ANAIS
IV EURO ELECS
2021

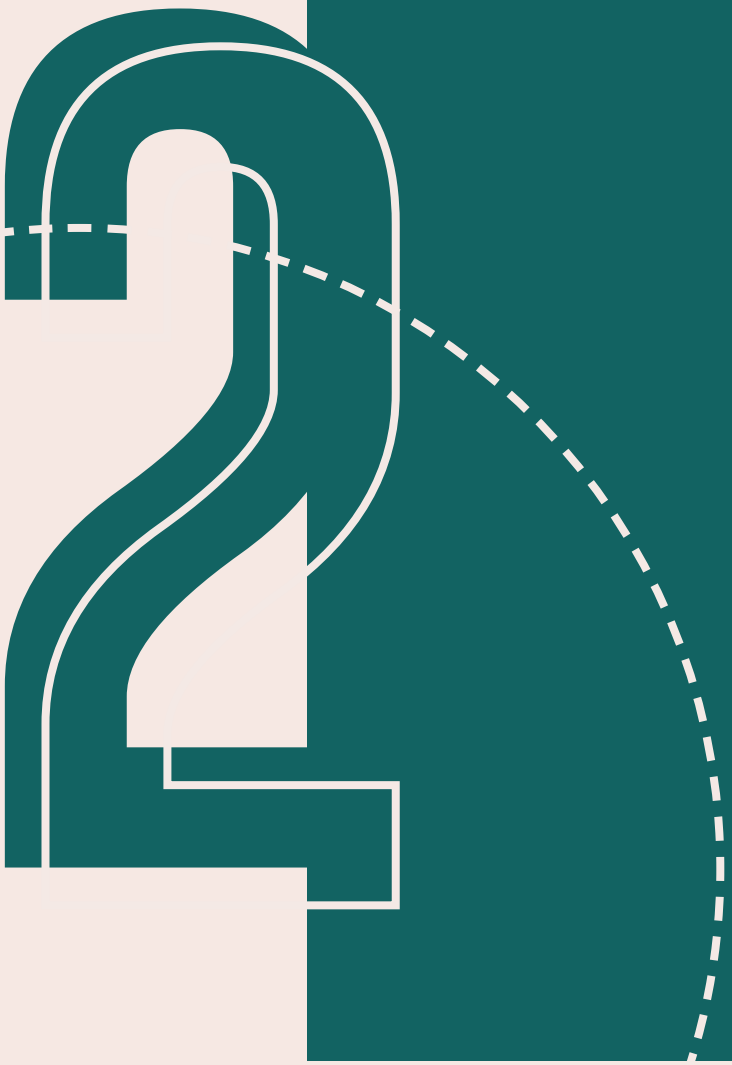
ARTIGO

CONSTRUCCIONES SOSTENIBLES CON TIERRA. ANÁLISIS DEL BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC)

CABRERA, Santiago
(spcabrera@outlook.com);
Facultad Regional Santa Fe (UTN FRSF)

GONZÁLEZ, Ariel
(aagonzal@frsf.utn.edu.ar);
Universidad Tecnológica Nacional, , Argentina

MINGOLLA, Giuseppe
(laterrada.contacto@gmail.com)
Universidad Tecnológica Nacional, , Argentina



PALABRAS CLAVE:

BTC, construcción con tierra, sustentabilidad, análisis energético

RESUMEN

En la actualidad resulta innegable el elevado consumo energético de los sectores comerciales y residenciales como el descuido de la eficiencia energética en el crecimiento de las ciudades. Según los Encuentros Euro ELECS realizados en 2015, 2017 y 2019, el sector de la construcción utiliza a nivel mundial, alrededor del 40% de la energía, 25% del agua, 40% de los recursos naturales y emite aproximadamente 1/3 de los gases de efecto invernadero. Los edificios residenciales y comerciales consumen cerca del 60% de la electricidad mundial, destinando entre el 60 y el 80% de la energía total consumida al acondicionamiento térmico de viviendas y comercios (calefacción y refrigeración). Una alternativa para disminuir la impronta energética de la construcción es trabajar con materiales locales, de fácil acceso y un bajo impacto ambiental, siendo la tierra una alternativa sumamente adecuada.

Es intención de este trabajo poner en evidencia el círculo virtuoso de las técnicas de construcción con tierra en Argentina y, particularmente de la tecnología de construcción con Bloques de Tierra Comprimida (BTC), analizando de manera cualitativa el ciclo de vida de estos bloques y poniéndolo en comparación con otros materiales de construcción de uso frecuente en el país.

1. INTRODUCCIÓN

Es un hecho insoslayable que, tanto a nivel regional como global, el sector de la construcción contribuye significativamente al consumo de energía y de recursos naturales vitales como el agua y diversos minerales; así como en a la generación de impactos ambientales negativos, como emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero y la generación de grandes volúmenes de residuos (Muñoz Sanguinetti, 2014).

Dentro del amplio espectro de la construcción, es estima que alrededor del 60% de la electricidad mundial es consumida por edificios residenciales y comerciales. A su vez, entre el 60 y el 80% de la energía total consumida por estas edificaciones es destinada al acondicionamiento térmico de las mismos (Muñoz Fierro, 2014). En los últimos años se ha incrementado notoriamente la energía destinada a la aclimatación de edificios basta con decir que un solo equipo de aire acondicionado "Split" requiere la misma potencia que requería una casa promedio en los años 70, bien equipada con su heladera, lavarropas, aspiradora y plancha (Ocvirk, 2016).

Esta situación ha motivado el interés por evaluar el impacto de las construcciones a través de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el cual considera las etapas de obtención de materias primas, manufactura, transporte, uso y demolición de las mismas. Sin embargo, es importante mencionar que el análisis de Ciclo Vida tradicional se limitaba a cuantificar el consumo energético desde "la cuna hasta la tumba" de una edificación, olvidando el coste de reponer a un estado en el cual los residuos generados por la eliminación de una construcción vuelvan a ser útiles en algún punto del proceso anterior. Esta nueva concepción, denominada "de la cuna a la cuna" se viene desarrollando desde comienzos del siglo XXI y logra cuantificar de manera más adecuada el costo energético de una construcción (Carretero & García, 2018).

El propósito de este trabajo es ilustrar a grandes rasgos la estructura general del consumo energético y el impacto sobre el medio ambiente asociados al sector de la construcción, desentrañando las variables más significativas sobre las cuales debería trabajarse de manera prioritaria a fin de reducir significativamente dichos impactos. Para lograr este objetivo se analizará de manera general uno de los materiales de construcción más sencillos y tradicionales, la tierra, y en particular, el Bloque de Tierra Comprimida o BTC; el cual será puesto en comparación con otros materiales de construcción típicos en nuestra región, como los son el bloque de hormigón y el ladrillo cerámico común. Se realizará un análisis cualitativo de los aspectos más significativos en la estructura de los costos energéticos de la construcción, utilizando datos aportados por otros autores, con el fin de arribar a conclusiones cualitativas acerca de la idoneidad y plausibilidad de emplear al BTC como material de construcción en comparación con otros materiales.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 COSTOS ENERGÉTICOS DE UNA CONSTRUCCIÓN. COSTOS DE FABRICACIÓN Y MANTENIMIENTO

El coste energético de fabricación dependerá esencialmente de la cantidad de material utilizado y de su naturaleza, así como también de la durabilidad general de la construcción. Por el contrario, el coste energético de mantenimiento, a igualdad de cantidad y naturaleza de los materiales, dependerá significativamente de la geometría particular con que se empleen y de la eficiencia general de sus sistemas energéticos (Roux Gutierrez et al, 2015).

Puede afirmarse que, en general, la influencia de la naturaleza física del material es un orden de magnitud menor que la influencia de su geometría. Sin embargo, debe considerarse la *incidencia de la tecnología empleada en la producción de los elementos constructivos*, ya que, aunque el costo energético de fabricación de un edificio sea sensiblemente menor al costo energético de mantenimiento del mismo, éste puede disminuirse de manera cuantiosa empleando técnicas constructivas y materiales cuya fabricación demande menores cantidades de energía (Espíndola & Valderrama, 2012).

Debe destacarse que la relación entre costes energéticos de "construcción" y "mantenimiento" se encuentra muy influenciada por la vida útil del edificio, ya que, por ejemplo, el porcentaje entre la energía de construcción y la de mantenimiento para un edificio de viviendas típico de la década de los 70 varía de la siguiente forma: para 50 años, la energía de fabricación supone un 9% del total, mientras que para 100 años la proporción se reduce al 5% (Dumal, 1978). Este sencillo ejemplo nos permite afirmar lo siguiente*: Si el objetivo es ahorrar energía en nuevas construcciones, debe prestarse especial atención al diseño arquitectónico y la geometría de las mismas, de los cuales dependerá mayoritariamente la energía destinada a su mantenimiento. Debe combinarse a lo anterior la utilización de adecuadas tecnologías constructivas que permitan reducir de manera sustancial el coste energético asociado a la construcción del edificio.*

Del párrafo anterior puede anticiparse que, considerando la importancia que un adecuado diseño bioclimático de los edificios posee sobre el ahorro energético, particularmente en los costos de mantenimiento, debe tenerse en cuenta para todo tipo de técnica constructiva este aspecto, destacándose que para cada técnica en particular se deben tomar recaudos particulares; el caso de la tierra no es una excepción.

Resulta importante considerar que, aunque los esfuerzos preponderantes deben orientarse en lograr una adecuada geometría, lo fundamental para encaminarse hacia la disminución del coste energético es la reducción de los costes de mantenimiento. Y aunque para ello lo mejor es operar sobre la geometría de la construcción, puede considerarse un incremento en energía de fabricación de los materia-

les a emplear, a condición de que esté ligada a una proporcional disminución en la energía de mantenimiento (Vázquez Espi, 2014).

2.2 ENERGÍA INCORPORADA EN LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. LA INCIDENCIA DEL TRANSPORTE

La energía incorporada de un material de construcción incluye toda aquella que fue necesaria en los distintos procesos requeridos para llevar el material a su lugar correspondiente en la construcción: desde la extracción de las materias primas, hasta su manufactura y erección; debiendo incluir también a la energía asociada al transporte, y a la parte proporcional de la infraestructura necesaria para que éste resulte posible; así como la parte proporcional de los equipos y maquinarias necesarios para realizar todos estos procesos (Muñoz Zanguineti, 2014; IRAM, 2017).

Dado que la energía incorporada debe contabilizar la energía destinada al transporte en los diferentes materiales involucrados, es de fundamental importancia identificar el contexto territorial y geográfico en el cual se desenvolverá cada material; pues, aunque los procesos de fabricación puedan ser semejantes en distintos lugares geográficos, las distancias de transporte no suelen serlo.

Puede así concluirse que, si las materias primas son procesadas cerca del lugar de extracción, su transporte representa un coste insignificante respecto a la energía de transformación o manufactura requerida. Es por este mismo motivo que al considerar territorios geográficos de mayor envergadura el costo energético del mismo puede alcanzar valores sumamente desproporcionados, como sucede por ejemplo con el acero empleado en la Unión Europea, en la cual las distancias medias de transporte alcanzan los 2.000 km, consumiendo para el mismo el 80% de la energía total asociada al mismo (Hernández & Vázquez, 2010). En consecuencia, el escenario de una futura construcción sostenible debe tener como uno de sus ingredientes principales el carácter local de los materiales empleados.

2.3 ENERGÍA INCORPORADA EN CONSTRUCCIONES CON TIERRA

El interés de la construcción con tierra reside en las propiedades higrotérmicas, térmicas y mecánicas de la misma, y en la posibilidad de fabricar elementos constructivos con dicho material sin consumir energías contaminantes (Fernandes et al., 2019)the life cycle assessment of building materials is still in its infancy. So far, there is only a small number of Environmental Product Declarations (EPDs. El mayor ejemplo de esto puede observarse en la fabricación tradicional del adobe y la tapia, como así también en las construcciones con técnicas mixtas, también conocida como “quincha” o “bajareque”, en las cuales es posible utilizar fuentes limpias de energía, al no ser necesario en ninguna fase del proceso someter al recurso a procedimientos que exijan altas temperaturas ni requerirse materiales de mayor pureza que la que presentan en los yacimientos, siendo ésta la diferencia sustancial con el ladrillo cerámico común. Las técnicas de construcción con tierra

mencionadas (ver figuras 1, 2 y 3) fueron técnicas constructivas muy difundidas en Argentina, particularmente en la región cuyana y noroeste -adobe y tapia- y litoral -adobe y quincha- (Viñuales, 2007), regiones donde en la actualidad, se está tendiendo a su recuperación.

La característica anterior, desafortunadamente es la principal desventaja que encuentra la reutilización de técnicas constructivas bien conocidas por la sociedad en su conjunto, dado que el contexto económico de los países industriales penaliza fuertemente en costes monetarios toda técnica que no recurra al uso de energía contaminante y que, por lo tanto, no aproveche la ventaja competitiva que suponen los bajos precios de dicha energía. Es importante recordar que estos "bajos precios" no guardan relación con el coste energético o el impacto ambiental generado (Naredo, 1999).



Figura 1. *Embarrado de una vivienda construida con técnicas mixtas*



Figura 2. *Bloques de adobe*



Figura 3. *Muro de tapia*

2.3.1 El Bloque de Tierra Comprimida

El Bloque de Tierra Comprimida o BTC es un mampuesto fabricado mediante la compresión de un mortero de tierra, generalmente estabilizada con aditivos minerales, que se encuentra contenido en el interior de una prensa específicamente diseñada para tal fin (González et al, 2020). Al ser estabilizado con modestas cantidades de cemento portland o cal, aparece como una solución de compromiso entre las técnicas limpias tradicionales mencionadas y las contaminantes del ladrillo cerámico habitual. Al hacer cierto uso de fuentes energéticas contaminantes, el BTC permite aprovechar ventajas competitivas monetarias, a la vez que se mejoran las propiedades físicas del adobe y la tapia tradicionales, con costes energéticos todavía menores por unidad de producto que otras técnicas habituales. Esta técnica parece pues, idónea para una época de transición en la que, sin duda, los hábitos y costumbres de la industria de la construcción habrían de sufrir drásticos cambios (Salas Serrano & Oteiza, 2008)monographically focusing on what this means for the basic building materials industry. These needs have created the greatest demand ever for ex-novo solutions and an exponential increase in slum rehabilitation and improvement, translated here into the need for construction materials and more specifically, cement, as the emblematic component of buildings. Based on case studies, the article explores the differential impact of materials on final building costs in the developed world (DW.



Figura 4. Construcción de un muro con bloques de tierra comprimida (BTC) en Federal, Entre Ríos



Figura 5. Vivienda construida con bloques de tierra comprimida (BTC) en la ciudad de Goya, Corrientes.

2.4 CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA. PRINCIPALES BENEFICIOS

Antes de comenzar a cuantificar la energía consumida en la construcción de edificios con la tecnología del BTC, se considera importante mencionar algunos los principales beneficios asociados a la construcción con tierra como materia prima base, en cualquieras de sus variantes. A continuación, se enumeran dichos beneficios:

1. Capacidad Térmica: La tierra es un gran *aislante térmico*, motivo por el cual los elementos constructivos compuestos de ella poseen valores de resistencia térmica muy eficientes con respecto otros sistemas masivos, ya que por ejemplo un muro de adobe puede llegar a comportarse 5 veces mejor que uno de hormigón armado (S. Bastraten, 2011). Sin embargo, es preciso mencionar que la mayor virtud de la tierra en lo referido a sus propiedades térmicas es su gran *inercia térmica*, la cual le confiere una gran capacidad de almacenamiento de calor, característica muy beneficiosa en climas de gran oscilación térmica entre el día y la noche.
2. Propiedades higrotérmicas: La tierra, por ser un material altamente poroso, posee grandes cualidades de absorción de vapor de agua, lo cual permite equilibrar de manera natural la humedad interior de las construcciones, y conseguir así un gran confort interior. Esta propiedad se mantiene también a la inversa, es decir, el material aporta su propia humedad en momentos de excesiva sequedad del aire.

3. Capacidad portante: A pesar de poseer una resistencia estructural sensiblemente menor a la de otros materiales como el ladrillo cerámico o el bloque de hormigón, las técnicas de construcción con adobe, tapia o BTC permiten generar muros de carga sin necesidad de incorporar estructuras independientes para dicho fin.

4. Eliminación de olores indeseables: La composición química de la tierra le confiere una gran capacidad de absorción de partículas tóxicas y olores desagradables, lo cual motiva a la creciente utilización de revoques de tierra en establecimientos públicos.

5. Gran comportamiento acústico: Los muros de tierra, por su elevada densidad presentan un muy buen aislamiento acústico, convirtiéndose de esta manera en eficaces barreras contra los ruidos indeseados.

6. Alta resistencia al fuego: La tierra cruda presenta una gran resistencia natural a las altas temperaturas y al fuego, inclusive superior a la de otros materiales convencionales como el ladrillo común y el acero.

7. Posibilidad de autoconstrucción: Una de las principales virtudes de las diferentes técnicas de construcción con tierra es su posibilidad de ser empleadas en procesos de autoconstrucción asistida, dada la sencillez de los procesos constructivos y equipamiento requerido para tal fin.

3. ANÁLISIS

Por los motivos explicados en el apartado 2.3.1, y a los fines prácticos de este trabajo, se cuantificará únicamente la energía requerida por una construcción en tierra considerando únicamente a la tecnología del Bloques de Tierra Comprimida (BTC).

3.1 ENERGÍA INCORPORADA EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

Utilizando como referencia los valores estimados por Maldonado Ramos (1999) para bloques de tierra comprimida cuya dosificación consiste en un 86 % del peso total del bloque en tierra tamizada y el restante 14 % en cemento, puede estimarse que el coste energético asociado a la fabricación de estos bloques en los 330 Wh/kg. Sin embargo, imputando el coste energético vinculado al transporte del producto final una distancia media de 100 km, el resultado final es una energía total incorporada de 0.4 KWh/kg.

Esta estimación debe ser considerada como un límite superior fácilmente mejorable a la vista de la fuerte imputación que le fue asignada al transporte. Además, resulta importante destacar que el mayor consumo energético está vinculado al contenido de cemento del bloque (Cabrera et al, 2020), único material que requiere altas temperatura y pureza durante su fabricación. Un límite inferior puede obtenerse con facilidad: si la energía específica de la tierra cribada se reduce, la canti-

dad de cemento se limita al 5% y se suprime la imputación por transporte, la energía incorporada a este material puede reducirse hasta alcanzar los 0,13 kWh/kg.

La energía incorporada puede fácilmente reducirse algo por debajo del límite inferior estimado anteriormente utilizando máquinas de accionamiento manual. Sin embargo, la utilización de cemento portland permite vislumbrar un límite teórico a las reducciones alcanzables, que puede fijarse en torno a 0.1 kWh/kg.

3.2 COMPARACIÓN ENTRE LA ENERGÍA INCORPORADA EN LA FABRICACIÓN DE BTC CON LA DE OTROS MATERIALES

Estimado el coste energético asociado a la fabricación de bloques de tierra comprimida, resulta sumamente interesante comparar el valor obtenido con el de otros materiales de uso frecuente en nuestra región. Para lograr este cometido, pueden emplearse como referencia los costes energéticos de fabricación compilados por Mariano Vázquez Espi (2001) en su trabajo publicado en la revista española "Informe de la Construcción". A continuación, se exponen los valores más significativos:

- Perfiles de acero laminado: 14 KWh/kg;
- Perfiles de Aluminio: 80 KWh/kg;
- PVC: 20 KWh/kg;
- Hormigón: 0.7 KWh/kg;
- Ladrillo cerámico: 1.25 KWh/kg.

Comparando los valores anteriores con el calculado precedentemente en el inciso anterior (0.4 KWh/kg) puede afirmarse que los bloques de tierra comprimida requieren para su fabricación una cantidad de energía significativamente menor a la precisada por el bloque de hormigón y el ladrillo cerámico cocido, y una cantidad inmensamente menor a la requerida por el acero, el aluminio y el PVC.

Costo energético de las funciones constructivas

La energía incorporada en los materiales no es la única variable importante a la hora de cuantificar los costes energéticos de una construcción. Para poder realizar una elección sensata es necesario no sólo considerar el material empleado, sino que también debe tenerse presente la función que se espera que éste cumpla, y la geometría del diseño elegido. Es por este motivo, que a continuación se analizan algunas de las funciones típicas para las que pueden emplearse bloques de tierra comprimida.

Coste energético de la capacidad portante

El coste estructural específico de un material puede estimarse como la razón entre la energía incorporada en los materiales estructurales y el volumen requerido por

dichos materiales para cumplir adecuadamente la función estructural. Este cálculo resulta muy simple, y se realiza empleando la ecuación (1):

$$E = (\rho \times e) / f' \qquad (1)$$

Donde ***E*** es el costo energético de un material, ρ el peso específico del material, ***e*** la energía específica incorporada por el material y ***f'*** la capacidad portante del material.

Del trabajo de Vázquez Espi (2014) puede extraerse la siguiente conclusión: el coste energético especifico asociado a la capacidad portante en los diferentes materiales analizados resulta ser muy similar, dado que por ejemplo el elevado coste energético del acero se compensa con su elevada resistencia, mientras que en los bloques de tierra comprimida ocurre justamente lo contrario.

Coste energético del acondicionamiento térmico

Aunque el comportamiento térmico de un edificio resulta ser un fenómeno sumamente complejo, existen algunos indicadores sencillos que ofrecen algunas pistas de comparación entre diversos materiales de cerramiento, como lo son tanto la "resistencia térmica" como la "capacidad térmica", A diferencia de la capacidad térmica, la cual fue explicada en el apartado 2.3, la resistencia térmica es la propiedad referida a la capacidad de un material de no permitir el paso de calor a través de él, la cual depende tanto del espesor del material como de sus "resistividad" (propiedad intrínseca a cada material). Por otra parte, la "capacidad térmica" representa la capacidad de un material de almacenar calor. Esta capacidad térmica está directamente relacionada tanto a la densidad del material como a su calor específico y espesor (Bastraten, 2011).

En base a lo explicado en el párrafo anterior, puede concluirse que el problema de diseño térmico es fundamentalmente un problema de optimación, en el cual hay que buscar una solución de compromiso entre dos magnitudes, resistencia y capacidad, las cuales los materiales no poseen de manera simultánea (Vázquez Espi, 2001).

El investigador español Maldonado Ramos (1999) analizó el comportamiento térmico de diversos materiales de uso frecuente como envolventes de edificios, como son los bloques de tierra comprimida, ladrillos macizos y ladrillos huecos, así como también el de un típico material aislante, como lo es el poliestireno expandido. Su trabajo permite establecer que, aunque el bloque de tierra comprimida no puede competir en coste energético con los típicos materiales aislantes cuando dicha propiedad sea muy necesaria. Sin embargo, frente a otros tipos de fábricas (ladrillo cerámico tanto hueco como macizo) presenta simultáneamente menores costes, tanto en resistencia como en capacidad térmica.

Estos resultados sugieren que la construcción con bloques de tierra compactada debe ser considerada como una alternativa digna de atención, particularmente ante las fábricas ahora habituales de materiales cerámicos más intensivos en su consumo energético.

Coste energético del acondicionamiento higrotérmico

Como fue mencionado en el apartado 2.3.1, una de las principales ventajas de la construcción con tierra, cualquiera sea la técnica empleada, es la capacidad de la misma de regular naturalmente la humedad del aire alojado en los recintos interiores. Esta propiedad no es específica de la tierra, aunque si la diferencia del acero, el bloque de hormigón y el ladrillo cerámico, ya que estos materiales no poseen propiedades higroscópicas que le confieran la capacidad de modificar la humedad del aire. Es por este motivo que, sin lugar a duda, la construcción con bloques de tierra comprimida, (en realidad con cualquier técnica que utilice a la tierra cruda como constituyente principal) presenta significativas ventajas en cuanto al consumo energético destinado al mantenimiento de la construcción, ya que, para lograr similares condiciones dentro de edificaciones construidas con materiales convencionales, como el bloque de hormigón o ladrillo cerámico, deberán incorporarse equipos deshumificadores por su baja prestación higrotérmica.

3.3 COSTO MATERIAL DE LAS FUNCIONES CONSTRUCTIVAS

Aunque la preocupación ambiental recae principalmente sobre la energía empleada, no debe olvidarse que los límites materiales del planeta son mucho más estrictos que los energéticos. En el futuro, la escasez de recursos para todos los procesos liderados por la termodinámica química (entropía de mezcla, reacción, etc.) pueden aflorar con mucha más fuerza que la que han manifestado hasta ahora los límites energéticos, habida cuenta de los stocks limitados de recursos materiales contenidos en la Tierra, frente al flujo continuado de energía que nos envía diariamente el Sol; a lo que se añade, además, el hecho de resultar más fácil convertir materiales en energía que energía en materiales" (Naredo, 1999).

Uno de los aspectos fundamentales que debe ser tenido en cuenta a la hora de analizar el coste energético de un material asociado a las funciones constructivas, es el costo material que dicha función conllevará (Bradley et al, 2018). Poniendo un ejemplo sencillo, puede analizarse el impacto material vinculado a la resistencia de una estructura, el cual puede reducirse empleando materiales especializados en dicha función, como el acero o el hormigón; ya que, debido a las elevadas tensiones admisibles de dichos materiales, para resistir las cargas de diseño de la estructura se requerirán menores volúmenes de material.

En un edificio, sin embargo, la función estructural en general, y particularmente la resistencia a la compresión simple, son marginales respecto a los impactos negativos sobre el ambiente. Para juzgar mejor al BTC podemos compararlo en términos de capacidad térmica, una función importantísima en nuestros climas la cual será encomendada normalmente a fachadas y muros (Volhard, 2016) , junto a losas y suelos. Analizando los resultados obtenidos por Maldonado Ramos (1999), puede concluirse que, comparando el desempeño térmico del ladrillo cerámico común con las de los BTC, a igualdad de capacidad térmica aportada, el coste material de ambos materiales resulta ser similares.

La conclusión a la cual se arriba en este apartado no debe sobreestimarse, dado que una de las mayores críticas a la construcción con tierra es que ésta consume grandes cantidades de materiales en comparación con otras técnicas constructivas, lo cual no cuenta con mayores fundamentos al comparar funciones y prestaciones por igual.

4. CONCLUSIONES

Si se desea seguir construyendo al ritmo actual, y a su vez disminuir el impacto que estas construcciones generan al medio ambiente, resultaría importante considerar las siguientes conclusiones:

Cualquier tipo de construcción sustentable deberá basarse en la utilización de materias primas locales, reduciendo así al mínimo la energía asociada al transporte, la cual, en algunos casos alcanza valores totalmente desproporcionados.

La presencia de elementos constructivos que requieran de altas temperaturas en su fabricación o altos grados de pureza respecto a su composición media en estado natural incrementa en gran medida la energía asociada a la construcción.

Los materiales polifuncionales deben preferirse sobre los materiales especializados, dado que el coste energético de un material sólo tiene sentido cuando se lo relaciona con la cantidad de material requerido por la función constructiva asignada.

Considerando los tres inciso anteriores, *puede concluirse que las técnicas de construcción que empleen tierra como materia prima preponderante, y en particular la tecnología del BTC, dadas sus propiedades térmicas, higrotérmicas y mecánicas; considerando además, la posibilidad de fabricar los elementos constructivos sin consumir energías contaminantes y al no ser necesario en ninguna fase del proceso de fabricación someter al recurso principal (tierra) a procedimientos que exijan altas temperaturas ni requerirse materiales de mayor pureza que la que presentan en los yacimientos; y al encontrarse de manera natural prácticamente en cualquier lugar del planeta -reduciendo así los costes asociados al transporte- es una de las alternativas más viables para construir de manera sustentable.*

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alamino Naranjo, Yésica; Kuchen, Ernesto; Gil Rostol, Celeste & Alonso Frank, Alción (2015). Monitoreo de consumo y estrategias de eficiencia para el edificio público de Obras Sanitarias Sociedad del Estado, San Juan, Argentina. Hábitat Sustentable, 5 (1),14-23.

Bestraten, Sandra (2011). "Construcción con tierra en el siglo XXI." Informes de la construcción. 63 (523), 5-20.

Bradley, R. A., Gohnert, M., & Bulovic, I. (2018). Construction considerations for low-cost earth brick shells. Journal of Construction in Developing Countries, 23 (1), 43–60.

Cabrera, S., Aranda Jiménez, Y. G., Suárez Dominguez, E., & Rotondaro, R. (2020). Bloques de Tierra Comprimida (BTC) estabilizados con cal y cemento. Evaluación de su impacto ambiental y su resistencia a compresión. Hábitat Sustentable, 10 (2), 70–81. https://doi.org/https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.05

Carretero-Ayuso, M., & García-Sanz-Calcedo, J. (2018). Comparison between building roof construction systems based on the LCA. Revista de La Construcción, 18 (1), 123–136.

Daumal, Francisco; García, Gerardo (1978). "La energía y el ciclo vital del edificio". CAU N°55. Páginas 30-37. España.

Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. Informacion Tecnologica, 23 (1), 163–176. https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017

Fernandes, J., Peixoto, M., Mateus, R., & Gervásio, H. (2019). Life cycle analysis of environmental impacts of earthen materials in the Portuguese context: Rammed earth and compressed earth blocks. Journal of Cleaner Production, 241. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118286

González, A., Losa, N., & Cabrera, S. (2020). Investigación y desarrollo para el mejoramiento en la producción de BTC: 1° Congreso Nacional Btceros. Construcción Con Tierra, 9, 31–38.

Hernández, A., & Vázquez, M. (2010). Urbanización contra sostenibilidad. Boletin CF+S. Tierra y Libertad, 44, 7–12. http://habitat.aq.upm.es/boletin/n44/aaher.html

IRAM. (2017). IRAM-ISO 14040. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.

Maldonado Ramos, Luis; Valero, Antonio (1999). Determinación del rendimiento y coste energético en la construcción de cerramientos de fábrica de adobe, bloque de tierra comprimida y entramado, para su aplicación en proyectos de desarrollo sostenible y política medioambiental. Departamento de construcción y Tecnología Arquitectónica, Universidad Pública de Madrid, España.

Muñoz Sanguinetti, Claudia; Quiroz Ortiz, Francisco (2014). Análisis de Ciclo de Vida en la en la determinación de la energía contenida y la huella de carbono en el proceso de fabricación de hormigón premezclado. Caso estudio planta productora Región del Bio Bio, Chile. Hábitat Sustentable, 4 (2), 16-25.

Muñoz Fierro, Jorge; Soto Muñoz, Jaime (2014). Evaluación de mejoramiento de muros en mediante simulación energética y análisis de LCC para viviendas de construcción frecuente en chile. Hábitat Sustentable, 5 (1), 22-43

Naguissa Yuba, Andrea; Engel de Alvares, Cristina; Braganca, Luis. (2015). Prefacio. Congreso Latinoamericano y Europeo de Edificios y Comunidades Sustentables. Guimarães, Portugal.

Naredo, José Manuel; Valero, Antonio (1997). Patrimonio inmobiliario en España. Ministerio de Fomento. España.

Ocvirk, Verónica; (2016). El lado oscuro del verano. Diario LeMonde Diplomatiqe. Publicación mensual año XVII, 201. Argentina.

Roux Gutierrez, R. S., García Izaguirre, V. M., & Espuna Mujica, J. A. (2015). Los materiales alternativos estabilizados y su impacto ambiental. Revista Electrónica Nova Scientia, 7 (1), 243–266.

Salas Serrano, J., & Oteiza, I. (2008). La industria de materiales básicos de construcción ante las ingentes necesidades actuales de edificación. Materiales de construcción, 58 (292), 129–148. https://doi.org/10.3989/mc.2008.46408

Vázquez Espi, M. (2014). La descripción de la insostenibilidad, 1945–1973. Boletíni CF+S. El «nuevo Paradigma» Cumple 65 Años, 46, 7–21.

Vázquez Espi, Mariano. (2001). Construcción e impacto sobre el ambiente: El caso de la tierra y otros materiales. Informes de la construcción, 52 (471), 29-43.

Viñuales, G. M. (2007). Tecnología y construcción con tierra. Apuntes, 20 (2), 220–231.

Volhard, F. (2016). Construire en terre allegee. Acte Sud - Craterre. Francia.

Wooley, Tom; Kimmins, Sam; Harrison, Pauls; Harrison, Rob (1997). “Green Building Handbook”. E & FN Spon. Inglaterra.