt (w/Km ³)	Gviv(3) (w/Km ³)	Gadm (w/Km ³)
			A	B	C					
C1	1,6	Kcal/hm ² K	<=0,26	>0,26<=0,67	>0,67<=1	61,6	163	2,08	2,78	1,72
M1	1,54	Kcal/hm ² K				82,7				
M2	1,5	Kcal/hm ² K				1,9				
M3	1,38	Kcal/hm ² K	<=0,3	>0,3<=0,8	>0,8<=1,39	8,1				
M4	1,54	Kcal/hm ² K				16,9				
Vn	5,44	Kcal/hm ² K				5,4				
Pn	0,54	Kcal/hm ² K				2,7				
Piso	1,48	Kcal/h.m K				28,4				

Tabla 2. Valores de transmitancia térmica de cada elemento de la envolvente térmica del estado base; pérdidas térmicas por transmisión que representan y su relación con el coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Fuente: Elaboración de los autores.

El barrio es de baja densidad y pertenece al Programa Federal II Reconvertido. El sitio donde se encuentra implantado presenta un microclima con mayor rigurosidad ya que se localiza a una altitud de 940 msnm y en zona de estepa; la humedad relativa es muy baja, lo que genera una mayor amplitud térmica y cuenta con mayor exposición a los vientos predominantes del Oeste, Noroeste y Suroeste. Al no tener acceso a la red de gas natural, por no estar finalizadas las obras del Gasoducto Cordillerano que abastecen a toda la localidad, dicho emplazamiento se encuentra en una emergencia energética de gran magnitud. Para subsanar el problema, la provincia de Río Negro entrega 4 Cilindros de gas propano de 45 kg de manera mensual, situación que continuará al menos hasta 2017. El costo de dicha solución provisoria representa más de 2 millones de pesos por mes (Diario ANB, 2016).

En la Figura 2 se observa la planta y el corte de la vivienda seleccionada que se encuentra apareada por la medianera Este. Posee una superficie cubierta de 50 m² de planta, con dos dormitorios, un baño, una cocina y un living comedor. El volumen es de 163.2 m³, y se destacan su reducido índice de compacidad (Mascaró, 1983), de 35 %, y su alto factor de exposición (Czajkowski y Gómez, 1994), de 0.82. Estos indicadores generales afectan negativamente el confort térmico, dado su alto nivel de disipación térmica,

influyendo fuertemente el consumo energético de la vivienda. La envolvente vertical es de ladrillo hueco de 0.18 m de espesor sin aislación; el piso está conformado por una estructura resistente de platea de hormigón, carpeta de nivelación y piso cerámico; y la cubierta está compuesta de una estructura liviana de acero, chapa aluminada de perfil sinusoidal, lana de vidrio de 2,5 cm de espesor, ático ventilado y cielorraso suspendido de placa de roca de yeso de 1cm de espesor.

La vivienda posee dos equipos de calefacción, un tiro balanceado de 5000 Kcal/h en el living comedor y un tiro balanceado de 3500 Kcal/h en el dormitorio orientado al SO. Estos son utilizados durante 10 meses en el año y luego se mantienen en piloto. Dado que la provincia provee el gas envasado a cada vivienda (4 tubos de 45 kg por mes), independientemente de la demanda, no hay un registro real del consumo y de la disponibilidad de energía: tanto para agua sanitaria, como para cocción y calefacción es de 2293kWh mensuales.

En la Tabla 2 se expresan los valores de transmitancia térmica de la envolvente y su relación con los valores admisibles (IRAM 11605,1996). Se observa allí que los elementos de cubierta y de muro están por debajo del nivel propuesto por la norma, salvo algunas excepciones. Se realiza el

cálculo de coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor (IRAM 11604, 1996) con renovaciones de aire por hora “ n ” igual a 2. De ello resulta que el valor G del edificio es 1.6 veces superior al G_{adm} . Esto implica una baja habitabilidad y justifica una alta demanda de insumos energéticos para mantener niveles básicos de confort térmico.

En función de los antecedentes y el caso de estudio detallado, se expone en seguida la metodología utilizada en la definición de estrategias para el mejoramiento de la envolvente térmica.

METODOLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN DESARROLLADA PARA LA DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS ENERGÉTICAS.

El presente trabajo se desarrolla en el marco de una tesis doctoral² y un proyecto de investigación (PIP 097 2012-2014), ambas investigaciones orientadas al análisis del universo representativo de viviendas “tipo” y tecnologías difundidas en el proceso de construcción. Sus objetivos se centran en la evaluación y propuesta de acciones e innovaciones proyectuales y tecnológicas, tendientes al reciclado masivo de la envolvente edilicia residencial existente y a la aplicación de técnicas apropiadas de “diseño pasivo”, como aporte hacia una mayor eficiencia en el consumo energético y a la consecuente mejora en las condiciones de confort interior.

Para analizar la vivienda “tipo”, se realizó una auditoría energética *in situ* durante el período invernal, relevando aspectos físico-constructivos de la vivienda, equipamiento, formas de uso y niveles de habitabilidad. El monitoreo llevado a cabo permitió establecer valores reales de comportamiento. Paralelamente, se relevaron a través de una encuesta estructurada los usos, costumbres y percepciones de los ocupantes respecto al hogar y a sus diferentes ambientes, en aras de definir los horarios de ocupación, tiempos de uso del equipamiento y ganancias internas (Andersen, Hernández y Discoli, 2017).

En base a los valores obtenidos por monitoreo, se efectuó un modelo de vivienda base por simulación dinámica utilizando el software Autodesk Ecotect Analysis. A dicho modelo, una vez ajustado y validado con los parámetros

auditados, se le aplican medidas de mejoramiento en la envolvente, evaluando: diferentes tecnologías de retrofit; valores de transmitancia térmica de los sistemas constructivos propuestos; y valores de infiltración de aire.

AUDITORIA ENERGÉTICA Y DE USOS

En esta fase, se ejecutó un relevamiento de las características constructivas, equipamiento y ocupación, a través de una encuesta detallada³ y una entrevista personal, con el fin de recabar aspectos relacionados con la percepción térmica, los horarios y actividades que se desarrollan en la vivienda, preferencias de usos de los espacios, y recopilación de facturas de energía eléctrica. En cuanto a las monitorizaciones físicas, se evaluó la temperatura, exterior e interior y humedad relativa en tres habitaciones (con Stations Data Loggers U12-012 HOB0, desde el 26 de agosto al 22 de septiembre de 2016) y se corroboró la utilización de los materiales descritos en la planimetría. Por otro lado, se realizaron las siguientes actividades: el reconocimiento de pérdidas térmicas superficiales se realizó a través de imágenes termo gráficas, utilizando una cámara FLIR C2 (el procedimiento de mediciones se hizo según la norma ISO 6781:1883 modificada), para la identificación de puentes térmicos; relevamientos de temperaturas en superficies de materiales expuestos (muros, carpinterías y pisos), empleando un termómetro infrarrojo tipo K LUTRON modelo TM-909; relevamientos de humedad en superficies y puentes térmicos, usando un medidor de humedad superficial DELMHORST BD-2100; nivel base de infiltraciones de aire, a través del equipo y software del Minneapolis Blower Door System Modelo 3; y, finalmente, se analizó de forma cualitativa los posibles puntos de infiltraciones de aire a través de la medición de temperatura y velocidad del aire, mediante un anemómetro de hilo caliente LUTRON, modelo AM-4202. En esta auditoría se obtuvieron los parámetros reales para ajustar el modelo base de la simulación.

SIMULACIONES DINÁMICAS

Las simulaciones dinámicas (hora a hora) se llevaron a cabo a partir de un modelo teórico zonificado por locales (zonas térmicas), que permitió evaluar la demanda energética mensual y anual, según un nivel de confort térmico normado, cotejado con los valores auditados.

Se utilizó el software Autodesk Ecotect Analysis, desarrollado en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Australia Occidental, el que cuenta con una interfaz de modelización de dos y tres dimensiones, integrada con una amplia gama

[2] Arq. Andersen Micaela. Tesis doctoral CONICET. Doctoranda en Ciencias Área Energías Renovables, Universidad Nacional de Salta. Tesis denominada: “Evaluación de técnicas de reacondicionamiento de la edilicia residencial existente en climas fríos; caso de estudio: Ciudad de S.C. de Bariloche, Río Negro, Argentina”.

[3] Véase: http://www.e-encuesta.com/r/QDHRvq_2SM70buF3EDcy8g/

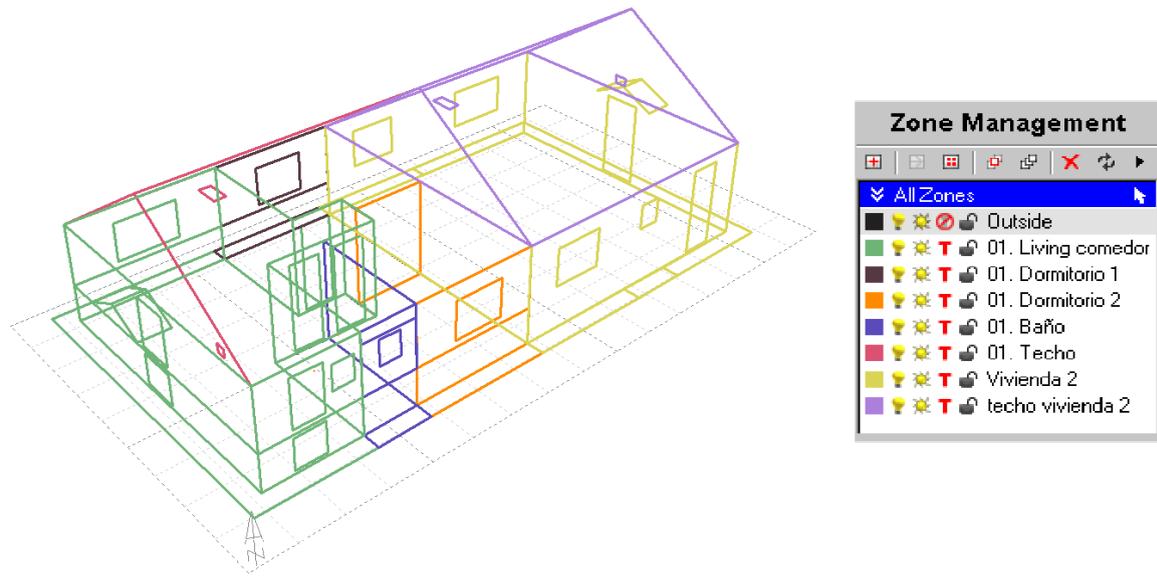


Figura 3. Modelo térmico con detalle de zonas térmicas. Fuente: Elaboración de autores.

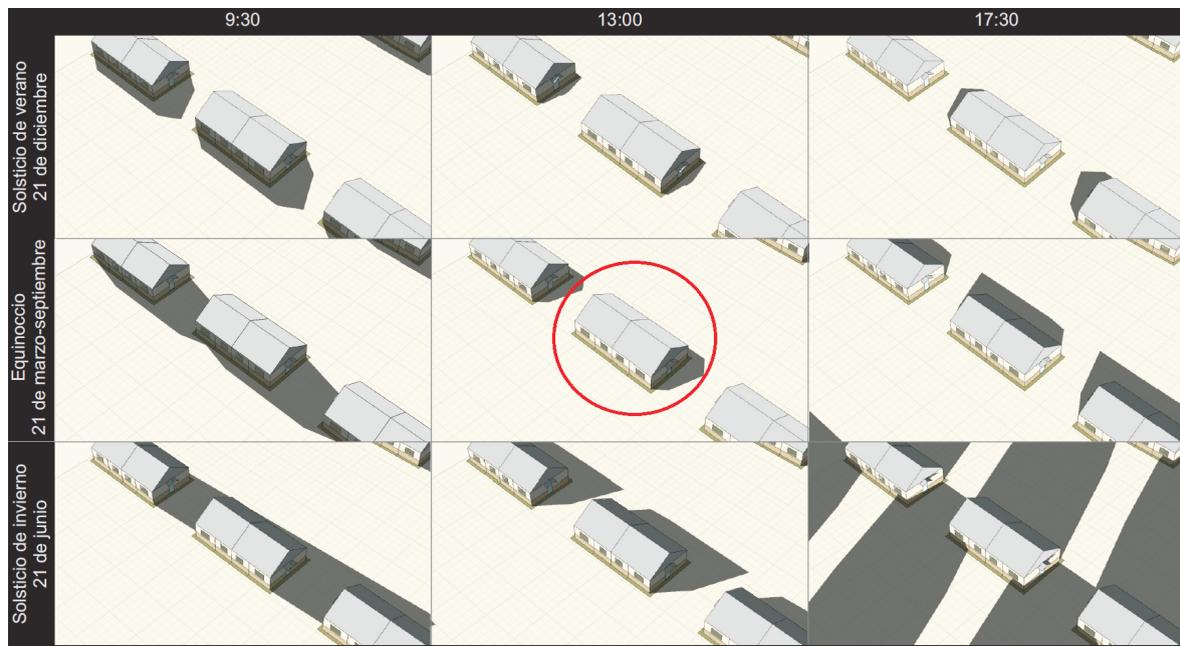


Figura 4. Condiciones de asoleamiento de la vivienda según matriz de 3x3 (variaciones horarias y estacionales). Se observa que la fachada NE se mantiene asoleada durante todo el año en los horarios de mayor radiación solar. Las fachadas con mayor sombra son las E y O. La cara S recibe sol solo en pocas horas de la mañana en verano. Fuente: Elaboración de los autores.

de funciones para análisis solar, térmico y lumínico, entre otras. Además, este usa un método simplificado basado en el Método de Admitancia del Chartered Institute of Building Services Engineers (CIBSE Admittance Method), para determinar temperaturas internas y cargas térmicas. Emplea un algoritmo térmico flexible, sin restricciones en cuanto a la geometría del edificio o el número de zonas térmicas que pueden ser analizadas simultáneamente. Utiliza las características termo-físicas de los materiales como la admitancia térmica y los factores de retraso y decrecimiento térmico para definir la respuesta dinámica en régimen transitorio (Boutet et al., 2010).

Descripción del modelo base

Con el objetivo de definir las condiciones reales del entorno, se estableció una base climática según la localización geográfica y se corrigió la base climática EPW (Energyplus Weather Format) en base a las temperaturas y humedades registradas en el período monitorizado. Así también, se orientó el modelo a 30° con respecto al norte, coincidente con la vivienda original, y se construyeron las condiciones generales del entorno para desarrollar una evaluación solar cercana a la real.

Para analizar los ambientes interiores, se definieron zonas térmicas por locales (Figura 3). Aquellos locales que no presentaban divisiones delimitadas por carpinterías o por vanos, fueron considerados como una única zona térmica, como es el caso de la cocina y el living comedor. Se determinaron, de igual forma, las zonas no térmicas, incluyendo obstáculos (vivienda apareada y viviendas vecinas, alero de ingreso) que tienen incidencia directa en el porcentaje de sombra arrojada sobre el edificio. Se incluyó, como zona térmica, la cámara de aire ventilada entre el cielorraso y la cubierta de chapa.

Asimismo, se indicaron las configuraciones de los vanos (puertas y ventanas), según planos oficiales, y las propiedades termo físicas de los sistemas constructivos de cada una de las superficies componentes (densidad, conductividad térmica y calor específico), en base a las propiedades de los materiales de construcción identificados en la norma IRAM 11601, 2002.

Por otro lado, se replicó el entorno existente de la vivienda, considerando la vivienda colindante y los posibles obstáculos para la ganancia solar en los meses de mayor rigurosidad (Figura 4).

Con el propósito de completar la carga de datos y poder simular la vivienda base, se definieron las condiciones de uso para cada local analizado en base a un monitoreo térmico y encuestas al usuario, perfiles de ocupación, número de usuarios por zona térmica, nivel de actividad, sistemas de ventilación, fracción de infiltración y factor de sensibilidad de cada zona a la velocidad externa del viento. Se estableció, en este punto, la renovación de aire en base al valor obtenido por el ensayo de Blower Door a 50 pascales. Para incluir un valor correspondiente a la vivienda

en un estado de presión cercano al real, se calcularon las renovaciones de aire a presiones de viento promedio anuales. Se consideró, por lo tanto, la infiltración de la vivienda base de 3.6 ACH (Air Changes per Hour) y una velocidad de sensibilidad de aire de 0,25m/s, siendo éste un valor determinado por la encuesta de percepción al usuario. Se determinó la presencia de 1 persona, vestida con 1 clo en todos los locales, salvo el baño donde se simuló en ropa interior (0,2 clo), en estado predominantemente sedentario (70W). En cuanto al diseño de las condiciones interiores, se estableció una humedad de diseño de 60%.

Por último, se definió una banda de confort de 18°C a 25°C, según cálculo basado en el confort adaptativo para la localidad en estudio (ASHRAE 55); este parámetro no se definió en función a las temperaturas registradas en la auditoría, ya que las mismas eran muy superiores a diversos modos de cálculo de confort (Andersen, Hernández y Discoli, 2017). Se corrió el programa basándose en una inyección de energía con una eficiencia del 100% (Full air conditioning), para dimensionar la demanda energética.

Una vez ajustado el modelo a las condiciones reales, este permite evaluar diferentes estrategias orientadas a mejorar la eficiencia de la vivienda y a mantener una buena habitabilidad. Los resultados de la simulación del modelo se explicarán en el capítulo "Resultados y discusión" de este artículo.

DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO

A partir del modelo base, ajustado con los valores obtenidos por monitoreo, se evalúan aquí los impactos en la demanda energética al variar los siguientes parámetros de las características constructivas de la envolvente:

Transmitancia térmica de la envolvente expresada en la Tabla 3:

- Para muros, techos y cielorrasos se consideran tres niveles de análisis, considerando los niveles de confort higrotérmicos y su consecuente K MÁX ADM establecidos en la norma Argentina 11.605.

Nivel A: Recomendado

Nivel B: Medio

Nivel C: Mínimo

A fin de alcanzar dichos valores, se aplica el sistema EIFS (Exterior Insulation Finishing System) en la cara exterior de los muros, lana de vidrio de bajo de chapa galvanizada y lana de vidrio sobre las placas de roca de yesos, en el caso de cielorrasos. Debido a que las medidas comerciales de los aislantes difieren de las medidas mínimas teóricas calculadas, se decidió utilizar dimensiones existentes en el mercado local (1 cm, 2.5 cm, 5cm, 10 cm y 15 cm).

Ítem	E	Descripción	Estrategia	K	Ubicación
				(W/m ² K)	
S1	Muro	Sistema EIFS-EPS: 1cm	E1	1.04	Exterior
S2		Sistema EIFS-EPS: 2.5cm	E2-E15/E19	0.73	Exterior
S3		Sistema EIFS-EPS: 10cm	E3-E20/E24	0.29	Exterior
S4	Techo	Lana de vidrio: 2.5cm	F4	0.6	Inferior
S5		Lana de vidrio: 5cm	E5	0.43	Interior
S6		Lana de vidrio: 15cm	F6	0.21	Interior
S7	Aberturas	Doble vidrio hermético	E7-E17/E19- E22/E24	3.23	-
S8		Doble vidriado hermético, compuesto por 2 vidrios comunes incoloros de 3mm cada uno y una cámara de aire de 6mm + cortina de madera	E8	2.15	-
S9		Triple vidriado hermético, compuesto por 3 vidrios comunes incoloros de 3mm c/uno y 2 cámaras de aire de 6mm	E9	2.23	-
S10	Cielorrasos	Lana de vidrio: 2.5cm	E10	0.99	Superior
S11		Lana de vidrio: 5cm	E11- F16/F19	0.61	Superior
S12		Lana de vidrio: 15cm	E12- F21/F24	0.35	Superior
S13	Piso	EPS 2cm de 30Kg/m ³ sobre la platea	E13- E18/E19- E23/E24	1.11	Superior
S14	Infiltración	Aplicación de elementos de relleno en juntas o grietas, como son los acrílicos plasto-clástico, morteros o látex acrílico; o elementos por adhesión como cintas simples, de vinílico, de papel o textil. También se podría utilizar para sellar carpinterías, felpas, burletes, burletes cepillos entre marcos y paños móviles. Para restringir la infiltración por ductos se podrían utilizar materiales de relleno como son las siliconas o espumas poliuretánicas.	E14/E18- E20/E23	-	-

Tabla 3. Listado de soluciones evaluadas. Fuente: Elaboración de los autores.

- Para las aberturas, se proponen tres modificaciones de sencilla aplicación, minimizando los cambios estructurales en la vivienda, como los son las puertas y ventanas.
- Considerando la oscilación diaria de temperatura que se produce en el perímetro del piso (IRAM 11604, 2001), se evalúa la utilización de aislación sobre la vereda perimetral existente; solución de fácil aplicación.
- Infiltraciones: Se adopta en este caso el nivel de hermeticidad objetivo de 4 ACH a 50 p.a. de la norma chilena NTM 011/3 en el 2014. Esta norma corresponde a la clase de infiltración de aire máxima permitida en Chile para viviendas de características constructivas similares a las consideradas en este trabajo y se aplica para la zona térmica G del sur de Chile, equivalente climatológicamente a la zona argentina en estudio. Para la carga de datos, se tomó una tasa de renovación de aire de 0,50 y una sensibilidad al viento de 0,25 ACH.

incluidas en el modelo de simulación a efecto de evaluar sus aportes.

Las estrategias de mejoramiento se analizan de forma desagregada y conjunta, siendo analizadas en las estrategias E15 a E24 de manera simultánea.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

SIMULACIÓN DE LA VIVIENDA BASE

En base a los parámetros obtenidos por monitoreo, en la primera secuencia de simulación se observa que las demandas máximas se registran principalmente en la zona térmica del living comedor en los meses invernales, no obstante y de todas maneras, se advierte una presencia significativa en los meses tanto de otoño como de primavera. En verano también exhibe requerimientos de calefacción, aunque inferiores (Figura 5).

La demanda total obtenida por simulación es de 16.449 kWh anual, lo que corresponde por la unidad de superficie a 303 kWh/m². Estas demandas se deben fundamentalmente a pérdidas por ventilación e infiltración -en un 50%- y a pérdidas por conducción de la envolvente -en un 31% (Figura 6).

Planteadas las estrategias, la Tabla 3 sintetiza las especificaciones de cada una de ellas, las cuales han sido

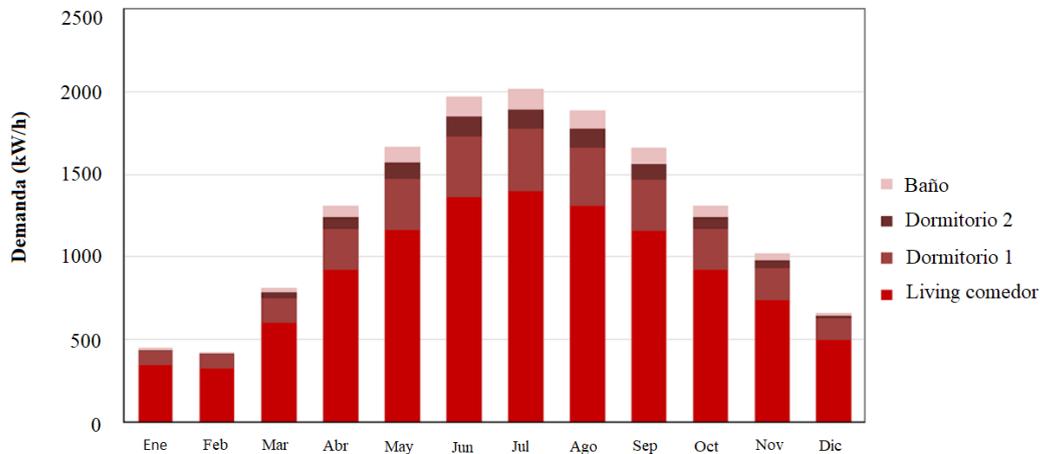


Figura 5. Distribución de demanda energética por local en estado base. Fuente: Elaboración de los autores.

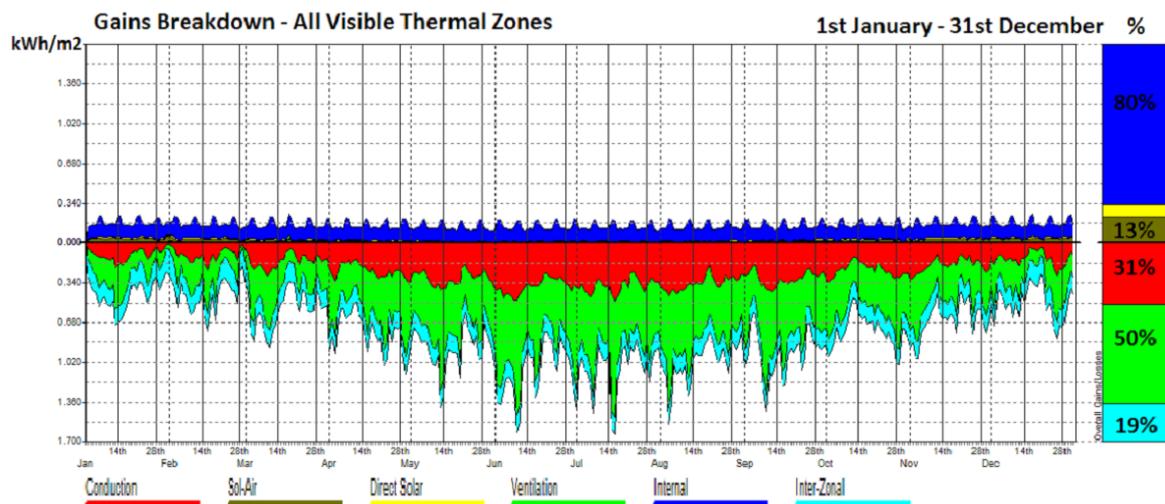


Figura 6. Contribución de las ganancias y pérdidas energéticas de forma horaria de todas las zonas térmicas de la vivienda. Fuente: Elaboración de los autores.

MODELOS MEJORADOS

A partir de lo observado en la vivienda base, se simulan las 24 estrategias descritas en la metodología y se identifica el porcentaje de reducción en la demanda energética.

En las E1 y E3 de mejoramiento del muro se observaron reducciones de entre 14.4% y 23%. Entre las E4 y E6, no se obtuvo una disminución en la demanda aplicando aislaciones debajo de la chapa del techo. Esto se puede deber principalmente a que no se modificó el nivel de infiltración de aire en el ático ventilado. En la E10 y E12 se aplican aislaciones sobre el cielorraso, lo que no sólo mejora las propiedades térmicas del complejo de cubiertas,

sino que, a la vez, reduce el volumen de aire a climatizar si es debidamente sellado, consiguiendo así reducir significativamente la demanda, entre 10.4% y 13.6%. En la E13 la aplicación de aislación térmica sobre la vereda perimetral produce una reducción de 6,4%, valor similar al obtenido por las estrategias aplicadas en las carpinterías (E7 a E9), lo cual se debe en gran parte a que la vivienda no presenta una gran superficie acristalada.

En la E14 se simuló la vivienda base solamente con la mejora en la hermeticidad al aire. Esta mejora se podría llevar a cabo a través de la aplicación de elementos de relleno en juntas o grietas, como son los acrílicos plasto-elástico, morteros o látex acrílico; o elementos por

Medios	Variables de cálculo del ECOTEC													RESULTADO SIMULACIÓN calificación		
	Infiltración [ACH] a 50 Pa	Transmitancia Térmica [W/m ² °C]												[kWh/m ² y ea]	% reducción	
		Muro exterior				Muro interior	Cielorrasos	Ventanas	Paredes		Piso		Techo			
I	M1	M2	M3	M4	M5	C1	Vn	P1	Pv	P11	P12	T1				
Estado base	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,95	370	100%	
Niveles de referencia IRAM 11.605																
C	11,9	1,39	1,39	1,39	1,39	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,95	345	6,9%	
B	11,9	0,8	0,8	0,8	0,8	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,67	307	17,2%	
A	11,9	0,5	0,5	0,5	0,5	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,26	286	22,8%	
Estrategias evaluadas	E1	11,9	1,04	1,02	1,36	1,04	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,95	317	14,4%
	E2	11,9	0,73	0,72	0,71	0,73	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,95	308	18,3%
	E3	11,9	0,29	0,29	0,29	0,29	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,95	291	23,0%
	E4	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,6	360	2,8%
	E5	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,43	356	3,9%
	E6	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,21	350	5,5%
	E7	11,9	1,83	1,5	1,36	1,83	2,43	2,6	3,23	2,6	3,23	2,29	3,31	0,95	348	6,0%
	E8	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	2,6	2,15	2,6	2,15	2,29	3,31	0,95	340	6,0%
	E9	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	2,6	2,23	2,6	2,23	2,29	3,31	0,95	348	6,0%
	E10	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	0,99	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,95	332	10,4%
	E11	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	0,61	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,95	326	12,0%
	E12	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	0,35	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,95	320	13,8%
	E13	11,9	1,83	1,5	1,36	1,83	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	1,11	0,95	347	6,4%
	E14	4	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,95	244	34,2%
	E15	4	0,73	0,72	0,71	0,73	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,95	177	52,3%
	E16	4	0,73	0,72	0,71	0,73	2,43	0,61	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,95	140	62,1%
	E17	4	0,73	0,72	0,71	0,73	2,43	0,61	3,23	2,6	3,23	2,29	3,31	0,95	120	67,7%
	E18	4	0,73	0,72	0,71	0,73	2,43	0,61	3,23	2,6	3,23	2,29	1,11	0,95	98	73,5%
	E19	11,9	0,73	0,72	0,71	0,73	2,43	0,61	3,23	2,6	3,23	2,29	1,11	0,95	211	43,0%
	E20	4	0,29	0,29	0,29	0,29	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,95	166	55,3%
	E21	4	0,29	0,29	0,29	0,29	2,43	0,35	5,44	2,6	5,44	2,29	3,31	0,95	122	67,0%
	E22	4	0,29	0,29	0,29	0,29	2,43	0,35	3,23	2,6	3,23	2,29	3,31	0,95	104	71,9%
	E23	4	0,29	0,29	0,29	0,29	2,43	0,35	3,23	2,6	3,23	2,29	1,11	0,95	94	74,6%
	E24	11,9	0,29	0,29	0,29	0,29	2,43	0,35	3,23	2,6	3,23	2,29	1,11	0,95	198	46,0%

Tabla 4. Definición de demanda energética de la vivienda por estrategia. Fuente: Elaboración de los autores.

adhesión como cintas simples, de vinílico, de papel o textil. También se podría utilizar para sellar carpinterías, felpas, burletes, burletes cepillos entre marcos y paños móviles. Para restringir otras infiltraciones se podría emplear materiales de relleno, por ejemplo, siliconas o espumas poliuretánicas. Aunque todas estas soluciones requieren de un trabajo minucioso de aplicación, en el que se debe identificar de manera particular cada punto de fuga, no son de alto costo económico. Así, en esta simulación se consiguió una reducción en la demanda de 34.2% en relación a la vivienda base.

Una vez examinadas las estrategias en forma independiente, se optó por hacer una combinación de las mismas. De la E15 a la E18 se analiza la aplicación de medidas conjuntas considerando el nivel B, mientras que de la E19 a la E23 se analiza con el nivel A. En ambos casos se logran reducciones

similares, y en el caso de aplicar todas las medidas, la reducción de la demanda se encuentra en un rango de 73,5% a 74,6%.

Por último, en E19 y E24 se plantearon las mismas medidas que en E18 y E23, respectivamente, pero sin modificar la hermeticidad al aire, y se obtuvo una reducción del 43% y 46%.

La Tabla 4 sintetiza las características técnicas de la situación base y los niveles de referencia a alcanzar (A, B, C de IRAM), como también las estrategias y los resultados obtenidos en cada simulación.

TRABAJOS FUTURO

En el futuro se prevé cotejar los resultados sobre las medidas analizadas mediante Ecotec con otros simuladores de difusión internacional, tales como Design Builder o Energyplus, con la finalidad de

robustecer su validación. Uno de los aspectos que es necesario ajustar, en este sentido, para obtener mejores resultados en los modelos actuales es establecer con mayor precisión los horarios de uso principal y rangos de confort diferenciados en cada uno de los locales simulados.

CONCLUSIONES

El trabajo presentado aquí toma como insumo los lineamientos desarrollados por Rodríguez (2015) en el marco del PIP 097 y su desarrollo permite identificar y desagregar las pérdidas térmicas más relevantes de la envolvente, así como evaluar y cuantificar el impacto en la demanda energética al aplicar las diferentes mejoras, ya que las medidas identificadas presentan una alta replicabilidad en las viviendas sociales de la localidad.

En base a los resultados obtenidos, tanto por auditorías energéticas como por simulación, se puede considerar un orden de acción para la aplicación de medidas, determinado por sus impactos en la demanda energética:

Es determinante la definición, diseño y aplicación de programas educativos de concientización sobre el uso racional y eficiente de la energía.

La medida de mayor impacto para llevar a cabo el reciclado edilicio de una vivienda en climas muy fríos de la Patagonia es el control de las infiltraciones de aire en la construcción. Aplicar una mejora a este parámetro, podría significar una reducción del 30% de las demandas energéticas, entendiendo que su resolución es sencilla y económica, para el propietario con pocos recursos. Estimaciones a nivel global de esta reducción podrían proporcionar importantes ahorros con costos de inversión cercanos a cero.

Por otro lado, el mejoramiento de los muros y los cielorrasos (dada su mayor superficie de exposición), constituye una medida de impacto significativo; impacto que es menor en el caso de la optimización de los pisos en contacto con el ambiente exterior y las carpinterías. El potencial de ahorro energético por la aplicación del nivel B en toda la envolvente, puede alcanzar un 73,4%.

No se observan importantes diferencias entre el nivel A o B de la envolvente, por lo que se considera que el nivel B presentaría una mayor accesibilidad en cuanto a los costos. La aplicación de las medidas propuestas disminuiría, a su vez, los riesgos de condensación intersticial y superficial de los elementos, evitándose de esta manera deterioros de las condiciones de habitabilidad, como son las bajas temperaturas superficiales y la proliferación de microorganismos dañinos para la salud humana. Adicionalmente, diversos investigadores consideran que la calidad constructiva de la envolvente de la vivienda social debe atender no solo los parámetros técnicos y legales, sino también a las expectativas de los usuarios (Blumeschein *et al.*, 2015).

Las propuestas de eficiencia energética y el alto índice de replicabilidad que presenta la vivienda tipo seleccionada (645 casos en el barrio de pertenencia y aproximadamente 4.000 tipologías similares en la localidad), implican una mejora en la habitabilidad y un significativo impacto en cuanto al ahorro energético. Su generalización permitirá minimizar sustantivamente el consumo de combustibles fósiles y favorecer la mitigación de la pobreza energética en el sector. Y su relevancia aumenta si consideramos que existen aproximadamente 1.500.000 viviendas sociales en el país. Si nos referimos a los sistemas constructivos, en general, en cuanto a materialidad y formas de implantación en el terreno, los relevamientos de campo realizados por el equipo de trabajo han detectado características similares en el conjunto de las viviendas privadas particulares, situación que permite inferir una posible ampliación del impacto considerado. Si bien la demanda de energía alcanzada con las mejoras aún es elevada (90 kWh/año) respecto a los valores obtenidos en viviendas de similares características localizadas en otras regiones que rondan entre los valores 70 y 40 kWh/año (Garganta y San Juan, 2014; Celis Damico *et al.*, 2012), se comprende aquí la necesidad de accionar al respecto. Dicha iniciativa mejorará la relación energía/habitabilidad para climas fríos, con miras a alcanzar niveles semejantes a los países desarrollados, y hará posible afrontar los nuevos cuadros tarifarios en el marco de las quitas de subsidios aplicados sólo al consumo. En definitiva, promover las mejoras edilicias contribuirá a una mayor eficiencia energética y a una menor demanda del sector.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al propietario de la vivienda por darnos la posibilidad de llevar a cabo el estudio, a la Municipalidad de S. C. de Bariloche por su aporte instrumental y al Ing. Tomás Martiarena por sus aportes técnicos en la lectura de imágenes termográficas.

Investigación financiada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina. Proyecto PIP 112-2011-0100097, CONICET.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSEN, Micaela; HERNÁNDEZ, Alejandro y DISCOLI, Carlos Alberto. Auditoría energética de una vivienda social en climas fríos y comparación de pérdidas térmicas por infiltración y transmisión. Acta de la XL Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, 2017, vol. 5, pp. 05.13-05.24.

ANDERSEN, Micaela; MARTINI, Irene; DISCOLI, Carlos Alberto y GASPARI, Jacopo. Energy consumption and dwelling characteristics in households typology in The City of S. C. De San Carlos De Bariloche, Argentina. En: Central Europe towards Sustainable Building, Sustainable Renovation of Existing Building Stock, 2016, pp. 25-32.

CELIS DAMICO, Flavio; GARCÍA ALVARADO, Rodrigo; TREBILCOCK KELLY, Maureen; ESCORCIA OYOLA, Olavo; MIOTTO BRUSCATO, Underlea y DÍAZ, Muriel. Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile. *Arquiteturarevista*, 2012, vol. 8, n° 1, pp. 62-75.

CERÓN-PALMA, Ileana; SANYÉ-MENGUAL, Esther; OLIVER-SOLÀ, Jordi; MONTERO, Juan-Ignacio y RIERADEVALLAF, Joan. Towards a green sustainable strategy for social neighbourhoods in Latin America: case from social housing in Merida, Yucatan, Mexico. *Habitat International*, 2013, vol. 38, p. 47-56.

CZAJKOWSKI, Jorge y GÓMEZ, Analía. Introducción al diseño bioclimático y la economía energética edilicia. La Plata: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, colección Cátedra, 1994.

Diario ANB [en línea]. [Consultado 27 diciembre 2017]. Disponible en: <http://www.anbariloche.com.ar/noticias/2016/06/03/53371-645-viviendas-uno-de-los-barrios-mas-jovenes-de-bariloche>.

DÍAZ, Cristian Jorge y CZAJKOWSKI, Jorge. Auditorías energéticas en viviendas de interés social en Río Grande, Tierra del fuego. *AVERMA*, 2006, vol. 10, pp. 07.33-07.38.

FERGUSON, Bruce y NAVARRETE, Jesús. New approaches to progressive housing in Latin America: A key to habitat programs and policy. *Habitat International*, 2003, vol. 27, n° 2, pp. 309-323.

GARCÍA RODRÍGUEZ, Salvador; DAVIS CAMPOY, Miguel; CAMPOS CANTU, Eva y LEYVA ORIHUELA, Elizabeth. Propuesta de modelo integral de evaluación sostenible de la vivienda social en México. *Ambiente Construido*, 2015, vol. 15, n° 4, pp. 7-17.

GARGANTA, María Laura y SAN JUAN, Gustavo. Análisis del comportamiento energético y ambiental de la producción de viviendas sociales en la provincia de Buenos Aires (2003-2011). *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2012, vol. 14, pp. 07-07.

GONZÁLEZ, Alejandro; CRIVELLI, Ernesto y GORTARI, Sebastián. Eficiencia en el uso del gas natural en viviendas unifamiliares de la ciudad de Bariloche. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2006, vol. 10, pp. 07.01-07.08.

GONZÁLEZ COURET, Dania. Medio siglo de vivienda social en Cuba. *Revista INVI*, 2009, vol. 24, n° 67, pp. 69-92.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (IRAM). Normas Técnicas Argentinas: 11601 (2004); 11603 (1996); 11604 (2004); 11605 (2002). Buenos Aires, Argentina.

MASCARÓ, Juan Luis. Variación de los costos de los edificios con las decisiones arquitectónicas. *Revista Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Arquitectura y Urbanismo*, 1983, pp.137.

MERCADO, María Victoria; ESTEVES, Alejandro; FILIPPÍN, Celina y NAVARRO, Lía. Evaluación Térmico-Energético y Cualitativa de Condiciones Ambientales de Una Vivienda Social de la Ciudad de Mendoza: condiciones reales de uso y estrategias de mejoramiento térmico-energético bioclimático. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2008, vol. 12, n° 5, pp. 73-80.

MERCADO, María Victoria; ESTEVES, Alfredo y FILIPPÍN, Celina. Comportamiento térmico-energético de una vivienda social de la ciudad de Mendoza, Argentina. *Revista Ambiente Construido*, 2010, vol. 10, n° 2, pp. 87-100.

MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA de BUENOS AIRES. La habitación popular bonaerense 1943-1955. Aprendiendo de la historia. Buenos Aires, 1a ed., CEDODAL, 2011.

PÉREZ, Alex Leandro. La calidad del hábitat para la vivienda de interés social. Soluciones desarrolladas entre el 2000 y el 2007 en Bogotá. *Revista INVI*, 2011, vol. 26, n° 72, pp. 95-126.

REIS, Antonio Tarcisio da Luz y LAY, Maria Cristina Días. O projeto da habitação de interesse social e a sustentabilidade social. *Ambiente construído: revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, Porto Alegre, RS, 2010, vol. 10, n° 3, pp. 99-119.

RODRÍGUEZ, Alfredo; SUGRANYES, Ana. El problema de vivienda de los "con techo". EURE (Santiago), 2004, vol. 30, n° 91, pp. 53-65.

RODRÍGUEZ, Lucas. Instrumentación metodológica para el reciclado masivo de la edificación residencial orientada a la eficiencia energética. Tesis doctoral inédita en Ciencias área Energías Renovables, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta, 2015.

RODRÍGUEZ, Lucas; MARTINI, Irene y DISCOLI, Carlos Alberto. Metodología para el análisis del reciclado edilicio residencial orientado a la eficiencia energética: índice de elasticidad energético-económico. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2012, vol. 14, pp. 5-51.

VAGGE, Carolina; CZAJKOWSKI, Jorge y FILIPPÍN, Celina. Análisis del consumo de gas natural en una vivienda de la ciudad de La Plata. AVERMA, 2008, vol. 12, pp. 05.81-05.87.



INFLUENCIA DEL USO Y GESTIÓN DE LA ENVOLVENTE EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE VERANO DE UNA VIVIENDA EN LA CIUDAD DE MENDOZA, ARGENTINA

THE INFLUENCE OF THE USE AND MANAGEMENT OF THE ENVELOPE ON THE THERMAL BEHAVIOR OF A DWELLING IN SUMMER IN THE CITY OF MENDOZA, ARGENTINA

SOLEDAD ELISA ANDREONI TRENTACOSTE
Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía, Centro Científico
Tecnológico Mendoza,
Mendoza Argentina
sandreoni@mendoza-conicet.gob.ar

CAROLINA GANEM KARLEN
Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía, Centro Científico
Tecnológico Mendoza,
Mendoza Argentina
cganem@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

En la ciudad de Mendoza, Argentina, las viviendas presentan mayoritariamente una baja calidad constructiva en relación con la falta de aislamiento de sus envolventes. Se estima que el 95% de las viviendas existentes no están aisladas en su envolvente vertical y presentan aislamiento insuficiente en techos. En un clima templado continental, con grandes amplitudes térmicas diarias y estacionales, las viviendas presentan inercia térmica como única estrategia bioclimática. En estas circunstancias, las posibilidades de gestión que ofrezca la envolvente -a través de elementos practicables y/o móviles-, son claves para la aproximación al logro del confort interior. El presente trabajo analiza la influencia del uso y gestión de las aberturas en la envolvente a cargo del usuario en una vivienda tradicional, mediante monitoreo higrotérmico, durante 59 días en verano. Para ello, se midieron dos períodos con distintas condiciones climáticas (extremas y moderadas) en los que se aplicó la estrategia de ventilación natural nocturna, gracias a la cual se obtuvo 82% de horas en confort. Asimismo, se midió un período sin gestión de las aberturas en la envolvente, es decir, manteniéndolas cerradas; de lo que resultó solo un 6% de horas en confort. Se concluye, en suma, que la intervención comprometida y consciente del usuario mediante el aprovechamiento de la ventilación nocturna, en combinación con la inercia térmica de la envolvente, influye de manera positiva sobre el comportamiento térmico de la vivienda.

Palabras clave

uso y gestión, confort térmico, ventilación nocturna

ABSTRACT

In the city of Mendoza, Argentina, construction quality is low in most dwellings with regards to the lack of insulation in their building envelopes. It is estimated that 95% of the existing housing has no insulation in its vertical envelope and insufficient insulation in roofs. In a temperate continental climate with large daily and seasonal thermal amplitudes, the only bioclimatic strategy present in the dwellings is thermal inertia. In these circumstances, the management possibilities offered by the envelope -through movable and operable elements-, are key to achieving indoor thermal comfort. This research analyzes the influence of the use and management of the envelope by the user in a traditional dwelling through hygrothermal monitoring over 59 days in summer. To this end, two periods with extreme and moderate climatic conditions were measured. By applying a nocturnal ventilation strategy for cooling, together with the closure of windows during the daytime, it was possible to achieve comfort 82% of the time. Likewise, the dwelling was measured for a period during which the envelope was not managed, that is to say, windows remained completely closed during the day and night, thereby resulting in the achievement of comfort only 6% of the time. In summary, it is concluded that the committed and conscious intervention of the user through the use of night ventilation, in conjunction with the thermal inertia of the envelope, play an important role in achieving indoor thermal conditions by reducing overheating in summer

Keywords

use and management, thermal comfort, night ventilative cooling

INTRODUCCIÓN

La vivienda es el principal instrumento que nos permite satisfacer las demandas de confort térmico de las personas, dado que esta modifica el entorno natural y nos acerca a las condiciones óptimas de habitabilidad. Debe filtrar, absorber o repeler los elementos medioambientales según influyan beneficiosa o negativamente en el confort del ser humano (Olgay, 1998). Es importante considerar que las necesidades de los usuarios se modifican en respuesta a las condiciones climáticas, y varían entre las personas, siendo necesaria la posibilidad de adaptación de las viviendas.

En la ciudad de Mendoza, cuyo clima es árido templado continental con grandes amplitudes térmicas, las viviendas presentan, en su mayoría, una baja calidad constructiva de sus envolventes, siendo este uno de los principales factores que afecta al logro del confort interior. Se estima que el 95% de las viviendas existentes no están aisladas en su envolvente vertical y presentan aislamiento insuficiente en techos. La función de la envolvente se centra en ser intermediaria de los intercambios energéticos entre dos ambientes complejos: el interior y el exterior (Ganem, 2006).

Según Nicol (2016), la diferencia entre las temperaturas interiores y exteriores también refleja la efectividad de los esfuerzos que realicen los usuarios no solo para adaptarse a estar confortables en las prevalecientes condiciones térmicas exteriores, sino también en la adaptación de las temperaturas interiores para proveer un ambiente de preferencia.

Es, por tanto, fundamental estudiar la influencia de la intervención del usuario en el comportamiento térmico de la vivienda. Teniendo en cuenta que el mismo es un elemento activo dentro del diseño, este último debe ser flexible para permitirle modificar o mover elementos que favorezcan su adaptación. En edificios desocupados, el investigador tiene control absoluto sobre las condicionantes que pueden intervenir en el confort térmico del espacio. Todos los días, o durante un periodo experimental, las condicionantes son constantes. La situación es muy diferente, en viviendas ocupadas, donde los usuarios tienen completa libertad de modificar las condicionantes de acuerdo a sus cambiantes necesidades de confort (Givoni y Vecchia, 2001).

La influencia de la conducta del usuario en el logro del confort interior puede ser muchas veces positiva, cuando fomenta un ahorro energético al disminuir el uso de equipos de refrigeración o calefacción; o bien, en otros casos, negativa, cuando aumenta el consumo de energía de fuentes no renovables. La apertura de

ventanas es uno de los medios de mayor uso para el control del ambiente interior de las viviendas en países en vías de desarrollo (Flores Larsen, Filippín y Lesino, 2010). Aunque en escenarios climáticos extremos puede no ser suficiente.

El efecto conocido como isla de calor urbana (ICU) produce mayores temperaturas del aire en el centro de las ciudades comparado con sus áreas suburbanas circundantes. Este fenómeno se relaciona, principalmente, con la alta densidad edilicia (mayor masa de acumulación), la alta absorción de los materiales presentes en la ciudad, la escasez de espacios verdes, las características morfológicas de los cañones urbanos, y el calor antropogénico liberado (Oke et al., 1991). El área Metropolitana de Mendoza presenta un efecto de isla de calor cuyas máximas alcanzan los 10°C, tanto en invierno como en verano, con un valor medio de 6°C a lo largo de todo el año (Correa, De Rosa, Lesino, 2007).

Estudios previos demuestran que las condiciones climáticas futuras y las altas temperaturas urbanas modificarán la demanda de energía en los edificios. La demanda energética para calefacción disminuirá con los años mientras que la demanda para refrigeración se incrementará del 28% al 59% para el 2070, debido al calentamiento global (Invidiata y Ghisi, 2016). Esto incrementa, a su vez, los problemas de polución, y sus resultados extienden la huella ecológica, causan disconfort térmico y problemas de salud en sus habitantes (Santamouris, Synnefa y Karlessiet, 2011; Santamouris, Paraponiaris, Mihalakakou, 2007; Stathopoulou et al., 2008). Durante 2009, en Argentina, la venta de equipos de aire acondicionado creció 100% respecto del verano de 2005 (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010); tendencia que, desde luego, acompaña el aumento en la facturación energética eléctrica residencial.

La tendencia a futuro apunta a un aumento de las temperaturas, por lo que es importante considerar medidas de adaptación en las edificaciones para reducir el impacto del cambio climático: estas deberán dar respuesta a las necesidades de reducción del consumo energético sin descuidar el confort térmico de los usuarios. La primera actuación debe mirar a la reducción de la necesidad de enfriar, a través de una buena construcción en términos de adecuada orientación, inercia térmica, protección solar, porcentaje apropiado de superficies transparentes, entre otras estrategias para adaptar el diseño al clima. Sucesivamente, hace falta estimar las posibilidades de evacuar el calor residual mediante sistemas naturales, como la ventilación cruzada transversal originada por diferencia de presiones por viento o vertical producida por diferencias de temperatura (Palme, Carrasco y Gálvez, 2016).

En este estudio se analiza la influencia del comportamiento de los usuarios de una vivienda unifamiliar urbana en la ciudad de Mendoza, Argentina, en verano, comprometidos con la adaptación pasiva de sus condiciones de confort interior. Se analiza el efecto de la gestión de la envolvente, en dos periodos de uso, aplicando estrategias bioclimáticas de ventilación natural nocturna e inercia térmica, con dos registros higrotérmicos exteriores diferentes, moderados y extremos, producto de los efectos del cambio climático. Luego, se compara el periodo de condiciones externas más desfavorables con otro periodo similar pero sin intervención del usuario, con el objetivo de identificar los efectos de la influencia del uso y gestión de la envolvente en el confort interior.

CASO DE ESTUDIO

- **CIUDAD: MENDOZA, ARGENTINA.**

La ciudad de Mendoza (32° 40' latitud sur; 68° 51' longitud oeste y 827 msnm) se caracteriza por un clima árido templado continental, con fuerte amplitud térmica. Como se puede observar en la Figura 1, las temperaturas absolutas fluctúan entre -6°C en invierno y 39°C en verano, con variaciones diarias de aproximadamente 10°C a 20°C y baja humedad relativa, siendo el promedio anual de 54,7%. Otro dato que demuestra la condición semi-desértica de Mendoza es la escasez de lluvias, con un promedio anual de 218mm. La ciudad también presenta un elevado índice de radiación solar y una alta heliofanía.

En la carta psicrométrica, Givoni (1998) delimita zonas en las que, aplicando estrategias de diseño bioclimático, se puede corregir las condiciones del clima del lugar para conseguir el confort interior en los edificios.

Las estrategias observadas para el clima de Mendoza (Figura 2) permiten tener una aproximación a las soluciones arquitectónicas posibles a implementar en la construcción y rehabilitación de viviendas urbanas. Para verano, se destacan las estrategias de ventilación natural, inercia térmica y refrigeración por evaporación como las principales a considerar.

El potencial de disminución de las temperaturas interiores diurnas por debajo de las exteriores es proporcional a la amplitud térmica diaria exterior. La amplitud térmica se incrementa mientras menor es la humedad. Una significativa reducción de las temperaturas interiores diurnas por debajo de las máximas exteriores se puede obtener solamente en edificios másicos con control solar efectivo. Para edificios con gran masa térmica, bien aislados y con elementos de sombreado, cerrados durante el día y ventilados únicamente durante las horas de la noche, es posible un descenso de las temperaturas máximas interiores por debajo de las exteriores de

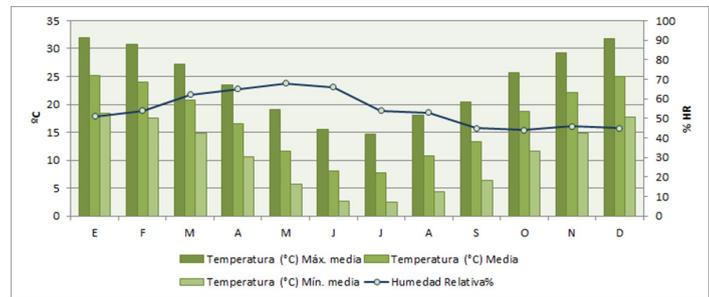


Figura 1. Temperaturas medias anuales, máximas medias, mínimas medias y precipitaciones de Mendoza. Humedad relativa mensual. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional. (Datos estadísticos periodo 1981-1990).

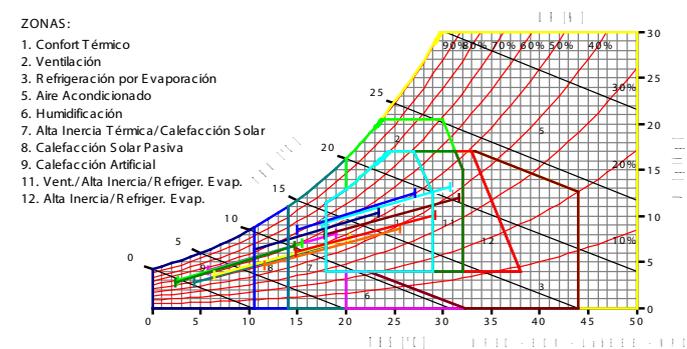
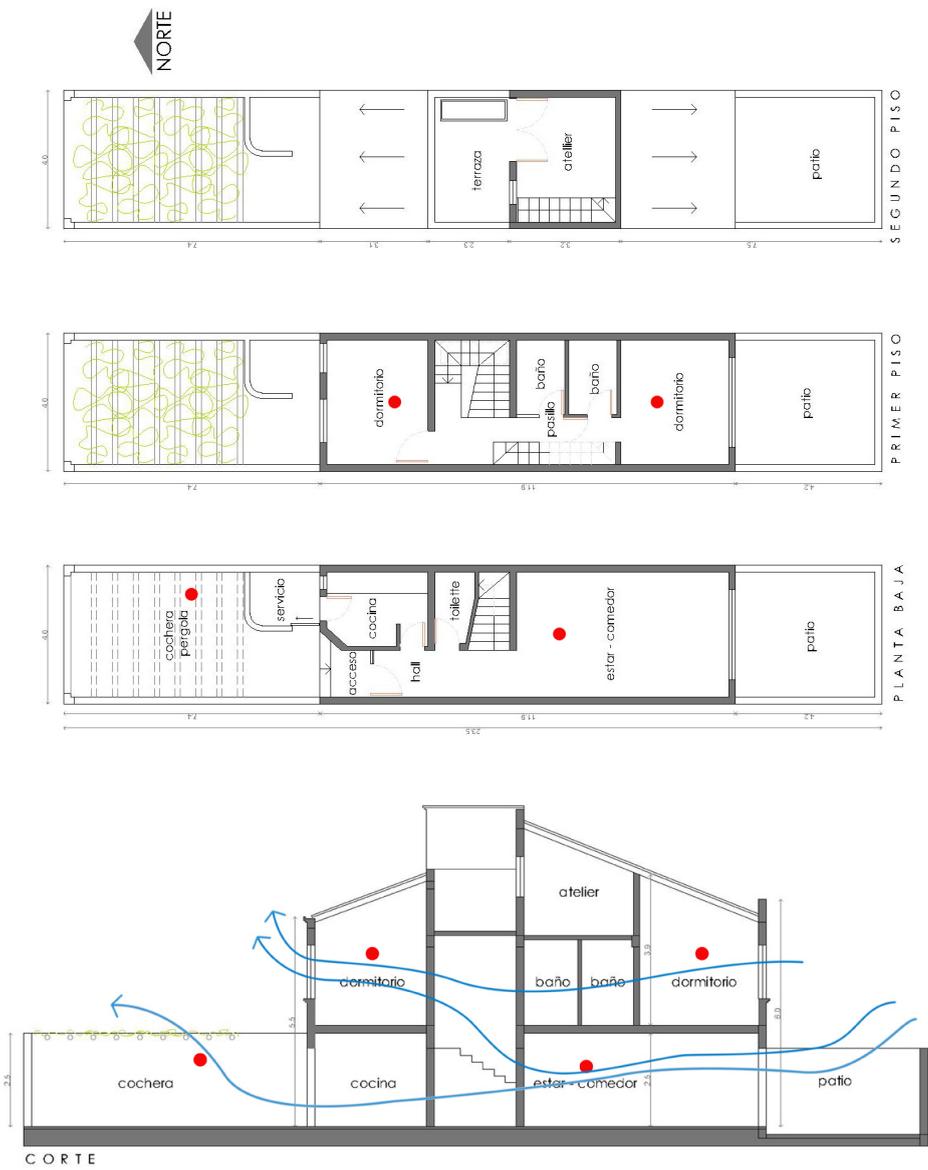


Figura 2. Carta Psicrométrica Mendoza. Fuente: Elaboración de autoras con software Analysis Bio.

aproximadamente un 45% a un 55% de la amplitud térmica. Por la noche, las temperaturas interiores son superiores a las exteriores (Olgyay, 1998).

- **VIVIENDA URBANA ENTRE MEDIANERAS.**

Para el análisis propuesto, se tomó como caso de estudio una vivienda unifamiliar (Figuras 3, 4 y 5), ubicada en una zona residencial de la ciudad de Mendoza. La misma responde a la tipología de *dúplex*, con fachada principal orientada al Norte. La tecnología constructiva es de tipo tradicional para Mendoza. Los muros son de ladrillo macizo de 12,5cm revocados en ambos lados con 2,5cm de concreto, sin aislación térmica, con terminación de revestimiento texturado plástico color claro ($K= 2.59W/m^2k$). Los techos son inclinados, de madera, aislación térmica de poliestireno expandido de 5cm de espesor, con terminación exterior de tejas cerámicas ($K= 0.93 W/m^2k$). Las carpinterías son metálicas con vidrio simple de 4mm de espesor ($K= 5.7W/m^2k$). Cabe destacar que la vivienda no posee sistemas de refrigeración en ninguno de sus ambientes, solo cuenta con dos ventiladores, uno en el dormitorio sur y otro en el estar comedor.



Figuras 3, 4, 5a y 5b. Fotografías de la vivienda caso de estudio. Plantas y corte. Ubicación de sensores en color rojo y esquema de circulación de aire en azul. Fuente: Andreoni Trentacoste, 2014.



Figuras 6 y 7. Ubicación de los sensores. Fuente: Fotografías de las autoras.

METODOLOGÍA

• MONITOREO HIGROTÉRMICO

Se recolectaron datos in situ mediante monitoreo higrotérmico, mediciones de temperatura y humedad relativa, por medio de la colocación de 4 micro-adquisidores de datos HOBO U10, 1 en el exterior (protegido de la radiación solar directa) y 3 en el interior de la vivienda: estar comedor, dormitorio norte y dormitorio sur (Figuras 5, 6 y 7). Todos suspendidos en el centro de cada espacio, a alturas equivalentes (aproximadamente a 2m del nivel del piso) para mantenerlos alejados de la influencia de elementos constructivos con masa (Figuras 6 y 7).

El periodo de medición fue de 59 días en verano, en los meses de enero y febrero. El intervalo para la toma de datos se fijó en 15 minutos y se procesó la información con los programas HOBOWare pro y Excel. Se registraron datos bajo condiciones controladas, probando el efecto que producen distintas alternativas de manejo de la envolvente por los usuarios.

Registro de la gestión del usuario.

Se elaboró un cuadro de registro de datos que completaron los usuarios de la vivienda durante el periodo de monitoreo. Allí se consideró: fecha, temperaturas pronosticadas diarias, lluvia, heliofanía, condición de uso controlada, horario de ocupación, cierre de aberturas, apertura de aberturas, uso de ventilador y sensación de confort diurno y nocturno (ASHRAE, 2008).

RESULTADOS

A continuación, se exponen tres gráficos de dispersión donde se relacionan las condiciones de temperatura y humedad de cada ambiente monitoreado en la vivienda, y con el exterior. Los mismos corresponden a los periodos comprendidos entre el 2 y el 11 de enero (Figura 8); el 15 y el 24 de febrero (Figura 9), y entre el 12 y el 21 de enero (Figura 10), todos del año 2017.

Durante el primer periodo de medición, en el mes de enero, los usuarios se comprometieron a posibilitar la ventilación natural nocturna de la vivienda, abriendo todas las ventanas durante la noche y cerrándolas durante el día. Se repitió la misma estrategia durante un segundo periodo en febrero. Por último, se registraron datos de la vivienda sin ocupación, con todos los elementos de la envolvente completamente cerrados.

Se compararon los dos primeros periodos monitoreados con el empleo de una misma estrategia de gestión del usuario, ventilación natural nocturna, con variación de las temperaturas máximas exteriores registradas. Luego, el tercer periodo, sin ocupación, se comparó con el segundo (en el mes de febrero), ya que en ambos coinciden las condiciones exteriores y se diferencian en el uso y gestión de la envolvente.

• PERIODO DE MEDICIÓN: 2 A 11 DE ENERO,

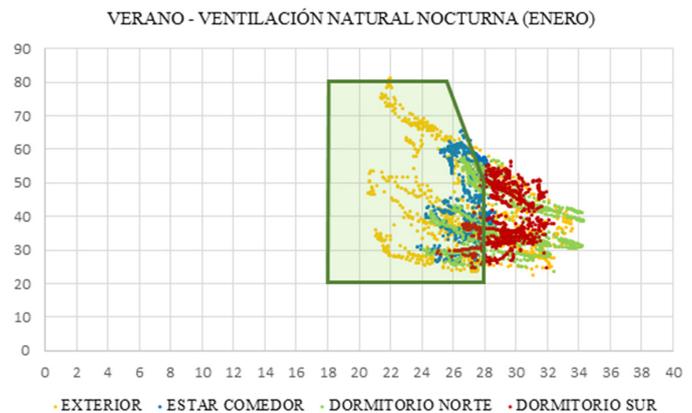


Figura 8. Diagrama de dispersión de temperatura y humedad relativa. Mes: Enero. Fuente: Elaboración de las autoras.

	EXTERIOR	ESTAR COMEDOR	DOR. NORTE	DOR. SUR
HORAS DE USO	216	216	216	216
HORAS DE CONFORT	146	194	78	36
% CONFORT	68%	90%	36%	17%

Tabla 1. Porcentajes de confort por ambientes. Mes: Enero. Fuente: Elaboración de las autoras.

La temperatura exterior en este periodo de análisis varía entre 21.5°C y 33.5°C, coincidiendo con las temperaturas mínimas medias y máximas medias esperables para este mes (Figura 1). La amplitud térmica promedio es de 12°C.

En el gráfico de dispersión correspondiente a este periodo (Figura 8), de acuerdo al polígono de confort establecido por Givoni, delimitado en línea verde, se puede apreciar que el ambiente más confortable es el estar comedor, justamente el espacio de mayor permanencia de los usuarios. Este se encuentra en confort el 90% de las horas de uso registradas, superando eventualmente los 28°C, con lo cual mitiga de manera notable las condiciones externas (68% de confort higrotérmico). Ello demuestra un mejor aprovechamiento de la estrategia de uso de ventilación, junto con la inercia térmica de los materiales constructivos de la vivienda. Es importante señalar que al encontrarse en la planta baja, este ambiente se favorece

Fecha	Temp. exterior (SMN)	Lluvia	Heliofanía (%)	Horario de ocupación (Entre horas)	Cirre aberturas (Hora)	Apertura aberturas (Hora)	Uso ventilador DORM. SUR	Sensación de confort DIURNO (CV)	Sensación de confort NOCTURNO (CV)
2/1/2017	34°C / 19°C	NO	90	00-09 / 13:30-18:40 / 20:25-21 / 21:24-00	8:30	20:25	SI	(+) 2.5	(+) 0.5
3/1/2017	33°C / 21°C	NO	90	00-08:15 / 13:10-	7:30	20:40	SI	(+) 2	0
4/1/2017	29°C / 18°C	NO	100	00-8:00 / 13:10-00	7:30	19:10	SI	(+) 1	(-) 0.5
5/1/2017	25°C / 19°C	NO	90	00-8:00 / 13:50-18 / 19 / 20-20:45 /	8:00	20:00	SI	(+) 0.5	0
6/1/2017	37°C / 17°C	NO	80	00:15-7:45 / 13:20 / 21:00-00	7:45	21	SI	(+) 1	(+) 2
7/1/2017	36°C / 20°C	SI	70	00-00	8:00	20:00	SI	(+) 2	(+) 2
8/1/2017	32°C / 20°C	NO	80	00-10 / 21:30-22:30	9:15	21:30	SI	(+) 2	(+) 1
9/1/2017	32°C / 20°C	SI	70	1:15-8 / 13:30-00	7:30	20:55	SI	(+) 2.5	(+) 0.5
10/1/2017	30°C / 19°C	NO	70	00-8 / 13:30	8:00	20:45	SI	(+) 2	(+) 1
11/1/2017	33°C / 21°C	NO	90	00:55-8:00 / 10:30-	8:00	-	SI	(+) 2.5	(+) 1

Tabla 2. Registro de la gestión del usuario. Mes: Enero. Fuente: Elaboración de las autoras.

por contar con escasa superficie expuesta a la radiación solar directa, como así también por el efecto de estratificación térmica.

En cuanto a los dormitorios ubicados en planta alta, aunque el porcentaje de horas de confort del dormitorio sur, 17% (Tabla 1), es menor en comparación al 36% que presenta el dormitorio norte, es posible notar en el gráfico de dispersión (fig. 9) que este último registra temperaturas superiores diurnas en gran parte del periodo analizado. Esto se debe principalmente a la incidencia de radiación solar directa sobre el muro y ventanas norte, que al no presentar protecciones exteriores ni aislaciones, permiten el ingreso de la radiación solar al interior del ambiente. Aun así la temperatura interior descende notablemente en la noche, lográndose así un buen aprovechamiento de la ventilación natural nocturna.

Los resultados aquí examinados demuestran la factibilidad de la aplicación de las estrategias bioclimáticas propuestas en la carta psicrométrica (Figura 2).

	EXTERIOR	ESTAR COMEDOR	DOR. NORTE	DOR. SUR
HORAS DE USO	216	216	216	216
HORAS DE CONFORT	128	177	19	55
% CONFORT	59%	82%	9%	25%

Tabla 3. Porcentajes de confort por ambientes. Mes: Febrero. Fuente: Elaboración de las autoras.

FECHA	Temp. exterior (SMN)	Lluvia	Heliofanía (%)	Horario de ocupación (Entre horas)	Cierre aberturas (Hs)	Apertura aberturas (Hs)	Uso ventilador DORM. SUR	Sensación de confort DIURNO (CV)	Sensación de confort NOCTURNO (CV)
16/2/2017	33°C / 18°C	NO	80	00-9 / 14-18:30 / 22-00	8:30	22:30	SI	(+) 1.5	(+) 0.5
17/2/2017	31°C / 21°C	NO	80	00-9 / 13-18:30 / 22:30-00	9	21:30	SI	(+) 1.5	(+) 1
18/2/2017	33°C / 20°C	NO	90	00-00	10	22	SI	(+) 1.5	(+) 0.5
19/2/2017	36°C / 21°C	NO	95	00-13 / 18-00	10:15	21:30	SI	(+) 2	(+) 1
20/2/2017	37°C / 21°C	NO	95	00-8.30 / 13-16 / 17:30 - 19:30 / 22-00	8:30	22:30	SI	(+) 2	(+) 1
21/2/2017	38°C / 22°C	NO	95	00-9 /	8	22	SI	(+) 2	(+) 1
22/2/2017	40°C / 24°C	NO	95	00-00	9	22	SI	(+) 2.5	(+) 1
23/2/2017	41°C / 24°C	NO	95	00-09 / 17-18 / 21	8:30	22:30	SI	(+) 3	(+) 1.5
24/2/2017	40°C / 20°C	SI	75	00-08:30 / 16:30-	8:30	22:30	SI	(+) 3	(+) 2.5

Tabla 4. Registro de la gestión del usuario. Mes: Febrero. Fuente: Elaboración de las autoras.

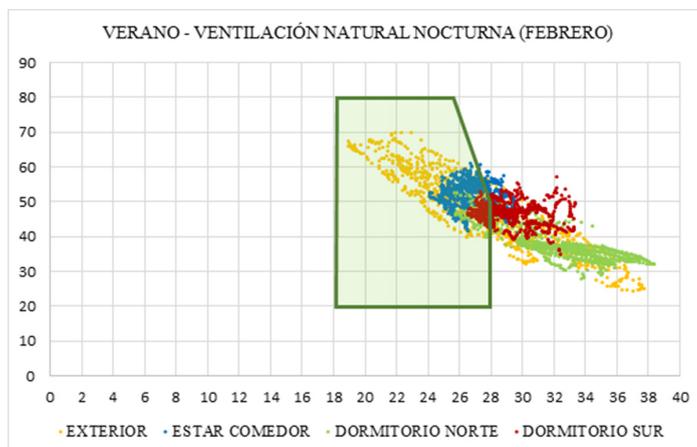


Figura 9. Diagrama de dispersión de temperatura y humedad relativa. Mes: Febrero. Fuente: Elaboración de las autoras.

Respecto a la percepción de los usuarios, según el registro de la Tabla 2, estos manifestaron sentir calor mayormente en horario diurno, en promedio un voto de confort de 1.8. No así en la noche, donde percibieron mayor comodidad, con un voto de confort promedio de 0.85. Esta sensación térmica se corresponde con el efecto que provoca la brisa que ingresa desde el exterior con una temperatura menor a la del aire caliente acumulado en el interior durante el día. El horario de apertura y cierre de las aberturas coincide, en su mayoría, en todos los días del periodo, siendo estos horarios definidos por los usuarios por medio de su sensación térmica, sin la ayuda de termostatos, lo que hubiese facilitado determinar el momento más conveniente.

- **PERIODO DE MEDICIÓN: 15 A 24 DE FEBRERO, 2017.**

La temperatura exterior en este periodo de análisis varía entre 19.03°C y 37.7°C, superando en gran medida las temperaturas

mínimas medias y máximas medias esperables para estos meses (Figura 1). La amplitud térmica promedio es de 10°C.

En el gráfico de dispersión correspondiente a este periodo (Figura 9), se observa un incremento en las temperaturas exteriores, en comparación al gráfico del mes de enero (Figura 9). De acuerdo al polígono de confort establecido por Givoni, delimitado en línea verde, el ambiente que conserva el mayor porcentaje de horas de confort es el estar comedor (82%), porcentaje que, sin embargo, disminuye en relación al periodo de enero. Esto se debe a las altas temperaturas exteriores, aun en horas nocturnas, que impiden un mayor aprovechamiento de la ventilación natural.

El dormitorio ubicado en la fachada Norte presenta las condiciones más desfavorables de confort higrotérmico, con un 9% de horas en confort, siendo además el ambiente de menor uso, sobre todo en verano. Las altas temperaturas, junto con la radiación solar directa sobre el muro y ventanas norte, considerando la alta heliofanía registrada por los usuarios (Tabla 4) y la ausencia de elementos de sombreado, favorecen un sobrecalentamiento del aire en este ambiente, registrándose en su interior temperaturas incluso superiores a las del exterior.

El dormitorio sur corresponde al dormitorio principal de la vivienda, es de uso mayoritariamente nocturno y muestra un porcentaje de confort del 25% que coincide con el horario de uso, superando las condiciones de confort en 1°C a 2°C, solo en algunos casos.

En relación a la percepción de los usuarios, la Tabla 4 constata que ellos manifestaron sentir calor mayormente en horario diurno y que percibieron algo de calor también en horas de la noche, superando la sensación de falta de confort del periodo analizado en enero. Todos los días la apertura de las ventanas se realizó más tarde que en el periodo anterior, esto manifiesta un menor y tardío descenso de la temperatura en horas nocturnas.

En ambos periodos la heliofanía es alta y se registraron escasas precipitaciones; condiciones que coinciden con las características del clima de esta región geográfica para los meses de verano.

• **PERIODO DE MEDICIÓN: 12 A 21 DE ENERO, 2017.**

La temperatura exterior en este periodo de análisis varía entre 22°C y 36.5°C. La amplitud térmica promedio es de 12°C.

En el gráfico de dispersión correspondiente al periodo sin ocupación (Figura 10), donde se mantuvo la casa cerrada, se advierte que las condiciones externas se asemejan a las del mes de febrero (Figura 10). No

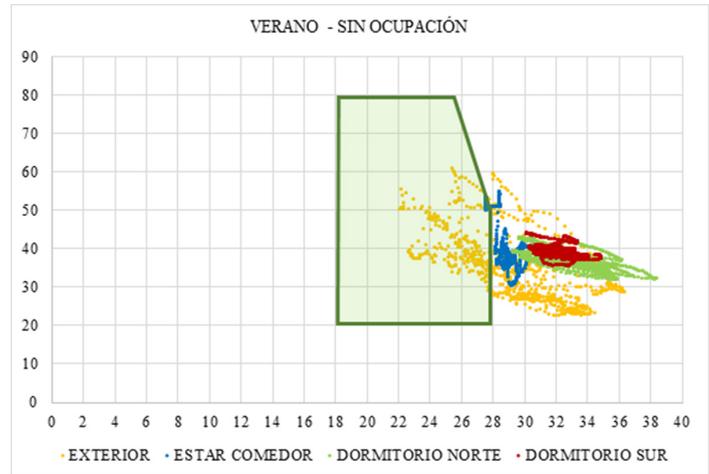


Figura 10. Diagrama de dispersión de temperatura y humedad relativa. Mes: Enero. Fuente: Elaboración de las autoras.

	EXTERIOR	ESTAR COMEDOR	DOR. NORTE	DOR. SUR
HORAS DE USO	216	216	216	216
HORAS DE CONFORT	78	12	0	0
% CONFORT	36%	6%	0%	0%

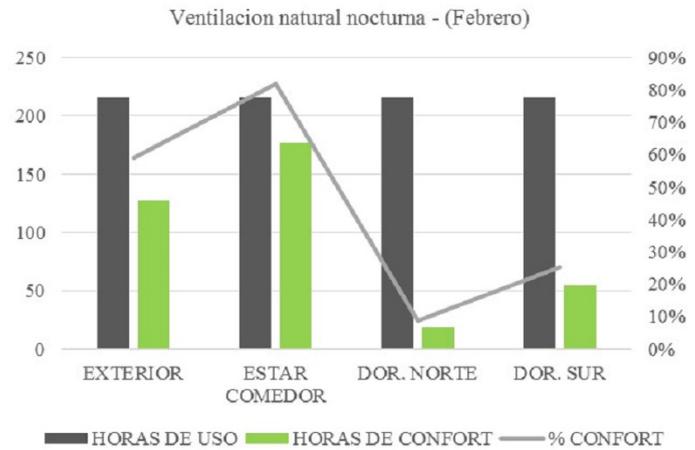
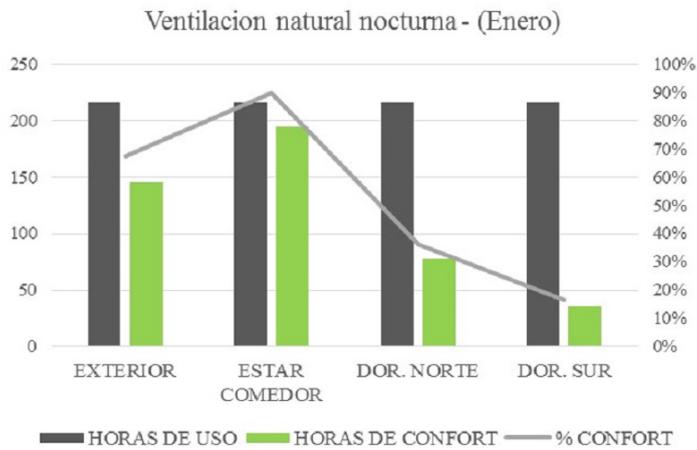
Tabla 5. Porcentajes de confort por ambientes. Mes: Enero. Fuente: Elaboración de las autoras.

obstante, al analizar los datos de los ambientes interiores en comparación al polígono de confort establecido por Givoni, se evidencia falta de confort en todo el interior de la vivienda. En efecto, según se registró, únicamente el estar comedor presenta un 6% de horas de confort (Tabla 5) y por solo 12 horas, coincidentes con el primer día de medición.

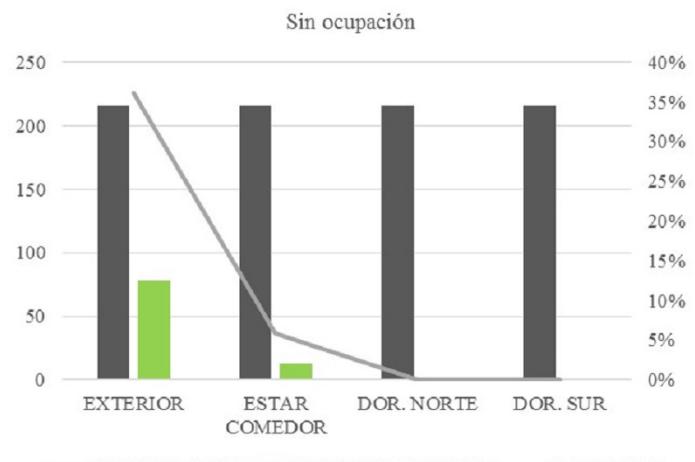
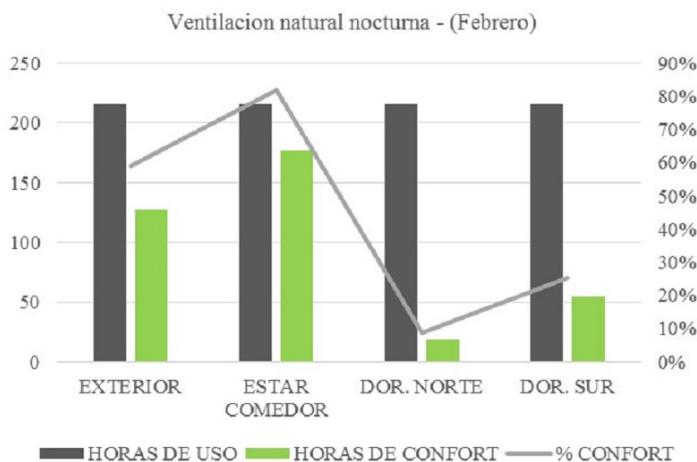
El ambiente más desfavorable es el dormitorio norte, donde se supera la temperatura máxima exterior en 2.2°C, por sobre los 38°C.

CONCLUSIONES

El presente trabajo analiza la influencia del usuario en el logro del confort interior de una vivienda urbana de construcción tradicional para la ciudad de Mendoza, Argentina, mediante monitoreo experimental en condiciones reales de uso y sin ocupación.



Figuras 11 y 12. Diagramas de barra, periodos de uso de ventilación natural nocturna. Meses: Enero y febrero.
 Fuente: Elaboración de las autoras.



Figuras 12 y 13. Diagramas de barra, periodo de uso de ventilación natural nocturna y sin ocupación. Meses: Febrero y enero.
 Fuente: Elaboración de las autoras.

Del análisis realizado, se concluye que la intervención comprometida y consciente del usuario mediante la aplicación de estrategias de enfriamiento pasivo influye de manera positiva sobre el comportamiento térmico de la vivienda.

El efecto de la ventilación natural nocturna muestra beneficios en el desempeño térmico interior de los ambientes en los dos periodos analizados con el uso de esta estrategia. Sin embargo, en el periodo del mes de febrero (Figura 12) cuando se registraron temperaturas externas por encima de las esperables, el impacto positivo del aprovechamiento de la ventilación fue menor al mes de enero (Figura 11). Esto se observó fundamentalmente en el dormitorio norte, el cual registró tan solo un 9% de horas de confort, debido a que se encuentra mayormente afectado por las características de los materiales que

componen la envolvente: los muros ($K= 2.59W/m^2k$) y las ventanas ($K= 5.7W/m^2k$) provocan un incremento en las temperaturas interiores al no estar protegidos por aislamiento ni elementos de sombreamiento. Por otro lado, en ambos periodos de análisis, el estar comedor (ambiente de mayor ocupación) consiguió el mayor porcentaje de horas de confort, con el 90% (Figura 11) y el 82% (Figura 12), siendo esta diferencia efecto de las condiciones externas. Este ambiente se ve favorecido por una menor exposición de la envolvente a las condiciones externas, de manera que logra un mejor aprovechamiento de la ventilación natural nocturna por contar con aberturas tanto al Sur como al Norte, sin ambientes intermedios, como sucede en la planta alta.

En cuanto al periodo sin ocupación (Figura 13), los resultados muestran porcentajes de confort nulos en los

dormitorios de planta alta y apenas un 6% en el estar comedor, algunos de los cuales incluso superan las temperaturas máximas exteriores. En comparación con el periodo de febrero (Figura 12), cuando el uso de la ventilación natural nocturna, junto con la inercia térmica como estrategias de enfriamiento pasivo, generaron un 82% de horas de confort en el estar comedor, y teniendo en cuenta condiciones exteriores similares, es evidente la afirmación de que la intervención del usuario en la búsqueda de condiciones interiores de confort es positiva y significativa. Esto demuestra la eficiencia de sistemas de control pasivos en el diseño de la envolvente de las viviendas, que sean flexibles para permitir al usuario adaptarlos a sus necesidades de confort.

El equilibrio de las ciudades, en particular las que se encuentran en un clima árido templado continental, depende de un adecuado y apropiado uso de sus recursos y de sus potencialidades. El consumo de energía está relacionado a las actividades humanas y, por lo tanto, el usuario toma decisiones que aportarán o no a la sustentabilidad urbana. La dirección a seguir para contribuir al confort de nuestros espacios y realizar un aporte sustentable al hábitat, radica en integrar en nuestras ciudades estrategias adecuadas que logren disminuir el consumo de energía no renovable y aprovechen los recursos del clima en forma pasiva. La arquitectura bioclimática constituye una posibilidad insoslayable para colaborar con el logro de dicha sustentabilidad.

En definitiva, se identifican en este trabajo potencialidades que presentan las viviendas de la ciudad de Mendoza para permitir al usuario conseguir el confort en verano, mediante estrategias de comportamiento, pudiendo prescindir de equipos de enfriamiento convencionales y contribuyendo así al ahorro energético, siempre y cuando las características edilicias respondan a las recomendadas para la zona. Atendiendo al escenario futuro planteado anteriormente, es recomendable mejorar las características constructivas de la vivienda, incluyendo aislamiento en muros, optimizando la aislación en techos y diseñando protecciones para las ventanas norte; medidas que contribuirían a aumentar los porcentajes de confort interior conseguidos con la estrategia utilizada. Se pretende, a futuro, realizar simulaciones con alternativas de mejora para la vivienda auditada, así como también ampliar la cantidad de casos de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los propietarios de la vivienda auditada por su buena predisposición a adoptar los distintos tipos de manejo de la envolvente registrados y acceder a la instalación de equipos de monitoreo. Agradecemos también al CONICET (Consejo Nacional de Investigación Científica y Técnicas) por el soporte financiero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. ASHRAE. *Proposed addendum d to Standard 55-2004, Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta GA, 2008.

ANDREONI TRENTACOSTE, Soledad E. *Protocolo de diagnóstico térmico - energético para la rehabilitación de viviendas en la Ciudad de Mendoza, Argentina* [en línea]. Tesis de Maestría. Universidad Internacional de Andalucía, España, 2014. [Consultado noviembre 2017]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10334/3781>

CORREA, Érica; DE ROSA, Carlos y LESINO, Graciela. Acondicionamiento Térmico de los Espacios: estudio del Potencial de Enfriamiento Evaporativo Adiabático dentro del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. *AVERMA. Avance en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2007, vol. 11, n° 1, pp. 113-120.

FLORES LARSEN, Silvana; FILIPPÍN, Celina y LESINO, Graciela. *La incidencia de los usuarios en el comportamiento térmico de verano de una vivienda en el noroeste argentino*. Documento presentado en: IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII- SPES), Cusco, Perú. 1-5 de Noviembre, 2010.

GANEM, Carolina. *Rehabilitación ambiental de la envolvente de viviendas. El caso de Mendoza*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2006.

GIVONI, Baruch. *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Nueva York, Estados Unidos: Ed. John Wiley & Sons, INC., 1998.

GIVONI, Baruch y VECCHIA, Francisco. *Predicting thermal performance of occupied houses*. Proceedings of the PLEA. November, 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010 [en línea]. [Consultado octubre 2017]. Disponible en: https://www.indec.gov.ar/nivel4_default.asp?id_tema_1=2&id_tema_2=41&id_tema_3=135

INVIDIATA, Andrea y GHISI, Eneidir. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. *Energy and Buildings* [en línea], 2016, n°130, pp.20-32. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.07.067.

NICOL, Fergus. *Adaptive thermal comfort in domestic buildings*. Documento presentado en: Making Comfort Relevant: 9th Windsor 2016. Cumberland Lodge, Windsor, UK. 2016.

OLGYAY, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de arquitectura bioclimática para arquitectos*. Barcelona: Ed. Gustavo Gili, 1998.

OKE, T.; JOHNSON, G.T.; STAYN, D.G. y WATSON I. D. Simulation of Surface Urban Heat Island Under 'Ideal' Conditions at Night: part 2: diagnosis and causation. *Boundary-Layer Meteorology*, 1991, vol. 56, pp. 339-358.

PALME, Massimo, CARRASCO, Claudio y GÁLVEZ, Miguel Ángel. Estimación del riesgo de sobrecalentamiento y del potencial de refrigeración por ventilación natural de viviendas unifamiliares en ciudades costeras de Chile. *Hábitat Sustentable*, 2016. vol. 6, pp. 52-61.

SANTAMOURIS, M., PARAPONIARIS, K., MIHALAKAKOU, G. Estimating the Ecological Footprints of the Heat Island Effect, Athens, Greece. *Climate Change*, 2007, vol. 80, pp. 265-276.

SANTAMOURIS, Manthos; SYNNEFA, Afroditi y KARLESSIET, T. Using Advanced Cool Materials in the Urban Built Environment to Mitigate Heat Islands and Improve Thermal Comfort Conditions. *Solar Energy*, 2011, vol. 85, n° 12, pp. 3085-3102.

STATHOPOULOU, E.; MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M. y BAGIORGAS, H. S. *On the impact of temperature on tropospheric ozone concentration levels in urban environments*. *Journal of Earth System Science*, 2008, vol. 117, n° 3, pp. 227-236.