

AUDITORÍA Y SIMULACIÓN TERMO-ENERGÉTICA COMO INSTRUMENTOS DE VALIDACIÓN PARA EL ESTUDIO Y MEJORAMIENTO DE EDIFICIOS EN ALTURA EN “CIUDADES OASIS”. EJEMPLO DE APLICACIÓN SOBRE UNA UNIDAD DE VIVIENDA EN LA CIUDAD DE MENDOZA.

Julieta Balter¹; Carolina Ganem², Carlos Discoli³

(1)(2) Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - CCT Mendoza C.P. 5500
e-mail: jbalter@mendoza-conicet.gob.ar

(3) Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC).
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). FAU - UNLP
Calle 47 N°162, La Plata, C.P. 1900 – Prov. de Buenos Aires

Recibido: 10/08/12; Aceptado: 04/10/12

RESUMEN

El trabajo plantea establecer y validar instrumentos de abordaje relacionados con el audit-diagnóstico y cotejar comportamientos con simulaciones termo-energéticas a los efectos de evaluar propuestas de mejoras veraces y progresivas. A tal fin se aplica dicha metodología y realizan mediciones *in situ* de la situación térmica ambiental en una unidad de vivienda en un edificio en altura en la ciudad de Mendoza. A partir del monitoreo se ajusta el modelo mediante simulaciones con el software Energy Plus. Se calculan las cargas energéticas requeridas en invierno y en verano para lograr una temperatura interior confortable. Se simulan y analizan distintas variantes de mejora de la envolvente liviana y másica. Se proponen alternativas concretas con las que se logra una reducción de los consumos energéticos del 70,50% para calefacción y del 42,78% para refrigeración manteniendo condiciones de confort interior. La implementación y ajuste de los instrumentos mencionados permite avanzar con mayores certezas en cuanto a las mejoras edilicias relacionadas con la eficiencia energética de la envolvente y la habitabilidad de los edificios en altura de las ciudades oasis.

Palabras claves: simulación termo-energética, instrumentos de validación, edificios en altura

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de densidad en las ciudades, debido en parte al incremento del valor del suelo, hace que el crecimiento y proliferación en las inversiones para edificios en altura sea cada vez mayor. Esta situación trae consigo múltiples consecuencias que afectan tanto a los aspectos arquitectónicos y urbanos, como a los energéticos.

Por otro lado, las posibilidades de integración morfológica y ambiental de los edificios en altura en los distintos sistemas urbanos estarán condicionadas, entre otros aspectos, por las características climáticas del lugar. Sin embargo, muchas veces, se encuentran arquitecturas similares en climas y geografías muy diversas. Esta situación es característica de los edificios en altura.

No atender a la situación micro-climática conlleva a que el confort climático en los edificios se lleve a cabo mediante mayores consumos de energía. La demanda de energía eléctrica a nivel país en el sector residencial representa hoy (2012) el 45% de la demanda energética, mientras en el año 1997 representaba el 30% (FUNDELEC, 2012).

En tal contexto, las auditorías edilicias y la relación de éstas con la materialización constructiva, son un importante aporte al conocimiento de los consumos reales y los comportamientos térmicos. La comprensión de estos temas permite establecer pautas para un adecuado diseño arquitectónico en sus aspectos tecnológicos, así como el desarrollo de estrategias de eficiencia energética. Asimismo, las posibilidades actuales que brindan los programas de simulación resultan una herramienta apropiada para evaluar distintas alternativas, basadas en soluciones en los edificios construidos y en las nuevas propuestas a construir.

El caso en estudio, la ciudad de Mendoza no resulta ajeno a la situación general de crecimiento en densidad y edificio. La edificación en altura ha variado y evolucionado a través del tiempo, y en muchos casos su realización no ha contemplado el entorno en el que ha sido construida. Desde el punto de vista tecnológico, el desarrollo edificio en altura en la ciudad, iniciado desde 1950, se caracterizó por una construcción del tipo “tradicional”, la cual presenta una mayor proporción de materiales másicos -como el ladrillo y el hormigón- y menores porcentajes de superficies vidriadas. A partir del siglo XXI el

¹ Becaria Tipo I- CONICET

² Investigadora Asistente CONICET

³ Investigador Adjunto CONICET

incremento en la construcción se vio afectado por las tendencias arquitectónicas actuales, que priorizan una estética liviana y transparente. Sin embargo, a pesar de tal situación, existen aún en Mendoza una gran cantidad de edificios en altura que cuentan con un mayor porcentaje de materiales mäsicos, respecto a los livianos (Balter et al., 2011).

A los fines de evaluar la situación termo-energética en el dicho ámbito, se plantea la necesidad de establecer mecanismos orientados a evaluar la eficiencia energética y la habitabilidad edilicia con las características descriptas. Para ello necesitamos establecer y validar instrumentos de abordaje relacionados con el audit-diagnóstico y cotejar comportamientos con simulaciones termo-energéticas. La validación de modelos digitales y su simulación nos permite ensayar y evaluar el estado del arte de la edilicia en cuestión y generar múltiples propuestas de mejoras diseñadas en laboratorio. En consecuencia, el presente trabajo plantea los siguientes objetivos: a) Realizar un diagnóstico de una unidad de vivienda en un edificio en altura en el área de alta densidad de la ciudad de Mendoza; b) Realizar un modelo de simulación termo-energética mediante el software Energy Plus; c) Validar el modelo con las mediciones de temperatura realizadas; y d) Simular alternativas de mejora. A partir de los resultados las posibilidades de modificar variables en la envolvente permiten proponer soluciones que atiendan las necesidades de confort térmico y reduzcan el consumo energético, presentes no solo en el caso estudiado, sino también como una propuesta a nivel local.

Con esta metodología de abordaje, el objetivo a futuro consta en realizar trabajos teniendo en cuenta nuevas y diversas variables tecnológicas en edificios en altura, así como mejoras específicas relacionadas con la eficiencia energética de la envolvente y la habitabilidad de los edificios en altura de las ciudades oasis.

2. CASO DE ESTUDIO

2.1. Datos climáticos

El sitio de estudio, el Área Metropolitana de Mendoza (32° 40' Latitud Sur, 68° 51' Longitud Oeste y 827 metros sobre el nivel del mar), se emplaza en una zona semi-desértica y árida, y presenta un clima templado continental, con rigurosos veranos e inviernos de temperaturas extremas absolutas que varían entre 39°C y -6°C. En el mes de enero –verano- la máxima media se encuentra en 30,10°C, y en el mes de julio –invierno- la mínima media es de 3,40°C. Dicha rigurosidad climática se acentúa debido al escaso porcentaje de humedad relativa anual (54,70%). Asimismo las precipitaciones no superan los 218mm anuales.

2.2. Datos morfológicos

Se selecciona un edificio de carácter residencial (ver Figura 1), ubicado en el Área Metropolitana de Mendoza, frente a la Plaza principal de la ciudad: Plaza Independencia (1 en Figura 1). El caso en estudio cuenta con las siguientes variables urbanas: se encuentra sobre un canal vial de 20m forestado con ejemplares arbóreos adultos de moreras (*morus alba*), los cuales definen un estrato acondicionado de 12 metros de altura (Cantón et al., 1994). El edificio se orienta al Norte, a los efectos de evaluar la condición más favorable desde el punto de vista bioclimático.

El edificio fue construido en 1970, época en la cual la edificación en altura en Mendoza se desarrolla de manera homogénea respecto a alturas y retiros, tendiendo a la uniformidad y compacidad urbana. Se encuentra al ras de las líneas divisorias de edificación, con 7 niveles de departamentos (25m de altura). Las características dimensionales y de materialidad del edificio se presentan en la tabla 1. Se utilizó la base de datos de materiales del programa de simulación SIMEDIF para WINDOW (Flores Larsen, et al., 2000).

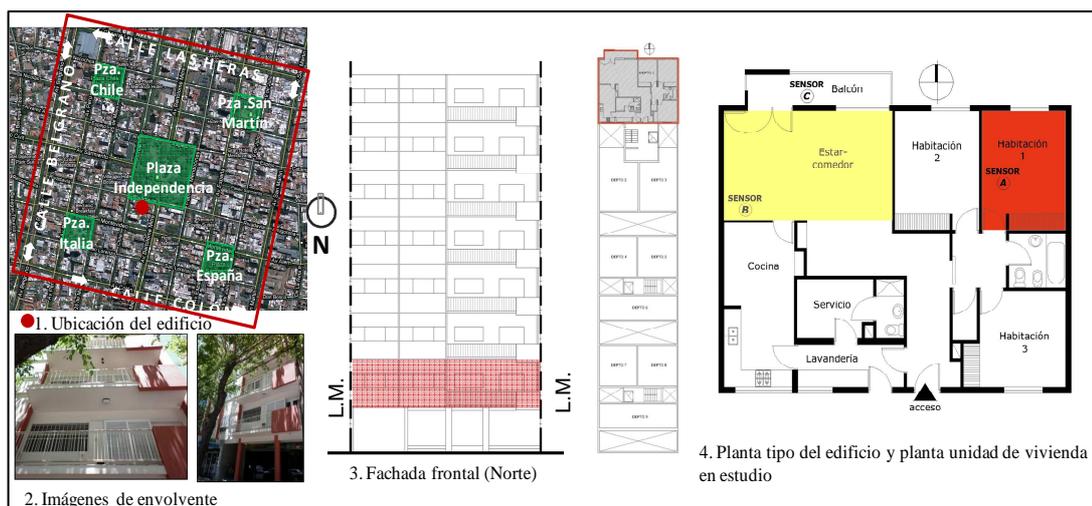


Figura 1. Imágenes del caso de estudio

Dimensiones	Altura: 25m – Frente: 12.5m - Perímetro: 144.35ml
Retiros	Frontal: 0m; Laterales: 0m (Colindancia Este: edificación de 5 niveles. Colindancia Oeste: vivienda de 2 niveles); Posterior: 3m
Materialidad exterior	Másica: Estructura de H°A°. Envoltente de ladrillo hueco-0,30m de espesor-, sin aislación con revoque y pintura. $K=1.36W/m^2K$ _ Liviana: Vidrio simple 4mm marco de madera $K=5.3W/m^2K$
Materialidad interior	Muros de ladrillo hueco con revoque y pintura -0,10m de espesor, sin aislación. $K=1.97W/m^2K$. Losa nervadas con ladrillo hueco y 0.025m de poliestireno expandido $K=0.24W/m^2K$
% envoltente exterior	Envoltente liviana: 26,60% _ Envoltente másica: 73,40%
Protecciones solares	Balcones de 1,20m de profundidad. Persianas corredizas con celosías de madera color blanco.

Tabla 1. Características dimensionales y de materialidad del edificio en estudio

2.3. Unidad de vivienda

La unidad de vivienda en estudio es frontal, ubicada en el primer nivel. La misma (4 en Figura 1) cuenta con una superficie cubierta de 112,50m², y semi-cubierta (balcón) de 5,50m². Los edificios colindantes hacen que los ambientes analizados - estar y habitación- se encuentren protegidos del intercambio de energías en sus orientaciones Este y Oeste.

El estar, de 22,28m² de superficie cubierta cuenta con 17,34m² de superficie de envoltente expuesta, de los cuales un 29,50% corresponde a materiales livianos y el 70,50% restante a materiales másicos. Por otro lado, la habitación, con 12,21m², presenta una superficie de envoltente expuesta de 8,55m². El 15% corresponde a superficies livianas y el 85% a materiales másicos.

La caracterización de los usuarios es la siguiente: se trata de una persona mayor, jubilada, quien hace uso de la unidad como vivienda permanente (20hs diarias). Además cuenta con una persona de ayuda doméstica; que permanece 8 horas diarias en la vivienda.

3. MONITOREO Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO

Para realizar la simulación y validación del comportamiento térmico del caso en estudio se realizan mediciones en la estación de otoño, durante un período de 12 días, del 30 de Marzo al 10 de Abril del 2012. Los datos se registraron cada 15 minutos. Se utilizan 3 micro-adquisidores de datos de temperatura y humedad HOBO U.12 de la marca ONSET. Los mismos se ubican en los interiores: uno en la habitación y otro en el estar (ambos espacios orientados al Norte); y uno de referencia en el espacio exterior, frente al espacio público de la calle (Norte) (Ver figura 1). Se colocaron a alturas equivalentes, a 2 metros desde el nivel del piso (Oke, 2004), y a una distancia suficiente de la masa de las paredes que evite su incidencia en los datos.

El monitoreo se realizó en una estación intermedia (otoño) con el objeto de obtener un primer diagnóstico. La estación elegida responde al hecho de evaluar comportamientos térmicos aislando los aportes de calefacción o enfriamiento por medios mecánicos comúnmente utilizados en las estaciones extremas (invierno - verano). Se presentan a continuación los datos en Mendoza para el mes de abril suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional: Radiación Solar Global sobre superficie horizontal: 14,70MJ/m²; Temperatura Máxima Absoluta: 31,50°C; Temperatura Máxima Media: 21,90°C; Temperatura Mínima Media: 10,90 °C; Temperatura Mínima Absoluta: 0,50°C; Temperatura Media: 15,40°C; Humedad Relativa: 60%; Heliofanía Relativa: 60,50%; Precipitaciones: 11mm

Se presenta en la figura 2 el total de los días del período medidos a fines de realizar una primera lectura de los resultados de temperatura exterior e interior.

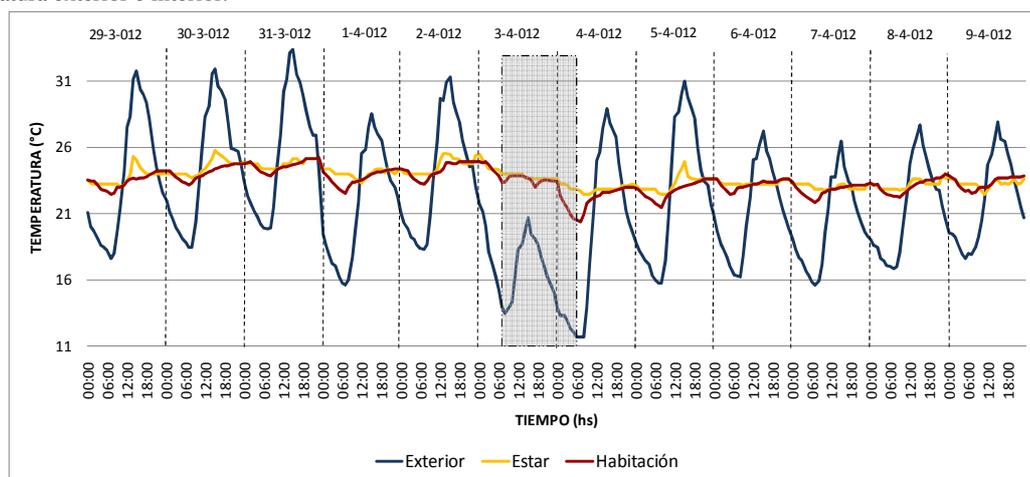


Figura 2. Comportamiento térmico de los espacios en estudio

El gráfico resultante muestra una situación climática constante en general, con temperaturas exteriores máximas y mínimas mayores a las características de dicho período, presentando una mínima media de 16,2°C, y máxima media de 27,6°C. Se observan dos períodos estables dados entre el día 30/03 al 03/04 y el 05/04 al 10/04. El día 04/04 la temperatura exterior desciende 10°C en la temperatura máxima y 6° en la mínima (identificado en gris en la Figura 2).

4. SIMULACIÓN TÉRMICA DINÁMICA DE EDIFICIOS MEDIANTE ENERGY PLUS

Se ha utilizado el software Energy Plus, versión 7.0. Este programa de simulación térmica y energética de edificios ha sido desarrollado por DOE (Department of Energy, Estados Unidos, 2009), a partir de códigos de BLAST y DOE2 (Scarduelli et al, 2009). Trabaja en régimen dinámico y permite interrelacionar las prestaciones de los sistemas energéticos con las características de materialidad de la envolvente del edificio. El programa, entre las numerosas posibilidades que ofrece, calcula el comportamiento térmico transitorio de un edificio en base a los datos climáticos, uso, materiales, geometría, equipamiento, etcétera; y permite el cálculo combinado de temperatura y humedad. Asimismo simula cargas de ventilación, calefacción, iluminación natural y artificial, cargas internas e instalaciones de climatización, temperaturas internas de cada espacio, temperatura operativa, superficial y radiante media, entre otras.

4.1. Realización del modelo e ingreso de datos constructivos

La realización del modelo geométrico del edificio se ha llevado a cabo mediante el programa Open Studio Plug-in para Google SketchUp versión 8. A partir de este programa se ingresan los datos geométricos en el software Energy Plus. Con el objetivo de contar con primeras aproximaciones a la simulación de un edificio en altura se dibujan los niveles de planta baja, primero y segundo piso. Asimismo se grafican las zonas del contexto edilicio y urbano-forestal circundante (Figura 3).

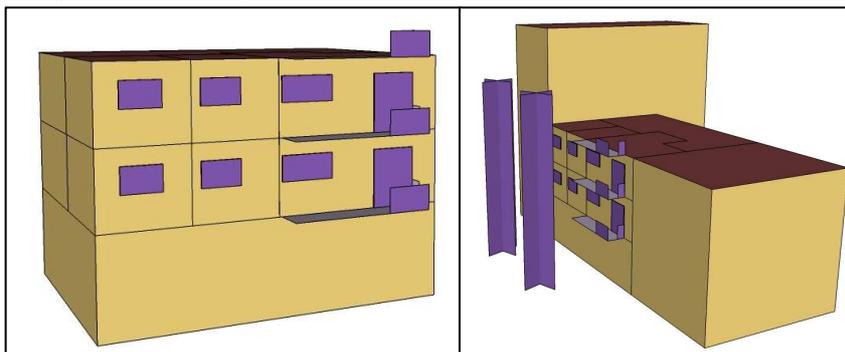


Figura 3. Imágenes del modelo a simular y validar

Para el ingreso de los datos constructivos en IDF editor, el programa distingue diferentes tipos de superficies:

- a- Superficies del edificio: muros, techos, pisos, ventanas, puertas
- b- Superficies de sombras: sombras del entorno (*Site Shading*) y sombras del edificio (*Building Shading*)

Las superficies del edificio requieren el ingreso de materiales mäsicos y no mäsicos. En la tabla 2 se muestran los valores y componentes de los materiales mäsicos (base de datos de materiales del programa de simulación SIMEDIF para WINDOW). El programa solicita el ingreso de: tipo de rugosidad, espesor, conductividad densidad y calor específico.

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	Rugosidad	Espesor m	Conductividad W/m°C	Densidad Kg/m3	Calor específico J/Kg°C
MURO EXTERIOR					
Revoque exterior	Muy rugoso	0.025	0.93	1900	1000
Ladrillo cerámico	Rugoso	0.3	0.41	1797	919
MURO INTERIOR					
Ladrillo cerámico	Rugoso	0.1	0.41	1797	919
Revoque interior	Muy rugoso	0.025	0.93	1900	1000
PISO					
Estuco yeso	Suave	0.025	0.48	741.3	836.3
Losa H°A°	Rugoso	0.12	1.7	2400	800
Contrapiso H°A°	Medio rugoso	0.1	1.63	2400	800
Piso de madera	Suave	0.025	0.11	500	2800
PISO SUBSUELO					
Tierra	Rugoso	1	0.87	2000	840
Losa H°A°	Rugoso	0.12	1.7	2400	800
Piso de madera	Suave	0.025	0.11	500	2800
TECHO					
Piso de madera	Suave	0.025	0.11	500	2800
Contrapiso H°A°	Medio rugoso	0.1	1.63	2400	800
Losa H°A°	Rugoso	0.12	1.7	2400	800
Estuco yeso	Suave	0.025	0.48	741.3	836.3

Tabla 2. Valores y coeficientes de los materiales mäsicos del caso en estudio

Las propiedades de los materiales translúcidos utilizados se muestran en la tabla 3 (base de datos de materiales del programa de simulación ENERGY PLUS).

VIDRIO	Transmitancia solar	Reflectancia solar	Transmitancia visible	Reflectancia visible	Emisividad infraroja
VENTANAS					
Vidrio 4mm	0.837	0.075	0.898	0.081	0.84

Tabla 3. Valores y coeficientes de los materiales translúcidos del caso en estudio

Las superficies de sombras se ingresan como sombras del edificio (*Building Shading*) para los elementos de protección solar, tales como balcones y barandas de H°A°, así como las persianas de madera. Para el caso de la arboleda urbana se esquematizan los modelos ingresados como sombras del entorno (*Site Shading*).

4.2. Ajuste y validación del modelo

Se conformó el archivo de clima requerido para la simulación del modelo. Los datos necesarios para realizar el archivo son: Radiación Global sobre superficie horizontal, Radiación difusa sobre superficie horizontal, Radiación directa normal al haz, Temperatura de bulbo seco exterior, Humedad relativa exterior, velocidad y dirección de vientos. La radiación directa al haz y difusa sobre plano horizontal se calcularon por medio de un módulo de cálculo anexo al SIMEDIF (Flores, et al. 2000) ingresando la radiación global sobre superficie horizontal y los datos geográficos del lugar. (Barea et al, 2011)

Los días seleccionados de análisis corresponden al primer periodo de 5 días, entre el 30-03-2012 y el 03-04-2012, y la simulación se lanza 10 días antes de la fecha seleccionada, en los cuales las temperaturas son estables. Esto es debido a que resulta importante que el modelo físico entre en régimen antes de la fecha a evaluar.

Los ajustes realizados constaron en el aumento de renovaciones de aire por hora, de 1r/h a 2r/h, dadas las pérdidas que implican las carpinterías de madera. Se utilizó el modelo de Infiltraciones de “área eficaz de fuga” (*Effective Leakage Area*). Para esto el programa solicita el uso de horarios (*Schedules*) para cada zona en análisis. Asimismo el programa permite la posibilidad de incorporar masa térmica (*Internal Mass*) en términos de metros cuadrados en cada zona, por lo que se calcularon 8m² en la habitación, teniendo en cuenta el espacio destinado al placar.

Las figuras 4 y 5 muestran el ajuste realizado para el caso del Estar y Habitación respectivamente.

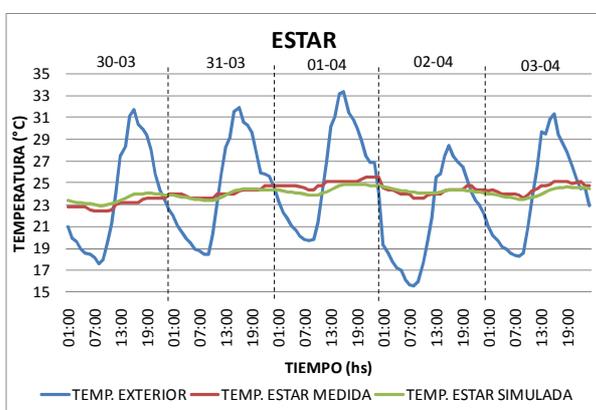


Figura 4. Ajuste de temperaturas interiores en el Estar

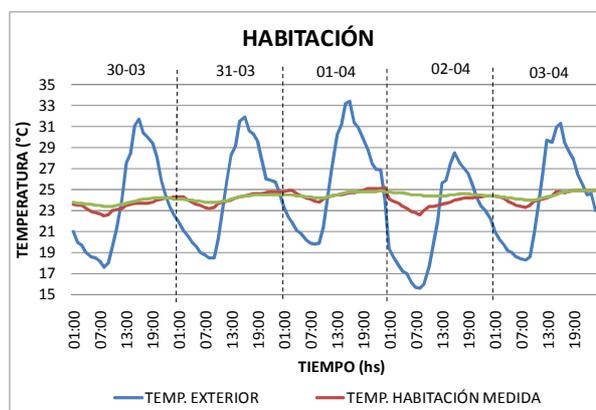


Figura 5. Ajuste de temperaturas interiores en la Habitación

El modelo simulado se ajustó hasta llegar a diferencias menores a 1°C en relación a los datos medidos. El análisis comparativo entre temperaturas medidas y simuladas advierten valores más estables en el caso de las simuladas. En el caso del estar el pico de temperatura máximo simulado no alcanza el máximo medido, además de una leve disminución de la amplitud térmica para los datos simulados. En la habitación la diferencia es mayor en las mínimas simuladas, las cuales no llegan a ser tan bajas como las mínimas medidas. Esto puede deberse a un mayor intercambio de calor exterior-interior, tanto en el día como en la noche.

5. SIMULACIÓN DE CARGAS ENERGÉTICAS EN INVIERNO Y VERANO

A partir de los comportamientos observados entre registros *in situ* y simulaciones, y verificando similitudes, se considera oportuno instrumentar las simulaciones para analizar la situación de base de la vivienda ejemplo y de las medidas con las mejoras propuestas, con el objeto de evaluar las cargas energéticas de las estaciones climáticas críticas. Para tal fin se utiliza como parámetro climático de referencia las mediciones de temperatura de aire en las estaciones de invierno de 2011 y verano de 2012 (Balter et al, 2011). A partir de los datos de temperaturas exteriores se creó el archivo de clima correspondiente y se simuló con Energy Plus las cargas necesarias de refrigeración en verano y de calefacción en invierno.

Dentro de las múltiples variables de salida que ofrece el programa, se seleccionan las variables: *Ideal Loads Air Heating Energy* e *Ideal Loads Air Total Cooling Energy*. Para realizar el cálculo de cargas energéticas el programa permite definir termostatos. Los mismos se programan manteniendo temperaturas de calefacción de 20°C y de refrigeración de 25°C. Se simulan los requerimientos energéticos en periodos de diez días: de refrigeración: del 5 al 14 de Enero; y de calefacción entre el 28 de Julio y 6 de Agosto.

Con el objetivo de simular el caso de análisis con distintas propiedades tecnológicas y constructivas de materiales, se incorporan nuevas variables en la envolvente liviana y másica. A tal fin se modifican las propiedades de las superficies vidriadas y de los muros exteriores de la vivienda. Para el cálculo de resistencias y transmitancias térmicas de los materiales se utilizan las fórmulas 1 y 2 (Normas IRAM 11.608):

$$R = e / \lambda \quad (1)$$

$$K = 1/R \quad (2)$$

Donde:

e = espesor del material (m)

λ = conductancia térmica del material (W/m.K)

Los casos a simular son los siguientes:

- Modificación de superficies livianas:

. *Caso A*: doble vidrio (DVH) de 4mm con capa de aire de 0,013mm ($K= 3.2W/m^2K$)

- Modificación de superficies másicas:

. *Caso B*: ladrillo cerámico hueco (0.30m espesor) con aislación térmica de poliestireno expandido 0,05m del lado exterior y revoque. ($K= 0.50W/m^2K$)

. *Caso C*: ladrillo macizo (0.30m espesor) con aislación térmica de poliestireno expandido 0,05m del lado exterior y revoque. ($K= 0.63W/m^2K$)

Los requerimientos energéticos para calefacción y refrigeración para el caso existente se presentan en la figura 6; y para las variables descriptas según superficies livianas y másicas se observan en las figuras 7, 8 y 9.

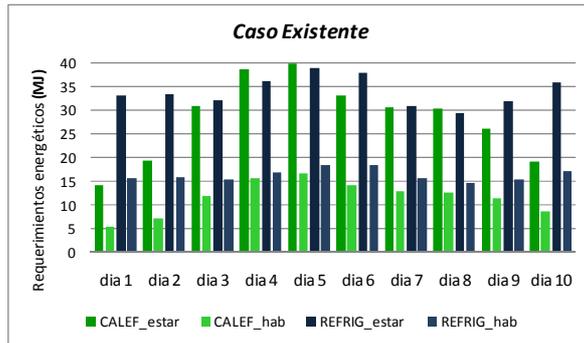


Figura 6. Requerimientos energéticos del caso existente

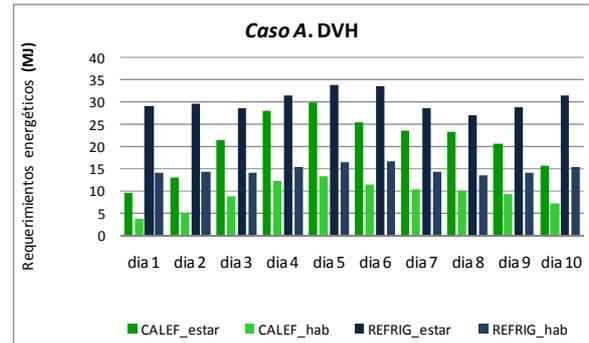


Figura 7. Requerimientos energéticos del Caso A: doble vidrio

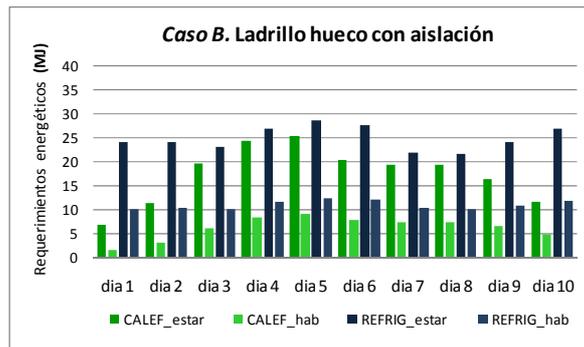


Figura 8. Requerimientos energéticos del Caso B: ladrillo hueco con aislación

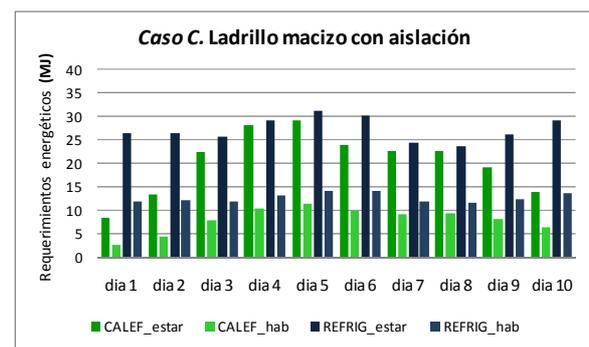


Figura 9. Requerimientos energéticos del caso C: ladrillo macizo con aislación

Los resultados demuestran en el caso existente (figura 6) diferencias de requerimientos energéticos en los espacios analizados –estar y habitación- del orden del 100%. Esto se debe a las distinciones en la misma proporción de sus superficies cubiertas.

El caso en estudio en la época invernal presenta cargas para calefacción en el estar de hasta 39,97MJ (11,11kWh), y en la habitación de 16,77MJ (4,66kWh). En el verano las cargas para enfriamiento resultan inferiores en el estar, de hasta 38,95MJ (10,80kWh) y superiores para la habitación: de 18,43MJ (5,12kWh)

En el *Caso A* –incorporación de DVH- los requerimientos de cargas para calefacción se encuentran en los 28,88MJ (8,30kWh) para el estar y 13,23MJ (3,67kWh) para la habitación. La energía requerida para refrigeración es de 34,01MJ (9,45kWh) y 16,58MJ (4,58kWh).

Los resultados de los casos con variaciones en la envolvente másica son las siguientes: el *Caso B* (ladrillo hueco con aislación) presenta cargas para cada espacio analizado de hasta 25,43MJ (7,06kWh) y 9,29MJ (2,58kWh) en invierno para calefacción y de 28,73MJ (7,98kWh) y 12,48MJ (3,46kWh) en verano para refrigeración (estar y habitación respectivamente).

Por otro lado, el *Caso C* (ladrillo macizo con aislación) presenta valores mayores: se requieren 29,15MJ (8,10kWh) y 11,53MJ (3,20kWh) para calefacción y 31,26MJ (8,69kWh) y 14,14MJ (3,95kWh) para enfriamiento en verano.

5.1. Promedio de requerimientos energéticos. Comparación de resultados

Se realiza el promedio de los requerimientos energéticos de los periodos en estudio para el caso existente y los casos en análisis A, B y C. En la tabla 4 y figura 10 se presentan los resultados.

	CASO EXISTENTE	CASO A	CASO B	CASO C
Cargas requeridas (MJ)	<i>Ladrillo hueco sin aislación, vidrio simple</i>	<i>DVH</i>	<i>Ladrillo hueco y aislación</i>	<i>Ladrillo macizo y aislación</i>
Calefacción	20.04	15.07	11.98	14.29
Refrigeración	25.24	22.55	18.07	20.04

Tabla 4. Comparación de promedios de consumo energético de los casos en estudio

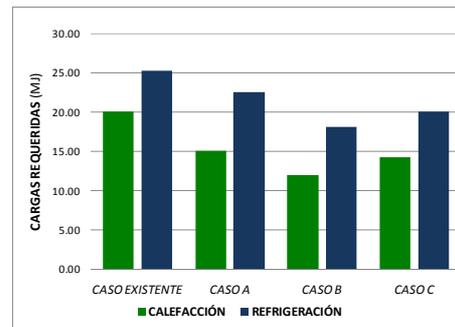


Figura 10. Consumos energéticos requeridos del caso existente y los 3 casos con distintas variables

El caso existente (ladrillo cerámico hueco sin aislación y vidrios simples), es el que mayores consumos energéticos presenta. Las cargas requeridas resultan mayores respecto al promedio de los casos simulados en el orden del 148% para calefacción y del 125% para refrigeración.

Las diferencias de los casos simulados son las siguientes: El *Caso A*, doble vidrio y envolvente másica existente (ladrillo hueco sin aislación) presenta mayores consumos energéticos, del orden del 114% para calefacción y 118,50% para refrigeración de los requerimientos de los casos *B* y *C*. No obstante se advierten disminuciones respecto al caso existente del orden del 24,80% para calefacción y del 10,60% para refrigeración.

Respecto a las variaciones en la envolvente másica el *Caso C* (ladrillo macizo con aislación) presenta mayores requerimientos que el *Caso B* (ladrillo hueco con aislación), tanto en las cargas para calefacción como en las de refrigeración, con diferencias del 16,16% y 9,83% respectivamente. Se observa que las disminuciones de energía resultan mayores en el caso de los requerimientos para calefacción en relación a los de refrigeración, por lo que se advierte la necesidad de combinar ambas variables –másica y liviana- para lograr disminuciones que resulten mayormente significativas.

5.2. Simulación del caso óptimo: combinación de variables másicas y livianas

A partir de los resultados obtenidos se simulan las cargas energéticas requeridas para el caso óptimo, mediante la utilización de dobles vidrios y una envolvente opaca de ladrillos cerámicos huecos con aislación (*Caso A* y *Caso B*).

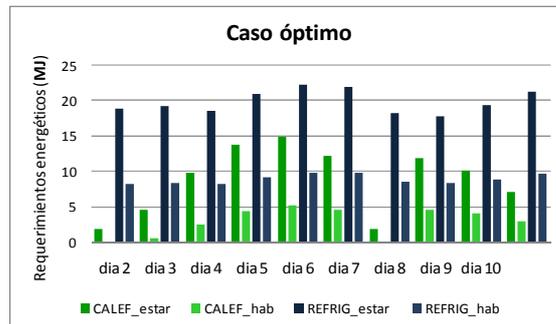


Figura 11. Requerimientos energéticos para el caso con ladrillo hueco con aislación y DVH

La Figura 11 muestra requerimientos energéticos para refrigeración de hasta 22,36MJ (6,21kWh) para el caso del estar, y de 9,93MJ (2764kWh) para las habitaciones. En el caso de las cargas de calefacción los resultados son menores: para el estar 15MJ (4,16kWh) y para la habitación de hasta 5,31MJ (1,47kWh).

En la Tabla 5 y Figura 12 puede observarse la comparación del caso existente y el caso óptimo simulado, a partir del promedio de los requerimientos de cargas.

	CASO EXISTENTE	CASO A y B
CARGAS REQUERIDAS (J)	<i>Vidrio simple, ladrillo hueco sin aislación</i>	<i>DVH y ladrillo hueco con aislación</i>
CALEFACCIÓN	20.04	5.91
REFRIGERACIÓN	25.24	14.44

Tabla 5. Promedio de requerimientos de energía para el caso existente y el caso óptimo

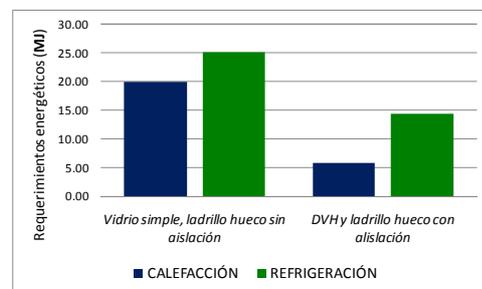


Figura 12. Consumos energéticos requeridos: caso existente y caso óptimo

Se advierte que el caso existente (vidrios simples de 4mm y ladrillo cerámico hueco sin aislación) requiere cargas para calefacción mayores al caso óptimo simulado (DVH y ladrillo macizo con aislación) del orden del 340%. Respecto a las cargas para refrigeración los resultados demuestran consumos de más de un 174% en el caso existente respecto al óptimo simulado.

6. CONCLUSIONES

El ajuste y la validación metodológica propuesta a partir del audit-diagnóstico y la simulación termo-energética nos permitió ensayar y evaluar múltiples propuestas con mayores certezas en cuanto a las mejoras edilicias específicas relacionadas con la eficiencia energética de la envolvente y la habitabilidad de los edificios en altura de las ciudades oasis.

En cuanto a los resultados particulares obtenidos, estos demuestran que las características tecnológicas del caso en estudio del tipo másico no resultan adecuadas para una región de temperaturas rigurosas en las estaciones extremas de verano e invierno. Esto se evidencia a partir de elevados requerimientos energéticos para el caso en estudio simulado, del orden de hasta 11,11kWh diarios para calefacción y 10,80kWh para refrigeración.

A partir de la simulación de variaciones en la envolvente másica y liviana se obtienen disminuciones en los requerimientos energéticos. Se observa que las disminuciones del caso con DVH respecto al caso de vidrio simple existente resultan del 24,80% para calefacción y del 10,60% para refrigeración. Es decir, que el uso de vidrios dobles no resulta mayormente significativo sin una adecuada tecnología de envolvente másica.

Sin embargo, las variaciones en la envolvente másica muestra resultados contundentes: en el caso óptimo –ladrillo macizo con aislación y DVH- las disminuciones son del orden del 70,50% para calefacción y del 42,78% para refrigeración.

En vistas de la importancia de una adecuada envolvente másica en un clima como el de Mendoza, resulta elemental tener en cuenta las características termo-físicas de los materiales utilizados. Si bien un gran número de construcciones en altura realizadas en la ciudad entre las décadas del 50 y 70, cuentan con ladrillo cerámico hueco sin ningún tipo de aislación, sería necesario el planteo de posibles soluciones de mejoramiento de este tipo de envolvente a fines de disminuir los requerimientos energéticos.

En definitiva, esta metodología de abordaje, nos permite modelar y ensayar múltiples variables de diseño y tecnológicas en edificios en altura, incluyendo condiciones micro-climáticas que puede presentar el arbolado urbano de Mendoza; e implementar mejoras específicas en la envolvente preservando la habitabilidad de los edificios en altura de las ciudades oasis.

7. REFERENCIAS

- Balter, J., Ganem C., Cantón, A. (2011) *Evaluación térmica y consumos energéticos en verano de departamentos ubicados a distintas alturas en edificios másicos en la Ciudad de Mendoza*. Revista AVERMA. Avances en Energías Renovables y Ambiente. Vol. 15, 2011. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-518. Salta: INENCO-UNSa. N° pág.: 83-91.
- Barea, G.; Esteves, A.; Ganem, C.; Flores, S., *Evaluación energética de ventanas multiacimutales en la Ciudad de Mendoza mediante prototipos a escala 1:1 y el programa Energy Plus*. Revista AVERMA. Avances en Energías Renovables y Ambiente. Vol. 15, 2011. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-518. Salta: INENCO-UNSa. N° pág.: 173-181
- Cantón, M.A.; Cortegoso J.L.; De Rosa C. (1994); “*Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina*”. Energy and Buildings, 20 219-230.
- Department of Energy. (2009) Building Energy Software Tools Directory. Disponible in: http://www.eere.energy.gov/building/tools_directory/
- Flores Larsen; S., Lesino; G. (2000) Simedif2000: Nueva versión del programa de diseño y cálculo de edificios. AVERMA. Vol. 4 p.53-58. INENCO-UNSa Salta, Argentina.
- Fundación para el desarrollo Eléctrico_ FUNDELEC (2012) www.fundelec.org.ar/
- Norma IRAM 11601 (2002) *Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades Térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario*.
- Oke, T.R., (2004). *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations At Urban Sites*. Iom Report, Td In Press, World Meteorological Organization, Geneva.
- Scarduelli F.A., Westphal F.S., Lamberts R. (2009) Aplicacao do Método BESTEST no Energyplus para treinamento em simulacao do desempenho térmico de edificacoes. ENCAC-ENLACAC, pp. 1796-1805.

ABSTRACT:

The paper proposes to establish and validate instruments related to the audit-diagnosis and collating behaviors with thermal energy simulations to evaluate the effects of proposed improvements and progressive truthful. To this end we apply this methodology and make in situ measurements of environmental thermal situation in a flat in a tall building in the city of Mendoza. Effective monitoring fits the model simulations with Energy Plus software. Energy charges are calculated required in winter and in summer to achieve a comfortable indoor temperature. Variants of improved mass lightweight envelope were simulated and analyzed. Concrete alternatives are proposed which leads to a reduction of energy consumption for heating of 70.50% and 42.78% for maintaining cooling comfort conditions inside. The implementation and adjustment of these instruments can move forward with greater certainty as to the building improvements related to the energy efficiency of the building envelope and the habitability of the tall buildings of the oasis cities.

Keywords: thermal energy simulation, validation tools, tall buildings