

Revista Ingenierías Universidad de Medellín 5(9): 21-30 julio-diciembre de 2006

INFLUENCIA DE LA INCLUSIÓN DE DESECHO DE PVC SOBRE EL CBR DE UN MATERIAL GRANULAR TIPO SUBBASE

Edgar Rodríguez Rincón*, Hugo Alexander Rondón Quintana**,
Diana Marcela Vélez Pinzón*** y Leidy Carolina Aguirre Aguirre***

Recibido: 24/07/2006

Aceptado: 28/09/2006

RESUMEN

En Colombia, los materiales granulares de alta calidad para la conformación de estructuras de pavimentos flexibles son de difícil obtención. En algunas ocasiones el Ingeniero de carreteras debe trabajar con materiales granulares que no cumplen los requisitos mínimos de calidad de la especificación vial pertinente. En este caso el Ingeniero debe intentar mejorar las propiedades del material ya sea por medios mecánicos o químicos.

En la presente investigación se utilizó desecho de PVC como material de adición, para modificar el comportamiento de una subbase granular. A partir de ensayos de Proctor y CBR se comparó el comportamiento del material natural, y mezclado con diferentes proporciones del desecho de PVC. Los resultados de la investigación muestran que el CBR de una mezcla de material granular, tipo subbase, y material de desecho, presenta un incremento notable. Además, la mezcla modificada logra cambiar el peso unitario del material, obteniéndose una mezcla con mayor resistencia y menor peso.

Palabras clave: modificación de suelos, subbase granular, polímeros, policloruro de vinilo PVC, desecho de PVC.

* Ingeniero Civil. Magíster en Ingeniería Civil. Director de Docencia y Docente Investigador del Grupo de Investigación en Pavimentos y Materiales de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia. Tel. 2853876. Fax. 2858792. e-mail: erodriguezr@catolica.edu.co

** Ingeniero Civil. Magíster en Ingeniería Civil. Candidato a Doctor en Ingeniería de la Universidad de los Andes. Docente Investigador y Director del Grupo de Investigación en Pavimentos y Materiales de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia. Tel. 2853876. Fax. 2858792. e-mail: harondon@ucatolica.edu.co

*** Ingeniera Civil. Auxiliar de Investigación del Grupo de Investigación en Pavimentos y Materiales de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia. Tel. 2853876.

ABSTRACT

In Colombia, the granular materials of high quality for the conformation of flexible pavements structures are of difficult obtaining. In some cases the Engineer of highways must work with granular materials that do not fulfill the requirements of minimum quality standards of the pertinent road specification. In this case the Engineer must try to improve the properties of the material either.

In the present investigation, PVC remainders were used like adding material, to modify the behavior of a granular subbase. From tests of Proctor and CBR, the behavior of the natural and mixed material with different proportions of the PVC remainder was compared. The results of the investigation shown that the CBR of a mixture of granular material type subbase and the remainder material, present a remarkable increment. In addition, the modified mixture manages to modify the unitary weight of the material, obtaining a mixture with greater resistance and minor unitary weight.

INTRODUCCIÓN

Según Lambe (1999), el suelo es considerado como el material de construcción más abundante del mundo y muchas veces el único recurso local con que cuenta el ingeniero para sus obras; en este caso, se busca que sus características cumplan los requisitos que exigen dichos trabajos.

La inclusión de algunos materiales como agentes estabilizantes de suelos permite que se mejoren algunas de sus propiedades (principalmente las de resistencia), disminuyan los costos y efectos ambientales, en especial, si dichos materiales provienen de subproductos industriales o de reciclaje, y se actualicen las técnicas de estabilización, modificación o mejoramiento de suelos mediante la inclusión de materiales alternativos.

La inquietud de estabilizar o modificar los suelos ha permitido que se generen métodos innovadores que, aunque basados en los convencionales, hacen uso de aditivos y procesos diferentes. Siguiendo esta tendencia, se presenta este documento donde se estudia el comportamiento en cuanto a resistencia de un suelo grueso o material granular tipo subbase en su estado natural, y el mismo material adicionándole un producto que hasta ahora no se había usado como agente modificador en este tipo de materiales: el desecho de PVC.

El trabajo se enfoca al análisis del comportamiento en cuanto al CBR, por ser el ensayo más utilizado actualmente en el país para evaluar el comportamiento de los materiales granulares dentro de las estructuras de pavimento. Dentro del documento se utilizará la denominación material granular tipo subbase o subbase granular para indicar un suelo que cumple con la normatía del Instituto Nacional de Vías INVIAS, para ser caracterizado como tal, en atención a que para algunos ingenieros los materiales utilizados para pavimentos no se deben denominar suelos. De igual manera, el término “estabilización de suelos” se utilizará para indicar procesos que modifican o mejoran las propiedades mecánicas de los suelos.

GENERALIDADES

Subbases granulares

Las subbases granulares son elementos estructurales del pavimento que tienen como propósito distribuir las cargas del tránsito. Para satisfacer este propósito, las subbases deben ser construidas con propiedades de resistencia interna necesarias (Montejo, 1998). Según el tipo de estructura de pavimento, atendiendo las más utilizadas en la actualidad, las subbases se clasifican como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las subbases según el tipo de pavimento

TIPO DE SUBBASE	Subbase para pavimento flexible	Subbase para pavimento rígido
DEFINICIÓN	Se refiere a la capa de materiales seleccionados que está entre la base y la subrasante.	Capa comprendida entre la losa de concreto hidráulico y la subrasante.
FUNCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Transmitir de forma adecuada a la subrasante los esfuerzos que la base recibe del tránsito. ▪ Formar una capa de transición entre los materiales finos de la subrasante y los gruesos de la base, evitando la contaminación e interpenetración de ellos. ▪ Ayudar a disminuir los efectos perjudiciales de los cambios volumétricos de la subrasante. ▪ Contribuir al drenaje de la estructura. ▪ Reducir los costos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Evitar el fenómeno de bombeo, esto se refiere a la fluencia del material fino con agua debido a la infiltración de la misma en las juntas de las losas. ▪ Proporcionar superficie de apoyo uniforme a las losas. ▪ Constituir una superficie adecuada para el paso de los equipos de construcción. ▪ Disminuir los efectos perjudiciales por los cambios volumétricos de la subrasante.

Estabilización de suelos

Los suelos se estabilizan para modificar las propiedades existentes haciéndolos capaces de cumplir en mejor forma los requisitos deseados, especialmente buscando un buen comportamiento esfuerzo-deformación.

Las propiedades que se intentan modificar en un material granular a través de un proceso de estabilización son: estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad.

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.

Los más utilizados para estabilizar subbases granulares corresponden al cemento, asfalto, compactación y cal, sin embargo. en la actualidad se investigan métodos y materiales no convencionales que permitan estabilizaciones óptimas desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

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 (Areizaga *et al.*, 1992).

La mayoría de las sustancias orgánicas presentes en la materia viva, como las proteínas, la madera,

la quitina, el caucho y las resinas son polímeros; también lo son muchos materiales sintéticos como los plásticos, las fibras (nylon, rayón), los adhesivos, el vidrio y la porcelana.

Policloruro de Vinilo (PVC)

El policloruro de vinilo, $(-\text{CH}_2-\text{CHCl}-)_n$, es un polímero sintético de adición que se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo, y es la materia prima para la preparación del PVC. Su estructura molecular se ilustra en la figura 1.

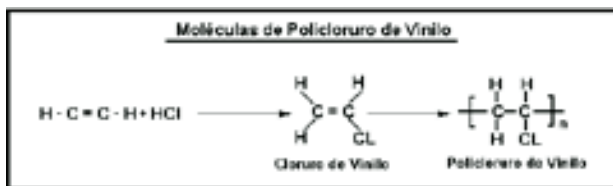


Figura 1. Estructura molecular del Policloruro de vinilo (PVC)

Las materias primas de las cuales se deriva el PVC son la sal común y el petróleo o gas natural. Del petróleo o gas se obtiene el etileno, mediante un proceso de craqueo; la sal se disuelve en agua y se somete a electrólisis para separar el cloro presente en ella. El etileno, en un 43%, y el cloro, en un 57%, son entonces combinados bajo calor para obtener un gas monómero, el cloruro de vinilo. Las moléculas del monómero se encadenan como resultado de una reacción conocida como polimerización. El producto resultante de este proceso es el PVC en su estado de resina virgen, cuyo aspecto es el de un fino polvillo blanco. (PETCO S. A., 2005).

La mayoría de veces el policloruro de vinilo se utiliza con aditivos que mejoran su acabado, estos son: plastificantes (dan flexibilidad a los materiales poliméricos), estabilizadores de calor (para prevenir la degradación térmica durante el procesado y aumentar la vida útil), lubricantes (ayudan a la fluidez durante el procesado e impiden la adhesión a las superficies metálicas), rellenos (abaratando los costos) y los pigmentos (dan color, opacidad y resistencia a la intemperie).

Debido a la facultad que tienen las resinas de mezclarse con diferentes aditivos, el PVC ha sido utilizado para diversos productos, que van desde los rígidos y durables utilizados para el suministro de agua potable y energía hasta los flexibles como las películas extensibles para empacar alimentos.

La construcción e infraestructura abarca el 60% de productos realizados con PVC beneficiando los ámbitos de la vida moderna o satisfaciendo las necesidades humanas.

Desecho de PVC

El PVC puede producir dos clases de desecho: la primera se genera durante la producción, en el proceso de polimerización, y la segunda, al finalizar el ciclo de vida de los productos de PVC (tubos de PVC, botellas, juguetes, tarjetas, etc.).

En esta investigación se utilizó material proveniente del proceso industrial de PETCO (Petroquímica Colombiana) S. A., compañía nacional dedicada a la producción de resinas de PVC en solución y emulsión, que son usados para diversas aplicaciones:

- El PVC tipo resina es utilizado en recubrimientos espumados para cuero sintético, espumas de inhibición para pisos vinílicos, papel de colgadura, sellos de tapas, empaquetaduras espumadas, espumas mecánicas, tapetes anti-fatiga, soporte para alfombras, plantillas para calzado, partes para filtros de aire, recubrimientos por inmersión, espumas vinílicas expandidas por presión y tintas para estampar camisetas.
- El PVC tipo suspensión es usado en piezas inyectadas, tubería, perfiles, láminas, envases, tejas, películas, suelas, sellos para tapas, cables eléctricos, cintas, discos, tintas, pisos, adhesivos, lacas, cueros sintéticos, recubrimiento de telas, mangueras y geomembranas.

El desecho que se genera durante la producción de la resina de PVC se obtiene durante la polimerización del cloruro de vinilo. La empresa PETCO obtiene estos desechos en tres momentos de la producción:

- Después de la polimerización, al separar el agua del PVC se desecha una mezcla de agua con PVC.
- Posteriormente, en el secador rotatorio, se separa el PVC y se obtiene otra mezcla a desechar de agua con PVC.
- Al tamizar el PVC previo a su empaque se desechan partículas gruesas y finas que no cumplen las especificaciones de la empresa.

Además, durante la producción de PVC eventualmente se tiene que abortar el proceso por alguna circunstancia anormal (fallos de luz, mal funcionamiento de la maquinaria, etc.); en ese momento el producto que se este procesando se convierte en desecho.

Esta industria tiene una capacidad actual de producción de 328.000 toneladas por año de PVC; en su producción mensual se llegan a generar aproximadamente 5 toneladas de desecho de PVC y en la actualidad PETCO tiene almacenadas en bodega aproximadamente 700 toneladas de desecho de PVC, las cuales tienen una mínima demanda en el mercado, convirtiéndose para la empresa en un producto muerto.

Por su procedencia, el desecho de PVC es un producto que contiene mezclas de las diferentes resinas que produce la empresa. Dado que la planta de producción genera varios tipos de PVC, que en los compartimientos de descarga de desechos se mezclan y, además, por considerarse un desecho, no se le tienen grandes cuidados de manipulación quedando expuesto a la contaminación (tierra, agua, sílice). Por lo anterior, no posee unas propiedades muy definidas, sin embargo, este desecho está conformado en gran parte por resina de PVC por lo cual se supone que conserva la mayoría de sus propiedades.

Manejo del desecho de PVC

El manejo del desecho se puede realizar:

- **Reciclado:** el PVC reciclado es elaborado de la misma forma que la resina de PVC virgen; el reciclaje puede ser químico (actualmente en fase de desarrollo) o mecánico (tanto de los residuos industriales como de los residuos post-consumo); este último es el sistema más practicado y promocionado por los organismos estatales y autonómicos (PLASTUNIVERS, 2005).

Sin embargo, el PVC reciclado no puede ser utilizado para envases y objetos que estén en contacto con alimentos.

- **Incineración:** la incineración es una solución eficaz que no necesita combustible o energía y puede utilizarse en calefacción o producción de electricidad.

El impacto para la salud y el medio ambiente de la incineración de los desechos de PVC depende de la sofisticación, tecnología y condiciones de operación de las plantas que lo realizan, como por ejemplo, la utilización de un sistema de neutralización de humos para el ácido clorhídrico o un tratamiento de efluentes gaseosos, etc.

- **Rellenos sanitarios:** los rellenos sanitarios son otra solución para el desecho de PVC, pero no es la más factible y segura para el medio ambiente.

A pesar de que el impacto ambiental generado por el desecho de PVC es menor que el de otros materiales alternativos, se deben tomar medidas preventivas para evitar contaminación de fuentes hídricas o exposición frecuente a estos materiales; Zapata (1976) y PLASTUNIVERS (2005) han referenciado diferentes problemas asociados a su utilización (infertilidad en seres humanos, aumento de radiación, permanencia en el ambiente, etc.), y en algunos países se ha prohibido su uso.

MATERIALES Y ENSAYOS DE LABORATORIO

En el desarrollo del presente estudio se adelantó una serie de ensayos encaminados a caracterizar la subbase granular y realizar una comparación entre el comportamiento del CBR del material en estado natural y el material con aditivo (desecho de PVC), incluyendo algunas observaciones adicionales respecto a la plasticidad del material y su peso unitario.

Materiales

Subbase granular

Se utilizó un material granular tipo subbase, proveniente de la cantera Panamá Tesoro, la cual se encuentra ubicada al suroccidente de Bogotá, en el municipio de Soacha. En esta zona la explotación de recebo se encuentra en una escala minera mediana: promedio 31.5 m³/h comprendida entre un rango mayor de 60 m³/h y un rango menor de 11 m³/h (González *et al.*, 2001).

En esta área afloran rocas sedimentarias de origen marino y de edad Cretácico superior; las más anti-

guas son las de la formación Chipaque; sobre estas se encuentra el Grupo Guadalupe (Formación Arenisca Labor y Tierna y Arenisca Dura) (González *et al.*, 2001). A este grupo se le suman las formaciones Plaeners y Regadera para completar el conjunto de donde proceden las arenas y recebos.

Desecho de PVC

El desecho de PVC utilizado en esta investigación fue suministrado por PETCO Petroquímica Colombiana S. A. El desecho tiene una presentación física en polvo que pasa el tamiz No. 200, el cual se utilizó como aditivo en tres porcentajes 1, 3 y 5% del peso de la muestra de subbase a utilizar.

Ensayos de laboratorio

En la tabla 2, se muestran los ensayos hechos al material granular, con el fin de clasificar y comprobar la calidad del material suministrado por la cantera, en cumplimiento de la normativa del Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2002). Estos ensayos son utilizados también como parámetros de comparación del material natural y modificado con desecho de PVC.

Tabla 2. Ensayos de laboratorio para material granular tipo subbase según el INVIAS

ENSAYO	NORMA
Análisis granulométrico de suelos por tamizado.	I.N.V. E – 123.
Determinación del Límite Líquido de los suelos.	I.N.V. E – 125.
Límite plástico e índice de plasticidad.	I.N.V. E – 126.
Determinación de los factores de contracción de los suelos.	I.N.V. E – 127.
Determinación del peso específico y del llenante mineral.	I.N.V. E – 128.
Relaciones de peso unitario – humedad en los suelos.	I.N.V. E – 142.
Relación de soporte del suelo en el laboratorio (C.B.R. de laboratorio).	I.N.V. E – 148.
Equivalente de arena.	I.N.V. E – 133.
Desgaste en la máquina de los ángeles.	I.N.V. E – 218.
Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio.	I.N.V. E – 220.

El material granular utilizado cumple con la mayoría de los parámetros de la normativa exigida para subbases por parte del INVIAS, y presenta las características incluidas en las tablas 3 y 4 y en la figura 2.

Tabla 3. Caracterización del material granular tipo subbase

CARACTERISTICA	NORMA	VALOR	REQUERIDO	OBSERVACIONES
PORCENTAJE DE FINOS	I.N.V. E - 123	6,42%	-	-
LIMITE LIQUIDO	I.N.V. E - 125	(NL) NO LIQUIDO	-	-
INDICE DE PLASTICIDAD	I.N.V. E - 126	(NP) NO PLASTICO	Menor o igual a 3	CUMPLE
PESO ESPECIFICO	I.N.V. E - 128	2,36%	-	-
	I.N.V. E - 223	2,29%	-	-
EQUIVALENTE DE ARENA	I.N.V. E - 133	29,00%	25% min.	CUMPLE
RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES	I.N.V. E - 218	46,80%	Menor al 50%	CUMPLE
PERDIDA DE SOLIDEZ EN SULFATO DE SODIO	I.N.V. E - 220	9,20%	Menor al 12%	CUMPLE
CBR	I.N.V. E - 148	70,67%	20%, 30% o 40% min.	CUMPLE

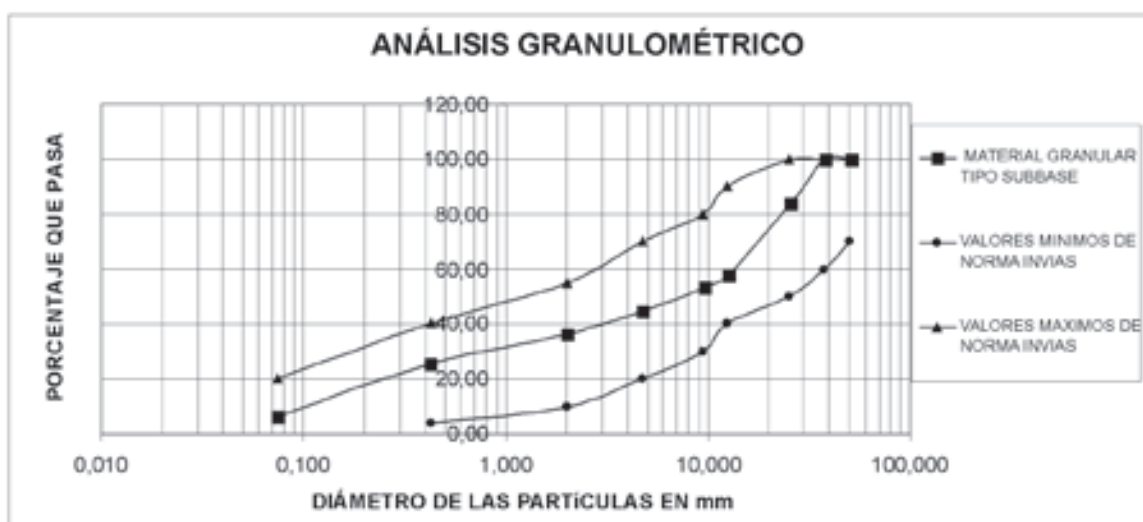


Figura 2. Curva Granulométrica del material tipo subbase utilizado

El análisis granulométrico del material granular lo clasifica como un suelo bien gradado con presencia de limos, se observa en su mayoría mezcla de grava y arena. La curva granulométrica es continua (ver figura 2), bien gradada y se encuentra en el nivel intermedio en la clasificación según la norma INVIAS.

El material granular tipo subbase es No Líquido (NL) y No Plástico (NP), por la poca presencia de finos, lo cual influye en el bajo porcentaje de absorción.

Tabla 4. Comportamiento del material granular tipo subbase

PROPIEDAD	SIN ADITIVO	
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	8,00	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm ³)	2,04	
HUMEDAD (%)	55 GOLPES	7,68
	26 GOLPES	7,70
	12 GOLPES	7,29
PESO UNITARIO (g/cm ³)	55 GOLPES	2,07
	26 GOLPES	2,00
	12 GOLPES	1,84
CBR	70,67%	

El material presenta un CBR adecuado según las exigencias del INVIAS para una subbase, puesto que tiene un CBR de 70,67% mayor que los requerimientos de la norma (20%, 30% o 40% mínimo).

COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA DE MATERIAL GRANULAR Y DESECHO DE PVC

Teniendo en cuenta que el material granular cumple con las exigencias de una subbase para conformar estructuras de un pavimento, y con el fin de observar los cambios que produciría el adicionar desecho de PVC en su comportamiento, específicamente en su resistencia, se realizaron mezclas de diferentes proporciones de material natural y desecho (1%, 3% y 5%).

Las diferentes proporciones correspondían al porcentaje en peso de aditivo con respecto al peso

total de la muestra. Se desarrolló un estudio comparativo para determinar los efectos que produce el PVC en el CBR del material y en el peso unitario del material granular, haciendo observaciones adicionales en el laboratorio, como cambios en plasticidad, color, etc.

En la tabla 5, se pueden observar los resultados finales calculados con base en el ensayo de CBR para cada porcentaje de aditivo. De la misma manera, la figura 3 presenta el análisis comparativo del CBR para el material sin adición y del material mezclado en los porcentajes mencionados (1, 3 y 5 % de desecho de PVC). La figura 4 presenta el análisis comparativo del peso unitario obtenido para el material natural y mezclado.

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.

Tabla 5. Análisis comparativo de las propiedades del material granular tipo subbase sin aditivo y con aditivo

PROPIEDAD	No. GOLPES	SIN ADITIVO	CON 1 %	CON 3 %	CON 5%
HUMEDAD (%)	55	7,68	6,85	7,89	6,48
	26	7,70	6,72	7,45	7,56
	12	7,29	6,18	7,38	7,23
PESO UNITARIO (g/cm ³)	55	2,07	2,08	1,99	2,04
	26	2,00	1,97	1,96	1,96
	12	1,84	1,95	1,86	1,84
CBR (%)		70,67	40,79	106,67	129,97

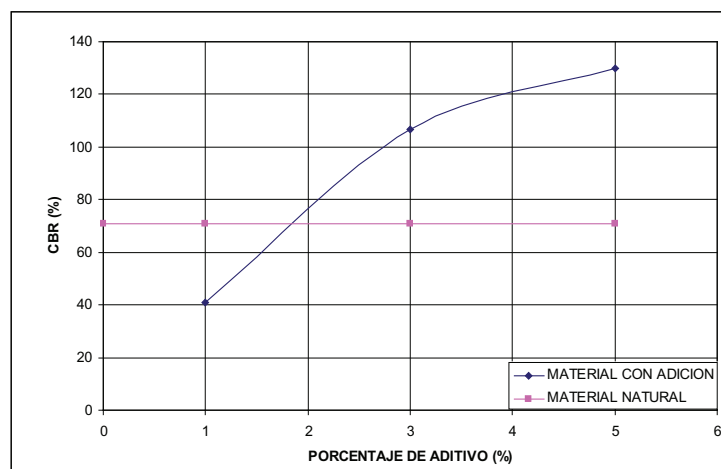


Figura 3. Porcentaje de CBR contra porcentaje de aditivo para las diferentes proporciones utilizadas

Como se observa en la figura 3, el comportamiento del material granular (tipo subbase) estabilizado mejora su resistencia en comparación con el original, al adicionar el 3% y 5% de desecho de PVC. En el caso de la adición de 1%, se obtuvo un CBR inferior al obtenido con el material granular tipo subbase natural, posiblemente porque en este caso se genera algún tipo de reacción química. Con el 1.8% se observa un CBR equivalente al del material natural incrementándose a partir de este valor.

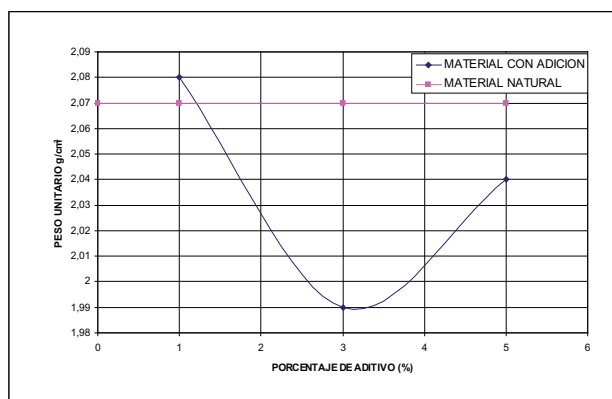


Figura 4. Peso unitario obtenido para cada proporción de desecho de PVC utilizado

En el caso del peso unitario, para la mayoría de las muestras disminuyó, haciéndose más notorio en los porcentajes de 3 y 5% y más significativo en el de 3%.

De la misma forma que en la figura 3, existe un porcentaje de aditivo de 1.2%, para el cual el peso unitario es igual al de la muestra original, siendo este el valor donde comienza a influir el aditivo en las propiedades del material.

Se puede analizar que con el uso del aditivo tiende a disminuir el peso unitario sin que esto perjudique la resistencia del material, por lo contrario, se genera una relación inversamente proporcional:

mientras los pesos unitarios disminuyen la resistencia aumenta. Gracias a esto se obtiene un material más ligero pero con mayor resistencia.

De las mezclas realizadas, se puede observar que con un porcentaje de adición de desecho de PVC de 3% se presentó el mayor aumento de resistencia y el menor valor de peso unitario, lo que podría indicar que este es un porcentaje óptimo o el más cercano a este.

CONCLUSIONES

El desecho de PVC se cataloga como un producto resistente que no se ve afectado por humus, líquidos corrosivos, soluciones ácidas, soluciones básicas, soluciones salinas, solventes y productos químicos; además, es resistente a las agresiones producidas por el ambiente.

Las características propias del material estudiado proporcionan al suelo estabilizado, un mejor comportamiento ante los ataques que enfrenta cuando es usado para conformar estructuras de pavimentos.

En el desarrollo del proyecto se determinó que el aditivo de desecho de PVC mejora el CBR de un material granular tipo subbase a partir del 1.8%, caso en el cual mantiene las propiedades originales.

Cuando se utilizaron porcentajes iguales o mayores al 3%, la resistencia aumentó y el peso unitario disminuyó.

La mezcla analizada de material granular y desecho de PVC, cumplió con los requerimientos de resistencia exigidos en pavimentos y proporciona una superficie de apoyo a la base granular o a la losa de concreto y aligera el peso que debe soportar la subrasante.

BIBLIOGRAFÍA

- ABRIL, N. & CASTRILLÓN, L. 1993. Estabilización de recebos con emulsiones asfálticas: una alternativa expedita para producir bases competentes. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D. C. Trabajo de Grado. 105 p.
- AGUIRRE, C. & VELEZ, M. 2005. Estabilización de subbases granulares empleando desecho de PVC. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá D. C. Trabajo de Grado. 94 p.
- AMAYA, C., RODRÍGUEZ, G. & VALDEZ, J. 1978. Estabilización de suelos con cal y ceniza. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D. C. Trabajo de Grado. 140 p.
- AREIZAGA, J., CORTAZAR, M. & ELORSA, J. 1992. Polímeros. Madrid: Editorial Síntesis. 356 pp.
- BARRAGAN, N. & CONTRERAS, Y. 1994. Estabilización de materiales granulares marginales con crudo de castilla. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D. C. Trabajo de Grado. 125 p.
- CAICEDO, L. & HERRERA, O. 2004. Estudio del comportamiento de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá D. C. Trabajo de grado. 77 p.
- GÓMEZ, R., MORENO, C. & REYES, H. 1983. Estabilización de materiales con aditivos convencionales y no convencionales. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D. C. Trabajo de Grado. 140 p.
- GONZALEZ, L., CARDENAS, J. & PARRADO, G. 2001. Materiales de construcción para la Sabana de Bogotá. Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero-Ambiental y Nuclear. INGEOMINAS. Bogotá D. C. 60 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. 2002. Normas para ensayos de materiales para carreteras. V I y II. Bogotá. D. C. INVIAS.
- LAMBE, W. & WHITMAN, R. 1999. Mecánica de suelos. México D. F. Limusa. 250 pp.
- MENDIVIL, J., ORTIZ, V. & PINEDA, J. 1981. Características de resistencia y compresibilidad de suelos granulares. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D. C. Trabajo de Grado. 126 pp.
- MONTEJO, A. 1998. Ingeniería de pavimentos para carreteras. Universidad Católica de Colombia. Bogotá D. C. 76 pp.
- PETCO S. A. [En línea]. Bogotá D. C. (Citado, 26 de Julio de 2005). Disponible internet <<http://www.petco.com.co>>.
- PLASTUNIVERS [En línea]. España (Citado, 26 de Julio de 2005). Disponible internet <<http://www.plastunivers.com>>.
- RICO, A. & DEL CASTILLO, H. 1976. La Ingeniería de suelos en las vías terrestres. México, Limusa. V I y V II.
- ROMERO, C. & ALFONSO, E. 1986. Estabilización de Suelos con aceites sulfonados. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D. C. Trabajo de Grado. 88 p.
- ROSAS, L. & SARMIENTO, R. 1997. Estabilización de suelos con Huansoco (Látex). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D. C. Trabajo de Grado. 144 p.
- THE UNIVERSITY OF SOUTHERN MISSISSIPPI. Los polímeros en persona. [En línea]. E.E.U.U. (Citado, 26 de Julio de 2005). Disponible internet <<http://www.psrc.usm.edu/spanish/pvc.htm>>.
- VEGA, F. & MARTÍNEZ, O. 2005. Conformación de bases o subbases en pavimentos empleando estériles de carbón. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá D. C. Trabajo de Grado. 104 pp.
- ZAPATA, E. 1976. Polímeros. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Humanas. Bogotá D. C. Trabajo de Grado. 283 pp.