

Optimización del diseño de un edificio público con estrategias de climatización pasiva en la localidad de Mar Chiquita, Argentina

Optimization of the design of a public building with passive conditioning strategies in the town of Mar Chiquita, Argentina

Otimização do projeto de um edifício público com estratégias de climatização passiva na cidade de Mar Chiquita, Argentina

DOI: <https://doi.org/10.18861/ania.2024.14.2.3967>

Dra. (Cand.) Arq. Kristina Atanasoska

Universidad Nacional de Mar del Plata

Argentina

Kristina.atanasoska@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6508-2575

Recibido: 08/10/2024

Aceptado: 23/11/2024

Cómo citar: Atanasoska, K. (2024). Optimización del diseño de un edificio público con estrategias de climatización pasiva en la localidad de Mar Chiquita, Argentina. *Anales de Investigación en Arquitectura*, 14(2). <https://doi.org/10.18861/ania.2024.14.2.3967>

Resumen

El sector edilicio global enfrenta un aumento en el consumo energético y la emisión de gases de efecto invernadero. En Argentina, la matriz energética está basada en fuentes no renovables, y el sector comercial y público destina cerca del 50% de la energía a calefacción y refrigeración. Este estudio se centra en el Centro de Interpretación de Mar Chiquita, un edificio diseñado bajo criterios de sustentabilidad, que utiliza el invernadero como estrategia de climatización pasiva. El objetivo es analizar el diseño del edificio y optimizarlo para lograr un menor uso energético para el acondicionamiento térmico. A través de simulaciones energéticas realizadas con EnergyPlus, se evaluaron diferentes diseños en relación con la proporción ventana-muro, las infiltraciones y el uso de postigos para optimizar el confort térmico y el consumo energético. Los resultados mostraron que una proporción excesiva de carpinterías contribuye al sobrecalentamiento, mientras que reducir la infiltración mejora el confort térmico en invierno. La implementación de postigos durante el día elimina la necesidad de refrigeración mecánica en verano y su uso nocturno en invierno disminuye la necesidad de calefacción. En conclusión, se destaca la importancia de las estrategias de diseño solar pasivo en climas templados, fríos, húmedos y la necesidad de investigar más sobre la proporción ventana-muro en edificios sin invernaderos, así como evaluar las infiltraciones reales tras la construcción.

Palabras claves: Eficiencia energética, diseño solar pasivo, diseño bioambiental, confort térmico, simulación dinámica, simulación energética, clima templado frío marítimo, invernadero, infiltraciones, proporción ventana-muro, uso de postigos.

Abstract

The global building sector faces an increase in energy consumption and greenhouse gas emissions. In Argentina, the energy matrix is based on non-renewable sources, and the commercial and public sectors allocate nearly 50% of their energy to heating and cooling. This study focuses on the Mar Chiquita Interpretation Center, a building designed under sustainability criteria that uses a sunspace as a passive climate control strategy. The objective is to analyze the building's design and optimize it to achieve lower energy use for thermal conditioning. Through energy simulations conducted with EnergyPlus, different designs were evaluated concerning the window-to-wall ratio, infiltration, and the use of shutters to optimize thermal comfort and energy consumption. The results showed that an excessive proportion of windows contributes to overheating, while reducing infiltration improves thermal comfort in winter. The implementation of shutters during the day eliminates the need for mechanical cooling in summer, while their nighttime use in winter decreases the need for heating. In conclusion, the importance of passive solar design strategies in temperate cold and humid climates is highlighted, along with the need for further research on the window-to-wall ratio in buildings without sunspaces and to evaluate actual infiltrations after construction.

Keywords: Energy efficiency, passive solar design, bioenvironmental design, thermal comfort, dynamic simulation, energy simulation, temperate cold maritime climate, sunspace, infiltrations, window to wall ratio, use of shutters.

Resumo

O setor da construção global enfrenta um aumento no consumo de energia e nas emissões de gases com efeito de estufa. Na Argentina, a matriz energética é baseada em fontes não renováveis, e o setor comercial e público destina cerca de 50% da energia para aquecimento e refrigeração. Este estudo centra-se no Centro de Interpretação de Mar Chiquita, um edifício concebido sob critérios de sustentabilidade, que utiliza um espaço solar anexado como estratégia de climatização passiva. O objetivo é analisar o projeto do edifício e otimizá-lo para obter menor consumo de energia para condicionamento térmico. Através de simulações energéticas realizadas com EnergyPlus, foram avaliados diferentes projetos em relação à relação janela-parede, infiltração e utilização de venezianas para otimizar o conforto térmico e o consumo de energia. Os resultados mostraram que uma proporcão excessiva de carpintaria contribui para o superaquecimento, enquanto a redução da infiltração melhora o conforto térmico no inverno. A implementação de venezianas durante o dia elimina a necessidade de resfriamento mecânico no verão, e usá-las à noite no inverno reduz a necessidade de aquecimento. Em conclusão, destaca-se a importância das estratégias de projeto solar passivo em climas temperados frios e úmidos e a necessidade de investigar mais sobre a relação janela-parede em edifícios sem espaços solares anexados, bem como avaliar as infiltrações reais após a construção.

Palavras-chave: Eficiência energética, projeto solar passivo, projeto bioambiental, conforto térmico, simulação dinâmica, simulação energética, clima temperado marítimo frio, espaço solar anexado, infiltrações, relação janela-parede, uso de venezianas.



Introducción

El sector edilicio a nivel mundial mantiene en aumento el consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). En 2022, se estimó que esta rama, comprendida por los edificios en uso y la construcción, fue responsable del 21% de emisiones de GEI y del 37% del consumo de energía, así como de las emisiones de CO₂ relacionadas (U.N. Environment, 2024) a report published by the UN Environment Programme (UNEP. Aproximadamente el 30% de esta energía se utilizó para acondicionamiento de los edificios (U.N. Environment, 2024) a report published by the UN Environment Programme (UNEP. Uno de los mayores desafíos de los edificios ahora y en el futuro es la reducción del consumo de energía en todas las etapas de su vida.

La matriz energética de Argentina depende en gran medida de los combustibles fósiles. Según el Balance Energético Nacional, en 2023, el 89% de la producción de energía primaria provino de fuentes no renovables (Ministerio de Economía, 2024). En 2019, el sector comercial y público representó el 8% de la demanda total de energía nacional y el consumo de energía para calefacción y refrigeración constituyó aproximadamente el 50% de esta demanda (Gil, 2021). El 5 de julio de 2024, la Secretaría de Energía de Argentina pidió que se optimizara el uso de energía en los edificios públicos para disminuir los costos, proteger el ambiente y fomentar la sustentabilidad (Resolución 148/2024, Ministerio de Economía. Secretaría de Energía). Esto es especialmente importante en la construcción de nuevos edificios en una matriz energética basada en combustibles fósiles.

Mar Chiquita, la localidad donde se desarrolla esta investigación, se ubica en la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires. De acuerdo a la norma argentina IRAM 11603 (1996), Mar Chiquita se encuentra en la zona IV d, templada fría marítima, caracterizada por la predominancia del frío, veranos no rigurosos, alta humedad relativa y

presencia de lluvias. Esta norma recomienda orientación al norte, noreste, noroeste y/o este para los ambientes principales, ventilación adecuada y protección solar en verano. Al considerar el clima, se pueden diseñar edificios con premisas bioambientales que contribuyan al consumo responsable de energía.

La arquitectura bioambiental o el diseño solar pasivo, es un enfoque efectivo para reducir el consumo energético en la construcción. El tema ha sido estudiado ampliamente en distintos climas (Gong et al., 2012; Moreno-Rangel, 2021; Pacheco et al., 2012). En climas fríos, el diseño solar pasivo enfatiza la buena orientación, el tamaño adecuado de las carpinterías para la captación solar y el uso de materiales con masa térmica, ha mostrado mejoras en el confort térmico y ahorro energético para calefacción (Andersen et al., 2017; Spanos et al., 2005; Zirnhelt & Richman, 2015). En zonas cálidas, para disminuir las temperaturas interiores y por ende, el uso de energía para la refrigeración, se enfatiza el uso de sombreado, el ajuste del tamaño de las carpinterías y la implementación de la ventilación

cruzada que ha demostrado ser muy importante (Chandel & Sarkar, 2015; Mercado et al., 2018; Mushtaha et al., 2021). En climas templados, es necesario considerar estrategias para la época fría como para la cálida (Morrisey et al., 2011; Toroxel & Silva, 2024). Los sistemas de ganancia solar pasiva, con dimensionado adecuado, pueden contribuir al uso eficiente de energía para climatización en climas templados.

Para analizar el aporte de los sistemas pasivos al ahorro energético en edificios nuevos, es necesario realizar simulaciones energéticas. Varios estudios coincidieron en que es importante implementar la arquitectura bioambiental en la etapa de diseño, realizar las simulaciones energéticas, conocer en profundidad el clima del lugar y tener en cuenta el confort térmico (Pacheco et al., 2012; Toroxel & Silva, 2024). Se ha demostrado que el uso de EnergyPlus como programa para realizar simulaciones dinámicas produce datos cercanos a los reales (Asdrubali et al., 2012; Bastos Porsani et al., 2023; Felices Puertolas et al., 2017)

Al momento de diseñar un edificio nuevo, la implementación de estrategias pasivas y su verificación mediante simulaciones energéticas son valiosas para lograr confort térmico con un menor consumo energético. El objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento térmico del proyecto del Centro de Interpretación de Mar Chiquita y optimizar el diseño para disminuir el consumo de energía para el acondicionamiento térmico. Se tuvieron en cuenta las normas IRAM obligatorias en la provincia de Buenos Aires y a través de la simulación dinámica con el programa EnergyPlus, se optimizó el diseño del edificio en cuestión.

Materiales y metodología

Clima de Mar Chiquita

De acuerdo al sistema de clasificación climática Köppen, la región de Mar Chiquita entra en el grupo Cfb, que

incluye los templados y húmedos (Kottek et al., 2006). Los datos analizados en este apartado provienen del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la estación más cercana: el aeropuerto de Mar del Plata (37°93'S y 57°58'W, con altitud de 21 m). Esta estación se encuentra a 25 km de distancia de la localidad de Mar Chiquita. Con los datos estadísticos de temperatura, bulbo seco y la humedad relativa, en un estudio anterior se elaboró el diagrama psicrométrico para Mar del Plata (Figura 1), donde se observa que entre abril y noviembre la temperatura media es inferior a 18°C. Además, la zona se caracteriza por una alta humedad relativa durante todo el año, que varía desde 74.4% en enero hasta 82.5% en julio (Atanasoska, 2021). Se tomó en cuenta este estudio por la cercanía entre las dos localidades.

El objeto de estudio

En 2023, la ONG Fundasur con un equipo de especialistas en arquitectura y desarrollo sustentable local, obtuvo por licitación el proyecto de diseño y la elaboración de la documentación técnica para la construcción del Centro de Interpretación que cumpla con criterios de sustentabilidad ambiental, social y económica en Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires. Esta licitación fue abierta en el marco del "Proyecto Inversiones Integradas Bajas en Carbono y Conservación en Ciudades Argentinas", del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Se diseñó un edificio de 120 m², que incluye un espacio público de reuniones, una oficina flexible, un baño público inclusivo, uno privado y la galería o invernadero como espacio de transición (Figura 2).

La premisa principal para contribuir al funcionamiento pasivo del edificio fue la incorporación del invernadero. En distintos climas, estos espacios ayudan a la calefacción pasiva en invierno y disminuyen la carga energética del edificio (Asdrubali et al., 2012; Felices Puertolas et al., 2017; Liu

et al., 2019; Molina et al., 2020; Rempel et al., 2013) sunspaces or solar greenhouses represent a very interesting solution. A sunspace is a closed, southbound volume, constituted by transparent surfaces, adjacent to a building, which reduces winter energy demand thanks to the use of solar gains. The effect of a typical solar greenhouse on the energy balance of a building was evaluated during the heating period with two stationary procedures (Method 5000 and EN ISO 13790. Monge-Barrio & Sánchez-Ostiz (2015) demostraron que la mejor orientación en el clima templado húmedo (Cfb) es hacia el sur (hemisferio norte); sin embargo, en verano puede ocurrir sobrecalentamiento. En el presente estudio, se orientó el edificio al norte y además del aporte del invernadero, se analizaron las ganancias o pérdidas de energía a través de las carpinterías en el espacio de uso adyacente.

En cuanto a la proporción ventana-muro (PVM), se elaboraron tres modelos cuyas especificaciones se pueden observar en la Tabla 1. El Modelo Base (MB) fue la primera propuesta de diseño, mientras que el Modelo 1 (M1) se utilizó

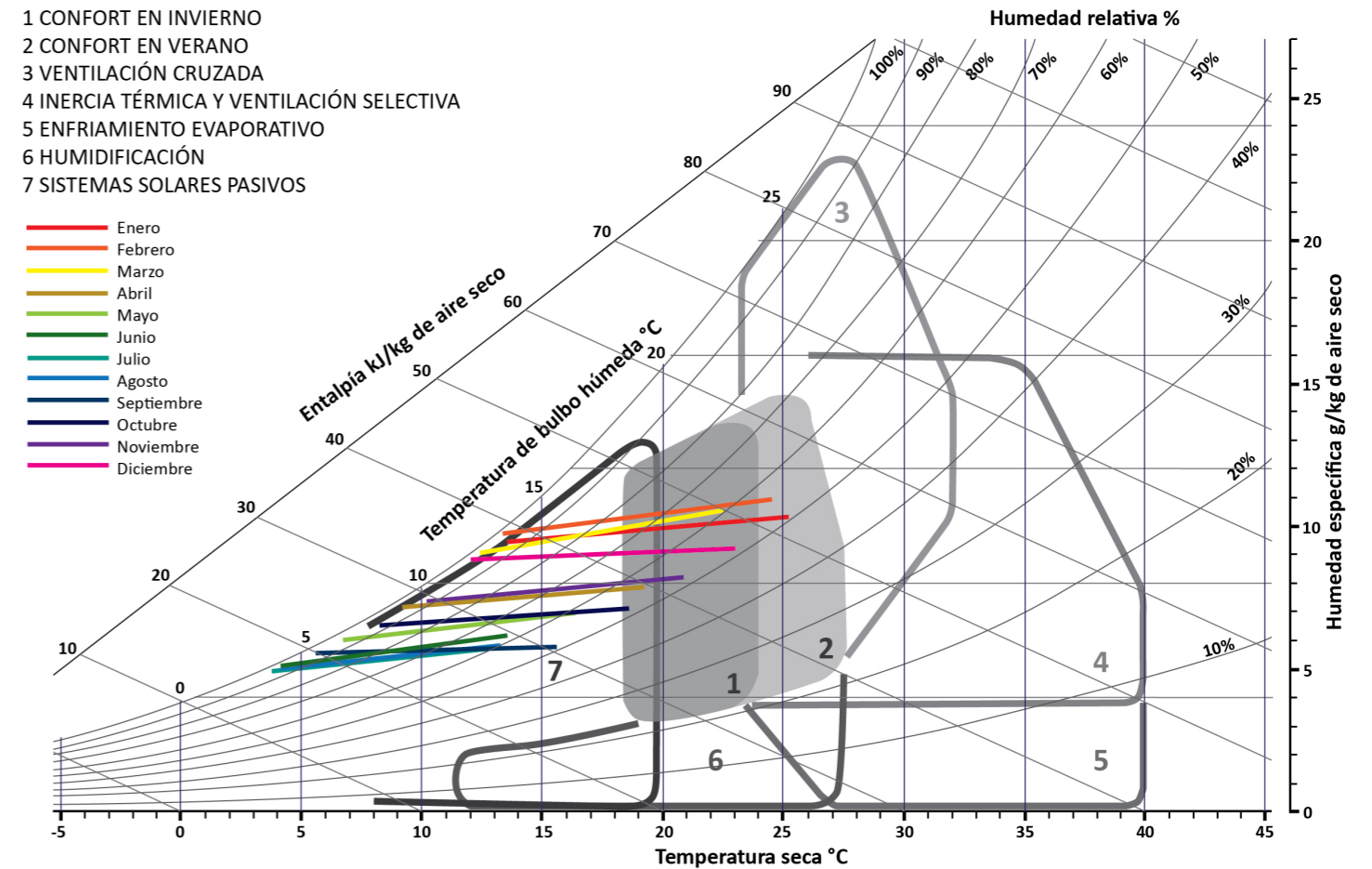


Figura 1. Diagrama psicrométrico de Mar del Plata.

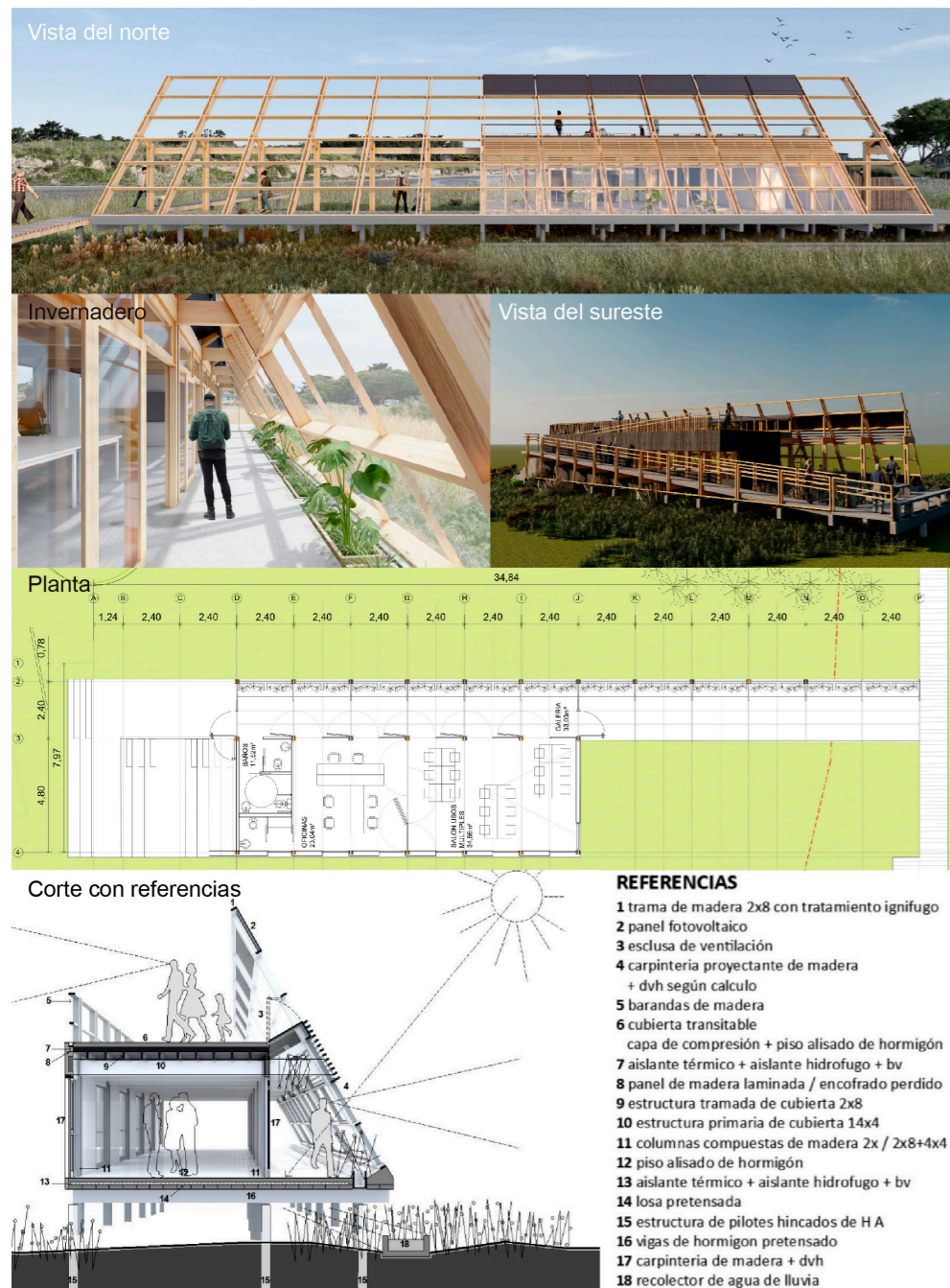


Figura 2. Documentación técnica del Centro de Interpretación.

Espacio	Orientación	Proporción ventana muro (%)		
		MB	M1	M2
Invernadero	Norte	90	90	50
	Este	90	90	60
	Oeste	90	90	60
Espacio de uso	Este	40	0	30
	Oeste	10	0	10
	Sur	40	0	30

Tabla 1. Proporción ventana-muro en los tres modelos.

como control para observar los aportes de las carpinterías fuera del invernadero. El Modelo 2 (M2) presenta un diseño mejorado que mantiene las carpinterías orientadas al este y sur, con un tamaño reducido. Esta decisión está relacionada con la ventilación cruzada y las visuales del predio. Las carpinterías al oeste (en los baños), en el MB y en el M2 tienen postigos fijos, ya que eran necesarios por razones de privacidad. Las carpinterías del este y sur del espacio de uso en el M2 se simularon con y sin postigos, con horarios de cierre en invierno durante la noche y abiertos durante el día, y en verano al revés.

Para atender al sobrecalentamiento en verano, se recomienda la ventilación y el sombreado (Bataneh & Fayed, 2011; Mercado et al., 2018; Mushtaha et al., 2021). La ventilación propuesta es cruzada: el aire ingresa por las ventanas orientadas al sur y, una vez que se calienta, se eleva y sale por las banderolas hacia el invernadero, desde donde se evacua (Figura 3). Los tres modelos se simularon con la ventilación calculada de acuerdo con la norma IRAM 11900 (2018), la cual propone ventilación nocturna entre las

23:00 y las 07:00. Para el sombreado, en los tres modelos se propuso un parasol de secciones de madera de 2" x 6", colocado con separación para dejar pasar los rayos del sol en invierno e impedir su ingreso entre el equinoccio de primavera y el equinoccio de otoño (Figura 3).

A su vez, resultó importante tener en cuenta la infiltración, la cual fue calculada de acuerdo con la norma IRAM 11900 (2018) (Tabla 2). En un edificio público construido, Muñoz et al. (2022) comprobó que la infiltración calculada según esta norma fue muy alta y que las temperaturas interiores se lograban con el 10% de la infiltración propuesta. En este estudio, se analizaron los modelos del edificio con el 100%, 50% y 20% de la infiltración recomendada por la norma.

Materialidad

El edificio se proyectó elevado, con losetas prefabricadas, aislación térmica de EPS (del inglés expanded polystyrene)

de 5 cm y terminación de cemento alisado. La estructura está compuesta por columnas y vigas de madera, mientras que el cerramiento vertical consiste en paneles SIP (del inglés Structural Insulated Panel) con aislación térmica de EPS de alta densidad de 10 cm, revestimiento interior de placas de yeso y revestimiento exterior de madera de Eucaliptus Grandis de 1" con cámara de aire. La cubierta es transitable realizada con paneles SIP con EPS de 10 cm y terminación de cemento alisado. Las carpinterías exteriores son de Policloruro de Vinilo (PVC) con Doble Vidriado Hermético (DVH) 6+12+6, mientras que la interior, la que separa el invernadero con el espacio de uso, es de PVC con vidrio simple de 6 mm. Los datos de la transmitancia térmica de los cerramientos, se realizaron de acuerdo con la norma IRAM 11605 (1996) y los de las carpinterías se basaron en la norma IRAM 11507-4 (2010), cuyos resultados se presentan en la Tabla 3.

Modelado y simulación

El modelado se realizó con el programa SketchUp, la simulación se llevó a cabo con EnergyPlus, para visualizar y comparar los gráficos, se utilizó el programa Data Viewer. En la figura 4 se observa el modelado del MB y del M2. El espacio de uso y el invernadero se simularon como dos zonas térmicas.

Los horarios de uso se generaron de acuerdo a la función principal de oficina, donde trabajan cuatro personas. Se agregaron las cargas de iluminación y equipos eléctricos (computadoras), mientras que en el invernadero solo se consideró la carga de iluminación.

Para analizar el consumo energético los modelos se ensayaron con las cargas ideales: la calefacción encendida entre mayo y octubre para lograr una temperatura de 18°C, y la refrigeración entre diciembre y marzo, activada cuando la temperatura interior alcanza los 27°C. Ambos

	Infiltración (m ³ /s)		
	MB	M1	M2
Espacio de uso	0,052	0,029	0,049
Invernadero	0,075	0,075	0,066

Tabla 2. Infiltración calculada para los tres modelos

Muro	Cubierta	Piso	Carpintería exterior	Carpintería interior
0,30	0,31	0,52	2,61	4,65

Tabla 3. Transmitancia térmica de los cerramientos K (W/m²K)

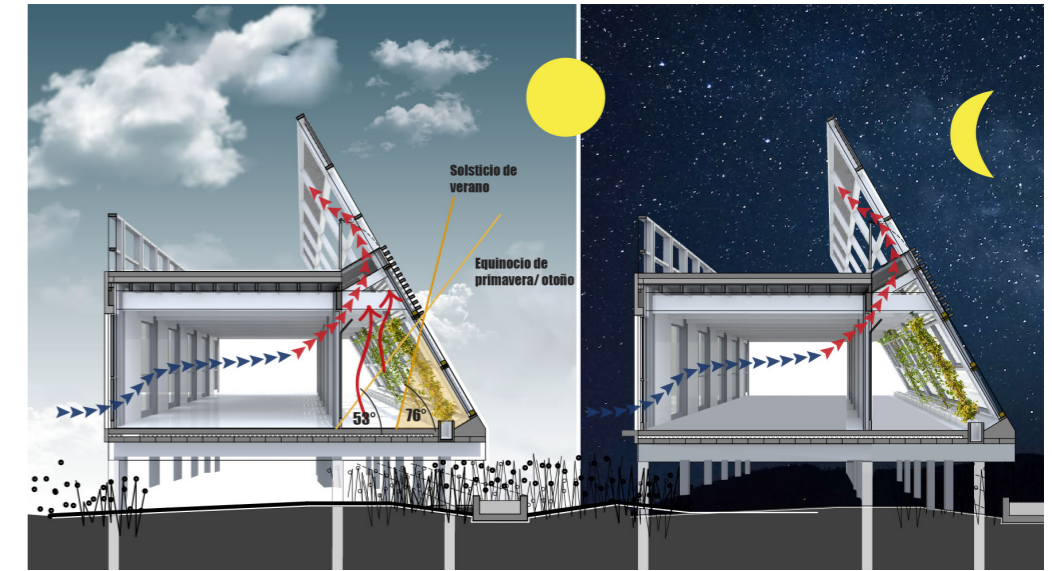


Figura 3. Funcionamiento pasivo de verano.

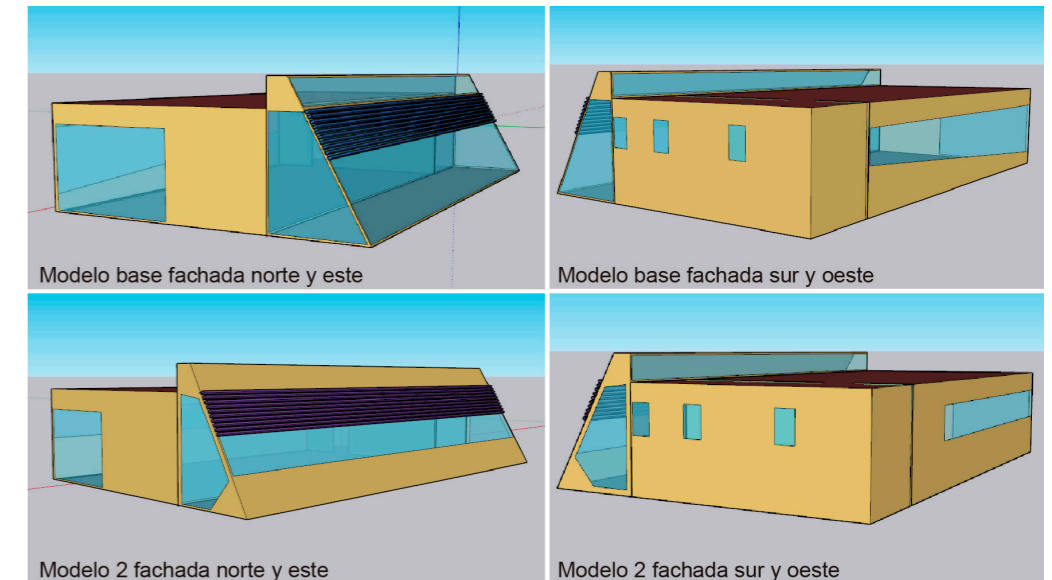


Figura 4. Modelado del MB y del M2 del Centro de Interpretaciones.

termostatos se programaron para el uso de lunes a viernes, de 08:00 a 17:00. Cabe mencionar que el único espacio con acondicionamiento térmico fue el espacio de uso.

Resultados

Se graficaron las temperaturas exteriores e interiores del espacio de uso y del invernadero considerando la primera semana de dos meses representativos: enero, de la época cálida y julio, de la fría (Figura 5). La primera simulación se realizó con la infiltración calculada de acuerdo con la norma IRAM 11900 para los tres modelos, sin tener en cuenta la ventilación. En enero, se observó que las temperaturas interiores máximas del MB fueron más elevadas, mientras que en los otros dos modelos fueron más homogéneas. Sin embargo, en los tres modelos se generó sobrecalentamiento. En julio, el M1, que no tiene aberturas en el espacio de uso, presentó las temperaturas más altas, aunque en los tres modelos las temperaturas estuvieron casi siempre por debajo del rango de confort.

A continuación, se simularon los tres modelos con la ventilación de acuerdo con la norma IRAM 11900: el MB y el M2 con ventilación cruzada de 1,29 m³/s, mientras que el M1, con ventilación simple de 0,58 m³/s, ya que ventila solo a través del invernadero. En la figura 6 se observa que hubo una mejora significativa en las temperaturas de los tres modelos. Las temperaturas del M2 se asemejaron a las del M1; sin embargo, las máximas siguieron por arriba de los 27°C.

Dados estos resultados, se compararon las temperaturas interiores del espacio de uso del M2 con la infiltración al 100%, 50% y 20% de la calculada por la norma. En la figura 7 se observa que, en verano la infiltración es beneficiosa, mientras que en invierno, con la infiltración al 20%, en los días con mayor radiación solar las temperaturas diurnas alcanzaban el rango de confort.

A continuación, se ensayó el M2 con la implementación de postigos con horarios determinados: en verano, se cierran durante el día y en invierno, durante la noche. En la figura 8 se observa la temperatura del espacio de uso sin postigos, con postigos al este y al sur, y con postigos al este, al sur y también sobre las carpinterías del norte del invernadero. El uso de postigos en el invernadero presentó una mejora muy importante en cuanto al sobrecalentamiento en verano y un leve aumento en las temperaturas del espacio de uso en julio.

Finalmente, para verificar el ahorro energético, se comparó el consumo de energía para calefacción y para enfriamiento del MB, M1 y M2 y los M2 mejorados (Figura 9). En todos los modelos, además de la infiltración, se incluyó la ventilación en verano. Se observó que la eliminación completa de las superficies vidriadas en el espacio de uso resultó en una mejora de 50,16% en el consumo de energía total para el acondicionamiento. Con la disminución de las carpinterías, se generó una reducción en el consumo del 20%, mayormente en la energía destinada a refrigeración.

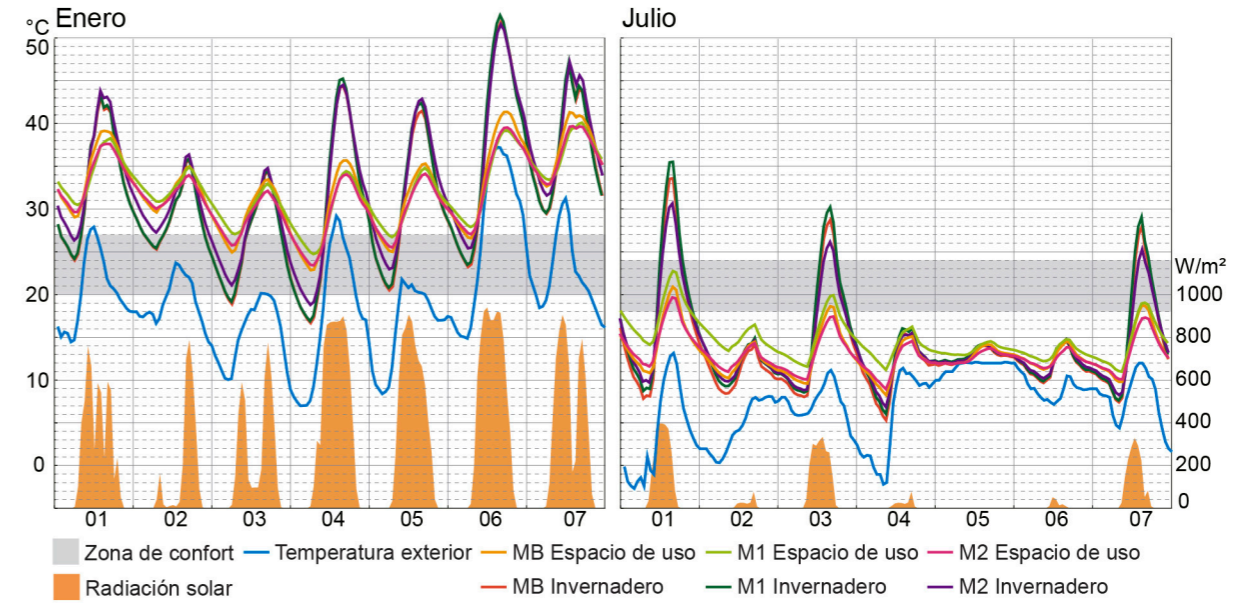


Figura 5. Temperaturas en enero y julio del MB, M1 y M2 con 100% de infiltración.

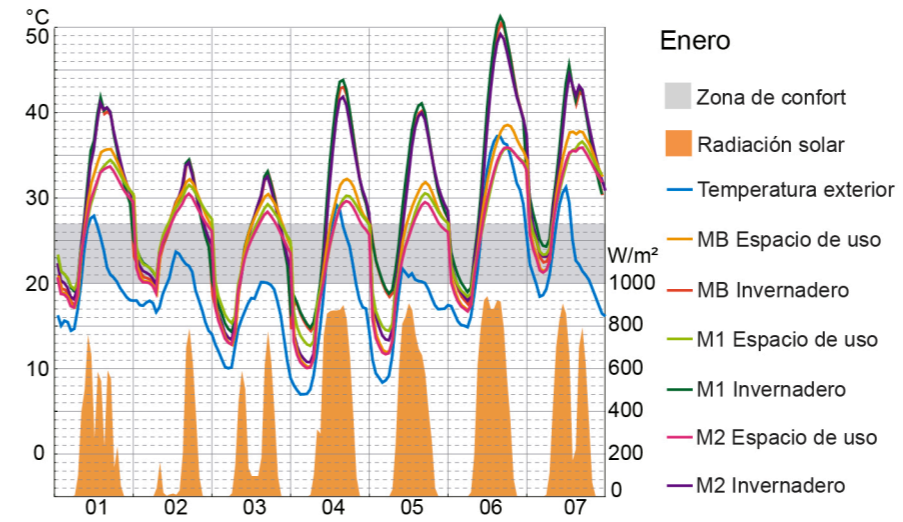


Figura 6. Temperaturas en enero del MB, M1 y M2 con ventilación.

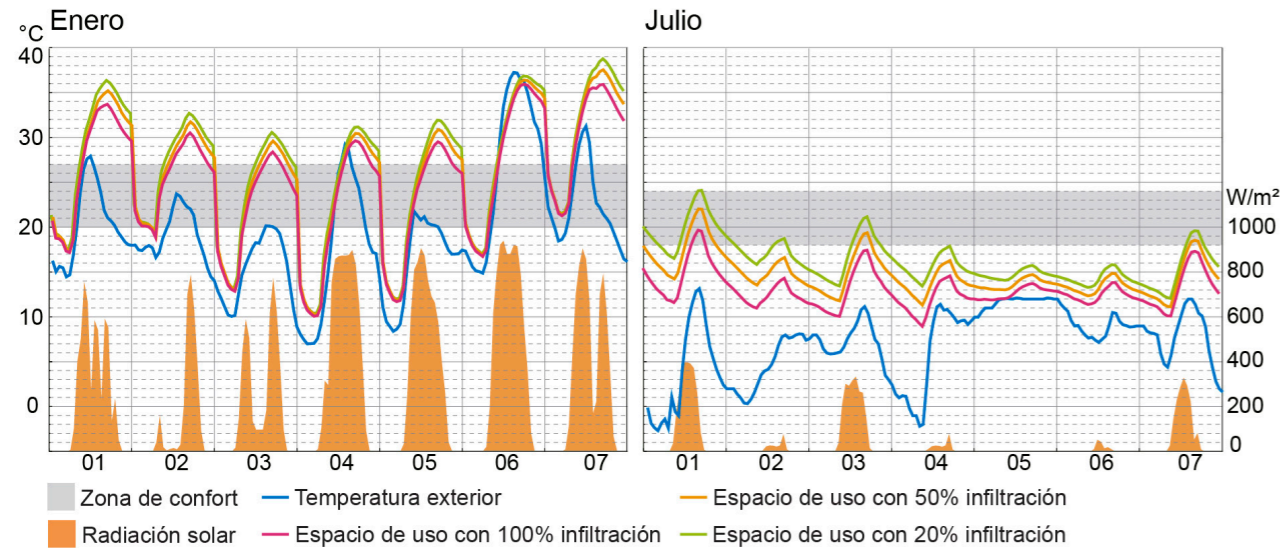


Figura 7. El efecto de la infiltración sobre las temperaturas del M2 en enero y en julio.

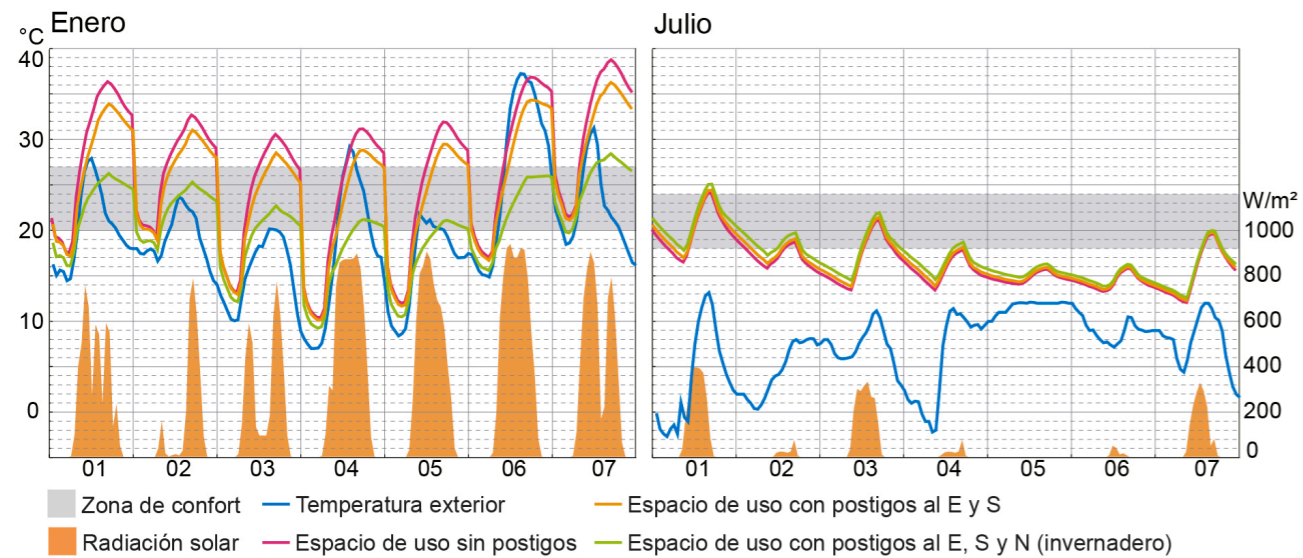


Figura 8. El efecto del uso de los postigos sobre las temperaturas del M2 en enero y en julio.

Con la infiltración al 50% de la calculada por la norma, se produjo un descenso de 29,56% en la energía utilizada y con el 20% de la infiltración, se logró un ahorro de 42,07%. Los postigos sobre las ventanas del este y sur mejoraron el consumo energético en un 20,45%, mientras que, al agregar postigos sobre la carpintería del invernadero, orientada al norte, se alcanzó una disminución del 34,05% con respecto al modelo que no tiene postigos.

Discusión

La proporción ventana-muro resultó ser muy importante para el confort térmico en el clima templado y, por ende, para el consumo energético. Se observó que una PVM del 40% sobre la fachada este y sur es excesiva para el clima de Mar Chiquita, ya que no solo aporta a la generación de sobrecalentamiento en el espacio principal, sino que también influye en las pérdidas de calor durante el invierno. Al disminuir la PVM de las fachadas sur y este del espacio

de uso, así como la de las fachadas del invernadero (Tabla 1), se logró un ahorro del 66% en la energía de refrigeración.

La estanqueidad del edificio mejoró el confort en invierno. El modelo que se simuló con el 20% de las infiltraciones calculadas por la norma IRAM 11900 tuvo un consumo de energía para calefacción reducido en un 50,67%. Sin embargo, se observó un aumento en las temperaturas interiores en verano, lo que provocó un incremento del 13,56% en la energía destinada al enfriamiento.

El uso de los postigos influyó más sobre el consumo de energía para el enfriamiento que en el de la calefacción. La instalación de postigos al este y sur en el espacio de uso, y al norte en el invernadero, hizo que las temperaturas del ambiente en enero disminuyeran entre 8 °C y 10 °C en comparación con el modelo que no tenía postigos. También se notó una reducción en el salto térmico que se producía con la ventilación, suavizando las diferencias de temperatura entre el día y la noche. El uso adecuado de los postigos anuló la necesidad de refrigeración mecánica,

mientras que, en invierno mejoró el confort térmico y el consumo energético en un 12,19%.

Conclusiones

En este estudio se analizan algunas estrategias pasivas en un edificio que utiliza el invernadero como método de climatización pasiva en un clima templado frío húmedo. A través de simulaciones dinámicas realizadas con el programa EnergyPlus, se analizó la influencia de la proporción ventana-muro, las infiltraciones y el uso de postigos en el proyecto del Centro de Interpretación de la localidad de Mar Chiquita, Argentina. El análisis térmico y energético mediante la simulación resultó ser un excelente medio para optimizar el proyecto en la fase de diseño.

Se demostró que la relación entre el porcentaje de superficie opaca y vidriada es fundamental para el clima. Una fachada con un exceso de vidrio no solo es más costosa en la fase de construcción, sino también a lo largo de la vida útil del edificio. En el modelo de control, donde se eliminaron las ventanas del espacio de uso orientadas al este, sur y oeste, se logró un consumo de 12,26 kWh/m²año, lo cual se encuentra dentro de los parámetros de Passivhaus. Sin embargo, en el diseño del Centro de Interpretación, se ponderó la calidad espacial y visual, y finalmente se redujeron las carpinterías, lo que significó una mejora del 20% en comparación con el modelo base.

Las infiltraciones resultaron sumamente importantes para el comportamiento térmico del edificio en la época fría. Al disminuir las infiltraciones al 50% de lo que propone la norma argentina, se logró un consumo total de 13,86 kWh/m²año, también dentro de los límites de la norma Passivhaus. Dado que se trata de un proyecto, no se puede conocer con exactitud cuál sería la infiltración real en el edificio. No obstante, este parámetro indica la necesidad de buscar una mayor estanqueidad en los edificios, lo que implica el uso de ventanas con buenas prestaciones y

atención a las uniones entre los distintos elementos que componen las fachadas.

En una zona donde los veranos no son pronunciados, es importante evitar el sobrecalentamiento en los edificios. El uso de postigos durante el día, cuando la radiación solar es fuerte, logró eliminar la necesidad de refrigeración mecánica. En el proyecto final, se decidió proponer postigos sobre las carpinterías del sur y este, lo que minimiza el sobrecalentamiento, mientras que se omitieron los de la fachada norte, ya que aumentaban significativamente el costo de la construcción.

Las estrategias adecuadas de diseño solar pasivo pueden mejorar el confort térmico y reducir notablemente el uso de energía para climatización en el clima templado frío húmedo. La mayor complejidad que presenta este clima es la necesidad de implementar estrategias para la época fría sin provocar sobrecalentamiento en el verano. En el futuro, se debe seguir investigando sobre la proporción ventana-muro para edificios que no utilizan invernaderos. Por otro

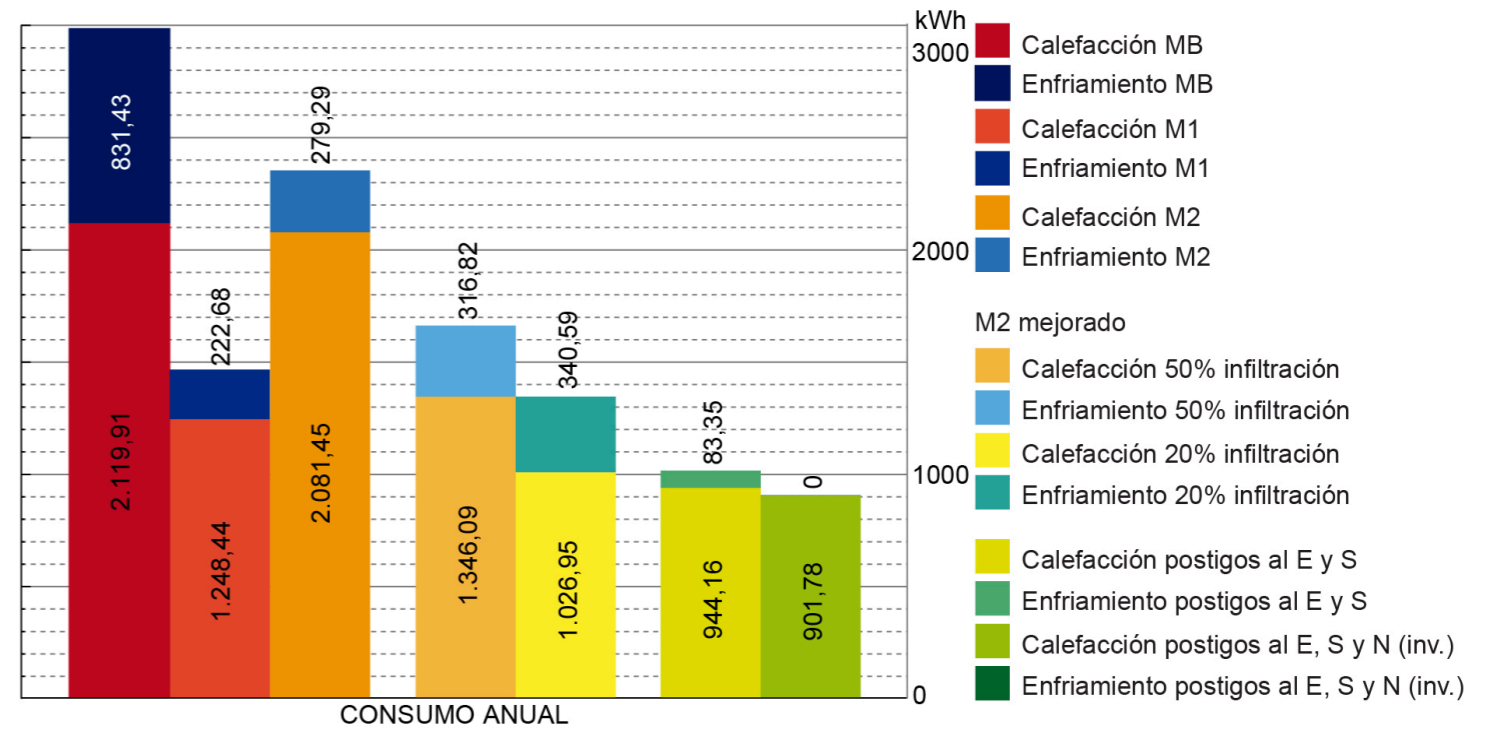


Figura 9. Consumos de energía para acondicionamiento del MB, M1, M2 y los M2 mejorados.

lado, una vez que se construya el edificio, se deberían analizar las infiltraciones reales y compararlas con lo que propone la norma IRAM 11900.

Notas finales

Aprobación final del artículo:

Ma. Arq. Andrea Castro Marcucci, editora en jefe aprobó la publicación de este artículo.

Contribución de autoría:

La conceptualización, análisis formal de la obra o proyecto, investigación, elaboración, revisión y edición del manuscrito ha sido realizada íntegramente por su autor.

Disponibilidad de los datos:

El conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio no se encuentra disponibles para su uso público. Los datos de la investigación estarán disponibles para los revisores, si así lo requieren.

Referencias

Andersen, M., Discoli, C. A., Melisa Viegas, G., & Martini, I. (2017). Monitoreo energético y estrategias de RETROFIT para viviendas sociales en clima frío. *Revista Hábitat Sustentable*, 7(2), 50-63. <https://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.02.05>

Asdrubali, F., Cotana, F., & Messineo, A. (2012). On the Evaluation of Solar Greenhouse Efficiency in Building Simulation during the Heating Period. *Energies*, 5(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/en5061864>

Atanasoska, K. (2021). Caracterización bioclimática de Mar del Plata.: Recomendaciones para el Diseño Arquitectónico. *Investigación + Acción*, 24. <https://revistasfaud.mdp.edu.ar/ia/article/view/560>

Bastos Porsani, G., Casquero-Modrego, N., Echeverría Trueba, J. B., & Fernández Bandera, C. (2023). Empirical evaluation of EnergyPlus infiltration model for a case study in a high-rise residential building. *Energy and Buildings*, 296, 113322. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113322>

Bataineh, K. M., & Fayez, N. (2011). Analysis of thermal performance of building attached sunspace. *Energy and Buildings*, 43(8), 1863-1868. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.030>

Chandel, S. S., & Sarkar, A. (2015). Performance assessment of a passive solar building for thermal comfort and energy saving in a hilly terrain of India. *Energy and Buildings*, 86, 873-885. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.035>

Felices Puertolas, R., Viñas Arrebola, C., & Losada Gonzalez, J. C. (2017). Análisis de la simulación y monitoreo real de un invernadero en la implicación térmica de un edificio. Un caso Práctico. *Dyna Ingeniería e Industria*, 92(1), 209-213. <https://doi.org/10.6036/8202>

Gil, S. (2021). «Eficiencia Energética en Argentina», *apostando por conformar un sector energético más sostenible y eficiente en Argentina*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14886.86087>

Gong, X., Akashi, Y., & Sumiyoshi, D. (2012). Optimization of passive design measures for residential buildings in different Chinese areas. *Building and Environment*, 58, 46-57. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.06.014>

IRAM 11507-4. (2010). *Carpintería de obra y fachadas integrales livianas. Ventanas exteriores*.

IRAM 11603. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*.

IRAM 11605. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos*.

IRAM 11900. (2018). *Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo*.

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>

Liu, Z., Wu, D., Li, J., Yu, H., & He, B. (2019). Optimizing Building Envelope Dimensions for Passive Solar Houses in the Qinghai-Tibetan Region: Window to Wall Ratio and Depth of Sunspace. *Journal of Thermal Science*, 28(6), 1115-1128. <https://doi.org/10.1007/s11630-018-1047-7>

Mercado, M. V., Barea-Paci, G. J., Esteves, A., & Filippín, C. (2018). Efecto de la ventilación natural en el consumo energético de un edificio bioclimático. Análisis y estudio mediante energy plus. *Hábitat Sustentable*, 54-67. <https://doi.org/10.22320/07190700.2018.08.01.05>

Ministerio de Economía. (2024). *Balances Energéticos*. Argentina.gob.ar. <https://www.argentina.gob.ar/econom%C3%ADa/energ%C3%ADa/planeamiento-energetico/balances-energeticos>

Molina, J. O., Lefebvre, G., Horn, M., & Gómez, M. M. (2020). Diseño de un módulo experimental bioclimático obtenido a partir del análisis de simulaciones térmicas para el centro poblado de Imata (4519 m s.n.m.) ubicado en Arequipa, Perú. *Información tecnológica*, 31(2), 173-186. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000200173>

Monge-Barrio, A., & Sánchez-Ostiz, A. (2015). Energy efficiency and thermal behaviour of attached sunspaces, in the residential architecture in Spain. Summer Conditions. *Energy and Buildings*, 108, 244-256. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.037>

Moreno-Rangel, A. (2021). Passivhaus. *Encyclopedia*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1010005>

Morrissey, J., Moore, T., & Horne, R. E. (2011). Affordable passive solar design in a temperate climate: An experiment in residential building orientation. *Renewable Energy*, 36(2), 568-577. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.08.013>

Muñoz, N., Thomas, L. P., & Marino, B. M. (2022). Infiltración en un edificio complejo. *Anales AFA*, 33(Special Fluids), 71-76. <https://doi.org/10.31527/analesafa.2022.fluidos.71>

Mushtaha, E., Salameh, T., Kharrufa, S., Mori, T., Aldawoud, A., Hamad, R., & Nemer, T. (2021). The impact of passive design strategies on cooling loads of buildings in temperate climate. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 101588. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101588>

Pacheco, R., Ordóñez, J., & Martínez, G. (2012). Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3559-3573. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.045>

Rempel, A. R., Rempel, A. W., Cashman, K. V., Gates, K. N., Page, C. J., & Shaw, B. (2013). Interpretation of passive solar field data with EnergyPlus models: Un-conventional wisdom from four sunspaces in Eugene, Oregon. *Building and Environment*, 60, 158-172. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.006>

Resolución 148/2024 [Ministerio de Economía. Secretaría de Energía]. Programa de uso racional y eficiente de la energía en edificios públicos (PROUREE). 5 de julio de 2024.

Spanos, I., Simons, M., & Holmes, K. L. (2005). Cost savings by application of passive solar heating. *Structural Survey*, 23(2), 111-130. <https://doi.org/10.1108/02630800510593684>

Toroxel, J. L., & Silva, S. M. (2024). A Review of Passive Solar Heating and Cooling Technologies Based on Bioclimatic and Vernacular Architecture. *Energies*, 17(5), 1006. <https://doi.org/10.3390/en17051006>

U.N. Environment. (2024). *Global Status Report for Buildings and Construction | UNEP - UN Environment Programme*. <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction>

Zirnhelt, H. E., & Richman, R. C. (2015). The potential energy savings from residential passive solar design in Canada. *Energy and Buildings*, 103, 224-237. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.051>

Fuente de imágenes

Figura 1. Diagrama psicrométrico de Mar del Plata. Fuente: Atanasoska, (2021).

Figura 2. Documentación técnica del Centro de Interpretación. Fuente: Elaborado por el grupo Fundasur.

Figura 3. Funcionamiento pasivo de verano. Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Modelado del MB y del M2 del Centro de Interpretaciones. Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Temperaturas en enero y julio del MB, M1 y M2 con 100% de infiltración. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Temperaturas en enero del MB, M1 y M2 con ventilación. Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. El efecto de la infiltración sobre las temperaturas del M2 en enero y en julio. Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. El efecto del uso de los postigos sobre las temperaturas del M2 en enero y en julio. Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Consumos de energía para acondicionamiento del MB, M1, M2 y los M2 mejorados. Fuente: Elaboración propia.