

Bloques de tierra comprimida, su retardo térmico e impacto ambiental

Compressed earth blocks, their thermal lag and environmental impact

RUBÉN SALVADOR ROUX-GUTIÉRREZ*, JESÚS VELÁZQUEZ-LOZANO**

RESUMEN. Este trabajo es el resultado de la investigación abordando el tema de las propiedades térmicas de los bloques de tierra comprimida (BTC), con la intención de corroborar las ventajas de este material de construcción alternativo sobre los materiales convencionales, para demostrar que éstos pueden satisfacer las necesidades de la población en la construcción de sus viviendas dignas, mejorando la calidad de vida del usuario y produciendo un menor impacto ambiental. Las pruebas térmicas realizadas fueron simulando el efecto del sol sobre un muro, registrándose la temperatura durante las pruebas determinándose el retraso térmico en los muros según el material. Es así, que con el resultado de las pruebas se determinó el material óptimo para emplearlo como envolvente de la vivienda. Por otra parte, se presenta el estudio de los BTC, estabilizados con hidróxido de calcio, buscando cumplir con las Normas Mexicanas para el análisis de ciclo de vida (ACV) en la población de BTC's estabilizados con hidróxido de calcio, buscando determinar su impacto ambiental y finalmente poder contrastarlos con las bases de datos existentes de materiales convencionales.

Palabras clave: BTC, estabilización, impacto ambiental, retraso térmico.

ABSTRACT. This work is the result of research, addressing the issue of thermal properties of compressed earth blocks (CEB) with the intention to confirm the advantages of this building material alternative to conventional materials, to show that these materials can meet the needs of the people in building their housing, improving the quality of life for users and producing less environmental impact. Thermal tests were simulating the effect of the sun on a wall temperature recorded during tests determined the thermal lag in the walls depending on the material. Thus the test results was determined which is the optimum material for use as the housing envelope. Moreover the study of BTC, stabilized hydroxide lime, looking meet Mexican standards for life-cycle assessment (LCA) in the town of BTC's stabilized hydroxide cal, seeking to determine its environmental impact and has finally to compare them with the existing databases of conventional materials.

Key words: CEB, stabilization, environmental impact, thermal lag.

Fecha de recibido:

8 julio 2015

Fecha de aceptado:

5 octubre 2015

* Universidad Autónoma de

Coahuila, México

rubenrouxgutierrez@uadec.

edu.mx, rroux33@hotmail.com

** Universidad Autónoma de

Coahuila, México

jvelazq@uadec.edu.mx,

jvl1059@hotmail.com

Introducción

Son factibles los comentarios de que se ha escrito suficiente sobre el uso de materiales alternativos y regionales en la construcción, sin embargo, cuando se hace referencia a algunos de éstos se asocian con materiales que fueron utilizados satisfactoriamente en décadas anteriores por algunas regiones del país para la edificación de sus hábitat, empero, hoy en día, existe el comentario sobre estos materiales considerados como tradicionales, donde son considerados de “baja calidad” o sólo son denostados en cuanto a su calidad por ser utilizados por personas de escasos recursos para la auto edificación de sus viviendas (Barrios & Imhoff, 2010).

Construir con tierra es una técnica de uso milenario en la historia de la humanidad, donde el hombre la empleaba para protegerse de la intemperie. Según Neves (2007), la construcción con tierra se ha modificado por las debidas adaptaciones técnicas y culturales de cada región. Los habitantes de épocas pasadas supieron cómo explorar las buenas propiedades de la tierra y usarla en bellísimas construcciones (Neves, 2007).

Sin embargo, de acuerdo con McHenry (2004), los cambios radicales en materiales de construcción producidos durante la Revolución Industrial, utilizando energía de bajo costo, aunado a la rápida expansión de los sistemas de transporte, distribución y la preferencia por materiales de edificación más “modernos” como el cemento Portland, que tuvo un importante papel en la Segunda Guerra Mundial para

la reconstrucción de las ciudades europeas, prácticamente ha disminuido la utilización de tierra como material de construcción (McHenry, 2004).

Actualmente, en México la construcción con tierra es una técnica que se practica de manera artesanal, no se encuentran normas oficiales que regulen sobre su uso, por lo que la difusión de ésta es mínima en el mercado de la construcción nacional.

Existen pocos estudios sobre aspectos físicos del material como es el caso de la capacidad térmica del material, especialmente, la técnica de bloques de tierra comprimida (BTC), que permita hacer una comparación sobre materiales convencionales y corroborar su eficiencia energética y su grado de sustentabilidad.

El BTC es un material de construcción fabricado con una mezcla de tierra cruda y un material estabilizante, como cal, cemento, asfalto o yeso, que es moldeada y comprimida utilizando una prensa mecánica o manual. Se ha empleado como un sustituto del ladrillo de barro recocido en actividades de construcción; utilizándose en la construcción de muros apilándolo manualmente y usando una mezcla de los mismos materiales como mortero de asiento.

En el presente estudio se ha utilizado para su fabricación la prensa manual de patente colombiana “Cinva-Ram”, buscando homogeneizarlos y conseguir una calidad acorde a las Normas Mexicanas (NMX-C-404-ONNCCE-2005; NMX-C-036-ONNCCE-2004; NMX-C-037-ONNCCE-2005) descritas por la Industria de la Construcción, para el caso del uso de hidróxido de calcio.

Bajo estas premisas se establecen dos objetivos para la presente investigación.

Objetivos

- El análisis de las propiedades térmicas que tienen los bloques de tierra comprimida para determinar el retraso térmico que presentan al aplicar una fuente de calor en un ambiente controlado, en este caso el laboratorio. De esta manera se compara la transmisión del calor a través de muros de elaboración propia con bloques de tierra comprimida (BTC), bloques de concreto convencional y ladrillo recocido.
- Desarrollar, identificar y evaluar los impactos ambientales y la energía embebida asociados a la producción, manejo, implementación, uso y desecho de BTC, con el fin de comparar los resultados que se obtengan de la población de BTC estabilizados con hidróxido de calcio.

Las pruebas de conductividad térmica, que se refiere a la cantidad/velocidad de calor transmitida a través de un material, se limitarán a aplicar una fuente de calor constante para tomar las medidas de temperatura que presentaron los diferentes muros probados, y así comparar su comportamiento.

En el caso de los materiales de tierra, esta propiedad es importante, ya que se puede conseguir que una vivienda de climas extremos esté dentro de su área de confort térmico, a diferencia del confort que se puede obtener en los materiales convencionales de construcción, con la consecuente utilización de equipos electromecánicos de climatización, para conseguir el confort, en climas de tipo cálido húmedo o seco extremo.

Las pruebas de retardo térmico permitirá determinar el tiempo en transmitirse la temperatura del lado exterior del muro al lado interior del muro, “los flujos de calor que se presentan en una estructura varían constantemente, según la segunda ley de la termodinámica, las temperaturas interiores y exteriores tienden a equilibrarse. El flujo de calor ocurrirá mientras exista una diferencia de temperatura” (Rodríguez Viqueira & Fuentes Freixanet, 2001). Por lo tanto, el paso del calor no es instantáneo, al aplicar calor a un muro, éste tardará un tiempo determinado en transmitirse de una cara a la otra.

Realizado lo anterior y obteniendo los resultados sobre retardo térmico, se realizará un estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), herramienta de diseño que investiga y evalúa los impactos ambientales de un producto o servicio durante todas las etapas de su existencia (extracción, producción, distribución, uso y desecho) conforme a la norma: NMX-SSA-14040-IMNC-2008, que indicará las particularidades sobre el análisis de ciclo de vida, principios y marco de referencia. Para realizar la comparativa del ACV, se utilizó el software SimaPro versión 7.3, un programa que permite determinar impactos de los materiales al realizar el ACV de la cuna a la tumba, considerando entradas (de materiales, energía) y salidas (sustancias contaminantes, al suelo, al aire y al agua).

Metodología

Análisis de retardo térmico

En esta investigación cuasi-experimental se elaboraron muros usando bloques de concreto de (15 x 20 x 40 cm), el ladrillo de barro

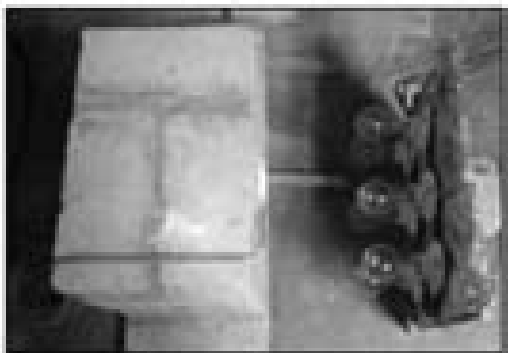


Figura 1. Fotografía previa al inicio de la prueba.

Fuente: Elaboración propia (2014).

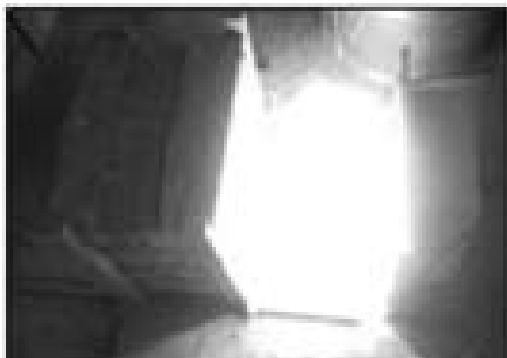


Figura 2. Fotografía durante la prueba.

Fuente: Elaboración propia (2014).

recocido (6 x 12 x 24 cm) y el BTC (10 x 14 x 29 cm). Se construyeron dos muros sencillos de BTC sin revoque, dos muros sencillos de BTC con revoque de cal, un muro doble con revoque de cal y arena 4:1, un muro doble sin revoque, un muro de ladrillo de barro cocido y un muro de block convencional; para ser un total de ocho muros a probar con dimensiones aproximadas de 40 x 40 cm. El mortero usado fue de 1:1/2:3 cemento, cal y arena.

La prueba consintió en el análisis de las temperaturas registradas en ambas caras de los muros en donde se colocaron termopares, se creó una fuente de calor constante que consistió en una placa de madera instalada con seis focos incandescentes marca Osram de 150 W cada uno. Los muros fueron colocados uno por uno a una distancia establecida de la placa de focos a 34.5 cm y se registraron las temperaturas en ambas caras del muro. Para la recolección, los resultados se utilizaron termopares, ubicados a cada extremo del muro de prueba, unidos a un Datalogger HOBOWare U-12, que fue programado para tomar la temperatura a cada intervalo de 15 min en ambas caras

durante 8 h, después se recolectaron y posteriormente se graficaron los datos para apreciar el retraso térmico de los muros y así comprobar o rechazar la hipótesis (ver figuras 1 y 2).

Resultados del retardo térmico

En la tabla 1 se muestra un resumen de las máximas temperaturas que alcanzan los muros de los diferentes materiales, además de mostrar el retardo que hubo, es decir, el tiempo que transcurrió desde el momento en que se registraron las temperaturas máximas en cada lado del muro, lo que es el retraso térmico. Al no existir normas para determinar el retardo térmico, los resultados se compararon con otros trabajos realizados previamente por otros investigadores, cuyos parámetros fueron: para bloques de tierra estabilizados con cemento de 14 cm de espesor, tiempo de retardo fue de 4 h (Arias, Latina *et al.*, 2007).

Después de probar los ocho muros y analizar los datos, se elaboraron las siguientes gráficas en donde se observa el retraso térmico de cada muro.

Tipo de muro	Espesor del muro en metros	Temperatura máxima		Tiempo de retardo térmico	Factor de reducción
		Lado de muro			
		Expuesto °C	Posterior °C		
BTC sencillo sin revoque 1	0.14	57.786	33.183	1 h	1.741
BTC sencillo sin revoque 2	0.14	54.602	32.407	1 h	1.685
BTC revoque 1	0.15	55.832	30.343	1:15 h	1.840
BTC revoque 2	0.15	55.021	30.444	1:30 h	1.807
BTC doble con revoque	0.30	55.56	25.695	4:15 h	2.162
BTC doble sin revoque	0.29	60.918	26.671	4:15 h	2.28
Ladrillo de barro cocido	0.14	58.776	37.645	0:30 h	1.561
Block	0.15	64.838	34.387	0:30 h	1.886

Tabla 1. Tiempo de retardo y factor de reducción.

Fuente: Elaboración propia (2014).

Para calcular el retardo térmico se graficaron las temperaturas de cada uno de los muros que se registraron durante 8 h, tomándose el registro cada 15 min y posteriormente se dejó enfriar el muro durante otras 8 h, las cuales también se registraron en las gráficas. De esta manera, se muestran las variaciones de temperatura en cada caso y el tiempo que demora en pasar la energía de un lado del muro al otro.

Las gráficas corresponden a tres de los ocho muros probados y las 8 h de enfriamiento, se muestran dos curvas que representan al lado expuesto a la fuente de calor, que es la placa de focos y el lado opuesto. Se indica el punto donde se alcanzó la temperatura máxima en cada lado del muro (ver figura 3).

Análisis de impacto ambiental

La metodología de evaluación de acuerdo con la *US Environmental Protection Agency* (EPA), establece los factores de caracterización mediante los cuales se cuantifican los impactos ambientales. Para la mayoría de los impactos descritos en la tabla 3, la caracterización se llevará a cabo

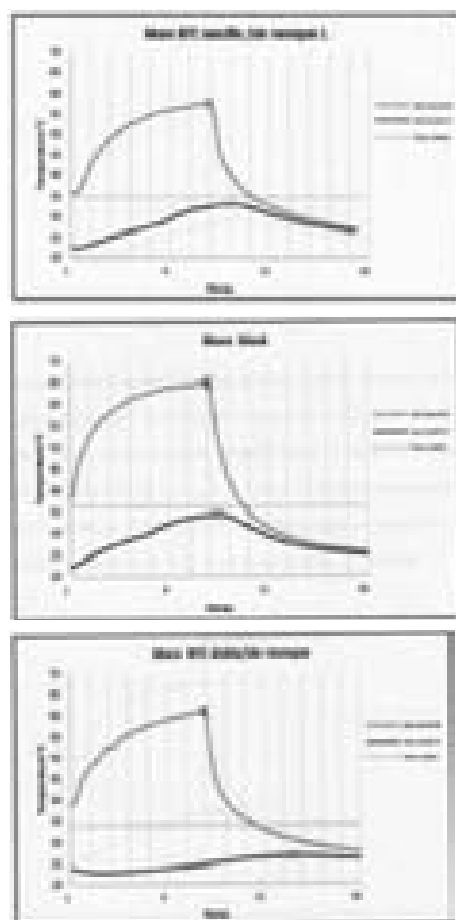


Figura 3. Diferencias de temperaturas interior y exterior en los muros de prueba.

Fuente: Elaboración propia (2014).

mediante el método TRACI 2 (*Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impact*) V4.00 2012 desarrollada por la Agencia de Protección de Estados Unidos. No obstante, existen algunos impactos que el método TRACI 2 no tiene implementados en su sistema y que también se evaluarán. Este es el caso del uso del suelo y del agotamiento de los recursos minerales para los cuales se utilizará el método *ReCiPe Midpoint* (I) V1.06 / *World ReCiPe I*, más actualizado y armonizado hasta el momento y que ha sido desarrollado por Pré Consultants. Los recursos energéticos se evaluarán mediante el método *CED (Cumulative Energy Demand V1.8)*. Las categorías de impacto seleccionadas se describen en la Tabla 2.

Resultados del impacto ambiental

Con relación a los resultados del ACV, los datos obtenidos sobre las entradas y salidas de los procesos unitarios de fabricación de los BTC fueron desarrollados a partir de la práctica productiva realizada por el Dr. Roux, especialmente en 2011, acotada a la región de Tamaulipas, en el noreste de la República Mexicana. La técnica de recopilación de estos datos se ha realizado a partir de la propia experiencia académica.

Lo mismo se puede sobre el tipo y cantidad de materias primas, así como las distancias de transporte desde su área de suministro. No obstante, los datos cualitativos de la etapa de suministro de materias primas, que incluye la extracción y procesamiento de los materiales, como por ejemplo el cemento o el tipo de transpor-

Categoría de impacto	Descripción
Destrucción de la capa de ozono	La capa de ozono es un filtro de radiación ultravioleta hacia la tierra. Los compuestos clorofluorocarbonados (CFCs) destruyen esta capa.
Cambio climático	Aumento de la temperatura de la tierra como consecuencia de la emisión de gases de efecto invernadero como CO2, CH4, NOx, O3, etc. (quema de combustible, emisiones industriales, etc.).
Oxidación fotoquímica (smog)	Es un oxidante fotoquímico que junto a los COV y NOx (quema de combustible, emisiones industriales, etc.) forman el smog fotoquímico.
Acidificación	Disminución del pH del suelo y del agua como consecuencia de emisiones de NOx, SO2, NO2, NH3, HCl, HF, etc.
Eutrofización	Aumento de los nutrientes inorgánicos SO-4 y NO-3 en el agua (excrementos, fertilizantes, etc.).
Compuestos carcinogénicos	Compuestos químicos que generan cáncer al ser humano.
Contaminantes no carcinogénicos	Compuestos químicos que generan enfermedades diferentes al cáncer.
Efectos respiratorios	Contaminantes que causan enfermedades respiratorias.
Ecotoxicidad	Contaminantes que causan toxicidad a los ecosistemas (plantas y animales).
Uso del suelo agrícola o urbano	El uso del suelo genera impactos ambientales. Área de suelo agrícola o urbano utilizado y/o ocupada derivada de una actividad industrial.
Agotamiento de los recursos minerales	Por ejemplo: minerales como la bauxita, la caliza, hierro, etc.
Agotamiento de los recursos fósiles	Por ejemplo: petróleo, gas natural, carbón, etc.
Energía embebida	Energía requerida a lo largo del ciclo de vida de un producto. Incluye energía no renovable de origen fósil, nuclear, de biomasa y renovable de origen solar, geotérmica, eólica e hídrica.

Tabla 2. Descripción de los impactos seleccionados.
Fuente: AIDICO, 2011.

Proceso	Proceso en la base de datos	Base de datos
Cemento Portland	Portland cement, at plant/US	US LCI
Transporte en camión	Transport, single unit truck, diesel powered/US	
Maquinaria de demolición	Loader operation, large, INW/RNA	
Gasolina revolvedora	Gasoline, combusted in equipment/US	
Arcilla	Clay, at mine/CH U	Ecoinvent
Arena	Sand, at mine/CH U	
Cal hidráulica	Lime, hydraulic, at plant/CH U	
Embalaje de la cal hidráulica	Kraft paper, unbleached, at plant/RER U	
Agua	Tap water, at user/RER U	
Pegamento	Vinyl acetate, at plant/RER U	
Sal de mesa	Sodium hydroxide, 50% in H ₂ O, diaphragm cell, at plant/RER U	
Vertedero BTC	Disposal, limestone residue, 5% water, to inert material landfill/CH U	

Tabla 3. Procesos seleccionados en el modelo.

Fuente: AIDICO (2011).

te, se han tomado de la base de datos US LCI, la cual muestra datos medios de Estados Unidos a partir de una mezcla de tecnologías. Cuando no ha sido posible obtener información, se ha utilizado la base de datos Ecoinvent. El modelo de ciclo de vida diseñado en el software Sima-Pro se realiza empleando los procesos que se indican en la tabla 3.

Los resultados del acv del muro construido con BTC estabilizados con hidróxido de calcio se muestran en la tabla 4 y en la figura 4 por Unidad Funcional, es decir, 1 m² de muro.

Las materias primas y fabricación presentan el mayor impacto ambiental con valores entre un 22% - 92% del total del impacto para cada categoría (figura 4).

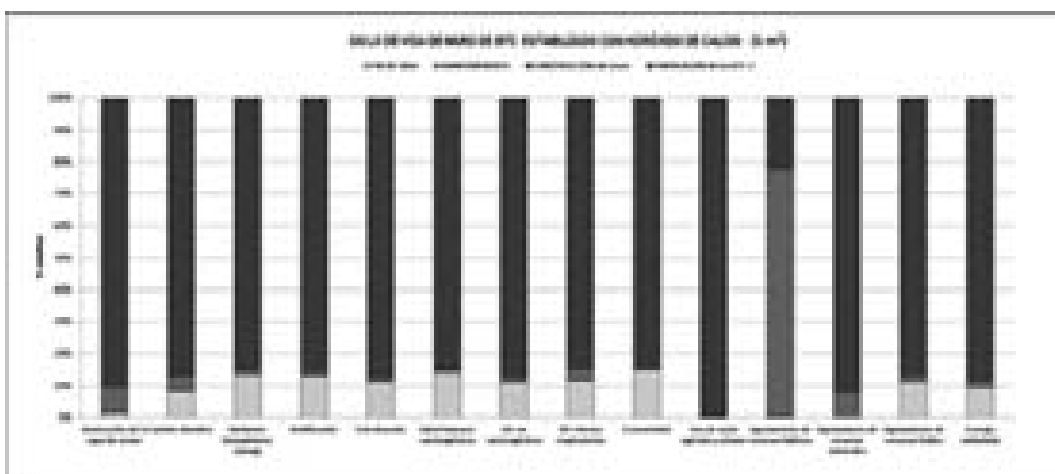


Figura 4. Impacto ambiental de un metro cuadrado de muros fabricados con BTC estabilizados con hidróxido de calcio.

Fuente: AIDICO (2011).

<i>Categoría de impacto</i>	<i>MP y fabricación</i>	<i>Obra y mantenimiento</i>	<i>Fin de vida</i>	<i>TOTAL</i>
Destrucción de la capa de ozono (kg CFC-11 eq)	1.08E-06	1.04E-07	1.32E-08	1.20E-06
Cambio climático (kg CO ₂ eq)	35.74	2.04	3.40	41.18
Oxidantes fotoquímicos - smog (kg O ₃ eq)	6.34	0.07	1.01	7.42
Acidificación (mol H+ eq)	12.24	0.18	1.86	14.28
Eutrofización (kg N eq)	1.50E-02	2.47E-04	1.97E-03	1.72E-02
Salud Humana: carcinogénicos (CTUh)	2.88E-07	1.41E-09	4.73E-08	3.37E-07
SH: no carcinogénicos (CTUh)	3.49E-06	7.37E-08	4.56E-07	4.02E-06
SH: efectos respiratorios (kg MP10 eq)	1.83E-02	6.62E-04	2.57E-03	2.15E-02
Ecotoxicidad (CTUe)	50.89	0.04	8.73	59.66
Uso de suelo agrícola y urbano (m ² a)	11.21	0.00	0.02	11.24
Agotamiento de recursos hídricos (m ³)	0.41	1.43	0.00	1.84
Agotamiento de recursos minerales (kg Fe eq)	3.51E-02	3.07E-03	4.70E-06	3.82E-02
Agotamiento de recursos fósiles (kg Petróleo eq)	8.85	0.23	1.14	10.22
Energía embebida (MJ)	451.14	11.85	48.11	511.10
CTUh : Unidad de Toxicidad Humana (Casos de toxicidad/kg _{emisión}). CTUe: Unidad de Toxicidad en los Ecosistemas (PAF m ³ día /kg _{emisión}). PAF: Fracción Potencialmente Afectada de especies.				

Tabla 4. Resultados globales del acv del muro de brc estabilizados con hidróxido de calcio.

Fuente: AIDICO (2011).

La etapa de construcción del muro contribuye de manera importante en las categorías de *agotamiento de los recursos hídricos* y en menor medida sobre la *destrucción de la capa de ozono* y el *agotamiento de los recursos minerales*.

El fin de vida es otra etapa con impacto relevante sobre la mayoría de las categorías. Por último, el mantenimiento no influye sobre el total. El proceso de mezclado mediante la revolvedora es el causante de más del 50% del impacto sobre el *smog*, *cambio climático*, *acidificación*, *eutrofización*, *carcinogénicos*, *no carcinogénicos*, *ecotoxicidad*, *agotamiento de los recursos fósiles* y en la *energía embebida*, debido a la producción y combustión de la gasolina que consume.

El hidróxido de calcio es el responsable del 1% del impacto en la categoría de ecotoxicidad y del 80% del impacto en la ca-

tegoría de destrucción de la capa de ozono, debido al diésel que utiliza la maquinaria para su extracción.

El embalaje del hidróxido de calcio presenta su mayor impacto que el *uso del suelo*, ya que se requieren plantaciones madereras para la fabricación del papel aunque también incide sobre el resto de categorías.

La arena incide con un 50% del impacto total sobre el *agotamiento de los recursos hídricos* y con un 20% sobre el *agotamiento de los recursos minerales*.

El transporte de las materias primas incide hasta un 15% dependiendo de la categoría de impacto. En este caso también es la producción y combustión de la gasolina en el proceso con más *energía embebida*, toda ella procedente de recursos fósiles. En segundo lugar, el consumo energético sería el del hidróxido de calcio.

Material	Energía incorporada en MJ/m^2	Emisiones de CO_2/m^2
Bloque de concreto	385.12 ²	53.49 ² Kgeq
Ladrillo recocido	579.00 ¹	80.41 ¹ Kgeq
BTC estabilizado con hidróxido de calcio al 7%	511.10 ³	41.18 ³ Kgeq
¹ Vázquez Espío, 2001. ² Howland Albear & Jiménez de la Fe, 2010. ³ Datos obtenido del ACV realizado.		

Tabla 5. Comparación del grado de impacto ambiental del muro de BTC estabilizado con hidróxido de calcio con otras materiales convencionales.
Fuente: Elaboración propia (2011).

Para definir el grado de impacto ambiental de los BTC estabilizados con hidróxido de calcio, comparado con los materiales convencionales se presenta en la tabla 5.

Conclusiones

El uso de la tierra como material de construcción es una técnica que ha sido retomada después de décadas de virtual abandono, al considerarse como una técnica constructiva artesanal y tradicional no contándose con respaldos de estudios técnicos sobre su comportamiento en comparación con los materiales convencionales, es por ello la importancia en la presente investigación al estudiar las características térmicas de los bloques de tierra comprimida (BTC), que permitió el cálculo del retraso térmico de un muro fabricado con dicho material y hacer la comparación con muros fabricados con materiales convencionales.

Retomando la hipótesis de la investigación, la cual trata de comprobar que un BTC tiene la capacidad de regular la temperatura en el interior de la vivienda, por lo tanto presenta ventajas comparado con los materiales convencional utilizado en la construcción; de acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de retardo térmico se puede deducir que los BTC mejoran la sensa-

ción de confort térmico en el interior de las viviendas, considerablemente mejor que el block de concreto y el ladrillo cocido, puesto que mostró un retraso térmico de hasta 5 h contra media hora que éstos. Así se prueba que a lo largo del día, el BTC presentará una temperatura menor en el exterior del muro, tanto como en el interior de la vivienda al ser expuesto a una fuente de calor que los otros materiales probados.

Como conclusión, se comprobó que con muros de BTC que pueden conformar una vivienda resultará más fresca en verano y más caliente en invierno, debido a la masa térmica de este material que es de 1740 kJ/m^3 , contra 1360 kJ/m^3 del ladrillo y 550 kJ/m^3 del Block de concreto (Pastormerlo & Souza, 2013), además de consumir menos recursos energéticos al tener un retardo térmico superior al de los materiales convencionales (bloques de concreto y ladrillos recocido) ocho veces mayor, dato que no se había determinado.

Destaca el impacto del embalaje del hidróxido de calcio sobre el uso del suelo debido a los árboles requeridos para la fabricación del papel. En la etapa de construcción del muro, contribuye de manera importante sobre el agotamiento de los recursos hídricos y de los naturales. El final del proceso influye hasta en un 15% de los BTC estabili-

zados con hidróxido de calcio. El mantenimiento apenas influye sobre el total.

Cualquier proceso industrial tendrá un efecto negativo sobre el medio ambiente que debe ser evaluado con la finalidad de identificar las fases de su transformación que resultan más nocivas. En resumen, para el caso de estudio presente, se ha podido constatar que el estabilizante adecuado para fabricar bloques de tierra comprimida (BTC) es el hidróxido de calcio por tener menor impacto que el de los materiales fabricados con cemento sobre el entorno natural al producir 29.89% de CO₂ más en el caso de los bloques de concreto y de 95.26% más de CO₂ en el caso de los ladrillos recocidos.

Por último, al comparar los BTC con materiales convencionales, el BTC con hidróxido de calcio presenta mejor comportamiento, por tener una energía incorporada menor en un 13.28% que los ladrillos recocidos y sólo superado por los bloques de concreto al tener 32.71% más de energía incorporada que estos últimos.

Fuentes de consulta

Arias, L., Latina, S. et al. (2007), *Comportamiento Térmico de Muros de Tierra en Tucumán, Argentina*, Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, Tucumán.

Barrios, P. & Imhoff, F. (2010), *Construcción antisísmica basada en tierra cruda*, Construcción, 48.

Ecoinvent (2010), *Base de datos de ciclo de vida*, ETH Zurich, Suiza.

EPA (2011), *Herramienta para la Reducción y Evaluación de la Química y otros Impactos Ambientales (TRACI)*, EPA, USA.

Howland Albear, J. J. & Jiménez de la Fe, S. (2010), *Obras, Revista Cubana de la Construcción*, Recuperado el 9 de enero de 2012.

Mc. Henry, Paul Graham (2004), *Adobe como construir fácilmente*, Trillas, México.

Neves, C. (2007), "Arquitectura y construcción con tierra: Pasado, hoy y futuro", en García Izaguirre, V. M., Roux Gutiérrez, R. S et al.(eds.), *Anuario de investigación de construcción con tierra y del diseño sustentable*, Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.

Pastormerlo, J. & Souza, E. (30 de agosto de 2013), *Instituto del Cemento Portland Argentino*, [En línea] <http://www.icpa.org.ar/publico/Plataforma%20Hormigon/masa%20termica.pdf>

Rodríguez Viqueira, M. & Fuentes Freixanet, V. A. (2001), *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, LIMUSA-UAM, México.

Vázquez Espío, M. (2001), *Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales*, Informes de la Construcción, pp. 29-43.