

Residuos inertes para la preparación de ladrillos con material reciclable: una práctica para protección del ambiente¹

RECIBIDO: 26/04/2017 ACEPTADO: 31/05/2017

MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN²
DIEGO DARÍO PÉREZ RUIZ³
LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ⁴
NÉSTOR DARÍO HERNÁNDEZ⁵

RESUMEN

El desarrollo industrial y el crecimiento poblacional están generando la sobreproducción de residuos. En ocasiones estos residuos, aunque inertes, se disponen a cielo abierto causando alteraciones al ambiente, particularmente en el paisaje. Llantas, sobrantes de construcción como pedazos de tubería y tierra, material de poda de arreglos de zonas verdes, bolsas plásticas, son ejemplos de algunos de los residuos que pueden llegar a encontrarse. En este trabajo se evaluó el uso de estos residuos en la preparación de muestras de mampuestos de concreto y de tierra que fueron ensayados a compresión mediante la construcción de muretes. Los resultados demostraron que los especímenes de concreto aligerados presentaron una mayor resistencia a compresión que los especímenes en tierra modificada. Se enfatiza en la importancia de tomar medidas ambientales para aprovechamiento de residuos con el fin de disminuir los impactos ambientales generados por la inadecuada disposición de estos.

Palabras clave: Aprovechamiento, desarrollo sostenible, impacto ambiental, residuo.

INERT WASTE TO PREPARE BRICKS WITH RECYCLING MATERIAL: A PRACTICE FOR ENVIRONMENT PROTECTION

ABSTRACT

Industrial development and population growth are causing the overproduction of waste. Sometimes these materials, even though are considered inert, are disposed on the land causing alterations to the environment, particularly in the landscape. Examples of these wastes are tires, construction rubbishes coming from pipe and soil, some pruning material and plastic bags. This paper focuses in the use of this kind of waste to prepare masonries of concrete and others with soil; were used both masonries, named ecobricks, to build short walls that were tested in compression strength. The results indicate that the lightweight concrete specimens obtained shown a higher compressive strength than specimens prepared with soil. This research emphasizes the relevance of reuse some material to protect the environment and offering alternatives for reducing the negative impact generated by inadequate disposal.

Keywords: Utilization, sustainable development, environmental impact, waste.

1. INTRODUCCIÓN

El concreto es una mezcla de multicomponentes que se prepara partiendo de la dosificación adecuada de cemento, agua, agregados fino y grueso (Petrou et al., 2000) y en ocasiones aditivos. La iniciativa de construcciones sostenibles con miras a una producción de concreto ecológico ha motivado diferentes investigaciones en las cuales se sustituyen algunas de las materias primas fundamentales para la preparación del concreto. De esta forma, se logran concretos modificados que son alterados intencionalmente para evaluar las propiedades mecánicas y fisicoquímicas, mediante la sustitución de uno o más materiales constituyentes de la mezcla por residuos industriales de diferentes actividades antrópicas. Una práctica común, en países en vía de desarrollo, es que estos residuos se depositan a cielo abierto lo cual genera problemas ambientales. Dentro de los residuos que se generan están material de excavación, llantas, tubería, bolsas plásticas y material de poda; algunos de estos materiales han sido probados en diferentes mezclas de mortero y concreto.

En cuanto al material de excavación, el auge en la construcción puede generar material sobrante cuyo aprovechamiento puede darse en la preparación de morteros o mampuestos o inclusive para la preparación de cemento toda vez que se realicen los ajustes para el cumplimiento de criterios de calidad en las mezclas. Por lo anterior, estudios previos han demostrado que el uso de arcilla mejora las propiedades del cemento, lo cual es razonable ya que la mezcla de este material con caliza luego de un proceso de calcinación genera el clinker que posteriormente se muele para la obtención del cemento. Así mismo, junto con la arcilla se han utilizado otros materiales añadidos como porcentaje del cemento, encontrándose entre ellos el metacaolín (Chan y Wu, 2000; Sabir, Wild, y Bai, 2001; Al-Akhras, 2006; Poon, Kou, y Lam, 2006; Siddique y Klaus, 2009; Siddique y Klaus, 2011), el humo de sílice (Poon, Kou, y Lam, 2006; Güneysi et al., 2012) y las cenizas volantes (Güneysi et al., 2014) adiciones

- 1 Artículo de investigación como resultado de Convenio de colaboración AC 5211508 suscrito entre Ecopetrol ICP y la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.
- 2 Ing. Civil, Ph.D. en Ingeniería Civil, Docente Pontificia Universidad Javeriana Cali, Ing. Civil. E-mail: maria.serrano@javerianacali.edu.co
- 3 Ing. Civil, Ph.D. Ingeniería Civil, Docente Ingeniería Civil Pontificia Universidad Javeriana Cali. E-mail: ddperéz@javerianacali.edu.co
- 4 Ing. Civil, Magister en Geotecnia, Docente Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Ingeniería Civil. E-mail: luz.torrado@upb.edu.co
- 5 Ing. Ambiental, Consultor independiente. E-mail: nestor.hernandezv@upb.edu.co

con las cuales se ha logrado buen comportamiento a la compresión, alta resistencia a la permeabilidad y disminución de la fisuración por retracción de fraguado, así como también buenos acabados finales (Siddique y Kadri, 2011).

Por otro lado, con relación a los residuos de plástico, el aprovechamiento de aquel proveniente de botellas recicladas de polietileno de tereftalato (PET) como parte del agregado fino en el concreto en porcentajes no superiores al 5% permite buena resistencia a la compresión, tracción indirecta y adecuada manejabilidad (Frigione, 2010). Así mismo se ha comprobado que el uso de fibras de polímeros en las mezclas de concreto disminuye el riesgo de corrosión del acero de refuerzo (Wheat, 2002), mejora las propiedades ignífugas (Heo et al., 2012) y favorece la resistencia a los efectos de hielo y de deshielo (Richardson, Coventry y Wilkinson, 2012) fenómenos tan comunes en los países en donde se presentan estaciones.

El objetivo de este trabajo es evaluar la alternativa de aprovechamiento de residuos provenientes de la poda de los jardines, del reciclado de las llantas y de envases de bebidas para la preparación de mampuestos de concreto y de arcilla, con los que se construyeron muretes para comprobación de la resistencia a compresión. Adicionalmente, se hace una comparación de la respuesta termográfica de los mampuestos que arrojaron mejor capacidad portante con el fin de recomendar el uso de ecoladrillos para mejorar las condiciones climáticas al interior de las viviendas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La preparación de los ecoladrillos inicia con la selección de los residuos disponibles partiendo de una clasificación en función del ciclo de vida del material a incorporar en la mezcla. Posteriormente se caracterizan los materiales a emplear y se preparan unos muretes para verificar el comportamiento a compresión de los mampuestos preparados. Finalmente, se hace la prueba de emisividad térmica a los mampuestos que arrojen los mejores resultados a compresión.

2.1. Identificación de residuos sólidos inertes disponibles en el medio

La clasificación de los residuos se hace en función de su condición física, su composición estructural, capacidad de aprovechamiento y destino final de los mismos. Se seleccionan para este estudio: residuo de llanta, bolsas de empaquetaduras de ali-

mentos, tierra removida producto de excavaciones y pedazos de tubería PVC.

2.2. Fabricación de eco-ladrillos

Se preparan siete tipos de ecoladrillos, en cuatro de los cuales se incluyen concreto y tres de arcilla. Los prototipos que se preparan son:

- C₁ Concreto con botellas de plástico de 500 ml rellenas de residuos plásticos de llantas.
- C₂ Concreto con botellas de plástico de 500 ml rellenas de residuos de bolsas de empaquetaduras
- C₃ Concreto con botellas de plástico de 500 ml vacías de cuatro tubos de PVC de ½"
- C₄ Concreto con botellas de plástico de 500 ml vacías de seis tubos de PVC de ½"
- A₁ Arcilla
- A₂, A₃, A₄, A₅, Arcilla con yeso en diferentes proporciones
- A₆, A₇, A₈, Arcilla con yeso y pasto seco en diferentes proporciones

La dimensión del ecoladrillo en concreto es de 30 cm * 15 cm * 13 cm y el de arcilla (tierra) de 25 cm x 7 cm x y 13 cm, dimensiones que se ajustan a los tamaños encontrados en el comercio. Los ajustes realizados en los mampuestos de concreto obedecen a la necesidad de recubrimiento.

I. Para el caso de los ladrillos en concreto, la mezcla se prepara siguiendo las indicaciones de la American Concrete Institute, buscando conseguir una mezcla de 3.000 psi de resistencia a compresión. Se cumplen las siguientes etapas:

- a. Asentamiento: Por conveniencia para trabajar los especímenes de concreto, se selecciona un asentamiento de 5 cm que provee una consistencia semi-seca en elementos que se someten a vibración manual.
- b. Estimación del contenido de Agua y Aire (A). La relación agua/cemento requerida se determina teniendo en cuenta el asentamiento esperado y el tamaño máximo de agregado. Para un asentamiento de 5 cm y para un tamaño máximo grueso de 19 mm (¾") corresponden 185 kg de agua por cada metro cúbico de mezcla.
- c. Determinación de la resistencia de diseño. Se establece una resistencia de diseño de $c_r = 265 \text{ kg / cm}^2$ tomando en consideración que el control de calidad que se ha obtenido en el laboratorio en trabajos previos es bueno.

- d. Estimación de la relación agua-cemento (A/C). La relación A/C depende de la resistencia de la estructura y de los diferentes materiales que se utilizan en la mezcla. Para la resistencia de diseño obtenida, corresponde una relación A/C de 0,47.
- e. Contenido de cemento C . El contenido de cemento es directamente proporcional al contenido de agua en la mezcla e indirectamente proporcional a la relación agua/cemento. Se encontró que el contenido de cemento es igual 401.5 kg de cemento por metro cúbico.
- f. Contenido agregado grueso. Para la estimación del contenido de agregado grueso se determina el volumen seco y compactado por volumen unitario de concreto agregado grueso (b/b_0). Para un módulo de finura de 2,78 y un tamaño máximo nominal de 20 mm, el valor de b/b_0 es 0,62. De acuerdo a esto, se estima el volumen de agregado grueso por metro cúbico de hormigón (b) arrojando 0.346 m^3 .
- g. Contenido agregado fino. Se encontró que el porcentaje de agregado fino (P) requerido es 49.39%, valor que se obtiene de:

$$C_k = 1000 - 0.318 * C - A = 1000 - 0.318 \left(401.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) - 188.7 \text{kg} = 683.62 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P = \frac{C_k - 1000 * b}{c_k} * 100 = \frac{683.62 - 1000 (0.346(b))}{683.62} * 100 = 49.39\%$$

- h. Estimación de las proporciones iniciales. Los pasos a seguir para la estimación de las proporciones iniciales corresponden a:

$$K = \frac{1000}{c} - 0.318 - A/C = \frac{1000}{401.5} - 0.318 - 0.47 = 1.70$$

Conocido el factor K y dependiendo de la Densidad Aparente Seca (DAS) del agregado fino (F) y el grueso (G), se procede a estimar la cantidad de cada agregado por kilogramo de cemento.

$$F = \frac{K * P}{100} * DAS_F = \frac{1.70 * 49.39}{100} * 2.71 = 2.28 \text{ y para}$$

$$G = \frac{K * (100 - P)}{100} * DAS_G = \frac{1.70 * (100 - 49.39)}{100} * 2.58 = 2.22$$

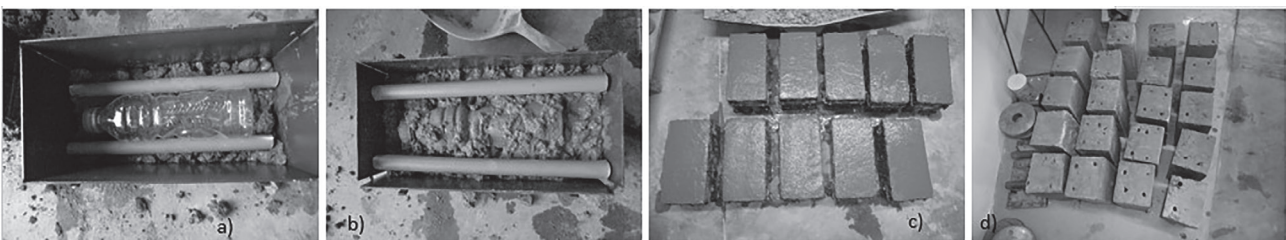
Las proporciones iniciales son:

$$A/C = 0.47: 1 \text{ kg}: F = 2.28 \text{ kg}: G = 2.22 \text{ kg}$$

Considerando la humedad atrapada de los agregados finalmente arroja las siguientes proporciones iniciales:

$$1 \text{ kg } C: 2.28 \text{ kg } F: 2.22 \text{ kg } G: 0.49 \text{ kg } A$$

- i. El proceso de fabricación de los prototipos de concreto aligerado sigue el siguiente esquema de producción (ver figura 1).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. a) capa de concreto de 2" y sobre esta capa se ubica el material aligerante (residuo) b) se recubre el aligerante con concreto c) se completa el vaciado de concreto d) se desencofra para llevar los especímenes al cuarto de curado.

II. Para la preparación de los prototipos con arcilla se debe verificar la plasticidad del material mediante los ensayos de límite líquido y plástico.

Adicionalmente, se dosifica la mezcla de suelo y yeso y posteriormente de suelo, yeso y pasto seco (ver figura 2).

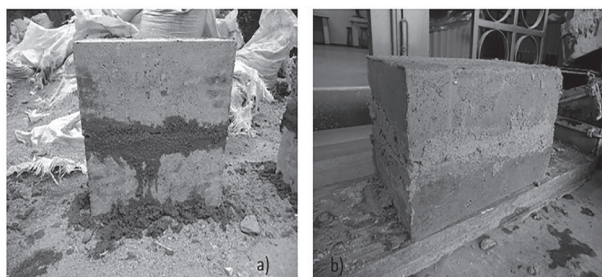


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. a) selección del suelo b) mezcla de suelo y yeso c) mezcla de suelo con material seco d) preparación de mampuestos.

III. Evaluación de la resistencia mecánica de los ecoladrillos mediante pruebas de compresión a los muretes.

Los muretes se hacen empleando dos unidades de ladrillos unidas con una capa de 1 cm de mortero 1:3; posteriormente, se ensayan a compresión en la máquina universal luego de 28 días de curado a la intemperie (ver figura 3).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. a) murete de ecoladrillo en concreto b) murete de ecoladrillo en suelo y yeso.

2.3. Análisis termográfico

Los especímenes se exponen a la radiación solar durante 6 hs y posteriormente se realiza la toma de imágenes. Para ello, se emplea una cámara termográfica con la cual se visualiza la distribución de la temperatura en tiempo real en escala de dos dimensiones.

3. RESULTADOS

3.1. Con relación al criterio de selección de los residuos sólidos aprovechables para la preparación de los ecoladrillos

Los residuos disponibles se valoraron según los criterios que se describen en la Tabla 1 tomando en

consideración el ciclo de vida del producto, la resistencia, flexibilidad y volumen de producción.

Tabla 1. Especificaciones de los residuos sólidos, para análisis de laboratorio.

Material	Resistencia	Maleabilidad	Indicadores de retorno
Envolturas plásticas	Baja	Alta	Bajo
Envases de vidrio	Alta	Baja	Baja
Envases de aluminio	Baja	Media	Alto
Pet	Media	Media	Alta
PVC conduit	Alta	Media	Bajo
Suelo		Alta	Bajo
Triturado de llantas	Alta	Media	Bajo
Tubos de cartón	Alta	Baja	Bajo

Nota: El valor por disposición en vertederos es \$21.770 por tonelada de residuo depositado.

Fuente: Adaptado de Hernández (2014).

Se establecieron tres indicadores de calificación alto, medio y bajo, considerando los parámetros de resistencia, maleabilidad y el indicador de retorno. Los criterios de calificación se tuvieron en cuenta mediante inspección visual y táctil y tomando en consideración las visitas realizadas a los centros de compraventa de material reciclable. Los materiales seleccionados fueron aquellos cuya manipulación y almacenamiento era viable a escala laboratorio. No se emplearon los residuos de aluminio o vidrio por cuanto estos materiales presentan riesgos asociados para la producción de las mezclas, además que hacen parte de los residuos con alto retorno

3.2. Con relación a la caracterización de los agregados para preparación del concreto

La caracterización de los agregados finos arrojó una densidad aparente seca de 2,71 g/cm³ y un

módulo de finura de 2,78. En cuanto a los agregados gruesos, la densidad aparente seca fue de 2,58 g/cm³ con tamaño máximo y tamaño máximo nominal de 1" y ¾", respectivamente, partículas que arrojaron 1,33 g/cm³ de masa unitaria seca y suelta y 1,44 g/cm³ de masa unitaria seca compacta. Estos resultados cumplen los estándares de calidad recomendados para la preparación del concreto.

3.3. Comportamiento mecánico de eco-ladrillos de concreto

En la Tabla 2 se presentan los resultados de los ensayos a compresión en los muretes preparados con eco-ladrillos, elementos que fueron probados a los 28 días. Se observa que la inclusión de las botellas aligera el concreto producido.

Tabla 2. Resultados de peso y de resistencia a compresión de concreto aligerado.

Mampuesto	Composición	Peso promedio		Esfuerzo promedio	
		Kg		KN/m ²	Mpa
C ₁	Concreto + botellas rellenas de triturado de llantas	12,49		4948,41	4,95
C ₂	Concreto + botellas de 500 ml rellenas de envolturas plásticas	12,25		9921,34	9,92
C ₃	Concreto + botellas de 500ml vacías+4 tubos de pvc de 1/2"X 30 cm de largo	11,76		6474,51	6,47
C ₄	Concreto + botellas de 500ml vacías+6 tubos de pvc de 1/2"X 30 cm de largo	11,2		8287,67	8,29
C ₅	Prototipos de referencia (concreto)	13,21		5846,92	5,85

Nota: C representa el concreto y el subíndice las diferentes modificaciones que tuvo el mampuesto en cuanto a los materiales utilizados para el aligeramiento.

Fuente: Elaboración propia adaptando información de Hernández (2014).

3.4. Con relación al comportamiento mecánico de los mampuestos de arcilla

Se encontró que la adición de yeso mejoró la resistencia de los mezclas de mampuestos preparados con arcilla. Los mampuestos preparados con yeso y residuos (secos) de poda en proporciones de 1:0.2 para dos partes de arcilla presentan un 42.76% más de resistencia que aquellos que no tienen residuos de poda. Sin embargo, a pesar del aumento de resistencia, el tratamiento adicional que requieren los residuos de poda, para garantizar el tamaño y la condición de humedad adecuada, representan un desgaste adicional para el productor del mampuesto (ver Tabla 3).

Tabla 3. Promedio de resultados de los prototipos elaborados con arcilla.

Mampuesto	Composición			Peso			Esfuerzo		
	Arcilla	Yeso	Pasto	gr	KN/m ²	Mpa	gr	KN/m ²	Mpa
A ₁	1	0	0	1744	993,76	0,99			
A ₂	10	1	0	1914	1249,08	1,25			
A ₃	4	1	0	2144	1383,69	1,38			
A ₄	3	1	0	2624	1165,43	1,17			
A ₅	2	1	0	2737	1426,62	1,43			
A _{5,1}	2	1	0	5657	1518,62	1,52			
A ₆	4	1	0,2	3002,6	1496,16	1,50			
A ₇	3	1	0,2	2863,4	1449,85	1,45			
A ₈	2	1	0,2	2991,8	2173,98	2,17			

Nota: A representa arcilla y el subíndice las diferentes proporciones de los tipos de mezclas.

Fuente: Elaboración propia adaptando información de Hernández (2014).

3.5. Con relación al comportamiento mecánico de los muretes

Como parte de la metodología establecida en este estudio, se elaboraron muretes con aquellos especímenes que arrojaron mejor comportamiento a compresión. Se observa que los especímenes preparados con concreto presentan una resistencia mucho mayor que los preparados con arcilla, pero también presentan un peso mucho mayor, con lo cual aumentan la carga muerta en una estructura (ver Tabla 4).

Tabla 4. Comportamiento a compresión de los muretes.

Murete	Composición	Esfuerzo promedio		Desviación estándar	
		KN/m ²	Mpa	KN/m ²	Mpa
1	Concreto + botella 500 ml + 6 tubos pvc	5435,34	5,44	527,94	0,53
2	4 Arcilla: 1 Yeso	1246,52	1,25	96,13	0,10

Fuente: Elaboración propia adaptando información de Hernández (2014).

3.6. Con relación al comportamiento termográfico de los ecoladrillos

La emisividad, es decir la proporción de radiación térmica emitida por el ecoladrillo como resultado de

la temperatura del entorno (promedio de 22°C) fue de 0.95 en todos los especímenes. Se demostró que los ecoladrillos preparados con arcilla, pasto seco y adición de yeso presentaron mayor temperatura que los mampuestos de concreto o concreto

con plástico, lo cual permite predecir la aplicabilidad de este tipo de ladrillos para climas fríos proveyendo confort al interior de los inmuebles en época de invierno por la capacidad para absorber y retener el calor (ver Figura 4 a Figura 6).

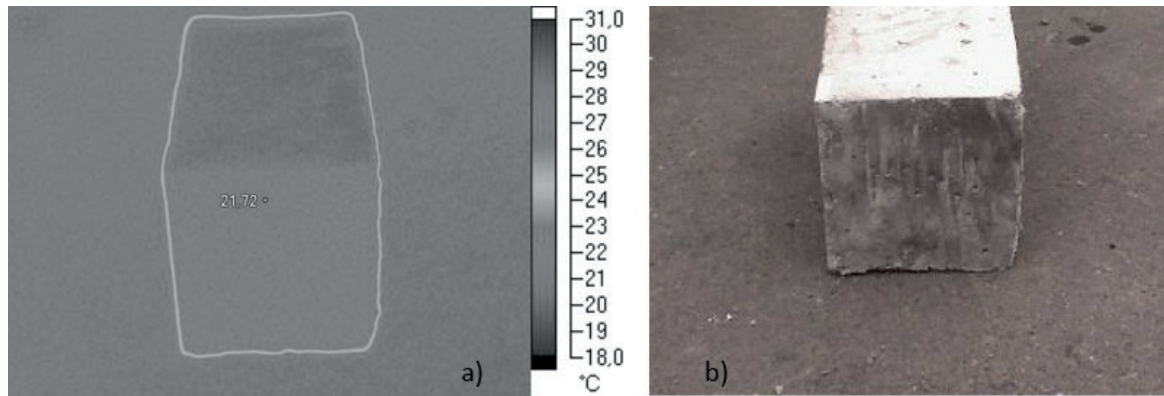


Figura 4. Respuesta termográfica de ladrillos preparados con concreto: a) imagen infrarroja b) imagen luz visible, reporta 21.72 °C.

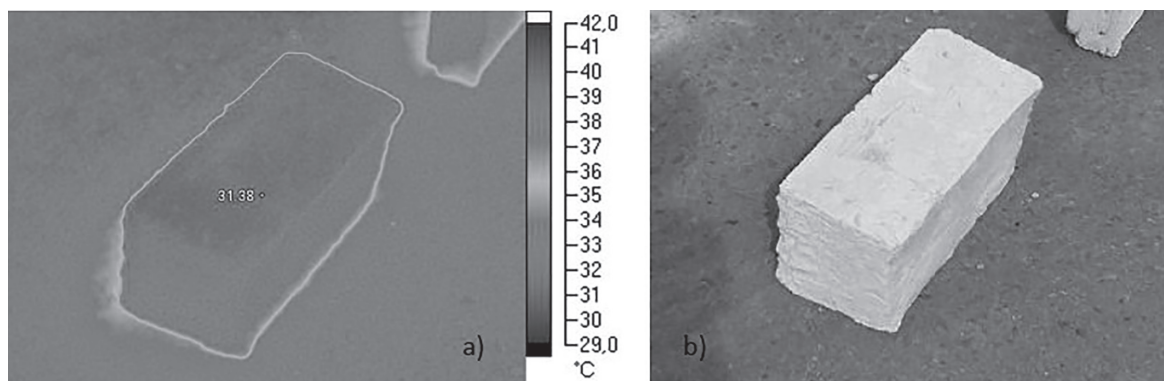


Figura 5. Respuesta termográfica de ladrillos preparados con arcilla y yeso a) imagen infrarroja b) imagen luz visible, reporta 31.38 °C.

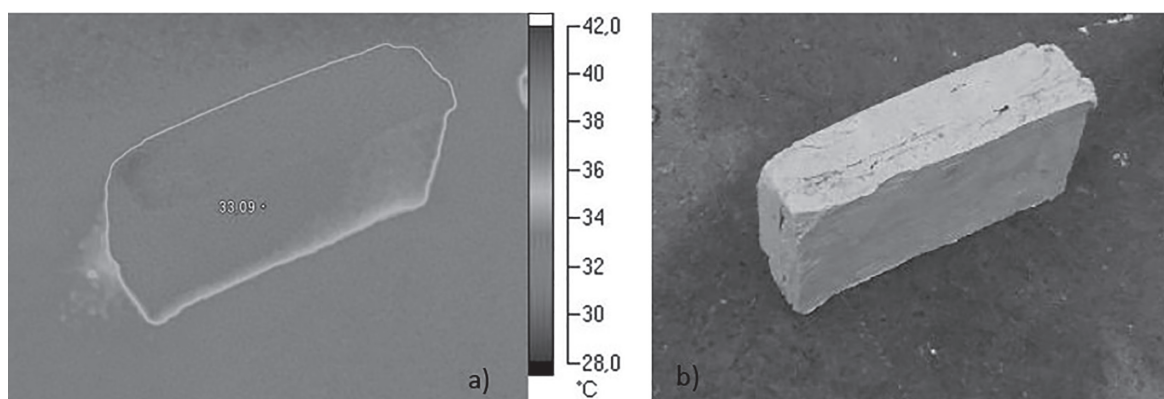


Figura 6. Respuesta termográfica de ladrillos preparados con arcilla, pasto seco y yeso a) imagen infrarroja b) imagen luz visible, reporta 33.09 °C.

4. Discusión

El crecimiento industrial está generando una sobreproducción de residuos cuya disposición representa un problema ambiental. En la búsqueda de soluciones a esta problemática, se han planteado diferentes estudios en los que se valora el aprovechamiento de algunos de estos residuos en la producción por ejemplo de concreto o en la elaboración de adobes. En este trabajo se observó que resulta viable el uso de PVC en la preparación de bloques de concreto y de arcilla proveniente de excavación en la preparación de adobes, aunque aún persiste el inconveniente del alto peso del ecoladrillo de concreto (ver Tabla 4).

La Tabla 5 muestran la resistencia neta mínima a compresión, para el caso de ladrillos de perforación vertical PV y la resistencia bruta para los ladrillos de perforación horizontal PH y de mampostería maciza M que establece la Norma Técnica Colombiana NTC 4205 de mampuestos para aplicaciones estructurales y no estructurales.

Tabla 5 Resistencia mínima a la compresión
Pa(kgf/cm²)

	Mampostería estructural ¹		Mampostería no estructural ²	
	Promedio de 5 unidades	Unidad	Promedio de 5 unidades	Unidad
PH	5,0 (50)	3,5 (35)	3,0 (30)	2,0 (20)
PV	18,0 (180)	15,0 (150)	14,0 (140)	10,0 (100)
M	20,0 (200)	15,0 (150)	14,0 (140)	10,0 (100)

Fuente: ¹ Adaptado de Icontec, 2000 (a) según Hernández (2014) y ² Adaptado de Icontec, 2000(b) según Hernández (2014).

Teniendo en cuenta los resultados expuestos en la Tabla 5 para los mampuestos de arcilla y al compararlos con los resultados estandarizados en la NTC 4205, los ladrillos macizos (adobes) fabricados con residuos de tierra de excavación cumplen con la norma colombiana para ser empleados de manera estructural y no estructural. Al igual que los ladrillos preparados con arcilla y humo de sílice estudiados por Poon, Kou y Lam (2006) y Güneyisi et al., (2012), o aquellos con cenizas volantes de Güneyisi et al., (2014) o los preparados con metacaolín de Siddique y Klaus (2009), los resultados del estudio realizado permiten evidenciar que es viable la producción de adobes con arcilla, yeso y vegetación seca por cuanto se obtienen comportamientos a compresión favorables. Se destaca que este estudio se debe continuar para corroborar el comportamiento de permeabilidad y resistencia a

la fisuración por retracción de fraguado que fueron reportados en el estudio de Siddique y Kadri (2011).

En cuanto a los ladrillos de concreto aligerado con tubería PVC, los resultados de la Tabla 4 demuestran que este tipo de bloques pueden emplearse en mampostería no estructural. Además, teniendo en cuenta que en los estudios de Wheat (2002) incorporaron fibras poliméricas en concreto, surge la posibilidad de continuar la investigación evaluando la viabilidad técnica de ajustar los desechos de tubería al tamaño de las fibras para verificar además de la resistencia a la corrosión, las mejoras ignífugas reportadas por Heo et al., (2012) y de resistencia al efecto de hielo y deshielo de Richardson, Coventry, y Wilkinson (2012). Por otro lado, aunque en este estudio se centró en la evaluación de la capacidad a compresión del concreto en estado endurecido, es importante tener en cuenta que el concreto preparado para los bloques debe ser fluido y compactado para que tenga la capacidad de recubrir los sólidos (Petrou et al., 2000) y los elementos que se emplean como aligerantes, garantizando de esta forma el comportamiento final de la mezcla una vez endurecida.

5. Conclusiones

La complejidad en la generación de residuos sólidos a nivel mundial está obligando a la búsqueda de alternativas para re-uso o aprovechamiento de estos residuos. Por lo anterior, residuos como caucho proveniente del pretratamiento de llantas, plásticos de las envolturas de alimentos y tierra de las excavaciones pueden emplearse para aligerar concreto o para mejorar los ladrillos macizos de arcilla.

El estudio demostró que los bloques de concreto preparados con residuos plásticos como aligerantes con los que se elaboraron muretes tuvieron un comportamiento a compresión hasta de 9 MPa; así mismo, los mampuestos preparados con bloques de arcilla ajustados con yeso y pasto seco alcanzaron resistencias hasta de 2.17 MPa. Además, se encontró también que según la respuesta termográfica de ambos especímenes, es viable que estos materiales pueden atenuar el impacto de la temperatura al interior de las viviendas, hecho que debe corroborarse en estudios posteriores.

Por otro lado, aunque el estudio demuestra la viabilidad de uso de estos residuos en la preparación de mampuestos es importante que las autoridades competentes establezcan los criterios de calidad que deberán cumplir estos materiales para que, efectivamente, puedan llegar a ser atractivos para la industria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Al-Akhras y Nabil M. (Septiembre de 2006). Durability of metakaolin concrete to sulfate attack. *Cement and Concrete Research*, Volumen 36, Issue 9, 1727–1734. doi:10.1016/j.cemconres.2006.03.026
- [2] Chan, W., y Wu, C. (Junio de 2000). Durability of concrete with high cement replacement. *Cement and Concrete Research*, Volumen 30, Issue 6, 865–879. doi:10.1016/S0008-8846(00)00253-2
- [3] Frigione M. (Junio de 2010). Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste Management*, Volumen 30, Issue 6, 1101–1106; 2010. doi:10.1016/j.wasman.2010.01.030
- [4] Güneyisi E. Gesoğlu M., Algin Z., y Mermerdaş K. (Abril de 2014). Optimization of concrete mixture with hybrid blends of metakaolin. *Composites: Part B*, Volumen 60, 707–715. doi:10.1016/j.compositesb.2014.01.017
- [5] Güneyisi, E., Gesoglu, M., Karaoglu, S., y Mermerdas, K. (Septiembre de 2012). Strength, permeability and shrinkage cracking of silica fume and metakaolin concretes. *Construction and Building Materials*, Volumen 34, 120–130. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.02.017
- [6] Hernández, N. D. (Mayo de 2014). Evaluación Mecánica de ecoladrillos elaborados con residuos plásticos. Trabajo de grado Ingeniería Ambiental. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.
- [7] Icontec Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000a). Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Norma Técnica Colombia NTC 4205-1 Parte 1: Mampostería Estructural., Ingeniería Civil y Arquitectura. Bogotá.
- [8] Icontec, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000b). Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Norma Técnica Colombia NTC 4205-1 Parte 2: Mampostería no estructural. Ingeniería Civil y Arquitectura. Bogotá.
- [9] Heo, Y., Sanjayan, J., Han, C., y Han, M. (Marzo de 2012). Relationship between inter-aggregate spacing and the optimum fiber length for spalling protection of concrete in fire. *Cement and Concrete Research*, Volumen 42, Issue 3, 549–557 doi:10.1016/j.cemconres.2011.12.002.
- [10] Petrou M. , Harries K., Gadala M. F., y Kolli V. G. (Mayo de 2000). A unique experimental method for monitoring aggregate settlement in concrete. *Cement and Concrete Research*, Volumen 30, Issue 5, 809–816 doi:10.1016/S0008-8846(00)00223-4.
- [11] Poon, C., Kou, S., y Lam, L. (Diciembre de 2006). Compressive strength, chloride diffusivity and pore structure of high performance metakaolin and silica fume concrete. *Construction and Building Materials*, Volumen 20, Issue 10, December 2006, 858–865. doi:10.1016/j.conbuildmat.2005.07.001
- [12] Richardson, A., Coventry, K., y Wilkinson, S. (Diciembre de 2012). Freeze/thaw durability of concrete with synthetic fiber additions. *Cold Regions Science and Technology*, Volumen 83–84, 49–56. doi:10.1016/j.coldregions.2012.06.006
- [13] Sabir, B., Wild, S., y Bai, J. (Diciembre de 2001). Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. *Cement & Concrete Composites*, Volumen 23, Issue 6, 441–454. doi:10.1016/S0958-9465(00)00092-5
- [14] Siddique, R., y Kadri, E. (Julio de 2011). Effect of metakaolin and foundry sand on the near surface characteristics of concrete. Volumen 25, Issue 8, 3257–3266 · *Construction and Building Materials*, 3257-3266. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.03.012
- [15] Siddique, R., y Klaus, J. (Marzo de 2009). Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review. *Applied Clay Science*, Volumen 43, Issues 3–4, 392–400. doi:10.1016/j.clay.2008.11.007
- [16] Wheat, H. (Febrero de 2002). Using polymers to minimize corrosion of steel in concrete. *Cement & Concrete Composites*, Volumen 24, Issue 1, 119–126. doi:10.1016/S0958-9465(01)00032-4