

Evaluación numérica de la implementación de materiales reciclados y su impacto sobre la sensación térmica en casas de interés social en Mérida.

J. I. Duarte Erales, D. R. Haas Adrián, D. A. Romero Chan, S. L. Manzano Uicab, B. J. Cruz Jiménez, E. de la Cruz May, M. Jiménez Torres*.

Facultad de ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Av. Industrias no contaminantes, Mérida, Yucatán, México.

Fecha de recepción: 22 de febrero de 2021 - Fecha de aceptación: 20 de mayo de 2021

Resumen

Este trabajo busca una solución que impacte de manera positiva al medio ambiente y que solucione la problemática de la ganancia de calor en construcciones específicamente de interés social, el cual se debe a la falta de planeación ocasionando discomfort térmico y un alto consumo energético. Específicamente el enfoque es en el uso de botellas de Tereftalato de Polietileno (PET, por sus siglas en inglés), mientras que se rellenan de arena, el cual cumple la función de aislante térmico y se logra usar material reciclado. Este enfoque se llevó a cabo a través de simulación computacional con el uso de *SketchUp*, *Open Studio* y *Energy Plus*. Los resultados arrojan una disminución de 2.4 °C en la temperatura interna durante el verano y una disminución del 5 % en la ganancia térmica del edificio.

Palabras clave: Vivienda de interés social, temperatura interna, consumo energético, Energy plus.

Numerical evaluation of the implementation of recycled materials and their impact on the thermal sensation in houses of social interest in Merida

Abstract

This work seeks a solution that has a positive impact on the environment and that solves the problem of heat gain in buildings specifically of social interest, which is due to the lack of planning causing thermal discomfort and high energy consumption. Specifically, the focus is on the use of Polyethylene Terephthalate (PET) bottles, while they are filled with sand, which

*jtma9304@gmail.com; mario.jimenez@alumnos.uady.mx

acts as a thermal insulator and uses recycled material. This approach was carried out through computer simulation with the use of SketchUp, Open Studio and Energy Plus. The results show a decrease of 2.4 ° C in the internal temperature during the summer and a decrease of 5% in the thermal gain of the building.

Keywords: low-income housing, internal temperature, energy consumption, Energy plus.

Introducción

Ante el creciente déficit de viviendas que se tienen en México y la dificultad que representa para la población obtener una casa, las viviendas de interés social se presentan como la solución de garantizar los derechos de vida de todas las personas. En consecuencia, la satisfacción de esta necesidad se ha priorizado el factor numérico y el económico, dejando en segundo plano la calidad espacial y la calidad de vida (Gallegos, 2015).

La política y visión entonces, ha sido la de construir en serie, es decir, la de realizar una casa tipo cuyos materiales sean económicos y de construcción rápida, con la finalidad de ahorrar tiempo y dinero, permitiendo que su compra esté al alcance de la sociedad. Sin embargo, cabe destacar que el diseño y estructura no es adecuado a las necesidades de cada región; por ende, los habitantes se ven obligados a buscar su confort térmico, es decir, comodidad en el entorno con respecto a la temperatura, humedad y movimiento del viento, mediante el uso del aire acondicionado, aumentando su consumo eléctrico (Heard et al, 2013).

Ante esto, resulta atractiva la propuesta hecha por Heard et al (2013), que implica inversiones mayores para sus habitantes y para la económica en general, con la justificación de representar un enfoque sustentable y por supuesto un ahorro en el consumo de energía eléctrica a futuro. Esta mejora se refleja en zonas de clima tropical (subhúmedo, seco y semi seco).

Ejemplificando (Heard et al, 2013) se enfocaron en lograr un ahorro económico al trabajar en el aumento de la capacidad térmica de los muros y techos de las construcciones en los climas tropicales.

El estudio se enfoca en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. La zona se caracteriza por presentar un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano. Específicamente, la vivienda se estudio se encuentra en el fraccionamiento “*Piedra de agua*” que es una zona con problemática de construcción en serie.

Uno de los métodos de aumento de la capacidad térmica que se han estado investigado y aplicado en zonas de clima tropical, es el uso de materiales reciclados en la estructura de muros y techos (Chaurasia & Gangwar, 2019). Entre algunos ejemplos se encuentra la fabricación de ladrillos realizados con una mezcla de cemento, papel reciclado, cal y aserrín propuesto por la Universidad Tecnológica de Nuevo León, y cuyo trabajo redujo el consumo de energía en los edificios construidos con los ladrillos. Además, presenta una alternativa al dilema de los residuos plásticos, el cual afecta el equilibrio ecológico y la vida silvestre (Saldaña et al, 2016).

Por otro lado, el trabajo presentado por Abouhadid, M. y Mansour, A. (2019) presentó simulaciones de 2 habitaciones, una construida con el ladrillo tradicional y otra con botellas PET empleando el software Design Builder dando como resultado una

reducción del 11% en las horas de incomodidad térmica.

En este trabajo se propone el uso de botellas PET y arena en las construcciones de casas habitacionales como un método de diseño pasivo que incremente la capacidad térmica en los muros y techos, y repercuta en el confort térmico. Para ello, se presenta una comparación entre una vivienda de interés social con el material antes mencionado y una vivienda que emplea materiales de construcción tradicionales. Con esto se busca mejorar la calidad de vida, propiciar un ahorro energético y a la vez contribuir a la reducción de emisiones de gases efecto invernadero.

Metodología

Caso de estudio.

La zona de estudio se ubica en el estado de Yucatán en las afueras de la ciudad de Mérida. El clima de la región de Yucatán se divide en 85.5% de la superficie del estado con clima cálido subhúmedo y el restante, presenta clima seco y semiseco localizado en la zona norte del estado. La temperatura

media anual es de 27.1 °C, con temperatura máxima de 33.5 °C y una mínima de 20.7°C. Precipitación media anual de 1 066.4 mm y humedad relativa promedio cercana al 80 % entre los meses de mayo y octubre, y cercana

La base de datos meteorológica se obtuvo de la página *Climate.onebuilding.org* en formato epw, el cual es compatible con el software de *Energy Plus* para la ejecución de la simulación térmica. Los datos relacionados con el clima como radiación, temperatura y humedad relativa ambiente, velocidad y dirección de viento son variables que considera el software para ejecutar los algoritmos de comportamiento térmico de los materiales y predecir la

al 78 % para el periodo comprendido entre los meses de noviembre a abril (CONAGUA, 2016). Estos datos, nos permiten indicar la posibilidad del aprovechamiento de este tipo de recurso en la zona de la región.

La vivienda por estudiar se encuentra ubicada en el fraccionamiento Piedra de Agua (figura 1.a) ubicada al suroeste de la ciudad de Mérida. Se eligió una vivienda de fraccionamiento alejado de la ciudad ya que la tendencia en la industria de la construcción habitacional es de manera horizontal, es decir, expansión a lo largo del territorio (figura 1.b).

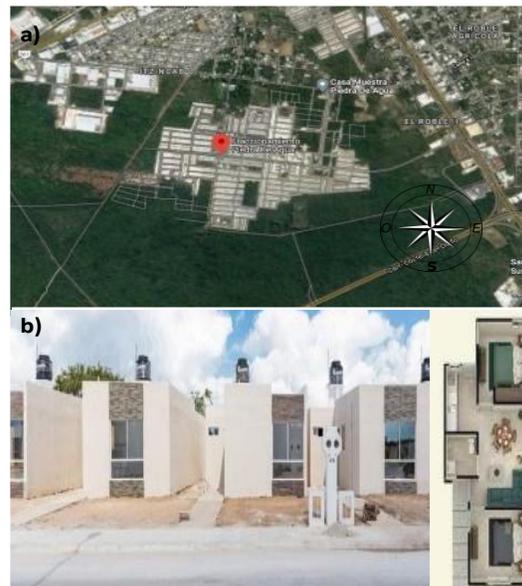


Figura 1. Fraccionamiento Piedra de agua. a) ubicación. b) fachada y plano de la vivienda.

temperatura interna del recinto a lo largo del año.

Ecuaciones gobernantes de transferencia de calor

Para el cálculo de la ganancia térmica de cualquier edificación, es necesario considerar los tres mecanismos de transferencia de calor, los cuales son por conducción, por convección y por radiación.

Conducción

La transferencia de energía por conducción surge por el contacto físico de dos cuerpos/superficies a diferente temperatura. El flujo de energía en conducción por metro cuadrado está representado por la ecuación de conducción de Fourier:

$$q_{cond} = -k \frac{dt}{dx} \quad (1)$$

Donde:

Donde $\frac{dt}{dx}$ es el cambio de la temperatura en K respecto al cambio en la dirección x en metros, k el coeficiente de conducción en W/(mK).

Radiación

La materia emite energía en forma de radiación y proporcional a la diferencia de la cuarta potencia de la temperatura T en K y la cuarta potencia de la temperatura ambiente T_{∞} . Esta ley se conoce como la Ley de Stefan-Boltzmann (Rodríguez & Gonzáles, 2020):

$$q_{rad} = \varepsilon \sigma A (T_{int}^4 - T_{alrd}^4) \quad (2)$$

Donde q_{rad} es el flujo de energía en W por radiación, A el área, ε la emisividad y σ la constante de Stefan Boltzmann ($5.669 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$).

Convección

La transferencia de calor por convección se presenta en líquidos o gases que, debido a su movimiento transporta e intercambia energía. La ecuación que la representa se determina por la Ley de Enfriamiento de Newton:

$$q_{conv} = h(T_{int} - T_{alrd}) \quad (3)$$

Donde q_{conv} es la transferencia de energía por metro cuadrado en convección y h ($\text{W / m}^2 \cdot \text{K}$) es el coeficiente convección determinado por la naturaleza del medio circundante (Rodríguez & Gonzáles, 2020).

Balance térmico

Para conocer las temperaturas y el flujo de calor en los elementos del sistema, se requiere realizar un balance térmico definido como la sumatoria de las entradas y salidas de energía, reguladas por los mecanismos de transferencia de calor.

En un análisis temporal es necesario conocer el cambio de temperatura T , en el tiempo t , para cada uno de los elementos del sistema. Este comportamiento depende de la capacidad calorífica C_p , la cantidad de masa m , dada una cantidad de flujo de energía Q .

$$Q = c_p \cdot m \cdot \frac{dT}{dt} \quad (4)$$

Se dice entonces que el elemento tiene una oposición al cambio de temperatura, conocido como inercia térmica, que es propia de cada material y establece qué tan rápido o lento cambia su temperatura un material dado un aporte de energía (Rodríguez & Gonzáles, 2020).

Consideraciones

Aunado a los flujos de transferencia mencionados, para un correcto análisis de la carga térmica de un edificio es necesario considerar otras variables, como las ganancias de calor por ocupantes, ganancias de calor por equipos, ganancias por superficies transparentes y opacas, ganancias por ventilación, por filtración y de calor por ventanas.

Elección de los materiales

Para la selección de los materiales, se realizó una búsqueda en la literatura, tomando en consideración el tamaño de la botella, el material de relleno de la botella y el mortero utilizado para pegar los bloques de botellas.

Los estudios que se tienen realizado respecto al tema están más enfocados en la parte estructural, en donde los bloques de botellas han tenido buenos resultados. Las pruebas de presión realizadas en botellas PET de 250 ml y 1.5 l con presiones

máximas alcanzadas de 38.34 N/mm² y 27.39 N/mm² respectivamente (Mardiha et al, 2015) apuntan a que estos materiales pueden ser usados ya que según la PWD 20800 (especificaciones estándar para trabajos de construcción) el mínimo permisible de presión en estas pruebas a bloques es de 5.2 N/mm².

El material de relleno de las botellas igual es importante, los materiales mayormente usados y probados son: tierra del suelo (del lugar) arena, y arena fina. Estudios en el 2018 muestran que para pruebas de compresión y ayuda en cargas muertas para la importancia de la estructura, resulta más atractivo el uso de arena fina (Sheshnath et al, 2018).

En diversos estudios se han presentado comportamientos positivos respecto a la humidificación respecto al uso de mortero de arena como material de unión entre los bloques de las botellas (Chaurasia & Gangwar, 2019).

En el trabajo reportado por Aditya et al (2015), se indica que el tamaño óptimo es de la botella PET de 1 litro, cuyas dimensiones son 24 cm de alto con 8 cm de diámetro, con una separación de 2 cm entre cada botella debido a la colocación del mortero. En la tabla 1 se muestran las propiedades de los materiales.

Tabla 1. Materiales elegidos para el estudio (Muyen et al, 2016).

Material	Densidad (kg/m ³)	Conductividad (W/m*K)	Calor específico (J/kg*K)
<u>PET</u>	<u>1455</u>	<u>0.24</u>	<u>1000</u>
<u>Arena fina</u>	<u>1550</u>	<u>0.582</u>	<u>1050</u>
<u>Mortero de arena</u>	<u>1858</u>	<u>0.88</u>	<u>885</u>

Propuesta de envolvente

Para el diseño de la envolvente se consideró el acomodo de las botellas. El uso de bloques compuesto por varias botellas y el uso de concreto no tienen un impacto tan notable en contraste con el acomodo de las botellas apiladas y colocadas con un mortero (Muyen et al, 2016) por lo que, para que la elaboración sea más sencilla se utilizará el segundo acomodo, con una intercalación en las filas (figura 2).

Cálculo del coeficiente de conductividad térmica para la envolvente propuesta

Debido a que la pared propuesta no tiene una distribución homogénea en las capas,

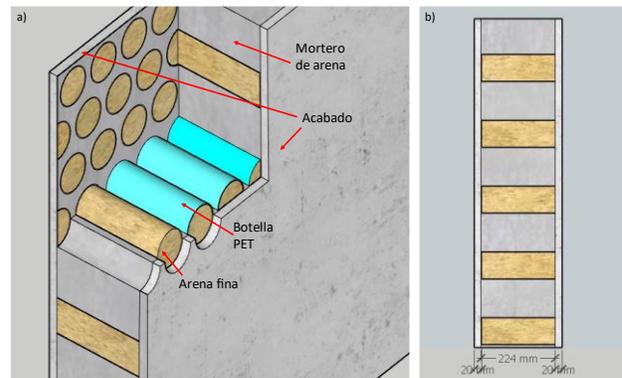


Figura 2. Componentes de la envolvente propuesta. a) Estructura de la envolvente. b) Vista transversal de la envolvente.

para el estudio, debemos calcular un coeficiente de conductividad térmica. Para obtener el aislamiento térmico total de las

porciones de la envolvente de un edificio para uso habitacional, formado con capas homogéneas y no homogéneas paralelas a la superficie se tiene la siguiente ecuación (SENER, 2011):

$$M = \frac{1}{\frac{F_1}{M_{parcial}+g/\lambda_1} + \frac{F_2}{M_{parcial}+g/\lambda_2} + \dots + \frac{F_m}{M_{parcial}+g/\lambda_m}} \quad (5)$$

En donde tenemos que:

$$M_{parcial} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{l_n}{\lambda_n} \quad (6)$$

Donde:

$M_{parcial}$: es el aislamiento térmico parcial de una porción de la envolvente del edificio para uso habitacional, de superficie a superficie (m^2K/W). Es la suma de todos los aislamientos térmicos de todas las capas y aislamientos superficiales que componen la parte de la envolvente del edificio para uso habitacional, excepto lo de la capa no homogénea.

m : número de materiales de la capa no homogénea.

F : es la fracción del área total de la porción de la envolvente del edificio para uso habitacional, ocupada por cada material en la capa no homogénea.

g : es el espesor o grueso de la capa no homogénea.

h_i : constante de la conductancia superficial interior con valor de $8.1 W/m^2K$.

h_e : constante de la conductancia superficial exterior con valor de $13 W/m^2K$.

n : número de capas que forman la porción de la envolvente del edificio.

l : espesor de cada uno de los materiales que componen la porción de la envolvente del edificio en m .

λ : coeficiente de conductividad térmica de cada uno de los materiales que componen la porción de la envolvente del edificio para uso habitacional en W/m^2K .

En la figura 3 se muestra la distribución de los bloques y el mortero en el área de $1 m^2$, esto debido a que el cálculo se simplifique. Dentro del área caben alrededor de 100 botellas, cuya área total abarcada es de $0.50266 m^2$ y el área del mortero es de $0.49734 m^2$, así mismo se tomará la botella en forma de cilindro con una conductividad térmica de $0.2919 W/m^2K$. Aplicando la ecuación 5 el coeficiente de conductividad térmica de la envolvente es de $1.3645 W/m^2K$.

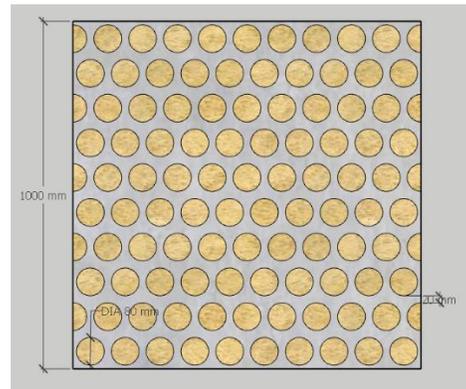


Figura 3. Distribución de los bloques en la envolvente.

Simulación en software

Se realizaron 2 simulaciones; la primera empleando la envolvente que tradicionalmente se usa en la casa habitación y cuyos materiales se encuentran en la tabla 2; y la segunda empleando la envolvente propuesta con los materiales reciclados y cuyos datos se encuentran en la tabla 3.

La vivienda cuenta con 2 dormitorios, una sala-comedor-cocina y un baño, es decir, la simulación abarca un total de 4 zonas térmicas (tabla 4) (figura 4). La fachada principal tiene orientación al sur, para

apreciar mejor la transferencia de calor por radiación en la vivienda. Se evaluaron 2 temporadas, verano (agosto) e invierno

(diciembre), ya que estas fechas son en donde se encuentran las temperaturas máximas y mínimas en todo el año.

Tabla 2. Materiales comúnmente utilizados en la construcción de una vivienda de interés social (SENER,2011).

Envolvente	Materiales	Grosor (cm)	Densidad (kg/m ³)	Conductividad (W/m*K)	Calor específico (J/kg*K)
Techo	Concreto	3-5	2130	1.8	1050
	Vigueta	12	1900	0.41	1000
	Bovedilla	15	1200	1.74	1000
Pared	Acabado	3	1570	0.53	1000
	Block de concreto	15	1920	0.8	800

Tabla 3. Materiales utilizados en la envolvente propuesta.

Envolvente	Materiales	Grosor (cm)	Densidad (kg/m ³)	Conductividad (W/m*K)	Calor específico (J/kg*K)
Techo	Concreto	3 – 5	2130	1.8	1050
	Vigueta	12	1900	0.41	1000
	Bovedilla	15	1200	1.74	1000
Pared	Envolvente propuesta	26.4	1705	1.3645	1000

Tabla 4. Características de las zonas térmicas.

Zona térmica	Área (m ²)
Cuarto principal	9.68
Sala-comedor-cocina	20.2048
Baño	2.628
Cuarto secundario	8.52

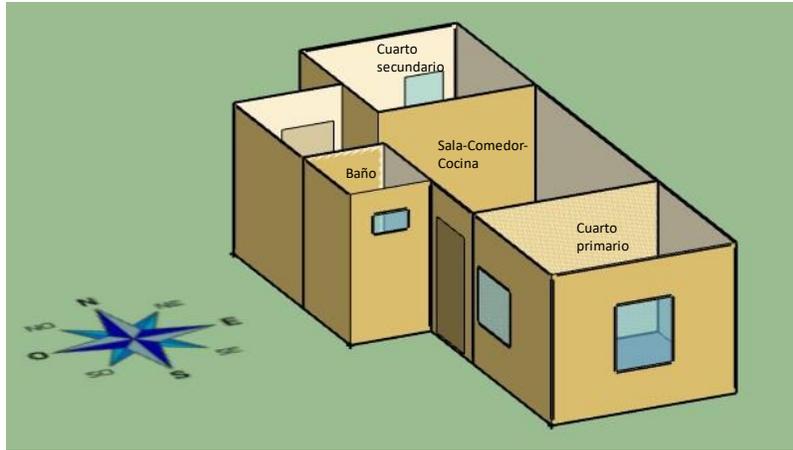


Figura 4. Modelado 3D de la vivienda en el software.

Resultados y discusión

Comportamiento de la temperatura en la vivienda.

Las habitaciones que se consideraron de relevancia para el estudio son el cuarto principal, y el cuarto secundario debido a que el cuarto principal se encuentra más cercana al sur mientras que el cuarto secundario se encuentra más cercano al fondo (norte). El cuarto principal (CP) presentó mayores temperaturas, mientras que el secundario (CS) las temperaturas menores en toda la casa. La figura 5 muestra la comparación de las temperaturas ambiente, interna con materiales comunes y la interna con la envolvente propuesta en el cuarto principal para una semana representativa en el mes de agosto. Las temperaturas máximas para la temporada de verano se muestran en la tabla 5, siendo 34.3 °C y 31.86 °C para los materiales comunes y la envolvente propuesta, respectivamente, mientras que para el cuarto secundario 33.61 °C y 29.98 °C. En la figura 6 se observan los días con mayor diferencia en las temperaturas en los cuartos con las distintas envolventes.

Mientras en invierno se observa que existe un ligero aumento de temperatura usando la envolvente propuesta en los dos cuartos (figura 7). Los días en donde se nota la mayor diferencia de temperatura es para los días 20 y 21 de diciembre (figura 8). Las temperaturas máximas fueron de 33.55 °C y de 33.58 °C para los materiales comunes y la envolvente propuesta respectivamente en CP (tabla 6). Mientras que las temperaturas promedias en CP fueron de 29.01 °C para la envolvente normal y 29.56 °C para la envolvente propuesta.

Mientras que para el perfil de un día promedio para ambos meses (figura 9 y 10) se observan un ligero decremento en el mes de agosto, mientras que para el mes de diciembre un aumento evidente de la temperatura usando la envolvente propuesta en ambas temporadas.

Sin embargo, para el perfil de un día con el promedio anual (figura 11) se aprecia un ligero decremento de la temperatura entre las horas 5 y 15 del día usando la envolvente propuesta. Después de la hora 15 la temperatura aumenta cuando se usa la envolvente propuesta

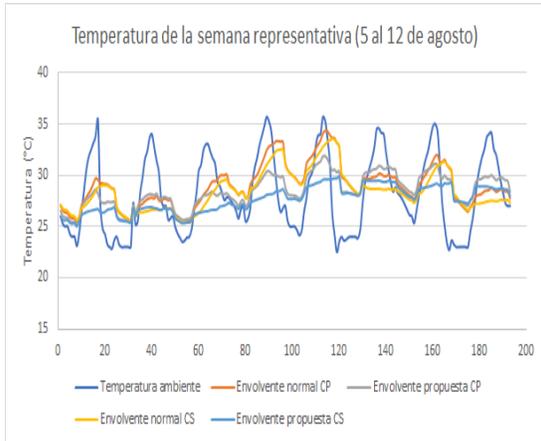


Figura 5. Comportamiento de la temperatura en la semana representativa de agosto.

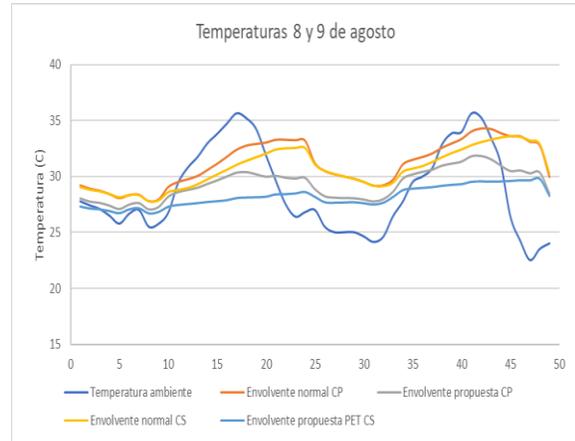


Figura 6. Comportamiento de la temperatura en los días con diferencia más notoria (agosto).

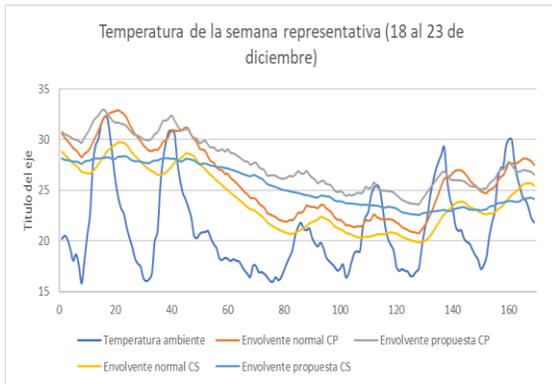


Figura 7. Comportamiento de la temperatura en la semana representativa de diciembre.

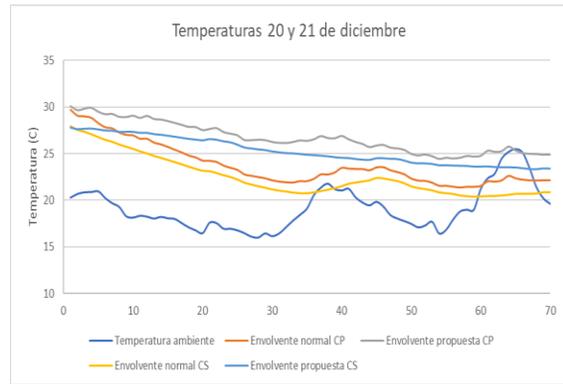


Figura 8. Comportamiento de la temperatura en los días con diferencia más notoria (diciembre)

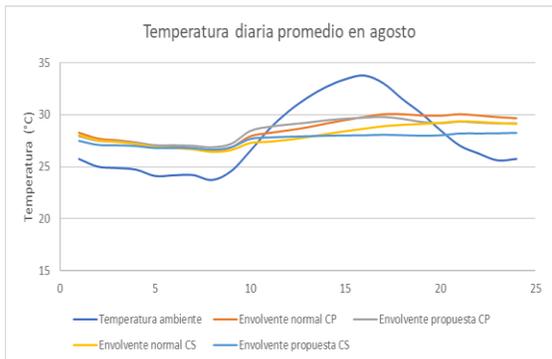


Figura 9. Perfil del comportamiento de la temperatura en un día promedio de agosto.

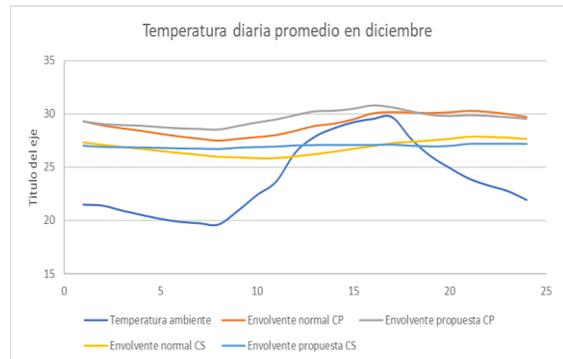


Figura 10. Perfil del comportamiento de la temperatura en un día promedio de diciembre.

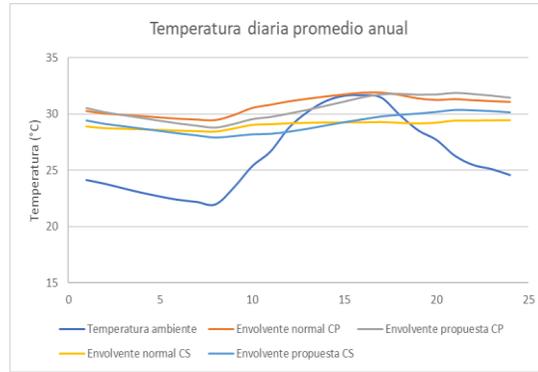


Figura 11. Perfil del comportamiento de la temperatura en un día promedio del año.

Tabla 5. Temperaturas para la temporada de verano.

Indicadores	Envoltente Común		Envoltente propuesta	
	Cuarto principal	Cuarto secundario	Cuarto principal	Cuarto secundario
Temperatura máxima (°C)	34.3	33.61	31.86	29.98
Temperatura mínima (°C)	24.179	23.82	24.6	24.11
Temperatura promedio (°C)	28.59	28.01	28.52	27.61

Tabla 6. Temperaturas para la temporada de invierno.

Indicadores	Envoltente Común		Envoltente propuesta	
	Cuarto principal	Cuarto secundario	Cuarto principal	Cuarto secundario
Temperatura máxima (°C)	33.55	30.61	33.58	29.39
Temperatura mínima (°C)	20.75	20.83	23.61	22.56
Temperatura promedio (°C)	29.01	27.44	29.56	27

Tabla 7. Comparación del costo de energía bimestral por metro cuadrado del cuarto principal.

Bimestre	Materiales estándar	Materiales reciclados	Ahorro
ENE-FEB	\$85.57	\$79.48	\$6.10
MAR-ABR	\$114.42	\$106.87	\$7.55
MAY-JUN	\$101.77	\$91.89	\$9.88
JUL-AGO	\$106.99	\$96.83	\$10.16
SEP-OCT	\$78.34	\$69.59	\$8.75
NOV-DIC	\$94.75	\$88.15	\$6.60

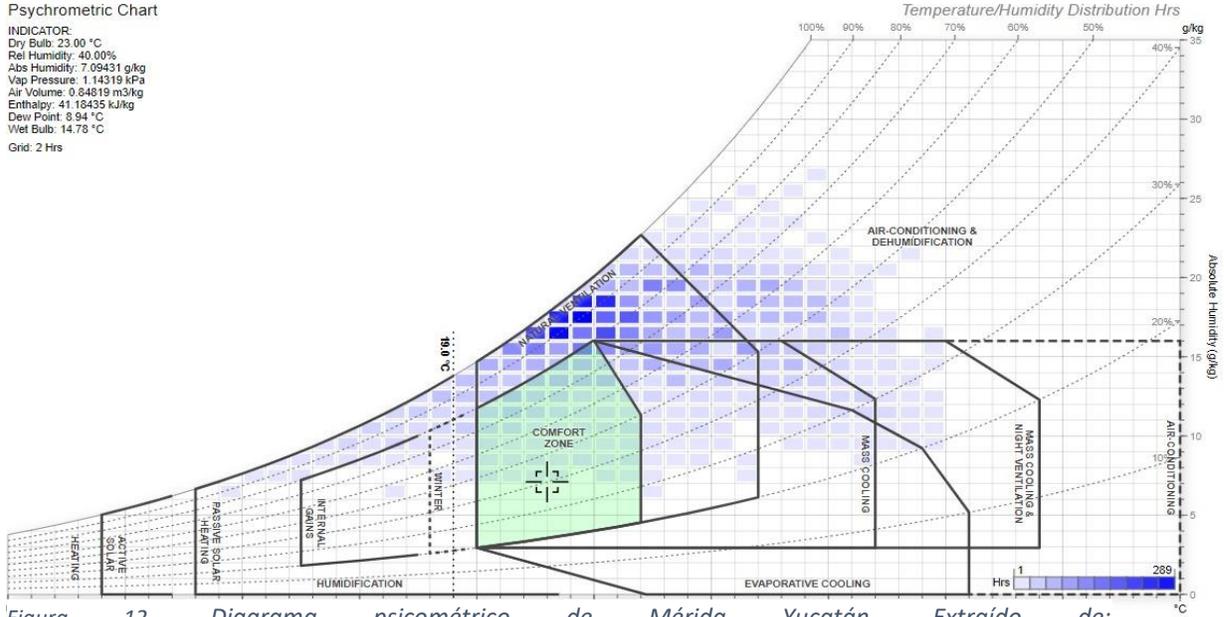


Figura 12. Diagrama psicrométrico de Mérida Yucatán. Extraído de: <https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html>.

Impacto económico Costos de energía

En la figura 12, se observa el diagrama psicrométrico para la región de Mérida, Yucatán, México para el archivo climático que se trabajó en la simulación.

En la figura anterior, podemos observar que el confort en la región se encuentra entre los 20°C y los 27°C. Como vimos anteriormente en la tabla 5, los resultados para verano en el cuarto principal son de una disminución de 2.44°C. Esto quiere decir, que para alcanzar el mínimo de confort térmico tendríamos que usar el aire acondicionado para reducir casi 5°C. El software *OpenStudio* nos proporciona la ganancia de calor para cada habitación Q_t , y con esos valores podemos calcular el coeficiente de transferencia de calor de la superficie como se muestra en la ecuación 6 (American Society of Heating, 2010).

$$p = \frac{Q_t}{(T_{amb} - T_a)} \quad (6)$$

$$Q_T = p * (T_{amb} - T_a) \quad (7)$$

Una vez calculado el coeficiente, ajustamos la temperatura interna (siendo 27°C) para calcular la ganancia de calor anual con la ecuación 7, siendo 3,351.17 kWh por satisfacer con un sistema activo. La simulación indicó que la ganancia de calor anual para la propuesta con materiales reciclados es de 3,188.95 kWh, es decir se redujo la ganancia de calor anual en un 5%.

Para poder cuantificar los valores del ahorro energético, en la zona de estudio empleamos la tarifa 1D según los precios para el 2020 de la Comisión de Federal de Electricidad (CFE).

En la tabla 7, se presentan los costos de energía para alcanzar el confort térmico con un sistema activo en ambos escenarios.

Conclusiones

El trabajo desarrollado presentó la simulación computacional de la implementación de una envolvente propuesta constituida por un material reutilizado y arena en su mayoría. Los resultados muestran que usando esta nueva envolvente se tiene una temperatura máxima de 31.86 °C en verano y 33.58 °C en invierno, habiendo una reducción de 2°C en el mes de agosto y un ligero aumento en la temperatura en el mes de diciembre en comparación con la envolvente que normalmente se utiliza. Estas temperaturas

son significativas, considerando que se tiene registro de que en el interior de las viviendas las máximas alcanzadas son cercanas a los 37 °C (Jiménez et al, 2020). Por otro lado, estos cambios en la temperatura indican una reducción de la ganancia de calor anual en un 5% lo que repercute en un ahorro anual de \$474.62, es decir, \$49.03 por metro cuadrado. Este valor anual de ahorro sólo contempla el consumo de energía para alimentar un sistema activo para alcanzar el confort térmico en el cuarto principal. La implementación de materiales reciclados tiene un impacto positivo en incrementar la resistencia a la ganancia de calor.

Referencias

- (AIE), S. (. (2011). *Indicadores de eficiencia energética en México: 5 sectores, 5 retos*. Ciudad de México: Embajada británica.
- Abouhadid, M., Mansour, A., Shafik, R., & ElRawy, O. (2019). Thermal Performance of Plastic Bottle Walls Reused in Building Construction for Waste Reduction. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 5311-5315.
- Aditya, R., Mohammad, S. P., Nilesh, B. J., Uzair, K., & Sagar, W. D. (2015). Investigating the Application of Waste Plastic Bottle as a Construction Material - a Review. *Journal of Advance Research In Mechanical and Civil Engineering*, 2(3), 86-99.
- American Society of Heating , R and A. C. E. . (2010). *ASRHA standard 55 2013 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.
- Chaurasia, A., & Gangwar, S. (2019). Reuse of Plastic Bottle as a Construction Material. *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*, 9(9), 25-30.
- Gallegos Nieto, I., Aguillón Robles, J., & Arista González, G. J. (2015). Habitabilidad en la vivienda de interés social en San Luis Potosí -Confort y aislamiento térmico-. *Necesidades habitacionales y políticas de vivienda en México y América Latina*.
- Heard, C. L., & Olivera Villarroel, S. M. (2013). Evaluación económica de la resistencia térmica de la vivienda de interés social en las ciudades tropicales de México. *Acta universitaria, Universidad de Guanajuato*, 23(4), 17-29.

- Jayaprakash, M. C., Deeksha, I. M., & Soumya, M. R. (2016). PET Bottle for Eco-friendly Building in Sustainable Development. *Internation Journal of Current Trends in Engineering & Research* , 2(5), 318-326.
- Mardiha , M., Suhaila, S., Baizura , H., Masiri, K., Law, C. W., Loo, Y. X., . . . Jian Lei, V. S. (2015). Application of Plastic Bottle as a Wall Structure for Green House. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, X(X), 1-5.
- Muyen, Z., Barna, T., & Hoque, M. (2016). Strength properties of plastic bottle bricks and their suitability as construction materials in Bangladesh. *Progressive Agriculture*, 27(3), 262-268.
- Oyinlola, M., Whitehead, T., Abuzeinab, A., Adefila, A., Akinola, Y., Anafi, F., . . . Jegede, O. (2018). Bottle house: A case of transdisciplinary research for tackling global challenges. *Habitat International*(79), 18-29.
- Sánchez Corral , J. (2012). *La vivienda "social" en México*. Ciudad de México: JS a.
- SENER, S. E. (2011). *Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011*.
- Sheshnath, N., Vikrant, P., Sanjay, R., Vikash, Y., & Neha, B. (2018). Eco-friendly House Construction using Pet Bottles. *International Journal for Scientific Research & DDevelopment*, 6(3), 101-103.