BAJAREQUE CONTEMPORÁNEO PARA CLIMAS SEMIÁRIDOS. SISTEMA ALTERNATIVO PARA LA VIVIENDA RURAL DE TORREÓN, MÉXICO

Alleck J. González Calderón[1], Luis Fernando Guerrero Baca[2]

[1]Universidad Autónoma de Coahuila – Unidad Torreón, México, alleck@hotmail.com

[2]Universidad Autónoma Metropolitana – Unidad Xochimilco, Ciudad de México, luisfg1960@yahoo.es

Palabras clave: técnicas mixtas, cambio climático, construcción sostenible, energía embebida, emisiones de CO_2

Resumen

Desde hace décadas, sistemas constructivos como la mampostería de adobe y la estructura de entramado mixto como el bajareque son sustituidos por sistemas industrializados que repercuten sobre el paisaje cultural y generan impactos ecológicos por elevados consumos de energía durante procesos de fabricación, que ocasionan emisiones de CO_2 y contribuyen con el cambio climático. En el territorio rural de Torreón, México, la vivienda experimenta transformaciones constructivas que la vuelven ecológicamente insostenible. Por ello, es importante la innovación de sistemas constructivos que incorporen la tierra como material de construcción. El objetivo de este trabajo es exponer los resultados de un análisis comparativo de energía incorporada y de emisiones de CO_2 entre un sistema constructivo convencional, de uso extensivo en la región, que incorpora materiales industrializados, y la propuesta de un sistema alternativo, que en mayor medida emplea materiales como madera y tierra, para la vivienda rural de Torreón. La metodología se fundamenta en un análisis comparativo de energía embebida y de emisiones de CO_2 entre los dos sistemas constructivos, de 10 m^2 cada uno, incluye la cuantificación de materiales y su asignación de coeficientes de consumo energético (MJ/kg) y de emisiones de dióxido de carbono (g CO_2/kg), provenientes de fuentes especializadas en el tema energético de los materiales para edificación. Los resultados indican que la propuesta constructiva, que emplea madera y tierra como materiales de construcción, representa menores impactos ambientales ya que el consumo energético es 28.7% menor y las emisiones de CO_2 son 160% menores que las del sistema constructivo convencional, que emplea únicamente materiales como concreto y acero.

1 INTRODUCCIÓN

Aunque el último siglo se ha caracterizado por una incesante búsqueda de crecimiento económico y desarrollo tecnológico, de manera simultánea se ha ido generando una profunda crisis ecológica, principalmente motivada por procesos de industrialización que consumen grandes cantidades de energía proveniente de fuentes fósiles y que emiten enormes volúmenes de CO_2. La concentración atmosférica de gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono, intensifican el calentamiento global y contribuyen con el cambio climático.

Desde mediados del siglo pasado, algunos cálculos predecían que la concentración de CO_2 llegaría a la condición crítica de 380 ppm para el año 2000 (Meadows et al., 1972). Sin embargo, en 2019 la Organización Meteorológica Mundial informó que la concentración mundial de CO_2 en la atmósfera superó el umbral de 410 ppm (WMO, 2019).

Si continúa la tendencia de aumento de GEI, cada vez serán más intensos los impactos sociales, económicos y ecológicos, causados por el cambio climático. Inundaciones, tormentas, incendios, sequías, así como olas de calor y de frío, entre otros impactos observados en la actualidad, solo son un anticipo de las crisis que puede generar el cambio climático (GIZ, 2016).

Por su parte, la industria de la construcción es de los mayores consumidores de energía; esto incluye las fases de producción, operación y demolición de los edificios, y asciende a

no menos del 40% del total de la energía utilizada por toda la sociedad. Por lo cual, lograr que las prácticas de edificación sean sostenibles se convierte en uno de los retos más importantes de la actualidad (Berge, 2009).

A pesar de que existen sistemas de edificación que emplean tierra como material de construcción y que pueden considerarse sostenibles por que han demostrado poseer diversas cualidades, en la actualidad los sistemas industrializados con menores o nulas propiedades ecológicas, podrían sustituir a los de tierra, que durante siglos se han implementado para la construcción del hábitat urbano y rural. Algunas de sus cualidades son las siguientes: socioculturales, por ser parte de una tradición constructiva de distintos pueblos del mundo; económicas, por su bajo costo al emplear materiales y mano de obra locales; ecológicas, por su reducido consumo energético y de emisiones de dióxido de carbono.

Aunque las transformaciones de las edificaciones de tierra se han documentado ampliamente en América Latina, este fenómeno acontece por todo el mundo (Guerrero, 2007). En Argelia, país de Medio Oriente con una antigua tradición constructiva con tierra, caracterizado por climas áridos y semiáridos, se desarrolló una arquitectura tradicional adaptada al clima y al estilo de vida de cada región. No obstante, tras la occidentalización del país las prácticas de construcción tradicionales comenzaron a abandonarse, de tal manera que, en la actualidad el entorno construido depende en mayor medida del uso de concreto, que no corresponde con la diversidad regional del país y que ignora la naturaleza, el clima y el estilo de vida de los habitantes (Aydeniz; Fellahi, 2019). México también posee un amplio territorio caracterizado por climas áridos y semiáridos, que van desde el centro hasta el norte del país, donde se han desarrollado sistemas constructivos de tierra adaptados a estas condicionantes climáticas. En el norte de país aún persiste la tradición constructiva del adobe, que emplea la tierra como material de construcción. Sin embargo, esta y otras técnicas de construcción se encuentran en proceso de deterioro y de sustitución, por considerarse edificaciones de baja calidad y en otras ocasiones por el olvido de las técnicas de construcción.

Lo mismo acontece en contexto rural de Torreón en Coahuila. Aunque en un inicio gran parte de los asentamientos rurales fueron construidos con la técnica de mampostería de adobe, en la actualidad este tipo de edificaciones se encuentran en estado de deterioro, de abandono y en muchas ocasiones han sido demolidas y sustituidas por sistemas constructivos que implementan materiales industrializados como el concreto armado. En la figura 1 se observa una edificación deteriorada y abandonada. Sin embargo, con estas transformaciones no solo se olvidarán las técnicas de construcción, también se perderán las cualidades socioculturales, económicas y ecológicas, teniendo como resultado la insostenibilidad de la vivienda.

Figura 1. Deterioro y abandono de la vivienda construida con adobe en el contexto rural de Torreón, Coahuila (crédito: A. J. González)

En cuanto a pérdida de cualidades ecológicas, la sustitución de materiales y componentes de tierra, en conjunto con otros de origen natural, ha tenido como consecuencia que las nuevas edificaciones con materiales industrializados tengan un mayor consumo energético y con ello mayores emisiones de CO_2. De esta manera, no solo se impacta sobre el paisaje cultural, también se contribuye con el cambio climático.

Por ello, es preciso evaluar la posibilidad de innovar técnicas tradicionales de construcción con tierra para su posible aplicación en viviendas sostenibles. Entre los principales aspectos a considerar están las variables de energía embebida y de emisiones de CO_2, con la finalidad de mostrar sus cualidades al compararse frente a sistemas constructivos industrializados. En este trabajo se exponen los resultados obtenidos a partir de la comparación entre un modelo edificado con técnicas mixtas, denominado Bajareque Tecnificado, situado desde 2020 en la UAdeC-Torreón, frente a un modelo de iguales dimensiones, realizado con un sistema convencional, ampliamente difundido en el contexto rural de la región, que incluye materiales industrializados como concreto y acero.

2 CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

El desarrollo y la innovación tecnológica del sector de la edificación ha dado lugar a la disponibilidad de diferentes materiales de construcción. Sin embargo, de manera paralela, estos materiales consumen una gran cantidad de energía desde su producción hasta su puesta en obra. El gasto energético por la fabricación de materiales es directamente proporcional a las emisiones de CO_2. Los edificios generan casi el 40% de las emisiones totales de CO_2, eso los convierte en uno de los principales contribuyentes del cambio climático (Sabnis et al., 2015).

Debido a los impactos ambientales generados por las prácticas de edificación, se han desarrollado marcos teóricos y metodológicos para retroalimentar las prácticas contemporáneas y con ello aminorar sus impactos ecológicos. De esta manera, el concepto de construcción sostenible conlleva un proceso integral que busca restaurar y conservar la armonía entre los ambientes naturales y construidos. Implica un pensamiento holístico en lo que respecta a la construcción y gestión del entorno, a partir de la perspectiva del ciclo de vida (CIB, 2002).

Los principios de la construcción sostenible buscan entre otros aspectos, reducir el consumo de insumos, reutilizar recursos, emplear materiales reciclables, proteger la naturaleza, eliminar substancias tóxicas, aplicar el análisis de ciclo de vida y elevar la calidad ambiental y confort de los espacios edificados. Estos principios han de aplicarse durante las fases de planificación, desarrollo, diseño, construcción, uso y operación, mantenimiento, modificación y deconstrucción, tomando en consideración recursos como el suelo, materiales, agua, energía y ecosistemas (Kibert, 2013).

Algunos impactos ecológicos relacionados con la producción de materiales se vinculan estrechamente con el consumo energético durante los procesos de fabricación. Un ejemplo importante es la calcinación de la cal y las arcillas durante la producción de cemento, donde, además de muchos otros gases contaminantes, se liberan grandes cantidades de CO_2 (Berge, 2009). Reducir el consumo de energía del entorno construido y de las emisiones de gases de efecto invernadero son objetivos nodales de la construcción sostenible.

Es evidente que existen materiales con distintos coeficientes energéticos y de emisiones de dióxido de carbono. Entre los materiales industrializados que presentan mayores cargas energéticas y de emisiones de dióxido de carbono, se encuentran el aluminio virgen con 194 MJ/kg y 14200 g CO_2/kg, el acero de refuerzo con 8,6 MJ/kg y 575 g CO_2/kg, el concreto con 1,2 MJ/kg y 164 g CO_2/kg (Alcorn, 2010). Sin embargo, algunos productos tienen una energía incorporada menor cuando su transformación se realizan mediante procedimientos poco mecanizados, o bien, cuando son reciclados. Por ejemplo, el aluminio reciclado tiene el 10% de la energía incorporada con respecto al que se fabrica a partir de la extracción de mineral de bauxita. De manera similar, el acero reciclado tiene el 20% de la energía incorporada del acero hecho con minerales naturales (Kibert, 2013).

Por otra parte, se puede considerar que un material es sostenible cuando genera menos impactos sobre el medioambiente. Generalmente, son de origen natural, elaborados a partir de recursos renovables, reutilizados o reciclados y son durables. Además, tienen baja energía embebida, así como, bajas emisiones de gases tóxicos y contaminantes durante todo su ciclo de vida (DEGREN, 2020). Entre los materiales de origen natural, empleados en la construcción, con bajos coeficientes de energía incorporada y de dióxido de carbono embebido están la madera con 2,7 MJ/kg y -1670 g CO_2/kg, la tierra con 0,15 MJ/kg y -12 g CO_2/kg, la paja 0,24 MJ/kg y -1660 g CO_2/kg (Alcorn, 2010).

Cabe resaltar que, la tierra como material de construcción tiene diversas cualidades para considerase sostenible. En los sistemas constructivos de tierra, los procesos de extracción, transportación y transformación del material se hacen in situ, lo cual representa una reducción de consumos de materia y energía (Guerrero, 2014). Durante el proceso de construcción con tierra se utilizan pequeñas cantidades de agua y energía, ya que el trabajo es manual, y se generan muy pocos residuos, cumpliendo así varios principios de lo que puede considerase como construcción sostenible (Henneberg, 2014).

Por su parte, la madera es un recurso natural renovable que producida de forma legal y sostenible es la más respetuosa con el medio ambiente. En comparación con materiales de construcción industrializados, como el acero, el concreto, así como, algunos paneles prefabricados de madera, no emite gases de efecto invernadero, requiere poca cantidad de energía durante sus procesos de producción y se considera un sumidero de carbono (UN-Habitat, 2012).

Sin embargo, el aumento de precios, así como, la escasez de los recursos maderables, han convertido al acero reciclado en una alternativa viable para la construcción. Debido a que es altamente resistente a esfuerzos mecánicos, se necesitan menos componentes estructurales para soportar la misma carga. Aunque el acero tiene un contenido energético incorporado muy alto, se puede reutilizar y reciclar fácilmente (Kim; Rigdon, 1998).

Esto abre la posibilidad de plantear sistemas constructivos mixtos que incorporen materiales como el acero en sus componentes estructurales, combinados con otros de origen natural como la madera, la tierra y la paja. En climas áridos y semiáridos la madera es un recurso escaso y poco durable por la radiación solar y la baja humedad ambiental, mientras que el acero puede ser de fabricación local y soportar de mejor manera las condiciones climáticas. No obstante, edificaciones milenarias han demostrado que en climas extremos la madera y la paja pueden conservar su integridad si se recubren con tierra. De este modo se podría aprovechar el potencial de cada componente en una interacción compatible.

3 METODOLOGÍA

A partir de un análisis comparativo, que contempla las variables de energía embebida y de emisiones de CO_2, entre dos sistemas constructivos de 10 m^2 cada uno, se pretende demostrar de manera cuantitativa la sostenibilidad de un sistema alternativo denominado bajareque tecnificado (SBT), emplazado en la Universidad Autónoma de Coahuila en Torreón. La propuesta se basa en la reinterpretación de la tradición constructiva del bajareque con madera, tierra y paja, incorporando algunos componentes de acero en su enmarcamiento estructural y de concreto armado en la cimentación. Mientras, el piso, los muros y la cubierta están constituidos por entramados de madera que reciben mezclas de concreto y de tierra-paja (figura 2).

Los parámetros de sostenibilidad del SBT se compararon con los de un local realizado con un sistema constructivo convencional (SCC), de amplio uso en la región, que emplea concreto armado en la cimentación, así como, bloques de concreto unidos con mortero de pega para muros confinados por cerramientos de concreto armado. En tanto, la cubierta está constituida por una losa reticular de concreto armado (figura 3).

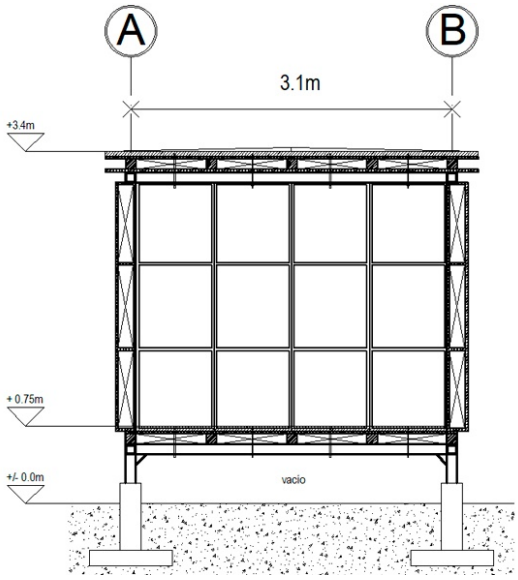
Características del sistema bajareque tecnificado (10 m^2) – SBT	
	**Cimientos aislados:** cuatro zapatas de concreto armado con resistencia de 200 kgf/cm^2 y acero de refuerzo de varillas corrugadas de 0.0095 m de diámetro. Con base de 0.8 m x 0.8 m x 0.15 m y dado de 0.2 m x 0.2 m x 0.65 m.
	Columnas: cuatro perfiles de acero tipo PTR, de 3 m de longitud, con sección de 0.1 m x 0.1 m y calibre de 0.0019 m.
	Vigas: ocho perfiles de acero tipo PTR, de 3 m de longitud, con sección de 0.1 m x 0.1 m y calibre de 0.0019 m. Así como, dos perfiles de acero tipo PTR, de 3 m de longitud, con sección de 0.1 m x 0.05 m y calibre de 0.0019 m, colocados como apoyo intermedio para soportar los entramados del piso y de la cubierta.
	Piso: entramado de madera, con cinco polines de sección de 0.1 m x 0.1 m y 3.2 m de longitud, que conforman un envigado que recibe un entablado de diez piezas de madera con secciones de 0.3 m x 0.025 m y 3.2 m de longitud, que sirve de soporte para una placa concreto armado de 100 kgf/cm^2, de 0.025 m de espesor, con refuerzo de una malla electrosoldada con retícula de 6” x 6”.
	Muros: dieciséis paneles de madera, con modulación de 2.4 m de alto x 0.75 m de ancho x 0.2 m de largo, armados con tablas de 0.2 m x 0.025, con aplicación de malla de acero, para corral de aves, en cara interior y exterior, para recibir revoques de tierra-paja con 0.05 m de espesor. La disposición de los revoques genera una cámara ventilada de 0.1 m al interior de los muros.
	Cubierta: de entramado de madera conformado por cinco polines, con sección de 0.1 m x 0.1 m x 3.2 m de longitud para envigado que recibe un doble entablado de veinte piezas de madera con secciones de 0.3 m x 0.025 m y 3.2 m de longitud, colocadas en la parte inferior y superior del envigado. Finalmente, el entramado soporta una placa de concreto armado de 100 kgf/cm^2, de 0.025 m de espesor, con refuerzo de una malla electrosoldada con retícula de 6” x 6”. La disposición de una doble cara de madera genera una cámara ventilada de 0.1 m al interior de la cubierta.

Figura 2. Sección y edificación del sistema bajareque tecnificado

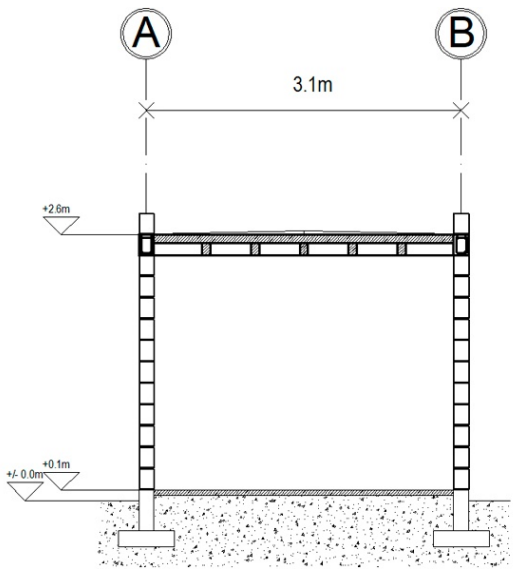
Características del Sistema Constructivo Convencional (10 m^2) – SCC	
	**Cimientos continuos:** zapatas de concreto armado, con resistencia de 200 kgf/cm^2 y acero de refuerzo de varillas corrugadas de 0.0095 m de diámetro. Con base de 0.55 m x 0.15 m y contratrabe de 0.55 m x 0.15 m.
	Columnas: cuatro elementos de concreto armado de 200 kgf/cm^2 y acero de refuerzo de varillas corrugadas de 0.0095 m de diámetro. Con sección de 0.15 m x 0.15 m.
	Vigas: cuatro elementos de concreto armado de 200 kgf/cm^2 y acero de refuerzo de varillas corrugadas de 0.0095 m de diámetro. Con sección de 0.2 m x 0.15 m.
	Piso: placa de concreto armado de 100 kgf/cm^2, de 0.05 de espesor, reforzada con una malla electrosoldada con retícula de 6" x 6".
	Muros: de block hueco de concreto, con dimensiones de 0.4 m x 0.2 m x 0.15 m, con juntas de mortero de cemento-arena con 0.01 m de espesor.
	Cubierta: losa reticular de concreto armado, con resistencia de 200 kgf/cm^2, con viguetas de 0.12 m x 0.08 m y capa de compresión de 0.05 m de espesor. Con implementación de placas de poliestireno de 0.4 m x 0.4 m por cada lado y 0.1 m de espesor.

Figura 3. Sección del módulo de sistema constructivo convencional

El análisis se basa en la cuantificación de materiales de los dos sistemas constructivos, para determinar la energía embebida en MJ/kg y las emisiones de dióxido de carbono en gramos, por cada kilogramo de material constructivo (gCO_2/kg).

Etapas del proceso metodológico:

- Inventario de materiales
- Cuantificación de materiales y peso volumétrico
- Cuantificación de energía incorporada
- Cuantificación de emisiones de CO_2
- Comparación de sistemas constructivos

Con base en la elaboración de planos se registran todos los componentes y materiales que constituyen los sistemas constructivos. La cuantificación de los materiales en m^3 se realizó con base en las características y dimensiones de cada componente empleado para cimentación, columnas, vigas, piso, muros y cubierta. Esta información se obtuvo por medio de la revisión de fichas técnicas de materiales emitidas por los fabricantes.

A partir de la cuantificación de los materiales empleados para cada componente constructivo, se asignó su peso volumétrico expresado en kg/m^3. Esto se obtuvo multiplicando el peso volumétrico de cada material en m^3 por el peso asignado en kg/m^3, con base en datos de CEMEX (2005).

Una vez que se obtuvo el peso volumétrico de los materiales empleados en los componentes de cada sistema constructivo, se multiplicó por los coeficientes de MJ/ g, para determinar la energía incorporada, así como, por los coeficientes de g CO_2/kg, para

determinar las emisiones de dióxido de carbono. La información fue obtenida del Centre of Building Performance Research, de la Universidad Victoria de Wellington, Nueva Zelanda, (Alcorn, 2003).

Finalmente, con base en la elaboración de gráficas se compararon los resultados de la energía embebida y las emisiones de dióxido de carbono, de los materiales consumidos en los componentes de cada sistema constructivo analizado.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

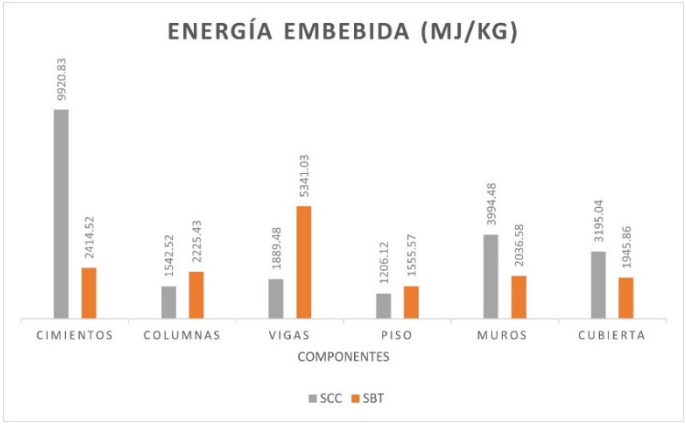


Figura 4. Energía embebida (MJ/kg) de componentes por cada sistema constructivo

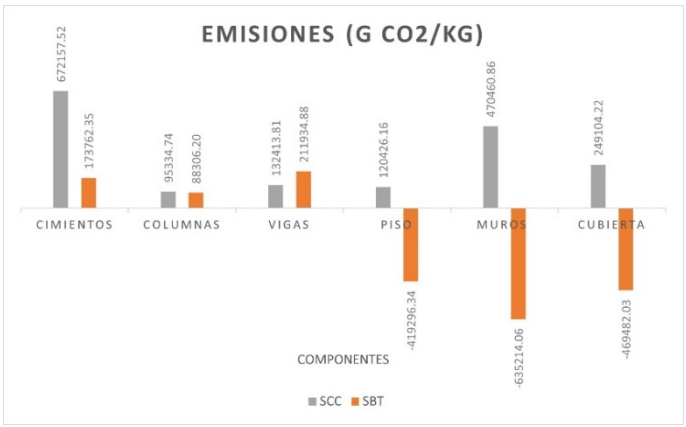


Figura 5. Emisiones de dióxido de carbono (g CO_2/kg) de componentes por cada sistema constructivo

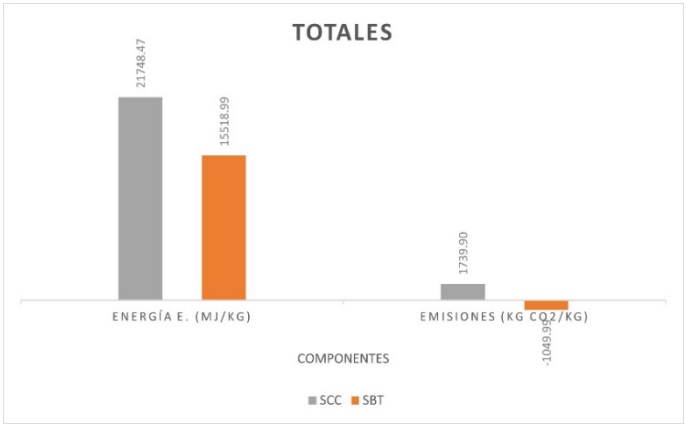


Figura 6. Energía embebida (MJ/kg) y emisiones de dióxido de carbono (g CO_2/kg) totales de cada sistema constructivo

Con base en los resultados mostrados en las figuras 4, 5 y 6 se establecen comparaciones entre el sistema constructivo convencional (SCC) y el sistema de bajareque tecnificado (SBT). Se analizan las variables de energía embebida (figura 4) y de emisiones de dióxido de carbono (figura 5), por cada componente. Por último, en la figura 6 se muestran los resultados totales de energía embebida y de emisiones de CO_2 de cada sistema constructivo.

4.1 Cimientos

La energía embebida de la cimentación del SBT es menor que la del SCC, con una diferencia de 7506.31 MJ, que representa 75.7 %. Así mismo, las emisiones de dióxido de carbono de la cimentación del SBT son menores que la del SCC, con una diferencia de 498395.17 g CO_2, equivalentes a 0.49 t CO_2, que representan 74.2 %.

Aunque la cimentación de los dos sistemas constructivos es de concreto armado, la del SBT tiene menor consumo energético porque su volumen representa una cuarta parte de la cimentación continua de concreto armado del SCC. El peso total del SCC es de 8630 kg, mientras que el peso del SBT es de 5783 kg, existe una diferencia de 2847 kg que se traduce en un menor peso transmitido hacia la cimentación. En consecuencia, de la reducción en el consumo de concreto armado, las emisiones de CO_2 de la cimentación del SBT también son menores frente a las del SCC.

4.2 Columnas

La energía incorporada de las columnas del SCC es menor que la del SBT, con una diferencia de 682.91 MJ, que representa 30.7 %. En tanto, las emisiones de dióxido de carbono de las columnas del SBT son menores que las del SCC, con una diferencia de 7028.54 g CO_2, equivalentes a 0.007 t CO_2, que representan 7.4 %.

Ya que el acero concentra más MJ por kilogramo de material en comparación con el concreto, su mayor uso incrementa el consumo energético. Debido a que en las columnas del SCC se usa la mitad del acero empleado en las columnas del SBT, se tiene como resultado un menor consumo energético. Sin embargo, las emisiones de CO_2 de las columnas del SCC son ligeramente mayores que las del SBT por la incorporación de mezcla de concreto en el armado de acero.

4.3 Vigas

La energía embebida de las vigas del SCC es menor que las del SBT, con una diferencia de 3451.55 MJ, que representa 64.7 %. Así mismo, las emisiones de dióxido de carbono de las vigas del SCC son menores que las del SBT, con una diferencia de 79521.07 g CO_2, equivalentes a 0.079 t CO_2, que representan 37.5 %.

Debido a que en las vigas de concreto armado del SCC se usa una cuarta parte del volumen de acero empleado en las vigas del SBT, se tiene como resultado un menor consumo energético aun sumando la energía embebida de la mezcla de concreto añadida al armado de acero. Si bien, el volumen total de las vigas del SBT es menor que el del SCC, las emisiones de CO_2 de las vigas del SBT se incrementan por la mayor incorporación de acero, ya que los g CO_2/kg de concreto son hasta diez veces menores que los del acero.

4.4 Pisos

La energía embebida del piso del SCC es menor que la del SBT, con una diferencia de 349.45 MJ, que representa 22.5 %. Sin embargo, las emisiones de dióxido de carbono del piso del SBT son menores que las del SCC, con una diferencia de 539722.5 g CO_2, equivalentes a 0.53 t CO_2, que representan 448 % menos.

Ya que la energía embebida por kg de madera es mayor que la energía incorporada por kg de concreto, el piso del SCC por no emplear madera tiene un menor consumo energético que el del SBT. En contraste, las emisiones de CO_2 del piso del SBT son mucho menores

que las del SCC, porque la madera usada para el entramado tiene la cualidad de absorber dióxido de carbono durante su proceso de crecimiento. En otras palabras, mientras el concreto tiene coeficientes de emisiones positivos, la madera tiene coeficientes negativos.

4.5 Muros

La energía embebida de los muros del SBT es menor que la del SCC, con una diferencia de 1957.90 MJ, que representa 49 %. De la misma manera, las emisiones de dióxido de carbono de los muros del SBT son menores que las del SCC, con una diferencia de 1105674.92 g CO_2, equivalentes a 1.1 t CO_2, que representan 235% menos.

La energía consumida en los muros del SBT es notablemente menor que la consumida en el SCC porque este último emplea únicamente bloques y juntas de concreto, mientras en el SBT se emplea madera y una mezcla de tierra-paja con coeficientes en MJ/kg que son hasta seis veces menores que los del concreto. En tanto que, las emisiones de CO_2 de los muros del SBT también son notablemente menores que las del SCC, porque la madera usada para los paneles tiene coeficientes negativos. Aunque en el proceso de industrialización de la madera se tienen coeficientes positivos, estos se reducen negativamente por la cualidad que tienen las especies maderables de absorber dióxido de carbono durante su crecimiento.

4.6 Cubiertas

La energía embebida de la cubierta del SBT es menor que la del SCC, con una diferencia de 1249.18 MJ, que representa 39.1 %. Así mismo, las emisiones de dióxido de carbono de la cubierta del SBT son menores que las del SCC, con una diferencia de 718586.25 g CO2, equivalentes a 0.71 t CO_2, que representan 288 % menos.

La cubierta del SBT tiene una menor carga energética que la del SCC, debido a que se reduce a la mitad el uso de concreto en la capa de compresión, y porque los coeficientes de energía embebida del poliestireno son hasta veinte veces mayores que los de la madera. Por tal motivo, la carga energética de los sistemas constructivos que incorporan casetones de poliestireno puede verse muy incrementada.

Las emisiones de CO_2 de la cubierta del SBT son marcadamente menores que las del SCC, porque incorpora materiales naturales como la madera que tiene coeficientes negativos. Mientras, la cubierta del SCC resulta con elevadas emisiones de gases de efecto invernadero por el uso extensivo de materiales industrializados como el concreto armado y casetones de poliestireno. Aunque el uso de casetones de poliestireno puede aligerar el peso de las cubiertas, de manera paralela se pueden incrementar las emisiones de CO_2, debido a que los coeficientes de emisiones de dióxido de carbono del poliestireno incluso duplican a los del acero.

4.7 Totales

En general, la energía incorporada del SBT es menor que la del SCC, con una diferencia de 6229.48 MJ, que representan 28.7 %. Por último, las emisiones de dióxido de carbono del SBT son menores que las del sistema constructivo convencional, con una diferencia de 2789886.32 g CO_2, equivalente a 2.7 t CO_2, que representan 160 % menos.

5 CONCLUSIONES

La información analizada en este trabajo permite reconocer, mediante datos duros, la diferencia de dos variables cruciales para las mediciones de impacto ambiental: la energía embebida y las emisiones de dióxido de carbono durante los procesos de fabricación de materiales para edificar.

El sistema SBT para el cual se emplearon tanto materiales de origen natural como industrializados, arroja datos energéticos alentadores al evaluarse comparativamente frente a un sistema constructivo convencional que emplea únicamente materiales industrializados. La reducción de casi una tercera parte (28.7 %) de la energía necesaria para fabricar sus

insumos se vincula con ahorros en las fuentes de energía que en general provienen de la quema de combustibles o de la electricidad.

Pero el dato más impresionante que se deriva del análisis desarrollado deviene de la reducción del 160% en las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Esta reducción se explica en parte por el empleo de tierra para el relleno de los muros, la cual se extrae del propio terreno y se manipula sin complejos procedimientos tecnológicos. Pero, sobre todo, el diferencial mayor está asociado al manejo de material vegetal en su construcción. Como se mencionó antes, los datos derivados de la captura de carbono de la madera y la paja permiten plantear una ecuación en la que el balance final se ve favorecido gracias a los valores con signo negativo de sus emisiones a la atmósfera. En futuros trabajos se prevé usar la madera como elemento estructural en sustitución del acero empleado en el SBT, con ello se reducirá en mayor medida el consumo energético y las emisiones de CO_2.

Con base en los datos generados para un área de 10m^2, se deduce que el SBT tiene una energía incorporada de 1566,7 MJ/m^2, y genera -147,6 kg CO_2/m^2. De esta manera, se puede establecer que por cada 60 m^2 de construcción, tomando como referencia el área mínima de una vivienda social, se tendría una energía embebida de 94002 MJ, y generaría -8856 kg CO_2.

Hoy que se han hecho cada vez más evidentes los estragos provocados por las alteraciones atmosféricas, el planteamiento de sistemas constructivos que reduzcan de manera destacable los indicadores de impacto ambiental genera expectativas promisorias. El desarrollo de sistemas constructivos alternativos como SBT puede apoyar de manera sustantiva en este esfuerzo global. Además, se trata de un sistema que puede ser fácilmente adaptado a procesos de autoconstrucción asistida y que es viable para su empleo tanto en medios rurales como urbanos, consiguiendo en ambos casos los beneficios aquí documentados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcorn, A. (2003). Embodied energy and CO_2 coefficients for NZ building materials. Wellington, New Zealand: Victoria University.

Alcorn, A. (2010). Global sustainability and the New Zealand house (doctoral thesis). Victoria University, Wellington, New Zealand.

Aydeniz, N.; Fellahi, N. (2019). Mzab algerian vernacular architecture: a connection between the architecture and the environment. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/334263768_MZAB_ALGERIAN_VERNACULAR_ARCHITECTURE_A_CONNECTION_BETWEEN_THE_ARCHITECTURE_AND_THE_ENVIRONMENT

Berge, B. (2009). The ecology of building materials. Oxford, United Kingdom: Elsevier.

CEMEX (2005). Manual del constructor. Ciudad de México, México: Talleres de proceso gráfico.

CIB (2002). Agenda 21 for sustainable construction in developing countries. Disponible en: https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB3150.pdf

DEGREN – Design and Green Engineering (2020). Guía para la selección de materiales de construcción sostenible. Disponible en: http://www.degren.eu/wp-content/uploads/2020/05/DEGREN-SMCS.pdf

GIZ (2016). El libro de la vulnerabilidad. Conceptos y lineamientos para la evaluación estandarizada de la vulnerabilidad. Disponible en: https://www.adaptationcommunity.net/download/va/vulnerability-guides-manuals-reports/giz_sbv_ES_SOURCEBOOK_screen_v171019.pdf

Guerrero, L. (2014). La arquitectura de tierra. En M. Rodríguez (Ed.), Introducción a la arquitectura bioclimática. Ciudad de México: LIMUSA. p. 79-100

Guerrero, L. (2007). La pérdida de la arquitectura de adobe en México. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/306375677_Mexico_La_perdida_de_la_arquitectura_de_adobe_en_Mexico

Henneberg, A. (2014). Tres pasos para la recuperación de la arquitectura de tierra en el estado de Zulia, Venezuela. Disponible en: https://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2015/024henneberg.pdf

Kibert, C. J. (2013). Sustainable construction: Green building design and delivery. New Jersey, USA: Wiley

Kim, J.; Rigdon, B. (1998). Qualities, use and examples of sustainable building materials. Disponible en: http://www.umich.edu/~nppcpub/resources/compendia/ARCHpdfs/ARCHsbmIntro.pdf

Meadows, D. H; Meadows, D. L.; Randers, J.; Behrens, W. (1972). The limits to growth: A report for the of Rome´s project on the predicament of makind. New York, USA: Universe Books.

Sabnis, A.; Mysore, P.; Anant, S. (2015). Construction materials-embodied energy footprint-global warming; interaction. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/310022790_Construction_Materials-Embodied_Energy_Footprint-Global_Warming_Interaction

UN-Habitat (2012). Going green: A handbook of sustainable housing practices in developing countries. Disponible en: https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Going%20Green.pdf

WMO – World Meteorological Organization (2019). Greenhouse gas bulletin. The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2019. Disponible en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10437

AUTORES

Alleck J. González Calderón, arquitecto, con maestría y doctorado en Ciencias y Artes para el Diseño, profesor investigador de tiempo completo en la Escuela de Arquitectura, Unidad Torreón, de la Universidad Autónoma de Coahuila. Integrante del Cuerpo Académico: Territorio, Asentamientos Humanos y Resiliencia.

Luis Fernando Guerrero Baca, doctor en diseño con especialidad en conservación del patrimonio edificado, maestro en restauración, arquitecto, profesor investigador de tiempo completo en la UAM-Xochimilco, jefe del área de Conservación y Reutilización del Patrimonio Edificado. Miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA, miembro de la Cátedra UNESCO “Arquitecturas de tierra, culturas constructivas y desarrollo sostenible” de CRAterre.