



LATAM
Mendoza, Argentina

INFLUENCIA DE LA AISLACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE EN EL CONSUMO ENERGÉTICO DE VIVIENDAS EN LA ESTACIÓN DE VERANO.

Thermal insulation's influence in the energy consumption of housing in the summer.

M. Victoria Mercado

Filiación: Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía, INAHE-CONICET
Facultad de Ingeniería- Carrera de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
Dirección: Av. Ruiz Leal s/n. Prque Gral San Martín, Ciudad de Mendoza, Mendoza. Argentina CP 5500.
Correo: mvmercado@mendoza-conicet.gob.ar

Celina Filippín

Filiación: CONICET, CC302, Santa Rosa, 6300 La Pampa, Argentina
Correo: cfilippin@cpenet.com.ar

Gustavo Barea

Filiación: Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía, INAHE-CONICET
Dirección: Av. Ruiz Leal s/n. Prque Gral San Martín, Ciudad de Mendoza, Mendoza. Argentina CP 5500.
Correo: gbarea@mendoza-conicet.gob.ar

Código del manuscrito: 10_006

Fecha de aceptación: 04/10/2019

Resumen

Las acciones o estrategias bioclimáticas y sustentables en el diseño de edificios se ha transformado en una necesidad urgente para bajar los niveles de consumo energético del sector. La envolvente de los edificios es la interfaz entre el ambiente interior y el exterior que afectan la ganancia y pérdida de calor interior alterando de manera directa el requerimiento de energía para calefaccionar o enfriar los espacios. La aislación térmica de la envolvente juega un papel predominante en el descenso de los valores de transmitancia para evitar pérdidas o ganancias. El objetivo principal de este trabajo es analizar la incidencia de la aislación térmica en muros y techos en la respuesta energética de viviendas unifamiliares de diferentes formas y materialidades en el período de enfriamiento para cuatro zonas bioambientales de la República Argentina. Se ha trabajado con la metodología de simulación paramétrica por medio de J-eplus, que permitió alcanzar la combinación de diferentes variables como: cuatro niveles de U para muros y techos, cuatro relaciones de relación muro opaco y vidrio (WWR), dos sistemas constructivos y tres tipologías formales diferentes; alcanzando un número de 3456 simulaciones. Los resultados muestran que en climas muy cálidos, cálidos y templados cálidos el consumo energético disminuye para valores de U más altos en muros, mientras que la incidencia de valores menores de U en techos refleja un consumo menor.

Palabras claves: Aislación térmica, Consumo energético, Estación de Verano

Abstract

Bioclimatic and sustainable actions or strategies in building design have become an urgent need to lower energy consumption levels in the sector. The envelopment of buildings is the interface between the indoor and outdoor environment, energy and heat loss. Thermal insulation of the envelope plays a predominant role in lowering transmission values to prevent gains or losses. The main objective of this work is to analyze the incidence of thermal insulation in walls and ceilings in the energy response of single-family homes of different shapes and materiality in the cooling period for four bioenvironmental areas of the Argentine Republic. We have worked with the parametric simulation methodology through J-eplus, which has improved the combination of different variables such as: four levels of U for walls and ceilings, four WWR relationships, two construction systems and three different formal typologies; reaching a number of 3456 simulations. The results show that in very hot, warm and temperate climates, the highest consumption levels in walls, while the incidence of the values of minors in the future. Therefore, it is concluded that in single-family homes, to achieve low energy consumption for cooling, the media, the media, the media, the media, the media. Protect overheating by very isolated packages.

Keywords: palabras claves en inglés.



LATAM
Mendoza, Argentina

Introducción

Las diversas variables de diseño arquitectónico ambientalmente consciente como la forma, la orientación, la relación de envolvente opaca y envolvente transparente, los sistemas de climatización natural, la conservación de energía (por nombrar algunas), son una prioridad clave en la toma de decisiones para el logro de edificios energéticamente eficientes (Gratia y De Herde, 2003; Stevanovic, 2013, Negendhal y Nielsen, 2015, Mercado y Barea, 2018). La creciente demanda energética contrastada a la restricción energética, sea por costo o demanda, es una emergencia que se ha visto reflejada en numerosas directivas e incentivos para el logro de edificios con requerimientos energéticos mínimos.

De las variables mencionadas, la envolvente tiene un gran impacto en la calefacción y refrigeración de los espacios y en la conservación de energía de los edificios residenciales. (Zhaosong Fang et al, 2014; Ballarini Corrado, 2012). La envolvente de los edificios es la interfaz entre el ambiente interior y el exterior que afectan la ganancia de calor y la pérdida de calor interior.

La aislación térmica efectiva en la envolvente del edificio desempeña un papel importante hacia la reducción del consumo de energía (Yu et al, 2011). Numerosos trabajos demuestran que la aplicación de aislación térmica en los elementos de la envolvente permite disminuir entre un 40% y 60% el consumo anual de energía. Algunos estudios señalan esta estrategia como la más efectiva para disminuir el consumo energético, por estar estrechamente relacionada con la influencia de la envolvente y los intercambios de calor del edificio. (Esteves y Mercado, 2005; EURIMA, 2007; Ballarini y Corrado, 2012; Aditya et al, 2017). En estos estudios es central el uso de la aislación térmica en los balances anuales, debido a que contribuyen con la reducción de energía utilizada para calentar los espacios en invierno y enfriarlos en verano. Supone además una disminución en la emisión de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono y su consecuencia directa en el aumento de la temperatura media global. (IPCC, 2017; IPCC, 2017).

Esta componente dentro de la envolvente opaca ha sido estudiada desde diversos ángulos, considerándola un ítem de influencia directa en el consumo energético del edificio y su impacto en el aspecto económico y medio ambiental. Se trata de un material o materiales compuestos que poseen características de alta resistencia térmica con capacidad de disminuir la transferencia de calor. Aditya et al (2017), han analizado y clasificado los materiales desde la perspectiva energética y de ciclo de vida separándolos en cuatro grupos: convencionales, innovadores, reciclados y naturales. En esta línea, en otro estudio, se destaca que el poliestireno expandido es el material de aislamiento más económico entre cinco (poliestireno expandido, el poliestireno extruido, el poliuretano espumado, la perlita y el cloruro de polivinilo espumado) debido al mayor ahorro en el ciclo de vida y al período de recuperación más bajo (Yu et al, 2009).

En cuanto a la ubicación de la componente de aislación dentro del muro, se ha comprobado que la aislación en las capas exteriores de muros funciona energéticamente mejor en construcciones pesadas o másicas con un alto valor de capacidad calorífica volumétrica, debido a las características de retraso y el factor de disipación del calor. En el mismo trabajo se muestran que la capa de aislación tiene un efecto significativo en las cargas de transmisión totales instantáneas y diarias y que debe analizarse en conjunto con el tipo de actividad del edificio (Al-Sanea y Zedan, 2011). Otros estudios se enfocan en la aislación asimétrica, aplicando la estrategia de manera selectiva y diferenciando el espesor y nivel de aislación de acuerdo a la fachada con más demandas en relación a su orientación. Esto supone un mayor nivel de eficiencia (Yu et al, 2008; D'Agostino et al, 2019; Al-Sanea y Zedan, 2011).

La literatura presenta también, una importante revisión sobre la temática del espesor óptimo advirtiendo varios enfoques: el costo y su ciclo de vida (Yildiz et al, 2008; Yu et al, 2009), la respuesta térmico-energética (Ucar et al, 2010); D'Agostino et al, 2019), el impacto ambiental (Comakli y Yüksel, 2004; Yıldiz et al, 2008) y el análisis de lo que establecen diferentes normativas (Esteves y Mercado, 2005; Melo et al, 2015). De estos trabajos se advierten dos fuertes conclusiones unánimes: *a-un espesor demasiado alto de material aislante, incluso si cumple con requisitos legislativos, puede ser desventajoso con referencia a los requisitos de energía, impacto y análisis económico* y *b-mientras el costo del material de aislamiento aumenta linealmente, la disminución del costo del consumo de energía se produce a un nivel más débil a partir de cierto espesor de aislación.*



Las mayoría de las investigaciones sobre el aspecto del espesor de la aislación se han realizado utilizando criterios de la estación de invierno. D'Agostino et al (2019), advierte que el grosor de la aislación se vuelve prejudicial para los climas cálidos por causar un requerimiento energético mayor asociado al uso de aire acondicionado en verano. Esto pone en evidencia una problemática poco estudiada: el comportamiento de aislación térmica desde el aspecto de consumo energético en época estival de climas templados, climas cálidos y climas muy cálidos. Melo et al (2014), advierten que los bajos valores de transmitancia por medio del uso de aislación térmica dificultan la disipación de calor en las épocas de verano.

A partir de lo expuesto hasta aquí, el presente trabajo plantea como objetivo principal analizar la incidencia de la aislación térmica de muros y techos en la respuesta energética de viviendas unifamiliares de diferentes formas y materialidad en el período de enfriamiento para cuatro zonas bioambientales de la República Argentina.

Estado del arte del problema

Aunque el tema central de todos los estudios citados es el uso de aislamiento térmico para reducir el consumo de energía, la aplicación adecuada de este para mejorar el rendimiento energético de los edificios en verano solo se ha analizado en algunos estudios. Los trabajos realizados por Yu et al (2008) y D'Agostino et al (2019), presentan el ahorro de energía diferenciado entre época de invierno y época de verano, por lo tanto es posible advertir que el ahorro en la estación de verano disminuye entre un 40 y 50% en relación del ahorro que se obtiene para la estación de invierno. Con esta apreciación, se hace entendible el ahorro energético que se observa cuando se realizan evaluaciones con balances anuales, ya que predomina la situación invernal.

Xu et al (2007), muestran que durante las estaciones intermedias y cálidas, la aislación en la envolvente aumenta el consumo de energía. Situación que se repite en edificios con gran cantidad de cargas internas, sin embargo para edificios residenciales hay escasos estudios en la literatura. Ballarini Y Corrado (2012), exponen que la transferencia de energía a través de la envolvente representa una contribución fundamental a la demanda de energía para enfriamiento, pero la influencia de la envoltura opaca en la necesidad de refrigeración es limitada. En esta línea Melo et al (2014), advierten la misma situación y afirman que una superficie aislada restringe la disipación de la ganancia interna al ambiente exterior para los climas de Florianópolis, Curitiba y São Luís, siendo climas que se pueden relacionar como cálidos y muy cálidos considerando sus semejanzas a la división bioambiental de Argentina.

En este sentido, y para la situación de la República Argentina, no se han encontrado estudios del uso de aislación térmica en períodos estivales de climas templados, cálidos y muy cálidos y su influencia directa sobre la demanda energética para enfriamiento. Este trabajo aborda esta temática desde la simulación paramétrica, metodología que permite evaluar numerosas variables a la vez.

Metodología

El estudio se realizó con el uso del software EnergyPlus en conjunto con el software J-eplus, que otorga la posibilidad de parametrizar las simulaciones y combinar numerosos rangos de los diferentes items. El avance en programas de simulación computacional permite la evaluación simultánea de numerosas variables y la interrelación entre ellas, que anteriormente suponían trabajos extensos y difíciles de realizar. La metodología paramétrica es un método exhaustivo que otorga la posibilidad de crear pautas de diseño bioclimático considerando varias estrategias a la vez (Mercado y Barea, 2018).

Se trabajó en tres fases, 1- *Establecer los rangos de las variables de acuerdo al objetivo del trabajo*; 2- *Ejecutar las simulaciones paramétricas para cada clima considerado, lo que alcanzó a 3456 simulaciones* y 3- *Identificar la forma adecuada y específica de representar los resultados*.

3.1. Tipologías, variables y rangos

3.1.2. Definición de Tipologías y orientación.

Se consideraron tres tipologías que responden a esquemas formales diferentes cubriendo una superficie de 80m^2 , desde una resolución compacta a una más abierta. La tipología 1, compacta, se opta por un edificio cuadrado con una relación ancho-largo de 1 a 1. Tipología 2, una composición rectangular con una relación de 1 a 2 (6.4m x 12.8m). Tipología 3, abierta, en forma de L con una relación de 1 a $\frac{1}{2}$ (ext: 10.5m x 10.5m, int: 5.5m x 5.5m). Todas las tipologías constan de una sola zona térmica. Figura 1. Las tipologías 2 y 3 se orientaron con su lado más extenso hacia el norte.

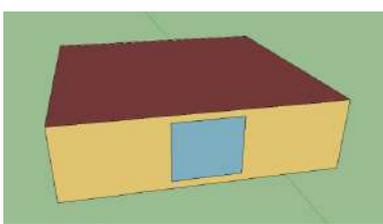
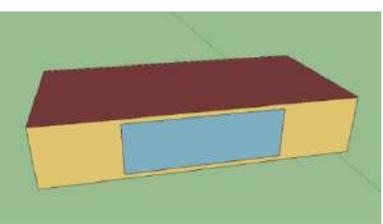
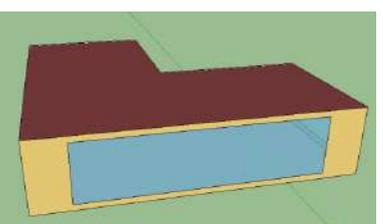
Tipología			
IC	88.6%	82.6%	75.5%
FAEP	2.17	2.25	2.37

Figura 1. Representación 3D de Tipologías, índice de compacidad (IC) y factor de forma (FAEP). Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Relación envolvente opaca-envolvente transparente.

El tamaño de las aberturas transparentes se representaron por medio de la relación de envolvente opaca y envolvente transparente (WWR%), se resolvió trabajar con 4 proporciones diferentes siendo, 20, 40, 60 y 80. En cuanto a la orientación se ha expuesto la fachada de mayor longitud hacia el Norte, para contemplar la ganancia solar. Todas las localidades de estudio se encuentran por debajo de la línea del Ecuador. Para este trabajo no se han considerado protecciones solares en las aberturas expuestas.

3.1.3. Transmitancias.

La normativa Argentina, específicamente la Norma IRAM 11605, propone rangos de transmitancia máximos en tres niveles diferenciados para invierno y verano y por zonas bioambientales del país (IRAM 11603).

La primera diferenciación que se expone (invierno y verano) es útil para el cálculo de los consumos energéticos y trata de evitar la exageración de aislación para épocas no necesarias. La bibliografía presenta estudios sobre la aislación adaptativa (cambios de espesores para invierno y verano), con tecnologías innovadoras que permiten elevar o disminuir los valores de transmitancia de acuerdo a la estación del año, favoreciendo la reducción del uso de energía de los edificios y evitando efectos no deseados con la incorporación de la aislación (Favoino et al, 2017; Jin et al, 2017; Berge et al, 2015; Kimber et al, 2013). Sin embargo, en el contexto de la República Argentina y la disponibilidad tecnológica del mercado, cuando un edificio se construye considerando aislación térmica, se resuelve de forma homogénea sin la posibilidad de cambiar el U de los elementos por estación.

En cuanto a la diferenciación por zona bioclimática establece dos grupos, por un lado climas muy fríos, fríos y templado frío y por otro lado climas templados cálidos, cálidos y muy cálidos, donde la exigencia de transmitancia de la envolvente es menor. Considerando esta categorización de climas más fríos y más cálidos se tuvo en cuenta los valores de transmitancia, para los primeros los valores estipulados para invierno y en el caso del grupo de climas más cálidos los valores para verano.

Se trabaja con los tres niveles de la Norma IRAM 11605 (A, B y C) y un cuarto nivel que se va a denominar *Recomendado (R)* de acuerdo a un trabajo previo (Esteves y Mercado, 2005), diferenciandos según los dos grupos mencionados anteriormente. Por lo tanto, para los climas templados se trabajó con los valores estipulados para la estación de invierno y para los climas cálido y muy cálido se utilizaron los valores de la época estival (Tabla 1).

Clima	Muro				Techo			
	A	R	B	C	A	R	B	C
Muy Cálido I (TMD=7.7) seco	0.45	0.81	1.10	1.80	0.38	0.77	1.00	1.85
Cálido II (TMD= 1.5) seco								
Templado Cálido III (TMD= 0.1) seco	0.38	0.78	1.00	1.85	0.32	0.64	0.83	1.00
Templado Frío IV (TMD= -0.3)								

Tabla 1. Valores de transmitancia [U] máxima para los tres niveles propuestos por Norma IRAM 11605 y valor teórico recomendado. Fuente: elaboración propia

3.1.4. Capacidad calorífica de los elementos verticales y horizontales.

Se tuvieron en cuenta dos tipos de sistemas constructivos considerando que implican diferentes niveles de capacidad calorífica volumétrica, consecuentes al uso de materiales de construcción pesada o másica y liviana (Tabla 2); denominadas construcción másica y construcción liviana.

Construcción másica (se utiliza el sistema constructivo tradicional, muy utilizado en el país):

Muros: revoque exterior (0.025m) + aislación de poliestireno expandido (valor x m) + ladrillo macizo (0.17m) + revoque interior (0.025m),

Techos: losa maciza de hormigón armado (0.12m) + aislación (valor x m) + capa de compresión alivianado (0.075m) + membrana asfáltica (0.012m).

Construcción liviana (se utiliza un sistema que posee gran ahuje en la construcción nueva prefabricada):

Muros: revoque exterior (0.025m) + alma de muro = aislación de poliestireno expandido (valor x m) + revoque interior (0.025m),

Techos: Cielorraso de madera (1") + aislación de poliestireno expandido (valor x m) + Alivianado de hormigón (0.075m) + membrana asfáltica.

	Paquete	Capacidad calorífica [KJ/m ²]
MASICO	Muro	425.6
	Techo	423.0
LIVIANO	Muro	95.0
	Techo	170.0

Tabla 2. Valores de capacidad calorífica volumétrica para los diferentes paquetes utilizados. Fuente: elaboración propia

3.1.5. Zonas bioambientales.

La Norma IRAM 11603 *Clasificación bioambiental de la República Argentina*, establece seis zonas climáticas y sub-zonas. Se trabajó con las zonas: Ia - Muy cálido seco-, IIa -Cálido seco-, IIIa -Templado cálido seco- y IV -Templado frío. Para estas zonas se consideraron las siguientes ciudades: Formosa ciudad; Chamental, La Rioja; Nueve de Julio, Buenos Aires y Mendoza ciudad respectivamente. Se utilizaron los archivos climáticos Typical Meteorological Year (TMY) (Climate One Building, 2019). Los termostatos se fijaron en 20°C para calefacción y 24°C para enfriamiento.

Ciudad	Zona Bioclimática	TDMIN [°C]	TDMX [°C]
Formosa, Formosa	I Muy Cálido	0.9	40
Chamental, La Rioja	II Cálido	-3.1	41
9 de Julio, Buenos Aires	III Templado Cálido	-3.8	37.4
Mendoza, Mendoza	IV Templado Frío	-3.9	36.1

Tabla 3. Ciudades, zonas climáticas y Temperaturas mínima y máxima de diseño (Norma IRAM 11603) (elaboración propia).



El método de balance energético utilizado por Energy Plus permite contabilizar la energía consumida para un año completo de acuerdo a la necesidad de calefacción y enfriamiento. Para el presente trabajo se utilizan los datos de energía que necesitaría la vivienda para mantenerse por debajo del termostato de enfriamiento.

Discusión y Resultados

Los resultados se diferencian en muros y techos en relación a lo que establece la Norma IRAM 11605 para el total de las simulaciones. Son mostrados en diagramas de caja donde se puede observar los valores máximos, medios, cuartiles y mínimo, para cada zona bioclimática combinando todos los parámetros estudiados de acuerdo a su capacidad calorífica volumétrica (Másico y Liviano), tipologías (cuadrado, rectancuglar y L) y relación WWR.

4.1. Consumos energéticos para transmitancia de *Muros* en relación a la forma y capacidad calorífica.

En el caso del clima muy cálido (Formosa) los dos tipos de construcciones muestran una disminución constante del consumo de energía a medida que el U aumenta, para paquetes livianos en un rango del 6 al 10% y para paquetes másicos en un rango del 11 al 17%. Esta disminución es menor en la forma compacta cuadrada de construcción másica, donde se observa una disminución radical del consumo en el valor mínimo de U, con una diferencia entre máximo y mínimo del 55%. Para los demás valores de U, la disminución se vuelve constante en un rango del 5%. Para la zona II de clima Cálido (Chamical) el comportamiento es similar a lo que se observó en la zona I *Muy cálido*. Se observa un aumento sostenido del consumo energético en relación a valores de U menores. Se puede observar una constante de aumento del orden del 15% para construcciones livianas y del 17% para construcciones másicas de configuración más abiertas. En la forma cuadrada este porcentaje asciende al 28.7%. Figuras 2 y 3.

La ciudad de 9 de Julio (clima Templado cálido), la tendencia de consumo con muros aislados o no, es menor para la composición másica que para los paquetes livianos. Sin embargo presenta una diferencia que radica en que para U mayores el consumo disminuye. Esta disminución es sustancial entre el nivel A (de menor valor U) y el nivel C (mayor valor U) alcanzando un descenso del 23.4% para la forma cuadrada y de 41.8% en las formas rectangulares y abiertas. En el clima Templado Frío, se advierte la misma situación que para la localidad de 9 de Julio, donde el aumento se invierte y se observa un descenso a medida que el U crece. Este descenso alcanza un valor de hasta el 41% para la construcción másica en las formas cuadrada y rectangular y la forma L baja a un 18%. Por otro lado en la construcción liviana estos valores cambian a 40% para las formas rectangular y L, mientras que la forma cuadrada no supera el 25.8%. En este caso se evidencia una fuerte influencia en la relación construcción-forma, ya que se aprecia mayor descenso de consumo en formas cuadradas y rectangulares, cuando la construcción es másica, mientras que en la forma L el mayor descenso de consumo se observa para la forma más abierta L. Figura 4 y 5.

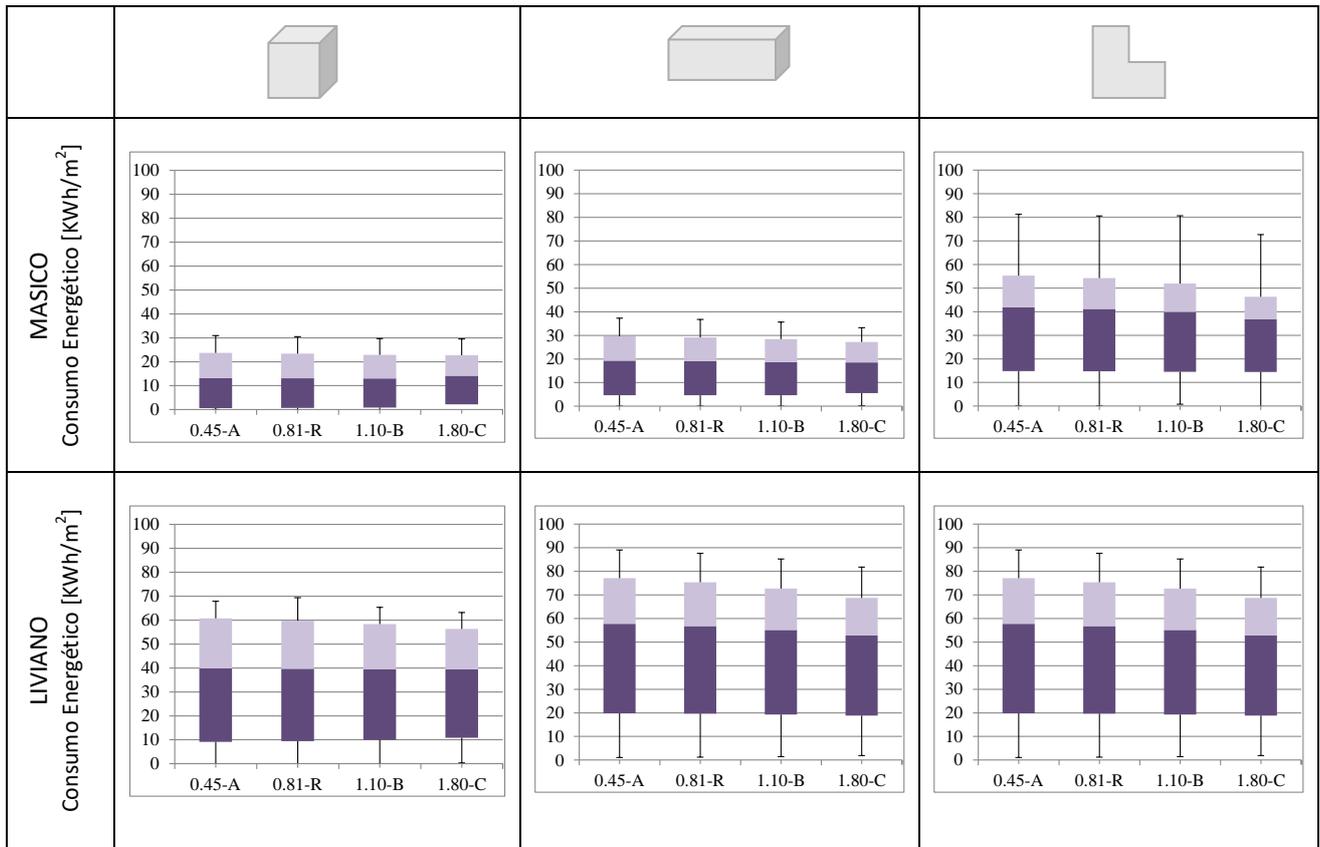


Figura 2. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de U Muros, para Zona I *Muy cálido* –Formosa ciudad- Fuente: elaboración propia.

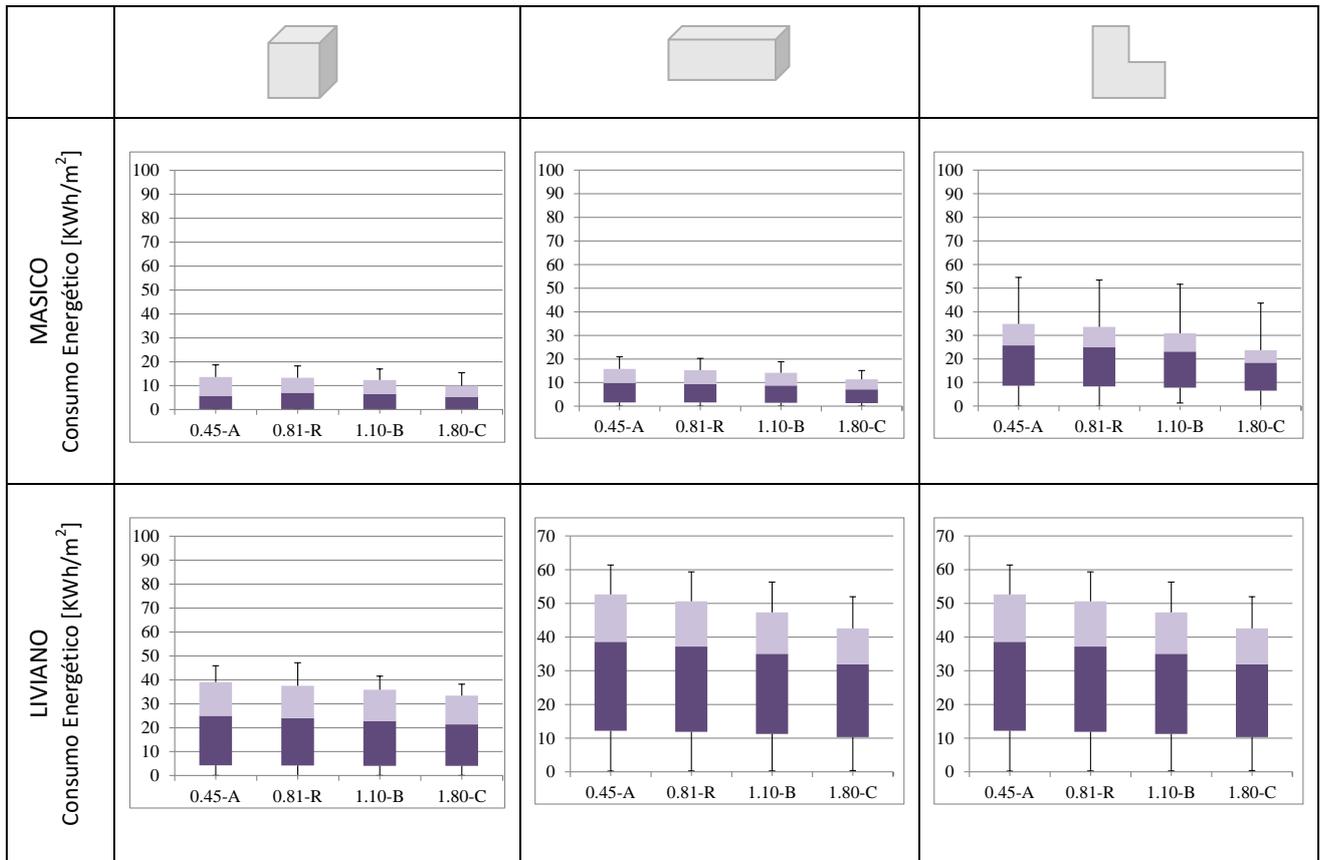


Figura 3. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de U Muros, para Zona II Cálido –Chemical, La Rioja- Fuente: elaboración propia.

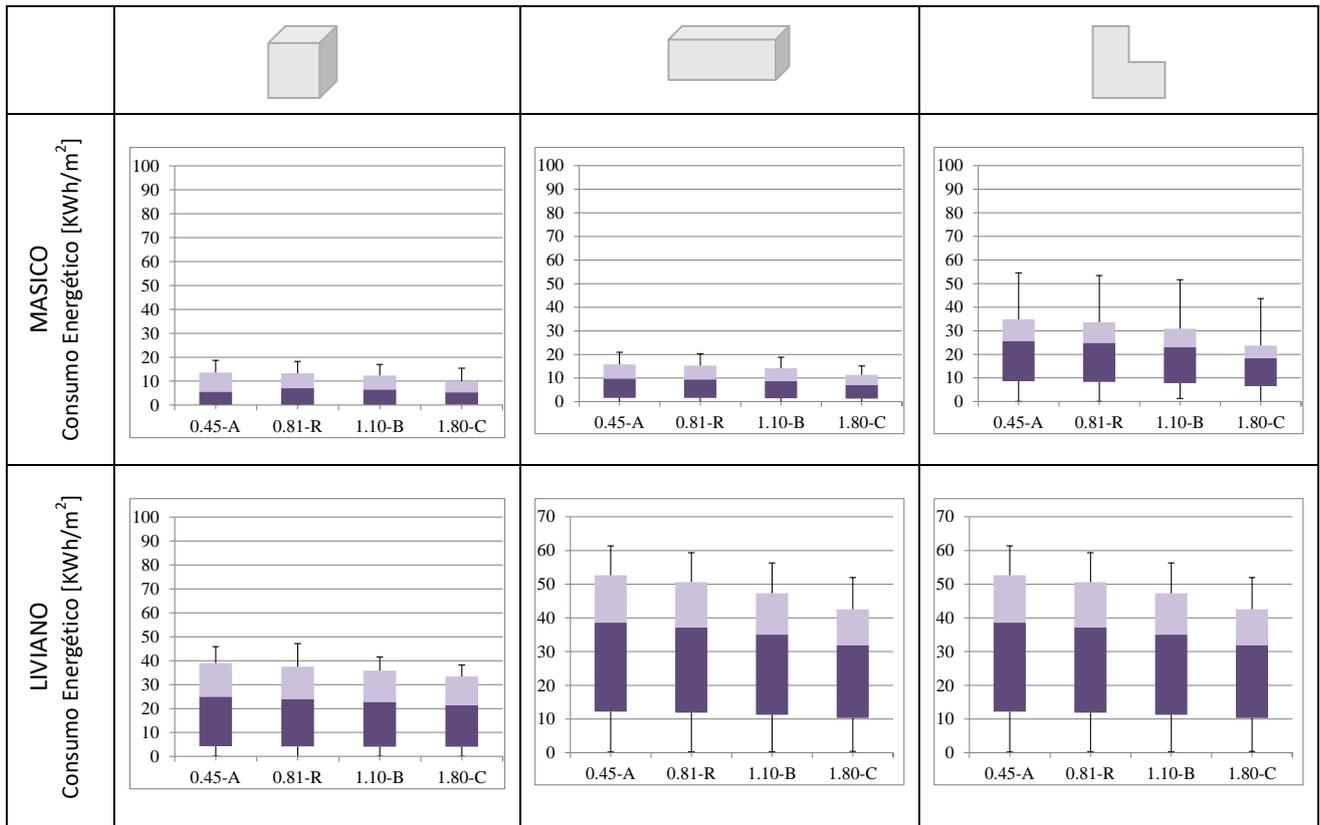


Figura 4. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de U Muros, para Zona III *Templado cálido* –9 de julio, Buenos Aires- Fuente: elaboración propia.

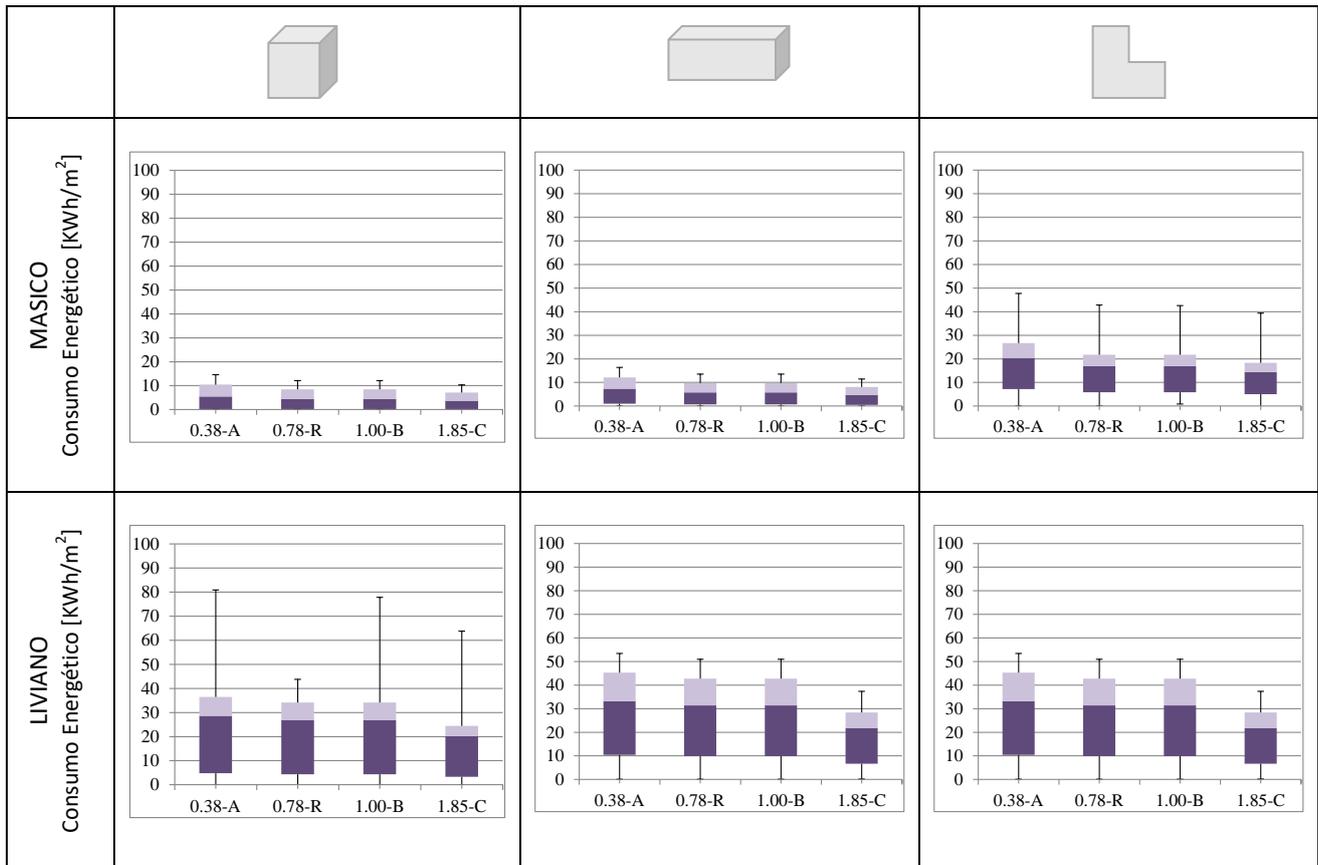


Figura 5. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de U Muros, para Zona IV Templado frío – Mendoza, ciudad- Fuente: elaboración propia.

4.2. Consumos energéticos para transmitancia de Techos en relación a la forma y capacidad calorífica.

En el caso de clima Muy cálido y construcción másica, se observa un pequeño aumento en el consumo a medida que el U aumenta. Existe una semejanza en los valores de consumo para los niveles A, B y R en las formas más compactas, mientras que el consumo del nivel C se percibe mayor. La forma abierta evidencia un aumento sostenido del consumo desde el valor menor (A) al valor mayor de U (C). En las tres formas el valor U más alto presenta un aumento significativo del consumo en relación a paquetes con niveles A, B y R. En formas compactas (cuadrado y rectangular) el consumo se dispersa entre un 32% y 33% más para la misma relación WWR cuando la envolvente es liviana. Esta dispersión en envolvente másica alcanza un máximo de 9%. El peor comportamiento lo presenta el paquete liviano con valor U más alto para la forma más compacta. Se considera que esto es efecto de que la forma y la envolvente establecen demasiado intercambio y/o disipación de energía entre exterior e interior. Figura 6.

En el clima Cálido, las situaciones para los paquetes másicos, en las tres formas, responden de una manera bastante similar al cambio y aumento del valor de transmitancia térmica del paquete. El consumo energético presenta un aumento en un rango entre el 4 y 10% para las formas cuadrada y rectangular mientras que para la forma más abierta marca un aumento del 18%. El paquete liviano presenta un aumento sostenido del orden del 12.5% entre los niveles A, R y B, mientras el nivel C alcanza un 41.5% en relación al nivel A, en las formas más abiertas (rectangular y L). En la forma cuadrada alcanza un 68% para U muy conservativos. Figura 7.

Para la localidad 9 de julio (clima Templado cálido), el consumo de la construcción másica presenta un aumento paulatino a medida que este es mayor, un aumento que oscila en un rango de 9 y 35% entre los niveles de U más bajo (A) y de U más alto (C). Sin embargo se manifiesta en consumos por debajo de 17 KW/hm² año, por lo que al tratarse de consumos bajos, el aumento es imperceptible. En su contraposición a la situación masica, el sistema liviano

muestra un mayor consumo de hasta 1/3 más en las tres formas y con un aumento más homogéneo entre niveles que no supera el 6% para la forma cuadrada y el 4.7% en las formas rectangular y L. Figura 8.

La situación de construcción másica para la ciudad de Mendoza (clima Templado frío) muestra aumentos de consumo a medida que el U aumenta. Para las formas cuadrada y rectangular se observa un consumo un 50% menor que la forma abierta (L). En la situación de construcción liviana, las tres formas presentan un comportamiento similar, es decir un aumento paulatino marcando una diferencia de 35% promedio entre el valor mínimo (A) y el máximo (C) de consumo energético. En todos los casos el nivel C se desprende del aumento paulatino que mantienen entre los niveles A, R y B (aumento en un rango del 1.7% al 2.6%). El nivel C eleva su consumo llegando a plasmar una diferencia del 7%. Figura 9.

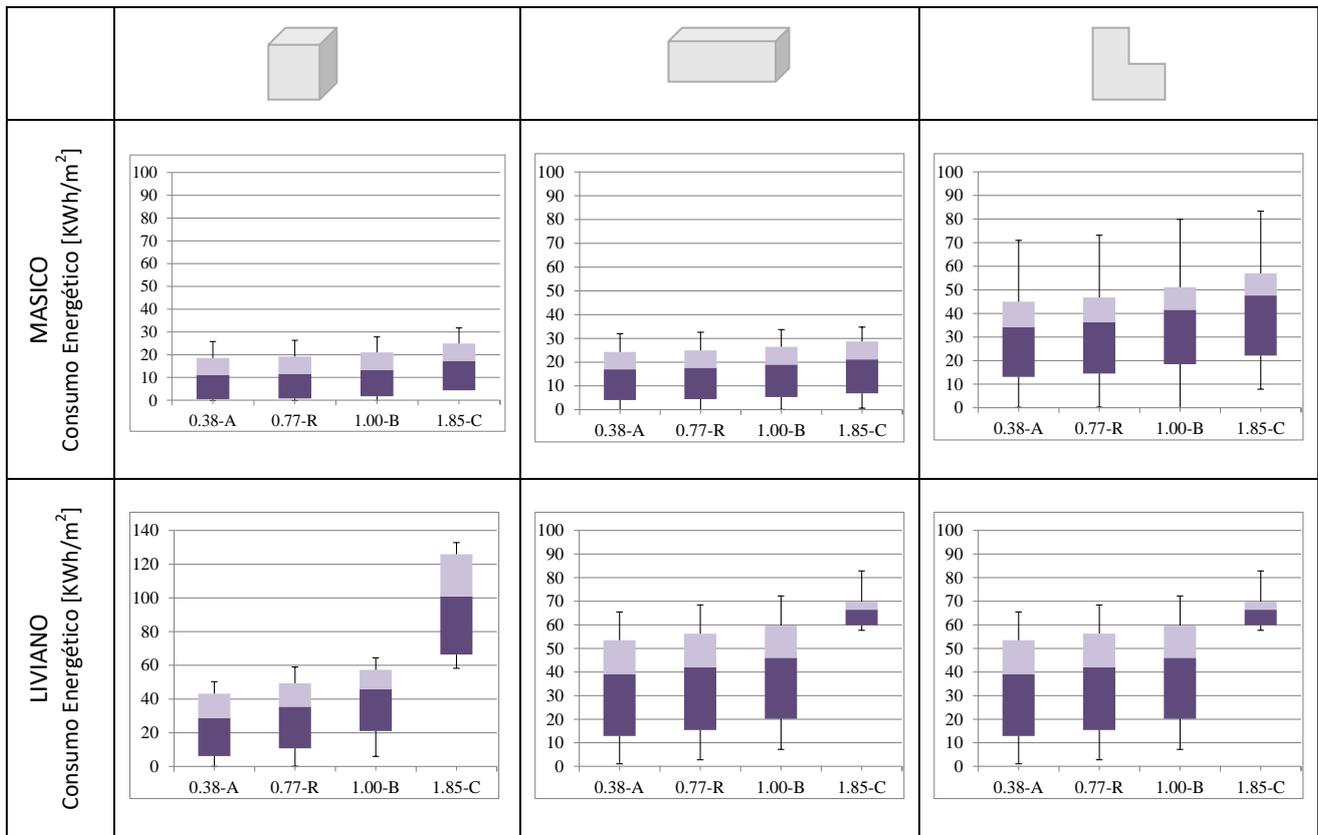


Figura 6. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de U Techos, para Zona I Muy cálido –Formosa ciudad- Fuente: elaboración propia.

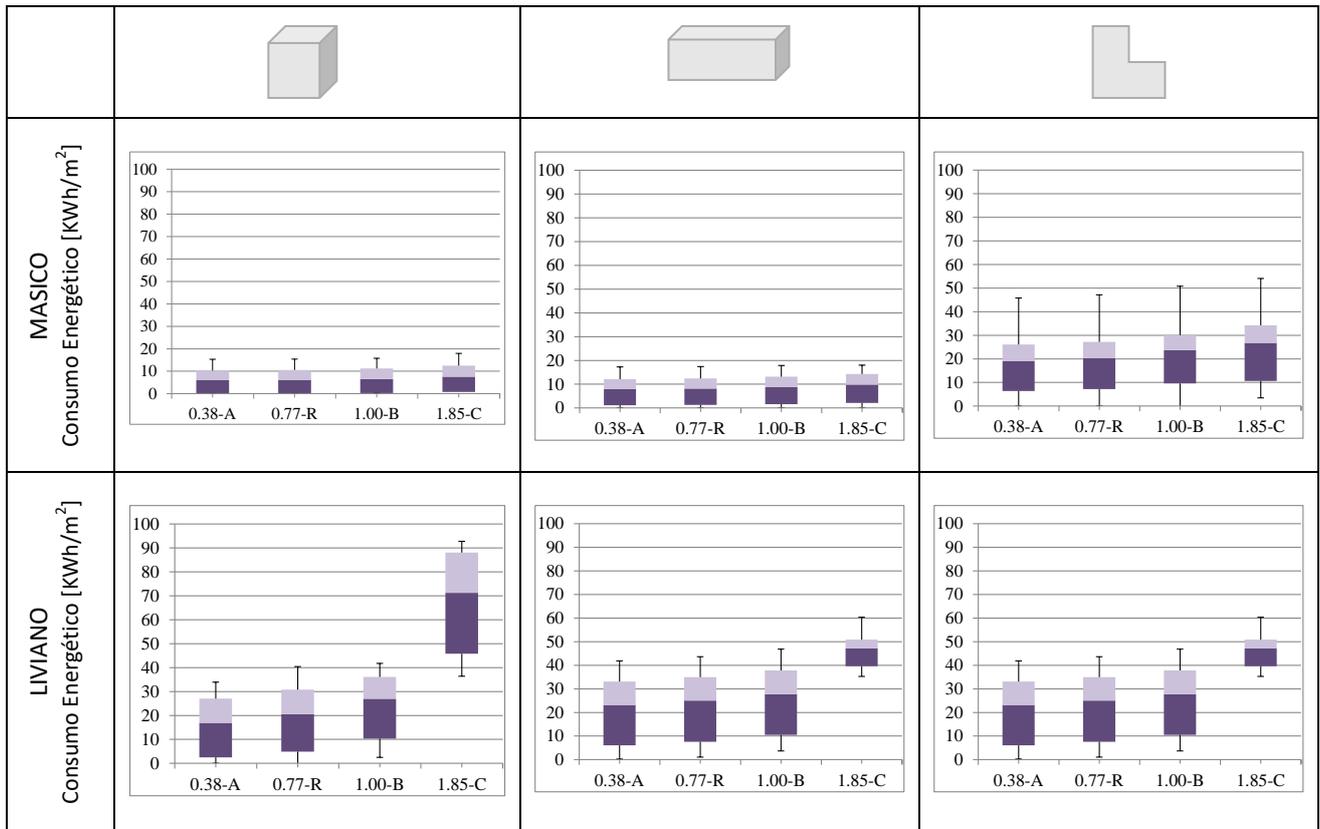


Figura 7. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de *U Techos*, para Zona II Cálido –Chamical, La Rioja- Fuente: elaboración propia.

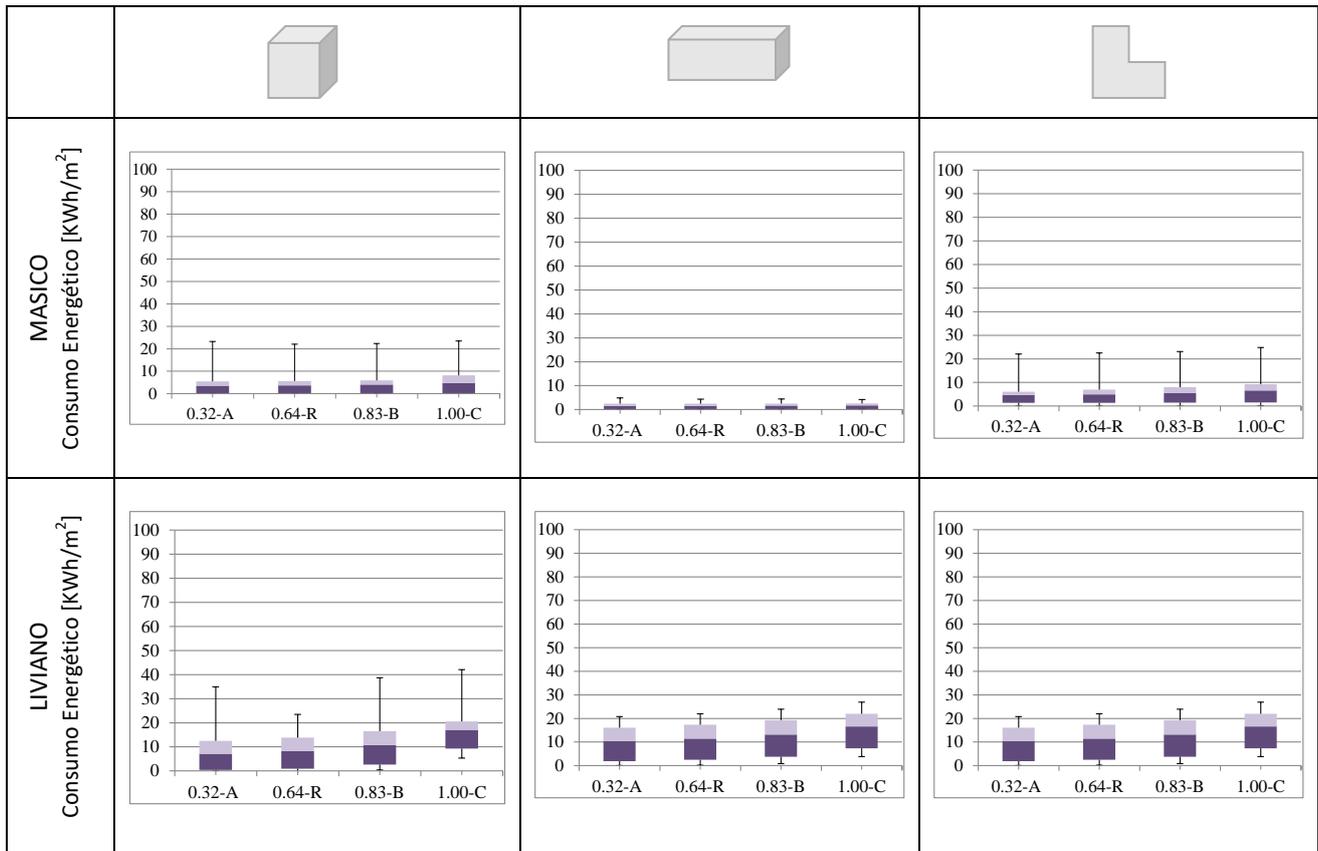


Figura 8. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de *U Techos*, para Zona III *Templado cálido* –9 de julio, Buenos Aires- Fuente: elaboración propia.

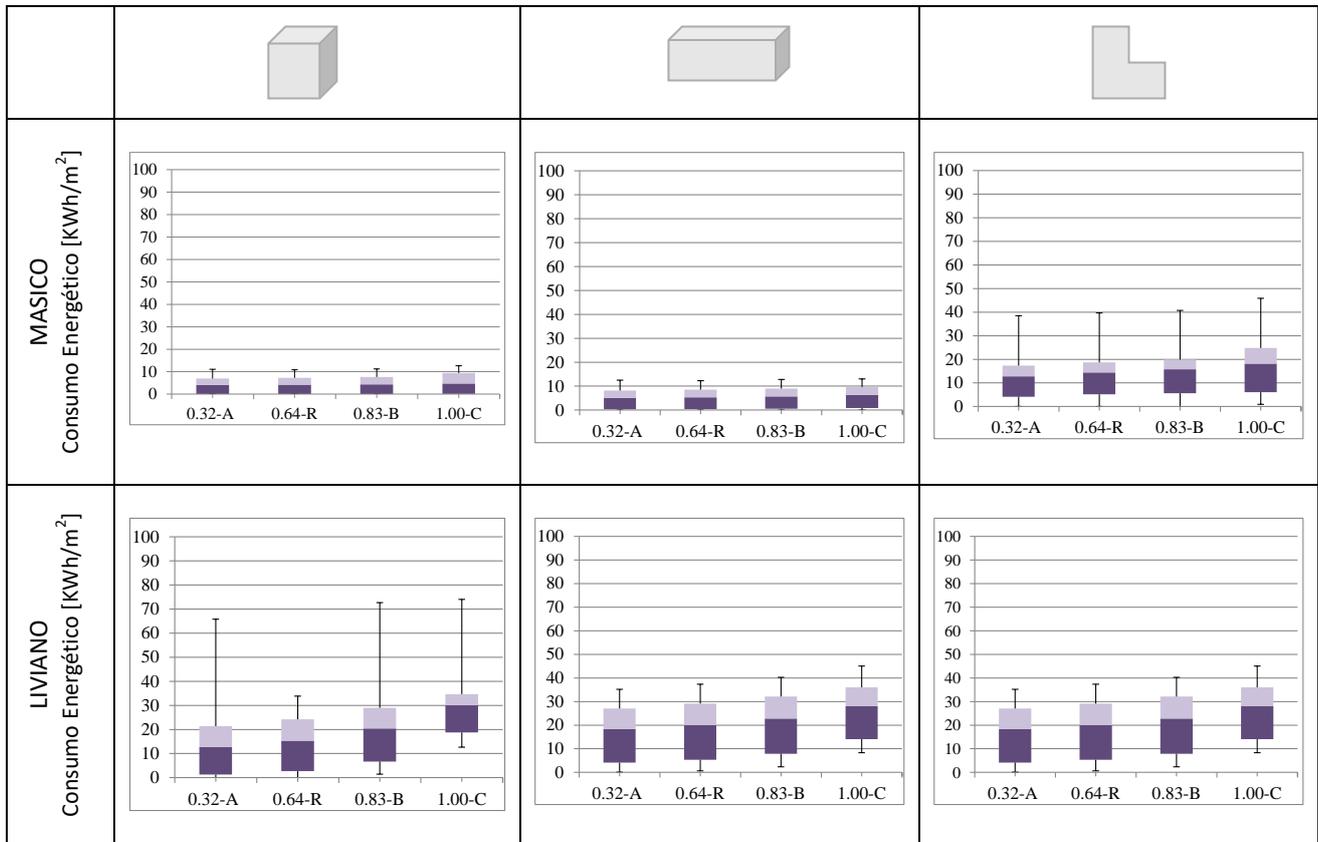


Figura 9. Consumos energéticos de enfriamiento de acuerdo a las modificaciones de *U Techos*, para Zona IV *Templado frío* – Mendoza, ciudad- Fuente: elaboración propia.

4.3. Consumos energéticos máximos y mínimos en relación con la forma y el coeficiente WWR.

Este análisis presenta mayor dispersión de los datos que en las relaciones analizadas en los puntos 4.1 y 4.2. Sin embargo es posible advertir que se produce una clara diferenciación de dos grupos en los comportamientos del consumo energético, por un lado los climas cálidos (VI y V) y por otro lado los climas templados (IV y III).

En el primer grupo mencionado, los climas cálidos y muy cálidos, existe una mayor variabilidad en las combinaciones donde se encuentran los datos de mayor y menor consumos (MAX y MIN) respectivamente. Esta situación conlleva una dificultad metodológica para establecer un patrón de comportamiento. En el clima muy cálido, los casos de formas compactas de construcciones másicas, muestran que los valores máximos de consumo prevalecen en las relaciones menores, 20 y 40 para una combinación de muros y techos sin aislar. Para las mismas formas en construcciones livianas los niveles de mayor consumo rondan las relaciones de WWR más altas (60 y 80) con muros de U mínimos y techos sin aislar. En el clima cálido, los resultados se muestran más homogéneos, dado que los valores máximos se encuentran para todas las formas para la combinación del U más bajo de muros y techos sin aislar para todos las relaciones de WWR y las formas constructivas.

En el caso de los climas templados, presentan un comportamiento igual para todos los casos. Los máximos consumos energéticos se presentan con los niveles mínimos de transmitancia para muros y techos. Mientras que los mínimos de consumo se presentan con los niveles más altos de transmitancia en muros, es decir sin aislación e importantes espesores de aislación en techos. Esto indica que la relación WWR no influye el menor o mayor consumo energético frente al cambio de las transmitancias de muros y techos.

En cuanto a las relaciones de WWR y las formas se observa que en formas compactas y un sistema constructivo máxico aumentan los consumos frente a porcentajes más altos. Mientras que en la forma más abierta y un sistema constructivo liviano, sin masa, la incidencia del aumento de aventanamiento se reduce a un 15% entre valores mínimos y máximos.

		MASA				LIVIANO			
		20	40	60	80	20	40	60	80
CUADRADO									
Zona I Muy cálido	MAX	8.2	15.7	21.9	30.7	116.4	128.5	68.0	68.4
	MIN	0.0	0.4	14.3	23.2	0.0	7.8	29.9	42.4
Zona II Cálido	MAX	1.1	4.1	12.9	19.1	79.0	88.2	47.8	48.5
	MIN	0.0	0.0	6.4	11.8	0.0	3.3	17.2	25.5
Zona III Templado Cálido	MAX	0.0	0.1	24.7	5.1	36.6	42.4	24.7	25.7
	MIN	0.0	0.0	6.7	2.2	0.0	0.5	6.7	11.0
Zonza IV Templado Frío	MAX	0.1	2.2	9.5	14.6	67.4	76.1	41.2	41.3
	MIN	0.0	0.0	3.3	7.2	0.0	1.7	12.7	19.3
RECTANGULAR									
Zona I Muy cálido	MAX	5.2	12.2	23.3	33.0	59.9	66.8	70.3	69.9
	MIN	0.0	5.1	15.9	25.9	1.0	16.2	33.6	46.6
Zona II Cálido	MAX	0.9	5.6	13.1	19.7	40.7	46.4	49.4	49.3
	MIN	0.0	1.4	6.9	12.7	0.2	7.9	18.8	27.3
Zona III Templado Cálido	MAX	0.0	0.5	2.6	5.8	19.8	23.7	26.3	27.0
	MIN	0.0	0.0	0.9	2.7	0.0	2.5	7.9	12.5
Zonza IV Templado Frío	MAX	0.2	3.8	10.0	15.4	35.4	40.6	43.1	42.6
	MIN	0.0	0.4	3.9	8.2	0.1	5.5	14.3	21.2
L									
Zona I Muy cálido	MAX	9.1	66.8	38.6	45.5	59.9	66.8	70.3	69.9
	MIN	0.1	16.2	24.7	32.3	1.0	16.2	33.6	46.6
Zona II Cálido	MAX	2.6	46.4	23.7	29.0	40.7	46.4	49.4	49.3
	MIN	0.0	7.9	12.2	17.1	0.2	7.9	18.8	27.3
Zona III Templado Cálido	MAX	0.0	23.7	5.0	7.8	19.8	23.7	26.3	27.0
	MIN	0.0	2.5	1.8	3.4	0.0	2.5	7.9	12.5
Zonza IV Templado Frío	MAX	1.2	40.6	16.9	21.1	35.4	40.6	43.1	42.6
	MIN	0.0	5.5	6.8	10.5	0.1	5.5	14.3	21.2

Conclusiones

En este trabajo se ha estudiado la influencia en el consumo energético para refrigeración de los valores de transmitancia (U) que recomienda la Norma IRAM 11605 en sus tres niveles (A, B y C) y un cuarto nivel recomendado (R) en un trabajo anterior, en climas templados y cálidos de la República Argentina para edificios residenciales unifamiliares de formas, sistemas constructivos y relación WWR diferentes.

La metodología de simulación paramétrica se considera óptima para este tipo de estudios debido a la posibilidad de trabajar con infinitas variables y poder observar su influencia en conjunto. Sin embargo el procesamiento de datos se debe realizar cuidadosamente.

En base a los resultados es posible alcanzar las siguientes conclusiones:

- Para climas muy cálidos y cálidos las cargas energéticas para refrigeración se elevan entre un 28% y 55% con valores de transmitancia muy bajos o conservativos.
- En climas templados este valor es menor, sin embargo trabajos anteriores muestran una disminución en el consumo energético para balances anuales, lo que supone que para la estación de invierno valores bajos de U



LATAM
Mendoza, Argentina

proporcionan ventajas. De esto se deduce que, en la estación de verano, la aislación asimétrica de muros sería conveniente, permitiendo la disipación del calor en orientaciones menos comprometidas.

- La Norma IRAM 11603 recomienda para climas Muy cálidos y cálidos “*gran aislación térmica en techos y en muros orientadas al este y al oeste*”. En este trabajo se demuestra que esta recomendación no es absoluta, ya que supondrá un mayor consumo energético con gran aislación en muros.
- La utilización de los altos valores de U en muros, relacionados a los niveles de la Norma IRAM 11605, evidencia un aumento en el consumo energético destinado a enfriamiento.
- La tendencia en techos es inversa, en todos los climas se presenta un aumento a medida que las transmitancias suben. Esta situación toma importante relevancia al evidenciar que el elemento de mayor incidencia solar en la época estival, influencia de manera directa en el consumo energético para enfriamiento. Por lo tanto mientras en muros es beneficioso la disipación del calor por medio de elementos poco aislados o sin aislar, los techos se deben proteger del sobrecalentamiento mediante paquetes muy aislados.

El estudio realizado posee una importante prospectiva de trabajo e investigaciones futuras como el análisis de los casos considerando la carga interna de uso, la protección solar de las aberturas y la descarga térmica de los muros mediante ventilación cuando la temperatura exterior lo permita.

Referencias

- Al-Sanea S. A., Zedan M.F. 2011. Improving thermal performance of building walls by optimizing insulation layer distribution and thickness for same thermal mass. *Applied Energy*, Vol. 88, Pp. 3113-3124. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.02.036>.
- Ballarini I. y Corrado V. 2012. Analysis of the building energy balance to investigate the effect of thermal insulation in summer conditions. *Energy and Buildings* 52 pp.168–180.
- Berge A., Hagetoft Carl-E., Wahlgren P., Adl-Zarrabi B. 2015. Effect from a Variable U-Value in Adaptive Building Components with Controlled Internal Air Pressure, *Energy Procedia*. Vol. 78, pp 376-381. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.677>.
- Climate One Building Org. Disponible en:<http://climate.onebuilding.org/sources/default.html>
- Çomaklı, K., Yüksel, B. 2004. Environmental impact of thermal insulation thickness in buildings. *Applied Thermal Engineering*, 24 (5-6), pp. 933-940. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2003.10.020
- Mercado M. Victoria, Esteves A. 2004. Arquitectura sustentable, estudio térmico y técnico económico de la incorporación de aislación térmica. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 15; pp. 45 – 52.
- Esteves A., Esteves M. J., Mercado M. V., Barea G. y Gelardi D. 2018. Building Shape that Promotes Sustainable Architecture. Evaluation of the Indicative Factors and Its Relation with the Construction Costs. *Architecture Research*, 8(4) pp. 111-122.
- EURIMA. Ecofys VII - U-values for Better Energy Performance of Buildings. European Insulation Manufacturers Association; 2007.
- Fang Z., Li N., Li B., Luo G., Huang Y. 2014. The effect of building envelope insulation on cooling energy consumption in summer, *Energy and Buildings*, Vol. 77, 2014. Pp. 197-205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.030>.
- Favoino F., Jin Q., Overend M. 2017. Design and control optimisation of adaptive insulation systems for office buildings. Part 1: Adaptive technologies and simulation framework, *Energy*, Volume 127, pp Pages 301-309. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.083>.
- Gratia E., De Herde A. 2003. Design of low energy office buildings, *Energy and Buildings*, Vol. 35, Pp 473-491, ISSN 0378-7788, [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00160-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00160-3).
- Intergovernmental Panel on Climate Change I. *Climate Change 2007: Technical Summary*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change I. 2017. Expert Meeting on Mitigation, Sustainability and Climate Stabilization Scenarios.
- IRAM 11603. 2011. Acondicionamiento térmico de edificio. Clasificación Bioambiental de la República de Argentina.
- IRAM 11604. 2001. Aislamiento térmico de edificios.
- Jin Q., Favoino F., Overend M. 2017. Design and control optimisation of adaptive insulation systems for office buildings. Part 2: A parametric study for a temperate climate. *Energy*. Volume 127, pp 634-649. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.096>.



LATAM
Mendoza, Argentina

- Mark Kimber, William W. Clark, Laura Schaefer, Conceptual analysis and design of a partitioned multifunctional smart insulation, *Applied Energy*, Volume 114, 2014, Pages 310-319, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.067>.
- Mascaró, J. L. Variación de los Costos de los Edificios Con las Decisiones Arquitectónicas. La Plata: UNLP, FAU, 1983.
- Melo A. P., LAMBERTS R., DE SOUZA VERSAGE R., ZHANG Y. 2015. Is thermal insulation always beneficial in hot climate? Proceedings of BS2015: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association, Hyderabad, India.
- Melo A.P., Sorgato M.J., Lamberts R. 2014. Building energy performance assessment: Comparison between ASHRAE standard 90.1 and Brazilian regulation. *Energy and Buildings*. Vol. 70. Pp 372-383, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.080>.
- Negendahl K., Nielsen T. R. 2015. Building energy optimization in the early design stages: A simplified method. *Energy and Buildings*. Vol. 105, Pp 88-99.
- Olivieri F., Cocci Grifoni R., Redondas R., Sánchez-Reséndiz J.A., Tascini S. 2017. An experimental method to quantitatively analyse the effect of thermal insulation thickness on the summer performance of a vertical green wall, *Energy and Buildings*. Vol. 150. Pp 132-148. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.068>.
- Stevanović S. 2013. Optimization of passive solar design strategies: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 25, Pp 177-196.
- Ucar, Aynur & Balo, Figen, 2010. Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior Elsevier, vol. 35(1), pages 88-94
- Yildiz, A., Gürlek, G., Erkek, M., Özbalta, N. 2008. Economical and environmental analyses of thermal insulation thickness in buildings. *Journal of Thermal Science and Technology*, 28 (2), pp. 25-34.
- Yu J., Yang C., Tian L. 2008. Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China, *Energy and Buildings*, Volume 40, pp 1536-1546, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.020>.
- Yu J., Yang C., Tian L., Liao D. 2009. A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China, *Applied Energy*, Vol. 86, pp 2520-2529. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.010>.