

Influencia de la inclusión del reciclaje de botellas plásticas como uno de los componentes en la conformación de materiales granulares pétreos para pavimentos

/Influence of inclusion of recycling plastic bottles as one of the components in forming granular stone materials for pavement

Eduardo Pinzón Cortés¹, Luis Carlos Mora Arciniegas², Yamid Mendieta Salinas³

¹Especialista en Diseño y Construcción de Vías y Aeropistas, Gestor de Proyectos. Instituto Nacional de Vías, Bogotá D.C., Colombia, ing_edupinzon@yahoo.es

²Especialista en Diseño y Construcción de Vías y Aeropistas, Estudiante de Maestría en Ingeniería de Vías Terrestres. Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, luiscamol6@hotmail.com

³Especialista en Diseño y Construcción de Vías y Aeropistas, Gestor de Proyectos. Instituto Nacional de Vías, Bogotá D.C., Colombia, yamidmesa@hotmail.com

Página
60

ESING

FECHA DE RECEPCIÓN DEL ARTÍCULO: 26/07/2016

FECHA DE ACEPTACIÓN DE ARTÍCULO: 05/11/2016

RESUMEN

En la investigación, se utilizó desecho de botellas plásticas como material de adición, para modificar el comportamiento de una base y una subbase granular. A partir de ensayos de Proctor y CBR se comparó el comportamiento del material natural y el mezclado. Los resultados de la investigación muestran que el CBR de una mezcla de materiales granulares, base y subbase, con material de desecho, presenta un incremento notable. Además, la mezcla modificada, cambia el peso unitario del material, obteniéndose una mezcla con mayor resistencia y menor peso. El estudio se centró en la propiedad de resistencia del material granular, con muestras en estado natural y muestras estabilizadas. Los resultados permiten demostrar una influencia positiva en la resistencia del material por parte del desecho de botellas plásticas, esto genera un buen antecedente para desarrollar más investigaciones, con el objetivo de comprobar la factibilidad de este producto como aditivo estabilizante, beneficiando paralelamente al ambiente, al reducir el impacto generado por la disposición de botellas plásticas en rellenos sanitarios.

PALABRAS CLAVE

PET, Potencial de transformación y reciclaje, dosificación, base y sub-base, granular, respuesta mecánica.

ABSTRACT

In research, waste plastic bottles as a material addition was used to modify the behavior of a granular base and sub-base. From tests of Proctor and CBR was compared the behavior of the

natural material and the mixing. The results of the investigation show that the CBR of a mixture of granular materials, bases and subbase, with waste material, presents a notable increase. In addition, the modified mixture, change the unit weight of the material, resulting in a mixture with greater strength and lighter weight. The study focused on resistance property of granular material, with samples in their natural state and stabilized samples. The results allow demonstrating a positive influence on the strength of the material from the waste of plastic bottles; this generates a good background to develop more research, aiming at test the feasibility of this product as stabilizing additive, parallel benefiting the environment, on having reduced the impact generated by the disposition of plastic bottles in sanitary landfills.

KEYWORDS

PET, Potential for transformation and recycling, dosage, base and sub-base, granular, mechanical response.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, para la ejecución de proyectos de infraestructura vial en Colombia, en lo referente al suministro, transporte, colocación, humedecimiento, extensión, compactación y terminado de materiales granulares de base y sub-base, el gremio de la ingeniería debe lidiar constantemente con materiales que no son competentes para su conformación, de acuerdo con las condiciones para el recibo de materiales establecidas en la normatividad vigente.

Es así como surge la necesidad de explorar nuevas

Para citar este artículo / To cite this article

E. Pinzón, L. C. Mora Arciniegas, Y. Mendieta Salinas. Influencia de la inclusión del reciclaje de botellas plásticas como uno de los componentes en la conformación de materiales granulares pétreos para pavimentos. Revista Ingenieros Militares, No.11, pp. 60, 2016.

tecnologías. El proyecto propuesto tiene como finalidad la búsqueda y evaluación de materiales alternativos que en primer lugar mejoren la capacidad física y mecánica (principalmente la de resistencia) de los agregados pétreos que actualmente se explotan en fuentes naturales y en segundo lugar que sean amigables con el ambiente. Es así como, en el presente documento se estudia el comportamiento en cuanto a resistencia de materiales granulares de base y sub-base en su estado natural, comparado con el mismo material adicionado con desecho de botellas plásticas (escamas de PET), un producto que no se había utilizado como aditivo en este tipo de materiales.

METODOLOGÍA

Desarrollo Teórico

Para efectos de evaluación de los materiales, para la investigación rigen los artículos 300-13 DISPOSICIONES GENERALES PARA LA EJECUCIÓN DE AFIRMADOS, SUBBASES GRANULARES Y BASES GRANULARES Y ESTABILIZADAS, 320-13 SUBBASE GRANULAR y 330-13 BASE GRANULAR, de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías del año 2013 (INVIAS), así como las normas de ensayo establecidas para la caracterización de los mismos.







Métodos de estabilización. “Con respecto a los métodos de estabilización de suelos, los siguientes han sido referenciados en la literatura (Abril & Castrillón, 1993; Aguirre & Vélez, 2005; Amaya et al., 1978; Barragán & Contreras, 1994; Caicedo & Herrera, 2004; Gómez et al., 1983; Mendivil et al., 1981; Romero & Alfonso, 1986; Rosas & Sarmiento, 1997; Vega & Martínez,

2005; Rico & Del Castillo, 1976) para estabilizar subbases granulares: estabilización mecánica por medio de mezclas, estabilización mecánica por compactación, estabilización por drenaje, estabilización con cal, estabilización con cal y cenizas volantes, estabilización con cemento, estabilización con asfalto, estabilización con lignina de cromo, estabilización con sales de aluminio, estabilización con crudo de castilla” [1].

Polímeros. “Un polímero es una sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten, llamados monómeros. El número de unidades que se repiten en una molécula grande se llama grado de polimerización. Los materiales con un grado elevado de polimerización se denominan altos polímeros. Los homopolímeros son polímeros con un solo tipo de unidad que se repite. En los copolímeros se repiten varias unidades distintas” [2].

Desecho de botellas plásticas procesadas (Escamas de PET). “El tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilentereftalato o polietileno tereftalato es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles. Algunas compañías manufacturan el PET y otros poliésteres bajo diferentes marcas comerciales. Químicamente el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Perteneció al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres” [3]. Para efectos de la presente investigación se utilizó el residuo transformado mecánicamente proveniente del desecho de botellas plásticas de gaseosa no retornable (escamas de PET) como material de adición, con el fin de investigar su influencia en el comportamiento físico y mecánico de una base y

Tabla 1. Caracterización botellas plásticas de tereftalato de polietileno (PET) en el mercado. Fuente: Autores

Descripción	Unidad	Botellas de PET			Botellas de PET		
Registro fotográfico							
Forma		Cilíndrica diámetro irregular	Cilíndrica diámetro irregular	Cilíndrica diámetro irregular	Cilíndrica diámetro irregular	Cilíndrica diámetro irregular	Cilíndrica diámetro regular
Color		Transparente	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente
Transparencia		100%	100%	100%	100%	100%	100%
Contenido líquido		Caseosa	Caseosa	Caseosa	Caseosa	Caseosa	Caseosa
Volumen albergado	ml	250	400	600	1500	2500	3000
Peso tapa polipropileno	gr	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Peso etiqueta polipropileno	gr	0,8	0,7	0,9	1,4	1,7	1,9
Peso botella de PET	gr	22,5	22,7	23,0	40,1	56,1	57,3

una subbase granular.

Subbase Granular. De conformidad con el numeral 320.1 Descripción del Artículo 320-13 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del año 2013, “se denomina sub-base granular a la capa o capas granulares localizadas entre la subrasante y la base granular o estabilizada, en todo tipo de pavimento, sin perjuicio de que los documentos del proyecto le señalen otra utilización” [4].

Base Granular. De conformidad con el numeral 330.1 Descripción del Artículo 330-07 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del año 2007, “se denomina base granular a la capa granular localizada entre la subbase granular y las capas asfálticas en los pavimentos asfálticos, sin perjuicio de que los documentos del proyecto le señalen otra utilización” [5].

Al material granular proveniente de la fuente certificada, se le adicionará desecho de botellas plásticas procesadas (escamas de PET) en diferentes proporciones y procederá a la realización de los ensayos dispuestos en la normatividad.

Trabajo de Campo

En la tabla 1 se relacionan los resultados producto de la caracterización efectuada a las botellas plásticas de gaseosa que se encuentran en el

mercado, utilizadas como material de adición por el grupo investigador.

Para efectos de la investigación el material de desecho de botellas plásticas debidamente procesado y transformado fue suministrado por la empresa Aproplast S.A.S., ubicada en la Av. Calle 17 No. 81 B – 83 de la Ciudad de Bogotá D.C. En la figura 2 se observa parte del material utilizado en el estudio.



Figura 1. Escamas de PET procesadas y transformadas. Fuente: Autores

Caracterización material granular de base y subbase proveniente de la fuente. El material granular de base empleado para la mezcla con adición de desecho de botellas plásticas (escamas de PET) procede de la cantera El Pencil, ubicada en la vereda Balsillas, del Municipio de Mosquera en el Departamento de Cundinamarca.

Tabla 2. Ensayos de laboratorio para material granular tipo base según el INV E-13. Fuente: Autores de proyecto.

CARACTERIZACION DEL MATERIAL TIPO BASE GRANULAR CLASE A NORMAS INV.E- 13				
ENSAYO	NORMA	REQUERIDO	RESULTADO	CUMPLE
GRANULOMETRIA	INVE-213 [7]			SI
INDICE DE APLANAMIENTO	INVE-230 [8]	≤ 35%	22,0%	SI
INDICE DE ALARGAMIENTO	INVE-230 [9]	≤ 35%	13,00%	SI
ANGULARIDAD DE LOS AGREGADOS FINOS	INV-239 [10]	≥ 35%	49,00%	SI
LIMITES DE CONSISTENCIA	INVE-125 [11]	0%	NL	SI
	INVE-126 [12]	0%	NP	SI
EQUIVALENTE DE ARENA	INVE-133 [13]	≥ 30%	20%	NO
CARAS FRACTURADAS	INVE-227 [14]	≥ 70%	83%	SI
ABRASIÓN DE AGREGADO GRUESO MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	INVE-218 [15]	≤ 35%	29,70%	SI
	INVE- 219 [16]	≤ 50%	35,90%	SI
CBR	INVE- 148 [17]	≥ 95%	69%	NO

Tabla 4. Características del material tipo base. Fuente: Autores de proyecto.

COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR TIPO BASE SIN ADITIVOS Y CON ADITIVOS						
Propiedades	No Golpes	Sin aditivos	Con 1%	Con 3%	Con 6%	Con 9%
Humedad (%)	55	7,7	7,6	8,6	8,2	7,2
	26	7,9	7,2	8,4	8,2	7,1
	12	7,8	7,7	8,5	8,2	7,2
Peso Unitario (gr/cm ³)	55	1,96	1,97	1,92	1,84	1,81
	26	1,88	1,92	1,88	1,83	1,72
	12	1,81	1,88	1,82	1,79	1,66
CBR (%)		69	116	104	55	51

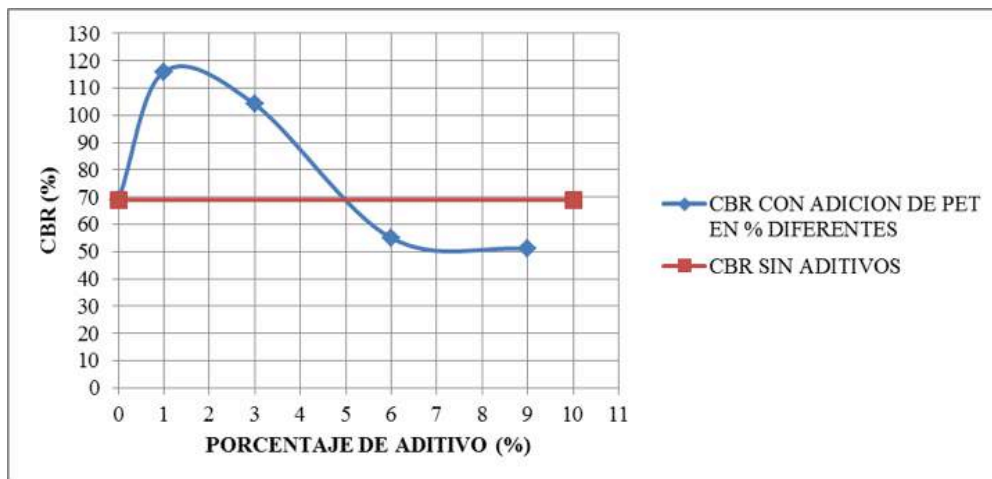


Figura 4. Gráfica porcentaje de CBR vs. (%) de escamas de PET (Base granular). Fuente: Autores.

Producto de los ensayos de laboratorio efectuados dentro de la investigación para el material granular de base, con el fin de verificar la información suministrada por la cantera El Pencal y garantizar el cumplimiento de los requisitos dispuestos en el Artículo 300-13 “Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases granulares y bases granulares y estabilizadas” [6] del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), en la tabla 2 y figura 2 se relacionan los resultados obtenidos.

De igual forma, producto de los ensayos de laboratorio efectuados dentro de la investigación para el material granular de sub-base, con el fin de verificar la información suministrada por la cantera El Pencal, en la tabla 3 (Ensayos de laboratorio para material granular tipo sub-base según el INV E-13) y figura 3 (Curva Granulométrica del material tipo sub-base granular), se relacionan los resultados obtenidos.

Base granular con adición de desecho de botellas plásticas (escamas de PET). En la tabla 4, se observan los resultados obtenidos en el ensayo

modificado de compactación y CBR de laboratorio para cada porcentaje adicionado de desecho de botellas plásticas (escamas de PET) al material granular de base. Para los análisis respectivos, se toma el valor correspondiente a 55 golpes, por ser este número el valor representativo del ensayo según la Norma INVIAS.

En la figura 4, se observan los resultados obtenidos al graficar los registros del ensayo de CBR de laboratorio respecto a los porcentajes de material de desecho de botellas plásticas (escamas de PET) adicionado en las mezclas.

De igual manera, en la figura 5, se evidencian los resultados obtenidos al diagramar los registros del peso unitario obtenido mediante el ensayo modificado de compactación respecto a los porcentajes de material de desecho de botellas plásticas (escamas de PET) adicionado en cada una de las mezclas.

Sub-base granular con adición de desecho de botellas plásticas (escamas de PET). En la tabla 5,

Tabla 5. Características del material tipo sub-base. Fuente: Autores

COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL GRANULAR TIPO SUB-BASE SIN ADITIVOS Y CON ADITIVOS					
Propiedades	No Golpes	Sin aditivos	Con 1%	Con 3%	Con 6%
Humedad (%)	55	8,9	7,7	7,6	6,7
	26	8,5	7,8	7,4	6,5
	12	8,6	7,7	7,4	6,6
Peso Unitario (gr/cm ³)	55	1,88	1,91	1,89	1,82
	26	1,78	1,86	1,84	1,79
	12	1,73	1,79	1,81	1,72
CBR (%)		31	81	124	53

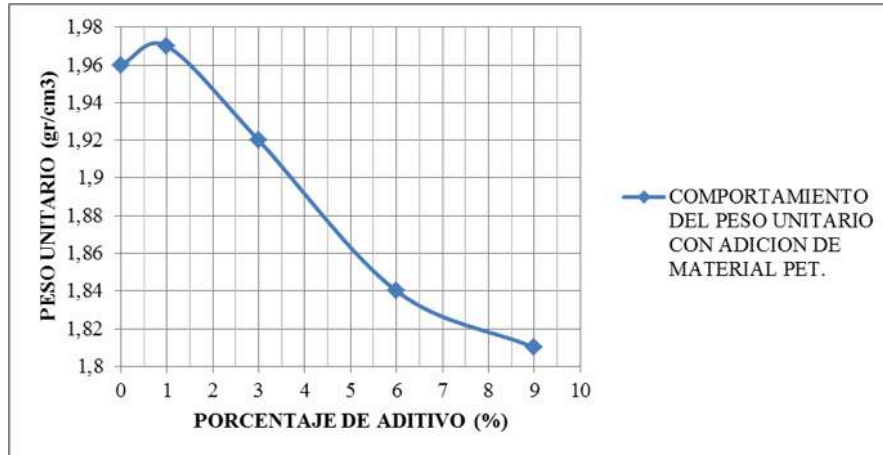


Figura 5. Gráfica peso unitario obtenido para cada proporción de PET utilizado (Base granular). Fuente: Autores

se observan los resultados obtenidos en el ensayo modificado de compactación y CBR de laboratorio para cada porcentaje adicionado de desecho de botellas plásticas (escamas de PET) al material granular de sub-base. Para los análisis respectivos, se toma el valor correspondiente a 55 golpes, por ser este número el valor representativo del ensayo según la Norma INVIAS.

En la figura 6, se observan los resultados obtenidos al graficar los registros del ensayo de CBR de laboratorio respecto a los porcentajes de material de desecho de botellas plásticas (escamas de PET) adicionado en las mezclas.

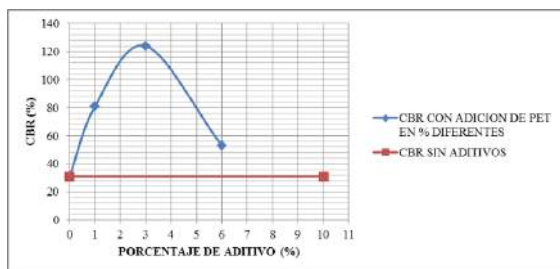


Figura 6. Gráfica porcentaje de CBR VS (%) de aditivo PET (Sub-base granular).

En la figura 7, se evidencian los resultados obtenidos al diagramar los registros del peso específico obtenido mediante el ensayo modificado de compactación respecto a los porcentajes de material de desecho de botellas plásticas (escamas de PET) adicionado en cada una de las mezclas.

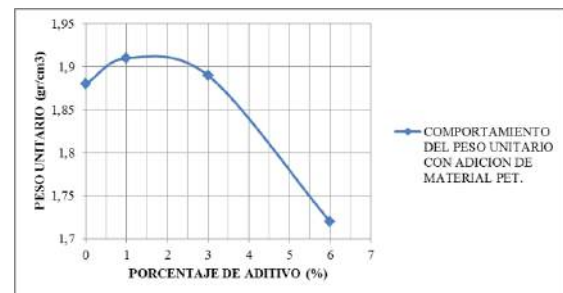


Figura 7. Peso unitario obtenido para cada proporción de PET utilizado (Sub-base granular). Fuente: Autores

RESULTADOS

Durante el desarrollo de la investigación y con

el fin de caracterizar el insumo a procesar y transformar, se tomaron muestras de las diferentes presentaciones de botellas plásticas de gaseosa presentes en el mercado y mediante observación se realizó registro fotográfico y adelantó la evaluación de parámetros tales como: forma, color, transparencia, tipo de líquido que contiene, volumen albergado y peso de sus componentes.

En este sentido y como resultado de las observaciones efectuadas en el laboratorio, podemos resaltar entre otros que el tamaño del material transformado se encuentra en un rango de 2 a 10 mm, su espesor alrededor de 404 micras y que su densidad se estima en un valor promedio de 1,40 ton/m³ lo que incide positivamente en el nuevo material estudiado por cuanto genera una disminución de su densidad y por tanto de su peso, permitiendo en el evento de ser usado en obras de infraestructura, una disminución del impacto sobre el suelo de sub-rasante.

Se realizó un control de la mezcla producto de la inclusión del desecho de botellas plásticas (escamas de PET) en los agregados pétreos de base y sub-base provenientes de la fuente seleccionada, en proporciones del 1%, 3%, 6% y 9%.

Base granular con adición de desecho de botellas plásticas (escamas de PET)

Teniendo en cuenta que el material granular de base no cumple con las exigencias de resistencia para conformar estructuras de pavimento, en laboratorio se obtiene un CBR del 69%, el cual se encuentra muy por debajo del parámetro establecido en la normatividad del 80 % y con el fin de observar los cambios que produciría el adicionar desecho de botellas plásticas (escamas de PET) en su comportamiento, se realizaron mezclas de diferentes proporciones de material PET (1%, 3%, 6% y 9%).

Las diferentes proporciones correspondieron al porcentaje en peso de aditivo con respecto al peso total de la muestra. Se desarrolló un estudio comparativo para determinar los efectos que producen las escamas de PET en el CBR del material y en el peso unitario del material granular, pese a que el material no cumplió éste parámetro establecido en el artículo 330 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2013 del INVIAS.

Se registraron los resultados finales calculados con base en el ensayo de CBR para cada porcentaje de

adición de escamas de PET. Es muy interesante observar el comportamiento de la resistencia del material con una adición del 1% de desecho de botellas plásticas al pasar de un CBR del 69% a un CBR del 116%.

El comportamiento del material granular de base estabilizado mejora su resistencia en comparación con el material natural, al adicionar el 1% y 3% de escamas de PET. En el caso de la adición de 6% Y 9% se obtuvo un CBR inferior al obtenido con el material granular original de base, posiblemente porque en este caso el porcentaje (%) de escamas de PET en volumen es alto, por cuanto la densidad del material adicionado es menor.

Con la adición de desecho de botellas plásticas (escamas de PET) en proporción del 1% se observa un incremento de CBR del 47% respecto al del material natural y con el 3% se observa un incremento de CBR del 35 %, con dichos incrementos el material de construcción analizado y eventualmente rechazado se hace competente respecto a la normatividad vigente en lo referente a su resistencia.

Sub-base granular con adición de desecho de botellas plásticas (escamas de PET)

Por cuanto el material granular de sub-base cumple con las exigencias del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para conformar estructuras de un pavimento y con el fin de observar los cambios que produciría el adicionar desecho de botellas plásticas (escamas de PET) en su comportamiento, se realizaron mezclas de diferentes proporciones de material PET (1%, 3%, 6%).

Las diferentes proporciones correspondieron al porcentaje en peso de aditivo con respecto al peso total de la muestra. Se desarrolló un estudio comparativo para determinar los efectos que producen las escamas de PET en el CBR del material y en el peso unitario del material granular, pese a que el material no cumplió éste parámetro establecido en el artículo 320 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2013 del INVIAS..

Se registraron los resultados finales calculados con base en el ensayo de CBR para cada porcentaje de adición de escamas de PET. Es muy interesante observar el comportamiento de la resistencia del material con una adición del 3% de desecho de botellas plásticas al pasar de un CBR del 31% a un

CBR del 124%.

El comportamiento del material granular de sub-base estabilizado con escamas de PET mejora su resistencia en comparación con el material natural, al adicionar el 1%, 3% y 6% de desecho de botellas plásticas el valor de CBR aumentó 50%, 93% y 22% respectivamente en los diferentes porcentajes de adición con relación al CBR del material proveniente de la cantera.

Con la adición de desecho de botellas plásticas (escamas de PET) en proporción del 1% se observa un incremento de CBR del 50% respecto al del material natural y con el 3% se observa un incremento de CBR del 93 %, con dichos incrementos el material de construcción analizado aumenta sus propiedades mecánicas en lo referente a su resistencia.

Tabla 6. Impacto proyectado por la estabilización de agregados pétreos con escamas de PET. Fuente: Autores.

DESCRIPCION	VALOR	UN
Longitud	1,00	km
Ancho estimado carril	3,65	m
No. de carriles	2,00	un
Ancho total de la calzada	7,30	m

DESCRIPCIÓN	MATERIAL GRANULAR ESTABILIZADO	
	BASE	SUBBASE
Espesor estimado base	0,20 m	0,35 m
Volumen estimado compactado	1.460,00 m ³	2.555,00 m ³
Volumen estimado suelto	1.898,00 m ³	3.321,50 m ³
Peso estimado base	3.674,53 Ton	6.310,85 Ton
Peso estimado óptimo escamas de PET	44,09 Ton	170,39 Ton
BOTELLAS PROCESADAS		
Botellas de 3 litros de capacidad	769.459,00 un	2.973.647,00 un
Botellas de 2,5 litros de capacidad	785.918,00 un	3.037.255,00 un
Botellas de 1,5 litros de capacidad	1.099.501,00 un	4.249.127,00 un
Botellas de 600 ml de capacidad	1.916.957,00 un	7.408.261,00 un
Botellas de 400 ml de capacidad	1.942.291,00 un	7.506.167,00 un
Botellas de 250 ml de capacidad	1.959.556,00 un	7.572.889,00 un

CONCLUSIONES

Resultado de definir y caracterizar un marco técnico para la utilización de botellas plásticas procesadas de gaseosa como aditivo a un material granular de base, así como del análisis efectuado para una condición estimada de diseño de 20cm de espesor y ante la posibilidad de implementación del método investigado, se concluye que, por cada kilómetro construido y/o mejorado y/o rehabilitado de vía en pavimento flexible, en la condición asumida, se dejaría de disponer en los rellenos sanitarios 44,09 toneladas de botellas plásticas representados en setecientos noventa y cinco mil (795.000) unidades de 2,5 litros, lo cual

redunda de una manera directa en la disminución del impacto ambiental generado por la mala disposición de este tipo de desechos. De igual forma para el mismo análisis efectuado para una condición estimada de diseño de 35cm de espesor en una capa de sub-base granular, se dejaría de disponer en los rellenos sanitarios 170,39 toneladas de botellas plásticas representados en tres millones (3.000.000) de unidades de 2,5 litros.

El procesamiento y transformación de la materia prima definida y caracterizada para adicionar a materiales pétreos de base y sub-base se realiza a través de un tratamiento mecánico que garantiza la protección del ambiente, toda vez que se evita la disposición de residuos físicos como desecho en rellenos sanitarios y la emisión de gases al aire, mitigando impactos ambientales en el suelo y la atmósfera.

El comportamiento registrado de la resistencia del material pétreo estabilizado con una pequeña proporción en la adición de escamas de PET, medido mediante el CBR de laboratorio arrojó un aumento considerable de su valor mejorando en gran medida la competencia mecánica de los agregados pétreos de base y sub-base.

El comportamiento del material granular estabilizado con proporciones mayores al 3% disminuye por cuanto la proporción volumétrica del producto adicionado es alta, lo anterior debido a que la densidad del material adicionado es menor que la del material natural.

El aumento de la resistencia de los agregados pétreos de base y sub-base estabilizados con desecho de botellas plásticas, modifica las premisas para el diseño de pavimentos toda vez que al lograr mayores resistencias en las capas granulares los espesores pueden disminuir (incluso el de la carpeta asfáltica), reduciendo por consiguiente en los presupuestos de las vías.

Resultado del análisis del peso unitario obtenido para el material natural y las diferentes mezclas, se observa una tendencia decreciente, es decir que, a mayor proporción de material adicionado menor peso específico. Esto hace que las estructuras de pavimento sean más livianas y con mayor resistencia, mitigando el impacto debido al peso sobre el suelo de sub-rasante.

REFERENCIAS

- [1] E. Rodríguez, H.A. Rondón, D.M. Vélez y L.C. Aguirre, "Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase," *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 5, no. 9, pp. 21-30, Jul-Dic, 2006.
- [2] J. Areizaga, M. M. Cortazar, J. M. Elorza y J.J. Iruin, *Polímeros*. Madrid: Editorial Síntesis, 2002, pp. 438.
- [3] Wikipedia. (2016, Abril 20), *Tereftalato de polietileno* [en línea]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato_de_polietileno
- [4] *Subbase granular*, Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías, Artículo 320, 2013.
- [5] *Base granular*, Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías, Artículo 330, 2007.
- [6] Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases granulares y bases granulares y estabilizadas, Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías, Artículo 300, 2013.
- [7] *Norma I.N.V. E-213-13*, Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos, Normas de Ensayo de Materiales para Construcción del Instituto Nacional de Vías. 2013.
- [8] *Norma I.N.V. E-230-13*, Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras, Normas de Ensayo de Materiales para Construcción del Instituto Nacional de Vías, 2013.
- [9] *Norma I.N.V. E-230-13*, Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras, Normas de Ensayo de Materiales para Construcción del Instituto Nacional de Vías, 2013.
- [10] *Norma I.N.V. E-239-13*, Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influenciados por forma de las partículas, textura de la superficie y gradación, Normas de Ensayo de Materiales para Construcción del Instituto Nacional de Vías, 2013.
- [11] *Norma I.N.V. E-125-13*, Determinación del límite líquido de los suelos, Normas de Ensayo de Materiales para Construcción del Instituto Nacional de Vías, 2013.
- [12] *Norma I.N.V. E-126-13*, Límite plástico e índice de plasticidad de suelos, Normas de Ensayo de Materiales para Construcción del Instituto Nacional de Vías, 2013.
- [13] *Norma I.N.V. E-133-13*, Equivalente de arena de suelos y agregados finos, Normas de Ensayo de Materiales para Construcción del Instituto Nacional de Vías, 2013.
- [14] *Norma I.N.V. E-227-13*, Porcentaje de caras fracturadas en los agregados, Normas de Ensayo de Materiales para Construcción del Instituto Nacional de Vías, 2013.
- [15] *Norma I.N.V. E-218-13*, Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm ($1\frac{1}{2}$ "") por medio de la máquina de los ángeles, Normas de Ensayo de Materiales para Construcción del Instituto Nacional de Vías, 2013.
- [16] *Norma I.N.V. E-219-13*, Resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm ($3/4$ "") por medio de la máquina de los ángeles, Normas de Ensayo de Materiales para Construcción del Instituto Nacional de Vías, 2013.
- [17] *Norma I.N.V. E-219-13*, Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio), Normas de Ensayo de Materiales para Construcción del Instituto Nacional de Vías, 2013.