

ESTUDIO PARAMÉTRICO DE SISTEMAS DE PARASOLES PARA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN CLIMAS CON ALTA HELIOFANÍA

Alicia Betman¹, Julieta Balter¹, Marcos Hongn³, Carolina Ganem^{1,2}

1 Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET. Mendoza, Argentina

2 Facultad de Artes y Diseño (FAD), Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina

3 Laboratorio de Edificios Bioclimáticos. Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional. (INENCO) Facultad de Cs. Exactas. Universidad Nacional de Salta.

abetman@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN: En regiones caracterizadas por una elevada heliofanía, resulta esencial implementar sistemas eficientes de protección solar. Este artículo presenta un análisis paramétrico realizado mediante software de simulación, con el objetivo de analizar diferentes posibilidades de diseño geométrico de parasoles de una ventana de orientación norte. Se modificaron las variables de relación ventana-pared (WWR), profundidad, espaciado y ángulo de las lamas, obteniendo 81 iteraciones de posibles propuestas de diseño. Se evaluó el consumo energético anual para refrigeración, calefacción e iluminación, analizando la influencia de cada variable en el rendimiento. De manera significativa, la WWR resultó la más influyente en términos de desempeño energético, resaltando la importancia de un diseño consciente de las dimensiones de la ventana. Además, se subraya que un análisis detallado de las variables posibilita establecer una combinación adecuada para mejorar la eficiencia energética. Estos resultados ofrecen diversas posibilidades para optimizar el diseño, logrando un equilibrio entre el control solar y el ahorro de consumos energéticos.

Palabras clave: simulación dinámica, protecciones solares, eficiencia energética.

INTRODUCCIÓN

Frente a los desafíos actuales referidos al diseño de edificios sustentables y eficientes, el proceso de toma de decisiones arquitectónicas se vuelve cada vez más complejo debido a muchos factores que deben ser considerados. En este sentido, los métodos cuantitativos se han convertido en una parte vital del proceso de toma de decisiones, ayudando a evaluar las decisiones de diseño de un proyecto (Reinhart y Fitz, 2006). Es por esto que resulta necesario el establecimiento de vínculos entre la experiencia profesional y los conocimientos que se obtienen de las nuevas herramientas de simulación (Gercek y Arsan, 2019).

En este ámbito, los modelos paramétricos resultan una herramienta muy valiosa en relación a las oportunidades que ofrecen de explorar distintos escenarios y comprender mejor la relación entre las variables involucradas. Una de las principales ventajas de estos modelos, es la posibilidad de realizar transformaciones que resulten en diferentes configuraciones de los mismos componentes geométricos de un edificio. Esto, contribuye a proporcionar una interpretación de un modelo como un conjunto típicamente infinito de instancias, cada una determinada por una selección particular de valores para las variables independientes del modelo (Turrin et al., 2011 y Konis et al., 2016). En el campo de la arquitectura, existen diversas formas automatizadas de optimización, incluyendo algoritmos genéticos y algoritmos evolutivos que contribuyen a un espacio de búsqueda para descubrir alternativas de diseño arquitectónico que cumplan con ciertos criterios. Estos pueden ser utilizados para problemas de diseño

complejos que requieren muchas iteraciones, producen una miríada de variaciones y compensaciones y proporcionan métodos gráficos de evaluación (Konis et al., 2016; Toutou et al.; 2018).

En cuanto a la envolvente edilicia, las superficies acristaladas suelen ser el componente más débil y vulnerable a las condiciones exteriores dado que transmiten una cantidad significativa de radiación solar y absorben y remiten una parte considerable de calor en el espacio interior (Touma y Ouahrani, 2018). El diseño y dimensionamiento de las aberturas y/o ventanas de un edificio, son un vínculo clave entre la arquitectura y la gestión de la energía, según Yong et al. (2017). La relación ventana-pared (WWR por su sigla en inglés) y los parámetros del acristalamiento tienen un impacto significativo en la eficiencia energética y el confort térmico y visual de los espacios.

Es por esto que la optimización de dispositivos de sombreado en los edificios se ha convertido, desde hace mucho tiempo, en un tema ampliamente investigado debido tanto a su papel crítico en el diseño e integración de los elementos de sombra en la fachada, así como en su operación (Rizki et al., 2021). Un diseño eficiente de los mismos puede bloquear la radiación solar no deseada durante el verano y permitir su ingreso durante el invierno, situación que puede impactar en la reducción de los consumos energéticos para climatización. El correcto análisis de la orientación de la construcción, junto con las características climáticas del sitio, permite obtener herramientas para planificar la ubicación estratégica de sistemas de control solar, diseñando de esta forma la envolvente. A nivel arquitectónico y perceptivo, ésta es la entidad principal sobre la que se realizan la mayoría de los juicios estéticos. A nivel físico, la envolvente cumple la función de controlar y/o admitir los distintos elementos del entorno (calor, luz, aire, ruido, etc.) (Wafia et al., 2016).

En cuanto a los antecedentes sobre el tema, según Niu (2004), los dispositivos de protección solar exteriores que pueden proteger toda la superficie de vidrio logran reducir la ganancia solar directa hasta en un 80%. En el estudio, los investigadores concluyeron que los ahorros de energía asociados con esta estrategia son mayores en ciudades con alta radiación solar y temperaturas ambientales elevadas en verano. Para Krstić Furundžić et al. (2019) debido al proceso integral de toma de decisiones en el diseño arquitectónico, se debe encontrar un compromiso entre la energía, el diseño, la estética, la comodidad del usuario y los factores ambientales. Para los autores Koç y Maçka Kalfa (2021) el efecto de los dispositivos de control solar en el rendimiento energético de las construcciones se está convirtiendo en un campo de investigación cada vez más importante. Las investigaciones citadas han revelado la importancia de utilizar estos sistemas de protecciones en fachadas. Especialmente el uso de dispositivos externos es ventajoso en términos de ahorro de energía y de confort térmico y visual.

En función de lo expuesto, el objetivo del presente estudio consta en analizar diferentes posibilidades de diseño geométrico de parasoles de una ventana de orientación norte en un ambiente controlado, con el fin de valorar las mejoras resultantes en los consumos anuales de refrigeración, calefacción e iluminación en climas de alta heliofanía.

METODOLOGÍA

Las etapas metodológicas se basaron en el trabajo realizado por Nazari et al. (2023).

La Fig. 1 presenta el flujo de trabajo del estudio. Para la construcción del modelo se utilizó el software libre de diseño paramétrico Grasshopper, con el complemento visualizador de Rhinoceros 3D, software con licencia educacional por tres meses. Para realizar el análisis energético, se incorporó Ladybug y Honeybee. Estos complementos permiten la importación de datos climáticos de Energy Plus Weather Data EPW y resuelven los cálculos del modelo con motores de simulación reconocidos: OpenStudio, EnergyPlus, Daysim y Radiance.

Luego, para automatizar la iteración del análisis y guardar las capturas de pantalla se utilizó el complemento de Colibri. Esta herramienta fue desarrollada por Thornton Tomasetti (2019) y permite generar un gráfico interactivo de coordenadas paralelas para cada paso de la iteración con fines de exploración y visualización. A diferencia del proceso de optimización multiobjetivo donde la solución

deseada tiende a ser generada genéticamente en función del valor deseado, Colibri itera todas las posibilidades totales. De esta forma, se analizaron 81 combinaciones mediante el algoritmo mencionado.

El siguiente paso en el proceso de análisis es la importación de los datos generados en el Design Explorer para su visualización. Design Explorer es un panel de control en línea gratuito desarrollado también por Thornton Tomasetti (2019) que permite visualizar las imágenes por sus variables de entrada y salida. Por último, se analizaron los datos numéricos en Microsoft Excel.

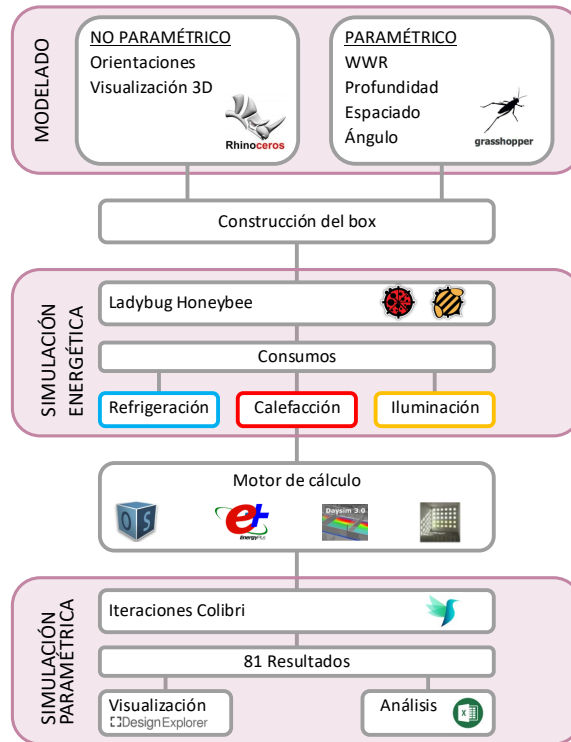


Figura 1. Flujo de trabajo. Fuente: Elaboración de los autores.

El sitio de estudio del presente trabajo corresponde al área del Gran Mendoza, ubicada a 32° 40' Latitud Sur, 68° 51' Longitud Oeste y 827 metros sobre el nivel del mar, en el piedemonte de la Cordillera de Los Andes. Emplazada en una zona semi-desértica y árida, presenta un clima templado árido continental con considerables variaciones estacionales y diarias. La región cuenta con una elevada heliofanía, con registros de radiación solar de 25.4 MJ/m² en diciembre (verano) y 9.10 MJ/m² en junio (invierno). Esta condición representa una oportunidad para el acondicionamiento pasivo de los espacios, siempre y cuando en el diseño de la envolvente se prevea una correcta relación entre los aventanamientos y los dispositivos de control.

El espacio de estudio propuesto corresponde a un box de 3.00 m por 3.00 m con una altura de 2.70 m. La construcción es en materiales típicos de la zona, especificados en la Tabla 1. El vidrio es simple con un espesor de 3 mm.

El período de corrida estudiado es anual. El archivo climático utilizado corresponde los datos de la estación meteorológica “El Plumerillo” Mendoza.

Tabla 1. Características constructivas. Fuente: Elaboración de los autores.

Construcción	Capas	MATERIALES MÁSCOS					MATERIALES NO MÁSCOS
		Rugosidad	Espesor	Conductividad	Densidad	Calor Específico	Resistencia térmica
			(m)	(W/m°C)	(Kg/m3)	(J/kg °C)	(m2-K/W)
Muro exterior	Revoque	Rugoso	0.025	1.16	1800	1000	
	Ladrillo	Medio Rugoso	0.2	0.81	1600	835	
	Revoque	Rugoso	0.025	1.16	1800	1000	
	Yeso	Suave	0.02	0.4	800	840	
Piso	Contrapiso	Rugoso	0.12	0.78	1600	780	
	Carpeta	Rugoso	0.12	0.78	1600	780	
Cubierta	Membrana						0.55
	Carpeta	Rugoso	0.12	0.78	1600	780	
	Lana mineral	Medio Rugoso	0.05	0.031	50	750	
	Machimbre	Medio Rugoso	0.25	0.11	600	1380	

Los valores de termostatos se seleccionaron de acuerdo a lo establecido por el Estándar ASHRAE 55; 21 °C y 26 °C con ropa típica propia para cada estación (0.9 clo y 0.5 clo respectivamente) durante actividad sedentaria (ASHRAE, 2009).

El setpoint de iluminación se consideró de 500 lx en un punto central a 0.80 m del piso con un esquema de uso diurno con 4 W/m² y en base a un *schedule* de encendido de 08:00 h a 23:00 h. No se consideran ganancias internas de equipos o personas.

La tasa de infiltraciones se supone constante con un valor de 1 renovación por hora (1 rph). Si bien en este estudio no se analiza la materialidad de las protecciones solares, sino más bien un análisis geométrico del sistema, se prevé el uso de materiales livianos con un espesor de 10 mm.

Para la relación ventana-pared (WWR), se consideró una abertura al norte con un WWR mínimo de 30%, como valor máximo un 90% y un valor intermedio de 60%.

Para analizar la incidencia solar, se utiliza el gráfico de sombreado del software Climate Consultant. Se seleccionó el ángulo solar correspondiente a las 12:00 hora solar del 21 de diciembre para conocer la máxima altura solar y, por ende, el mínimo requerimiento de profundidad de la protección. Para la localidad de Mendoza el valor de este ángulo corresponde a 82°. En consecuencia, se realiza el respectivo cálculo contemplando la situación más desfavorable, es decir una abertura con un WWR de 90%. Se obtuvo un valor de 0.35 m de profundidad (ver Fig. 2), valor que se va incrementando para las otras propuestas con un salto de 0.10 m hasta 0.55 m.

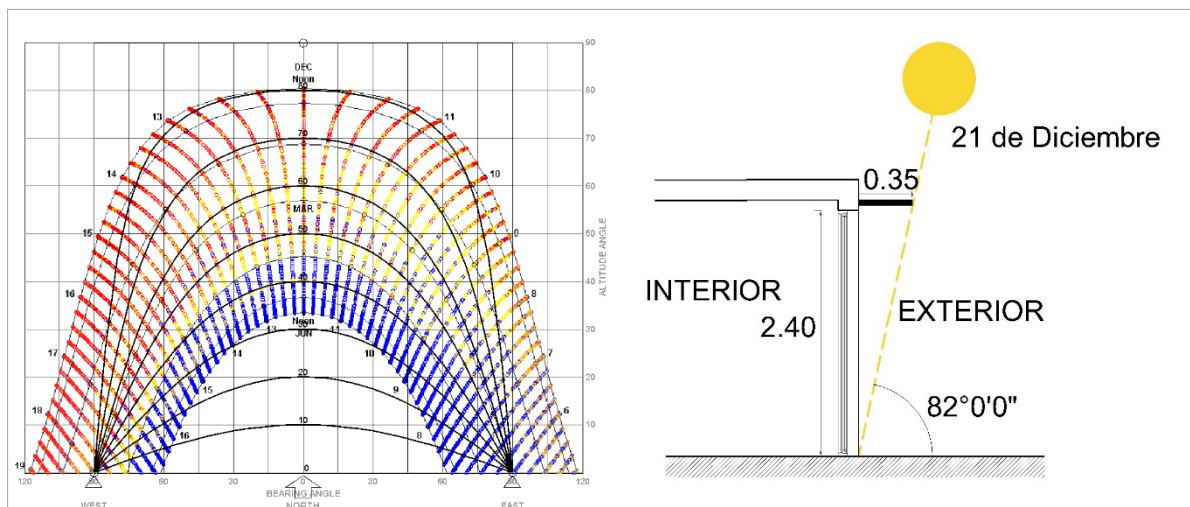


Figura 2. Cálculo de alero mínimo. Fuente: Software Climat Consultant. Elaboración de los autores.

La protección solar planteada para este estudio resulta un sistema modular de parasoles cuyas lamas están separadas equidistantemente. En consecuencia, para el espaciado se toman los valores establecidos en la profundidad, pensando para estudios futuros la implementación de dispositivos móviles. En cuanto al valor del ángulo de inclinación para las lamas se estudia la propuesta de 0°, es decir que el dispositivo se encuentra en posición horizontal, luego para una inclinación de 15° y posteriormente de 30°, para obtener mayor bloqueo de la radiación solar. Los intervalos propuestos en todas las variables fueron seleccionados en función de observar modificaciones interesantes y proporcionales al espacio, a los fines de este trabajo.

En la Tabla 2 se presentan los valores de los parámetros geométricos analizados.

Tabla 2. Variables de iteración. Fuente: Elaboración de los autores.

Parámetro	Intervalo	Rango	Valores	Total
WWR	30 (%)	30-90(%)	30-60-90(%)	3
Profundidad	10(cm)	0.35-0.55(m)	0.35-0.45-0.55(m)	3
Espaciado	10 (cm)	0.35- 0.55 (m)	0.35-0.45-0.55(m)	3
Ángulo	15°	0-30(°)	0-15-30(°)	3
Total de iteraciones				81

RESULTADOS

En la Fig. 3 se presentan los datos obtenidos del visualizador Design Explorer, que admite examinar los 81 escenarios posibles para este estudio. El mismo permite observar la combinación de variables de entrada al simulador: WWR (%), profundidad (m), espaciado (m), ángulo de inclinación (°); junto con las variables de salida: consumos de refrigeración, calefacción, e iluminación (kWh/m²).

Se puede observar que los valores de consumos de refrigeración tienen un mínimo de 60.6 kWh/m² y un máximo de 77.2 kWh/m². Es decir, la reducción de la carga de refrigeración es de 16.6 kWh/m² representando un 21%, al analizar los casos extremos. En cuanto a los consumos de calefacción, el valor mínimo es de 143.4 kWh/m² y el máximo de 214.3 kWh/m². En consecuencia, se puede disminuir 70.9 kWh/m² significando un 33%. Por otro lado, los consumos de iluminación presentan un mínimo de 13.8 kWh/m² y un máximo de 20.8 kWh/m². Por lo tanto, se puede reducir el consumo en 7 kWh/m² resultando un 34% menos.

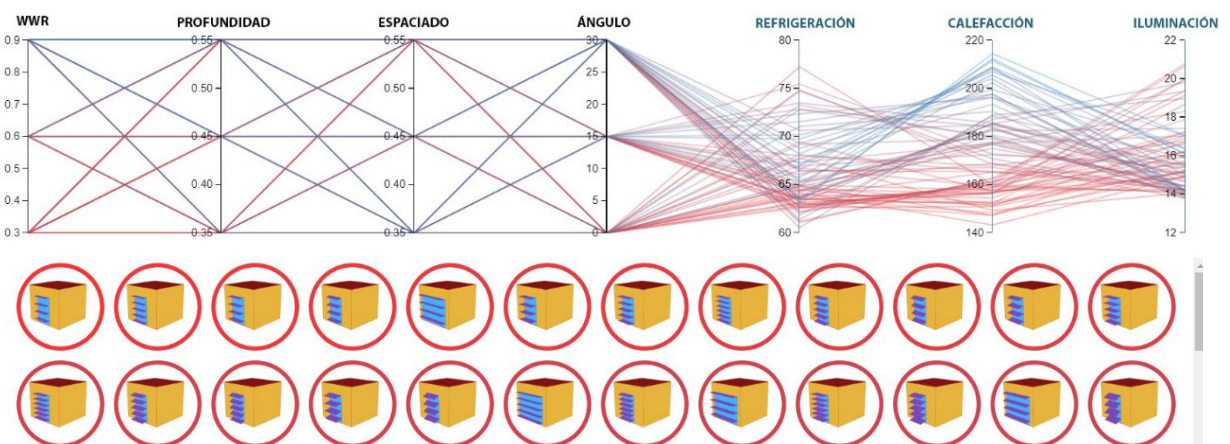


Figura 3. Visualización de datos en Design Explorer. Fuente: Elaboración de los autores.

En Fig. 4 se presenta un análisis de las tendencias generales observadas en cada una de las variables de estudio. En cada una de las variables se contempla todas las propuestas que respondan a la misma. Por ejemplo, para la variable WWR 0.3 se consideran todas las propuestas con: profundidad de 0.35 m a

0.55 m, espaciado de 0.35 m a 0.55 m, ángulo de 0° a 30°, y todas las posibles combinaciones entre ellas.

El incremento del WWR en la fachada norte, empleando diversos sistemas de protección, demostró un impacto significativo en el consumo de energía para calefacción. Si bien para refrigeración hay incrementos y en iluminación hay disminuciones, en este gráfico (Fig. 4) no se aprecian de manera contundente.

Se pudo constatar que, a medida que se aumenta la profundidad de las lamas, los valores de consumo energético también se incrementan. Este hallazgo sugiere que el aumento del sombreado ocasiona una mayor demanda energética, especialmente en lo que respecta a la calefacción, ya que la protección adicional limita la entrada de radiación solar y afecta el confort térmico.

Por el contrario, se observó que el incremento en el espaciado entre lamas resultó beneficioso para reducir el consumo de energía en calefacción. El aumento de la separación de las lamas permitió una mayor ganancia solar en invierno, lo que disminuyó la necesidad de activar el sistema de calefacción.

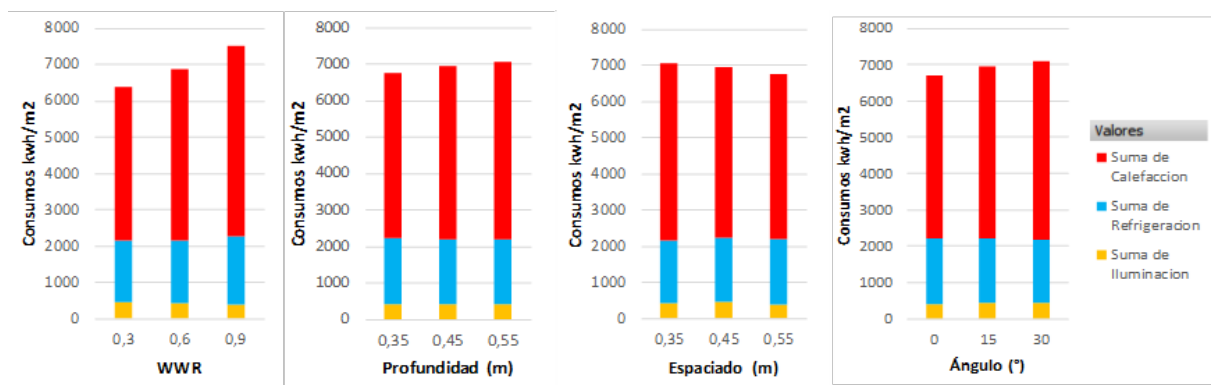


Figura 4. Consumo de energía anual desagregada para diferentes escenarios, en base a la variación de parámetros geométricos del sistema de protecciones: WWR, profundidad, espaciado y ángulo. Fuente: Elaboración de los autores.

En cuanto al ángulo de inclinación de las lamas, se pudo inferir que un aumento en dicho ángulo tuvo un efecto desfavorable en los consumos de energía, especialmente en el caso de la calefacción. Este resultado indica que un ángulo de inclinación más pronunciado limita la captación de radiación solar y, por ende, aumenta la demanda energética para mantener el confort térmico en el interior de la edificación.

En la Fig. 5 se presenta un diagrama de cajas y bigotes con todas las variables de análisis.

WWR

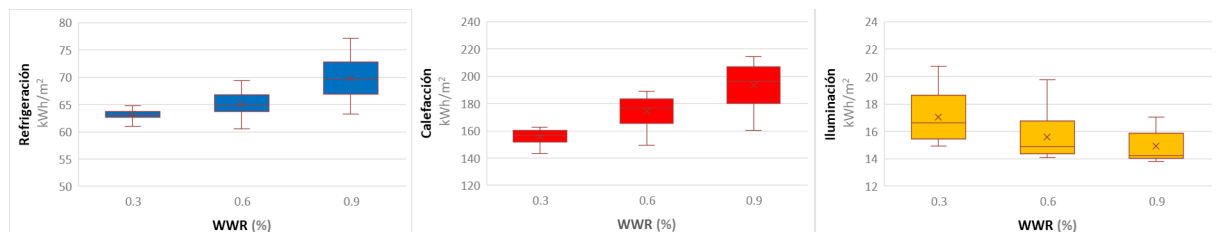


Figura 5. Diagrama de cajas y bigotes de la variable de iteración WWR. Fuente: Elaboración de los autores.

La variante de 30% de WWR presenta un rango intercuartílico muy pequeño en consumos de calefacción y refrigeración, resultando el escenario más favorable. Sin embargo, desde el punto de vista de consumo para iluminación el rango intercuartílico se incrementa notablemente, teniendo un máximo de 20.76 kWh/m², el valor máximo para la variable como era de esperarse.

La variante de 60% de WWR presenta mayor estabilidad en cuanto a los valores de refrigeración, sin embargo, analizando los requerimientos de calefacción presenta una asimetría de datos, con tendencia a los más altos, pero con un primer cuartil con una mínima de 149.4 kWh/m² resultando uno de los valores más bajos. En cuanto a iluminación cuenta con asimetría hacia los valores más bajos, con una mediana de 15.6 kWh/m².

La propuesta de 90% WWR presenta la mediana más alta con un valor de 69.8 kWh/m² para el caso de refrigeración. En cuanto a calefacción posee la caja desplazada hacia la parte superior, indicando definitivamente mayores consumos, logrando la máxima de 214.3 kWh/m². La mediana se sitúa en 193.1 kWh/m², siendo notablemente más alta que las otras propuestas.

Profundidad de lamas

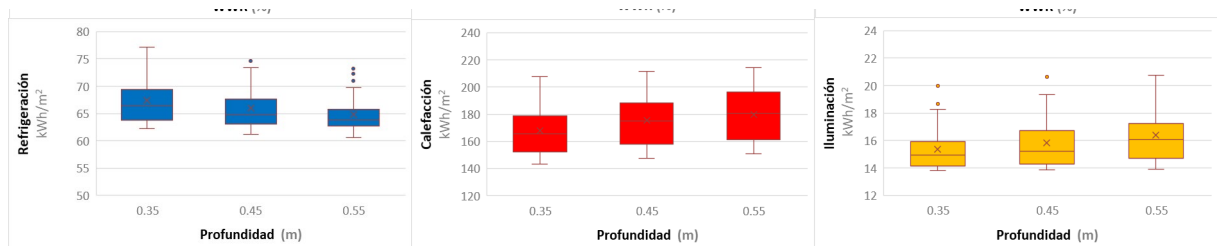


Figura 6. Diagrama de cajas y bigotes de la variable de iteración Profundidad. Fuente: Elaboración de los autores.

El incremento de la profundidad de 0.35 m a 0.55 m reduce los consumos de refrigeración de una mediana de 67.3 kWh/m², a valores más aceptables de 64.8 kWh/m². Sin embargo, en cuanto a la calefacción, se incrementa de una mediana de 167.7 kWh/m² a 179.9 kWh/m² y una máxima que alcanza 214.5 kWh/m². Desde el punto de vista lumínico, la profundidad también representa un aumento de la mediana de 15.3 kWh/m² a 16.3 kWh/m².

Espaciado de lamas

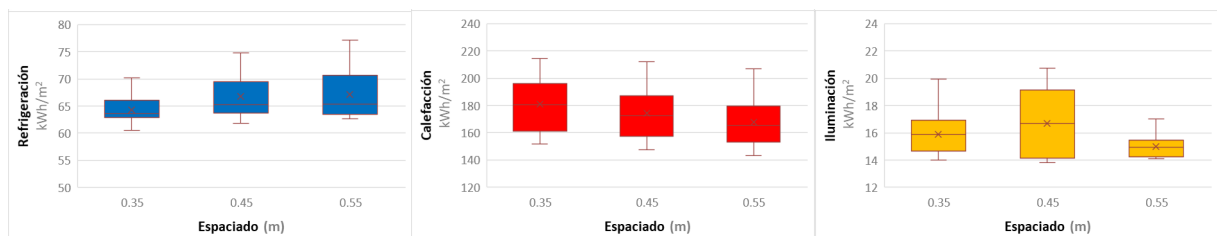


Figura 7. Diagrama de cajas y bigotes de la variable de iteración Espaciado. Fuente: Elaboración de los autores.

El espaciado de 0.35 m presenta la situación más favorable para refrigeración, con un rango intercuartílico estrecho. Sin embargo, para calefacción resulta de forma inversa. Tiene la mediana en 180.7 kWh/m² y una máxima de 240.2 kWh/m². Para iluminación presenta una máxima de 19.85 kWh/m² ubicando el tercer cuartil lejos de la mediana, establecida en 15.88 kWh/m².

El caso del espaciado a 0.45 m presenta valores intermedios tanto para refrigeración como para calefacción. Aunque el consumo mínimo anual de energía para iluminación ronda los 14 kWh/m² con cualquier propuesta de profundidad, para este caso la mediana asciende a 16.69 kWh/m², resultando el caso más desfavorable.

En cuanto al espaciado de 0.55 m en la variable de refrigeración la caja del diagrama se encuentra desplazada hacia la parte inferior, indicando una asimetría con respecto a la máxima de 77.2 kWh/m². Para calefacción, presenta la mediana más favorable ubicada en 167.5 kWh/m². Con respecto a la iluminación, presenta el rango intercuartílico más estrecho, y la mediana más propicia en 14.9 kWh/m².

Ángulo de inclinación de lamas

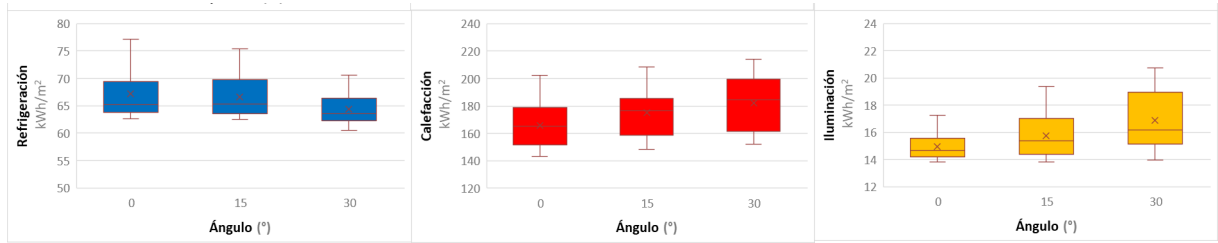


Figura 8. Diagrama de cajas y bigotes de la variable de iteración Ángulo. Fuente: Elaboración de los autores.

Incrementado la inclinación de la lama de 0° hasta 30° hacia abajo, disminuye la mediana de refrigeración de 67.5 kWh/m² a 64.3 kWh/m², resultando el caso más favorable. Sin embargo, cambiar el ángulo a 30° aumenta el valor de la mediana de calefacción de 165.7 kWh/m² a 182.2 kWh/m². La misma tendencia se observa para el requerimiento energético en iluminación incrementando de 14.9 kWh/m² a 16.8 kWh/m².

A continuación, se presentan en las Figs. 9 y 10 los peores escenarios seleccionados entre los 81 resultados. Estos escenarios consisten en valores altos de consumo de energía del edificio correspondiendo a combinaciones a evitar en el diseño arquitectónico.

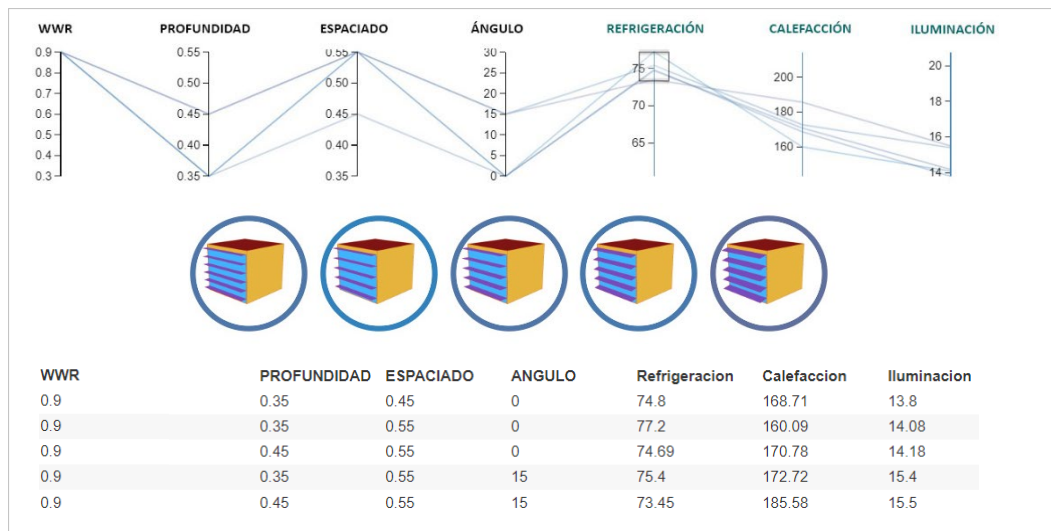


Figura 9. Casos más desfavorables para consumos de refrigeración. Fuente: Elaboración de los autores.

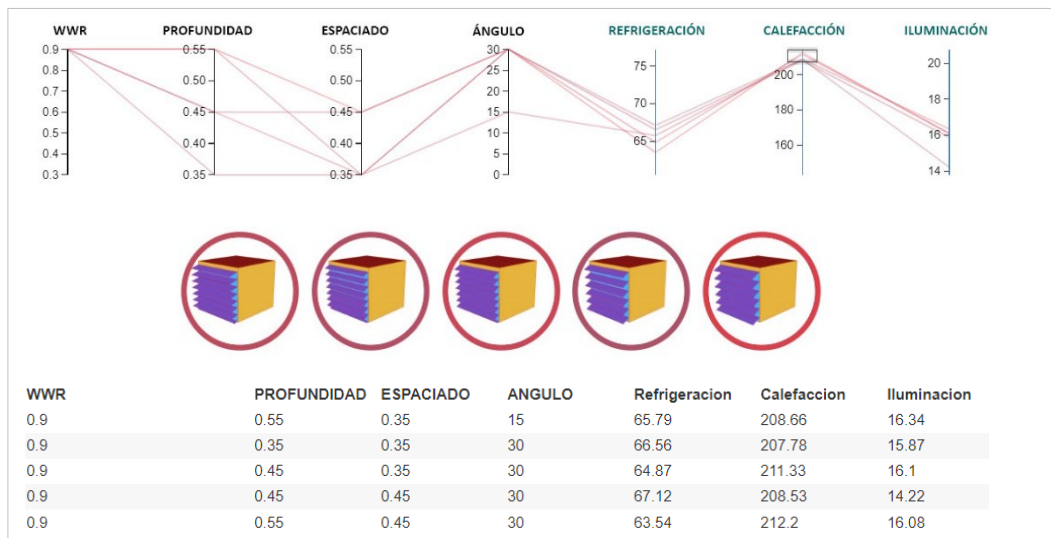


Figura 10. Casos más desfavorables para consumos de calefacción. Fuente: Elaboración de los autores.

En función a los resultados observado, los 5 casos más desfavorables para consumos de refrigeración y calefacción resultan en su totalidad con WWR de 90%.

Para refrigeración, el máximo consumo está dado por las propuestas que tienen la mínima profundidad (0.35 m) con un máximo espaciado (0.55 m y 0.45 m) y un ángulo de 0°, es decir que no logran bloquear el ingreso solar en su totalidad para la estación de verano.

Para calefacción, el máximo consumo está dado por las propuestas que incluyen la máxima profundidad (0.55 m y 0.45 m) con un mínimo espaciado (0.35 m) y un ángulo de 15° y 30° respectivamente, bloqueando el ingreso solar incluso en momentos del año que resulta necesario.

En las Figs. 11 y 12 se presentan los 5 casos más favorables de consumo energético respecto a la refrigeración y calefacción, respectivamente.

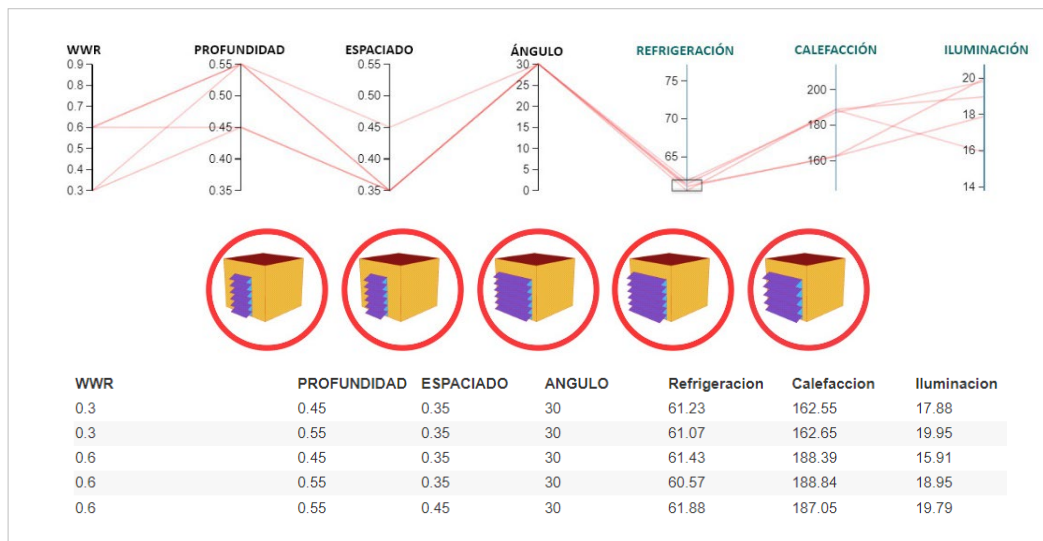


Figura 11. Casos más favorables para consumo de refrigeración. Fuente: Elaboración de los autores.

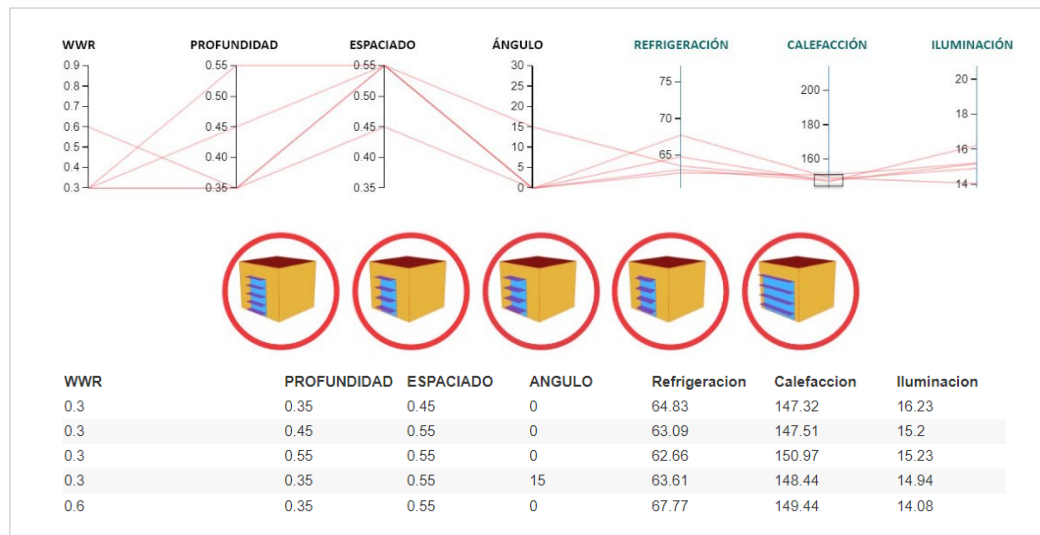


Figura 12. Casos más favorables para consumos de calefacción. Fuente: Elaboración de los autores.

De las 5 respuestas más favorables para refrigeración, 3 casos presentan un WWR de 30% y los otros 2 casos tienen aberturas de mayores dimensiones, en 60%. Resulta beneficioso la mayor cantidad de proyección de sombra posible, por lo tanto, las profundidades son altas, es decir 0.45 m y 0.55 m con espaciados pequeños (0.35 m) y un ángulo de inclinación de lamas en 30°.

En consecuencia, pueden considerarse las siguientes propuestas como posibles estrategias anuales:

- Para calefacción, 4 casos tienen un WWR de 30% y un 5to caso con un WWR de 60%. La primera propuesta consiste en un mínimo WWR 30% con una mínima profundidad 0.35 m y un espaciado intermedio de 0.45 m para un ángulo de inclinación de 0°. Seguida por una propuesta similar que amplía el espaciado a 0.55 m.
- La propuesta de WWR 60% que permite tener aberturas con mayores dimensiones, en su variable de profundidad de 0.35 m, espaciado de 0.55 m y un ángulo 0° consume 149.44 kWh/m². Es decir, 2.12 kWh/m² más que el caso más óptimo, representando una diferencia solo del 1.4%.
- En cuanto a la iluminación, la alternativa de la ventana de mayores dimensiones representa mejores condiciones lumínicas, consumiendo 14.08 kWh/m² un 13% menos que las otras propuestas.
- Resulta interesante que, si bien los casos más beneficiosos para minimizar los consumos de calefacción no coinciden con los óptimos de refrigeración, aun así, no representan escenarios del todo desfavorables. Condición que no se da de forma inversa, dado que los 5 casos óptimos de refrigeración poseen altos consumos de climatización en invierno, debido a su extendido sombreado.

CONCLUSIONES

Luego de analizar 81 posibilidades de resolución de ventana con sistema de protección de parasoles en la orientación norte para regiones de alta heliofanía, como Mendoza, se puede decir que la variable con más incidencia resulta ser WWR. En consecuencia, el tamaño de la abertura al momento del diseño del proyecto debe ser sumamente estudiada. Sin embargo, con un correcto análisis de las otras variables que componen al diseño del sistema de protección en sí, profundidad del dispositivo protección solar, espaciado y ángulo de lamas en el mismo, se pueden obtener buenos desempeños energéticos, brindando mayores posibilidades al momento del diseño.

Este estudio piloto subraya la importancia de la integración de herramientas de simulación paramétrica y visualización de datos en la toma de decisiones al momento de proyectar en arquitectura. La comprensión profunda de cómo diferentes variables afectan los resultados del análisis lleva a una concepción más eficiente de espacios, con un consumo energético reducido. Estos hallazgos subrayan la complejidad de la interacción entre las estrategias de control térmico y resaltan la necesidad de considerar un enfoque equilibrado en la búsqueda de soluciones energéticas sostenibles.

En consecuencia, para futuros estudios se podría considerar el estudio de soluciones de protección solar móviles con el fin de optimizar su rendimiento de acuerdo a las diversas condiciones a lo largo del año.

REFERENCIAS

- ASHRAE. (2009) Handbook of Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Gercek, M., Arsen, Z. D. (2019). Energy and environmental performance based decision support process for early design stages of residential buildings under climate change. *Sustainable Cities and Societies* 48, 101580B <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101580>
- Koç, S. G., Maçka Kalfa, S. (2021). The effects of shading devices on office building energy performance in Mediterranean climate regions. *Journal of Building Engineering*, 44, 102653. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102653>
- Konis, K. Gamas, A. Kensek, K. (2016) Passive performance and building form: an optimization framework for early-stage design support, *Sol. Energy*. 125 161–179, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.020>

- Krstić-Furundžić, A., Vujošević, M., Petrovski, A. (2019). Energy and environmental performance of the office building facade scenarios. *Energy*, 183, 437–447. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.231>
- Mangkuto, R. Koerniawan, M. Apriliyanthi, S. Lubis, I. Atthallah. Hensen, J. Paramita, B. (2021) Design optimisation of fixed and adaptive shading devices on four façade orientations of a high-rise office building in the tropics. *Buildings*. 12, 1-25. <https://doi.org/10.3390/buildings12010025>
- Nazari, S. Keshavarz, P. Mohammadi, M. Sareh, P. (2023) A multi-objective optimization approach to designing window and shading systems considering building energy consumption and occupant comfort. *Engineering Reports*. e12726,1-39 <https://doi.org/10.1002/eng2.12726>
- Niu, J. (2004) Some significant environmental issues in high-rise residential building design in urban areas, *Energy Build.* 36, 1259-1263. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.07.005>
- Thornton Tomasetti, Design Explorer <https://tt-acm.github.io/DesignExplorer/> Recuperado de URL el 12 de julio de 2023.
- Touma, A. Al, Ouahrani, D. (2018). The selection of brise soleil shading optical properties for energy conservation and glare removal: A case study in Qatar. *Journal of Building Engineering*, 20, 510–519. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.08.020>
- Toutou, A., Fikry, M., Mohamed, W. (2018). The parametric based optimization framework daylighting and energy performance in residential buildings in hot arid zone. *Engineering Journal*, 57, 3595–3608. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.04.006>
- Turrin, M. Von Buelow, P. Stouffs, R. (2011) Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms, *Adv. Eng. Inform.* 25, 656–675. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.07.009>
- Wafia, M., Azeddine, B., Amar, B. (2016). Bilateral Central Core and an External Envelope and its Impact on the Thermal Behaviour of Individual Self-construction Housing in the City of Biskra. *Procedia Environmental Sciences*, 34, 328–335. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.029>
- Yong, S. Kim, J. H. Gim, Y. Kim, J. Cho, J. Hong, H. Baik, Y. Koo, J. (2017) Impacts of building envelope design factors upon energy loads and their optimization in US standard climate zones using experimental design. *Energy Build.* 141, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.032>

PARAMETRIC STUDY OF SHADING DEVICES SYSTEMS FOR REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION IN HIGH HELIOPHANY CLIMATES

ABSTRACT In regions characterized by high heliophany, the implementation of efficient solar protection systems is essential. This article presents a parametric analysis conducted through simulation software, aiming to explore different geometric design possibilities for north-facing window shading devices. The variables of window-to-wall ratio (WWR), depth, spacing and angle of the louvers were modified, obtaining 81 iterations of possible design proposals. The annual energy consumption for cooling, heating and lighting was evaluated, analyzing the influence of each variable on performance. Significantly, WWR emerged as the most influential variable in terms of energy performance, underscoring the importance of a conscientious design of window dimensions. Furthermore, it is emphasized that a detailed analysis of the variables makes it possible to establish an appropriate combination to improve energy efficiency. These results offer several possibilities to optimize the design, achieving a balance between solar control and energy savings.

Keywords: Dynamic Simulation, Solar Shading, Energy Efficiency