



DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LADRILLOS CON ADICIÓN DE PET (MATERIAL RECICLADO), PARA NÚCLEOS RURALES DEL SOCORRO

Raúl Omar Di Marco Morales¹, Hugo Alberto León Téllez² y Juan Ernesto Almeida³

¹Magister en Administración de empresas, Universidad Autónoma de Bucaramanga. raulomard@yahoo.com

²Especialista en Gestión Ambiental. Universidad Libre Seccional Socorro. hugoleon0228@hotmail.com

³PhD Ingeniería Ambiental, Centro de Investigación Ingeniería Ambiental Universidad Libre, Socorro, Juan.almeida@mail.unilibresoc.edu.co.

Recepción Artículo Febrero 11 de 2013. Aceptación Artículo Marzo 15 de 2013

EL CENTAURO ISSN: 2027 - 1212

RESUMEN

Actualmente el Socorro no es ajeno a la creciente preocupación por la preservación del medio ambiente y la deficiente disposición de los residuos sólidos desechados por los sectores productivos señalados como los principales responsables del deterioro ambiental, viéndose el municipio sujeto a críticas por los problemas que generan estos y en especial por la contaminación de las fuentes hídricas. Este proyecto pretendió diseñar y elaborar bloques de ladrillo con adición de PET, utilizando material reciclado provenientes de residuos sólidos generados en los mismos núcleos rurales, donde se efectuó la adecuación del ambiente de experimentación piloto y se valoraron los residuos sólidos generados en los núcleos rurales estudiados (botellas y demás residuos plásticos), materiales requeridos como insumo para la fabricación de ladrillos; además se caracterizaron los materiales a mezclar, la arena, el cemento, el agua y el PET, para realizar los diseños de dosificación de mezclas y la construcción de especímenes de ladrillos, que mediante el análisis de los resultados obtenidos en el laboratorio, se pretendió desarrollar una alternativa de reutilización y aprovechamiento de envases plásticos, con el fin de hacer posible la implementación de un producto nuevo resistente con material reciclado, haciendo posible que las comunidades puedan convivir en un futuro no muy lejano en armonía con la naturaleza.

El objetivo de la investigación fue la de evaluar las propiedades de resistencia y absorción del ladrillo macizo tipo tolete adicionándole fibras plásticas reciclables e industriales (polietileno tereftalato-PET), las cuales vienen a reemplazar al material granular. Para evaluar estas muestras se compararon porcentajes del 20% de adición de PET hasta un 40%, con respecto a una muestra patrón (0% de PET). Después de la investigación y con los resultados obtenidos tras la ejecución del proyecto se puede dar certeza que la adición de fibras como PET reciclado, mejora la manejabilidad del mortero fresco para la fabricación de ladrillos, mejora su absorción pero teniendo como comparación la muestra patrón no se obtuvo resultados favorables para los análisis de resistencia, ya que todos los porcentajes con adición de PET (en forma de cascarilla) demostraron un desempeño negativo con respecto al patrón.

Palabras clave

Absorción, Bloque macizo, diseño experimental, PET reciclado, Resistencia.

ABSTRACT

Currently the Socorro city it is not immune to the current concern for the preservation of the environment and poor disposal of solid waste produced by the productive sectors identified as the main causes of environmental degradation, seeing the Municipality subject to criticism for the problems generated by these and especially by contamination of water sources.

This project aimed to design and develop brick blocks with addition of PET, using recycled material from solid waste generated in the same rural areas, where the suitability of the environment and pilot testing was conducted solid waste generated in the villages studied were assessed (bottles and other plastic waste) materials required as input for making bricks; further materials to mix, sand, cement, water and PET are characterized, for designs of batching and construction of specimens of bricks, that by analyzing the results obtained in the laboratory, it was intended develop an alternative reuse and use of plastic containers, in order to make possible the implementation of a new resistant product with recycled material, making it possible for communities to live together in the near future in harmony with nature.

The objective of the research was to assess the strength properties and absorption rate of solid brick addition wand and industrial recyclable (PET-polyethylene terephthalate), which are granular material to replace plastic fibers. To evaluate these samples percentages of 20% addition of PET compared to 40% compared to a standard sample (0% PET).

After the investigation and the results after the execution of the project can provide certainty that the addition of fibers such as recycled PET, improves manageability fresh mortar to brick making, improves absorption but as a comparison sample having no pattern favorable to resistance testing results were obtained, since all percentages adding PET (as scale) showed a negative performance relative to the standard.

Keywords

Absorption solid block, experimental design, recycled PET, Resistance.

1. INTRODUCCIÓN

La generación y gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) es un tema de interés mundial y que representa un problema socio ambiental, siendo su resultado efectuado por el hombre desde el ciclo de producción hasta el consumo. De esta manera, todos los bienes o productos fabricados, comercializados y consumidos son parcialmente o totalmente convertidos en residuos, indican Ojeda y otros (2008).

Dado que el consumo es imparable y cada vez mayor por la acción depredadora del hombre, la producción de residuos se está convirtiendo gradualmente en el más importante problema ambiental y su eliminación amenaza seriamente el desarrollo sostenible de los la sociedad actual, como indica Pardavé, C. (2004).

Nuestra actual sociedad no es concebible sin la existencia de envases y en especial los de plásticos, que gracias a ellos, se pueden garantizar las condiciones adecuadas de salubridad y calidad principalmente, constituyendo una garantía para el consumidor que puede adquirir bienes (en especial líquidos) en condiciones adecuadas independiente del origen de los mismos; sin embargo, los fabricantes con ayuda de investigadores han buscado nuevos usos para estos materiales con posibilidad de ser reciclados, como es el caso de ser utilizados como fibras para ser adicionados al concreto.

Históricamente, las fibras en la construcción, principalmente las de acero, se han usado desde hace muchos años. Su contribución al mejor desempeño del concreto es evidente al incrementar de manera importante la tenacidad, la capacidad de carga a flexión, y el comportamiento post fisuración, permitiendo así sostener cargas hasta valores altos de deformación.

Actualmente, el concreto reforzado con fibras es un elemento indispensable en la construcción de pisos industriales de alto desempeño, pavimentos, cubiertas para puentes, concreto lanzado para la estabilización de taludes y para revestimiento de túneles entre otros usos, sin embargo, las fibras sintéticas han ganado popularidad recientemente como una alternativa práctica para controlar la fisuración por contracción plástica además de incrementar la tenacidad y la resistencia al impacto.

Por esta razón en los últimos años se han analizado y fabricado concretos fibrosos, los cuales brindan resultados positivos y así dan una alternativa positiva a países como el nuestro, en donde la industria siderúrgica no satisface en totalidad la demanda. Además estos grandes avances en nuevos materiales constructivos y sus tecnologías han dado cambios significativos que mejoran resultados, amplían usos y economizan costos de las materias primas para la elaboración de los concretos; sin embargo no se ha trasladado esta tecnología en la fabricación de ladrillos de cemento.

El beneficio de usar fibras sintéticas en mezclas de cemento es principalmente a edad temprana, aunque también dichos beneficios, continúan en el cemento endurecido. El aporte de estas fibras en el cemento endurecido se refleja en la menor permeabilidad, mayor resistencia a la fractura, abrasión e impacto, también por la presencia de las fibras la cantidad de agua de exudación varía menos, por lo tanto, se obtiene una mayor resistencia a la abrasión y la posibilidad de la aparición de fisuras en la superficie se reduce considerablemente.

El presente trabajo es una investigación realizada con fibras poliméricas en forma de cascarilla (polietileno tereftalato - PET) reciclado, para estudiar el comportamiento de la resistencia a la flexión del ladrillo macizo de cemento al cual han sido agregadas.

El estudio acerca del cemento reforzado con fibras se debe continuar y ampliar, por la existencia de nuevos materiales por investigar, que nos ayuden al aprovechamiento de los materiales de construcción y al cuidado del medio ambiente.

1.1 Antecedentes

El concreto, el mortero y la mampostería ya sea de cemento o de arcilla recocida, son los materiales de construcción más utilizados y de más larga duración conocidos por el hombre. Alrededor de estos materiales se mueven las economías y el sector genera grandes capitales en el ámbito mundial, por lo que su consumo es uno de los principales indicadores del desarrollo de un país, ya que apoya al PIB.

Los ladrillos de arcilla cocida son algunos de los materiales de construcción más importantes de todos los tiempos. Hoy, sin embargo, a la mayoría de productores les resulta cada vez más difícil competir con los productos a base de cemento. Este es considerado un producto estrella de la construcción que genera un gran impacto medio ambiental, que implica en su elaboración altos niveles de energía y una gran dependencia del petróleo, afirma Cabo, L. (2011).

La deforestación, las nuevas normativas y regulaciones en materia medio ambiental y el aumento de los costos de producción, demandan la búsqueda de alternativas para las empresas de ladrillos cocidos tradicionales. Por todos estos factores y gracias a la necesidad de crear productos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, han llevado a la elaboración de ladrillos ecológicos que mejoren el perfil medio ambiental de la construcción, Cabo (2008) menciona a Boardman, 2004, Kjarstad y Johnson, 2007, Rajgor, 2007 y a Carter, 2008. La elaboración de estos ladrillos responde así a las necesidades de disminuir el gasto energético y el impacto ambiental provocado por subproductos provenientes de cultivos agrícolas e industriales, y a la necesidad de aumentar la calidad medio ambiental indica Cabo, L. (2011).

La principal información sobre PET como adición a mezclas con cemento, fue tomada de la investigación titulada "Comparar el efecto de la adición de PET en la mezcla de los adoquines tradicionales, con las exigencias de la norma NTC 2017 para adoquines", investigación realizada por los estudiantes Carlos Andrés Moreno y Cindy Gómez Martínez como requisito para obtener su título de Ingeniero Civil en la Universidad de Santander (2011).

Teniendo en cuenta los parámetros establecidos en la norma NTC 2017, el porcentaje de adsorción en los adoquines elaborados con PET cumplen en todas las dosificaciones que se establecieron, ya que dicho porcentaje es menor del 37% como valor promedio establecido en dicha norma. Teniendo como punto de comparación los adoquines ya existentes, es posible mejorar la capacidad de carga (módulo de Rotura, Mr.) de los adoquines con la adición del material reciclado PET por lo tanto es viable el uso del PET como materia prima para la fabricación de adoquines, ya que no se ve afectado de forma negativa el desempeño del mismo. El módulo de rotura (Mr.) más alto que se alcanzó con las pruebas realizadas a los adoquines con material reciclado es de 6,88 Mpa en el adoquín con un 13% de PET. Lo anterior indica que el uso del PET para una mezcla a ser utilizada en adoquines, deberá ser alrededor del 13% de la cantidad de arena total.

Sin embargo, el porcentaje de PET que se recomienda, ya que cumple con la clasificación en cuanto apariencia, absorción de agua y resistencia a la flexo tracción (Modulo de rotura: Mr.) es del 35%, siendo un valor de PET representativo en la mezcla, lo cual representa una notable disminución en la arena que se requiere para su elaboración. Los porcentajes superiores al 38% tienden a bajar drásticamente su resistencia al módulo de rotura (Mr.), por lo tanto es recomendable no exceder estos porcentajes en el uso de mezclas para adoquines (Moreno y Martínez, 2011).

1.2 Objetivo General

Determinar las condiciones para optimizar la mezcla requerida para la fabricación de ladrillos con adición de PET proveniente de envases plásticos usados en los núcleos urbanos del Municipio del Socorro.

1.3 Objetivos Específicos

- Valorar los residuos sólidos generados en los núcleos rurales estudiados y los materiales como insumo para la construcción de ladrillos.
- Pre dimensionar y valorar las cantidades de dosificación de material que se van a emplear para la elaboración de las diferentes mezclas.

- Diseñar y construir los sistemas de ladrillos con adición de plástico.
- Comparar y analizar mediante indicadores de resistencia y absorción, los resultados obtenidos en el proyecto con respecto a una muestra patrón (sin adición de PET).

2. METODOLOGÍA

2.1 Procedimiento

- Valoración de residuos sólidos domiciliarios.
Caracterización de los materiales:
 - Cementante: se utilizará cemento Portland hidráulico tipo 3 marca Argos.
 - PET: se determinará su densidad, resistencia al impacto a esfuerzo máximo y Sharp: energía que absorbe.
 - Agregado pétreo (Arena): se le realizará el análisis granulométrico por tamizado NTC-77 y NTC-78, el peso específico y absorción NTC-176 y NTC-237, masas unitarias sueltas y compactas NTC-92.
 - Agua: se determinará el Indicador ICA (índice de calidad del Agua o Water Quality Index WQI, desarrollado en 1970 por la National Sanitation Foundation NSF de Estados Unidos).
- Diseño de muestra la muestra patrón y del ladrillo reforzado con adiciones porcentuales de PET (20%, 25%, 30%, 35% y 40%) NTC 4205.
- Elaboración de 30 especímenes (macizo tipo tolete) para pruebas de absorción y flexo-compresión (NTC 2017), incluyendo los ladrillos patrón (con 0% de adición de PET).
- Interpretación de resultados y conclusiones.

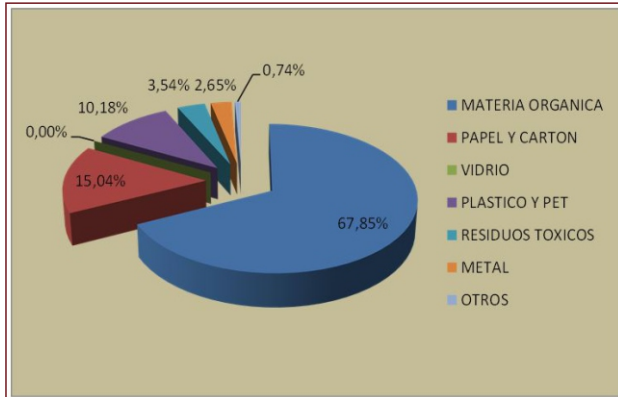
3. RESULTADOS

Valoración de residuos sólidos domiciliarios (RSD)

Las veredas que conforman el municipio de Socorro, representan una séptima parte de la población del municipio, unos 5.450 habitantes. Para la valoración de los RSD, se determinó a partir de un muestreo estadístico aleatorio de una vivienda (durante una semana), perteneciente a la vereda La Honda, del municipio del Socorro.

Con estos datos, se obtuvo la generación per cápita de residuos sólidos domésticos por habitante, es decir, la cantidad de kilogramos de basura que genera una unidad de vivienda diariamente de residuos orgánicos, papeles y cartón, envases plásticos, vidrio, residuos tóxicos y otros.

Figura 1. Caracterización de los RSD en Porcentajes



Fuente: Análisis del grupo Investigador basados en RIVERA (2013).

Como se observa en la Figura 1, se encontró un 10,18% de residuo clasificado como plástico, del cual un 95% (656 gr: 9,7% del total) corresponde a envases de plástico tipo PET, es decir: un 10% aproximadamente es residuo tipo PET; no se presentó residuo tipo Vidrio en el tiempo de muestreo.

Cálculo de la Generación Per Cápita por día:

Durante 7 días fue almacenada en una bolsa los respectivos residuos y se procedió a su pesaje; este procedimiento representa la cantidad de basura generada en una vivienda.

Cantidad recolectada: 6,780 Kg

No. De personas en la Vivienda: 4 personas

PPC = 6,78 / 4 / 7 = 0,242 Kg persona por día

Cálculo de la Generación de residuo tipo PET por día:
Población Rural: 5,450 habitantes.

% de PET en los RSD = 9,7%.

Residuo estimado de PET en un DÍA: 0,242 x 5,450 x 0,097 = 127,9 Kg.

Peso requerido de PET para un ladrillo con una adición del 30%: 999,4 g. (aprox: 1 Kg).

Cantidad de ladrillos que se podrían fabricar por día:
127,9 / 0,9994 = 128 ladrillos

Caracterización de los materiales.

Figura 2. Cemento



Cemento. Se utilizó cemento Portland tipo III, proveniente de la empresa ARGOS proveniente de la Planta de Río Claro – Antioquia, (Ver figura 2). Las siguientes características del cemento fueron suministrados por la Empresa (su distribuidor para Bucaramanga): de densidad, consistencia normal, tiempos de fraguado y de Finura Blaine, obsérvese la tabla 1:

Tabla 1. Caracterización del cementante

CEMENTO ARGOS TIPO III	
Densidad del cemento hidráulico (g/cm ³)	NTC 221 3,107
Finura Blaine (cm ² /g)	4338
Tiempos de fraguado en min (Min / Max)	110 / 240
Consistencia normal del cemento (%)	NTC 110 39

Fuente: Cementos Argos (2015).

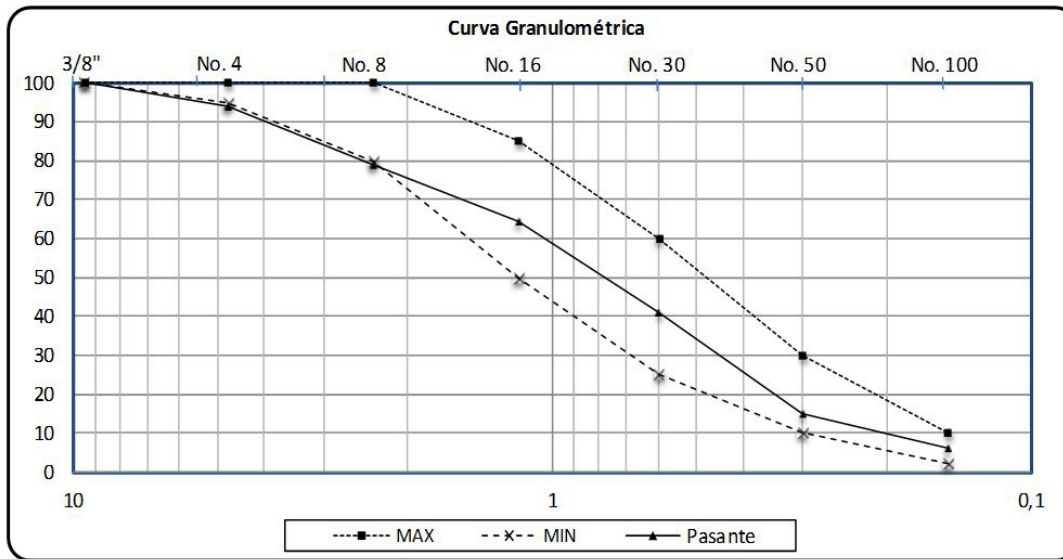
Agregado fino. Para el diseño de mezcla se empleó arena de peña proveniente de la empresa Arenas y Triturados de Santander, localizada a 1 kilómetro y medio adelante del casco urbano de Girón vía a Barrancabermeja. Dentro de los ensayos realizados a la arena en el Laboratorio de Suelos de la Universidad de Santander UDES, se encuentran: Granulometría, Densidad, Absorción y Masa

unitaria, cuyos resultados se muestran en la Tabla 2 y Figura 3. La arena que se utilizó se extrajo de las primeras capas de explotación de peña en la nueva fuente conocida como la Nena, que cuenta con los respectivos permisos de exploración y explotación de materiales pétreos para construcción; se determinó en laboratorio que se clasifica este material como una arena bien gradada.

Tabla 2. Caracterización del Agregado fino

Densidad y absorción del agregado fino NTC 176			
Densidad Aparente g/cm ³	2,593	Densidad Nominal g/cm ³	2,718
Densidad SSS g/cm ³	2,639	Absorción %	1,764
Masa Unitaria NTC 92			
Suelta (M.U.S.) g/cm ³	1,336	Apisonada (M.U.S.) g/cm ³	1,639

Figura 3. Curva Granulométrica del Agregado fino (Análisis Granulométrico NTC 174).



PET reciclado. El PET es el plástico típico de envases de alimentos y bebidas, debido a sus extensas características donde se destacan: que es ligero, resistente y reciclable. El PET se caracteriza por su gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión, alto grado de transparencia y brillo, conserva el sabor y aroma de los alimentos, es una barrera contra los gases, reciclable 100% y con posibilidad de producir envases reutilizables.

La densidad del PET es de 1,335 gr/cm³ y sus principales propiedades fueron caracterizadas por el Laboratorio de control de calidad de materiales del SENA (Centro Industrial de Mantenimiento Integral CIMI) localizado en el municipio de Girón, y que se pueden observar a continuación en la Tabla 3.

Para la fabricación de los diferentes especímenes, el PET a utilizar provino de la trituración de envases plásticos en una máquina que lo deja en hojuelas o cascarillas que pasan el tamiz de 3/4" y retenidos en la Malla No. 4.

Tabla 3. Características del PET reciclado

PET reciclado	
Densidad (g/cm ³)	1,335
Resistencia al impacto - Esfuerzo máximo (cm ² /g)	8432
Resistencia al impacto - Sharpy - Energía que absorbe (kjulios)	7,746

Fuente: Laboratorio de Control de Materiales - Sena

Porcentajes de PET en la muestra seleccionada:

Como resultado del estudio investigativo de la bibliografía y antecedentes se pueden delimitar los porcentajes de PET que se van a agregar a los diseños de mezclas, partiendo del estado del arte donde especifican que los mejores resultados se han obtenido del 20% al 40% y teniendo como base el libro "Análisis y diseño de experimentos (Montgomery 2004) " pudimos revisar las estrategias de experimentación, algunas explicaciones típicas del diseño experimental y experimentos comparativos simples, podemos concluir que los mejores porcentajes para adición de muestras son :

20% - 25% - 30% - 35% - 40 %

Dichos porcentajes nos servirán como comparativos con una mezcla patrón (0% de PET), a las cuales tanto al patrón como a cada uno de los porcentajes, se procedió, a calcular el diseño de mezclas siguiendo las normas técnicas pertinentes. Para posteriormente hacerle un control en estado fresco a la mezcla y un estudio de su absorción y su resistencia.

Número de muestras a tomar: El número de muestras a tomar se basan en el procedimiento establecido y en la naturaleza del programa de ensayo. Generalmente se da guía en el método de ensayo o norma para el cual se hacen las muestras.

Revisando las normas NTC – 3318 Producción de concreto, NTC – 1377 Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio y NTC-2275 Procedimiento recomendado para la evaluación de los resultados de los ensayos de resistencia podemos concluir que para comparar valores de resistencia y absorción se debe representar un conjunto de por lo menos veinte y cinco ensayos para cada uno de los porcentajes planteados. Por lo tanto se deben elaborar especímenes macizos para poder evaluar cada uno de los porcentajes estipulados más la muestra patrón, Así:

150 especímenes para evaluar flexo-compresión a 7 y 28 días

Agua de Mezclado. El agua que se utilizó fue suministrada por el Laboratorio de concretos de la Universidad de Santander UDES, la cual proviene del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga. (Véase tabla 4).La calidad del Agua fue medida por el índice ICA, determinado en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Santander UDES, cobijando 9 parámetros: Oxígeno disuelto, DBO, Coliformes Fecales, Temperatura, pH, Nitrógeno Total, Sólidos Totales y Turbiedad, siendo indicada en una escala de 0 a 100.

Tabla 4. Características del Agua de mezclado

No. Muestra: Descripción del punto de monitoreo ICA		
1	Llave No. 1 del Laboratorio de Concretos UDES	89: OPTIMA
2	Llave No. 2 del Laboratorio de Concretos UDES	88: OPTIMA
3	Llave No. 3 del Laboratorio de Concretos UDES	89: OPTIMA

Fuente: Laboratorio de Ingeniería Ambiental - UDES

Dosificación de la mezcla.

En la tesis de la Universidad Nacional titulada "Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora" de Arrieta y Peña Herrera (2001), determinaron que la dosificación 1:5:2 (cemento: arena: piedra) era la más adecuada, y su relación agua - cemento es el 50% del peso del cemento. La dosificación en volumen escogida fue: 1:5:2 (uno de cemento por cinco de arena por dos de PET); la cantidad de PET dentro de la mezcla es reducida del porcentaje total de la arena para los diferentes

porcentajes del mismo, para un volumen de mezcla de 2.852 cm³ que equivale al volumen de un Ladrillo a fabricar, como se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5. Dosificación calculada para cada uno de los porcentajes de PET

%	PET		ARENA	
	Volumen (cm ³)	peso (gr)	V=m/d (cm ³)	m=dxV (gr)
20	499,1	666,3	1996,4	3272,1
25	623,9	832,9	1871,6	3067,6
30	748,7	999,4	1746,9	2863,1
35	873,4	1166,0	1622,1	2658,6
40	998,2	1332,6	1497,3	2454,1

El peso del cemento para las diferentes mezclas fue de 1107,6 gr y el peso del agua de mezclado fue alrededor de 700 gr.

Elaboración especímenes.

Los especímenes se moldearon tan cerca como fue posible del lugar donde fueron almacenados. Los moldes se colocaron sobre una superficie plana libre de cualquier alteración. Además se lubricó el molde con material no reactivo (aceite quemado). El cemento que se pesó fue colocado directamente encima de la arena de peña ya debidamente pesada, a la cual ya se le había añadido el porcentaje de PET indicado para cada proporción; luego se procedió a mezclar la mezcla en estado seco (o poco húmedo). Finalmente se añadió el agua de mezclado y se agitó suavemente para conformar una mezcla uniforme.

La mezcla se colocó en los moldes utilizando un cucharón, asegurando que esta es representativa de toda la mezclada, ver figura 4. Se procuró asegurar una distribución simétrica del cemento y minimizar la segregación del agregado fino y del PET añadido dentro del molde. Además, la mezcla se distribuyó utilizando la varilla de compactación antes de iniciar la consolidación. Es de indicar que el operador de la mezcla añadió suficiente material al colocarla sobre el molde, siendo una cantidad de mezcla que llenó exactamente el molde. Luego se procedió a golpear ligeramente el molde unas 10 o 15 veces con un mazo de caucho la parte exterior del mismo para cerrar los huecos dejado por el apisonado y así sacar las burbujas de aire atrapadas. Se remueve el

exceso de mezcla a lo largo de los lados y extremos de los moldes con un palustre o herramienta apropiada.

Figura 4. Preparación de especímenes para los ensayos



En la remoción de los moldes, los especímenes se retiraron a las 24 h ± 8 h después de vaciados (ver Figura 5). Cumpliendo con lo indicado en los tiempos de fraguado de la NTC-118.

Figura 5. Desmolde de especímenes para los ensayos.



Curado especímenes.

El curado para todos los especímenes fue por medio Seco a una temperatura de 25°C ± 2°C. En relación con el tratamiento de los especímenes de ensayos desmoldado, curado seco significa que estos deben mantenerse al aire libre en toda superficie todo el

tiempo como se muestra en la figura 6, pero deben regarse cada 12 horas.

Figura 6. Curado de especímenes



Absorción de agua

Para el cálculo de la absorción de agua para elementos de mampostería, se sigue la norma NTC 2017 y se aplica la fórmula que se presenta a continuación:

$$\text{Absorción (Aa\%), \%} = \left[\frac{(Mh - Ms)}{Ms} \right] \times 100$$

Mh = Masa saturada (húmeda) del espécimen, en g.

Ms = Masa seca del espécimen, en g.

El ensayo de adsorción de los especímenes se realizó en el laboratorio de Concretos de la UDES, como se muestra en las figuras 7 y 8, mientras los resultados obtenidos se reflejan en la tabla 6 y Figura 9, donde el promedio de absorción de la mezcla adicional con PET presentaron un % de absorción promedio de 8,1%, mientras la muestra patrón se presentó una absorción del 8,6%.

Los especímenes con adición de PET presentaron una disminución alrededor del 6% en este parámetro y se observó que a medida que aumenta la adición de PET disminuye la absorción en uno o dos puntos.

Figura 7. Ladrillos sumergidos en agua.



Figura 8. Pesaje de los ladrillos



Tabla 6. Resultados del ensayo de adsorción a los ladrillos

Muestra No.	Porcentaje de PET	Peso (Normal)	Peso (Húmedo)	Absorción (Aa%)
1	20%	5494,1	5946,1	8,2%
2	25%	5547,0	5995	8,1%
3	30%	5530,7	5971	8,0%
4	35%	5620,0	6074	8,1%
5	40%	5588,4	6032	7,9%
PATRÓN	0%	6034,4	6551	8,6%
			PROM:	8,1%

Figura 9. Absorción de agua de los especímenes en función de la Adición de PET.

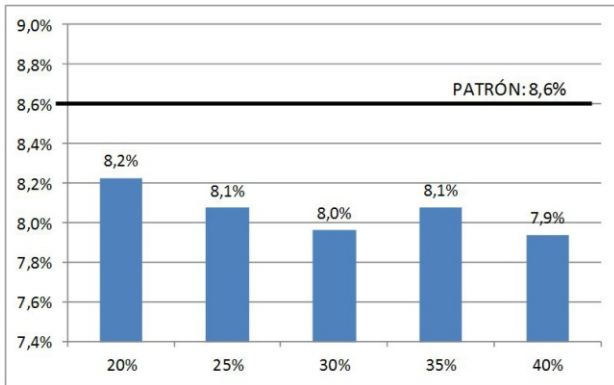
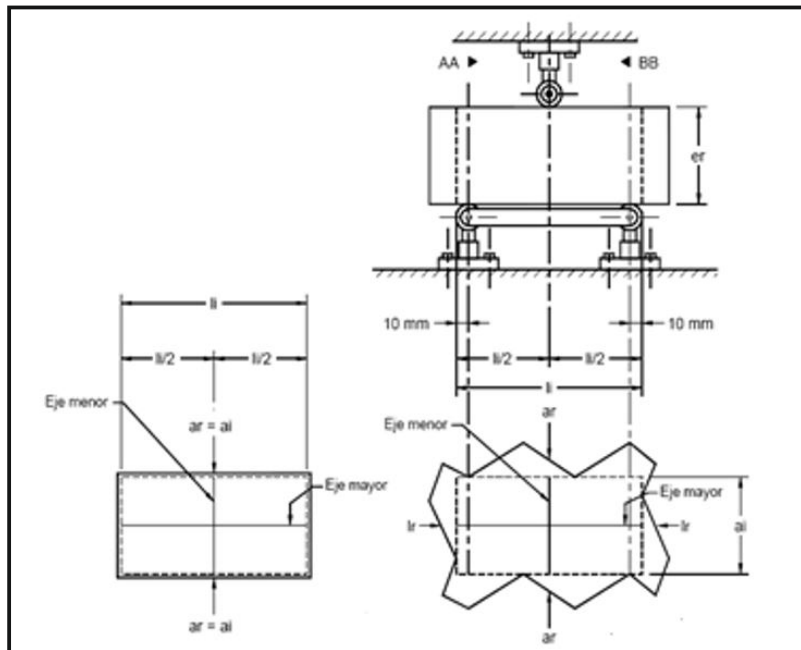


Figura 10. Ensayo de resistencia a la compresión



Figura 11. Esquema del ensayo a Flexión. NTC 2017



Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 2017 (segunda actualización)

**Resistencia a la Flexión
(Módulo de Rotura Mr.)**

Los Ladrillos como los adoquines de concreto deben cumplir los requisitos de resistencia a la flexión o módulo de rotura (M_r) establecidos en la NTC 2017.

Teniendo el material ya preparado, se procedió a la determinación de la resistencia a la flexión, como método de control a la fabricación de ladrillos de concreto en estado endurecido. La máquina utilizada para este ensayo fue un modelo CT - 1303, constituida conforme a la norma ASTM C 109, siendo la requerida en la norma NTC 2017 (ver figura 10 y 11).

Se cargó el espécimen continuamente y sin impactos. La carga se aplicó a una tasa constante hasta el punto de rotura. Además la carga se aplicó a una tasa que incrementó en forma constante el esfuerzo extremo de la fibra entre 0,86 Mpa/min y 1,21Mpa/min hasta que ocurrió rotura. Los resultados que se presentaron se muestran en tabla 7 y fueron calculados a partir de la fórmula para la determinación del módulo de rotura (Mr.) que se muestra a continuación:

$$M_r = \frac{3 C_{máx} \times (li - 20)}{[(ar + ai) \times er^2]}$$

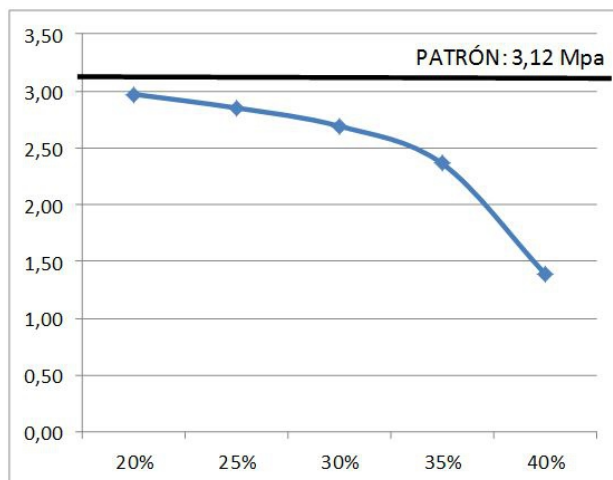
- Mr = Módulo de rotura, N/mm², en MPa
- C_{máx} = Carga máxima, de rotura, en N
- li = Longitud del rectángulo inscrito, en mm
- ar = Ancho real del espécimen, en mm
- ai = Ancho del rectángulo inscrito, en mm
- er = Espesor real del espécimen, en mm.

Tabla 7. Resultados del ensayo de adsorción a los ladrillos

Porcentaje de PET	Mr (Mpa)
20%	2,97
25%	2,85
30%	2,69
35%	2,36
40%	1,39
0%	3,12

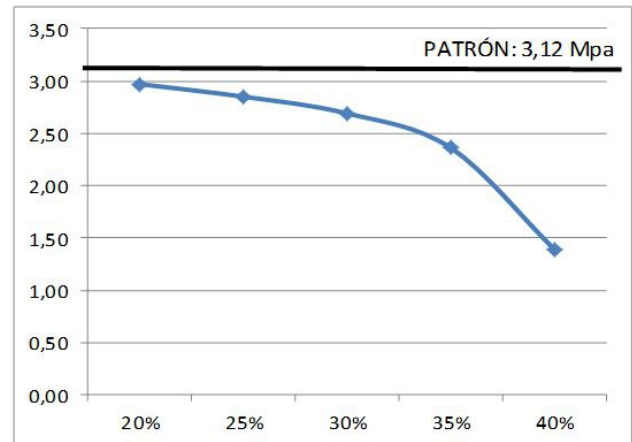
Fuente: Laboratorio de Concretos de la UDES

Figura 12. Resistencia a la Flexión con respecto al porcentaje de PET (siete días)



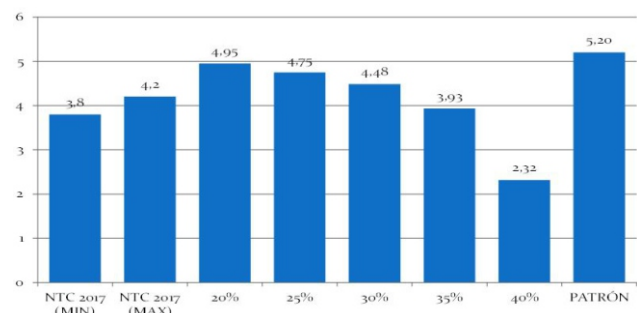
Para determinar la resistencia a los 28 días, los valores a los siete días fueron proyectados teniendo en cuenta que a los 7 días ya se debe tener un 60% de la resistencia final del elemento de concreto; los resultados se dan en la figura 12 y 13.

Figura 13. Proyección de la Resistencia a la Flexión con respecto al Porcentaje de PET (28 días).



A continuación (Figura 14) se muestran las diferentes mezclas con adición de PET y su comparación con la norma NTC 2017 (valor mínimo y valor máximo) y el ladrillo patrón.

Figura 14. Resistencias de los diferentes ladrillos a los 28 días.



4. CONCLUSIONES

Se encontró envases de plástico tipo PET en el muestreo efectuado unos 656 gr: 9,7% del total de RSD, con lo cual se podrían elaborar 128 ladrillos-día para la población de las veredas del Socorro; adicionalmente se encontró un PPC de 0,242 Kg persona por día, que es más bajo que el que se presenta en los cascos urbanos.

Contemplando la fabricación de ladrillos, el propósito de los ensayos de resistencia del concreto es la de determinar el cumplimiento de la especificación de resistencia y de medir su variabilidad, sin embargo estas variaciones también pueden ser el resultado de los procedimientos seguidos durante la dosificación, el mezclado, la colocación y el curado, además de estas, también se introducen variaciones en los ensayos por efecto de fabricación, por procedimiento de ensayo y por el tratamiento de las muestras de ensayo.

Teniendo en cuenta los parámetros establecidos en la norma NTC 2017, el porcentaje de adsorción en los ladrillos elaborados con adición de PET cumplen en todas las dosificaciones que se establecieron, ya que dicho porcentaje es menor del 12% como valor promedio establecido en dicha norma.

Teniendo como punto de comparación los ladrillos ya existentes, es posible mejorar la capacidad de carga (modulo de Rotura, (Mr.)) de los adoquines con la adición del material reciclado PET; por lo tanto es viable el uso del PET como materia prima reciclada para la fabricación de ladrillos, ya que no se ve afectado su resistencia y por ende el desempeño del mismo.

El módulo de rotura (Mr.) más alto que se alcanzó con las pruebas realizadas a los ladrillos con adición de PET reciclado es de 4,95 Mpa en el ladrillo con un 20% de PET.

El porcentaje de PET más representativo en la mezcla y que cumple con todas las especificaciones es del 35%, ya que cumple con la clasificación en cuanto absorción de agua y resistencia a la flexo tracción (Modulo de rotura (Mr.)), esto representa una notable disminución en la arena que se requiere para su elaboración.

Interpretando las gráficas, la muestra patrón fue la que obtuvo mayor resistencia a la flexión, comparada con las muestras de diferentes porcentajes de adición de fibras. Cabe resaltar que tanto para una edad de 7 y 28 días, la muestra que tuvo menor desviación con respecto a los ensayos realizados fue la del 20 % de adición de PET.

A demás, después de realizar los ensayos de Absorción y Flexión se hallaron partículas de PET que no tuvieron adherencia con la mezcla de cemento-arena, es decir no se observó unión ni cohesión homogénea al cemento por parte de algunas partículas en la superficie.

4.1 Recomendaciones

Verificar que las cascarillas de PET sean completamente homogéneas y retenidas en su totalidad en la malla No. 4 del juego de tamices. Por otra parte se debe considerar trabajar en otra investigación con diferentes dimensiones y tipos de polímeros para garantizar una mejor adherencia y manejabilidad en la mezcla de concreto.

Al realizar la mezcla de los materiales es importante realizarla primero en seco, de esta forma se garantiza la homogeneidad de la mezcla durante la hidratación. Vibrar la mezcla para eliminar los vacíos que se crean por el aire dentro de la mezcla.

Tener buen control de calidad durante toda la investigación es vital para el desarrollo de la misma; esto se logra por medio del empleo de buenos materiales, una correcta caracterización, dosificación y mezclado de los mismos, por los buenos procedimientos de colocación, curado y realización de los ensayos tal y como se consideró para este proyecto, aunque la compleja naturaleza del cemento impide una completa homogeneidad.

Además se debería estudiar otras propiedades para la mampostería en cemento con adición de PET, como son el ensayo de segregación y de exudación, resistencia a la tensión indirecta y ultrasonido a especímenes de concreto endurecido para evaluar diferentes resultados posibles.

Por último, recomendamos seguir la investigación sobre la adición de PET u otros plásticos (PEAD), ya que no se tiene mucha información sobre este tema específico y en especial en el caso de ladrillos tipo tolete o macizos lisos.

5. REFERENCIAS

- Albano, C., Camacho, N., Hernández, M., Bravo, A., y Guevara, H. (2008). Estudio de concreto elaborado con caucho de reciclado de diferentes tamaños de partículas. Revista de la Facultad de Ingeniería. UCV.
- Altun, I. A. y Yilmaz, I. (2002). "Study on steel furnace slags with high MgO as additive in Portland cement". Cem Concr Res, vol. 32, pp. 1247-1249
- Álvarez, Dennis y Calderón, Yaneth. (2001). Estudio Comparativo del comportamiento del concreto simple y del concreto reforzado con fibra de polipropileno. Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander.
- Álvarez, Pablo. (2009). Durability of polypropylene fibre reinforced concrete. Tesis de Grado. Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado el 15 de agosto del 2015 de:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6554/01.pdf?sequence=2>
- Arístizabal, Catalina y Sachica, María. (2001). El aprovechamiento de los residuos sólidos domiciliarios, no tóxicos en Bogotá. Tesis de Grado de la Universidad Javeriana, recuperado el 20 de agosto del 2015 de:
http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/derecho/dere2/Tesis54.pdf_
- American Society for Testing and materials. (2000). Standard Specification for Industrial Floor Brick, Philadelphia: ASTM C 410.
- BEER, Ferdinand. Mecánica de Materiales. 2ed. Colombia: Mc Graw Gill.p.112
- Asociación Nacional de fabricantes de cales y derivados de España – ANCADE (2008). Guía práctica para los morteros con cal. Recuperado el 15 de agosto del 2015 de: http://www.ancade.com/Guia-practica-para-los-morteros-con-cal_es_19_5.html
- Banco Interamericano de desarrollo y la organización Panamericana para la salud. (1998). Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe.
- Barker, T. y Zabinsky, Z. (2008). Reverse logistics network design a conceptual framework for decision-making. International Journal of Sustainable Engineering, p.250-253.
- Bear, F. Johnston, R. Dewolf, F y Mazurek, D. (2010). Mecánica de Materiales. V edición, Mc Graw Hill. México. Recuperado el 15 de agosto del 2015 de:
http://www.academia.edu/10238373/Mecanica_de_Materiales_Beer_5ta_edit
- Brick Development Association-BDA, 2008. Consultado en <http://www.brick.org.uk/industry-sustainability.html>.
- Cabo, María (2011), ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción, tesis de grado, Universidad pública de Navarra. Recuperado el 23 de agosto del 2015 de:
<http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/4504/577656.pdf?sequence=1>
- Centro de la vivienda econômica - CEVE. (2008). Ladrillos de plástico reciclado. Una propuesta ecológica para vivienda social. Editorial Nobuko. Buenos Aires.
- Constitucional política de Colombia (1991). Recuperado el 22 de agosto del 2015 de:
<http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Documents/Constitucion-Politica-Colombia.pdf>

Coró, A. (2002). Investigación das propriedades mecânicas de concretos reforçados com fibras PET. UNIJUI, Universidad Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS.

Corzo, Humberto. (2012). Plan de desarrollo 2012-2015: Unidos por el cambio. Recuperado el 20 de agosto del 2015 de:

http://socorro-santander.gov.co/apc-aa-files/39313632626538303439623734303666/acuerdo_013_2012_plan_desarrollo_2012_2015_1.pdf

Chinchilla, Humberto. (2008). Plan de desarrollo municipal 2008-2011. Progreso en beneficio de todos. Recuperado el 20 de agosto de:

http://www.socorro-santander.gov.co/apc-aa-files/30633234613239393034316561353761/I_PARTE_DIANDOSTICO.pdf

Di Marco, Raúl. (2014). Diseño y elaboración de un sistema de adoquines de bajo costo y material reciclado para construcciones en núcleos rurales. Revista Esaica. Volumen 1. No. 1. Universidad de Santander UDES. p. 47-57.

Departamento Administrativo Nacional de estadística-DANE (2005). Censo General 2005: Colombia. Proyecciones de Población Municipales por Área. 2005 – 2020.

ECORIENTE de Colombia. (2015). Página institucional. Recuperado el 22 de agosto del 2015 de: <http://www.ecoriente.com.co/index.php/>

Erdogan, Y.; Genç, H. and Demisrbas, A. (1992). "Utilization of borogypsum for cement". Cem Concr Res, vol. 22, pp. 841-844

Erdogan, Y.; Zeybek, M. S. and Demisrbas, A (1998). "Cement mixes containing colemanite from concentrator wastes". Cem Concr Res, vol. 28, No. 4, pp. 605-609

Escalante, Jorge Luis y Escalante, Leonardo (1998). Estudio de resistencia a la compresión y a la tensión en concretos reforzados con fibras poliméricas. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander.

Gaspar, T. (1985). Aditivos, descripción y funciones. X Curso de Estudios Mayores de la Construcción, Área de Materiales. Instituto Eduardo Torroja, Madrid.

Gómez, R. (2010). Logística inversa, un proceso de impacto ambiental y productividad. Producción más limpia. Recuperado el 15 de agosto del 2015 de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552010000200006&script=sci_arttext

Hamling, J. W. and Krimer, R. W. (1992). "Evaluation of granulated blast furnace slag as a cementitious admixture. A case study". Cem Concr Aggregates, vol. 14, No. 1, pp. 13-20.

Hernandez-Olivares, F., Barluenga, G., Bollati, M., & Witoszek, B. (2002). Static and dynamic behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete. Cement and Concrete Research.

Hornbostel, Caleb. (1999). Materiales para construcción. Tipos usos y aplicaciones. 1ed. México: Limusa.

Huang, B., LI, G., Pang, S., y Eggers, J. (2004). Investigation into waste tire rubber-filled concrete. Journal of Materials in Civil Engineering. Recuperado el 15 de agosto de: [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2004\)16%3A3\(187\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16%3A3(187))

ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 77 (1994). Ingeniería civil y arquitectura. Método para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.

INCOTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 673. (1995). Resistencia de un elemento sometido a rotura. Colombia.

ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 4017/05. (2005). Métodos de muestreo y ensayos de unidades de mampostería de arcilla. Bogotá.

ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 4205 (2001). Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos. Bogotá.

Kardon, J. (1997). Práctica recomendable para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del concreto (ACI). México.

Fernando Llanos, F. (2010). Sistema Brickarp (construcción de casas con material reciclado). Recuperado el 22 de agosto del 2015 de: <http://brickarpambiental.blogspot.com/>

Lin, W. Lee, H y Lee, Y. (2009). A decision model for reverse logistics service providers in determining robust optimal processing quantities of returned products. Journal of Chinese Institute of Industrial Engineers. Recuperado el 12 de agosto del 2015 de: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10170660909509154#.VePM1yV_Oko

LUND, Herbert F. (1996). Manual de reciclaje. McGraw-Hill. Madrid: McGraw-Hill.

Medina, F. y Cifuentes, L. (2007). Fibras como Elemento Estructural para el Refuerzo de Hormigón. Manual Técnico.

Ministerio del Medio Ambiente. (2002) Guía: selección de tecnologías de manejo integral de residuos sólidos.

Molina, Shirley, Vizcaíno, Adriana y Ramírez, Freddy. (2007). Estudio de las características físico - mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el municipio de Acacias (Meta). Proyecto de Grado. Recuperado el 10 de agosto del 2015 de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15143/40002085.pdf?sequence=2>

Moropoulou, A.; Bakolas, A. and Anagnostopou-LOU, S. (2005). "Composite materials in ancient structures". Cem Concr Compos, vol. 27, No. 2, pp. 295-300.

Ojeda, Sara. Lozano-Olvera, Gabriela. Morelos, Raúl y Armijo de Vega, Carolina. (2008). Mathematical modeling to predict residential solid waste generation. Recuperado el 20 de agosto del 2015 de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X08001438>

Pardave, Walter (2004). Envases y medio ambiente. Ecoe Ediciones. Bogotá.

Quarmby, Arthur. (1976). Materiales plásticos y arquitectura experimental. Barcelona.

Rincón, J., Romero, M., Hernández-Crespo, M., Talero, R., y García, A. (2004). Microestructura de un material compuesto basado en una matriz de cemento reforzado con fibras de polipropileno. Materiales de Construcción.

Residuos sólidos domiciliarios (2007). Soluciones ambientales: una pequeña ayuda para nuestro planeta. Recuperado el 22 de agosto del 2015, de:
<http://tostost.blogspot.com/2007/12/gestin-de-residuos-slidos-domiciliarios.html>

Rogers, D y Tibben-Lembker, R. (1999). Going backwards: Reverse logistics. Nevada. Executive council.

Sierra, Oscar, Ramírez. Cristian y Porras, Edgar. (2013). Evaluación del concreto reforzado con polietileno tereftalato (pet) para el mejoramiento de su resistencia. Tesis de grado de la Universidad de Santander – Udes. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bucaramanga

Schubel, P. J.; Warrior, N. A. and Elliott, K. S. (2008). "Evaluation of concrete mixes and mineral additions when used with controlled permeable formwork (CPF)". Constr Build Mater, vol. 22, pp. 1536-1542.

Society Plastic Industry – SPI (2015). Resin Identification Code – Guide to Correct Use. Recuperado el 12 de agosto del 2015 de:
<http://www.plasticsindustry.org/AboutPlastics/content.cfm?ItemNumber=823&navItemNumber=1125>

Tamayo, Mario. (2003). El proceso de la investigación científica. Editorial Limusa. México. Recuperado el 20 de agosto del 2015 de:
<http://es.slideshare.net/sarathrusta/el-proceso-de-investigacion-cientifica-mario-tamayo-y-tamayo1>

Tchobanoglous, George, Theisen, Hilary, Vigil, Samuel A. (1994). Gestión integral de residuos sólidos. Volumen I. McGraw-Hill.

Xiberta, Juan. (1995). Gestión de envases y embalajes y sus residuos. Instituto de Investigaciones Ecológicas, España.