

Efecto del Aislamiento Térmico sobre la Temperatura Interior en un Modelo de Construcción Bioclimática Comparado con otro Modelo Convencional.

¹José Luis Adrián Perales Alcacio.; ¹Rafael Chávez Tec.; ²Jorge B. Magaña Zaldivar

*¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Motul, **Ingeniería en Energías Renovables.** Carretera Mérida-Motul, Tablaje Catastral 383, Motul de Carrillo Puerto, Yucatán, México, C.P. 97430.*

*²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Motul, **Ingeniería Electrónica.** Carretera Mérida-Motul, Tablaje Catastral 383, Motul de Carrillo Puerto, Yucatán, México, C.P. 97430.*

Primer autor: adrian.perales@itsmotul.edu.mx

Recibido: 30 de noviembre de 2025

Aceptado: 19 de diciembre de 2025

RESUMEN

En los últimos veinte años el concepto de las edificaciones ha ido evolucionando hacia el concepto de sustentabilidad. Una vertiente que se ha desarrollado de forma importante es el diseño bioclimático, el cual propone estrategias para mejorar el confort térmico de quienes habitan los espacios, además de propiciar la gestión eficiente de la energía. Una de las estrategias es modificar la envolvente de las edificaciones con aislantes térmicos para reducir la temperatura del interior y así evitar el uso de modificadores ambientales activos. Se hicieron mediciones de temperatura interior mediante el uso de termopares y un sistema electrónico de adquisición de datos. Se utilizaron dos prototipos de vivienda contruidos con materiales de la región. Uno de los prototipos se modificó con aislante térmico y un recubrimiento comercial; al otro prototipo en contrucción de obra negra se dejó como referencia. En el análisis de datos se observó el efecto del aislante térmico mostrando una temperatura hasta de 8°C menor que el prototipo sin modificación de la envolvente. Estos resultados establecen la pauta para continuar con la integración de otras estrategias de diseño bioclimático y con ello ofrecer propuestas reales para las edificaciones sustentables que se proyecten construir en los próximos años.

Palabras claves: diseño bioclimático, aislamiento térmico, confort térmico.

ABSTRACT

Over the past twenty years, the concept of buildings has evolved towards sustainability. One area that has developed significantly is bioclimatic design, which proposes strategies to improve the thermal comfort of occupants, as well as promoting efficient energy management. One such strategy is modifying building envelopes with thermal insulation to reduce interior temperatures and thus avoid the need for active climate control systems. Interior temperature measurements were taken using thermocouples and an electronic data acquisition system. Two prototype houses built with local materials were used. One prototype was modified with thermal insulation and a commercial cladding; the other prototype, in its unfinished state, served as a reference. Data analysis revealed the effect of the thermal insulation, showing a temperature up to 8°C lower than the prototype without envelope modification. These results set the stage for continuing to integrate other bioclimatic design strategies and thereby offer practical proposals for sustainable buildings planned for construction in the coming years.

1. INTRODUCCIÓN

En décadas recientes, el problema de la vivienda en México relacionado con el impacto ambiental y el cambio climático ha ido en aumento, por lo cual el tema de sustentabilidad y la eficiencia energética se han resaltado como parte de la solución al tema ambiental y marcado un nuevo enfoque al diseño y construcción de diversas edificaciones (González-Yñigo et al., 2018; Méndez-Ramírez et al., 2021).

Durante el periodo de 2015 a 2020, en promedio, las mejoras de consumo de energía por unidad de superficie de los edificios residenciales fueron de 0,5% anual en comparación con tasas históricas de entre 1,5% y 2%. Sin embargo, se estima que en 2021 la demanda de energía en edificios a nivel mundial aumentó 4%, el cual se considera el mayor aumento de un año a otro en más de 20 años (IEA, 2022).

Tanto en México como a nivel mundial, el creciente aumento de la población implica la construcción de nuevos espacios para vivienda y a su vez, la estabilidad de la economía propicia el aumento en el consumo de energía eléctrica a través de la compra de equipos electrodomésticos y de ventilación. En 2018 el consumo anual mundial de electricidad alcanzó los 24.7 millones de GWh, lista en la que México ocupa la posición 14 con un consumo de 290,100 GWh. En el caso de la península de Yucatán el consumo eléctrico se pronostica en una tasa media de crecimiento anual (TCMA) entre 3.8% y 4.7%, siendo éste el más alto en México. Por lo anterior se necesitan estrategias sustentables que permitan enfocar el tema de la vivienda entorno al ahorro de energía y a la eficiencia energética (SENER, 2018).

El diseño bioclimático se define como un enfoque de la arquitectura que crea edificios térmicamente más cómodos y energéticamente eficientes, aprovechando el clima local y los recursos naturales (radiación solar, viento, vegetación) para minimizar la dependencia de los sistemas activos, reduciendo el consumo de energía y el impacto ambiental y mejorando al mismo tiempo el bienestar de los ocupantes. Las estrategias que más se consideran en el diseño bioclimático son: la ventilación natural, los sistemas de descarga de calor (chimeneas solares, torres de viento, troneras, entre otros.), la protección solar en las ventanas, la capacidad de resistencia térmica en techo y muros, los acabados reflejantes, la orientación adecuada de la vivienda o edificio, la creación de microclimas, la aplicación de las energías renovables para generación de electricidad a través de fuentes de energía renovables (Gaceta II UNAM, 2007).

Como parte de la estrategia bioclimática, la eficiencia energética (EF) se relaciona con la cantidad de energía que se necesita para satisfacer la demanda en las viviendas y está relacionada con el ahorro de energía y el confort térmico. En este sentido la EF juega un papel importante ya que implica la reducción de la demanda eléctrica relacionada con la etapa de operación de los diferentes equipos de aclimatación del ambiente, por lo cual el ahorro de energía es más evidente en localidades que experimentan climas extremos (Aditya L et al., 2017; Wang X et al., 2024). De esta forma, se entiende que mientras más confortable sea sensación térmica en la vivienda, menor será el consumo de energía eléctrica (William et al., 2021). En este contexto, el “confort térmico” se define como la sensación de bienestar del ser humano dentro de una edificación, y ésta depende de factores exteriores como el clima y la geografía, de los factores internos producidos por la envolvente de la edificación, y del sentido de adaptabilidad a un ambiente establecido (Espinosa Cancino et al., 2015; Omar, R.M. et al., 2022).

La trayectoria que sigue el sol en el transcurso de un día es de este a oeste a diferente ángulo de desplazamiento con respecto al norte, dependiendo del lugar y del periodo del año que transcurre (figura 1). Esto se puede aprovechar para orientar cualquier edificación de tal manera que se evite la incidencia de la radiación solar directa sobre las zonas en las que se instalan puertas y ventanas; esto permite aprovechar las características de aislamiento térmico de los materiales con los que se construyen muros y azoteas (Escobedo et al., 2023).

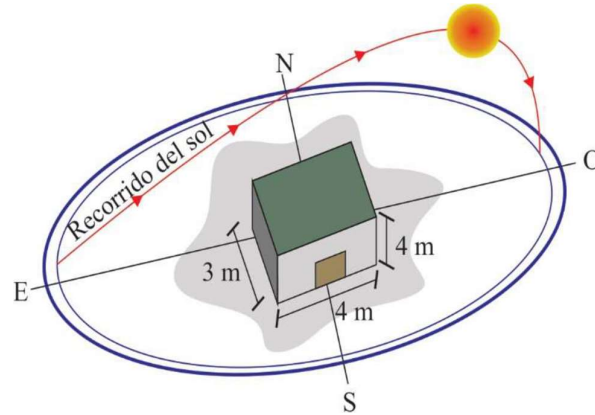


Figura 1. Trayectoria solar con respecto a la edificación durante el día.

NOTA: la orientación de la edificación se establece a partir de esta trayectoria solar evitando las ventilaciones (ventanas) en dirección este-oeste.

Observando la distribución de climas en la República mexicana en la figura 2, se puede observar que la Península de Yucatán experimenta altas temperaturas durante la mayor parte del año, inclusive hay épocas en las que las temperaturas oscilan entre los 27°C y los 40°C en la temporada primavera-verano. Esto obliga a que se requieran implementar estrategias que puedan coadyubar a la disminución de la sensación térmica dentro de las edificaciones en el estado.

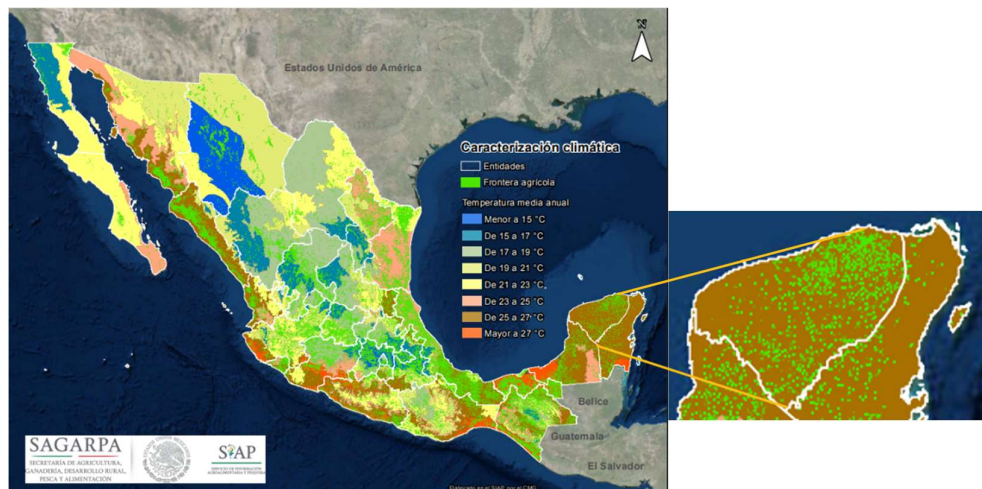


Figura 2: Mapa de caracterización climática de la República Mexicana y proyección del Estado de Yucatán. (SAGARPA, s.f.)

Lo anterior reoresenta un contexto que se alinea con el Programa Especial de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Yucatán (Gobierno del Estado de Yucatán [GEY], 2014), establece objetivos y estrategias que en resumen establece que el 80% de la superficie del Estado de Yucatán podrían alcanzar temperaturas máximas entre 33 y 37.4° C considerando el promedio diario, lo cual podría ocasionar cambios en diferentes aspectos del ambiente, la actividad agrícola y en la salud humana.

El modelo de transferencia de calor se ha establecido como el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre las fuentes de calor y el entorno. Por lo general se tratan de manera

independiente. Los procesos de transferencia de calor están relacionados con las razones de intercambio térmico, tales como los que ocurren en equipos de transferencia de calor, tanto en sistemas de ingeniería mecánica como en los procesos químicos. El enfoque de la transferencia de calor resalta la importancia de las diferencias de temperatura entre la fuente y el cuerpo que recibe el calor transferido (figura 3), tal gradiente de temperatura representa el potencial debido al cual la transferencia de calor se lleva a efecto. Por lo tanto, un modelo enfocado a los procesos de transferencia de calor involucra las cantidades de calor que deben transferirse, la forma en que se lleva a cabo dicha transferencia dependiendo de la naturaleza de los cuerpos, y la diferencia de potencial (ΔT) que impulsa el movimiento del calor de un cuerpo hacia su entorno o viceversa.

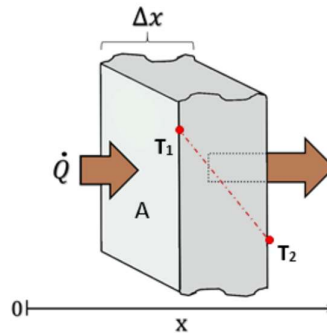


Figura 3: Mecanismo de transferencia de calor por conducción.

A partir de este análisis se establece la ley de Fourier de la conducción de calor:

$$Q_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \left(\frac{\Delta T}{\Delta x} \right) \quad (W) \quad \text{ecuación 1}$$

en donde la constante de proporcionalidad k es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor (Cengel Y et al., 2007). La ley de Fourier es aplicable a este tipo de sistemas para calcular el calor transferido a través del espesor de los muros.

A través de este trabajo se propone un estudio comparativo de la temperatura dentro de dos prototipos de vivienda, uno construido en una primera etapa con materiales para construcción convencionales (bloques, mezcla de cemento y arena, entre otros) y en una segunda etapa uno de los prototipos llevará una modificación a la envolvente con materiales reconocidos como aislante térmico elaborado con residuos sólidos urbanos y subproductos agrícolas de la región de la península de Yucatán.

2. METODOLOGÍA

El presente estudio preliminar se realizó en la ciudad de Motul, Yucatán; ciudad localizada a 45 km de la ciudad de Mérida, capital del estado de Yucatán, en algunos días de los meses de agosto y septiembre del presente año.

En la parte constructiva, se utilizaron bloques de dimensiones (10 x 40 x 15) cm, mezcla de cemento Portland, arena (polvo) y agua para pegar los bloques. En el caso del techo se utilizó una mezcla de cemento Portland, arena, gravilla y agua (figura 3).

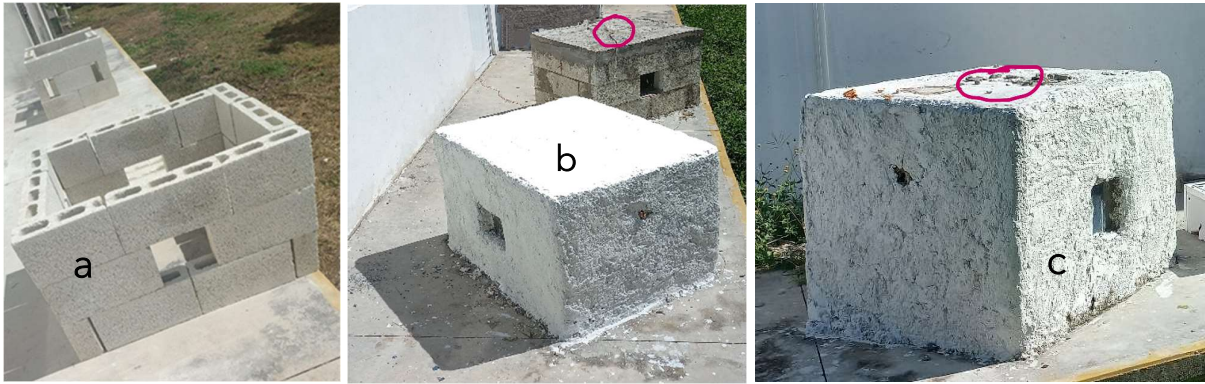


Figura 4: a) construcción de prototipos de forma convencional. b) aplicación de aislante térmico. c) aplicación de acabado.

El presente trabajo fue planificado en dos etapas: la primera fue construir dos prototipos con la misma orientación (norte-sur), haciéndole dos entradas de luz contrapuestas, es decir, un prototipo oriente-poniente y el otro prototipo norte-sur, como se muestra en la figura 4a. Como parte de las estrategias empleadas en el diseño bioclimático, en esta etapa se pretende obtener los primeros datos para verificar el efecto de la orientación sobre la temperatura al interior.

En la segunda etapa, figura 3b y 3c, se evaluará la temperatura al interior en ambos prototipos, con la diferencia de que solo a uno de ellos se le aplicó un aislante térmico de conductividad térmica $0.027 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ (Puc Cauich, 2017), y un acabado convencional (arena, cemento portland, agua y pintura acrílica), mientras que el prototipo en obra negra se consideró como referencia.

Para evaluar la temperatura se utilizaron termopares tipo k (uno para cada prototipo) instalados en la parte superior de los prototipos, señalados en las figuras 4b y 4c. Se realizó la instalación del sistema electrónico de adquisición de datos para realizar las series de mediciones en los prototipos de vivienda bajo las condiciones de construcción antes mencionadas. Se tomaron lecturas de datos durante aproximadamente 24 horas para cada experimento. Para el desarrollo del datalogger, se consideró el sistema embebido basado en el microcontrolador ATmega328 (Arduino UNO®), en la cual se le agregó una shield de adquisición de datos que dispone de un módulo MicroSD para su almacenamiento y un Reloj de Tiempo Real (RTC). En la figura 5, se observa el diagrama a bloques del datalogger construido.

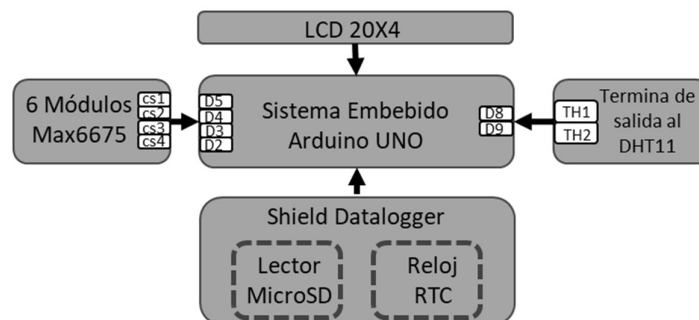


Figura 5: Diagrama de bloques del datalogger construido.

3. RESULTADOS.

Los prototipos que se evaluaron en la etapa final se muestran en la figura 5; en la que se pueden observar un modelo de referencia en la llamada obra negra (TH1), y otro con aislamiento térmico y recubrimiento (TH2). De esta forma se podrán identificar los datos de temperatura del interior de los prototipos.



Figura 5: Prototipos utilizados en el estudio comparativo en la etapa 2 (TH1 de referencia, TH2 prototipo modificado).

Una vez instalado el sistema electrónico de monitoreo de temperatura y humedad, se obtuvieron datos a lo largo 18 horas en promedio. El comportamiento de la temperatura interna de los prototipos se muestra en la figura 6, en donde se puede observar un incremento de la temperatura máxima de aproximadamente de TH1= 40.1 °C y TH2=40.5 °C, lo cual indica que la primera estrategia de orientación de las entradas de luz solar no mostró efecto sobre la temperatura interior. Para un segundo día de monitoreo de temperatura se encontró una temperatura máxima de 31.8 °C, prácticamente similar entre los dos prototipos TH1 y TH2, ver figura 7. Cabe señalar que la lectura de la temperatura máxima interior coincide en tiempo en el que ésta se alcanza, siendo alrededor de las 16:10 y 16:15 horas.

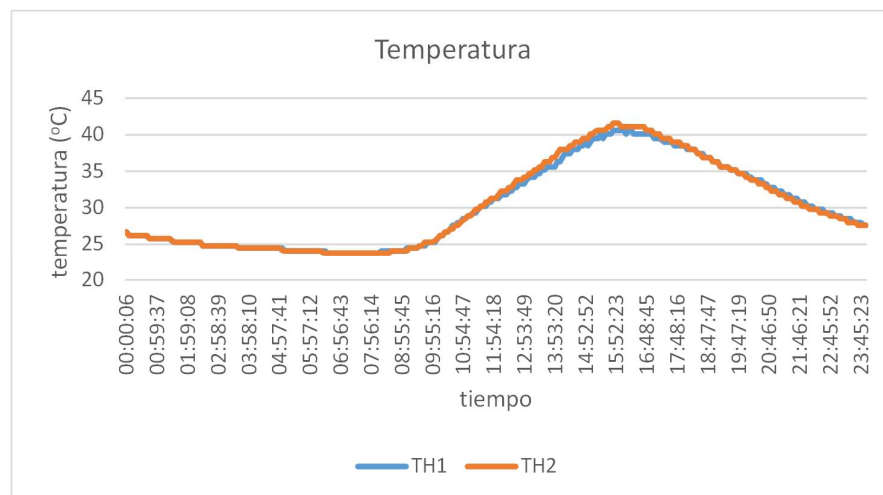


Figura 6: Comportamiento de la temperatura interna en la etapa 1 (día 1).

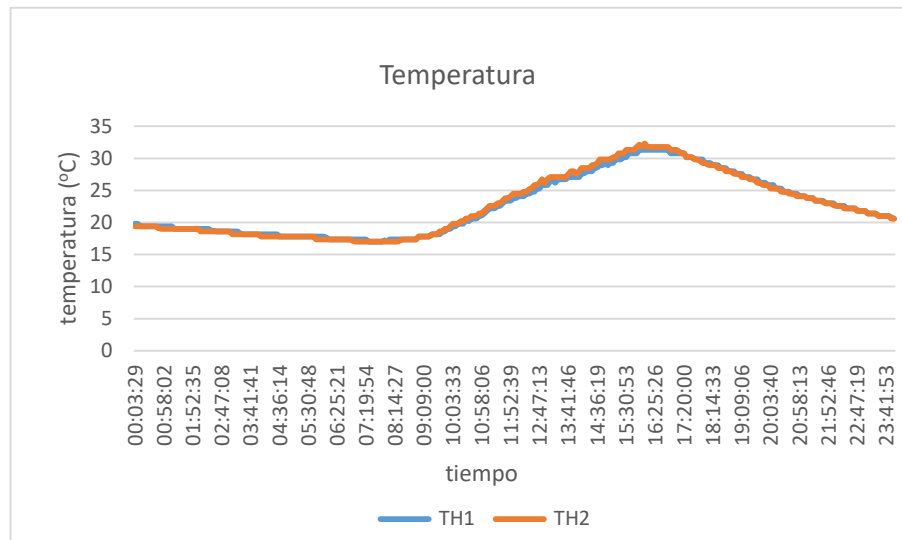


Figura 7:

Comportamiento de la temperatura interna en la etapa 1 (día 2).

Posteriormente se llevó a cabo el monitoreo de la temperatura interior a uno de los prototipos aplicándole a la envoltura un aislante térmico, un acabado de cemento y un recubrimiento, como se muestra en la figura 3c. Se reportan datos del mes de agosto, y de acuerdo con la figura 8, se observa efectivamente el efecto del aislante térmico sobre la temperatura. Para el prototipo de referencia (TH1) se tiene una temperatura de 45.5 °C, mientras que en el prototipo modificado (TH2) se tiene una temperatura de 38.5 °C, siete grados Celsius menor que el prototipo de referencia. Estas lecturas se tomaron prácticamente a la misma hora del día.

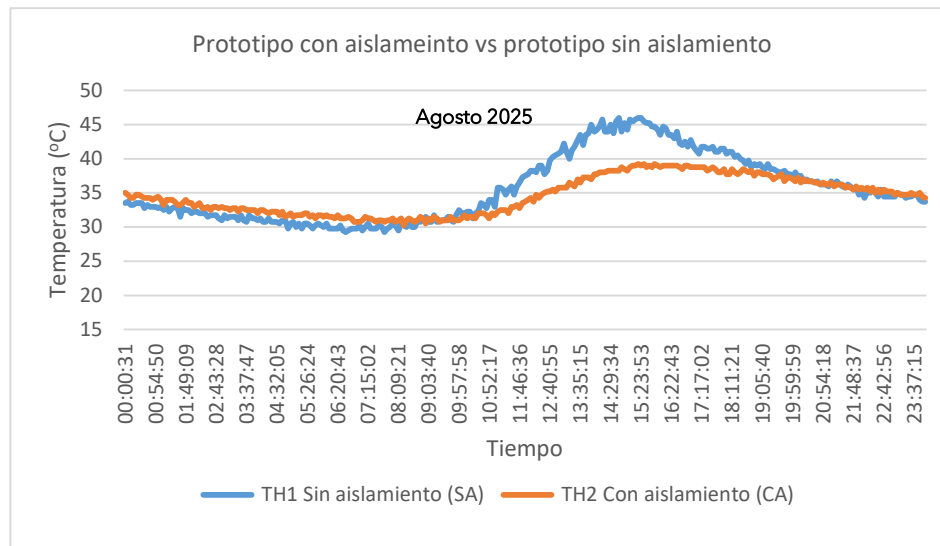


Figura 8: Comportamiento de la temperatura interna en la etapa 2.

En el mes de septiembre se obtuvieron datos que mediante la gráfica de la figura 9, se observa el comportamiento de las curvas en el día 1, en donde se aprecia la misma tendencia que la experimentación del mes de agosto. En este caso para el prototipo de referencia (TH1) se tiene una temperatura de 37 °C, mientras que en el prototipo modificado (TH2) se tiene una temperatura de 30.8 °C. Una diferencia de más de seis grados Celsius. En la figura 10, se

muestra el comportamiento de la temperatura interior en el mismo mes de septiembre en un segundo día de adquisición de datos. En esta experimentación se encontraron temperaturas de 37.4 °C para la referencia (TH2) y de 31.8 °C para el prototipo (TH1) modificado con estrategias bioclimáticas.

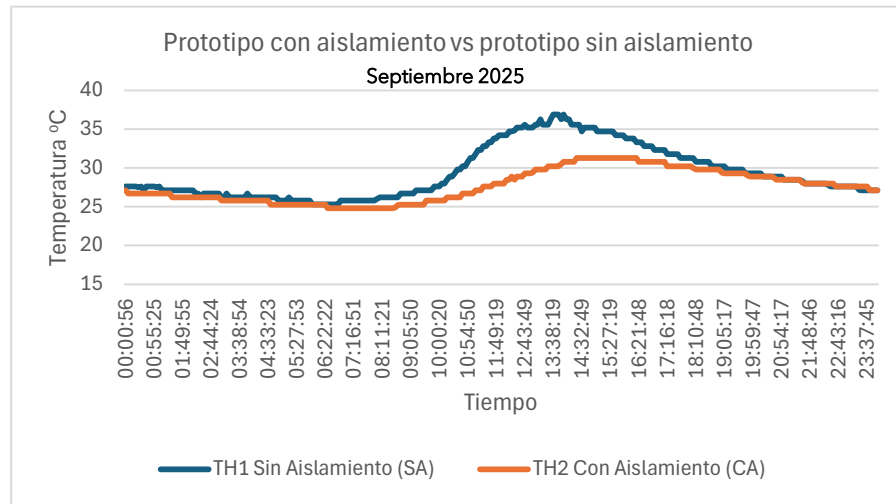


Figura 9: Comportamiento de la temperatura interna en la etapa 2 (día 1).

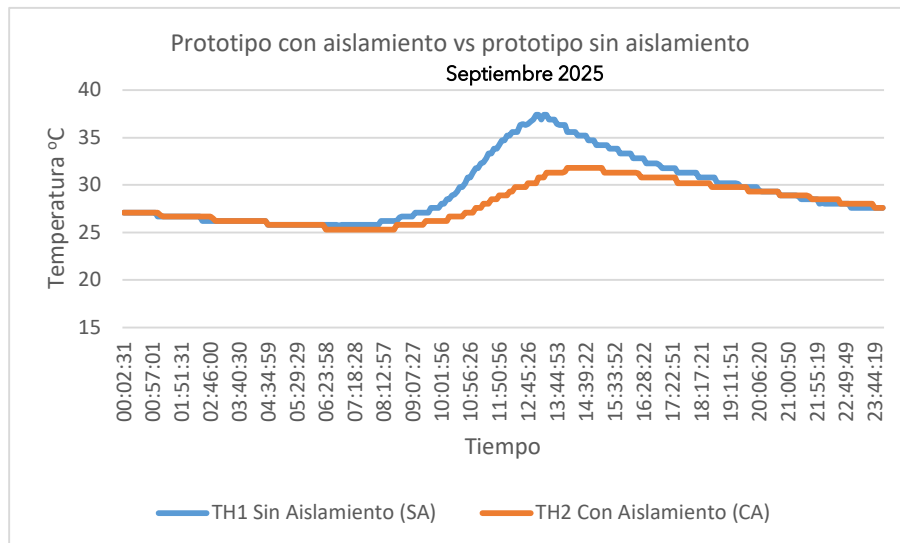


Figura 10: Comportamiento de la temperatura interna en la etapa 2 (día 2).

En el análisis de datos en la tabla 1 se puede observar que el valor p nos indica que la evidencia comparativa de la temperatura interior es significativa, por lo cual se puede establecer que esta es una base experimental prometedora para continuar el estudio aplicando integralmente otras estrategias del diseño bioclimático.

4. DISCUSION

Como se pudo observar en los resultados, en la primera etapa de la evaluación de la temperatura interior en los prototipos no se apreciaba una diferencia significativa. Este comportamiento no se esperaba dado que una de las estrategias del diseño bioclimático para ubicar las entradas de luz solar es norte-sur,

para de esta forma evitar la incidencia de la luz durante la trayectoria del sol; mostrando con ello que el diseño bioclimático en edificaciones se logra conjuntando varias estrategias, y que no impacta significativamente aplicar solo una de ellas. Por otro lado, un factor a considerar en posteriores estudios es que los prototipos evaluados no contaban con mecanismos de ventilación natural que pudieran modificar la temperatura interior, por lo cual se establece que la sola orientación de ventanas o puertas (entradas de luz) no representó un factor favorable para la disminución de la temperatura en el interior de los prototipos. Sin embargo, cuando la envolvente de uno de los prototipos fue modificada con aislamiento térmico se confirmó lo que se esperaba ya que la temperatura interior se redujo considerablemente. Este hecho se relaciona con otros estudios, en los que se verifica que la aplicación de aislante térmico disminuye la temperatura en las edificaciones hasta en un 24% aproximadamente (Choreño et al., 2017). Se considera también que estos resultados indican que la temperatura máxima al interior se alcanza a diferente hora del día, dependiendo de la etapa del año en que se realice el estudio. Por otro lado, se evaluaron diferentes métodos de aislamiento térmico con diferentes materiales; en este caso se demostró la efectividad del aislamiento (Flores et al., 2025). En el periodo de febrero y marzo, se observe una diferencia de aproximadamente 6° C en la temperatura interior, lo cual coincide relativamente con los resultados obtenidos en este trabajo.

5. CONCLUSIONES Y/O PROYECTOS FUTUROS.

A través de este trabajo se pudo corroborar que la aplicación de estrategias de diseño bioclimático en las edificaciones es una opción que puede ayudar a disminuir el consumo de energía en los hogares, oficinas o comercios al propiciar ambientes térmicamente más confortables; esto permite que se puedan desarrollar las actividades humanas con una relación con el ambiente más saludable.

En lo que respecta a la parte técnica, este trabajo tuvo su principal complicación en aplicar alguna estrategia para adaptarse a las variaciones abruptas del clima en esta región (Motul, Yucatán), debido a que el sistema experimental debe estar a la intemperie por la propia naturaleza del estudio. Por las razones que se mencionan, trabajos de esta naturaleza pueden reforzarse con análisis térmico más puntuales que incluyan el comportamiento de la transferencia de calor a través de la envolvente, asimismo se sugiere aplicar estrategias tanto pasivas para aprovechar otras estrategias del diseño bioclimático que impacte directamente en la eficiencia energética de la edificación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Aditya L., Mahlia T.M.I., Rismanchi B., Ng H.M., Hasane M.H., Metselaare H.S.C., Murazaf Oki., Aditiya H.B. (2017). A review on insulation materials for energy conservation in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol 73, 1352–1365.
- Çengel Y.A., Ghajar A.J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. McGraw-Hill. 4ª edición.
- Choreño J.F., Olivares J.A. (2017). Análisis de envolvente térmica y termográfico Meridian 7A aislante térmico. Centro de Investigación en Polímeros (Comex). Chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.meridian.com.mx/CMSPages/GetAzureFile.aspx?path=~%5Cmeridian%5Cmedia%5Cmeridian%5Cinforme-analisis-termico-meridian-7.pdf&hash=a925cc20bca3d3d643a4934652d12637d96b14eeea6fc6f3898b0279b147e38b
- Escobedo Izquierdo M.A., Quezada García S., Cázeres Ramírez R.I., Polo Labarrios M.A., Sánchez Mora H. (2023). Efecto térmico de las azoteas verdes en la Ciudad de México, Yucatán y Coahuila. *Ingenierías*, Julio-, Vol. XXVI, No. 95.
- Espinosa Cancino C.F., Cortés Fuentes A. (2015) Confort higro-térmico en vivienda social y la percepción del habitante. *Revista INVI*; Volume N° 30 227-242.

- Flores Asencio S., Gonzáles Martínez P., Ramos Ruiz G., Aislamiento térmico como estrategia de mejora del confort en viviendas de zonas frías a gran altitud (2025). Ingeniería: ciencia, tecnología e innovación, vol.12.
- Gaceta Instituto de Ingeniería UNAM. (2007). Proyecto piloto de vivienda sustentable; Num 30.
- Gobierno del Estado de Yucatán. (2014). *Programa especial de acción ante el cambio climático del Estado de Yucatán*. www.yucatan.gob.mx.
- González-Yñigo M.G., Méndez-Ramírez J.J. (2021). La política de vivienda sustentable en México producto de las transformaciones del Estado Benefactor al Estado Neoliberal. Caso Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para el Trabajador en México 2006-2015. Revista Quivera V-1, pag 71-84. Universidad Autónoma del Estado de México.
- IEA (2022), *Energy Efficiency 2022*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2022>, Licence: CC BY 4.0
- Méndez-Ramírez J.J., Becerril-Sánchez T., Gutiérrez-Chaparro J.J. Condiciones de habitabilidad de la vivienda sustentable de interés social (2021). Caso “Los Héroes San Pablo II”, Tecamac, Estado de México. Revista Quivera V-1, pag 131-149. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Omar, R.M. and Rehumaan, S.F.K. (2022) Preliminary Study to Show the Effect of Building Envelope Materials on Thermal Comfort of Buildings Located in Hot Humid Climate. World Journal of Engineering and Technology, 10,264-271.
- Puc Cauich A.A. (2017). Determinación de la conductividad térmica en un material aislante hecho de material reciclado para su potencial aplicación en colectores solares [Tesis de licenciatura no publicada]. Instituto Tecnológico Superior de Motul
- SENER. Demanda y consumo 2021-2035. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/649612/PRODESEN_CAP_TULO-4.pdf
- Wang X., Lu Y., Chen Ch., Yi X., Cui H. (2024). Total-factor energy efficiency of ten major global energy-consuming countries. Journal of environmental sciences; Vol 137, 41-52.
- William M.A., Suarez-López M.J., Soutullo S., Hanafy A.A. (2021). Building envelopes toward energy-efficient buildings: A balanced multi-approach decision making. Int J Energy Res.;1-18.