

OPTIMIZACION DEL MANTENIMIENTO DE CAMINOS MEDIANTE EL EMPLEO DE AGENTES QUIMICOS

Gabriel Alejandro Pistone¹

Pluspetrol S.A. – Área Operativa Corcobo

¹Ingeniero de Mantenimiento

gpistone@pluspetrol.net

Tel. Oficina: (54-011) 5246-6100 - Int 4884

RESUMEN DE TRABAJO

Ingeniería de Mantenimiento busca asegurar y mejorar la competitividad de una empresa por medio de esfuerzos, acciones y decisiones orientadas que garanticen: sistemas y activos operando de manera eficiente y eficaz, clientes y usuarios satisfechos, riesgos reducidos, mínimos incidentes ambientales; todo ello a costos óptimos. Así los propietarios, los empleados y los clientes se sienten en un entorno *confiable*.

Una de las formas de lograr dar sustento a esta premisa es conociendo y modelando el comportamiento de los activos que se encuentran bajo su responsabilidad.

El objetivo para este trabajo es ilustrar lo anteriormente descrito tomando como ejemplo un ítem en particular, en este caso la optimización de la Mantenibilidad de Caminos.

En el Área Operativa El Corcobo, el transporte vehicular se desarrolla en su totalidad por caminos no pavimentados. Estos caminos requieren un mantenimiento periódico que implica un importante consumo de material de canteras, escasas en la zona, como así también el empleo de maquinaria vial y equipos de riego.

Sumado a esto el desarrollo productivo del yacimiento trae consigo el incremento de estas vías de comunicación y dispara la necesidad de optimizar los recursos destinados a la conservación de los caminos y el impacto que los mismos traen consigo.

Esta optimización se logra incrementando la durabilidad y calidad de los caminos no pavimentados, es decir: disminuyendo la formación de serruchos, baches y la pérdida de material de la calzada (que se manifiesta visiblemente como el polvo en suspensión).

Es claro prever que lograr una mejora de este tipo contribuye con la Seguridad Vial del Yacimiento, reduciendo los riesgos de accidentes y dificultad para el sobrepaso de vehículos a la vez que se logra minimizar los efectos ambientales nocivos, tales como la emisión de polvo en suspensión, que diariamente tiene que ser mitigada mediante riego (consumo de agua)

Con el conocimiento de que actualmente se utilizan productos de origen químico destinados a estabilizar la capa superficial de rodadura (y de esa manera reducir sensiblemente la progresión de un deterioro superficial), es que el presente trabajo describe el proceso de evaluación, aplicación y resultados obtenidos de la experiencia piloto de aplicación de sales.

ANTECEDENTES

CARACTERÍSTICAS REGIONALES Y PROBLEMÁTICA DE LA CONSERVACIÓN DE CAMINOS

La red sin pavimentar constituye el 100% de la red vial en existente en el Área Operativa El Corcobo, siendo el clima predominante: árido y seco. No obstante, presenta una marcada concentración de precipitaciones en la época estival. Muchas de estas precipitaciones son de gran intensidad y corta duración (se ha llegado a registrar más de 50 mm diarios, siendo el promedio anual de la zona 250 mm).

Como consecuencia, la acumulación de agua sobre la superficie de los caminos, producida por estas lluvias, provoca el debilitamiento estructural del mismo y deterioro final bajo el tránsito vehicular.

Estas condiciones de deterioro se agravan cuando los caminos no cuentan con el galibo adecuado (bombeo transversal) y/o cunetas de escurrimiento.

En contraparte la sequedad habitual de la región incrementa sensiblemente el problema de la emisión de polvo asociada a este tipo de caminos, ya que las carpetas granulares pierden progresivamente su humedad, debilitando la cohesión entre partículas finas y gruesas. Finalmente el tránsito vehicular rompe la unión y eleva las partículas más livianas en forma de polvo.

El material más grueso comienza a deformarse y disgregarse rápidamente al perder la fracción fina que favorecía la cohesión del conjunto, formando serruchos y baches (Campos y Espinoza, 2006).

Como medidas correctivas, periódicamente una motoniveladora repara estas deformaciones, reperfilando la superficie pero a la vez adelgazando la carpeta soportante. Por otra parte, la cohesión entre las partículas es en parte recuperada con compactación y riegos de agua, pero con una mínima duración, limitada a su inevitable evaporación y a la capacidad de suministro.

PROBLEMÁTICA ASOCIADA A LA GENERACIÓN DE POLVO

Más allá de los efectos a la salud conocidos, atribuibles al polvo respirable (PM_{2,5}) e inhalable (PM₁₀), existe un claro riesgo de accidentes y dificultad para el sobrepaso de vehículos, asociado a la falta de visibilidad que ocasiona el polvo en suspensión.



La nube de polvo impide ver el vehículo que la genera y los que circulan en dirección contraria.

PROBLEMÁTICA ASOCIADA AL DESARROLLO PRODUCTIVO DEL ÁREA DE EXPLOTACIÓN

El desarrollo productivo del yacimiento trae consigo el incremento de caminos y dispara la necesidad de optimizar los recursos destinados a la conservación de los caminos y el impacto que los mismos traen consigo.

OBJETIVOS

Conocida la problemática, se plantearon los siguientes objetivos al proyecto, a saber:

- Optimizar el uso de recursos destinados al mantenimiento de caminos
- Incrementar la durabilidad y calidad de los caminos no pavimentados en el tiempo. Esto consistía en prevenir la formación de serruchos y baches; y evitar la pérdida de material de la calzada.
- Contribuir con la Seguridad Vial del Yacimiento: mejorando las condiciones del camino se logrará minimizar los riesgos de accidentes y dificultad para el sobrepaso de vehículos.
- Minimizar los efectos ambientales nocivos tales como la emisión de polvo en suspensión
- Suprimir el riego en la zona tratada

SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Para optimizar los recursos destinados a la conservación de estos tipo de caminos, e incrementar la durabilidad de los caminos no pavimentados en el tiempo, se están comenzando a utilizar productos de origen químico destinados a estabilizar la capa superficial de rodadura y de esa manera reducir sensiblemente la progresión del deterioro superficial, además de minimizar efectos nocivos del polvo en suspensión.

BENCHMARKING DE PRODUCTOS

Entre los productos que se pueden emplear para la conservación y estabilidad de caminos se pueden mencionar:

- **Cloruro de Sodio:** Se aplica a granel, homogenizando el producto con el material de la carpeta. La dosis de aplicación varía entre 2% y 5%, lo que se traduce en un consumo de 50 a 100 ton/km. No resulta práctico para ser distribuido disuelto como riego ya que es necesaria demasiada agua para disolver la dosis adecuada. Su uso es exclusivo para estabilizado de carpetas y requiere de una cantidad mínima de 6% de plasticidad del material granular a utilizar.
- **Cloruro de Magnesio Hexahidratado (bischofita):** Es un compuesto altamente higroscópico obtenido como subproducto de la elaboración de litio. La dosis de aplicación para estabilizados va entre 3% a 5% (aproximadamente 60 a 100 ton/km) dependiendo del IP del material granular, pudiendo ser aplicado en carpetas sin plasticidad. El producto es altamente soluble en agua pudiendo disolver hasta 1,5 kilos por litro de agua, por lo que es recomendada su aplicación como riego. Para controles de polvo superficiales se emplea una dosis de 3 kg/m².
- **Permazyme:** Es un producto enzimático de origen orgánico que se diluye en agua y se aplica antes de la compactación. Actúa sobre los materiales finos orgánicos, produciendo un efecto de cementación y compactación. La dosis es de 1 litro por cada 33 m³ de material, es decir, para un kilómetro de camino se utilizan aproximadamente 33 litros de solución que se disuelven en agua para su posterior riego. Al igual que el Cloruro de Sodio, funciona para materiales con IP superior a 6%.
- **Cloruro de Calcio:** Es un compuesto que por su versatilidad es esencialmente útil para fenómenos tan distintos como son la estabilización de carreteras. El cloruro de calcio se obtiene como un subproducto en forma de salmuera en algunos procesos industriales, aunque también se puede obtener de algunos arroyos y pozos naturales siendo la fuente más común el obtenido en la elaboración de carbonato de sodio mediante procedimientos químicos. Según Manuel Mateos de Vicente “el cloruro cálcico es uno de los agentes estabilizadores de suelos más económicos, siendo usado, por los beneficios que reporta, tanto en la construcción de capas de sub-base y base para autopistas y carreteras, como en capas de rodadura de caminos ordinarios de tierra. El cloruro, debe advertirse, no convierte un suelo en un material con las características del suelo cemento, por ejemplo, sino que origina cambios en el suelo que son a veces intangibles, pero que mejoran la estabilidad de los pavimentos y reducen el coste de la conservación”.

El cloruro cálcico es una sal deliquescente; es decir, puede disolverse completamente absorbiendo humedad de la atmósfera cuando la humedad relativa del aire está por encima de ciertos valores. La propiedad del cloruro cálcico de retener el agua de la solución es beneficiosa durante el proceso de compactación. Al evaporarse el agua con más dificultad, se requieren menos pasadas con la cisterna para mantener la humedad cercana a la óptima para el esfuerzo de compactación usado. Esto es beneficioso en regiones áridas, donde escasea el agua. Una solución de cloruro tiene una presión de vapor más baja que el agua pura, por lo que las moléculas de agua en la solución se evaporan más lentamente que las moléculas del agua pura. Debido a estas propiedades es por lo que se usa el cloruro como paliativo del polvo. La humedad que imparte la adición de cloruro a la superficie de un camino de tierra mantiene los áridos más estables que en uno sin tratar. Al perderse menos áridos se realiza una economía importante en la conservación de los caminos.

El cloruro de calcio ayuda a mantener constante la humedad en un suelo pero desafortunadamente esta sal es muy fácilmente lavable y es capaz de absorber hasta 10 veces su propio peso cuando las condiciones de humedad son altas en el medio ambiente, pudiéndose mantener dicha humedad en sus dos terceras partes durante un día de calor seco —lo que hace de esta sal un producto muy eficaz cuando se trata de evitar la formación de polvo las carreteras a nivel de afirmado —, lo cual es aceptable para carreteras con tránsito muy ligero. Entre las principales limitaciones para el empleo del cloruro de calcio, se tienen: El medio ambiente debe tener una humedad relativa superior al 30%, los minerales deben pasar la malla 200 y el nivel freático no se debe encontrar a distancias que provoquen emigración de la cal.

Para la selección del producto a ensayar se analizaron estudios y publicaciones realizadas al respecto:

- “Análisis Comparativo De La Eficiencia De Supresores De Polvo Mediante El Uso Del Equipo Dustmate Y El Efecto Económico Para La Conservación Rutinaria Y Periódica De Carpetas Granulares”. **Campos Dinamarca - Espinosa Orellana**
- “Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio hexahidratado (Bischofita) como estabilizador químico de capas de rodadura granulares”. **Guillermo Thenoux Z., Sergio Vera A**
- “Análisis Comparativo Para Ejecución De estabilización De Suelos, Entre Procesos Tradicionales y el Estabilizador De Suelos Soiltec”. **M. L. Araya Díaz**

Del análisis de los mismos se selecciona el **Cloruro de Magnesio Hexahidratado (bischofita)** como alternativa de estudio para la optimización de caminos.

Adicionalmente se puede agregar que la operación minera **Veladero**, operada por la canadiense Barrick, en la Provincia de San Juan, tiene amplia trayectoria en el empleo de este producto con resultados aceptables.

CARACTERÍSTICAS DEL CLORURO DE MAGNESIO

El cloruro de magnesio hexahidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) es un cloruro en forma de cristales de color blanco, conocido también bajo su nombre químico de **bischofita**. El principal lugar de producción a nivel continental es el Salar de Atacama (Fig. 3), ubicado en la II Región de Chile. Las empresas que realizan la explotación de este salar extraen desde el subsuelo del mismo una salmuera muy rica en diversos componentes minerales, que es depositada en piscinas de evaporación en las cuales van cristalizando sucesivamente diversos subproductos a medida que el agua se evapora por acción solar.

Químicamente, el cloruro de magnesio hexahidratado está constituido por un 10,5% de magnesio, un 33,5% de cloro, un 52% de agua y un 4% de impurezas, aproximadamente.

Es de color blanco, grasoso al tacto por su gran contenido de humedad, y para el uso vial presenta las siguientes propiedades útiles:

- Higroscópica: Posee la capacidad de absorber humedad del ambiente, incluso en zonas sumamente áridas.

- **Ligante:** Cohesiona las partículas finas, permitiendo consolidar la carpeta de rodado.
- **Resistente a la evaporación:** Posee una baja tensión de vapor, lo que permite que no se pierda la humedad absorbida.
- **Baja temperatura de congelamiento:** -32,8 °C.
- **Altamente soluble en agua:** Permite elaborar una solución en forma rápida y sencilla.

En los caminos pavimentados, la bischofita puede utilizarse para prevenir la formación de hielo sobre la calzada ("anti-icing"), o bien para derretir hielo ya formado sobre el pavimento ("de-icing"), debido a que permite bajar el punto de congelamiento del agua e impedir la formación de hielo, a temperaturas ambientales por debajo de los -5 °C. En los caminos no pavimentados, se utiliza bajo dos formas de aplicación diferentes:

Como tratamiento supresor de polvo (TSP): el camino enripiado debe ser previamente preparado, humedecido y compactado, y estar libre de deterioro en superficie, con un bombeo transversal de entre 3,5% y 4% para permitir el escurrimiento transversal del agua de lluvia. De preferencia, el material deberá contener una proporción de material fino en el orden del 10 al 20% para asegurar cohesión (en tal sentido, mejor si son finos plásticos), y al menos un 20% de material granular con tamaño superior a 10 mm para asegurar un mínimo de estabilidad estructural. Sobre esta capa se aplica una serie de riegos de salmuera de cloruro de magnesio, cuya disolución debe ser homogénea y estar en proporción 1,5 a 1 con el agua (en peso), con lo cual la salmuera tendrá una densidad de 1,25 tn/m³. Se recomienda aplicar unos 4 l/m² de riego sobre el camino, pudiendo variar la dosis en función de la geometría del camino, tránsito futuro, o también de la proporción de finos plásticos (Thenoux y Vera, 2003). De esta manera, se consigue una costra superficial durable que reduce casi por completo la dispersión del polvo causada por el tránsito vehicular, mejorando sensiblemente las condiciones ambientales en la zona aledaña.

Como estabilizador superficial: en este caso, se debe mezclar la parte superior de la capa de ripio con el producto diluido en agua, en un espesor variable entre 7 y 15 cm de acuerdo al diseño efectuado, y en este caso el ripio debería cumplir con ciertas condiciones en cuanto a su granulometría y capacidad portante, según las especificaciones técnicas elaboradas a tal efecto (Thenoux y Vera, 2003). La dosis de bischofita a aplicar, en una proporción de entre 3 y 5% en peso de suelo seco, depende el grado de plasticidad en el material a tratar (a mayor IP, menor cantidad requerida de bischofita). El material debe ser trabajado con maquinaria y mezclado en forma homogénea, y se lo debe humectar hasta alcanzar su humedad óptima considerando el aporte de la salmuera de cloruro de magnesio, y descontando la humedad natural del ripio. Posteriormente, el material ya humectado debe ser apropiadamente distribuido y compactado con rodillo liso vibratorio. Mediante este procedimiento se consigue estabilizar la superficie del camino.



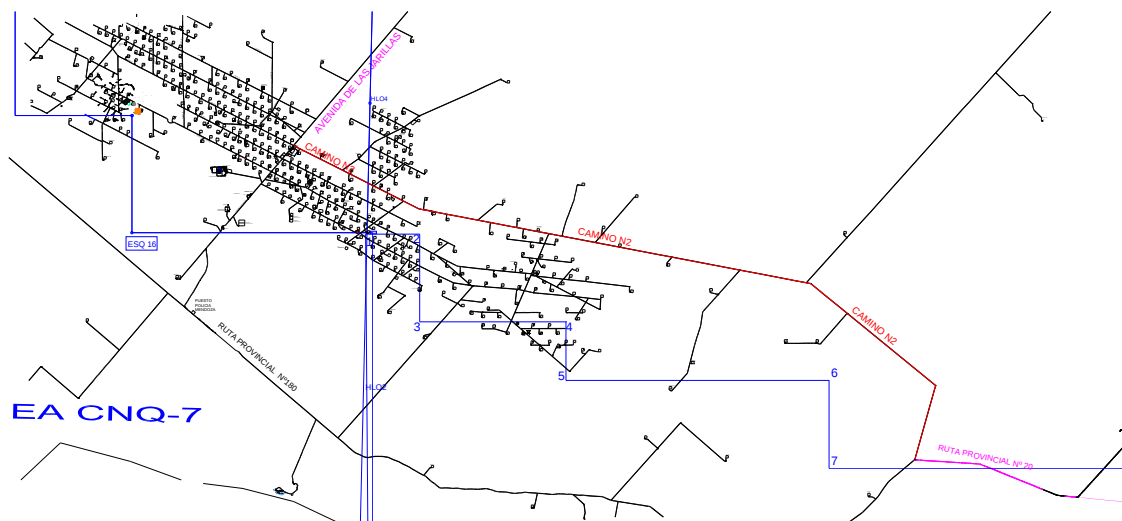
La ruta B-385 en el Desierto de Atacama es llamada la Ruta de la Sal, pues su carpeta de más de 170 km esta completamente estabilizada en base de este compuesto mineral.

ANÁLISIS ECONÓMICO

SELECCIÓN DEL CAMINO

Para poder continuar con el análisis se ha seleccionado el denominado “Camino Nro2” interno, el que reúne las siguientes características:

- Es el camino Principal del Yacimiento (concentra el mayor tránsito diario, aprox. 300 Vehic./día)
- En sus 15 Km iniciales se dificulta el riego. (zonas de abastecimiento lejanas)
- Su tasa de Mantenimiento es la más elevada



SITUACIÓN ACTUAL

Los costos representados en la siguiente tabla corresponden al mantenimiento de un camino de 7 m de ancho y 30,0 Km de longitud.

Por razones de confidencialidad de la operación los costos serán referidos a 1Tm de Bischofita colocada en la operación, es decir transporte incluido, la que denominaremos [U.BSC].

Como fuera mencionado, actualmente el mantenimiento de este camino requiere de trabajos periódicos de perfilado. Para ello se emplea un motoniveladora y un camión regador. La tabla a continuación detalla los costos referenciados de esta operación.

EQUIPOS [-]	COSTO [U/BSC]	RENDIMIENTO [Km/DIA]	TRAMO [Km]	FRECUENCIA [VECES/MES]	COSTO ANUAL [U.BSC/AÑO]
MOTONIVELADORA	3,19	5,0	30,0	3,0	688,30
REGADOR	4,18	5,0	30,0	3,0	903,96
TOTAL:					1592,25

COSTOS ALTERNATIVOS RELATIVOS AL PROYECTO DE APLICACIÓN DE BISCHOFITA. SITUACIÓN DE ANÁLISIS.

Para el análisis de la inversión inicial de sal, se tomaron en cuenta algunas consideraciones:

- **Costo Unitario:** Este está afectado con un porcentaje relativo a la asesoría y direccionamiento técnico de la aplicación.
- **Rendimiento:** se estimo en 4,5 Km/m². Esto resulta de un análisis detallado del tramo de aplicación, evaluando para cada sector el tipo de aplicación (el que varía de un TSP a un estabilizado, ó mixto)

Por tal motivo la inversión inicial en producto resulta:

SALES	COSTO UNITARIO	RENDIMIENTO	TRAMO	COSTO
[-]	[U.BSC/Tm]	[Kg/m2]	[Km]	[U. BSC]
INVERSION INICIAL	1,30	4,5	30,0	1.228,5

Para la aplicación del producto se emplea el siguiente equipamiento:

- 1 Motoniveladora
- 1 Regador
- 1 Rodillo vibratorio de compactación

Considerando un rendimiento de aplicación de 700 m diarios obtenemos:

EQUIPOS	COSTO UNITARIO	RENDIMIENTO	TRAMO	COSTO
[-]	[U. BSC/DIA]	[Km/DIA]	[Km]	[U. BSC]
MOTONIVELADORA	3,19	0,7	30,0	136,57
REGADOR	4,18	0,7	30,0	179,36
RODILLO VIBRATORIO	2,32	0,7	30,0	99,46
INVERSION INICIAL				415,38

La aplicación del Cloruro de Magnesio no está exenta de una rutina de mantenimiento. Se considera que anualmente habría que aplicar 1 Kg/m² de producto.

Con esta consideración obtenemos el costo anual de producto relacionado al mantenimiento:

SALES	COSTO UNITARIO	RENDIMIENTO	TRAMO	COSTO
[-]	[U.BSC/Tm]	[Kg/m2]	[Km]	[U. BSC]
COSTO MANTENIMIENTO	1,00	1,0	30	210

Los equipos necesarios para la aplicación preventiva son los mismos que los considerados en para la aplicación inicial, pero en este caso sus rendimientos son superiores.

EQUIPOS	COSTO UNITARIO	RENDIMIENTO	TRAMO	COSTO
[-]	[U. BSC/DIA]	[Km/DIA]	[Km]	[U. BSC]
MOTONIVELADORA	3,19	2,0	30,0	47,80
REGADOR	4,18	2,0	30,0	62,77
RODILLO VIBRATORIO	2,32	2,0	30,0	34,81
COSTO MANTENIMIENTO				145,38

EVALUACIÓN FINANCIERA

Para el análisis de costos se tomará un período de 5 años, considerando que los costos y beneficios son solo los relacionados directamente al camino. Es decir no incluyen los beneficios o costos asociados al deterioro de los vehículos, accidentes, etc.

DESCRIPCIÓN	AÑO CERO	AÑO 01	AÑO 02	AÑO 03	AÑO 04	AÑO 05	TOTAL
(Inversión Inicial -U.BSC-)	(1.644)						(1.644)
Ahorro Equipos -U.BSC-	316	1.592	1.592	1.592	1.592	1.592	8.277
(Costos Mto -U.BSC-)		(355)	(355)	(355)	(355)	(355)	(1.777)
Ahorro/(Costo) Neto -U.BSC-	(1.328)	1.237	1.237	1.237	1.237	1.237	4.856

De acuerdo el modelo presentado se calculan los VAN a diferentes intereses y la Tasa de Retorno.

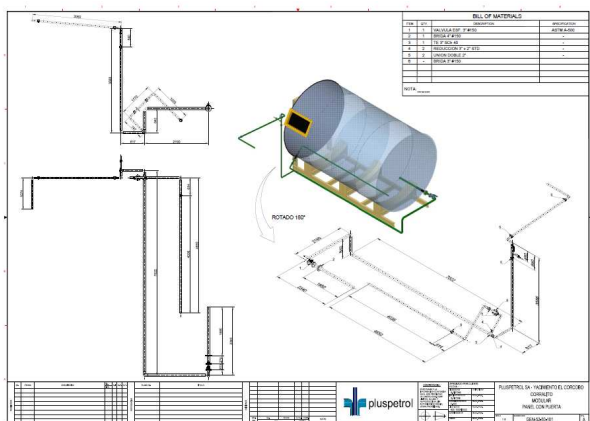
INTERES [%]	VAN [U.BSC]
10,0%	3.361
12,5%	3.076
15,0%	2.818
17,5%	2.584
20,0%	2.371
IRR	89,3%

Estos valores justifican financieramente el empleo de Cloruro de Magnesio (Bischofita) como alternativa.

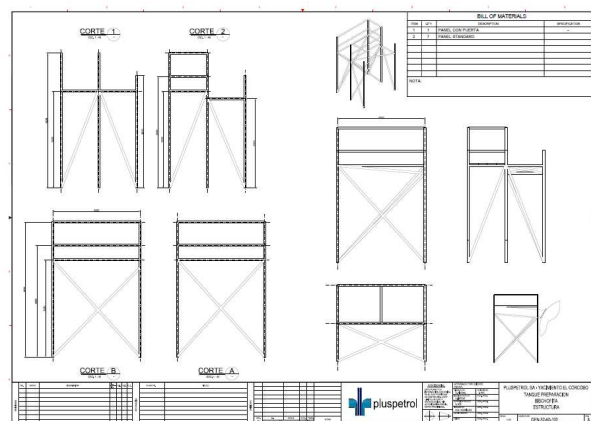
APLICACIÓN

CELDA DE PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN SALINA

Para la preparación de la solución salina se acondicionó un tanque con una tolva de carga que mediante un circuito de recirculado de agua disolvía la sal directamente en la tolva. Los valores de concentración se controlaban midiendo la densidad de la solución periódicamente.



Diseño del circuito de disolución del cloruro de magnesio



Diseño de la tolva de carga y mezcla



Simulación digital del método de carga



Carga de Cloruro de Magnesio



Disolución en tolva de Carga



Transporte de Cloruro de Magnesio



Sector de Estiva de Cloruro de Magnesio

APLICACIÓN DE LA SOLUCIÓN SALINA

Para la aplicación se prepararon tramos entre 700 y 1000 m, humectando el suelo. Una vez lograda la consistencia deseada, se procede al riego con la solución salina.



Humectado del Suelo



Riego con Solución Salina

Seguidamente la motoniveladora efectúa la mezcla del producto con el “cordón” de ripio humectado.



Mezclado con Motoniveladora

Posteriormente lo distribuye y perfila para finalmente darle la última regada y pasada del compactador



Extensión de la capa tratada



Riego Final



Compactado y Sellado de la Calzada



Camino Terminado

CONCLUSIONES

La siguiente secuencia ilustra el comportamiento del Cloruro de magnesio 15 días después de aplicado el producto.



Como puede apreciarse se ha cumplido el objetivo de controlar las emisiones de polvo. De la misma manera se aprecia que el índice de rugosidad del camino ha disminuido apreciablemente y no se han formado baches

ni serruchos. Cabe mencionar que a igual período de tiempo este camino ya hubiera presentado tales desperfectos.

Desde que se comenzaron los trabajos en octubre, el camino tratado no ha sido regado nuevamente por medios artificiales.

Durante el período de aplicación se tuvo la oportunidad de probar el comportamiento del cloruro de magnesio sometido a una precipitación de gran intensidad. El 10 de Octubre de 2012, se registró un temporal que precipitó aproximadamente 40 mm en pocas horas, con buenos resultados.



Es de mencionar que la calidad final y desempeño del camino estabilizado con Bischofita dependen principalmente de la adecuada homogeneización del suelo con el cloruro de magnesio y la terminación superficial de la capa de rodadura. Algo que quizás suene obvio, es que tan importante como la calidad del estabilizador, es la forma en que se aplica.

También se debe resaltar que los procedimientos de trabajo influyen notablemente en los buenos resultados obtenidos en esta experiencia.

No menos importante resultan también la correcta elección de las zonas drenajes, ejecutar un galibo adecuado (bombeo transversal) y cunetas de escurrimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Guillermo Thenoux Z., Sergio Vera A. (2001): “Evaluación De La Efectividad Del Cloruro De Magnesio Hexahidratado (Bischofita) Como Estabilizador Químico De Capas De Rodadura Granulares”.

Guillermo Thenoux Z., Sergio Vera A. (2003): “Guía para la Aplicación de Roadmag como Supresor de Polvo en Caminos No Pavimentados”.

Campos D., Gabriel, y Espinoza O., Esteban (2006): “Análisis Comparativo de la Eficiencia de Supresores de Polvo Mediante el Uso del Equipo DustMate y el Efecto Económico para la Conservación Rutinaria y Periódica de Carpetas Granulares”.