

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA HUELLA DE CARBONO EN MAMPUESTOS

Sebastián Panella¹; Nery Pizarro¹; Miguel Tornello¹; Nelson Agüera¹

¹CEREDETEC (Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica). Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza / naguera@frm.utm.edu.ar

Resumen: En los últimos siglos la temperatura terrestre ha experimentado cambios drásticos, atribuidos en gran medida a las actividades humanas que generan emisiones de gases de efecto invernadero. Es esencial comprender el origen de estas emisiones, mayormente asociadas a la actividad industrial, para impulsar la mejora tecnológica y reducir la contaminación. El objetivo de esta investigación es analizar y comparar el impacto ambiental generado por la producción de mampuestos tradicionales en contraste con los mampuestos sustentables. Dado que la industria de la construcción es una de las principales contribuyentes a la contaminación global, identificar los procesos que más la afectan permite implementar mejoras significativas. Para medir la magnitud de la contaminación se utiliza la Huella de Carbono, cuyo valor cuantifica todos los gases de efecto invernadero generados por las actividades humanas en el medio ambiente, específicamente en nuestro caso, las relacionadas con la fabricación de mampuestos. El resultado se expresa en toneladas de dióxido de carbono equivalente. Este estudio se realiza en función de los estándares establecidos por la norma ISO 14064, la cual contempla los diferentes alcances de los procesos y las maquinarias utilizadas en la producción de mampuestos sustentables. Finalmente se realiza una comparación de la Huella de Carbono en la fabricación de mampuestos tradicionales.

Palabras claves: Huella de Carbono, Mampuestos, Sustentable, Construcción

INTRODUCCIÓN

Ante la creciente urbanización en el mundo, se produce un incremento en la demanda de construcción de edificios residenciales y no residenciales, viviendas y otras infraestructuras ya existentes. Esto provoca un incremento en la producción de mampuestos y, por consiguiente, un aumento en la contaminación.

La fabricación de mampuestos consiste básicamente en la utilización de grandes cantidades de agua para la preparación de la arcilla. La extracción de arcilla también es un factor importante, produciendo un

efecto negativo en el entorno natural. Como consecuencia de dicha actividad se produce una degradación del suelo, alteración del ecosistema local y agotamiento de recursos naturales disponibles.

Otro efecto a considerar es el proceso de fabricación, que produce contaminación del aire debido a partículas en suspensión, compuestos tóxicos, entre otros, pudiendo comprometer la salud de las personas aledañas a las zonas de producción, provocando problemas respiratorios y otras enfermedades asociadas.

Todo lo mencionado anteriormente nos pone en la necesidad de innovar en la construcción, siendo una solución la producción de mampuestos sustentables, que utilizan como materia prima en su fabricación materiales reciclados. Actualmente, en el Departamento de Junín, Provincia de Mendoza, existe una planta de producción de mampuestos sustentables, mediante el uso del reciclado del PET (Polietileno Tereftalato) no reutilizables.

El PET es un material que se utiliza para envases de bebidas, alimentos, y una variedad de otros productos de consumo, en consecuencia, la reutilización del PET en un segundo uso establece un impacto positivo en el medio ambiente. El PET es un material que tarda hasta 1000 años en degradarse. Esto lo convierte en un material altamente contaminante estando a la intemperie (Cubilla et al, 2020)

Utilizando el PET como componente en la producción de mampuestos ecológicos, se puede lograr disminuir la demanda de mampuestos tradicionales. La investigación propuso un análisis de la huella de carbono que produce los mampuestos tradicionales y un estudio comparativo con la huella de carbono que produce los mampuestos sustentables.

PROCESO Y METODOLOGÍA

El análisis de la huella de carbono se realizó para mampuestos tradicionales de arcilla cocida y para mampuestos sustentables con PET. Se estableció para el estudio una cantidad de producción de 36.000 mampuestos anuales.

Proceso y materia prima para la elaboración del mampuesto tradicional

La materia prima en la producción de mampuestos tradicionales se compone de arcilla, agua y aditivos. La arcilla se extrae de yacimientos

naturales y se compone de minerales como sílice, alúmina, pequeñas cantidades de óxidos de hierro y calcio. Los aditivos utilizados son arenas o cenizas para mejorar la resistencia y reducir el costo.

En el proceso de fabricación se utiliza suelo extraído de excavaciones, generalmente arcillas rojas, o suelo vegetal negro, que se encuentra frecuentemente en la superficie. Posteriormente, es necesario dejarla reposar para lograr una homogeneización adecuada. A continuación, se agrega la cantidad de agua necesaria para facilitar el moldeado. El proceso de moldeado se realiza manualmente, introduciendo la arcilla en un molde doble que permite formar dos mampuestos. El tiempo de secado varía entre 3 y 4 días, dependiendo de las condiciones climáticas. Finalmente, se procede al horneado del material.

Proceso y materia prima para la elaboración del mampuesto sustentable

La materia prima en la producción de mampuestos sustentables se compone de PET (Polietileno Tereftalato), cemento portland compuesto con adición de puzolanas, arena o agregado fino, agua y aditivo ligante. En el proceso de fabricación se utiliza un protocolo compuesto de una serie de pasos para asegurar los estándares de calidad del producto (Mendez et al, 2022). Incluyendo la trituración de partículas de PET, siendo el tercer plástico más utilizado en el mundo por la Industria embotelladora de bebidas, debido a su durabilidad, resistencia química, bajo peso y adecuada capacidad de disipación de energía ante la aplicación de fuerzas externas (Botero Jaramillo et al, 2014).

Las partículas de PET se mezclan con cemento Portland y áridos, que proporcionan estructura y volumen a la mezcla, como se observa en la Figura 1. Se combinan en una hormigonera junto con agua y aditivos químicos. El uso de estos es crucial, ya que permite optimizar el comportamiento de la mezcla como su adhesión entre partículas como se observa en la Figura 2.

Figura 1
Preparación y pesado de los materiales para la mezcla



Figura 2
Mezcla de las partículas de PET con el Cemento Portland y los áridos



Una vez que la mezcla alcanza una consistencia uniforme, se vierte en moldes metálicos diseñados para confeccionar mampuestos, con dimensiones y formas estandarizadas como se observa en la Figura 3.

Figura 3
Colocación y distribución de la mezcla en los moldes



Durante esta etapa, es vital que la mezcla se distribuya de manera uniforme dentro de los moldes, para evitar la formación de burbujas de aire o vacíos como se observa en la Figura 4.

Figura 4

Colocación en capas de la mezcla en el molde



Posteriormente, se aplica una presión de 400 kg/cm^2 sobre la mezcla, comprimiendo para eliminar vacíos y compactar los materiales, lo que aumenta significativamente la densidad y resistencia del producto final. Esto se puede realizar en una máquina universal, donde la mezcla se va colocando en capas, que se acomodan y apisonan mediante espátula. Finalizado el llenado del molde, se coloca la tapa y se realizan unos golpes con martillo de goma para terminar de acomodar el material, para luego proceder a la compresión de la mezcla con la máquina universal, como se observa en la Figura 5.

Figura 5

Colocación de la tapa y compresión con la máquina universal



Después de este proceso, los mampuestos se dejan reposar durante un período inicial de 24 horas, tiempo necesario para permitir que alcancen la rigidez suficiente antes de ser sometidos a la etapa de curado. Este proceso es fundamental para asegurar la calidad y durabilidad del producto. El curado se realiza mediante la inmersión completa de los mampuestos en agua, donde permanecen durante 7 días continuos como se observa en la Figura 6. La exposición al agua en esta fase es muy importante, ya que permite que el cemento continúe su proceso de hidratación, lo que aumenta significativamente la resistencia del material.

Una vez que ha transcurrido esta etapa de curado, los mampuestos son cuidadosamente retirados del agua y trasladados a una zona de almacenamiento especial. En este lugar, se apilan en estructuras cubiertas para protegerlos de las condiciones climáticas adversas, como el exceso de sol o la lluvia, factores que podrían comprometer su proceso de endurecimiento.

Figura 6

Curado de los mampuestos mediante inmersión en agua



Los mampuestos permanecen en esta etapa de reposo hasta que se completan los 28 días desde su fabricación, como se observa en la Figura 7. Este período es considerado óptimo para que el material alcance su máxima resistencia (Instituto Nacional De Prevención Sísmica (INPRES), 2018).

Figura 7

Reposo/Almacenamiento de los mampuestos durante 28 días



Finalizado este tiempo, los mampuestos son llevados al laboratorio para someterlos a una serie de ensayos como se observa en la Figura 8. Estas pruebas permiten verificar su resistencia, durabilidad y capacidad

de cumplir con los estándares de calidad requeridos por las normativas vigentes en el sector de la construcción. Los resultados obtenidos en estas pruebas son esenciales para garantizar que los mampuestos no solo cumplan con los requisitos técnicos, sino que también sean productos sostenibles desde el punto de vista medioambiental, contribuyendo así a la reducción del impacto ecológico de las edificaciones.

Figura 8

Mampuestos que serán sometidos a ensayos



ANÁLISIS DE HUELLA DE CARBONO

Se realizaron dos alcances para la evaluación de la huella de carbono, que incluyen las emisiones directas e indirectas de los gases de efecto invernadero.

- **ALCANCE 1 (A1):** Incluye todas las emisiones directas de los gases de efecto invernadero (GEI) que provienen de fuentes de la elaboración de los mampuestos. Están relacionadas a la combustión de fósiles en instalaciones de la organización, tanto de vehículos, equipos de producción, calderas, entre otros.
- **ALCANCE 2 (A2):** Son las emisiones indirectas de los gases de efecto invernadero (GEI), como la generación de electricidad, calor o vapor que son adquiridos por la organización, pero

producidos por terceros. Suelen estar vinculadas al consumo de energía pero que se generen fuera de las instalaciones de producción.

En el primer alcance (A1) para el cálculo de la Huella de Carbono, se tuvo en cuenta el tipo de combustible utilizado para cada maquinaria. En este caso se utilizó solo una máquina que utiliza Diésel y Aceite, denominada máquina compactadora.

Luego identificamos que gas emite el uso de cada combustible, y lo multiplicamos por el factor de emisión y luego el potencial de calentamiento global, los cuales están definidos por tabla y dependen del año en el que se esté estudiando. Finalmente, se transforman los gases emitidos a toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e) (Organización Internacional de Normalización (ISO),2018)

En el segundo alcance (A2), se evalúa el uso de la máquina hormigonera, trituradora de PET y la iluminación, las cuales emiten CO₂, posteriormente estos resultados se suman y se obtiene valores de toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e).

Tabla 1

Matriz huella de carbono - Mampuesto tradicional

Fuente	Cant. (Uni)	Total Fuente	TOTAL tCO ₂ e./año
Máquina laminadora	1.994L Diésel	5,24	72,74
	24,75L Aceite	0,06	
Máquina moldeadora	1.994L Diésel	5,23	
	24,75L Aceite	0,06	
Horno	Biomasa (leña)	50,77	
Baterías	1 Uni.	10,35	
Iluminación	mWH	1,03	

Nota. Matriz huella de carbono tomado de Villota-Carranza, 2023.

Tabla 2*Matriz huella de carbono – Mampuesto sustentable*

Fuente	Cant. (Uni)	Total Fuente	TOTAL tCO ₂ e./año
Máquina compactadora	1.500L Diésel	3,93	4,34
	24,75L Aceite	0,06	
Máquina hormigonera	0,41 mWh Eléctrica	0,35	
Iluminación	0,08 mWh Eléctrica		
Trituradora PET	0,41 mWh Eléctrica		

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La huella de carbono obtenida para mampuestos de arcilla cocida asciende a 72,7 tCO₂e/año. Sin embargo, los resultados de la huella de carbono obtenido para mampuestos sustentables con PET ascienden a 4,3 tCO₂e/año. Comparativamente, la huella de carbono de mampuestos tradicionales de arcilla cocida es 16 veces superior a los mampuestos sustentables con PET. Estos valores reflejan una fuerte reducción de los gases de efecto invernadero en la producción de mampuestos sustentables con PET. Además de la reducción de la huella de carbono, los mampuestos sustentables con PET también ofrecen beneficios para mitigar la degradación del suelo asociada a la producción de mampuestos tradicionales de arcilla cocida.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a Centro de Investigación CeReDeTeC de la Universidad Tecnológica Nacional, al Laboratorio de Ensayos de Materiales del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza, a los alumnos Hugo Briccola, Ariel Palacios, David Mora, Bianca Fontemachi, Ariel Quintero, Aldana Olmos pertenecientes a la carrera de Ingeniería Civil de la UTN-FRM.

REFERENCIAS

- Botero Jaramillo, E., Muñoz, L., Ossa, A., & Romo, M. P. (2014). *Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas*. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, (70), 201-219. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.15520>
- Cubilla, K., González, Y., Montezuma, G., Samudio, M., & Gómez, E. (2020). *Fibra de coco y cáscara de plátano como alternativa para la elaboración de material biodegradable*. Revista De Iniciación Científica, 5(2), 15-20. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v5.2.2496>
- Instituto Nacional De Prevención Sísmica (2018). *Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes. Construcciones de Mampostería (INPRES-CIRSOC 103-III)*. http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/INPRES-CIRSOC-103_Parte_III-Reglamento.pdf
- Mendez, F., Núñez, M., Galleli, A., Tornello, M., Martin, P., & Maldonado, N. (2022, 31/10 al 04/11). *Identificación de mampuestos sustentables, ecológicos & portantes para la construcción de muros resistentes a la acción sísmica*. [Conference presentation]. X Congreso Internacional y 34ava Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Buenos Aires, Argentina. <https://www.aath.org.ar/wp-content/uploads/Programa-gral-y-sesiones2.pdf.pdf>
- Organización Internacional de Normalización (2018). *Gases de efecto invernadero — Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero Título de la norma (Norma núm. ISO 14064-1:2018(es))*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14064:-1:ed-2:v1:es>
- Villota-Carranza, D. A. (2023). *Cálculo de huella de carbono para la fabricación de ladrillos artesanales en la parroquia Sinincay, Cuenca - Ecuador*. [Tesis de Maestría, Universidad Internacional de La Rioja]. <https://reunir.unir.net/handle/123456789/14744>

* * *