

EVALUACIÓN DEL CLORURO DE CALCIO COMO AGENTE MITIGADOR DE POLVO EN VÍAS EN AFIRMADO

EVALUATION OF CALCIUM CHLORIDE AS DUST CONTROL AGENT IN UNSURFACED ROADWAYS

ARMANDO OROBIO

Profesor de la Escuela de Ingeniería Civil y Geomática de la Universidad del Valle. aorobioq@univalle.edu.co

LUZ MERY PORTOCARRERO

Ingeniera Química, Departamento de investigación y desarrollo de la empresa Prodesal S.A

LILIANA SERNA

Ingeniera Química, Departamento de investigación y desarrollo de la empresa Prodesal S.A

Recibido para revisar noviembre 17 de 2006, aceptado febrero 12 de 2007, versión final mayo 15 de 2007

RESUMEN: El polvo que generan los vehículos al circular por vías en afirmado produce impactos negativos a las poblaciones e instalaciones cercanas, estas vías se deterioran con facilidad y requieren de periódicas intervenciones para mantenerlas en condiciones aceptables. Este proyecto tuvo como propósito evaluar la efectividad del Cloruro de Calcio como agente estabilizador de afirmados para carretera, el estudio se centró en el sector agroindustrial Colombiano que utiliza trenes cañeros, un tipo de vehículo extralargo y extrapesado. Se construyó un tramo de prueba y un tramo control, el primero estabilizado con Cloruro de Calcio y el segundo sin estabilizar, a los cuales se les realizó un seguimiento durante 6 meses, con mediciones de las emisiones de polvo producido por un tren cañero al circular por la vía a una velocidad promedio de 40 KPH. Se compararon los resultados de ambos tramos encontrando una alta eficiencia del Cloruro Calcio como mitigador de la emisión de polvo en vías en afirmado.

PALABRAS CLAVE: Vías en afirmado, control de polvo, cloruro de calcio

ABSTRACT: The dust generated by vehicles on unsurfaced roadways produces negative impacts to human populations and nearby facilities. These roadways deteriorate easily and need periodic interventions to keep them in acceptable conditions. The purpose of this project is the evaluation of the efficiency of Calcium Chloride as stabilizing agent of unsurfaced roadways. This study was focused on Colombian agribusiness sector that uses “trenes cañeros” a large and heavy vehicle. Both a roadway test section and a roadway control section were constructed, the first one stabilized with Calcium Chloride and the second one without the stabilizing product. Both sections were evaluated for 6 months with measurements of dust emissions produced by a controlled vehicle traveling at 40 KPH. Results of both sections were compared and the results show a high efficiency of the Calcium Chloride as dust control agent in unsurfaced roadways.

KEYWORDS: Unsurfaced roadways, dust control, Calcium Chloride

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia un gran número de kilómetros de vías cuentan con superficie de rodadura en afirmado. En el departamento del Valle del Cauca los Ingenios azucareros han construido gran cantidad de vías en afirmado por donde circulan desde vehículos pequeños hasta trenes cañeros. Las partículas de polvo que producen

los vehículos al circular por este tipo de vías generan contaminación del aire, cubren de polvo extensas áreas produciendo un impacto ambiental negativo en poblaciones e instalaciones industriales vecinas, generan enfermedades respiratorias en personas y animales, disminuye la visibilidad causando un incremento en la accidentalidad y parte de las

Partículas de polvo son arrastradas por el viento hacia la atmósfera [1, 2].

Las vías en afirmado se deterioran de manera rápida bajo la acción del tránsito y los efectos ambientales, requieren de periódicas intervenciones para mantener la superficie de rodadura en condiciones aceptables, induciendo altos costos de mantenimiento y una alta necesidad de materiales pétreos para la continua adaptación de la superficie de rodadura, generando aun más impactos ambientales producto de la explotación del material de afirmado para realizar las actividades de mantenimiento.

La estabilización de afirmados con cloruro de calcio, disminuye la producción de polvo en las vías e incrementa la estabilidad de la superficie de rodadura disminuyendo la necesidad de realizar mantenimientos [2]. Los resultados de este proyecto son una contribución al proceso de implementación de la estabilización con Cloruro de Calcio como estabilizante de afirmados, para reducir los impactos ambientales, generados por el polvo que emiten los vehículos al circular por este tipo de superficie de rodadura.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se construyó un tramo de prueba de una vía en afirmado estabilizado con Cloruro de Calcio y un tramo control sin estabilizar, se les hizo un seguimiento durante 6 meses, realizando comparaciones sobre las mediciones de emisión de polvo y evaluación del estado superficial de la vía. El tramo escogido para la evaluación tiene una longitud de 900 m, el cual se dividió en tres partes, 350 m para el tramo estabilizado, 200 m de separación y 350 m para el tramo control (figura 1). En ambos tramos se ejecutaron los mismos procesos constructivos, se utilizaron los mismos materiales, se verificó que tuvieran el mismo tipo de subrasante y que soportaran las mismas cargas de tránsito y efectos ambientales.



Figura 1. Tramo escogido para la evaluación
Figure 1. Selected section for the evaluation

2.1 Caracterización de los Materiales

Al material de afirmado que se utilizó para la construcción de los tramos se le realizaron ensayos de granulometría, densidad, proctor y CBR con base en las normas de ensayo y las especificaciones técnicas para construcción de carreteras [3, 4].

- Espesor promedio de la capa existente 7.5 cm.
- CBR 36%.
- Densidad máxima: 2.362 gr/cm³ (Proctor modificado).
- Humedad óptima: 5,75 % (Proctor modificado).
- Granulometría.(Figura 2)

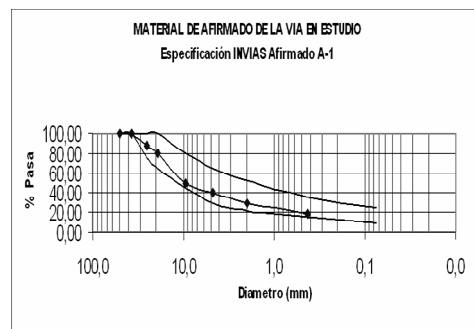


Figura 2. Curva granulométrica
Figure 2. Granulometric curve

Al material de subrasante se le realizaron los ensayos de clasificación, límites, Proctor y CBR.

- Arcilla Inorgánica de Baja Plasticidad
- Clasificación S.U.C.S. (CL)
- Limite liquido % 36.6
- Limite plástico % 20.6
- Índice de plasticidad % 16.0
- CBR 4.5 %

El cloruro de calcio utilizado para estabilización de la vía, proviene de la reacción del cloro con el hidrógeno, dando como resultado un ácido clorhídrico de mayor pureza, y por ende el cloruro de calcio. La reacción del ácido con la caliza es la siguiente: $2\text{HCl} + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Para producción de Cloruro de Calcio se utilizó una planta piloto. (Figura 3)



Figura 3. Planta piloto
Figure 3. Pilot Plant

El vehículo tipo para análisis fue el tren cañero por ser el más representativo en la vía (Figura 4), el volumen promedio es de 70 vehículos diarios, determinado mediante un análisis de los volúmenes de caña movidos por vía del estudio.



Figura 4. Tren Cañero
Figure 4. Sugarcane train

2.2 Selección y Construcción de los Tramos

Con los datos de laboratorio de suelos y los volúmenes de tránsito se escogieron los dos tramos de 350 m de características similares sobre una misma vía, con una separación entre ellos de 200 m. Se realizó una escarificación al material existente con el fin de eliminar los baches y homogenizar el material, para evitar la producción de polvo durante la escarificación se efectuó un humedecimiento previo, a continuación se verifico la humedad del material y se procedió humedecer las partes que presentaban un bajo contenido de humedad para de mejorar la penetración del cloruro de calcio en el material.

Posteriormente respetando el espesor promedio de 7.5 cm en el afirmado existente en la vía, se realizó la aplicación de cloruro de calcio en una proporción del 1% en peso seco del material de afirmado, esta dosificación se adoptó por recomendaciones de estudios anteriores [6, 7]. La aplicación del Cloruro de Calcio se efectuó con un carro tanque al cual se le había colocado una flauta hecha de PVC (Figura 5), se realizó una calibración previa utilizando el carro tanque con agua y la flauta para determinar la velocidad de la aplicación y el número de pasadas requeridas. La cantidad de cloruro de calcio aplicada en cada pasada, se calculó mediante la diferencia en peso del carro tanque antes y después de cada pasada, adicionalmente se calibró un piezómetro para controlar la aplicación en obra.



Figura 5. Aplicación del Cloruro de Calcio
Figure 5. Application of the Calcium Chloride

Finalizada la aplicación del cloruro de calcio se efectuó un mezclado del material para homogenizar los contenidos del producto, posteriormente se realizó la conformación de la vía, teniendo especial cuidado en garantizar unas buenas condiciones de drenaje superficial, luego se compactó hasta el 95% del proctor modificado y por último se realizó un sellado superficial con la aplicación de cloruro de calcio en una proporción de 0.25% en peso seco del material.

Al tramo de control se le realizó el mismo procedimiento de escarificación, conformación y compactación, pero sin aplicación de Cloruro de Calcio. Todo el proceso constructivo se controló según las especificaciones técnicas de construcción de carreteras INV -1996 [4]

2.3 Mediciones de la producción de polvo

Se realizaron mediciones de la emisión de polvo una vez cada 30 días, esta actividad consistía en la medición de las cantidades de polvo que se producían en cada tramo para compararlas y así determinar la efectividad del cloruro de calcio como supresor del polvo producido por el vehículo tipo al circular por la vía. Con base en la norma ASTM-D1739-98 [5] se construyeron seis (6) colectores de polvo, se colocaron tres (3) en el tramo estabilizado y tres (3) en el tramo control (Figura 6).



Figura 6. Colectores de polvo
Figure 6. Dust collectors

Los colectores se colocaron a 6 metros del borde de la vía, separados 2 m entre sí, se dejaban durante un periodo de 15 días y luego se recogían y se llevaban al laboratorio para procesar su contenido según el procedimiento indicado en la norma ASTM-D1739-98 [5]. En esta actividad se plantearon los siguientes supuestos.

- Debido a la ubicación de los tramos y a la cercanía entre ellos, se asume que ambos tramos, el control y el estabilizado, están sometidos a los mismos efectos climáticos, tales como lluvia y dirección del viento.
- Debido a su ubicación, los dos tramos soportan el mismo tránsito y las mismas condiciones de repeticiones carga en ejes equivalentes de 8,2 t.
- Bajo estas premisas los resultados de las cantidades de polvo medidas son comparables.

2.4 Evaluación De Deterioro Superficial De Los Tramos Y Mantenimiento

Se realizó una evaluación mensual del deterioro superficial de los tramos mediante inspección visual realizada por un profesional experto y tomando un registro de video digital para posterior análisis. Esta inspección visual estaba encaminada a identificar la aparición de daños sobre la superficie del afirmado. Adicionalmente se tomó un registro de lluvias con las estaciones pluviométricas del sector, con el propósito analizar la relación de la aparición de los deterioros con la lluviosidad.

3. RESULTADOS

Luego de la estabilización, la diferencia en las emisiones de polvo entre ambos tramos se hizo evidente a simple vista (figura 7). Prácticamente en el tramo estabilizado las emisiones de polvo al paso de los vehículos desaparecieron.



Figura 7. Comparación visual de los tramos

Figure 7. Visual comparison of the sections

3.1 Resultados de las Mediciones de Polvo

Los resultados de las cantidades medidas en los colectores de polvo, presentados en un gráfico en escala logarítmica muestran una alta eficiencia del cloruro de calcio como mitigador de las emisiones de polvo en la vía estabilizada (figura 8). Al comparar las emisiones de polvo del tramo estabilizado con las del tramo de control, la diferencia se mantuvo cercana al 99.9% durante los primeros cinco (5) meses de la estabilización, posteriormente la diferencia empezó a disminuir hasta un valor de 82.1% presentado en la última medición efectuada al 6^{to} mes.

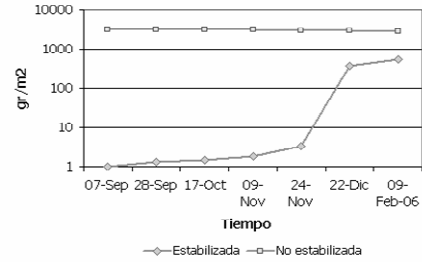


Figura 8. Mediciones de polvo

Figure 8. Dust measurements

3.2 Resultados del Deterioro Superficial

Durante los primeros 6 meses de la evaluación en el tramo estabilizado, las principales fallas superficiales que se presentaron fueron:

- Pérdida superficial del agregado.
- Ahuallamientos.
- Baches.

Tres meses después de la construcción del tramo, se notó la aparición de partículas sueltas producto del desprendimiento de partículas de agregados de la superficie de la estabilización, este tipo de deterioro denominado pérdida superficial del agregado, se debe a la fuerza abrasiva del tránsito representado en su mayoría por trenes cañeros, las ruedas de los vehículos desprenden pequeñas partículas de agregado de la superficie del afirmado, estos desprendimientos se acentúa en los periodos de lluvia.

Los ahuellamientos iniciaron su aparición después del cuarto mes de la construcción, este deterioro es debido a falta de capacidad estructural, ocasionado principalmente por la baja capacidad de soporte del suelo de subrasante, cuyo valor de CBR es de 4,5% y al poco espesor de la capa de afirmado 7,5 cm. Debido a esto y al peso de los ejes de los vehículos cañeros, se presenta una deformación vertical permanente en la subrasante que se refleja en la superficie del afirmado, marcando la huella del paso de los vehículos. El gran peso de los ejes de los trenes cañeros genera ahuellamiento,

principalmente en zonas con problemas de drenaje.

Las malas condiciones de drenaje favorecen la acumulación de agua y por consiguiente la aparición de baches, el ahuellamiento favorece la acumulación de agua en periodos de lluvia y con el paso de los vehículos por los sitios que presentan acumulación de agua, el material es expulsado formando baches.

Después del quinto mes de la construcción aparecieron baches, como resultado de la pérdida del afirmado en áreas localizadas, su formación está favorecida por problemas en el drenaje que permiten la acumulación de agua localizada, con el paso de los vehículos por estos sitios el material es expulsado formando baches. El ahuellamiento favorece la acumulación de agua y por consiguiente la formación de baches, casi la totalidad de los baches que se presentaron, fueron el resultado de la evolución de los ahuellamientos a baches por problemas de drenaje. El deterioro superficial en su mayor grado se presentó bajo las condiciones más severas de lluvia, coincidiendo la aparición de deterioros con los meses de mayor lluviosidad (Figura 9), lo que indica una alta susceptibilidad de la estabilización a la presencia de agua, por esta razón es conveniente garantizar unas buenas condiciones de drenaje en la superficie de la estabilización.

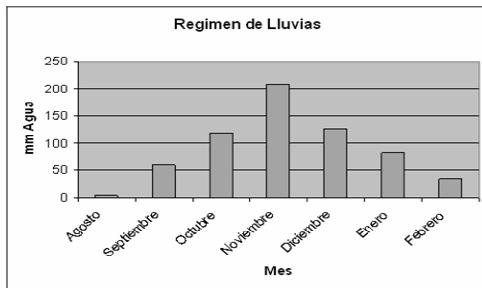


Figura 9. Registros pluviométricos
Figure 9. Pluviometric records

4. CONCLUSIONES

La estabilización con cloruro de calcio fue altamente eficiente para realizar mitigación de polvo al paso de los vehículos. Durante los primeros cinco (5) meses de la estabilización, la reducción en producción de polvo se mantuvo en un valor cercano al 99.9%, al sexto (6) mes este valor se había reducido al 82.1%, coincidiendo el aumento de la producción de polvo con el deterioro de la vía, por esta razón se debe garantizar la integridad de la estabilización, para prolongar el efecto mitigador de polvo del cloruro de calcio.

Dependiendo de las características del material de afirmado el porcentaje de cloruro de calcio requerido para la estabilización varía, se pueden utilizar porcentajes cercanos al 1% en peso seco del material como base inicial para encontrar el porcentaje óptimo en laboratorio mediante el ensayo de CBR, el porcentaje con mejor valor de CBR garantizará la mitigación de polvo y un mejor comportamiento estructural del afirmado, esto es debido a que se requiere mayor porcentaje de cloruro de calcio para estabilización estructural del afirmado que para la mitigación de polvo. El porcentaje de finos en el material de afirmado, incide en la compactación y resistencia de la estabilización, se recomiendan utilizar valores cercanos entre el 10% – 15% de finos con el propósito de obtener buenos resultados en la estabilización.

La estabilización con cloruro de calcio produce una cementación en el afirmado con un aspecto superficial parecido a un pavimento, pero en estado de saturación el cloruro de calcio pierde su efecto cementante, el cual se recupera nuevamente cuando el material seca, por esta razón se deben garantizar unas buenas condiciones de drenaje de la vía, es recomendable en lo posible un bombeo mínimo del 3%.

Para la estabilización inicial con cloruro de calcio, se debe seguir el proceso de escarificación, humedecimiento previo por debajo de la humedad óptima de compactación, aplicación del producto, mezclado, conformación, compactación y un sellado superficial final con un porcentaje de cloruro de

calcio del 0.25% en peso seco del material de afirmado. Cuando la vía inicie nuevamente a producir polvo al paso de los vehículos, se puede aplicar superficialmente, la misma dosificación utilizada para el sellado final.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad del Valle, a la empresa Productos Derivados de la Sal – Prodesal SA y al Ingenio Central Castilla.

REFERENCIAS

- [1] Washington State Department of Ecology, Techniques for Dust Prevention and Suppression, Publication Number 96-433, Revised March 2003.2] Wisconsin Transportation Bulletin No. 13, Wisconsin Transportation Information Center, 1997.
- [2] Instituto Nacional de Vías, Normas de ensayo para materiales de carreteras, Colombia 1996.
- [3] Instituto Nacional de Vías, Especificaciones generales de construcción de carreteras, Colombia 1998.
- [4] ASTM Standards, D1739-98 Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall, 2004.
- [5] D. SAYLAK et al, Base Stabilization and Dust Control Using Calcium Chloride and Fly Ash, International Ash Utilization Symposium, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky, 2003.
- [6] R.A. LOHNES AND B.J. COREE, Determination and evaluation of alternate methods for managing and controlling highway-related dust, Iowa Highway Research Board Iowa Department of Transportation, 2002.