



## **CONFORT EN VERANO EN EDIFICIOS EN ALTURA: ENSAYOS, SIMULACIONES Y EVALUACIÓN DE VARIABLES DE DISEÑO**

**John Martín Evans**

Centro de Investigación Hábitat y Energía. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo  
Universidad de Buenos Aires. CIHE-FADU-UBA, Pabellón 3, piso 4, Ciudad Universitaria,  
C1428BFA, Buenos Aires, Argentina. Tel.: (+ 54 11) 4789 6274 / e-mail: [evans@fadu.uba.ar](mailto:evans@fadu.uba.ar)

### **RESUMEN**

Las fachadas con grandes superficies vidriadas orientadas al oeste pueden sufrir efectos de sobrecalentamiento en verano, especialmente en edificios en altura, donde confort y eficiencia energética dependen fuertemente de la protección solar. Este trabajo presenta un estudio de caso de un edificio residencial en altura, con una serie de estudios, ensayos y evaluaciones realizados con el fin de reducir el impacto de sol estival, especialmente en las salas de estar sobre la fachada oeste. Se realizaron ensayos en el Heliodón para verificar la incidencia de sol en distintas escalas y estudiar alternativas de proyecto que permita reducir dicho impacto. Paralelamente, se llevaron a cabo estudios paramétricos con simulaciones numéricas para verificar la influencia de las variables de diseño sobre las temperaturas interiores. Las variables analizadas incluyen: orientación, tipo y superficie de vidrio, aleros y parasoles, y características térmicas de elementos constructivos. Los resultados permiten identificar las variables de mayor impacto y demostrar la utilidad de simulaciones físicas y numéricas, las que indican la importancia de variables de diseño en el control de condiciones ambientales interiores. Se demuestra que el manejo de las variables de diseño tienen mayor impacto respecto a las variables relacionadas con la tecnología de materiales.

### **ABSTRACT**

Facades with large glazed areas orientated towards the west can suffer from severe overheating in summer, especially in high-rise buildings where comfort and energy efficiency heavily depend on solar protection. The paper presents the case study of a high-rise residential building, undertaken with the aim of reducing solar impacts in living-rooms on the western façade. Tests were carried out in the Heliodon to verify the solar incidence at different scales and study design alternatives that allow this impact to be reduced or moderated. Parametric studies were also carried out using numerical simulation to detect the influence of design variables on internal temperatures. The variables analysed include orientation, type and area of glazing, overhangs and sun-shades, as well as the thermal characteristics of the interior surfaces. The results identify the most effective variables to reduce solar impacts and demonstrate the value of physical and numerical simulation. The results show the importance of the design variables in the control of environmental conditions indoors. It is demonstrated that architectural design variables have a greater impact than those related to the technology of glazing materials.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Las características de vidrio, con buena transmisión de luz visible y radiación de alta temperatura, permiten aprovechar las características favorables del medio exterior, captando iluminación natural y radiación solar estival en los espacios interiores de edificios, mientras controlan las pérdidas de energía debido a su reducida transmisión de radiación de baja temperatura. Sin embargo, en verano, especialmente en climas tropicales y subtropicales, estas características resultan desfavorables provocando problemas de sobrecalentamiento, especialmente en fachadas orientadas al oeste, donde el

sol de baja altura coincide con los picos estivales de temperatura exterior. En un estudio anterior (Evans, 2003), se presentó una técnica para evaluar la influencia de la orientación, la superficie de vidrio expresada como porcentaje de fachada, las características constructivas del edificio y la incorporación de aleros. Los edificios de construcción liviana y grandes superficies vidriadas orientadas al oeste y con limitada protección solar, pueden sufrir de altas temperaturas interiores. Aún en casos donde el edificio cuenta con gran capacidad de refrigeración, las temperaturas interiores y las condiciones de confort suelen ser deficitarias, como lo demuestran algunos edificios recientes, que sufren serios problemas de este tipo.

El caso en estudio correspondiente a un edificio residencial de gran altura en Buenos Aires, es demostrativo del problema potencial del impacto de sol estival. A fin de analizar alternativas que permitan resolver dicho problema, se realizaron estudios de una selección de alternativas para reducir o controlar este impacto, especialmente la influencia de la tecnología de vidrio. Debido a la altura del edificio, la exposición al viento, y los problemas de mantenimiento, se trató de evitar la incorporación de elementos móviles en fachadas. La privilegiada ubicación con importantes vistas hacia el Parque 3 de Febrero y el Río de la Plata, también al oeste, presentaba un conflicto entre protección solar y visuales. Otro factor relevante radica en la exigencia de planeamiento que limita las proyecciones horizontales de parasoles en fachadas, ya que extensiones mayores a 30 cm requerirían una disminución correspondiente en la superficie de las unidades de departamentos, una limitación económica muy importante en este caso.

Este trabajo presenta los estudios realizados con simulaciones a fin de detectar el impacto de distintas alternativas. Las simulaciones físicas, llevadas a cabo mediante ensayos con maquetas en el Heliodón o simulador del movimiento aparente del sol, proporcionan resultados que permiten visualizar los impactos y determinar las alternativas posibles (Evans, 2000). Las simulaciones numéricas indican las temperaturas pico en interiores, permitiendo una comparación cuantitativa de las alternativas estudiadas.

## 2. SIMULACIÓN FÍSICA

Los estudios del impacto de sol sobre fachadas fueron realizados con maquetas en tres escalas.

Los resultados de este estudio, Figuras 1a y 1b, fueron los siguientes:

- Los edificios lindantes no arrojan sombras significativas sobre las fachadas, aunque el edificio al oeste proyecta sombras sobre la torre al este durante la tarde.
- Los edificios proyectan sombras parciales sobre la pileta de natación en las últimas horas de la tarde de verano.
- La fachada oeste de la torre al oeste recibe sol directo durante 6 horas en verano, indicando el problema potencial de sobrecalentamiento.



**Figura 1a. Ensayo en el Heliodón con maqueta del conjunto.**



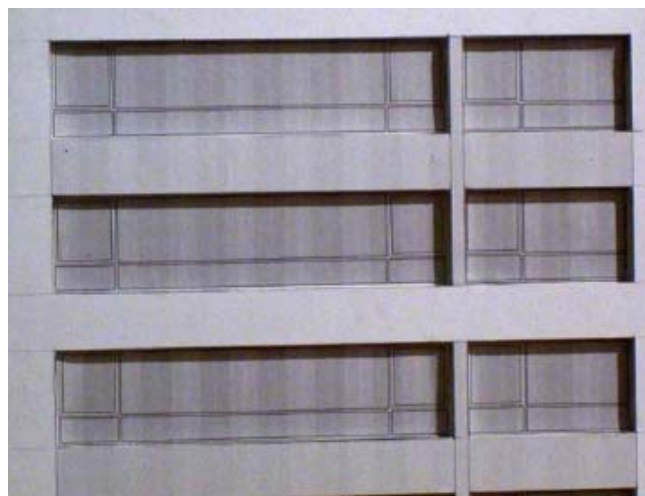
**Figura 1b. Sombras parciales sobre la pileta, a las 16 horas en verano.**



**Figura 2a. Ensayo en el Heliodón, interior de la sala de estar, equinoccio a las 14 horas.**



**Figura 2b. Ensayo en el Heliodón, interior de la sala de estar, invierno a las 15 horas.**



**Figura 3. Ensayo de la fachada, verano a las 16 horas.**

A **escala de los locales**, especialmente en la sala de estar de la torre al oeste, el sol entre 13 y 19 horas, por su ángulo de incidencia, provoca también discomfort visual, Figura 2a y 2b.

A **escala de la fachada**, la sombra proyectada por el espesor de la pared exterior ofrece limitada protección solar a la superficie vidriada de las ventanas, Figura 3. Los ensayos en el Heliodón no solamente permiten visualizar el ingreso del sol y las sombras proyectadas, sino que también detectan posibles alternativas de protección, dentro de los límites establecidos. Así, las técnicas de laboratorio permiten evaluar y optimizar las alternativas de diseño. Sin embargo, se requiere un método objetivo y valorativo para comparar las alternativas en estudio, contribuyendo a predecir el comportamiento y tomar decisiones de proyecto.

### **3. SIMULACIÓN NUMÉRICA**

Dado el alto valor inmobiliario del proyecto, se habían previsto instalaciones de refrigeración, como condición ineludible de alto nivel de servicios. La simulación física, realizada con el programa Quick (Van Heerden, 1997), permitió estimar la demanda de energía para refrigeración del edificio o de unidades individuales durante días típicos de verano, seleccionadas con datos medidos de temperatura y radiación solar de días de diseño. Los datos de radiación y la selección de temperaturas representativas de días cálidos corresponde a datos registrados en la terraza de la Facultad de Arquitectura a solo 5 km del edificio (Evans, 2001).

A fin de explicitar el impacto del sol en forma fácilmente comprensible, se utilizó un programa de simulación para estimar las temperaturas internas. La simulación de la temperatura interior en un día

de verano, fue realizada sin refrigeración y sin cargas térmicas internas. Esta situación corresponde a las temperaturas que los ocupantes pueden experimentar cuando regresan a su departamento después de un día laboral, sin la instalación de refrigeración en funcionamiento o con un corte de suministro de energía eléctrica. Las simulaciones realizadas indican las temperaturas interiores, considerando variables de diseño (doble o simple vidrio, vidrio incoloro o absorbente, orientación, tasa de ventilación y tipo de alero), para las siguientes alternativas:

- Alternativa base, con vidrio simple de 6 mm, sin parasoles.
- Similar a la alternativa base, con doble vidrio hermético.
- Doble vidrio hermético (DVH), paño exterior color gris.
- Doble vidrio hermético, paño exterior color gris, y alero de 60 cm.
- Doble vidrio hermético, paño exterior color gris, y alero de 90 cm.
- Doble vidrio hermético incoloro y alero de 60 cm.
- Doble vidrio hermético incoloro y alero de 90 cm.
- Doble vidrio hermético incoloro y alero horizontal de 90 cm, ventilación 5 ren./hora.
- Doble vidrio hermético incoloro, ventilación 5 renovaciones / hora.
- Doble vidrio hermético incoloro, ventilación 10 renovaciones / hora.
- Alternativa base, vidrio simple, sin parasoles, cambio de orientación 12° al norte.
- Alternativa base, vidrio simple, sin parasoles, cambio de orientación 25° al norte.
- DVH, sin parasoles, cambio de orientación 12° al norte.
- DVH, con parasoles de 60 cm y cambio de orientación 25° al norte.
- DVH, con parasoles de 60 cm, cambio de orientación 25° al norte y ventilación 5 ren./hr
- DVH, con parasoles de 60 cm, cambio de orientación 25° al norte y ventilación 10 ren./hr.
- DVH, con parasoles de 60 cm y cambio de orientación 45° al norte.

#### 4. RESULTADOS

La Figura 4 indica la variación de temperatura horaria en un día típicamente cálido de verano. La variante más desfavorable alcanza temperaturas entre 32,4° y 33,5° C, mientras la más favorable llega a temperaturas entre 26° y 28,5° C, diferencia significativa de 5 a 6,5° C durante el día. La temperatura exterior varía entre 23° y 33° en el mismo periodo, mientras la zona de confort oscila entre 22 y 27° C. A continuación se analizan los beneficios relativos de cada variante.

**Doble vidrio hermético:** En invierno, con grandes superficies de vidrio simple de 6 mm, el doble vidriado hermético (DVH) ofrece ventajas de mejor confort para los ocupantes y disminuye las pérdidas de energía. Sin embargo, la calidad aislante provoca mayores temperaturas interiores, (+0,5° C) dado que, si bien disminuye el ingreso de calor de radiación solar en un 10 %, también disminuye las pérdidas desde el interior hacia el exterior en un 54 %, produciendo un aumento de la temperatura interior.

**Orientación:** Con un giro de 25° al norte, la temperatura interior disminuye en 2° C, lográndose mayores reducciones a las 17 horas, momento de la temperatura pico interior.

**Tamaño del vidrio:** Los vidrios representan el 54 % de la superficie de la fachada de la sala de estar. Reduciendo la superficie vidriada en 20 %, se logra bajar 3° C la temperatura interior.

**Ventilación:** En edificios de gran altura, con fuerte presión de viento sobre las fachadas en días ventosos, es necesario especificar cerramientos muy estancos. Sin embargo, con un leve aumento de la tasa de ventilación (de 1 a 5 renovaciones de aire por hora), la temperatura pico disminuye en 1,5° C y, con una tasa de renovación de aire de 10, se logra bajar 2° C. Las ventajas son aún mayores a la noche, lográndose reducciones de 2,5° y 4,5° C respectivamente. Las simulaciones presentadas corresponden a tasas constantes de ventilación. Con ventilación selectiva, reducida durante las horas diurnas mas

cálidas y aumentada durante las horas nocturnas más frescas, es posible lograr temperaturas significativamente menores.

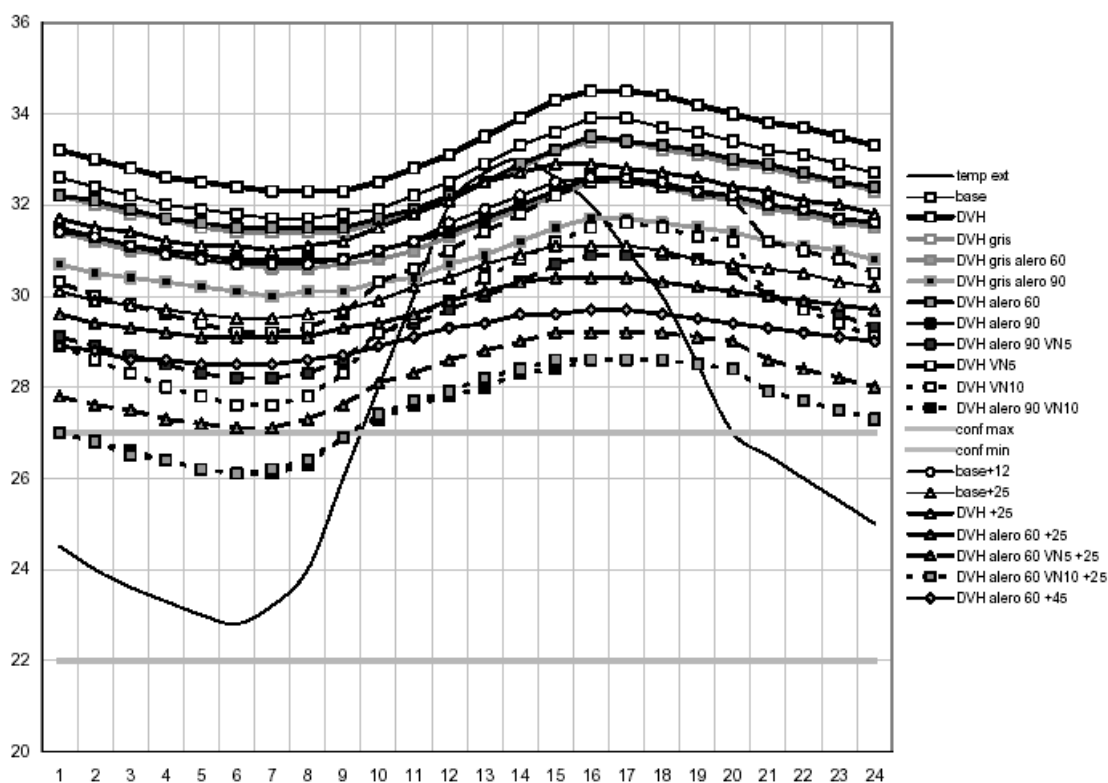


Figura 4. Simulación de las temperaturas interiores según variables de diseño.

**Aleros horizontales:** El espesor de las paredes exteriores permite lograr una protección solar equivalente a un alero de 30 cm. Con una extensión adicional de 30 cm, formando un alero efectivo de 60 cm, se puede reducir 2° C la temperatura interior. Los aleros resultan aún más eficaces con orientaciones más favorables giradas al norte.

**Vidrios:** Debido a las vistas importantes, se decidió evitar el uso de vidrio espejado que aumenta los reflejos del interior, especialmente a la noche. Aunque el DVH con vidrio incoloro provoca un leve aumento de la temperatura interior, el DVH con vidrio exterior de leve tonalidad gris produce una reducción de 1° C. El uso de vidrios absorbentes también aumenta la temperatura superficial del vidrio, provocando posible disconfort para los ocupantes cercanos a la ventana.

**Construcción:** Las variables constructivas también ofrecen interesantes posibilidades para moderar las temperaturas interiores, aunque ellas no fueron analizadas en este caso considerando exclusivamente elementos constructivos pesados de alta admitancia, los que amortiguan la variación de la temperatura interior. La técnica de evaluación presentada en otro estudio (Evans, 2002) indica un potencial aumento de 4° C en el caso de construcción liviana de baja admitancia, según el tamaño de la ventana.

**Combinaciones:** Al analizar los resultados de simulaciones con combinaciones de variables, se detectó que las reducciones o aumentos de temperatura no resultaron directamente acumulativos. Por ejemplo, ventanas de menor superficie permiten mejorar la eficiencia de aleros, logrando mayor superficie sombreada con la misma extensión horizontal, adicionalmente a los beneficios de menor superficie de transmisión de calor.

La Figura 4 indica la temperatura interior en relación con la temperatura exterior. En los casos de vidrio simple incoloro y DVH incoloro, la temperatura interior es siempre superior a la temperatura exterior. En otros casos, especialmente con mayor ventilación, es posible lograr temperaturas interiores más confortables que las exteriores durante las horas diurnas.

## 5. CONCLUSIONES

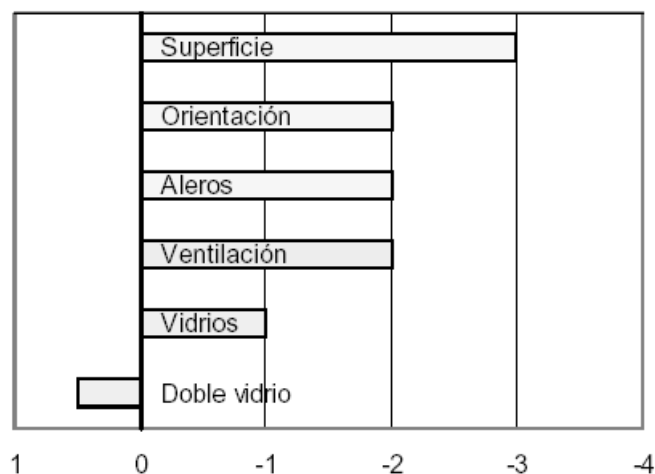
La Figura 5 presenta, en forma indicativa, los aumentos y reducciones de temperatura para distintas variables. Para los fines de esta evaluación, se puede clasificar las variables en tres rubros básicos:

- Variables de diseño: superficie de vidrio, orientación y aleros.
- Variables de uso: tasa de renovación de aire.
- Variables de tecnología: tipo de vidrio, DHV o simple.

Las **variables de diseño**, que afectan el aspecto exterior de la fachada, son las que producen mayor impacto sobre la reducción de sobrecalentamiento.

Las **variables de uso**, que dependen del manejo del edificio por parte de los ocupantes, también ofrecen ventajas importantes. Adicionalmente, el uso de cortinas interiores tiene un impacto similar a la variable 'vidrios'.

Las **variables de tecnología**, menos visibles y promocionadas por los fabricantes de vidrio, ofrecen limitadas ventajas comparadas con las otras alternativas.



**Figura 5. Comparación del impacto de las variables según reducción de temperaturas interiores.**

Este estudio demuestra el valor de realizar estudios de simulación física en el Heliódón en distintas escalas. Es importante verificar las sombras proyectadas por edificios lindantes así como las de otros edificios del mismo conjunto, la radiación y las horas de sol recibidas en cada fachada y las sombras proyectadas por los componentes de la envolvente, tales como aleros, molduras y parasoles.

El impacto de la radiación solar puede expresarse con distintas unidades: la demanda de refrigeración (energía neta), la demanda de energía para las instalaciones (energía bruta), el costo de la energía utilizada, las emisiones de gases efecto invernadero GEI, etc.

En este estudio, se considera el grado de sobrecalentamiento producido, expresado directamente como temperatura interior, sin acondicionamiento artificial. Esta unidad de medición expresa el grado de discomfort en forma directa y fácilmente comprensible para proyectistas, comitentes y ocupantes.

El estudio resalta la importancia de las variables de diseño, generalmente decisiones directas del proyectista. Por tal razón, es importante enfrentar el impacto del sol y los problemas potenciales de sobrecalentamiento en las etapas iniciales del proceso proyectual.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

EVANS, J. M., (2003), *Solar radiation intensity, design variables and environmental impact: measurements and simulation integrated in project development*, en Proceedings, 20th. International Conference Rethinking Development, PLEA-2003, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.

EVANS, J. M., (2000), *The Environmental Laboratory, experiences and application in teaching architecture*, en Proceedings 3rd. International Conference for Teachers of Architecture, Sustainable Buildings for the 21st. Century, TIA-2000, Oxford Brookes University, Oxford.

VAN HEERDEN, E., (1997), *Integrated simulation of building thermal performance, HVAC system and control*, Centre for Experimental and Numerical Thermoflow, University of Pretoria, Pretoria, Sudafrica.

EVANS, J. M. (2002), *Energía en edificios: Identificación de alternativas de diseño de bajo impacto*, *Avances en Energías Renovables y medio Ambiente*, Vol 6, N° 1, INENCO, Salta

## **RECONOCIMIENTOS**

El presente trabajo se inscribe en el marco del Proyecto UBACyT 2004-2007 ‘Calificación de Edificación Sustentable y el Mecanismo de Desarrollo Limpio’, acreditado por la SECyT-UBA. Los estudios contaron con la participación del Ing. Mariano Cabezón y los Arqtos. Carlos Raspall, Claudio Delbene y Julian Evans, investigadores del CIHE.