

# STUDY OF ALTERNATIVE MATERIALS FOR MODIFIED ASPHALT BASES GRANULAR AND CONCRETE WASTE PVC.

## ESTUDIO DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA MODIFICAR ASFALTO, BASES GRANULARES Y CONCRETO CON DESECHO DE PVC.

L. Moreno

Facultad de Estudios a Distancia, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

[Luis.moreno@unimilitar.edu.co](mailto:Luis.moreno@unimilitar.edu.co)

D. Rodríguez

Universidad Politécnica de Valencia, España

[darodur@cam.upv.es](mailto:darodur@cam.upv.es)

### RESUMEN

A nivel mundial diferentes tipos de edificaciones necesitan grandes cantidades de materiales naturales para llevar a cabo su construcción, con el paso del tiempo estos recursos se han disminuido notoriamente, mostrando resultados desfavorables para el medio ambiente a nivel mundial, siendo una de las principales preocupaciones futuras en el mundo. En los últimos años el Grupo de Investigación de Pavimentos y Materiales de Ingeniería de la Universidad Católica de Colombia, ha venido investigado sobre Materiales Alternativos (productos de reciclaje de procesos industriales, de la construcción y la minería) como desecho de PVC, caucho molido, asfaltita, aceite quemado entre otros. El desecho de PVC uno de los materiales alternativos investigados es un producto proveniente de las industrias, no biodegradable, y altera los sistemas biológicos y físicos del medio ambiente, por lo cual se quiere dar a conocer la utilidad que se puede obtener del desecho para modificar asfaltos, bases granulares y concretos mostrados en el artículo a presentar.

**KEY WORDS:** Desecho De PVC, Asfaltos, Bases Granulares, Concreto.

### ABSTRAC

World-wide, various types of constructions need great amounts of natural materials in order to carry out their construction; as time goes by, these resources have notoriously been diminished, showing unfavorable results for the environment at global level, being it one of the future worries in the world. In latter years, the Pavement and Engineering Research Group of the Universidad Católica de Colombia, has been researching on Alternative Materials (recycling products from industrial processes, from construction and from mining) such as, PVC waste, ground rubber, asphaltene, burn oil – amongst others. PVC waste, one of the alternative materials investigated, is a – non-biodegradable – product coming from industries and it alters biologic and physic systems of the environment, for this reason, it is wished to let be known the usefulness that can be obtained from waste for modifying asphalt, granular bases and concrete, shown in the article to be presented.

### INTRODUCCION

A nivel mundial se han realizado diferentes investigaciones sobre materiales productos de reciclaje, llamado en este artículo, materiales alternativos, con el fin de llegar a mejorar como mínimo una parte del funcionamiento a nivel de estructura vial. Esto es realizado mediante el mejoramiento de las propiedades del asfalto y mezclas asfálticas,

las bases y subbases granulares y por último de los concretos con los diferentes materiales alternativos entre esos se puede encontrar, desecho de PVC, aceite quemado, icopor, ceniza volante, asfaltita entre otros materiales productos del reciclaje; así se disminuirá el impacto que esos materiales están causando a nivel mundial en el ambiente, como es el caso de los neumáticos.

Este artículo quiere dar a conocer las investigaciones realizadas en los últimos 10 años por 5 universidades de Bogotá, Colombia, D.C. con un material específico, el cual es el desecho de PVC, producto que si no es recuperado o es utilizado, se puede convertir en una amenaza para la naturaleza. A su vez se quiere que las condiciones de los asfaltos, bases granulares y concretos mejore su capacidad a la hora de ser utilizados en la infraestructura vial, por tal motivo se muestran algunos resultados obtenidos de los laboratorios realizados con estos materiales. Para la evaluación de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas se empleó el ensayo Marshall y en algunas investigaciones ensayos de caracterización dinámica como son el módulo dinámico y la resistencia a las deformaciones permanentes. Para el cemento asfáltico con y sin aditivo se realizaron ensayos de caracterización de asfaltos como penetración, punto de ablandamiento, flotación y viscosidad. En el caso de las bases y subbases granulares realizaron los ensayos de CBR en condiciones secas y resistencia a la compresión y en algunos casos límite de contracción. Por último para el concreto realizaron el ensayo de resistencia a la compresión variando el porcentaje del aditivo en este caso. Desecho de PVC

### **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES (MD) MODIFICANDO EL CEMENTO ASFÁLTICO CON DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO (PVC).**

Montealegre y Salazar (2005), evaluaron la influencia que tiene adicionar un desecho de policloruro de vinilo (PVC) sobre mezclas drenantes (MD), cuando se modifica el cemento asfáltico (CA) por vía húmeda (el desecho se mezcla con el CA a alta temperatura). Para tal fin, realizaron ensayos Cantabro sobre muestras en estado seco y tras inmersión. Las mezclas fueron fabricadas empleando CA 60-70 proveniente de la refinería de ECOPEL en Apia. Inicialmente la fase experimental se desarrolló para determinar el porcentaje óptimo de CA el cual fue de 4.2%. Sobre este porcentaje de CA fue adicionado 0.5, 1.0 y 1.5% de desecho de PVC por vía húmeda con respecto a la masa total de la muestra. La temperatura de mezclado del PVC con el CA fue de 180 °C. Adicionalmente se realizó el mismo estudio aumentando en 0.3% y rebajando en 0.5% el porcentaje óptimo de CA.

Los resultados de la investigación se presentan en las Figuras 1-2 para muestras ensayadas en estado seco y tras inmersión respectivamente. Se observa que al adicionar desecho de PVC, los valores de desgaste de las mezclas modificadas obtenidos en el ensayo Cantabro son mayores con respecto a la mezcla convencional (aquella que no modifica las propiedades del CA original), y a medida que se aumenta el contenido de CA los valores disminuyen. Estos resultados muestran que el desecho de PVC disminuye la resistencia al desgaste de las MD cuando se adiciona por vía húmeda al CA. Sin embargo, los investigadores resaltan la necesidad de continuar las investigaciones utilizando menor contenido de PVC con respecto al CA, ya que tal vez los resultados presentados son producto de emplear una alta cantidad de PVC.



|          |            |    |       |        |      |       |        |      |      |       |
|----------|------------|----|-------|--------|------|-------|--------|------|------|-------|
| Original | Polímero 1 | 84 | 73    | 66.5   | 79   | 73.5  | 74.5   | 77   | 75   | 81    |
|          | Polímero 2 |    | 64.5  | 61     | 61   | 62.5  | 68.5   | 72   | 86.5 | 84.5  |
| RTFO     | Polímero 1 | 57 | 46.5  | 40     | 46.5 | 40.5  | 59     | 49   | 46   | 45.5  |
|          | Polímero 2 |    | 38.5  | 36     | 35   | 33    | 41     | 44   | 58   | 49.5  |
| PAV      | Polímero 1 | 19 | 24.5* | 19.5*  | 17** | 19.5* | 30.5*  | 22*  | 21*  | 23.5* |
|          | Polímero 2 |    | 15**  | 16.5** | 16** | 15**  | 15.5** | 17** | 26*  | 23*   |

\* Es probable que se presente alguna fisura.

\*\* Alto riesgo a sufrir fisuras.

Fuente: Lozano (2005)

En las Figuras 3-6 se observa el desempeño de cada una de las mezclas realizadas para el polímero 1 y 2 a través del tiempo, y se ve que en todos los casos el mejor desempeño se logró con el uso de 5% y 7% en peso. Para el caso de 3% y 9% no se tiene efectos positivos en el asfalto, especialmente con el envejecimiento PAV, sería preferible no modificarlo.

Figura 3. Comportamiento reológico del asfalto sin envejecer y del RTFO a distintos porcentajes de mezcla, para el polímero 1.

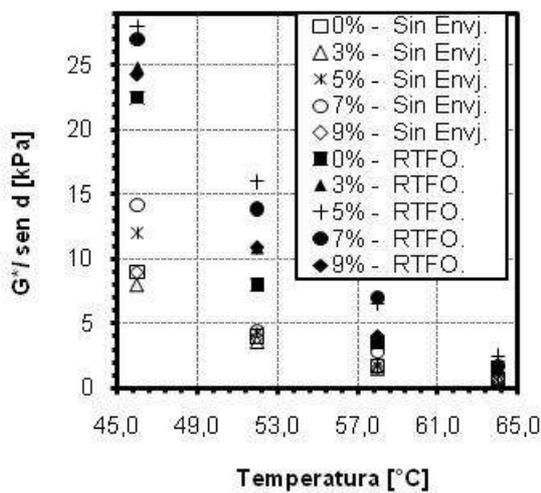


Figura 4. Comportamiento reológico del asfalto pav a distintos porcentajes de mezcla, para el polímero 1.

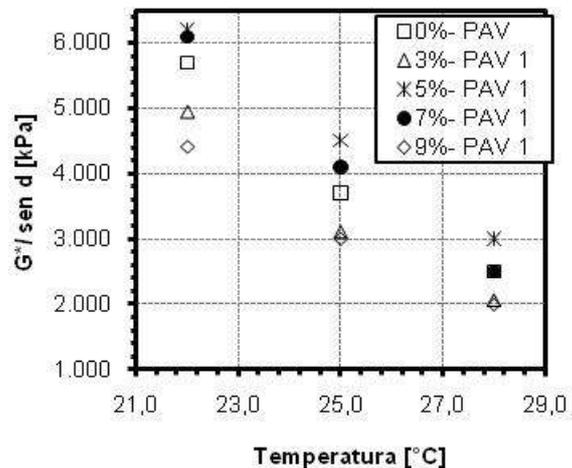
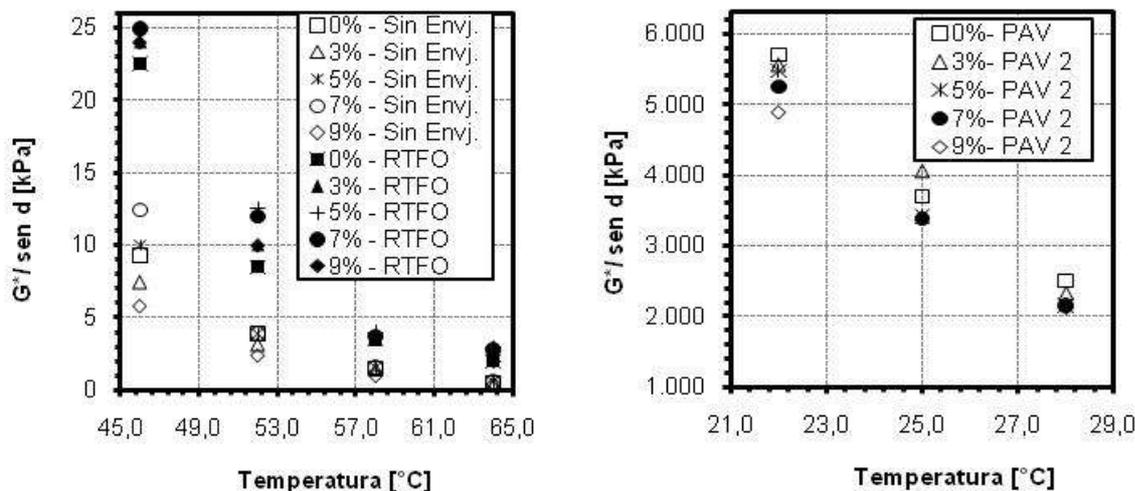


Figura 5. Comportamiento reológico del asfalto sin envejecer y del rtfo a distintos porcentajes de mezcla, para el polímero 2.

Figura 6. Comportamiento reológico del asfalto sin envejecer y del rtfo a distintos porcentajes de mezcla, para el polímero 2.



Fuente: Lozano (2005)

### CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE MODIFICADA CON DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO (PVC).

Ojeda et al. (2008), evaluaron el cambio que experimentan las propiedades mecánicas de mezclas densas en caliente tipo MDC-2 (de acuerdo con las especificaciones INVIAS, bajo carga monótonica y dinámica, cuando se adiciona un desecho de policloruro de vinilo (PVC) al cemento asfáltico (CA) por vía húmeda (el desecho se mezcla con el CA a alta temperatura) y al agregado pétreo por vía seca (se reemplaza parte del filler mineral por el aditivo).

El cemento asfáltico utilizado para la elaboración de las briquetas proviene de la planta de la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL) en Barrancabermeja. El desecho de PVC proviene de la empresa Mexichem Resinas Colombia S.A. y presenta una densidad de 0.9 g/cm<sup>3</sup> con partículas de coloración blanca que pasan el tamiz No. 200 en un ensayo de granulometría.

La temperatura de mezclado del cemento asfáltico con el PVC estuvo entre 100-120°C y el tiempo de mezclado fue de 30 minutos. Las temperaturas de mezcla del CA modificado con el agregado pétreo y de compactación fueron obtenidas con base en los resultados del ensayo de viscosidad. Inicialmente la fase experimental se desarrolló para determinar el porcentaje óptimo de CA el cual fue de 6.5%. Sobre este porcentaje de CA fue adicionado 0.5, 1.0 y 1.5% de desecho de PVC por vía húmeda, y 2.0, 4.0 y 6.0% por vía seca con respecto a la masa total de la muestra. Adicionalmente se realizó el mismo estudio disminuyendo en 0.5% el porcentaje óptimo de CA.

Las Figuras 7-10 presentan la influencia del PVC sobre los valores de estabilidad y relación estabilidad – flujo (llamada por algunos investigadores como rigidez Marshall, y puede ser entendida como una resistencia mecánica evaluada en el estado de falla de las mezclas, bajo carga monótonica en un ensayo de tracción indirecta) para las mezclas modificadas por vía húmeda (Figuras 57-58) y seca (Figuras 59-60). En comparación con la mezcla asfáltica convencional, las modificadas por vía húmeda con 6.0 y 6.5% de

cemento asfáltico presentan valores superiores de estabilidad y rigidez Marshall para cualquier porcentaje de PVC adicionado (ver Figuras 54 y 55 respectivamente).

La estabilidad de las mezclas disminuye con el porcentaje de adición de PVC, mientras que la rigidez Marshall aumenta entre 0.5 y 1.0% de adición, y luego disminuye cuando se adiciona 1.5%. Los mayores valores de estabilidad de las mezclas modificadas se obtienen cuando se adiciona 0.5% y 1.0% de PVC al 6.0% y al 6.5% de CA respectivamente.

En estos porcentajes de CA y PVC, el incremento de estabilidad alcanzado por las mezclas modificadas fue de 35.3% y 29.4%. Los mayores valores de rigidez Marshall de las mezclas modificadas se obtienen cuando se adiciona 1.5% de PVC al 6.0% y al 6.5% de CA. En estos porcentajes de CA y PVC, el incremento de rigidez Marshall alcanzado por las mezclas modificadas fue de 9.5% y 42.3% respectivamente.

Figura 7. Estabilidad vs. Porcentaje de pvc adicionado por vía húmeda

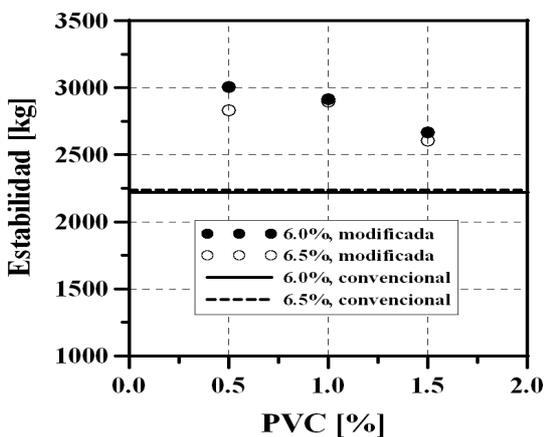
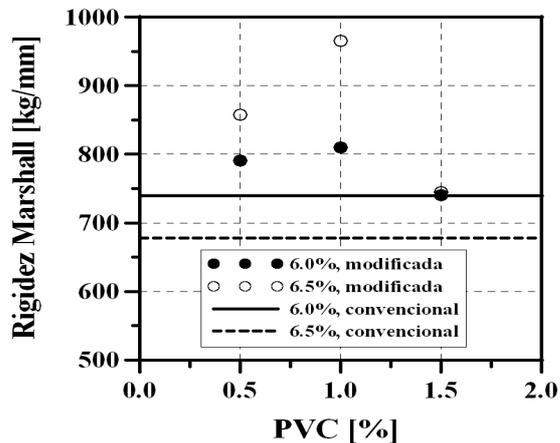


Figura 8. Rigidez marshall vs. Porcentaje de pvc adicionado por vía húmeda



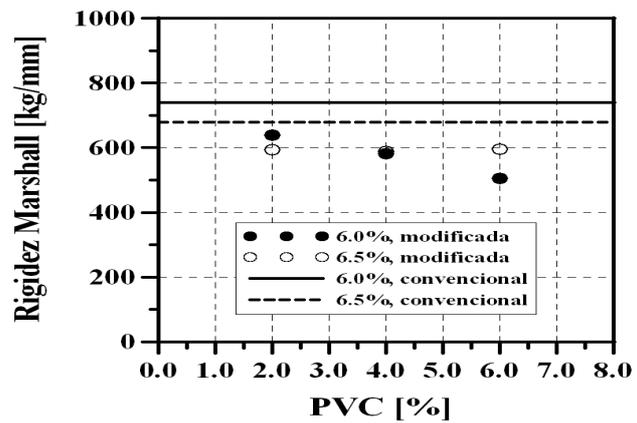
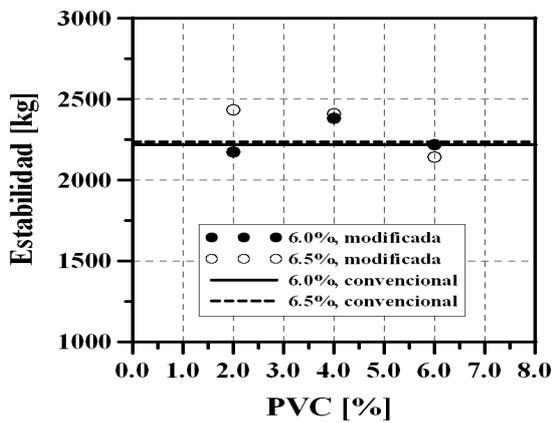
Fuente: Ojeda et al. (2008)

Cuando la modificación de las mezclas se realiza por vía seca, el aumento en la estabilidad se obtiene, en comparación con las mezclas convencionales, cuando (ver Figura 9): Se sustituye filler por PVC entre 2.0 y 4.0%, y se emplea 6.5% de CA y Se sustituye filler por PVC en un 4.0%, y se emplea 6.0% de CA.

El mayor valor de incremento en la estabilidad (8.8%) se obtiene cuando se sustituye un 2.0% de filler por PVC en la mezcla y se utiliza 6.5% de CA. La rigidez Marshall de las mezclas modificadas por vía seca es menor en comparación con las convencionales para cualquier porcentaje de CA y de filler sustituido por PVC (ver Figura 60).

Figura 9. Estabilidad vs. Porcentaje de PVC adicionado por vía seca

Figura 10. Rigidez marshall vs. Porcentaje de PVC adicionado por vía seca.



Fuente: Ojeda et al. (2008),

Con base en los datos presentados en las Figuras 7-10, se puede inferir que el mejor comportamiento de las mezclas modificadas se obtiene cuando se adiciona por vía húmeda PVC entre 0.5 y 1.5% al 6.5% de asfalto.

En las Figuras 11-13 se observa la evolución del módulo dinámico con la frecuencia de carga y la temperatura. Los resultados presentados en las Figuras corresponden a mezclas fabricadas con 6.5% de CA (convencionales), 6.5% de CA y 1.0% de PVC (modificadas por vía húmeda) y 6.5% de CA y 2.0% de PVC (modificada por vía seca). En las Figuras, se observa que el módulo incrementa cuando se modifica el asfalto por vía húmeda. El incremento varía dependiendo de la temperatura del ensayo:

- Para una temperatura de 10°C, el módulo incrementa entre 17 y 23% con respecto a la mezcla convencional (Figura 61).
- Para una temperatura de 20°C, el módulo incrementa entre 49 y 80% con respecto a la mezcla convencional (Figura 62).
- Para una temperatura de 30°C, el módulo de la mezcla modificada es entre 2.0 y 3.5 veces mayor que el alcanzado por la mezcla convencional (Figura 63).

Cuando la mezcla se modifica por vía seca y la temperatura del ensayo es de 10°C, se observa en la Figura 61 que el módulo disminuye alcanzando valores entre 79 y 90% del obtenido por las mezclas convencionales. Para el caso de temperaturas de ensayo de 20°C y 30°C (Figuras 62 y 63 respectivamente), el módulo de las mezclas modificadas por vía seca tienden a presentar valores similares pero ligeramente mayores a aquellos obtenidos por la mezcla convencional.

En la Figura 14 se observa que la resistencia a la deformación permanente de las mezclas modificadas por vía húmeda y seca es mayor que las convencionales. A pesar que las mezclas asfálticas modificadas por vía húmeda experimentan mayor rigidez Marshall y módulo dinámico que las modificadas por vía seca, la resistencia a la deformación permanente de ambas es similar.

Figura 11. Evolución del módulo dinámico con la frecuencia de carga para 10°C.

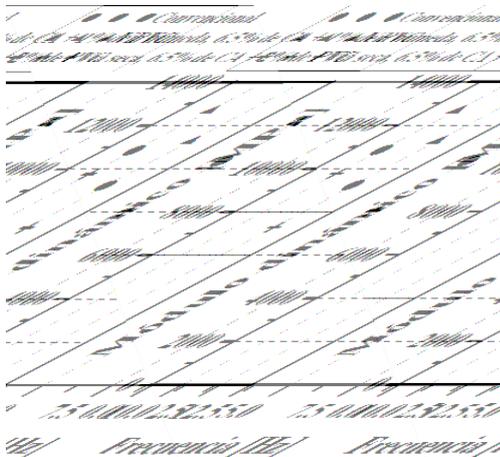


Figura 12. Evolución del módulo dinámico con la frecuencia de carga para 20°C.

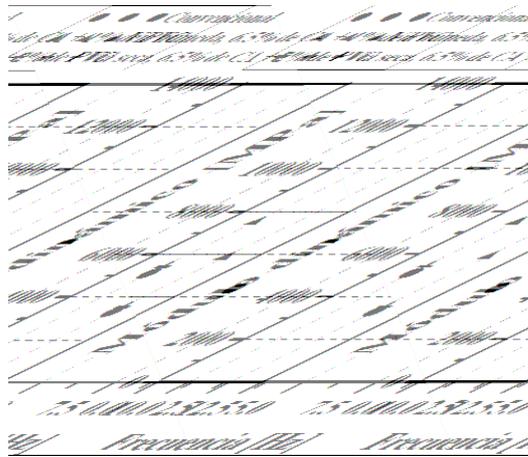


Figura 13. Evolución del módulo dinámico con la frecuencia de carga para 30°C.

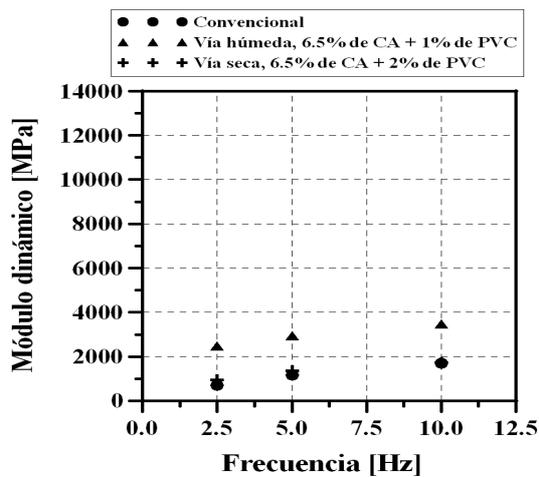
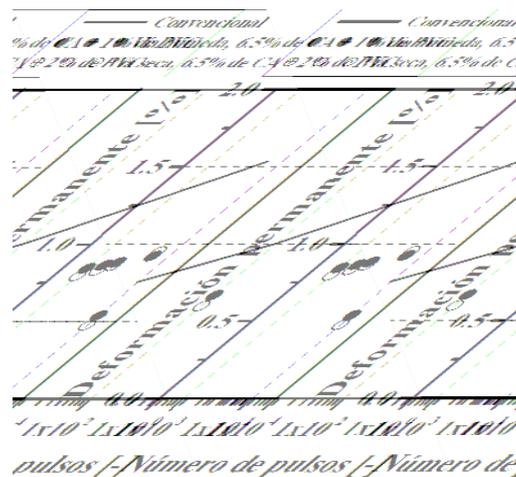


Figura 14. Evolución de la deformación permanente con el número de pulsos de carga.



Fuente: Ojeda et al. (2008)

En la Figura 15 se observa que el asfalto modificado presenta una resistencia a la penetración superior con respecto al convencional para cualquier porcentaje de CA y PVC, y aumenta conforme se incrementa la adición de PVC al CA. La mayor resistencia a la penetración se obtiene cuando se adiciona PVC al 6.0% de CA. El punto de ablandamiento y la viscosidad incrementan cuando se adiciona por vía húmeda PVC al CA (Figuras 66 y 67 respectivamente). El incremento en la resistencia a la penetración, el punto de ablandamiento y la viscosidad de los asfaltos modificados con PVC permiten predecir menor ahuellamiento de las mezclas a altas temperaturas de servicio en comparación con las convencionales.

Una descripción más detallada de los resultados de la investigación puede ser consultada en Ojeda et al. (2008).

Figura 15. Evolución de la penetración con la adición de pvc al ca por vía húmeda.

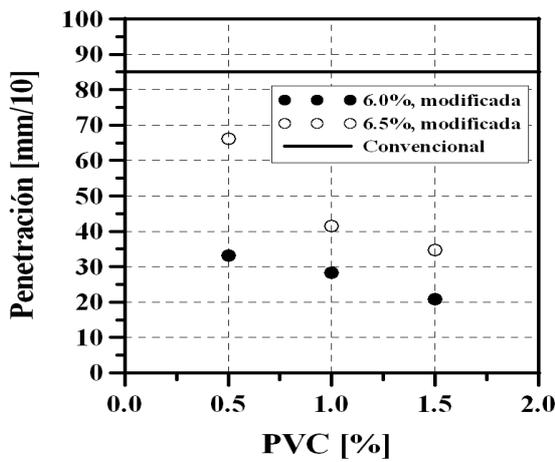


Figura 16. Evolución del punto de ablandamiento con la adición de pvc al ca por vía húmeda.

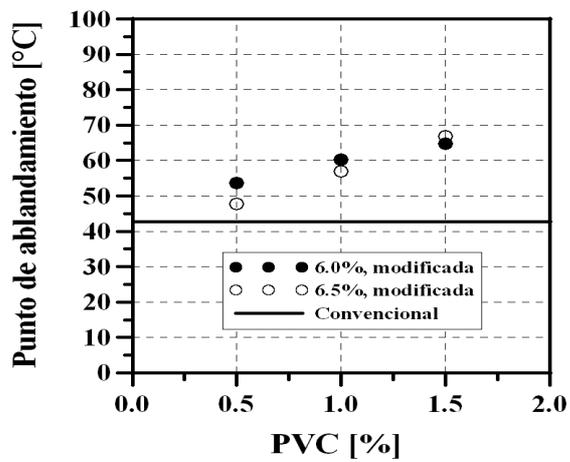
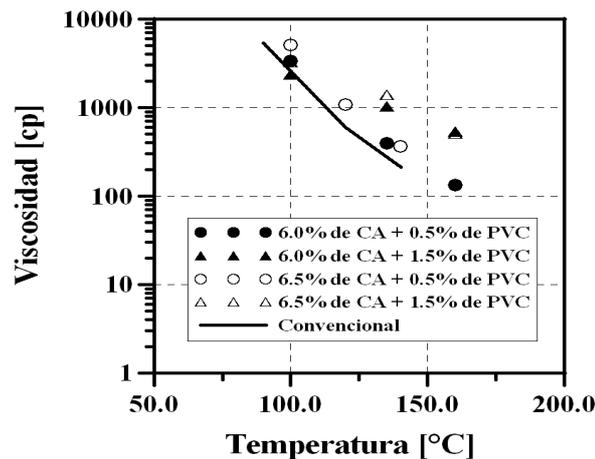


Figura 17. Evolución de la viscosidad con la temperatura para diferentes porcentajes de ca y pvc.



Fuente: Ojeda et al. (2008),

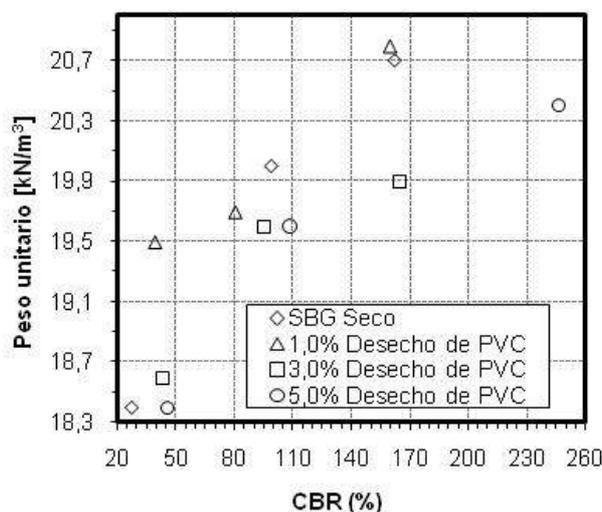
## ESTABILIZACIÓN DE SUBBASES GRANULARES EMPLEANDO DESECHO PVC

Vélez y Aguirre (2005), evaluaron la influencia que tiene el incluir al material pétreo desecho de PVC en porcentajes de 1, 3 y 5% respecto al peso total de la muestra. Para tal fin realizaron los ensayos de CBR en condiciones secas y límite de contracción.

En la Figura 18 se observa el comportamiento que tiene el CBR para el material granular convencional y el modificado con el desecho de PVC, en condiciones secas. Para el caso de los pesos unitarios en la mayoría de la muestras disminuye ante la presencia del aditivo, haciéndose más notorio en los porcentajes de 3 y 5% de adición de desecho de PVC.

Se puede concluir que el material granular cuando se agrega desecho de PVC presenta un mejor comportamiento entregando valores superiores con respecto al material convencional, al parecer se podría decir que en el proceso de compactación la fricción que se genera entra partículas ocasiona que material de desecho se funda logrando que el material granular se ligue.

Figuras 18. Resultados de cbr en estado seco con diversos porcentajes de pvc.



Fuente: Vélez y Aguirre. (2005)

En el ensayo de límite de contracción se ven los resultados en la Tabla 31, con base en los ensayos se concluyó, que la adición de PVC en la subbase hace que su límite de contracción disminuya por lo que debe perder menos humedad antes de tener un comportamiento sólido bajo esfuerzos constantes. Si bien el desecho de PVC aumenta el porcentaje de cambio volumétrico, se demostró que en la adición de 3%, este incremento no es muy alto con respecto al material natural. Se puede decir que el comportamiento del material mejora con respecto al convencional.

Tabla 2. Ensayo de límite de contracción, relación de contracción y cambio volumétrico.

| Característica          | Natural | Aditivo 1% | Aditivo 3% | Aditivo 5% |
|-------------------------|---------|------------|------------|------------|
| Límite Contracción (%)  | 15,94   | 10,86      | 13,69      | 5,11       |
| Relación de Contracción | 1,82    | 1,93       | 1,75       | 1,66       |
| Cambio Volumétrico (%)  | 15,94   | 23,08      | 18,52      | 20,77      |

Fuente: Vélez y Aguirre. (2005)

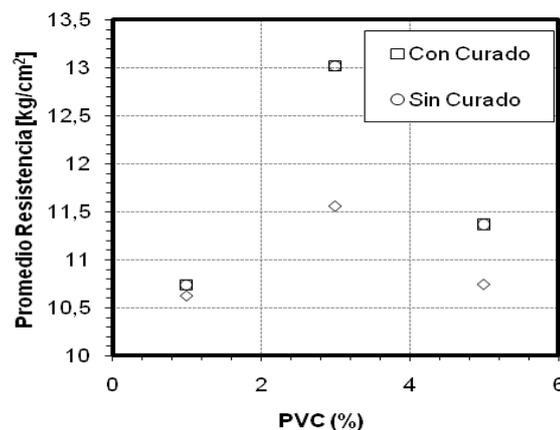
## ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE UNA MEZCLA DE MATERIAL PARA SUBBASE GRANULAR Y DESECHO DE PVC

Pérez (2006,) evaluó la influencia que tiene al adicionar al material pétreo desecho de PVC en porcentajes de 1, 3 y 5% respecto al peso total de la muestra. El material granular corresponde a tipo subbase proveniente de la Cantera Panama Tesoro y el desecho de PVC de PETCO S.A. Para tal fin realizaron los ensayos de CBR, y el más representativo en la investigación Resistencia a la Compresión Simple.

La caracterización realizada al material granular presentó que no cumplen con los parámetros exigidos por el INVIAS 2005 según el ensayo de Desgaste en la Máquina de los Angeles y de solidez, ya que reportó valores de 52% y 13.37% respectivamente y establecen que el valor máximo debe ser de 50% y 12%.

En la Figura 19 se observa los resultados del ensayo de resistencia mostrando que el peso unitario disminuye considerablemente cuando se adiciona al material granular porcentajes de 1 y 5% de desecho de PVC, tanto para la muestra curada a los 7 días como sin curar.

Figura 19. Resultados de resistencia a la compresión simple



Fuente: Pérez (2006)

## UTILIZACIÓN DE DESECHO PLÁSTICO COMO AGREGADO PÉTREO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS

Reyes, (2004), evaluó la influencia que tiene al adicionar PVC en diferentes porcentajes como reemplazo del agregado pétreo.

La resistencia de diseño 210 kg/cm<sup>2</sup> (3000 psi) a los 28 días y un asentamiento de 8.0cm (3"). Para tal fin realizaron el ensayo de resistencia a la compresión.

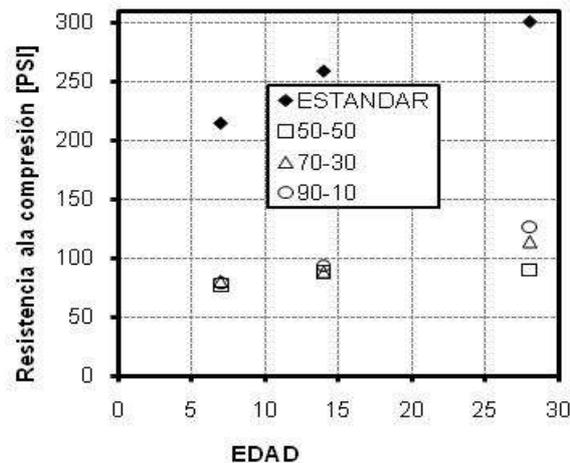
Las combinaciones manejadas fueron las siguientes:

- (50%PVC-50%AG) se reemplazó el 50% del agregado grueso por el material polietileno

- (30%PVC-70%AG) se reemplazó el 30% del agregado grueso por el material polietileno.
- (10%PVC-90%AG) se reemplazó el 10% del agregado grueso por el material polietileno

Los resultados del ensayo a compresión se pueden apreciar en la Figura 134 encontrando una mayor resistencia a la compresión cuando se modifica (10%PVC-90%AG) a los 28 días con un resistencia de 126.64 psi, aunque ninguna mezcla modificada supera el valor convencional obteniendo un 50% menos de resistencia con respecto al convencional.

Figura 20. Ensayo de resistencia a la compresión para las diferentes mezclas



Fuente: Reyes, L.F. (2004)

## EVALUACIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO MODIFICADO CON ADICIÓN DE DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO, (PVC).

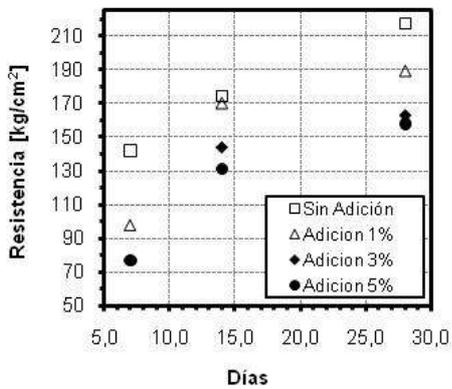
Morales y Giraldo (2006), evaluó la influencia que tiene al adicionar al concreto un polímero en este caso Desecho de Policloruro de Vinilo (PVC) el cual tiene una presentación en polvo y se agregó en porcentajes de 1.3 y 5 % con respecto al peso total del agregado, con el fin de obtener un concreto con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> (3000 psi) a los 28 días.

Para tal fin realizaron el ensayo de resistencia a la compresión fallado a 7, 14 y 28 días.

En la Figura 21y 22 muestra los resultados arrojados por el ensayo de resistencia curado en tanque de agua y cuarto húmedo. Obteniendo que ambos casos la resistencia es menor al valor obtenido sin ninguna adición, encontrando que el valor que más se acerca a obtener una resistencia de 10 kg/cm<sup>2</sup> por los diseños es al adicionar 1% de PVC para ambos casos, aunque no alcanza a cumplir el valor para el cual fue diseñado.

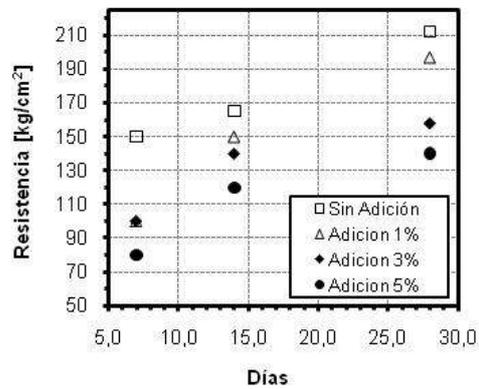
Al adicionando PVC su resistencia va disminuyendo con respecto a los otros diseños de mezcla.

Figura 21. Ensayo de resistencia a la compresión en tanque de agua con las respectivas adiciones de pvc



Fuente: Morales y Giraldo (2006)

Figura 22. Ensayo de resistencia a la compresión en cuarto húmedo con las respectivas adiciones de pvc



Fuente: Morales y Giraldo (2006)

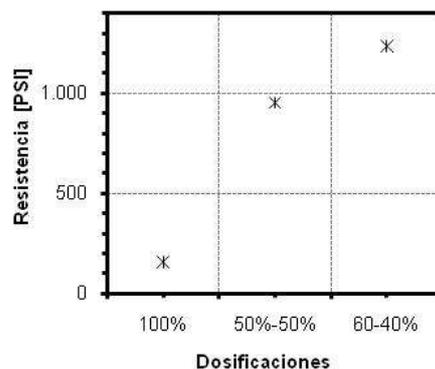
### CONCRETO HIDRÁULICO MODIFICADO CON PARTÍCULAS DE PVC RECICLADO

Roa, et, al. (2006), evaluaron la influencia que tiene al adicionar al concreto desecho de PVC, reemplazando los agregados finos por partículas de PVC reciclado. La fase experimental del proyecto inicia con la determinación del porcentaje de absorción del PVC el cual fue 1.01%. Posterior a esto se realizaron tres diferentes mezclas de mortero con una relación A/C de 0,485 cada una con una proporción diferente de PVC, como se describe a continuación:

- 100% de PCV
- 50% de PVC + 50% de arena
- 40% de PVC + 60% de arena

Como ensayo de caracterización realizaron el ensayo de compresión de cubos, estas muestras estuvieron tras inmersión durante 24 horas, transcurrido el tiempo pasaron inmediatamente a ser ensayados en la máquina obteniendo los resultados mostrados en la Figura 23 en el cual se observa que el ensayo más favorable pertenece a la mezcla en que la proporción del agregado fino se cambió en un 40% por partículas de PVC, obteniendo como resultado 1236 psi.

Figuras 23. Ensayo de resistencia a la compresión en cubos

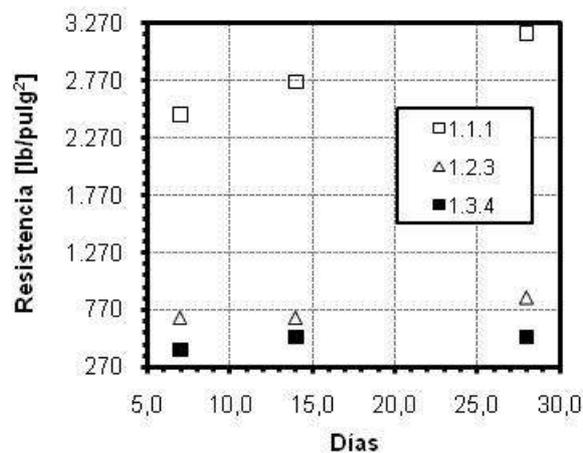


Fuente: Roa, E.A, et, al. (2006)

Determinaron la resistencia a la compresión de los cilindros realizando tres mezclas diferentes, con el fin de que obtengan la mezcla más favorable en el momento de aplicar esa clase de concreto.

Las proporciones que utilizaron fueron 1:1:1, 1:2:3 y 1:3:4, para realizar el ensayo de asentamiento y resistencia a la compresión. Con respecto al ensayo de asentamiento la mezcla con proporción 1:3:4 se desmorono rápidamente debido a que contenía un alto porcentaje de PVC y poco cemento, por lo tanto era una mezcla difícil de compactar y manejar. Con respecto al ensayo de compresión en la Figura 24 se observa que la mezcla que obtuvo los resultados esperados fue 1:1:1, obteniendo una resistencia de 3184 psi a los 28 días. Para los demás diseños estuvo la resistencia por debajo de 884 psi.

Figuras 24. Ensayo de resistencia a la compresión a diferentes mezclas



Fuente: Roa, E.A, et, al. (2006)

## CONCLUSIONES

El desecho de Policloruro de vinilo es catalogado como un material resistente ante cualquier esfuerzo, encontrando un buen desempeño al modificar el asfalto con 5 y 7% de desechos de policloruro de vinilo (PVC) reciclado de cables, para cualquiera de los casos presentados. Para el 3% y 9% no tiene un buen efecto en el asfalto, sobre todo con el envejecimiento PAV.

El desecho de PVC disminuye la resistencia al desgaste de las MD cuando se adiciona por vía húmeda al CA.

Una Mezcla densa en caliente al ser modificada con 1.5% de desecho de PVC al 6.0% y al 6.5% de CA se obtienen unos valores de rigidez Marshall muy elevados con respecto a una mezcla convencional, encontrando buenos resultados para la mezcla modificada por vía húmeda. Caso contrario ocurre por vía seca debido a que los parámetros no superan el valor límite del convencional con respecto a la estabilidad y rigidez Marshall.

Siendo las mezclas asfálticas modificada por vía húmeda mas rígidas y presentan un mayor modulo dinámico que las modificadas por vía seca, la deformación permanente es mayor que las convencionales y similar en ambos casos.

Las mezclas densas en caliente modificadas con PVC , podrían presentar un menor ahuellamiento que una mezcla convencional, según los resultados obtenidos por Ojeda et, al.

Las comportamiento de una subbase pueden ser mejoradas al utilizar desecho de PVC logrando mejorar el comportamiento del mismo.

El polietileno disminuye las propiedades de las mezclas del concreto, obteniendo a mayor porcentaje de sustitución de grava por polietileno, menor resistencia a la compresión en comparación con una muestra convencional.

Para investigaciones futuras, es recomendable profundizar en las mezclas densas en calientes modificadas por vía húmeda, debido a los resultados positivos obtenidos, a comparación de las modificaciones realizadas a las bases granulares y al concreto, quienes sus resultados no fueron los mejores con respecto a una mezcla convencional.

## REFERENCIAS

1. Montealegre, T. A, Salazar, J.J.(2005). Estudio del comportamiento de mezclas asfálticas drenantes (MD) modificando el cemento asfáltico con desecho de Policloruro de vinilo (PVC). Trabajo de grado de Ingeniero Civil. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. Dirección de Investigación,135p
2. Lozano, S.L. (2005). Asfaltos modificados con PVC reciclado de cables. Tesis de Grado de Ingeniería Civil. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil.133p.
3. Ojeda et al.(2008).Caracterización dinámica de una mezcla densa en caliente modificada con desecho de Policloruro de vinilo (PVC). Trabajo de grado de Ingeniero Civil. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. Grupo de pavimentos y materiales de Ingeniería.89p.
4. Vélez, D.M, Aguirre, L.C. (2005). Estabilización de subbases granulares empleando desecho PVC. Trabajo de grado de Ingeniero Civil. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. Dirección de Investigación. 96p.
5. Pérez, E.L. (2006). Análisis de la resistencia a la compresión simple de una mezcla de material para subbase granular y desecho de PVC. Trabajo de grado de Ingeniero Civil. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. Dirección de Investigación. 77p.
6. Instituto Nacional de Vías. Especificaciones generales de Construcción de carreteras. Bogotá D.C., 2005.
7. Reyes, L.F. (2004). Utilización de desecho plástico como agregado pétreo en la elaboración de concretos. Trabajo de grado de Ingeniero Civil. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. Dirección de Investigación.112p.
8. Morales, P.F. Giraldo, J.H.(2006). Evaluación del concreto hidráulico modificado con adición de desecho de Policloruro de Vinilo, (PVC). Trabajo de grado de Ingeniero Civil. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. Grupo de pavimentos y materiales de Ingeniería.112p.
9. Roa, et, al. (2006). Concreto hidráulico modificado con partículas de PVC reciclado. Trabajo de grado de Ingeniero Civil. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Civil.74p