

BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA, SU RETARDO TERMICO E IMPACTO AMBIENTAL

¹Roux Gutiérrez Rubén Salvador; ¹Velazquez Lozano Jesús, ¹ Rodríguez Deytz Homero

**¹Facultad de Arquitectura Unidad Saltillo, Universidad Autónoma de Coahuila
Blvd. Fundadores Km 13, Ciudad Universitaria UAdeC, Arteaga, Coahuila México. CP
25354**

**e-mail: rubenrouxgutierrez@uadec.edu.mx, rroux33@hotmail.com;
jvelazq@uadec.edu.mx, jvl1059@hotmail.com; homeror2013@gmail.com**

RESUMEN

Esta comunicación es el resultado de la investigación que aborda el tema las propiedades térmicas de los Bloques de Tierra Comprimida (BTC), para corroborar las ventajas de este material de construcción alternativo, sobre los materiales convencionales, para comprobar que estos materiales 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 dependiendo del material. Es así como con el resultado de las pruebas se determinó cual es el material óptimo para emplear como envolvente de la vivienda. Por otra parte se presenta el estudio de los BTC, estabilizados con hidróxido de cal, buscando cumplir con las Normas Mexicanas para el análisis de ciclo de vida (ACV) en la población de BTC's estabilizados Hidróxido de Cal, buscando determinar su impacto ambiental y finalmente poder contrastarlos con las bases de datos existentes de materiales convencionales.

Palabras clave: BTC, retraso térmico, construcción con tierra, estabilización, impacto ambiental

1.- Introducción

Es factible que se comente que mucho se ha escrito 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 tiempos anteriores por algunas civilizaciones para la edificación de sus hábitat, empero, hoy en día, existe el comentario sobre estos materiales tradicionales, donde son considerados de “baja calidad” o solo son denostados en cuanto a su calidad pues son utilizados por las personas de escasos recursos para la auto edificación de sus viviendas.

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

Sin embargo de acuerdo a McHenry (2004) los cambios radicales producidos por la revolución industrial, la energía de bajo costo, una rápida expansión de los sistemas de transporte, distribución y la preferencia por materiales más “modernos” como el cemento Portland que tuvo un importante papel en la segunda guerra mundial para la reconstrucción de las ciudades europeas, virtualmente acabaron con 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 hay normas oficiales que regulen su uso, por lo que su difusión es mínima en el mercado de la construcción.

Tampoco existen estudios sobre aspectos físicos del material como es el caso de la capacidad térmica del material en especial de 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 ó 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:

2. 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 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 muy importante ya que se puede conseguir que una vivienda este dentro de su área de confort térmico, a diferencia de los materiales convencionales de construcción, haciendo que no se necesario el uso de equipos de climatización mecánica, para lograr este confort, sobre todo es zonas con climas tropicales húmedos.

Las pruebas de retardo termico permitirá determinar el tiempo en que tarda en pasar la temperatura del lado exterior del muro al lado interior del muro, la inercia térmica o capacidad de almacenar calor de un material depende de la masa, de la densidad y del calor específicos, esta característica es lo que determina el uso de climatización mecánica en una edificación en mayor o menor grado.

Realizado lo anterior y obteniendo los resultados, se realizará un estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), conforme la norma: NMX-SSA-14040-IMNC-2008, que indica 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.

3. Metodología

3.1. Retardo térmico

Se elaboraron muros usando: bloques de concreto de (15x20x40cm), el ladrillo de barro recocido (6x12x24cm) y el BTC (10x14x29cm). 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 unas dimensiones aproximadas de 40x40 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 donde se colocaron termopares, se creó una fuente de calor constante que consistió en una placa de madera instalada con 6 focos marca Osram de 150 W. 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 utilizó el software HOBOWare U-12, el cual fue programado para tomar la temperatura a cada intervalo de 15 min por ambas caras durante ocho horas, después se graficaron los datos para poder apreciar el retraso térmico de los muros y así comprobar o rechazar la hipótesis, ver figuras 1 y 2.

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, cuanto tiempo transcurrió desde el momento en que se registraron las temperaturas máximas en cada lado del muro, lo cual es el retraso térmico.

Tipo de muro	Espesor del muro en metros	Temperatura máxima		Tiempo de retardo Térmico	Factor de Reducción $\mu = \frac{T_i, \max}{T_o, \max}$
		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

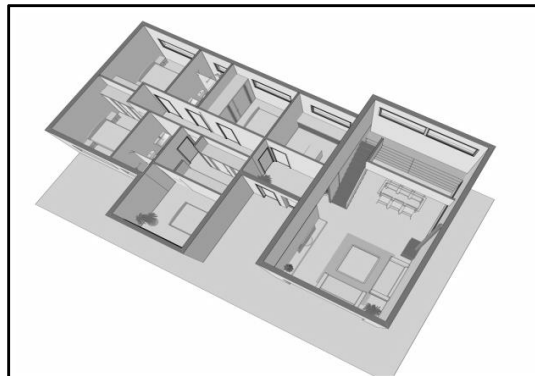


Fig. 1 “Fotografía previa al inicio de la prueba”. Fuente: Elaboración propia. 2014



Fig. 2 “Fotografía durante la prueba”. Fuente: Elaboración propia. 2014.

Después de probar los ocho muros y analizar los datos, se elaboraron las siguientes gráficas con las cuales de manera gráfica se observa el retraso térmico de cada muro.

Para poder calcular el retardo térmico se graficaron las temperaturas de cada uno de los muros que se registraron durante ocho (8) horas, tomándose el registro cada 15 minutos y posteriormente se dejó enfriar el muro durante otras ocho (8) horas, las cuales también se registran 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 los ocho (8) muros probados y las ocho (8) horas 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 señala el punto donde se alcanzó la temperatura máxima en cada lado del muro, ver figura 3.

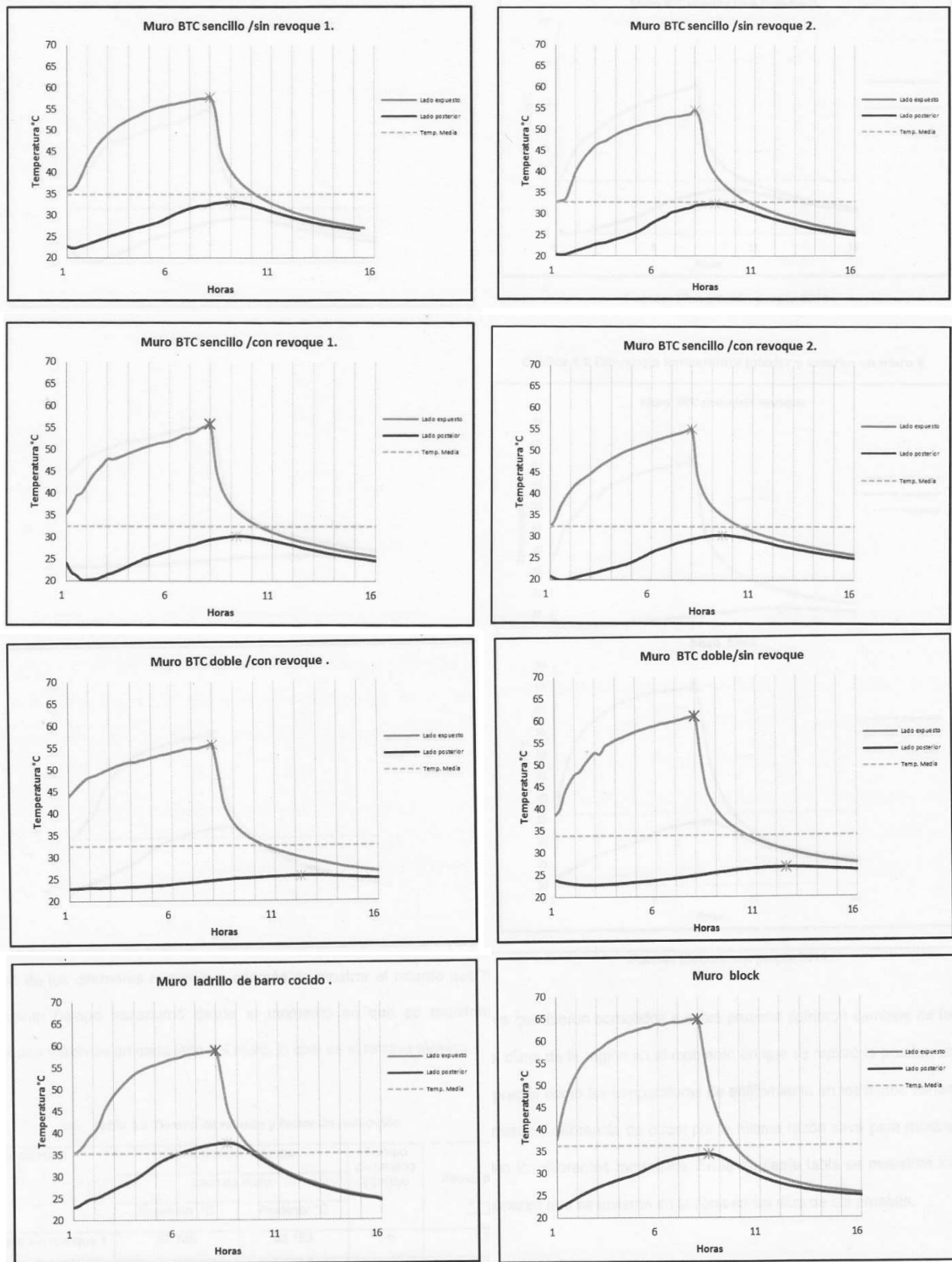


Fig. 3 “Diferencias de temperaturas interior y exterior en los muros de prueba”.
Fuente: Elaboración propia. 2014.

3.2. Análisis de impacto ambiental

La metodología de evaluación establece los factores de caracterización mediante los que se cuantifican los impactos ambientales. Para la mayoría de impactos descritos en la Tabla 3, la caracterización se llevará a cabo 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, uno de los métodos más actualizados y armonizados 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.

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 tales como CO ₂ , CH ₄ , NO _x , O ₃ , etc. (quema de combustible, emisiones industriales, etc.).
Oxidación fotoquímica (smog)	Es un oxidante fotoquímico que junto a los COV y NO _x (quema de combustible, emisiones industriales, etc.) forman el smog fotoquímico.
Acidificación	Disminución del pH del suelo y del agua como consecuencia de emisiones de NO _x , SO ₂ , NO ₂ , NH ₃ , HCl, HF, etc.
Eutrofización	Aumento de los nutrientes inorgánicos SO ₄ ⁻² 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

En relación a los resultados del Análisis de Ciclo de Vida, los datos 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 el año 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 decir acerca del 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 transporte, 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 SimaPro se ha realizado utilizando los procesos que se indican en la Tabla 3.

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

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.

Como se puede observar, las materias primas y fabricación presentan el mayor impacto ambiental con valores entre un 22% - 92% del total del impacto para cada categoría como se puede ver en la figura 4.

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*.

Categoría de impacto	MP y fabricación	Obra y mantenimiento	Fin de vida	TOTAL
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 _{emitido}). PAF: Fracción Potencialmente Afectada de especies.				

Tabla 4 “Resultados globales del ACV del muro de BTC estabilizados con Hidróxido de Calcio”. Fuente: AIDICO, 2011

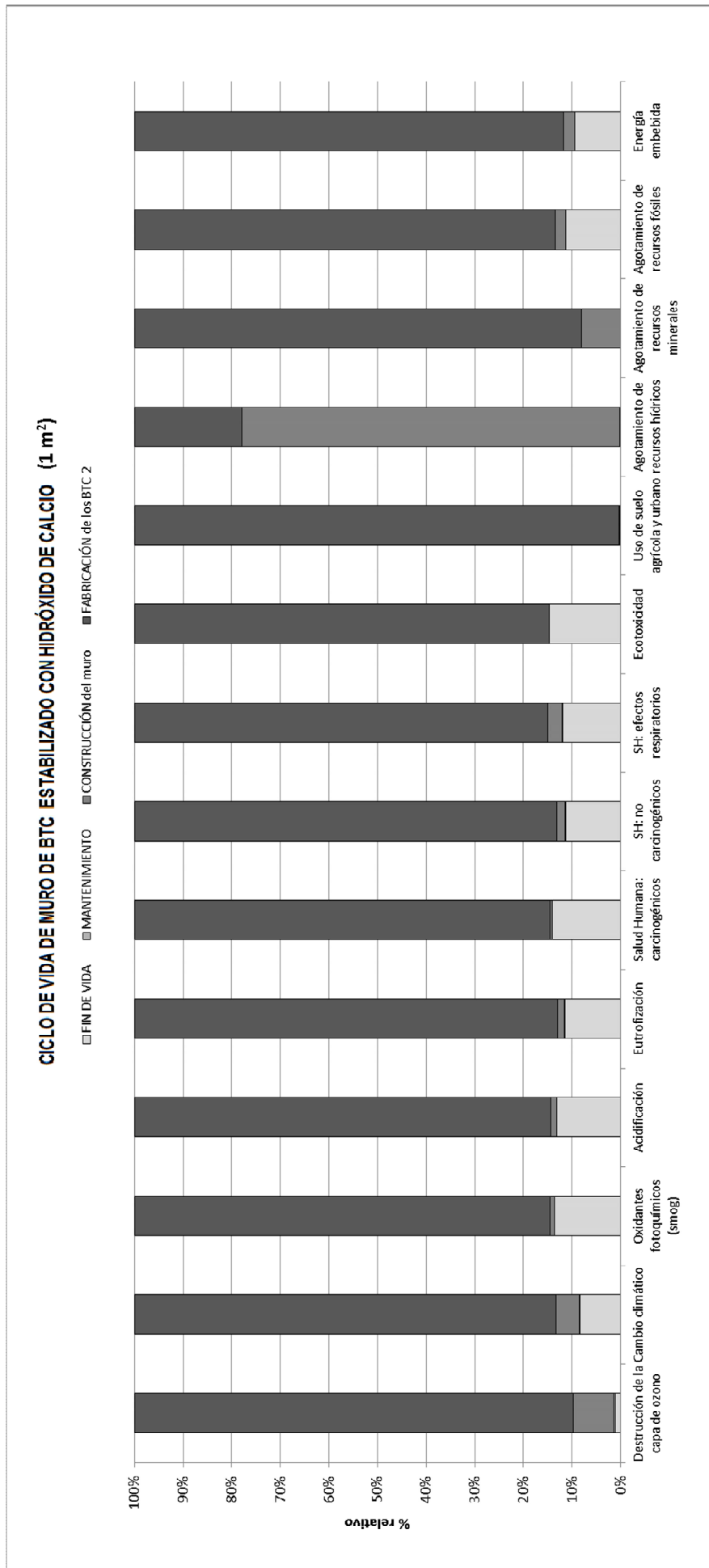


Fig. 4 “Impactos ambientales de un metro cuadrado de muros fabricados con BTC estabilizados con Hidróxido de Calcio”. Fuente: AIDICO, 2011

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 revoladora 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 categoría 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.

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:

Material	Energía incorporada en Mj/m ²	Emisiones de CO ₂ /m ²
Bloque de concreto	385.12 ²	53.49 ²
Ladrillo recocido	579.00 ¹	80.41 ¹
BTC estabilizado con Hidróxido de calcio al 7%	511.10 ³	42.18 ³
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: Propia, 2011

4.- Conclusión

El uso de la tierra como material de construcción es una técnica que ha sido retomada después de décadas de 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 eso la importancia del presente estudio 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 a los resultados obtenidos en las pruebas de retardo térmico se puede deducir que los BTC mejoran la sensación 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 horas contra media hora que estos . 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 final, 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/m³, contra 1360 kJ/m³ del ladrillo y 550 kJ/m³ del Block de concreto (Pastormerlo & Souza, 2013) , además de consumir menos recursos energéticos debido a que es un material de origen natural y no requiere de un proceso de industrialización, solo el agregado de estabilizante de acuerdo a las necesidades del suelo empleado, es por eso que al reintegrarlo a la naturaleza el impacto que tiene sobre esta es mínimo.

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 sobre el agotamiento de los recursos naturales. El final del proceso influye hasta en un 15% de los BTC estabilizados con Hidróxido de Calcio. El mantenimiento apenas influye sobre el total.

Si bien 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 cemento sobre el entorno natural y sobre la salud.

Por último al comparar los BTC con materiales convencionales podemos ver que el BTC con Hidróxido de calcio es el que mejor comportamiento tiene, solo superado en la energía incorporada por los bloques de concreto, pero con menor producción de CO² que estos últimos

REFERENCIAS

- [1] Ecoinvent (2010). *Base de datos de ciclo de vida*. ETH Zurich. Suiza
- [2] EPA (2011). *Herramienta para la Reducción y Evaluación de la Química y Otros Impactos Ambientales (TRACI)*, EPA. USA
- [3] Neves, C. (2007), *Arquitectura y construcción con tierra: Pasado, hoy y futuro*. En: *García Izaguirre, V. M., Roux Gutiérrez, R. S; et al.(Edits.). Anuario de investigación de construcción con tierra y del diseño sustentable*. Editorial Universidad Autónoma de Tamaulipas. México.
- [4] Howland Albear, J. J., & Jiménez de la Fe, S. (2010). *Obras, Revista Cubana de la Construcción*. Recuperado el 9 de Enero de 2012.
- [5] Mc. Henry, Paul Graham (2004). *Adobe como construir fácilmente*. Trillas. México
- [6] Vázquez Espío, M. (2001). *Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales*. Informes de la Construcción, 29-43.
- [7] Pastormerlo, J., & Souza, E. (30 de agosto de 2013). Instituto del Cemento Portland Argentino. Obtenido de <http://www.icpa.org.ar/publico/Plataforma%20Hormigon/masa%20termica.pdf>
- [8] Secretaría de Economía (2008). *NMX-SSA-14040-IMNC-2008 Gestión ambiental análisis de ciclo de vida principios y marco de referencia*. SE. México
- [9] Secretaría de Economía (2004). *NMX-C-036-ONNCCE-2004 Industria de la construcción-mampostería-resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines-método de ensayo*. SE. México
- [10] Secretaría de Economía (2005) *NMX-C-037-ONNCCE-2005 Industria de la construcción mampostería determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones método de ensayo*. SE. México
- [11] Secretaría de Economía (2005) *NMX-C-404-ONNCCE-2005 Industria de la construcción-mampostería-bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural-especificaciones y métodos de ensayo*. SE. México