



LA HUELLA DE CARBONO EN ELEMENTOS DE ARQUITECTURA CON TIERRA

Yolanda Aranda-Jiménez¹, Edgardo Suarez-Dominguez²

Universidad Autónoma de Tamaulipas

¹yaranda@docentes.uat.edu.mx; ²edgardo.suarez@docentes.uat.edu.mx

Palabras clave: calentamiento global, gases efecto invernadero

Resumen

La huella de carbono se define como los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera, y se le asocia directamente con el calentamiento global. Por otro lado, la industria de la construcción es una de las que más contamina, por lo que es necesario crear conciencia acerca del uso de materiales de bajo impacto como lo son los elaborados con tierra. La arquitectura con tierra y sus diversos sistemas constructivos, tanto en mampostería, muros monolíticos y técnicas mixtas, así como sus acabados, se postula para reducir dichas emisiones, sin embargo, es fundamental demostrarlo. El objetivo de este trabajo es demostrar que la arquitectura con tierra en dos de sus elementos es capaz de mitigar los GEI y por tanto las emisiones de CO₂ que son importante causa del calentamiento global. Se muestra la metodología y los resultados e impacto referido a los GEI o huella de carbono de elementos de tierra como son los bloques de tierra comprimida o BTC estabilizados y un recubrimiento de tierra con fibra de ixtle obteniéndose una reducción desde un 20% hasta un 75% en peso de emisiones cuando se comparan con materiales tradicionales como ladrillo y mortero cemento-arena, respectivamente.

1. INTRODUCCIÓN

Huella de carbono es un término ampliamente utilizado en el debate social actual sobre la responsabilidad y acciones que se deben tomar contra la amenaza del calentamiento global. Aunque ciertamente su definición se relaciona con el término huella ecológica, la singularidad de la huella de carbono es su relación con la emisión de los llamados gases efecto invernadero (GEI). En este contexto, la política ambiental a nivel global establece que las ciudades deben medir y controlar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Las áreas urbanas representan el 2% del total de la superficie terrestre y son las zonas más habitadas y que generan la mayor cantidad de emisiones siendo la mayor fuente la quema de combustibles fósiles. Debido a lo anterior, se han tomado y ejecutado diversas medidas para contrarrestar este fenómeno antropogénico que cada día amenaza en mayor medida la integridad del planeta Tierra. Una de estas medidas es el Protocolo de Kyoto¹. Aunque adoptado en 1997, entró en vigor el 16 de febrero de 2005 y para 2009, 187 naciones habían rectificado su participación. Este pacto se dirigió como una invitación a los países industrializados para reducir sus emisiones de CO₂ en al menos un 5% entre los años 2008 y 2012, tomando como referencia los valores promedio de 1990. Actualmente, el protocolo se encuentra en su segunda etapa en la que, las metas alcanzables en la reducción de emisiones de CO₂ se proyectan entre 2013 y 2020. Para lograr estas metas estratégicas, los gobiernos deben adoptar no solo los mecanismos adecuados para lograr una reducción significativa de las emisiones de GEI sino, además, deben implementar las metodologías adecuadas para detectar, medir y cuantificar dichas emisiones que engloban no solo el CO₂ sino también metano (CH₄), óxido de nitrógeno (NO), ozono (O₃) y vapor de agua. Para comprender mejor el contexto científico que involucra dicho proceso, primero se debe definir la huella de carbono en términos prácticos.

¹ <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/protocolo-de-kioto-sobre-cambio-climatico?idiom=es>

Existen 10 categorías de impacto evaluadas por los eco-indicadores que mide el análisis de ciclo de vida (ACV) de los materiales, mismos que se encuentran divididos en tres grandes rubros según el daño: salud, ecosistema y recursos naturales. Dentro del impacto ambiental y daños a la salud, se pueden nombrar: calentamiento global, radiación, reducción de la capa de ozono, entre otros. El presente trabajo evalúa la huella de carbono de dos elementos de arquitectura con tierra.

1.1 Calentamiento global y la huella de carbono

Cuando se habla de huella de carbono, se asocia generalmente con la cantidad de GEI, emitidos a la atmósfera y producto de la producción o consumo de bienes y servicios (Pandey, Agrawal, Pandey, 2010). Sin embargo, existe el desacuerdo en la selección de los gases de las emisiones que deben de ser cubiertos en los cálculos, pero hasta ahora es la mejor herramienta para calcular la emisión de gases; como consecuencia, se han generado diversas metodologías, que generan controversia en el cálculo (Carballo; Doménech, García, 2009), ya que algunos autores indican que se debe incluir todo el ciclo de vida del material, mientras que otros son análisis específicos, métodos *top down* y *bottom up*, generalmente es más usado este último. Sin embargo hay un consenso general de que a mayor cantidad de gases se producirá un aumento en la temperatura de la tierra, si el CO₂, llegara al doble de los valores actuales, se habla de 1,5°C a 4,5°C de aumento en la temperatura (IPCC, 2011).

Entre algunos de los gases mencionados a considerar están: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, tetracloruro de carbono, bromuro de metilo, metil cloroformo, compuestos perfluorados, trifluorometil pentafluoruro de S, éteres fluorados, dimetileter, cloruro de metileno, cloruro de metilo, perfluoropolieters. Se puede mencionar que existen cuatro métodos actuales para el cálculo de huella de carbono, los cuales guardan clara similitud en la obtención de datos al ACV, estos métodos son: a) protocolo de GEI; b) balance de carbono, el cual considera la contabilización de emisiones directas e indirectas de los GEI; c) método de compuesto de las cuentas contables, que presenta un enfoque de organización; y d) especificaciones públicamente disponibles (PAS), el cual define las fuentes de emisiones consideradas y sus efectos potenciales (Espíndola; Valderrama, 2012).

1.2. El análisis del ciclo de vida

Es una metodología que permite cuantificar los impactos ambientales de productos, procesos y servicios de una forma integral, cuantificándose todas las etapas desde la cuna a la tumba, bajo la norma ISO 14040 (2006). El denominado impacto ambiental es la sumatoria de todos los impactos que ocurren durante el ciclo de vida. México está entre los 129 países que, en el 2005, firmaron el Protocolo de Kyoto que se compromete a reducir sus emisiones de GEI en un 5%. Es importante enfatizar que uno de los problemas más graves que atañe a América Latina es el de las ladrilleras, donde existen 45.000 productores, los cuales a partir de hornos rústicos cuecen los ladrillos emitiendo CO₂ a la atmósfera. Por tal motivo hay que hacer énfasis en el uso de hornos diseñados para evitar emisiones sin control (figura 1), así como el monitoreo del combustible, identificación de la tierra arcillosa apropiada y todas aquellas acciones que conlleven a las buenas prácticas de producción.

Las otras categorías de impacto ambiental que mide dicho programa y que se mencionan para contextualizar son: la acidificación, que se refiere a la capacidad de neutralización del suelo por el retorno de los ácidos, óxidos de azufre y nitrógeno; el uso del suelo toma en cuenta las afectaciones por las actividades humanas, mientras que la eutrofización, el grado de contaminación en los cuerpos de agua por intervención humana. Los daños a la capa de ozono se miden por los efectos adversos de la productividad agrícola y está determinado por 22 gases principalmente. La disminución de reservas y crudo se refiere a los combustibles fósiles o minerales, la radiación toma en cuenta las emisiones de material radioactivo que provocan cáncer. El smog fotoquímico se refiere a contaminantes secundarios por la quema

de combustibles y solventes que provocan cáncer. La eco toxicidad, se mide por el porcentaje de especies presentes en el medio ambiente sufriendo la tensión tóxica.



Figura 1. Olerías artesanales en la localidad de Tobatí, Paraguay: la primera es de tipo Albert con bóveda y cerrada, la segunda de tipo Caipira sin techo y abierta (Tailant, 2018)

Por otro lado diferentes autores mencionan que se necesitan nuevos enfoques tanto en el diseño como en la selección de materiales para minimizar la huella de carbono tanto en edificios públicos como en casas habitación, ya que cada uno de los edificios públicos es único en cuanto a diseño, requerimientos, necesidades, sin embargo, existen estudios que proponen métodos para definir la huella de carbono de los materiales de construcción en las diferentes fases del diseño y construcción de un proyecto (Kuittinen, 2015).

2. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES

La industria de la construcción es una de las más contaminantes por las emisiones de la fabricación de los materiales empleados; estos cuando cumplen su ciclo, no se pueden reutilizar y solo algunos de ellos se pueden recuperar. Es por ello que, para afirmar que la arquitectura de tierra y sus sistemas constructivos es la que menos impacta al medio ambiente, se tiene que comprobar por medio de mediciones de los eco-indicadores como la huella de carbono de los materiales utilizados.

El impacto de los materiales de construcción está asociado tanto a la energía como a las emisiones incorporadas (Ching; Shapiro, 2015).

Los materiales desarrollados a analizar son:

- a) Recubrimiento a base de suelo arcilloso, arena, cal, sábila (*Aloe vera*) y fibra de ixtle (agave de *lechuguilla Torrey*). El solo empleado es de color amarillo, típico de la zona urbana de Tampico, Tamaulipas, en México, obtenido dentro del proyecto SEMARNAT-CONACYT 263206; la arena es del propio local.
- b) Bloque de tierra comprimida (BTC), fueran fabricados con suelo arcilloso, medrano (suelo limoso obtenido de la zona norte de Altamira, Tamaulipas, México), cemento y mucilago de nopal (*Opuntia ficus*), en la Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo (FADU).

2.1. Características físicas del recubrimiento y del BTC

Para el recubrimiento, en una primera etapa, se caracterizó la planta del agave de donde se extrajo la fibra de ixtle, haciéndole las siguientes pruebas: humedad, azúcares reductores presentes, absorción de agua, procesos de fermentación; en la siguiente fase se caracterizó la fibra, haciéndole las siguientes pruebas: biodegradabilidad, microbiológicas, pruebas térmicas, porcentaje de agua, pH, alcalinidad, porosidad, densidad, procesos de fermentación, hidrólisis ácida, azúcares reductores presentes; por último al recubrimiento.

Tanto las pruebas al agave como a la fibra indicaron que eran óptimas para trabajarlas en el recubrimiento, ya que no se degradaban o guardaban hongos y no había contenido de azúcares.

Las características físicas del recubrimiento son representadas por las pruebas que se realizaron sobre un prototipo de tierra vertida, construido específicamente para tal efecto. Aranda, Hugón y Gonzalez, (2018) enlistan las pruebas de adherencia, de largo de fibra, de pigmentación, de espesor; los autores informan que se trabajó la mezcla sobre un mural donde presentó buen comportamiento a la adherencia, esgrafiado, raspado y pigmentado.

Las características físicas de los BTC, realizadas acorde a NTC 5324 (2004) son: porosidad, abrasión, absorción de agua y densidad.

2.2 Características mecánicas del recubrimiento y del BTC

El ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión del recubrimiento se realizó de acuerdo a la norma NMX-C-486-ONNCCE (2014): se encontró un promedio de resistencia a la compresión de 0,66 MPa, tendiendo una desviación estándar de 0,01 MPa.

En el caso de los BTC, el ensayo de resistencia a la compresión se realizó de acuerdo a la norma NMX-C-508-ONNCCE (2015), aun que se estabilizaron con cemento y mucilago de nopal, obteniendo el resultado de 3,50 MPa en promedio, teniendo una desviación estándar de 0,01 MPa.

3. METODOLOGIA

Los procesos de evaluación de la evaluación mecánica de los elementos fueron con las normas NMX-C-486-ONNCCE (2014) y la norma NMX-C-508-ONNCCE (2015)

Para determinar la huella de carbono (cantidad de CO₂ equivalente emitido) para los productos naturales obtenido de revoque y BTC se siguió el método establecido por la SEMARNAT y GEI que más adelante se exponen a partir del cual se definieron varias etapas.

Para la obtención de mucílago de nopal:

1. Etapa de preparación del terreno: a) limpia del terreno, b) cultivo, c) rastra
2. Etapa agrícola: a) siembra, b) compostaje, c) uso de pesticidas, d) uso de herbicidas, e) recolección de pencas
3. Etapa industrial: a) quitar materia orgánica, b) obtención del mucílago o sábila, c) filtrado o decantado d) almacenamiento de subproductos e) procesamiento de transformación
4. Etapa de transporte de insumos: a) transporte de insumos para etapa agrícola, b) transporte de insumos para etapa de uso, c) transporte de personal a la zona de estudio

A partir de lo anterior se obtuvieron las cantidades de combustibles, materia prima, y todo tipo de recursos destinados para una hectárea de planta suministradas en un año.

Para el cálculo de CO₂ en la preparación de los materiales se consideró lo siguiente:

a) A partir de materiales se realizaron BTC de mezclas (proporciones en peso) de 50% de tierra arcillosa, 39% de medrano (suelo limoso obtenido de la zona norte de Altamira, Tamaulipas, México), 6% de cemento y 5% de solución concentrada de mucílago de nopal en agua. Los bloques de tierra comprimida tienen las dimensiones de 14 cm de ancho por 28 cm de largo y 10 cm de altura, con un peso promedio de 7,55 kg por pieza equivalente a un peso volumétrico promedio de 1,91 g/cm³.

b) Los cálculos de CO₂ se realizados a partir de las directrices indicadas en IPCC (2006) considerando los valores del IPCC (2013) y los lineamientos marcados en el Guía (2011).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con una obtención promedio de 10000 kg de planta, con un rendimiento de 90% de líquido, se obtuvieron 9000 kg de mucílago en solución, de los cuales los porcentajes emitidos de

CO₂ de cada etapa, fueron 48% en el procesamiento, 1% en el cultivo, 50% en el transporte y el resto en la preparación del terreno.

Para el caso del cultivo y cosecha del mucílago de nopal o sábila, según el caso solamente se considera el transporte de una persona encargada de trasladarse mensualmente en transporte público con un promedio de 76 km y una producción de 0,05 kg CO₂ eq/km lo que considera entonces 0,38 durante 12 meses obteniendo un total anual de 46 kg CO₂eq.

Para los casos de obtención de suelo arcilloso y medrano en total se obtuvo un gasto equivalente a 2.664 kg CO₂ equivalente por litro de combustible utilizado y que por cada 5 toneladas de este material se requieren 106,56kg de CO₂ emitidos a la atmósfera.

En lo que respecta al CO₂ emitido por la producción de cal, se toman los valores según las referencias de Hernández-Rodríguez, Aranda-Jiménez y Suarez-Domingues (2016) y Leal (2015, cuadro 5, p.7). La energía requerida en la elaboración del mortero cemento-arena es tomada de Arguello-Méndez y Cuchi-Burgos (2008)

Respecto al análisis de producción de CO₂ como medio comparativo con los BTC, se consideró el caso que el cemento y los materiales orgánicos se producen en el mismo punto exacto y se trasladan de la cementara al punto de edificación debido a que es equivalente el CO₂ y son equivalentes en cuanto a la producción/absorción cemento-mucílago.

Ya que la mano de obra y la preparación de BTC para el caso de los procesos de autoconstrucción son considerados cero (los directamente relacionados con la producción manual humana lo son) no se presenta para este caso volumen de emisiones. Entonces se tiene que la producción de ambos casos es solamente de transporte.

En el caso de la producción por tonelada de BTC se tiene: CO₂ por ton BTC= 46+(106,56/5)=67,312 kgCO₂ por tonelada de BTC

Para el caso de los BTC en el caso óptimo de uso de mucílago que equipara el uso de cemento. En efecto, considerando un promedio de 70 kgCO₂ equivalente (ya que 60-80 kg de emisiones de CO₂ equivalente por tonelada producida de mezcla debida al cemento) se tiene un máximo de: 67,312+70=137,312 kgCO₂ equivalente.

Sin embargo es importante retomar que, para el caso de mucílago de nopal, cuando es producido en el mismo sitio donde se utiliza, se elimina totalmente las emisiones por transporte; cuando se produce en sitio y si se realiza todo el proceso de producción de BTC de forma manual entonces no se tienen emisiones por procesamiento ya que no hay etapa industrializada. En ambos casos, cuando todo se realiza manualmente se considera cero la emisión humana.

Si se considera además que:

- a) La obtención de suelo arcilloso puede obtenerse de medio circundante reduciendo el transporte y la cantidad requerida de arena para preparar el mortero;
- b) Que puede tratarse de autoconstrucción y que los materiales se cultivaron en el medio circundante a la edificación;
- c) Que todo el tratamiento puede realizarse manualmente.

La producción de BTC solamente tendrá su emisión en el transporte y producción de cemento, esto es el mínimo de 60 kg de CO₂ por tonelada de BTC.

Para fines comparativos se utiliza el estudio de Luján y Guzmán (2015) en donde se encontró que de 140,2 kg a 507,6 kg de CO₂ son requeridos solamente para la cocción de una tonelada de ladrillos. Este elemento diferenciador permite visualizar que es mucho mayor al rango encontrado, que se encuentra entre 60 kg a 137,3 kg de CO₂ para todo el proceso de producción de una tonelada de BTC, con un promedio de 67,312 kg de CO₂, lo que representa un valor sustancialmente menor de CO₂.

Para el caso de los morteros a base de tierra pueden considerarse sustentables principalmente por sus diferencias con respecto a los morteros de arena-cemento y la

disminución o eliminación del uso de cemento (el CO₂ equivalente a un kilogramo de cemento es de 0,4112 kg) (Arguello-Méndez; Cuchi-Burgos, 2008; Leal, 2015).

El mortero a base de tierra tiene los componentes siguientes con relación a la producción de energía:

Suelo arcilloso – este suelo se obtiene preferentemente del medio circundante a donde se utilizará minimizando la contaminación por transporte así como la producción de energía o requerimientos energéticos. La arena utilizada es del banco que esta in situ.

Fibra natural – tiene una producción de CO₂ negativa ya que para su producción se utiliza un suelo disponible con bajos niveles de fertilización. La extracción se hace a mano tradicionalmente para su uso en las inmediaciones. El material no requiere procesos que emitan CO₂ y para su crecimiento la planta consume CO₂; por ello, es negativa la producción de CO₂ ya que el absorbido es utilizado en el material sin liberación de este gas.

Producción de mucílago de nopal – tiene una producción de CO₂ negativa ya que se obtiene de nopal que se dosifica en la mezcla de mortero y no se quema (no libera el gas).

Transporte – se prefiere que las edificaciones que utilicen este material se encuentren cercanos a donde se producen. En los casos de ciudad se esperaría que la emisión de CO₂ sea mitigada por el absorbido por la planta en su crecimiento.

Cal – cuando se utiliza cal dentro de la mezcla para estabilización, se espera que sea mínima la producción de CO₂ ya que posterior a su producción una gran parte vuelve a ser captada del medio ambiente.

4.2 Bases de gestión

Los datos empleados en este trabajo fueron obtenidos de las bitácoras de seguimiento y adquisición de los materiales así como pase de asistencia de colaboradores y reportes de laboratorio desarrollados durante la totalidad del proyecto.

Para el monitoreo futuro se empleará las tablas de seguimiento mensual registrando:

- a) Personal laborando por actividad (las actividades son: cuidado de la planta (cultivo), despalme y obtención de fibra, obtención de materiales, elaboración de mezclas.
- b) Transporte del personal para el desarrollo de cada actividad en a)
- c) Continuar monitoreando las medidas de la planta e incremento/decremento de biomasa

5. CONCLUSIÓN

De acuerdo a los objetivos propuestos se denota en lo expuesto en este trabajo, que al reducir los componentes como el cemento, y los procesos que lo sustituyen o equivalentes como son la producción de fibra y mucílago o acíbar, se reduciría sustancialmente las emisiones respectivas. Así mismo, en la metodología descrita, en cuanto a la cuantificación de emisiones, se emplean los procesos de transporte requeridos durante los procesos de producción de los materiales analizados.

Para el caso de recubrimiento se realizó un análisis de mezcla de tierra, arena, cal, sábila y fibra, con un revenimiento obtenido con hasta 20% de la dosificación de agua. El análisis de CO₂ da un resultado de 11,9 kg de CO₂ necesarios para producir una tonelada de mezcla de recubrimiento.

En términos de huella de carbono, a nivel de organizaciones, eventos productos y servicios, existen diferentes niveles de avance y consideración respecto al tema, así como los marcos metodológicos, destacándose las acciones desarrolladas y en desarrollo de la Unión Europea y los Estados Unidos. Esto resulta ser una preocupación para los países que intercambian bienes y servicios con dichos mercados como es el caso de América Latina.

Para el caso de la planta, se propone una nueva metodología que considera la estequiometría de absorción de CO₂ acompañada de la determinación a nivel laboratorio.

A partir de este trabajo se encontró que el promedio de producción de CO₂ para BTC es de 67,312 kg de CO₂ y que se corresponde a un rango de una tercera a una octava parte de la cocción de ladrillos por toneladas.

Se encontró también que el uso de mortero de tierra reduce sustancialmente la energía requerida para su elaboración con respecto a un mortero tradicional cemento-arena, hasta en más del 90%. Por otro lado, la producción de compuestos orgánicos, como el mucílago de nopal, absorbe CO₂ del ambiente para formarse por lo que en algunos casos se reduciría aún más las emisiones.

Aunque existe una reducción sustancial de las emisiones de CO₂ equivalente entre el BTC y el mortero a base de suelo (casi una cuarta parte) se considera que una de las razones se debe a que el primero (BTC), tiene un uso estructural mientras que el segundo tiene solamente un efecto de recubrimiento que solo requiere adherencia y baja degradabilidad.

Sin embargo, en ambos casos se encontró que existe una reducción importante en las emisiones cuando se contrastan contra los materiales tradicionales existentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aranda, Y.; Hugón, M.; Gonzalez, A. (2018). Pruebas al recubrimiento con fibra de ixtle sobre prototipo. 18° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. La Antigua Guatemala, Guatemala: USAC-CII/PROTERRA. p.234-241

Arguello-Méndez, T. R.; Cuchi-Burgos, A. (2008). Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10 x10 Con Techo-Chiapas del CYTED. Disponible en <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/588>

Carballo, A.; Doménech, J. L.; García, M. C. (2009). El ecoetiquetado en base a la huella ecológica y del carbono: una herramienta de marketing verde. UAI Sustentabilidad, 3(7), 1-2

Ching, F.; Shapiro, I. (2015). Arquitectura ecológica. Un manual ilustrado. España: Ed. Gustavo Gili

Espíndola, C.; Valderrama, J. (2012). Huella del carbono. Parte 1: Conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. Información Tecnológica Vol.23(1), p 163-176

Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (2011). Comisión Interdepartamental del Cambio Climático. Disponible en: <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>

Hernández-Rodríguez, C.; Aranda-Jiménez, Y. G.; Suarez-Domingues, E. J. (2016). The use of lime for carbon dioxide production: brief analysis. Journal of Scientific Research and Reports, 10 (4). 1-5. <https://doi.org/10.9734/JSRR/2016/24305>

IPCC (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories. Japón: IGES. Disponible en https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/0_Overview/V0_0_Cover.pdf

IPCC (2011). Intergovernmental panel on climate change, United Nations Environment Programme (UNEP) and the World Meteorological Organization (WMO).

IPCC (2013). 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. Intergovernmental panel on climate change. Disponible en: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/index.html>

ISO 14040 (2006). Environmental management – life cycle assessment – principles and framework. International Organization for Standardization

Kuittinen, M. (2015) Setting the carbon footprint criteria for public construction projects. Science Direct. Elsevier. 154-161

Leal, J. B. C. (2015). Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa. Disponible en

https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/informe_gei/6_anexo_3Factores_Emision_Herramienta_Inventario_GEI_EAB_2014.pdf

Luján, M.; Guzmán, D. (2015). Diseño, construcción y evaluación de un horno (MK3) para la cocción de ladrillos artesanales. *Acta Nova*, 7(2), 165-193.

NMX-C-486-ONNCCE (2014). Industria de la construcción – Mampostería – Mortero para uso estructural – Especificaciones y métodos de ensayo. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación

NMX-C-508-ONNCCE (2015). Industria de la construcción-Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal. Especificaciones y métodos de ensayo. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.

NTC 5324 (2004). Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones, especificaciones, métodos de ensayo, condiciones de entrega (traducción de la norma francesa XP P 13-901 del año 2001). Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación

Pandey, D. M. Agrawal y J. Pandey. (2010). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1-4), 135-160 P

Taillant, J. D. (2018). Taller El sector ladrillero y la sustentabilidad en Paraguay. Informe final. Parte I. Disponible en <http://center-hre.org/wp-content/uploads/Informe-Taller-PANLAC-Paraguay-2018-18-Dec-2018-FINAL-Parte-I.pdf>

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al laboratorio de materiales de la FADU y al proyecto SEMARNAT-CONACYT 263206

AUTORES

Yolanda Gpe. Aranda-Jiménez, doctorado en Arquitectura con énfasis en vivienda (UAT 2010), línea de investigación en construcción con tierra. Miembro del SNI I. Miembro de Proterra desde 2005. Representante de la Cátedra UNESCO para Arquitectura con tierra en la FADU/UAT. Cuenta con varios artículos indexados y participación en congresos internacionales, así como talleres impartidos en tierra.

Edgardo J. Suárez-Domínguez, doctor en el área fisicomatemática por la UNAM, con posdoctorado en Materiales. Profesor investigador y jefe de la Unidad de Posgrado de la FADU-UAT. Los últimos cinco años ha publicado más de 20 artículos en revistas indexadas y cuenta con más de 6 patentes