



EVALUACIÓN DE PAUTAS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO APLICADAS EN EDIFICIOS DE VIVIENDA EN URUGUAY (CLIMA TEMPLADO HÚMEDO).

Alicia Picción¹, Magdalena Camacho², Gabriel Cheirasco³, María Noel López⁴, Sara Milicua⁵

(1) Universidad de la República, Facultad de Arquitectura, Instituto de la Construcción, Departamento de Clima y Confort en Arquitectura, Edil Hugo Prato 2314, C.P. 11200, Montevideo, Tel.: (+598 2) 408 5799 int. 108.

e-mail: decca@farq.edu.uy

RESUMEN: Este artículo presenta consumos de energía en viviendas obtenidos a partir de simulaciones computacionales para dos ciudades representativas del clima de Uruguay. El objetivo es evaluar las potencialidades de las estrategias de diseño que se utilizan frecuentemente en la construcción tradicional y sus posibles ajustes. Las estrategias que se presentan son: orientación, factor de huecos, protección solar y transmitancia térmica. En Salto la aplicación de las estrategias de diseño que tienen que ver con el control de la energía incidente (protecciones solares y/o factor de huecos) son determinantes en el consumo de energía total de la vivienda. En Montevideo y en Salto la colocación de aislante térmico tiene un peso relativo similar sobre el consumo de energía.

Palabras clave: estrategias de diseño, simulación, consumo de energía

INTRODUCCIÓN

Cada clima posee características propias que generan distintos estilos de vida y de vivienda. Cada edificio debiera ser el resultado de procesos locales que combinen pautas climáticas, culturales y tecnológicas sin depender de referentes en modelos foráneos. La incorporación del concepto bioclimático en la arquitectura no debe necesariamente estar divorciado de los conceptos de diseño arquitectónicos contemporáneos, y dependerá del proyectista el grado de optimización que quiera obtener. Es fundamental el rol del profesional (arquitecto, ingeniero) ya que en su área de decisión y acción está involucrado un porcentaje alto del consumo energético del país y de las condiciones interiores a que serán sometidos los usuarios. En Uruguay, el sector residencial consume casi el 30% de la demanda final energética utilizada en el país. Dentro de ese porcentaje el consumo de energía eléctrica representa un 35%, siendo que el consumo de electricidad per cápita creció un 25% en los últimos 10 años. En Uruguay no existían normas técnicas sobre ahorro de energía ni de eficiencia energética en edificaciones; por ejemplo el digesto municipal de la IMM⁶ menciona que las viviendas deben cumplir con un aislamiento mínimo necesario, que no llegó a reglamentarse nunca. Por este motivo el MIEM⁷ a través de la DNETN⁸ y el Proyecto de Eficiencia Energética (EE), que tiene como objetivo promover el uso eficiente de la energía empleada por los usuarios finales en todos los sectores económicos, estableció convenios con instituciones para definir normativas técnicas en materia de ahorro y eficiencia energética. En este marco la Intendencia Municipal de Montevideo decidió realizar la actualización de la reglamentación en materia de higiene de la vivienda. Para ello se formó un grupo de trabajo con técnicos de diversas instituciones involucradas en la temática, entre ellos el DECCA de la Facultad de Arquitectura, actuando este último como equipo asesor para la elaboración y discusión de los documentos de trabajo que sirvieron de insumo a la redacción final de la reglamentación.

La construcción “tradicional” utiliza determinadas estrategias de diseño (masa térmica – losas de hormigón y muros dobles, porcentaje de huecos en fachada de 40 a 60% con protección solar) que se repiten en todas las ciudades del país. Se hace necesario evaluar si son adecuadas bajo todas las condiciones climáticas del país y responden adecuadamente a las exigencias de los usuarios, especialmente en cuanto a niveles de confort térmico interior logrados y/o el consumo de energía necesario. Este artículo presenta y discute algunos de los resultados del proyecto de investigación “Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo” desarrollado por el Departamento de Clima y Confort en Arquitectura entre 2006 y 2009.⁹

Según Köpper a Uruguay le corresponde la clasificación climática cfa; c por ser templado húmedo; f, debido a que tiene precipitaciones durante todo el año, a, porque la temperatura del mes más cálido es superior a 22°C. El proyecto toma como referencia dos ciudades de Uruguay, Montevideo y Salto, que pertenecen a diferentes zonas geográficas según la norma de

¹ Profesora Agregada del Departamento de Clima y Confort en Arquitectura y de Acondicionamiento Térmico, apiccion@farq.edu.uy

² Profesora Ayudante del Departamento de Clima y Confort en Arquitectura y de Acondicionamiento Térmico, mcamacho@farq.edu.uy

³ Profesor Ayudante del Departamento de Clima y Confort en Arquitectura y de Acondicionamiento Térmico, cheirasco@gmail.com

⁴ Profesora Ayudante del Departamento de Clima y Confort en Arquitectura y de Acondicionamiento Térmico, marialop@farq.edu.uy

⁵ Profesora Asistente del Departamento de Clima y Confort en Arquitectura y de Acondicionamiento Térmico, smilicua@farq.edu.uy

⁶ Intendencia Municipal de Montevideo

⁷ Ministerio de Industria Energía y Minería

⁸ Dirección Nacional de Energía y Tecnología nuclear

⁹ Proyecto financiado por el Programa de Desarrollo Tecnológico, Dirección de Innovación, Ciencia y Tecnología.

Zonificación Climática UNIT 1026:99, aprobada por el Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. Montevideo se localiza en el sur del país, latitud $-34^{\circ}50'$, longitud $56^{\circ}12'W$ y pertenece a la zona templada fría. La temperatura media en el período caluroso es $22.3^{\circ}C$, la mínima media es $17.4^{\circ}C$ y la máxima media es $28.5^{\circ}C$. Salto se localiza en el norte del país, latitud $-31^{\circ}38'$, longitud $57^{\circ} 95'W$ y pertenece a la zona cálida. La temperatura media en el período caluroso es $25^{\circ}C$, la mínima media es $18.7^{\circ}C$ y la máxima media es $32.5^{\circ}C$. A cada ciudad le corresponde una carta bioclimática de referencia en donde se determinan los porcentajes de horas en que es adecuado aplicar estrategias bioclimáticas para corregir las condiciones higrotérmicas en el interior. Si bien en ambas ciudades las estrategias que se recomienda aplicar son las mismas, difieren los porcentajes de aplicabilidad debido a las características climáticas de cada localidad. Montevideo tiene 21% de horas de confort, 15% de horas de desconfort por calor y 65% de desconfort por frío. Mientras que Salto tiene 31% de horas de confort, siendo el desconfort por calor de 21% y por frío de 49%.

Para evaluar el comportamiento térmico de los edificios existen básicamente dos métodos: el monitoreo de los parámetros ambientales y la simulación térmica. En Westphal y Lamberts (2005) se destaca la complejidad de los fenómenos involucrados en el comportamiento térmico de edificios que implica la entrada de una gran cantidad de datos en las simulaciones, lo que requiere a su vez de conocimientos multidisciplinarios de los usuarios del programa. Las principales dificultades en el modelado de las simulaciones ocurren en la definición de los patrones de uso y las renovaciones de aire de la edificación, lo que ha provocado su desconsideración en muchas simulaciones. La inclusión de esos factores es de gran importancia, principalmente tratándose de edificaciones residenciales, pues ellos ejercen gran influencia sobre los intercambios de calor del edificio. Para la definición de un modelo computacional confiable, que represente bien el comportamiento térmico y energético de un determinado edificio analizado, es esencial que ese modelo sea correctamente calibrado (Westphal; Lamberts, 2005). Para eso, una de las opciones tomadas en el proyecto fue comparar los datos obtenidos por simulación con los datos registrados por mediciones en el edificio. El programa utilizado para la simulación es el Energy Plus 2.0.0.

OBJETIVO

Evaluar las potencialidades de las estrategias de diseño bioclimáticas que se utilizan más frecuentemente en la construcción tradicional en Montevideo y en Salto.

METODOLOGÍA

Uno de los pilares de la metodología es la definición de modelos que respondieran a las características reales del parque habitacional en Montevideo y en Salto con financiación estatal en la década del 90. Este universo comprende 85 conjuntos o edificios con 4000 viviendas. Se sistematizaron los criterios energéticos relevados (dimensiones del terreno y el edificio, volumen, área expuesta, transmitancia térmica de los cerramientos, área de huecos, terminaciones exteriores, estrategia de ventilación y protecciones solares existentes). Los patrones de uso de las viviendas se recolectaron a través de encuestas de confort y de uso. Dentro de la muestra el tipo edificatorio que más se repite es el bloque, donde predomina la altura sobre las otras dimensiones. A partir del análisis de las tipologías de vivienda dentro del tipo edificatorio, se definen dos modelos que se repiten: uno *mono orientado* y otro *doblemente orientado*. El mono orientado expone sólo un plano al exterior que además contiene el aventanamiento, mientras que el doblemente orientado tiene dos planos con ventanas al exterior. Los dos modelos adoptados para evaluar el comportamiento térmico de viviendas por simulación computacional mantienen características semejantes a las viviendas monitoreadas, tanto en lo que concierne a la volumetría y orientación solar, cuanto a los materiales, componentes, aberturas y patrones de uso. Se ha verificado la utilidad de la elaboración de modelos para el análisis teórico-práctico de una gran cantidad de conjuntos habitacionales, ya que permite sacar conclusiones preliminares posibles de ser extrapolables con restricciones. También su utilización permite modificar pautas de diseño en forma rápida y evaluar su impacto sobre el consumo de energía eléctrica.

Para la simulación de edificaciones en el programa EnergyPlus, es necesaria la definición de zonas térmicas del modelo. Así, cada tipología fue modelada como un piso intermedio con 6 zonas térmicas (ver fig.1), que representan los siguientes ambientes: cocina, baño, estar, pasillo, dormitorio principal y dormitorio secundario. Las variables elegidas tanto para el período caluroso como el frío fueron: orientación solar, factor de huecos, transmitancia térmica y factor solar de vidrios, transmitancia térmica de cerramientos opacos, absorptancia de superficies exteriores, tipo de protección solar, carga de ocupación y pautas de uso de las viviendas. En una primera etapa se considera la modificación de cada una por separado, dentro de un rango o criterio de aplicación, para analizar su impacto en el comportamiento higrotérmico del modelo; las otras variables permanecen fijas. A partir del análisis de estas simulaciones, posteriormente se desarrolla un modelo ideal que integra todas las estrategias con el criterio que permite un menor consumo de energía. Este punto se desarrolla en el capítulo 5.

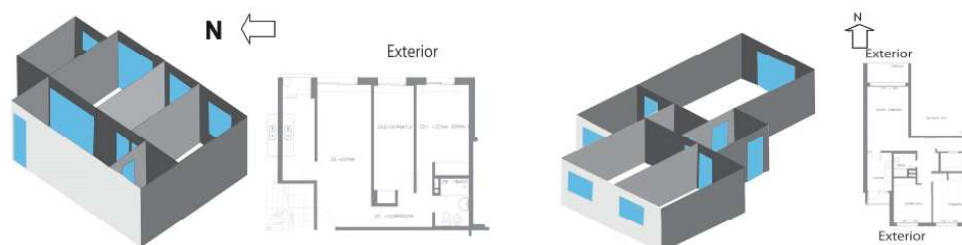


Fig. 1. Perspectiva del modelo mono orientado y doblemente orientado y la relación con la planta tipo de la tipología real

Las variables presentadas en este artículo corresponden a: *Orientación solar*: Para evaluar el consumo de energía se modificó la orientación solar de los dos modelos tipológicos, tomando como referencia la orientación del Estar (N, S, E y O). *Factor de huecos*: Refiere al porcentaje de huecos vidriados (ventanas) en los cerramientos verticales expuestos en relación a la totalidad del área de fachada, y se considera según los siguientes criterios: 16% ó 24% (equivalente al 10% del área del piso, mínimo de la reglamentación municipal), 40%, 50% y 60%. Se toma un mismo valor por vez para todas las fachadas, cuando corresponde. Otros autores también exponen el porcentaje de área vidriada por fachada como parámetro significativo en el desempeño térmico de los edificios, el cual permite también ver el impacto de la volumetría de los edificios en el consumo de energía (Carlo y Lamberts, 2007). *Protecciones solares*: Se definen variantes de protecciones solares exteriores e interiores que se contrastan con la ventana sin protección solar. Las protecciones exteriores son: parasoles fijos y móviles horizontales y verticales así como cortina de enrollar de pvc color claro. La interior móvil de lamas horizontales cuyo ancho es igual a la separación entre ellas. El horario de uso de la protección móvil es de 7am a 12 pm cerrada en verano y en invierno abierta de 8 am a 12 pm. *Transmitancia térmica*: De la revisión bibliográfica se evidencia la importancia del aislamiento térmico como estrategia para el control del clima interior y el consumo de energía en climas fríos, pero se plantea que esta estrategia resulta insuficiente para evitar problemas de sobrecalentamiento en climas más cálidos, aunque se la asocie a estrategias de protección solar y ventilación (Karlsson y Moshfegh, 2004). El criterio utilizado como variante de transmitancia fue la colocación de distintos espesores de aislante térmico (poliestireno expandido, densidad 20 Kg/m³, conductividad=0.035 W/mK). Se simuló sin aislante y con espesores de 2, 3 y 4 cm.

RESULTADOS

Los resultados expresados en las gráficas que se presentan a continuación corresponden al consumo anual de refrigeración y calefacción por metro cuadrado acondicionado, para los dos modelos.

1. Modelo doblemente orientado

1.1. Estrategia: orientación solar

En esta estrategia se tomaron como variables las orientaciones netas (ver fig. 2.). El modelo referente está orientado Norte-Sur, presentando hacia el Norte únicamente el estar y hacia el Sur los dormitorios y la cocina; esto significa que el área con orientación Sur es mayor. Cuando la orientación es Este-Oeste los consumos aumentan en relación al referente, tanto para refrigeración como para calefacción (en Montevideo 7% y en Salto máximo 23% en total). La estrategia que representa menor consumo de energía es la que relaciona mayor cantidad de área con la orientación Norte, aunque en este modelo signifique que el estar quede orientado al Sur. De esta manera se consigue un ahorro de 15% en Montevideo (disminuyendo principalmente la refrigeración) y del 9% en Salto (disminuyendo únicamente el consumo para refrigeración) con respecto a la orientación del estar al Norte.

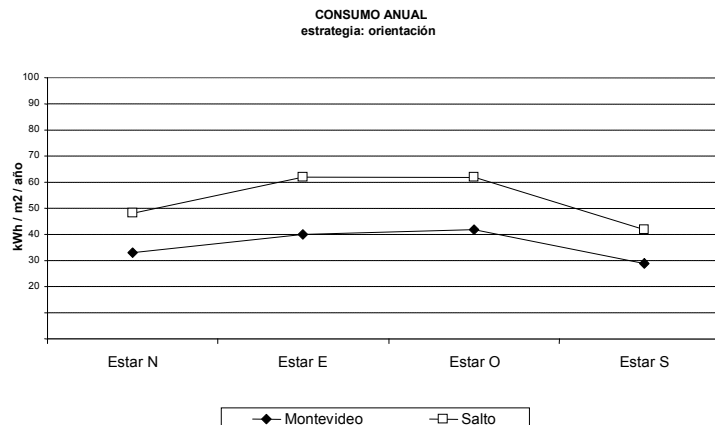


Fig. 2. Consumo anual de energía según orientación, modelo con doble orientación, Montevideo y Salto

1.2. Estrategia: Factor de huecos

Los resultados de las distintas variantes de factor de hueco muestran una relación directa incremental entre aumento de área de hueco y aumento de consumo de energía, en ambas ciudades (ver fig.3). Los consumos netos de Salto son superiores a los de Montevideo y su mayor consumo se debe a refrigeración. Asimismo en Salto el incremento es acentuado, siendo el punto de inflexión un factor de huecos de 20%. En Montevideo el aumento del consumo no es tan pronunciado y esto se explica por las condiciones climáticas de una y otra localidad; su mayor consumo se debe a calefacción. El menor consumo en ambas ciudades corresponde al factor de huecos 16% (iluminación natural mínima de la normativa municipal de ambas ciudades). Pero del relevamiento del parque habitacional se encontró que el área de hueco promedio utilizada por los arquitectos en la fachada principal es superior al 40%.

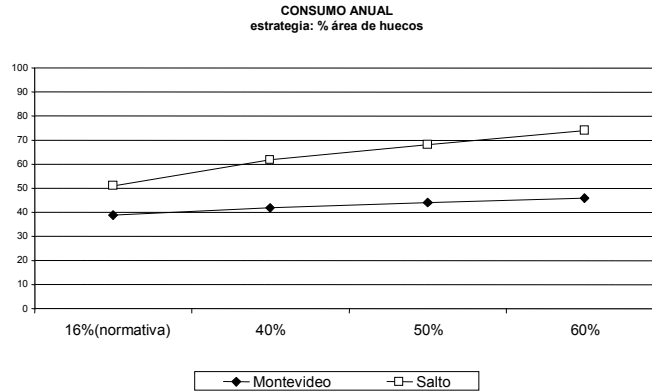


Fig. 3. Consumo anual de energía según % de área de hueco, modelo con doble orientación, Montevideo y Salto

1.3. Estrategia: Protección Solar

De las 16 variantes simuladas, aquí sólo se presentan 6 casos y únicamente dos representan menor consumo de energía respecto al modelo referente con cortina de enrollar y para ambas ciudades estudiadas (ver fig.4.):

1. protecciones móviles exteriores horizontales, relación ancho/separación = 1, cerradas.
2. protecciones móviles horizontales exteriores accionadas (cerradas) cuando la temperatura interior alcanza los 25°C.

El porcentaje de ahorro de energía en Montevideo es de 4% para cada variante. En Salto, el impacto en el ahorro del caso 2 es mayor, siendo de 23%. La disminución del consumo se verifica tanto para calefacción como para refrigeración, con mayor peso en esta última. Para ambas ciudades el consumo por m² fue superior para las variantes que manejan protecciones interiores respecto a las exteriores.

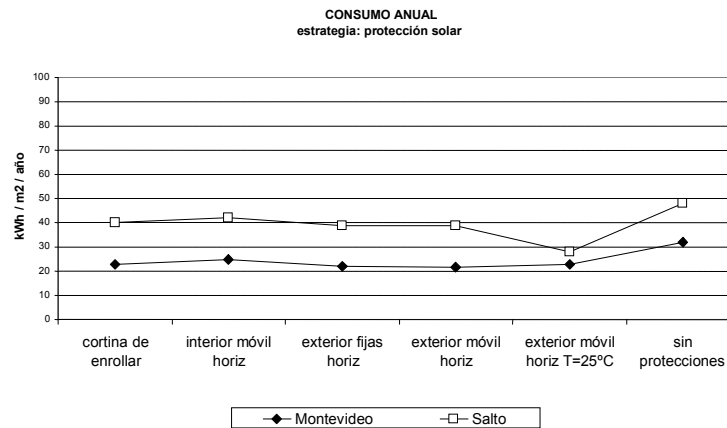


Fig. 4. Consumo anual de energía según tipo de protección solar, modelo con doble orientación, Montevideo y Salto

1.4. Estrategia: transmitancia térmica de la envolvente opaca

Cuando se varía la transmitancia térmica de los cerramientos opacos verticales exteriores, se observa que para el modelo doblemente orientado ubicado en un piso intermedio, el consumo de energía decrece a medida que se aumenta el espesor del aislante, pero no proporcionalmente. A partir de un espesor aproximado a los 3 cm el consumo de energía desciende poco tanto para Montevideo como para Salto (ver fig.5). La mayor disminución del consumo es en calefacción, pasando de 21 a 17 kWh/m²/año. El aislamiento térmico tiene un peso relativo mayor, o mayor ahorro potencial, en Montevideo y esto se explica por las temperaturas exteriores más bajas en el período frío.

En Salto el mayor peso del consumo de energía se encuentra en la refrigeración. Este estudio muestra que el aislamiento tiene un bajo impacto sobre el consumo de energía en refrigeración y por esta razón el potencial de ahorro por la estrategia transmitancia térmica es menor en Salto que en Montevideo.

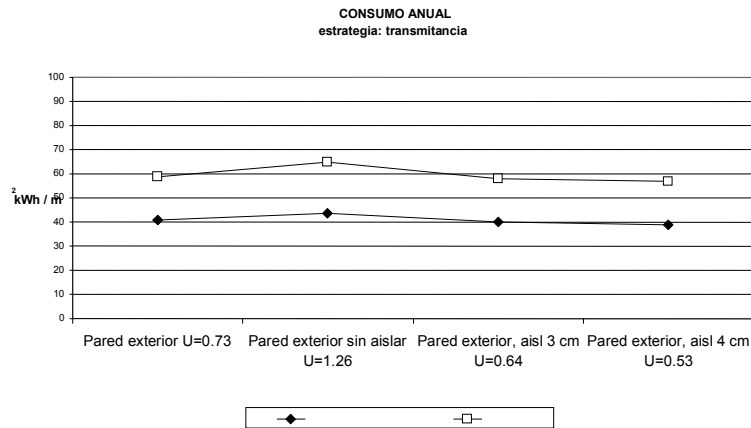


Fig. 5. Consumo anual de energía para distintas transmitancias térmicas, modelo con doble orientación, Montevideo y Salto.

2. Modelo mono orientado

2.1. Estrategia: orientación solar

En Montevideo la estrategia orientación solar muestra que el consumo total anual por metro cuadrado sólo disminuye para la orientación Norte, en relación al modelo referente que tiene orientación Este. Pero su descenso no es significativo y representa un porcentaje de ahorro del 4% del consumo total anual (ver fig.6). Si desagregamos el dato, el ahorro en calefacción es del 80% en relación al referente, mientras el consumo en refrigeración se incrementa dos veces y media.

Sin embargo para la ciudad de Salto la orientación solar Sur es la que logra una disminución en el consumo total anual en energía eléctrica, con un porcentaje de reducción del 11% respecto a la del Este. En este caso el consumo en calefacción aumenta un 33% y el consumo en refrigeración desciende un 21%.

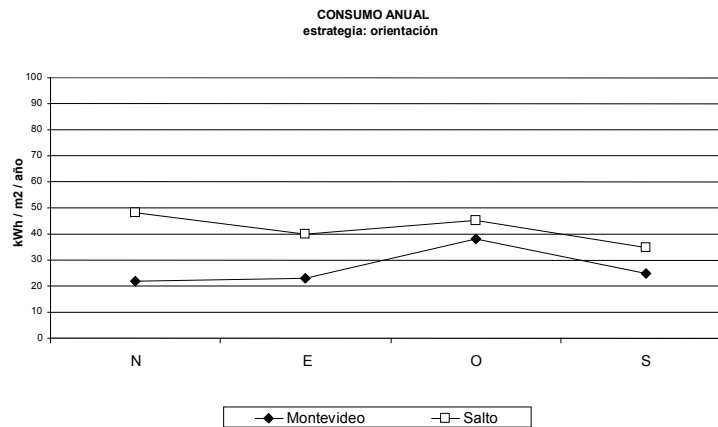


Fig. 6. Consumo anual de energía según orientación, modelo mono orientado, Montevideo y Salto

2.2. Estrategia: Factor de huecos

Las simulaciones de las distintas variantes de factor de hueco muestran una relación directa incremental entre aumento de área de hueco y aumento de consumo de energía (ver fig. 7). En Salto los consumos netos como su incremento son superiores a los de Montevideo y esto se explica por las condiciones climáticas más cálidas en esa localidad. El menor consumo para ambas ciudades, corresponde al factor de huecos mínimo autorizado por la normativa municipal. Pero del relevamiento del parque habitacional se encontró que en promedio el área de hueco utilizado por los arquitectos en la fachada principal es superior al 40%.

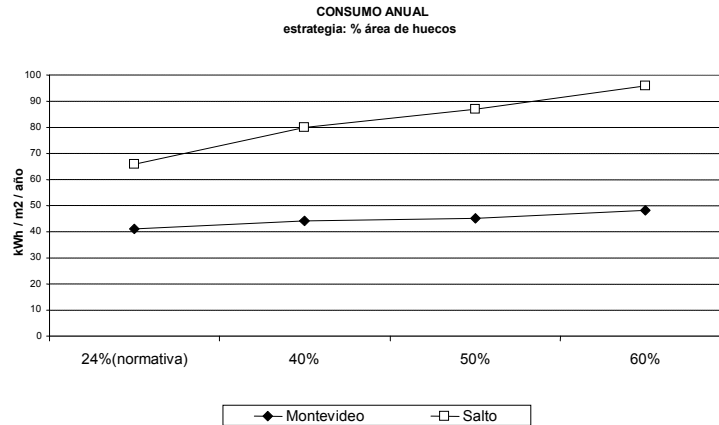


Fig. 7. Consumo anual de energía según % de área de hueco, modelo mono orientado, Montevideo y Salto

2.3. Estrategia: protecciones solares

De las simulaciones se observa la necesidad de colocar protecciones solares tanto en Salto como en Montevideo, ya que impacta directamente sobre el consumo de energía. Al igual que sucede en el modelo con doble orientación, las protecciones exteriores funcionan mejor que las interiores en las dos ciudades. El potencial de ahorro en el consumo de energía es mayor en la ciudad de Salto y esto se explica por su ubicación en una zona de clima cálido con un período caluroso más largo y riguroso en lo que refiere a temperaturas exteriores. El mejor desempeño energético lo obtiene la cortina de enrollar de color claro en ambas ciudades (ver fig.8).

Para todos los casos se verifica la importancia del usuario en el buen desempeño de las estrategias.

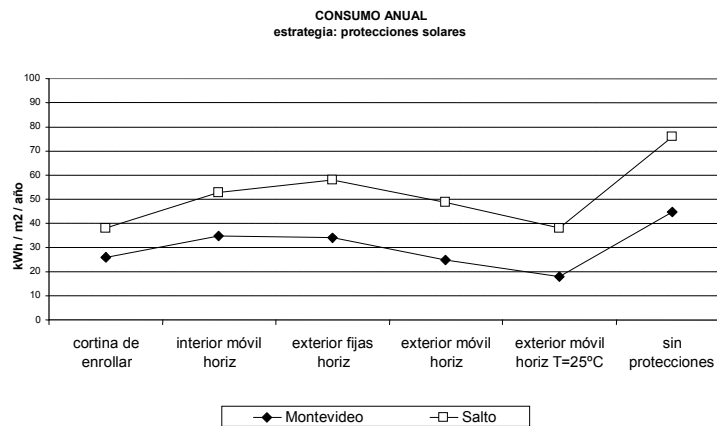


Fig. 8. Consumo anual de energía según protección solar, modelo mono orientado

2.4. Estrategia: Transmitancia térmica de la envolvente opaca

En la estrategia transmitancia térmica los valores de consumo total anual muestran un decrecimiento a medida que disminuye la transmitancia térmica tanto en Montevideo como en Salto (ver fig. 9). Así como se mostró para el otro modelo, esta disminución no es proporcional al espesor de aislamiento. Se observa que luego de los 3 cm de espesor el consumo de energía es constante tanto para Montevideo como para Salto.

El ahorro potencial del uso de aislante térmico es mayor en la ciudad de Montevideo y esto se explica por las temperaturas exteriores más rigurosas en el período frío, también más largo.

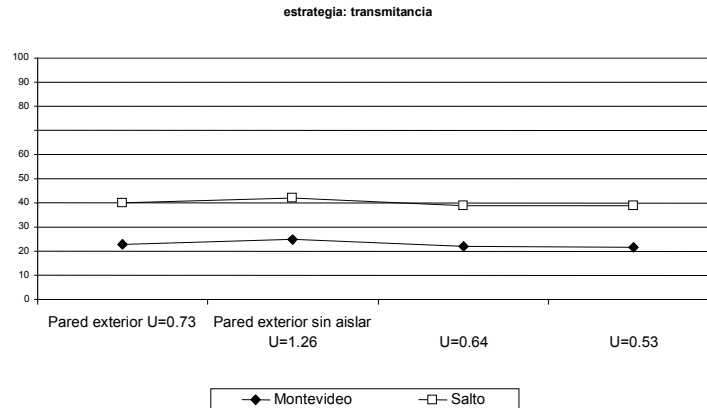


Fig. 9. Consumo de energía anual para distintos espesores de aislamiento en cerramientos opacos, modelo con simple orientación en Montevideo y Salto.

CONCLUSIONES

Pautas de diseño más eficientes para Salto y Montevideo

De acuerdo al fundamento teórico manejado en el proyecto, las características climáticas de una localidad tienen correlación con determinadas estrategias de diseño pasivas. Este modo de adaptación de la edificación al clima permite alcanzar niveles de confort con menor consumo de energía no renovable. Esta investigación mostró la necesidad de manejar las estrategias y pautas de diseño atendiendo a la diversidad climática y humana del contexto. Para ambas ciudades se recomiendan las estrategias y su criterio de aplicación, sea que se trate de atender los requerimientos del período frío y/o del caluroso, atendiendo a las características climáticas específicas: Montevideo con clima templado-frío y húmedo con influencia marítima y Salto con clima templado-cálido y húmedo con influencia continental. En Montevideo y en Salto se observa que las estrategias de diseño que habitualmente adoptan los arquitectos condicionan los consumos de energía de la vivienda. Por ejemplo, las protecciones solares más habituales tipo cortina de enrollar, determinan un menor consumo de energía anual. Esto está en correspondencia con el peso que tiene el sombreado que es una estrategia bioclimática específica para las dos ciudades.

En lo que refiere a Montevideo las estrategias con mayor peso en el ahorro de energía son las que atienden los problemas del frío (transmitancia térmica y factor de hueco, asociadas al área expuesta). Las simulaciones térmicas mostraron el bajo impacto del aislamiento sólo en paredes sobre la reducción del consumo de energía anual. Por esta situación tanto en Montevideo como en Salto se muestra también cómo al aumentar el espesor de aislante el consumo en refrigeración no disminuye sustancialmente.

Si observamos los resultados del porcentaje de área de huecos, a partir de un factor de hueco superior al 30% los consumos de energía para calefacción y refrigeración se incrementan proporcionalmente. En Montevideo en lo que atañe a los problemas del calor, las estrategias con mayor impacto sobre el ahorro de la energía son el factor de área vidriada o de huecos, la orientación solar de los cerramientos vidriados y la colocación de protecciones solares. En Salto a la aplicación de estas mismas estrategias de diseño que son determinantes en el consumo de energía total de la vivienda, se agrega el color de las superficies que tiene que ver también con el control de la energía incidente, específicamente para refrigeración.

También los usuarios juegan un papel trascendental en el desempeño de las pautas de diseño. En todos los casos es fundamental la participación del usuario para el correcto funcionamiento de las estrategias, el claro ejemplo es el uso de las protecciones solares y la ventilación nocturna.

Normativa

Los estudios que se presentan en este artículo aportaron datos para la definición de la normativa. En este marco, se decidió mantener el valor de transmitancia térmica para cerramientos opacos $U \leq 0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$ exigido por el Banco Hipotecario del Uruguay desde 1999 como límite máximo. Este parámetro, junto con la orientación y el factor de huecos resultaron de mayor impacto sobre el consumo en calefacción, por lo tanto también se limita el factor de huecos y la transmitancia de ventanas según la orientación solar y se completa con el factor solar de ventanas para limitar el consumo de energía en refrigeración. El desarrollo de una reglamentación que está dando sus primeros pasos y de pautas de diseño para la eficiencia energética requiere el conocimiento de la realidad. Conocer nuestra realidad resulta insustituible para apoyar a la investigación y para aportar insumos a la producción nacional.

REFERENCIAS

- Carlo, Joyce y Lamberts, Roberto (2007). O papel da volumetria no desempenho energético da edificação,. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Ouro Preto, ENCAC, 2007.
- Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT - ISO 1026:99 2009). Aislamiento térmico en edificios. Zonificación climática. Uruguay.
- Karlsson, F. y Moshfegh, B. (2004). Energy Usage and Thermal Environment in a Low-Energy Building," Proceedings of RoomVent 2004, 9th International Conference on Air Distribution in Rooms, Coimbra, Portugal, Sept. 5-8, 2004
- Westphal, F.; Lamberts, R. Building Simulation Calibration Using Sensitivity Analysis. Building simulation, 9., 2005, Montreal. Proceeding. Montreal: IBPSA, 2005. 1331-1338.

ABSTRACT

This article presents energy consumption in dwellings obtained from computer simulations for two representative climate cities in Uruguay. The objective is to assess the potential of design strategies that are frequently used in traditional construction and their possible adjustments. The strategies presented are: solar orientation, hole factor, sun protection and thermal transmittance. In Salto implementing design strategies that have to do with control of the incident energy (solar protection and / or hole factor) are determinant of the total housing energy consumption. In Salto and Montevideo placement of thermal insulation has a similar relative influence in the energy consumption.

Keywords: design strategies, simulation, energy consumption