

**Antetítulo: Ingeniería y tecnología de estabilización:
Título: Una solución para la red terciaria de Colombia**

Autor: Ziad Chacón Abas, Proestech Colombia S.A.S.

Colombia es un país que muestra una gran necesidad por actualizar su red vial mejorando las comunicaciones intermunicipales e interdepartamentales con el fin de apalancar la economía de las regiones logrando el impulso de diferentes sectores industriales y comerciales de manera que generen mayor prosperidad, desarrollo y calidad de vida a las diferentes regiones del país.

Impulsar el desarrollo de la red vial nacional ha convocado diferentes metodologías y tecnologías que facilitan y optimizan los procesos, a través de la mejora en las técnicas convencionales y la inclusión de tecnologías eco-sostenibles. Algunas entidades del gobierno y otros actores privados del sector de la construcción están implementando nuevas tecnologías, como la estabilización química de suelos, que ha demostrado diversos resultados dependiendo de los tipos de suelos, las condiciones climáticas y la ingeniería aplicada.

La estabilización química como solución

La tecnología de pavimentación mediante la estabilización química constituye una solución amigable con el medio ambiente que permite construir vías ecológicas mediante el reciclaje del material existente en la rasante del camino, que en un número significativo de los casos estudiados corresponde a materiales no aptos para la conformación de bases y sub bases bajo metodologías de construcción convencionales. El aprovechamiento del material local ofrece varias ventajas que se reflejan en el menor impacto ambiental y social, así como en una alternativa altamente eficiente en su componente técnico-económico.

El objetivo de la estabilización de suelos como solución de pavimentos es obtener una vía ecológica, estable, de mayor resistencia y durabilidad frente al efecto del agua y las sollicitaciones de los vehículos, permitiendo el tránsito de éstos en forma segura durante un período determinado, a un costo razonable de construcción. La tecnología de estabilización debe ser cuidadosamente estudiada para que el proyecto sea exitoso. Es importante que la técnica utilizada sea durable, tenga un comportamiento flexible, y que a su vez tenga la resistencia y estabilidad adecuada para soportar las cargas de tránsito estipuladas en su diseño.

Los suelos tratados con tecnología PROES® para generar vías ecológicas de alta resistencia presentan un incremento en la resistencia y en los ensayos de CBR practicados a diferentes materiales y mezclas como se puede ver en la gráfica a continuación:

Suelos con Ingeniería

La tecnología de estabilización nace como una solución para los caminos con suelos no aptos para generar una estructura de pavimento adecuada. La particularidad de dichos caminos es que operan bajo condiciones climáticas severas, con abundantes precipitaciones, suelos estructuralmente débiles o inestables, geometrías exigentes y sometidos a altas cargas de tránsito por transporte de personas, productos e insumos.



Antes de Estabilizar
Proyecto Grantierra Energy, San Martín, Cesar, Colombia



Después de Estabilizar
Proyecto Grantierra Energy, San Martín, Cesar, Colombia

La tecnología de estabilización iónica, tiene su fundamento en la interacción de los aditivos químicos y las arcillas presentes en el suelo, creando una reacción que, junto con aumentar su capacidad portante, mejora su estabilidad y resistencia frente al agua y las cargas de tránsito. La reacción generada, se basa en la ionización, ordenamiento y aglomeración de partículas, para lo cual, utiliza agentes cementantes tradicionales (cemento, cal y cenizas) y un aditivo líquido, que permite una reacción mejorada de estos estabilizadores tradicionales.

El proceso se logra mediante el intercambio iónico y reacciones puzolánicas en aditivos y en arcillas. El intercambio iónico ocurre rápidamente, por lo general, dentro de unas pocas horas. El resultado inmediato es un incremento en la resistencia al corte del suelo (producto de un aumento en la cohesión de las partículas, aumento de la densidad en el tiempo y por ende mayor fricción entre las partículas) y una disminución en la capacidad de absorber agua por parte de las arcillas y todo esto sin la formación de grietas.

La estabilización química tradicional con cemento o cal viva (según corresponda al tipo de suelo) puede ser mejorada con aditivos líquidos iónicos, logrando suelos **resistentes, estables, durables y flexibles**, los cuales han sido validados y soportados mediante estudios de investigación.

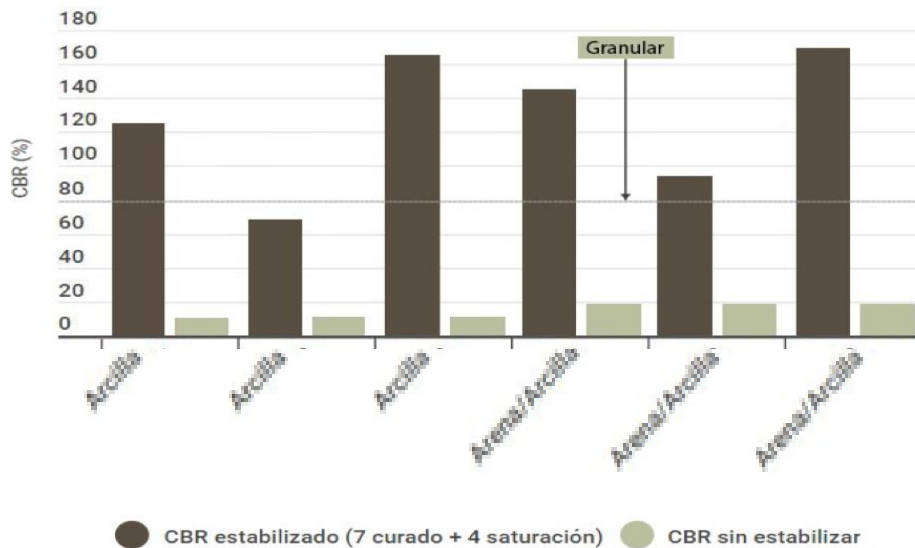
Investigación y Desarrollo

El Ministerio de Economía de Chile adjudicó un fondo de investigación y desarrollo en el año 2012 que permitió llevar a cabo el proyecto 'Caracterización Estructural Detallada e Investigación del Proceso de Deterioro de Materiales Tratados con la Tecnología de Estabilización de Suelos, a través de Pruebas de Laboratorio y Mediciones en Terreno', Número 2012-16306, de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO).

El proyecto se realizó en convenio con la Universidad del Desarrollo durante tres años y tuvo como objetivo investigar el proceso de deterioro de materiales tratados con tecnología de estabilización iónica, caracterizando el desempeño de variables mecánicas a través de pruebas de laboratorio y mediciones en terreno de pavimentos antiguos y tramos de prueba (comparación con diferentes soluciones de pavimento tradicionales), de los cuales se desprendió la efectividad y durabilidad de la tecnología. Los resultados obtenidos en la investigación entregan herramientas de diseño para pavimentos que utilizan tecnología de estabilización iónica, así como el soporte y respaldo de las características de los suelos estabilizados.

Resistencia

La característica básica de diseño para los pavimentos es la resistencia de sus capas, la cual puede ser evaluada tanto por los ensayos de terreno como de laboratorio y representada, según corresponda, con coeficientes estructurales, módulos elásticos, CBR¹, UCS² e ITSM³.



Aumentos significativos en la capacidad de soporte CBR (Razón de Soporte California o California Bearing Ratio)

El método AASHTO⁴ 93 asigna un coeficiente estructural a cada una de sus capas como representación de aporte. De acuerdo con la medición de FWD⁵ y ensayos de laboratorio se concluyó que las capas estabilizadas con la tecnología iónica tienen un rango amplio debido a la diferencia de materiales y edades de los caminos, pero permiten validar que más del 75% de las mediciones entregan un coeficiente mayor a 0,15.

Estabilidad

Tal como se evaluó la resistencia de los materiales estabilizados, es fundamental que dicho comportamiento de resistencia sea similar en condiciones secas y saturadas. Se entiende como “estable” aquel material que mantiene al menos el 70% de sus características mecánicas bajo condiciones de saturación.

En un ensayo más exigente, CNC⁶, se notó que los suelos tratados con aditivo sólido más aditivo líquido tienen una resistencia retenida considerablemente mayor al mismo suelo tratado sólo con aditivo sólido, mientras que los suelos sin estabilización o naturales no resisten la saturación en agua y se desarmen en pocos minutos.

Durabilidad

Una condición relevante para la evaluación y uso de una tecnología de estabilización es determinar si las mejoras incorporadas al suelo tienen una condición de término distinta a la que corresponde a la fatiga de los materiales, por lo que como parte del estudio en terreno se estudió la evolución de la resistencia y su permanencia en el tiempo.

¹ California Bearing Ratio / Prueba de penetración para comprobar características mecánicas de un suelo

² Uniaxial Compressive Strength Test / Ensayo de Compresión Uniaxial

³ Módulo de Rigidez a la Tracción Indirecta

⁴ American Association of State Highway and Transportation Officials / Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes

⁵ Falling Weight Deflectometer / Deflectometría de impacto

⁶ Not Confined Compression Test / Ensayo de Compresión No Confinada

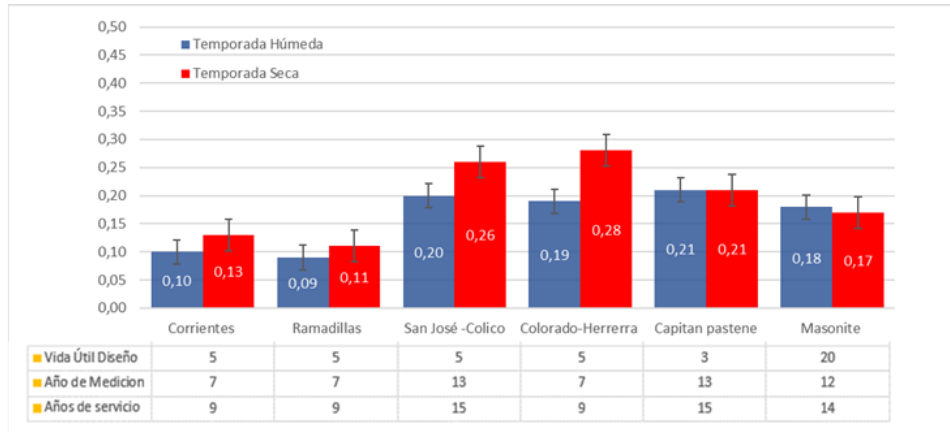


Figura 1

Pie de figura: Durabilidad de Estructuras Estabilizadas
Cortesía: Proestech

La deflectometría de impacto se realizó sobre una gran extensión de caminos donde se ha aplicado tecnología iónica, los cuales presentan una gran variación en su estructura y suelo de subrasante. Se deduce de los estudios y análisis efectuados que el módulo de las capas normalmente varía entre 500 MPa en su condición 'inicial' hasta un valor de 2.000 MPa, que resulta ser el módulo de trabajo del material. Una vez construida la capa estabilizada, se observa un aumento de módulo, producto de la reacción de los aditivos químicos, de la evaporación del agua y de la densificación de la capa producto del tráfico. A partir de estas observaciones se infiere que la tecnología iónica tiene un comportamiento en tres fases:

- Fase I: desde el inicio de la construcción hasta que el módulo se estabiliza.
- Fase II: fase estable, corresponde a la mayor parte de la vida útil del pavimento.
- Fase III: fase terminal, cuando el pavimento ha cumplido su vida útil.

Flexibilidad

Dado que la tecnología iónica considera el uso de un aditivo sólido (cemento, cal, cenizas u otro filler mineral) y un aditivo líquido, siendo el cemento uno de los más utilizados, era fundamental determinar si su uso generaba condiciones de fragilidad y rigidez. La experiencia en terreno confirmó que su uso no genera fisuras o reflejo de grietas, incluso utilizando recubrimientos asfálticos de bajo espesor. Así mismo, en laboratorio se evidencia que las mezclas tratadas tienen un comportamiento asociado a un material semi-ligado; estos materiales tienen un aumento significativo de resistencia en el tiempo, sin embargo, siguen presentando características similares a los materiales granulares, es decir, una dependencia de la tensión de trabajo y una relativa baja resistencia a la tracción indirecta.

En los ensayos se registró una tenso-dependencia del módulo, es decir, para distintas condiciones de carga se obtuvieron distintos módulos. Por lo tanto, las mezclas estudiadas también presentaron características similares a las de un material granular, en otras palabras, no son rígidos.

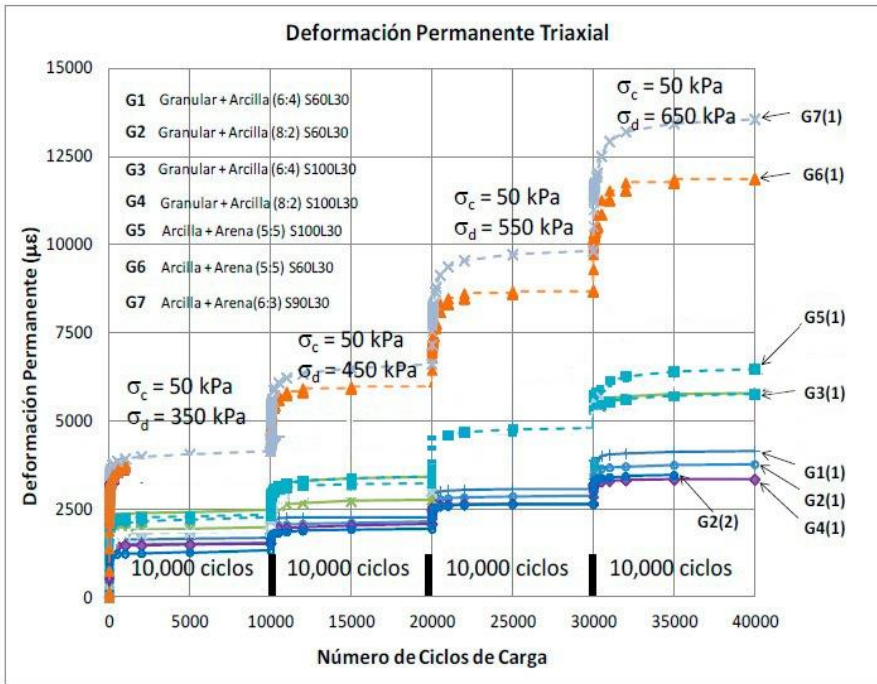


Figura 2
Pie de figura: Deformación permanente triaxial.
Cortesía: Proestech

Países pioneros de la tecnología

En Chile y Perú se han desarrollado soluciones de pavimento para vías básicas o terciarias en más de 1.300 Km, con resultados muy satisfactorios, que ha permitido el desarrollo de sectores en el área de agrícola, forestal, turismo y minería.

En Perú se ha logrado un crecimiento importante en su infraestructura vial básica o terciaria al cambiar el esquema de contratación por niveles de servicio con inclusión de nuevas tecnologías, conservación y atención de emergencias. Al transferir los riesgos al contratista, exigirle innovación y resultados permanentes, bajo determinados niveles de servicio y durante toda la vigencia del contrato, se logró generar alternativas más eficientes en el ámbito técnico y económico.

En Colombia

La estabilización de materiales reciclados o materiales de sitio de bajas especificaciones es una alternativa para países como Colombia, que necesita optimizar los recursos brindando soluciones de alta calidad, sostenibles y amigables con el medio ambiente, y que ha comenzado a implementar durante los últimos años con el desarrollo de los diferentes planes de gobierno.

Los departamentos y los municipios tienen como función principal la conservación, rehabilitación, mejoramiento y construcción de la mayor parte de la red vial terciaria en Colombia, para lo cual requieren poner en marcha toda la logística necesaria tendiente a que su misión se lleve a cabo de manera eficaz, económica y oportuna.

Algunos departamentos como Santander son pioneros en Colombia en la implementación de este tipo de tecnología, generando convenios de asociación que les permite aunar esfuerzos entre el departamento y la empresa privada, para la implementación y promoción de métodos alternativos que permitan identificar factores para proveer, mantener y administrar las vías terciarias de forma sustentable y contribuir al fortalecimiento de la capacidad de gestión vial.