

Materiales reciclados aligerados y su influencia en el consumo de energía eléctrica en viviendas económicas

Recycled light-weight construction materials and their effect on electricity consumption in low-cost housings

Ana Cecilia Borbón Almada^{1*}, María Guadalupe Alpuche Cruz², Israel Miranda Pasos¹,
Irene Marincic Lovriha², José Manuel Ochoa de la Torre²

¹Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora. Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N, Col. Centro, C.P. 83000 Hermosillo, Sonora, México. Correo electrónico: acborbon@dicym.uson.mx

²Departamento de Arquitectura y Diseño, Universidad de Sonora.

*Autor de correspondencia

Resumen

Una arquitectura eficiente forma parte integral del desarrollo sustentable y, asimismo, debe contemplar una envolvente que se adapte al clima y a los recursos constructivos de una región. La evaluación del comportamiento térmico de las edificaciones mediante simulación dinámica se utiliza en todo el mundo para evaluar su eficiencia energética. En México existe carencia de datos sobre las propiedades térmicas de los materiales de construcción. En el presente trabajo se obtiene experimentalmente la conductividad térmica, calor específico y densidad volumétrica de materiales de construcción como lo son: el ladrillo de barro recocido, el bloque aligerado, el mortero cemento-arena natural y el mortero cemento-arena reciclado, este último fabricado con materiales reciclados de la demolición de concreto. Los resultados de simulación obtenidos muestran disminución en las ganancias de calor en muros y en el consumo de energía eléctrica por enfriamiento. La disminución es superior a 8%, utilizando sistemas constructivos conformados con materiales aligerados y reciclados.

Palabras clave: Arquitectura sustentable; eficiencia energética; propiedades termofísicas; simulación térmica; viviendas económicas.

Abstract

An efficient architecture is an integral part of sustainable development; therefore, it should include an envelope able to adapt to the climate and the constructive resources of the region. The evaluation of the thermal behavior of buildings by dynamic simulation is used worldwide to evaluate the energy efficiency of buildings. In Mexico, there is a lack of data on the thermal properties of the construction materials. In this paper, the thermal conductivity, specific heat and volumetric density of local construction materials, such as red common brick, light-weight block, natural cement-sand mortars, and recycled cement-sand mortars, made with recycled materials of concrete demolition, are obtained experimentally. The simulation results obtained show a decrease in the heat gains in walls and in the electricity consumptions for cooling. The decrease is over 8% when constructive systems conformed by lightened and recycled materials are used.

Keywords: Sustainable architecture; efficiency energy; thermophysical properties; thermal simulation; low-cost dwellings.

Recibido: 9 de octubre de 2017

Aceptado: 08 de febrero de 2019

Publicado: 2 de septiembre de 2019

Como citar: Borbón-Almada, A. C., Alpuche Cruz, M. G., Miranda-Pasos, I., Marincic-Lovriha, I., & Ochoa de la Torre, J. M. (2019). Materiales reciclados aligerados y su influencia en el consumo de energía eléctrica en viviendas económicas. *Acta Universitaria* 29, e2096. doi. <http://doi.org/10.15174/au.2019.2096>

Introducción

En la actualidad, el desarrollo sustentable se define, de acuerdo con la *World Commission on Environment and Development* (WCED) de la Organización de las Naciones Unidas, como "aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones" (WCED, 1987); dicho concepto abarca los campos sociales, económicos y ambientales en todos los ámbitos del ser humano. Dentro de estos ámbitos se encuentra el desarrollo de las ciudades conformado indudablemente por edificaciones, espacios públicos, espacios de esparcimiento y vialidades.

Los espacios residenciales que brindan satisfacción a una necesidad primordial del ser humano, específicamente las viviendas que se construyen masivamente en México en las últimas décadas han sido diseñadas sin tener en consideración la satisfacción de dicha necesidad, cuyo resultado ha sido viviendas no confortables y energéticamente ineficientes. Una arquitectura eficiente debe ser parte integral del desarrollo sustentable y, asimismo, una edificación eficiente debe contemplar una envolvente que se adapte al clima y a los recursos constructivos de una región, para minimizar el consumo de energía necesaria para su acondicionamiento interior, reduciendo a su vez las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

Para la construcción de viviendas en serie de bajo costo, los desarrolladores mexicanos optimizan al extremo los costos, a fin de que los trabajadores de bajos recursos puedan acceder a los créditos para su adquisición. Como parte de esta optimización se suelen utilizar materiales de construcción locales, como ladrillos, bloques de cemento y otros, y así disminuir gastos de transporte. Los fabricantes locales no suelen suministrar los datos de las propiedades termofísicas de sus productos y, en muchas ocasiones, las desconocen.

Dentro del proceso de diseño arquitectónico sustentable se requiere estudiar el comportamiento térmico de las edificaciones, así como su consumo de energía para climatización. Una de las herramientas, sobre todo en la etapa proyectual, es la simulación en estado dinámico, para lo cual es necesario contar, además de otros datos, con las propiedades termofísicas de los materiales de construcción, tales como densidad, calor específico y conductividad térmica. En México, comúnmente los materiales se fabrican con materia prima y procedimientos locales; las propiedades de los mismos varían según la región, pudiendo variar considerablemente de un sitio a otro.

En la literatura se encuentran algunos trabajos que destacan la importancia de conocer las propiedades térmicas de los sistemas constructivos y materiales, así como sus capacidades aislantes, como lo mencionan Al-Jabri, Hago, Al-Nuaimi & Al-Saidy (2005).

En el tema de la fabricación de morteros aligerados se han encontrado trabajos como los de Serrano, Borrachero, Monzó & Payá (2012), donde analizan morteros elaborados con cascarilla de arroz, dejando abierta la posibilidad de analizarlos por sus propiedades aislantes.

Existen algunas investigaciones donde se muestra el resultado de propiedades de mezclas aligeradas, utilizadas en la construcción, con materiales diversos o de tipo alternativo, como es el caso de Barros, Caballero, & Zaldo (1981), quienes estudiaron la utilización de fibra de vidrio para concreto reforzado. También, se han estudiado sustituciones de materiales para generar mezclas con propiedades mecánicas más apropiadas utilizando arcillas expandidas, tal es el caso de Del Río, Santa Cruz & González (2005) y Marco, García, Más, Alcaraz & Luizaga (2012), con materiales alternativos, basando sus resultados en propiedades mecánicas de los morteros.

La simulación dinámica ha sido implementada por normativas y certificaciones en diferentes países para realizar evaluaciones de la eficiencia energética de las edificaciones, sustentada científicamente por trabajos realizados en el área.

De acuerdo con lo expresado por Spittler (2006), los primeros trabajos en el campo de la simulación se dieron a partir de la década de los 60's; el avance tecnológico fue fundamental para la comprensión de los procesos de transferencia de calor que se llevan a cabo en una edificación, así como en los diferentes análisis sobre el consumo de energía debido al acondicionamiento interior. Hong, Chou & Bong (2000) hicieron una revisión del estado del arte hasta la fecha de publicación, así como de los diferentes programas enfocados en la simulación de edificios y de las instituciones interesadas en su desarrollo.

Clarke & Hensen (2015) presentan una revisión actual sobre los diferentes avances que se han generado en los programas de simulación relacionados al diseño de edificaciones eficientes energéticamente; así mismo, presentan una visión futura de esta área del conocimiento, enfocado al diseño y optimización de las edificaciones y la influencia de la envolvente. Existen diversas publicaciones; por ejemplo, Huang & Niu (2016) realizaron una revisión de 94 trabajos en los cuales se abordan diferentes objetivos, como las ganancias y pérdidas de calor, desempeño de los sistemas de acondicionamiento de aire, confort térmico, lumínico, y sistemas constructivos.

De la revisión bibliográfica se afirma que la precisión de los diferentes resultados que se obtienen está directamente relacionada con los datos de entrada que los investigadores alimentan en los programas de simulación. Al no contar con datos de las propiedades de los materiales suministrados directamente por los fabricantes, se recurre a la bibliografía. Los datos que se encuentran, sin embargo, pueden ser promedios de varios tipos de materiales similares, o datos muy puntuales que particularizan las características de los materiales en una región o condición dada, que probablemente no sea la del caso estudiado.

La solución más fiable es, por lo tanto, obtener mediciones de las propiedades termofísicas en laboratorio, a fin de contar con la precisión requerida por los programas de simulación.

El objetivo de esta investigación es determinar la importancia que tienen las propiedades termofísicas de los materiales en evaluaciones por simulación sobre el comportamiento térmico de las edificaciones, validadas con datos experimentales.

En este trabajo se muestran los procedimientos de laboratorio para obtener, mediante medición, las propiedades termofísicas de los materiales de construcción, aplicados en la simulación de una vivienda como caso de estudio; además, se hace hincapié en la importancia de tener datos de las propiedades termofísicas medidas de los materiales constructivos que serán evaluados dentro de un programa de simulación, para la obtención de resultados confiables en la evaluación de la eficiencia energética de las edificaciones. La evaluación sistemática de diferentes materiales permitiría analizar, asimismo, nuevos materiales en búsqueda de mayor eficiencia energética y menor costo de fabricación de las viviendas en serie.

Materiales y Métodos

En una primera etapa, se obtuvieron las propiedades termofísicas de los materiales de construcción para formar sistemas constructivos de muros que se utilizaron en el programa de simulación, los cuales son el ladrillo de barro recocido de la región y el mortero convencional para enjarres; y el bloque aligerado de la región y el mortero aligerados, cuyos diseños de mezcla se realizaron en laboratorio, utilizando material de reciclaje para la elaboración de las mezclas en el caso del mortero. Se utilizó un equipo especializado denominado KD2-Pro (Decagon Devices Inc., 2013) para medir la conductividad térmica, densidad

volumétrica y calor específico. Posteriormente, estas propiedades obtenidas se aplicaron para realizar la simulación del caso de estudio de una vivienda, con los sistemas constructivos de muros que a continuación se describen.

Descripción de los sistemas constructivos

Se analizan tres sistemas constructivos para muros de vivienda: sistema tipo 1, sistema tipo 2 y sistema tipo 3. El sistema tipo 1 consta de materiales convencionales y de uso común en la construcción en México, como lo son el tabique de barro recocido de 12 cm de espesor y enjarres de mortero cemento arena natural proporción 1:3, ambas caras de 1.5 cm de espesor. El sistema constructivo tipo 2 corresponde a un muro elaborado con materiales aligerados que son menos convencionales que el anterior, pero sí se pueden conseguir en los mercados locales como lo son el bloque aligerado de 12 cm de espesor, con recubrimiento interior y exterior de 1.5 cm de espesor, a base de mortero cemento-arena reciclada 1:3, de diseño y fabricación propia para este proyecto. El sistema constructivo tipo 3 consiste en un muro igual al del tipo 1, solo que en este caso se adiciona 3.81 cm de material aislante tipo poliestireno.

Los dos tipos de componentes (ladrillo y bloque aligerado) así como el material aislante se encuentran en el mercado local (Hermosillo, Sonora, México). Para el caso de los morteros cemento-arena 1:3 natural y cemento-arena 1:3 reciclado se diseñaron, fabricaron y probaron en laboratorio.



Figura 1. Bloques aligerados.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Ladrillo común 7 cm × 12 cm × 28 cm.
Fuente: Elaboración propia.

Elaboración de muestras para los morteros

Para el caso de los morteros, estos se diseñaron y fabricaron en el Laboratorio Experimental del Departamento de Ingeniería Civil y Minas de la Universidad de Sonora, bajo la propuesta de un mortero convencional cemento-arena 1:3 y un mortero reciclado donde se sustituyó el 100% de arena por material producto de demolición, al cual se le dio un tratamiento de trituración hasta alcanzar la finura requerida para incorporarse al mortero, con la intención de generar un mortero más ligero con características más aislantes que el mortero común. El procedimiento de elaboración y ensayos de los morteros se realizó bajo la Norma Mexicana NMX-C-021-ONNCCE-2010 (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2015), la cual describe a un mortero como "el material formado por un cementante hidráulico finamente pulverizado que, al agregarle agua y arena, tiene la propiedad de fraguar tanto en el aire como en el agua y formar una masa endurecida que adquiere resistencia mecánica con el paso del tiempo hasta un punto máximo".



Figura 3. Proceso de elaboración de morteros.
Fuente: Elaboración propia.

Buscando cumplir con las características deseables para un mortero, principalmente resistencia y durabilidad, y de acuerdo a los procedimientos de diseño de mezclas del *American Concrete Institute (ACI)*, el mortero se diseñó con una proporción 1:3 cemento-arena, para morteros resistentes (ricos) que pueden ser utilizados en enlucidos, impermeabilizaciones, revoques, afine de pisos, entre otras.

La materia prima del cemento utilizado es el cemento portland ordinario (CPO 30), agregado natural de la región, agua potable, además de utilizar agregado fino producto de la demolición de elementos estructurales de concreto hidráulico.

Una vez elaborados los morteros y en estado fresco, se colocaron en moldes de 15 cm x 15 cm x 4 cm, esperando un período de 28 días para su secado y fraguado; después, fueron secados en horno durante 24 h a 100 °C para evitar restos de humedad y para medir sus propiedades. En las figuras 4 y 5 se observan las muestras en estado fresco y endurecido, así como el procedimiento de desecación.

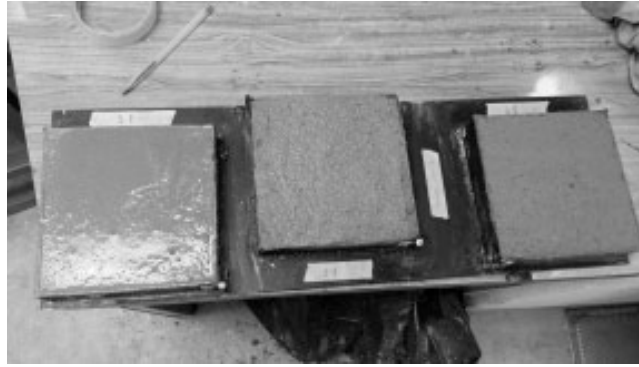


Figura 4. Morteros en moldes estado fresco.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 5. Muestras de mortero en estado endurecido y desecación.
Fuente: Elaboración propia.

Medición de propiedades termofísicas de los materiales

Una vez obtenidas las muestras de los materiales descritos que componen los sistemas constructivos de muros y recubrimientos previamente definidos, se procedió a medir la conductividad térmica (W/mK) y calor específico (J/kgK), así como la determinación de la densidad volumétrica de los materiales (kg/m^3).

Descripción del equipo de medición

El equipo utilizado para la medición de la conductividad térmica y calor específico es un medidor de tipo automático especializado para medir propiedades térmicas de materiales compuestos, denominado KD2-Pro con sensores SH-1 y RK-1, calibrado, y cumple con la normativa establecida por la *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2008). Su exactitud varía entre $\pm 5\%$ a $\pm 10\%$ dependiendo del tipo de sensor. Este equipo consiste en un gabinete portátil (figura 6) donde se utilizan los diferentes sensores dependiendo del tipo de material que se va a medir. En este caso se utilizó el sensor RK-1 recomendado para la conductividad térmica en rocas y concretos, y el sensor SH-1 para la obtención del calor específico en materiales duros (figura. 8).

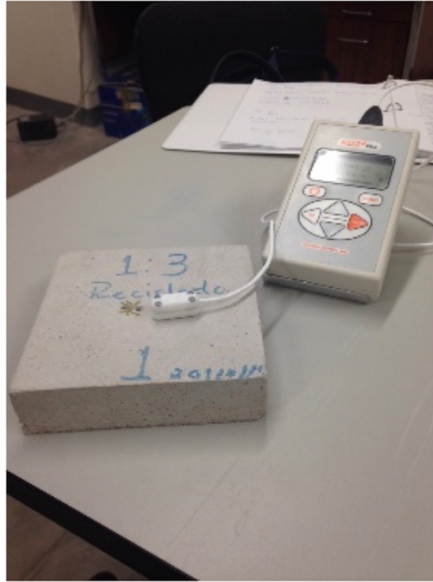


Figura 6. Medidor KD2-Pro con sensor RK-1.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 7. Medición de materiales.
Fuente: Elaboración propia.

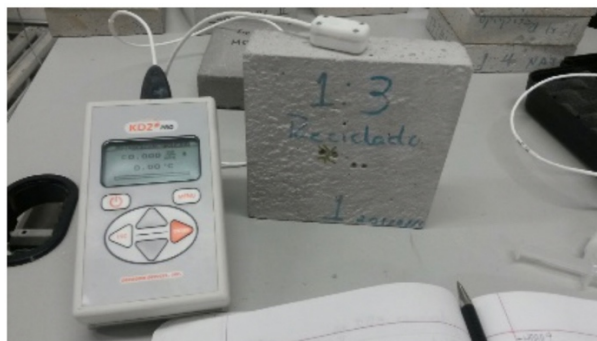


Figura 8. Medidor KD2-Pro con sensor SH-1.
Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de medición

Se perfora el espécimen a medir para obtener un orificio con profundidad de 3 cm donde se introduce el sensor recomendado. Este orificio debe rellenarse con un material de alta conductividad térmica, que oponga la mínima resistencia térmica entre el sensor y el material a medir. La medición se realiza de manera automática, la cual se puede programar desde el dispositivo, reportando en la pantalla los valores en cada medición, los cuales se almacenan en el sistema de datos del equipo y pueden ser exportados en formato de hoja electrónica.

Metodología de simulación

Como complemento y para dimensionar el comportamiento térmico de los materiales estudiados, se realizó una simulación térmica de una vivienda económica ubicada en clima cálido-seco. El programa utilizado para la simulación es *Design Builder v4.2.0.054* (Design Builder, 2015), que trabaja con la metodología de cálculo térmico de *Energy Plus*.

El archivo de datos climáticos de la región de estudio fue obtenido de la estación meteorológica del Laboratorio de Energía y Medio Ambiente en Arquitectura (LEMA) de la Universidad de Sonora.

Se realizó la validación del modelo de simulación comparando los resultados obtenidos de una vivienda (con muros de block de concreto de 12 cm, con aplanado exterior de mortero cem-arena y aplanado de yeso al interior, losa de concreto armado con aislamiento de poliestireno y aplanado de yeso al interior) con los datos medidos dentro de la vivienda construida, durante el período del 15 de julio al 23 de agosto (período climático típico de verano), en los espacios de sala-comedor y recámara principal. Para la obtención de los datos se utilizaron sensores marca HOBO, que incluyen memoria y datalogger. Algunos cuentan solo con sensor interno (caja) y otros con sensor interno y externo. Para las temperaturas del aire interior se colocaron los sensores en medio de las habitaciones a una altura aproximada de 1.40 m del piso, como se muestra en la figura 9.

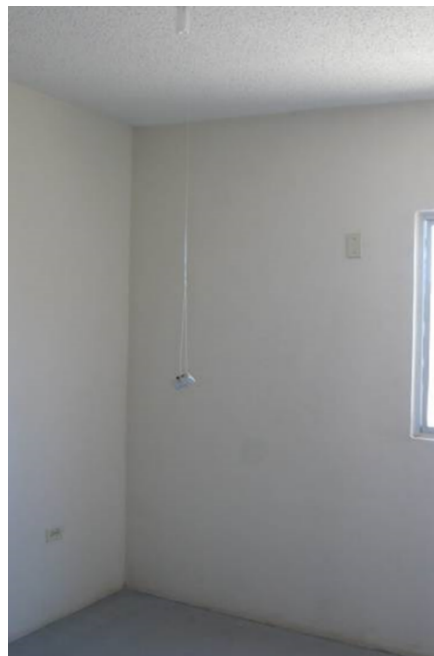


Figura 9. Sensores de temperatura del aire en la vivienda.
Fuente: Elaboración propia.

Se programó la medición con un intervalo de 10 min, iniciando a la hora en punto; de este modo, el intervalo coincide con el de la estación meteorológica, lo cual facilita el procesamiento de los datos. Los datos obtenidos con los sensores se exportaron a hojas de cálculo de *Excel* para su procesamiento e incorporación de los datos climáticos exteriores, para el análisis y validación de la simulación.

Posteriormente, con el modelo validado, la simulación se realiza para dos condiciones de diseño; en la primera, se considera la vivienda de estudio naturalmente ventilada y, en la segunda, se evalúa utilizando un sistema *minisplit* para su acondicionamiento. En ambos casos, se considera la vivienda desocupada, sin ganancias de calor internas debidas a iluminación ni aparatos electrodomésticos, para analizar solo el comportamiento térmico de la envolvente y el consumo de energía debido al acondicionamiento mecánico. Para la condición con sistema de enfriamiento se considera un sistema *minisplit* con un coeficiente de operación (CoP) de 1.83, funcionando del 10 de junio al 31 de agosto, rango dentro de la temporada cálida y durante el cual se tiene subsidio en la tarifa eléctrica en la región de estudio y donde se presentan las temperaturas extremas. Las temperaturas mínima y máxima utilizadas en la simulación, considerándose ventilación natural, fueron de 22 °C y 28 °C, respectivamente. Después de validar la simulación, se realiza un estudio de caso con los materiales de construcción que se midieron.

Estudio de Caso

La ciudad de Hermosillo, Sonora, donde está ubicada la vivienda, se encuentra a 29°06' de Latitud Norte y 110°58' de Longitud Oeste, al Noroeste de la República Mexicana. El clima es cálido-seco, con temperaturas máximas superiores a los 40 °C promedio y temperaturas mínimas menores a los 10 °C promedio. El mes más caluroso es julio, con una temperatura máxima promedio horario de 42 °C, como se aprecia en la figura 10. La humedad relativa es baja, oscila entre el 50% y 15%. La radiación solar también es intensa en esta zona, en verano puede ser superior a los 900 W/m².

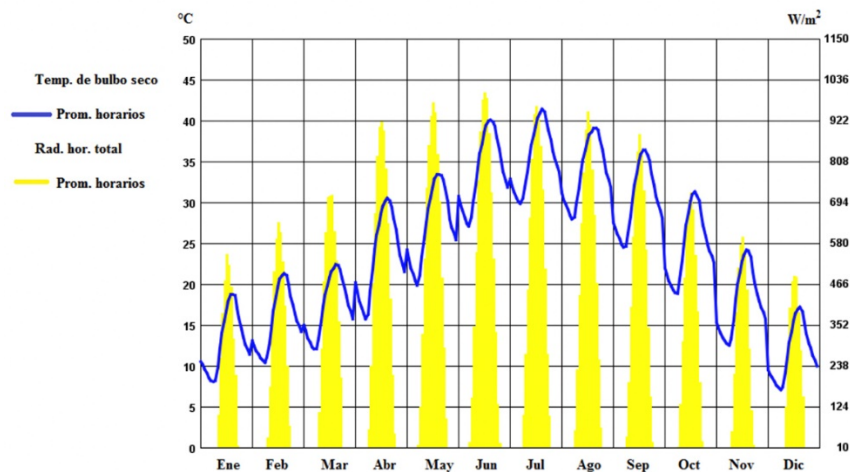


Figura 10. Datos climáticos promedio mensuales de Hermosillo, Sonora.
Fuente: Meteoronorm (Remund, J., & Kunz, S., 2013) analizado con *Climate Consultant* 6.0.

Se toma como estudio de caso una vivienda de interés social, producto de los programas de construcción de vivienda implementados por el gobierno federal mexicano en los últimos años, en la ciudad de Hermosillo, Sonora.

La vivienda tiene una distribución espacial de dos recámaras, sala-comedor, cocina y baño, con una superficie construida de 39.98 m², como se muestra en la figura 11.

Para analizar la influencia de los sistemas constructivos, se realiza la simulación suponiendo tres sistemas constructivos diferentes, los cuales son denominados como ladrillo común, bloque aligerado y ladrillo aislado. La tabla 1 muestra la conformación de los sistemas utilizados en la simulación. El material aislante se supone en la parte exterior del muro cubierto con mortero, con una absorción de 0.5.

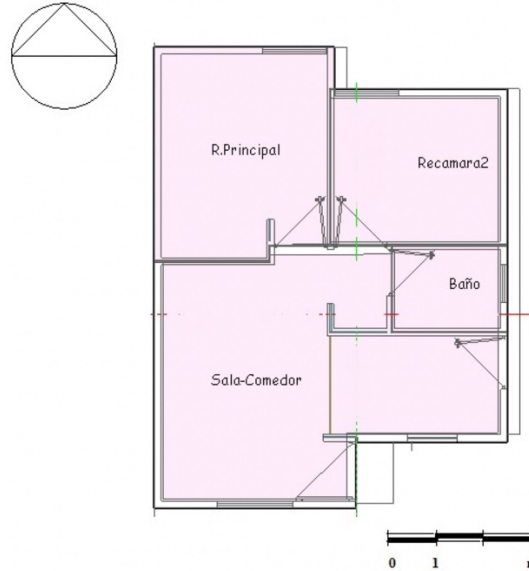


Figura 11. Planta de distribución del estudio de caso.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Sistemas constructivos de muros simulados para el estudio de caso.

Sistema Constructivo de muros	Material
Bloque aligerado	Mortero reciclado 1:3 de 1.5 cm de espesor
	Bloque aligerado de 12 cm
	Mortero reciclado 1:3 de 1.5 cm de espesor
Ladrillo común	Mortero cemento-arena 1:3 de 1.5 cm de espesor
	Ladrillo rojo común de 12 cm
	Mortero cemento-arena 1:3 de 1.5 cm de espesor
Ladrillo aislado	Mortero cemento-arena 1:3 de 1.5 cm de espesor
	Poliestireno de 3.81 cm de espesor
	Ladrillo rojo común de 12 cm
	Mortero cemento-arena 1:3 de 1.5 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia.



Figura 12. Vista fachada principal sur.
Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Se presentan los resultados bajo tres apartados; en primer término, los resultados experimentales de los materiales estudiados; en segundo término, los resultados de validación de la simulación del estudio de caso y, por último, los resultados simulando los tres sistemas constructivos a evaluar.

Resultados de medición de propiedades termofísicas

Los resultados de medición se muestran en la tabla 2, donde se observan los valores de la conductividad térmica, el calor específico, la densidad, así como el error reportado por el equipo de medición.

Tabla 2. Propiedades térmicas, resultados de medición.

Material	λ	Cp	ρ
Mortero natural 1:3	0.470	980	1685
Ladrillo común	0.814	921	1800
Mortero reciclado 1:3	0.291	820	1362
Bloque aligerado	0.465	1264	1465

El equipo reporta un error en la medición de 0.051 para el sensor RK-1 y de 0.049 para el sensor SH-1.

λ = conductividad térmica (W/mK)

Cp = Calor específico (J/KgK)

P = densidad (Kg/m³)

Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos fueron utilizados en la simulación de los diferentes sistemas constructivos. El único material que no fue medido experimentalmente es el poliestireno, ya que las empresas que lo producen tienen regulado el mercado y sus fichas técnicas reportan los valores de las propiedades térmicas, de tal manera que fue simulado con los datos que se encuentran en la biblioteca del programa de simulación: conductividad térmica de 0.040 W/mK; calor específico de 1400 J/KgK; densidad de 15 kg/m³.

Resultados de validación de la simulación

Para verificar que los resultados de la simulación fuesen lo más próximo a la realidad, se compararon los valores obtenidos de la simulación con los sistemas constructivos reales que tiene la vivienda construida y los datos medidos en los espacios de sala-comedor y recámara principal.

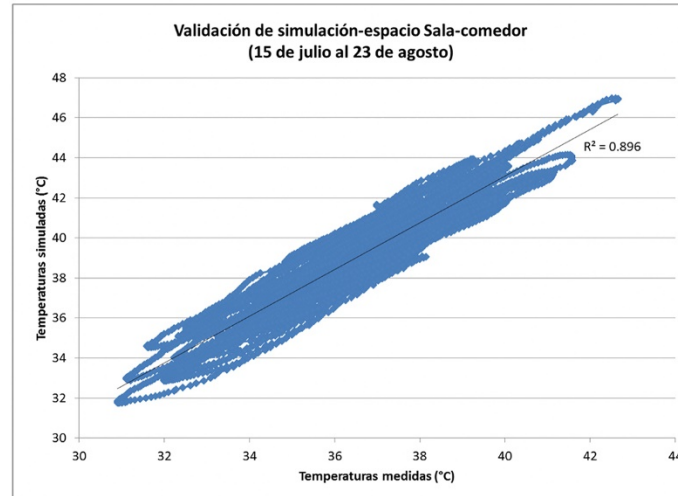


Figura 13. Comparación de temperaturas medidas vs simuladas en sala-comedor.
Fuente: Elaboración propia.

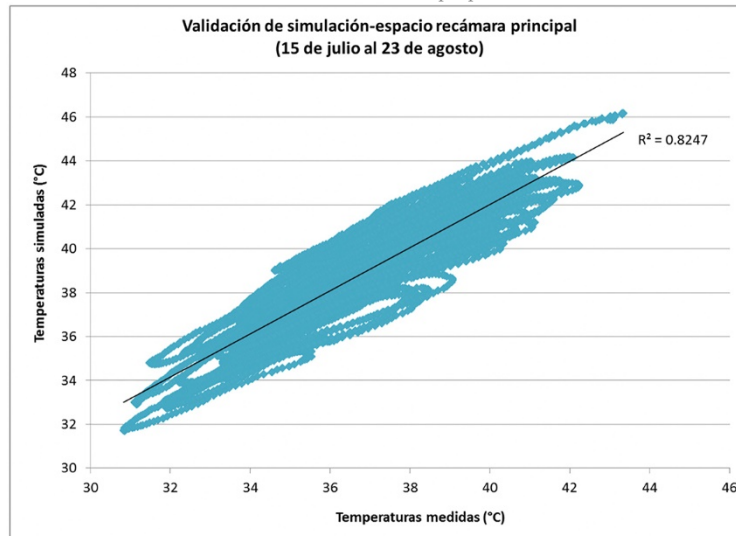


Figura 14. Comparación de temperaturas medidas vs simuladas en recámara.
Fuente: Elaboración propia.

La línea de tendencia entre los resultados medidos y los simulados, como se aprecia en las figuras 13 y 14, presenta una correlación lineal (R^2) superior a 0.8 en ambos espacios, considerándose una buena correlación entre los datos obtenidos, por lo cual se prosigue con la evaluación de los diferentes sistemas constructivos.

Resultados de simulación y comparación

Se presentan los resultados de temperatura del aire promedio diario al interior de la vivienda, así como las temperaturas horarias superficiales al interior del muro ubicado en la orientación sur del espacio de sala-

comedor, sin el uso de sistema de acondicionamiento de aire. Además, para la condición con acondicionamiento de aire, se muestran las ganancias de calor a través de los muros y el consumo de energía por el uso de aire acondicionado en la temporada de verano.

Al observar el comportamiento de las temperaturas superficiales del interior, en el muro sur (figura 15), la diferencia se incrementa hasta en 4.8 °C entre la vivienda con ladrillo aislado y ladrillo común y 1.9 °C entre la del ladrillo aislado y el bloque aligerado. Esto incidiría de manera importante sobre el confort térmico de los ocupantes, ya que una de las variables relevantes es la temperatura media radiante, que depende de las temperaturas superficiales.

Al realizar la simulación utilizando el sistema de aire acondicionado, los resultados obtenidos para el cálculo de las ganancias de calor a través de la envolvente se muestran en la figura 16, donde se observa que existe una disminución de ganancias de calor de hasta el 58% entre la vivienda de ladrillo común y la de ladrillo aislado para el mes de julio.

La diferencia en la disminución de ganancias de calor entre la vivienda de ladrillo común y la de bloque aligerado es de 17% para el mismo mes.

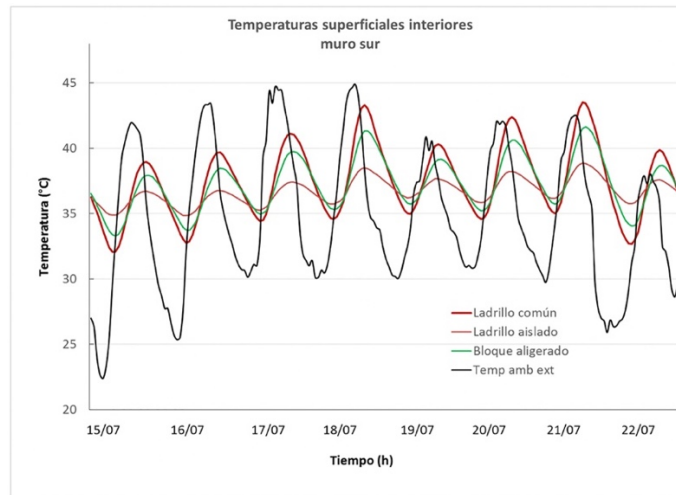


Figura 15. Temperaturas horarias superficiales al interior del muro sur en la vivienda de una semana.
Fuente: Elaboración propia.

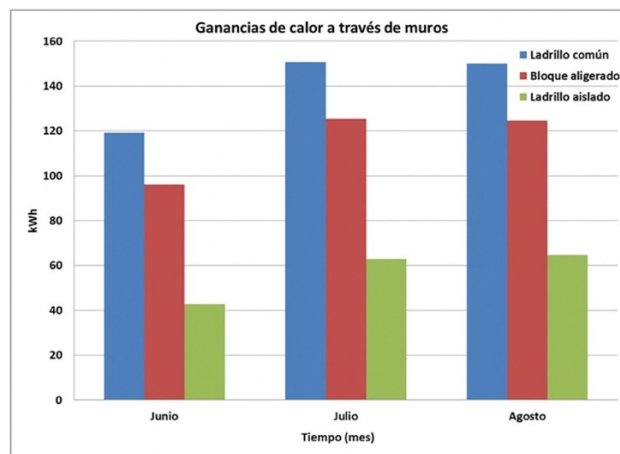


Figura 16. Ganancias mensuales de calor a través de muros.
Fuente: Elaboración propia.

La figura 17 muestra el consumo de energía eléctrica requerida para alcanzar la condición de diseño (25 °C) debido al funcionamiento del sistema de enfriamiento *minisplit* en las viviendas, durante la temporada de evaluación. En ella se puede apreciar que la diferencia entre la de mejor y peor comportamiento es un ahorro de energía del 24.8%. La diferencia de ahorro entre la de mediano y peor comportamiento corresponde a un 8.8%.

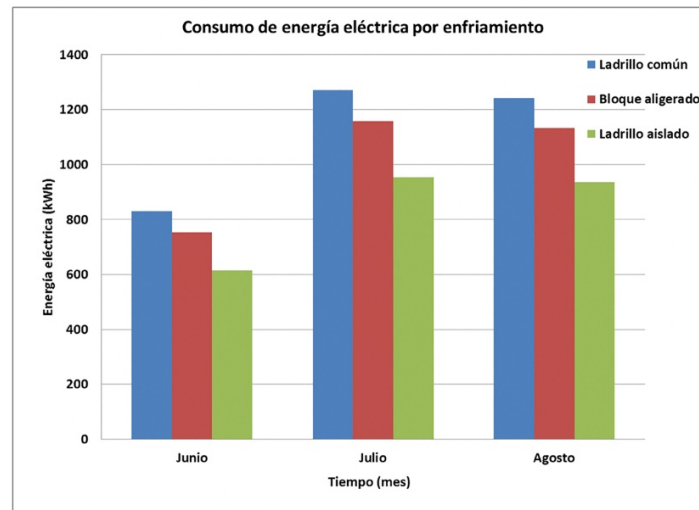


Figura 17. Consumo de energía mensual por enfriamiento en temporada de verano (junio, julio y agosto).
Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

En el documento se muestran resultados de mediciones experimentales de materiales de construcción utilizados de manera común en la construcción de viviendas en toda la República Mexicana, así como resultados del comportamiento térmico de tres diferentes sistemas constructivos que utilizan los materiales previamente medidos. La medición de las propiedades termofísicas de materiales que son utilizados en las construcciones en México aún no es obligatoria, por lo cual es difícil obtener dicha información. Aunque existen empresas dedicadas a la elaboración de dichos materiales que sí realizan las mediciones necesarias que deben ser utilizadas para realizar simulaciones del comportamiento térmico de las envolventes con una metodología normalizada, esto no es una práctica usual.

Asimismo, se muestran los datos obtenidos mediante la simulación de tres diferentes sistemas constructivos de muros para un mismo estudio de caso. Los resultados demuestran que es necesario tener mediciones experimentales de conductividad, calor específico y densidad de los materiales para la obtención de resultados confiables en las simulaciones, sobre todo para el comportamiento en estado dinámico.

Finalmente, podemos concluir que, de los tres diferentes sistemas constructivos evaluados, dos de ellos sin ningún tipo de aislamiento, el que mejor comportamiento térmico tuvo fue el que incluye una capa de poliestireno de 3.81 cm de espesor en el lado exterior. Sin embargo, se pudo obtener una considerable disminución en las ganancias de calor y en el consumo de energía eléctrica por aire acondicionado, utilizando bloques elaborados con material reciclado.

Ante lo expuesto, se concluye que es prioritario contar con datos confiables de los materiales de construcción para evaluar el desempeño de nuevos materiales que pueden ser eficientes y de menor costo

para la construcción de viviendas en gran escala, lo que contribuiría a lograr una arquitectura eficiente y un aporte hacia el desarrollo sustentable.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y a la Comisión Nacional de Vivienda por el financiamiento del proyecto: Diseño termo físico de componentes constructivos aligerados con características térmicas para elaborar muros de vivienda de interés social.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el financiamiento al Proyecto: Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables.

Referencias

- Al-Jabri, K. S., Hago, A. W., Al-Nuaimi, A. S., & Al-Saidy, A. H. (2005). Concrete blocks for thermal insulation in hot climate. *Cement and Concrete Research*, 35(8), 1472-1479. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.08.018>
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2008). Standard test method for determination of thermal conductivity of soil and soft rock by thermal needle probe procedure. *ASTM International*, D5334-08.
- Barros, A., Caballero, J. M., & Zaldo, V. (1981). Aplicaciones del cemento reforzado con fibra de vidrio. *Informes de la Construcción*, 33(333), 73-81. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.1981.v33.i333-334-335-336>
- Clarke, J. A., & Hensen, J. L. M. (2015). Integrated building performance simulation: Progress, prospects and requirements. *Building and Environment*, 91, 294-306. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.002>
- Decagon Devices Inc. (2013). *KD2 Pro thermal properties analyzer operator's manual version 12*. Decagon Devices Inc.
- Del Río, M., Santa Cruz, J., & González, M. (2005). Morteros aligerados con arcilla expandida: Influencia de la granulometría y la adición de fibras de vidrio AR en el comportamiento mecánico. *Informes de la Construcción*, 57(497), 39-46. doi: <https://doi.org/10.3989/ic.2005.v57.i497.466>
- Design Builder (2015). *Design builder energy plus simulation documentation: for Design Builder v4.2.0.054*. Recuperado de <http://www.designbuilder.co.uk/helpv4.2>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (28 de septiembre de 2015). NMX-C021-ONNCE. *Industria de la construcción-Cemento para albañilería (Mortero) Especificaciones y métodos de ensayo*. México: DOF.
- Huang, Y., & Niu, J. (2016). Optimal building envelope design based on simulated performance: History, current status and new potentials. *Energy and Buildings*, 117, 387-398. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.025>
- Hong, T., Chou, S. K., & Bong, T. Y. (2000). Building simulation: an overview of developments and information sources. *Building and Environment*, 35(4), 347-361. doi: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(99\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(99)00023-2)
- Marco, J., García, E., Más, M. I., Alcaraz, V., & Luizaga, A. (2012). Estudio de la resistencia a compresión de morteros fabricados con conglomerante compuesto de polvo de vidrio. *Informes de la Construcción*, 64(528), 529-536. doi: <https://doi.org/10.3989/ic.11.100>
- Remund, J., & Kunz, S. (2013). *METEONORM: Global meteorological database for solar energy and applied climatology*. Bern, Switzerland: Meteotest Fabrikstrasse.
- Serrano, T., Borrachero, M. V., Monzó, J. M., & Payá, J. (2012). Morteros aligerados con cascarilla de arroz: Diseño de mezclas y evaluación de propiedades. *Dyna*, 79(175), 128-136.
- Spitler, J. D. (2006). Editorial: building performance simulation: the now and the not yet. *HVAC&R Research*, 12(1), 711-713.
- World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our Common Future (Brundtland Report)*. United Nations (UN). London, Oxford University.