

## Mejora de vías no pavimentadas mediante un estabilizante químico de suelos, análisis de su diseño estructural y control

Julián Rivera, Gerardo Botasso\*, Oscar Hansen, Andrés Poletti\*\*



### INTRODUCCION

El empleo de los estabilizantes químicos de suelos en suelos plásticos es una técnica de mejora empleada en caminos sin pavimentar de mediano a bajo tránsito, que ha presentado resultados dispares de acuerdo a la calidad de los productos empleados. Es por esto que se torna imprescindible contar con un análisis acabado de las características de estos productos a la hora del diseño de estas operaciones y su control de ejecución, reflejando con la mayor precisión posible los efectos que se registran en obra. Pero las formas convencionales de análisis de este tipo de capas (Clasificación HRB, Proctor y CBR) no han sido desarrolladas contemplando aspectos particulares de interés de este tipo de productos.

Ante esta problemática, el LEMaC, Centro de Investigaciones Viales de la Universidad Tecnológica Nacional Fac. Reg. La Plata de Argentina, ha desarrollado una metodología de análisis que permite salvar tal circunstancia, mediante procedimientos que incluyen, por un lado, ensayos que no se apartan significativamente de los actualmente empleados por las entidades de control y, por el otro, sistemas de análisis estructurales de última generación que implican la valoración dinámica del tránsito.

### EL PROBLEMA

En las reparticiones viales el análisis tradicional para una mejora de una vía no pavimentada involucra generalmente

el verificar la tipología de suelo aportado, según la Clasificación HRB, establecer la Densidad Seca Máxima y la Humedad Óptima de Compactación, de acuerdo al Ensayo Proctor correspondiente, y verificar su aporte estructural en función de su Valor Soporte Relativo (VSR) (1).

Pero han ido apareciendo diversos productos para estas técnicas de mejora, tendientes generalmente a lograr el uso de los suelos naturales, sin necesidad de caer en aportes de suelos de canteras, yendo a lo que se conoce como estabilización de suelos. Entre estas técnicas se destaca la que involucra el empleo de estabilizantes químicos de suelos, que más allá de sus características en particular, actúan generalmente impidiendo la rehumectación de la capa una vez que se ha desalojado en ciclos de secado contenidos de agua de la misma (2).

Es justamente esta forma principal de trabajo lo que hace que este tipo de estabilizantes no pueda ser analizado mediante una técnica clásica de ensayo, como podría ser por ejemplo la determinación del VSR según el procedimiento normalizado, ya que no está contemplada en dicha operatoria la generación de pérdida de humedad de la muestra en análisis, requisito indispensable para poner de manifiesto las bondades de inclusión de un estabilizante químico de suelo (3).

Para salvar este aspecto se desarrollaron metodologías de análisis involucrando una operatoria similar a la clásica de control, que permitan poner en evidencia la acción del estabilizante químico (Parte A) y técnicas superadoras de

análisis, que involucren el empleo de herramientas más modernas para poner en evidencia tales efectos ante sollicitaciones de orden dinámico, como es el caso del Ensayo de Módulo Resiliente (Parte B).

## MATERIALES Y METODOS DE LABORATORIO

### Materiales

#### *Suelo natural*

Los suelos viales que mayoritariamente son tratados con este tipo de estabilizantes son del tipo plástico, los que poseen humedades naturales elevadas debido a su fineza, dándole tendencia a los cambios volumétricos y a aportes estructurales bajos (4). Por esta razón se ha seleccionado en las experiencias realizadas un suelo representativo de estas características en los caminos no pavimentados de la región productiva central de la Argentina, cercanos a los lechos de los ríos de llanura de la Región Pampeana (Río Paraná, Río Uruguay, Río Salado, Río de La Plata, etc.) (5). La caracterización del suelo empleado en las experiencias permite clasificarlo como un A-7-6, con una Densidad Seca Máxima de 1,582 g/cm<sup>3</sup> y una Humedad Optima de 19,6 %, de acuerdo al ensayo Proctor (Tipo I).

#### *Estabilizante químico*

El producto estabilizante químico utilizado en las experiencias es un hidrocarburo, derivado del ácido sulfónico, soluble en agua y no tóxico.

### Métodos de Laboratorio

Tanto los ensayos de la Parte A como los de la Parte B, se efectuaron con una misma dosificación del producto. Dicha dosificación se expresa para este producto en X cm<sup>3</sup> de producto cada 1 litro de agua. Esta disolución es empleada luego en la proporción de 10 cm<sup>3</sup> por cada 1 kg de suelo seco a ser tratado. La dosificación recomendada por el proveedor en función de la caracterización del suelo es de 3,5 cm<sup>3</sup>.

Los pasos metodológicos empleados en la incorporación del producto al suelo son:

- Separación de la fracción que pasa el Tamiz N° 4 de la muestra de suelo original.
- Pre-humectación del suelo hasta valores cercanos a la Humedad Optima establecida mediante el Ensayo Proctor correspondiente.
- Aditivación con la dosis establecida de un 1 litro de agua.
- Incorporación del agua al suelo pre-humectado en la proporción de 10 cm<sup>3</sup> cada 1 kg de suelo seco.

- Almacenamiento por 48 horas del suelo aditivado, guardando una humedad un 2 % por encima de la Humedad Optima.
- Acondicionamiento de la muestra en función de cada ensayo en particular a efectuarse.

### Métodos de Laboratorio de la Parte A

Para analizar diversas variantes metodológicas, se diseñan los siguientes experimentos.

#### Método 1

*Ensayo Proctor:* Primeramente se efectúa el análisis del suelo-solo, partiendo de una muestra secada al aire y de la incorporación de contenidos ascendentes de humedad. Para la tipología de suelo analizada corresponde el Ensayo Proctor del Tipo I. De igual manera, se efectúa el Ensayo Proctor del Tipo I sobre la muestra de suelo aditivada, luego de que la misma haya sido dejada secar al aire, durante al menos 48 horas.

*Valor Soporte Relativo:* A los efectos de obtener resultados totalmente comparativos, se decide en este estudio someter tanto a la muestra de suelo-solo como a la muestra aditivada con la misma operatoria de ensayo modificada. La operatoria de ensayo modificada en cuestión contempla lo siguiente:

- Cumplidas las 48 horas desde la aditivación de la muestra, siendo llevada a la Humedad Optima, o una vez llevada la muestra de suelo solo a la Humedad Optima, se procede al moldeo de la probeta de Valor Soporte Relativo a densidad prefijada.
- La probeta se coloca luego en posición horizontal, retirándole la base empleada en el moldeo, de forma tal que tanto la cara superior como la inferior quedan en contacto con el aire. De esta forma se hace perder humedad a la probeta, controlando día a día la misma por pesadas, hasta que la curva de la gráfica de humedad obtenida sufra un quiebre significativo o hasta 14 días si este quiebre no se produce.
- Luego se arma la probeta para su inmersión, colocándole la base perforada, previo emparafinado de los bordes de la pastilla de suelo con respecto al molde, en función de la posible contracción por secado registrada. El conjunto se somete a 96 horas de inmersión.
- Se toma lectura del Hinchamiento y se determina el Valor Soporte Relativo por penetración.

### Método 2

El método incluye para el ensayo de Valor Soporte Relativo las mismas consideraciones que el Método 1, sólo que la edad de la probeta a la cual se coloca en embebido se establece directamente por el hecho del tiempo que transcurra para que la probeta pierda el 10 %, 20 % y 30 % de Humedad respecto de la Humedad Óptima, respectivamente.

### Método 3

*Serie I:* La muestra acondicionada, según los lineamientos generales, se deja durante 72 horas al aire en ambiente de laboratorio. Paso seguido se rehumecta la mezcla hasta la humedad óptima y se deja 24 horas en esa condición, dentro de una bolsa, para homogenización de la humedad. Seguidamente se moldea la probeta de Valor Soporte Relativo, se coloca a embebido durante 96 horas y se ensaya.

*Serie II:* La muestra acondicionada, según los lineamientos generales, se deja durante 72 horas al aire en ambiente de laboratorio. Paso seguido se moldea la probeta de Valor Soporte Relativo con la Humedad alcanzada en el curado (es decir por debajo de la Humedad Óptima), se coloca a embebido durante 96 horas y se ensaya.

### Método 4

Con la muestra acondicionada según los lineamientos generales, se moldea la probeta a densidad prefijada y se deja durante una semana dentro de una bolsa plástica. Seguidamente se coloca la probeta a embebido durante 96 horas y se ensaya.

### Método 5

La muestra es acondicionada según los lineamientos generales. Luego se efectúan 2 ciclos en donde se deja 2 días al aire en ambiente de laboratorio, pasados los cuales se rehumecta la mezcla hasta la Humedad Óptima y se deja 24 horas en esa condición, dentro de una bolsa, para homogenización de la humedad, y se repite. Pasados los dos ciclos se moldean las probetas de Valor Soporte Relativo, se colocan a embebido durante 96 horas y se ensayan.

## Métodos de Laboratorio de la Parte B

De acuerdo a los lineamientos de aquél Método que mejor refleje la acción del producto sobre el suelo natural, se procede al análisis empleando el ensayo de sollicitación dinámica de Módulo Resiliente. Este ensayo se efectúa sobre la muestra del suelo solo y sobre la muestra del suelo aditivado, obteniéndose para cada uno su ecuación constitutiva.

Con la ecuación constitutiva se accede al diseño de pavimentos mecanicista, considerando un nivel de tránsito, características de subrasante y espesor de la capa habitual para obras del campo de aplicación del producto. Se obtiene como resultado por esta vía los módulos resilientes de trabajo de las capas de suelo solo y de suelo aditivado, poniéndose de manifiesto de este modo el incremento de aporte estructural generado (6).

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Resultados de ensayos de la Parte A

Se realiza el Ensayo Proctor correspondiente sobre la muestra aditivada:

- Densidad Seca Máxima: 1,641 g/cm<sup>3</sup>
- Humedad Óptima: 17,0 %

Los resultados de Valor Soporte Relativo, Hinchamiento y Humedad de Ensayo obtenidos según todos los métodos enunciados son los que se observan en la Tabla 1.

**TABLA 1**  
**RESULTADOS DE VSR, HINCHAMIENTO Y HUMEDAD DE ENSAYO EN LAS PROBETAS MOLDEADAS**

	Muestra	VSR (%)	Hinchamiento (%)	Hum. de Ensayo (%)
Según Norma	Suelo Solo	3,0	2,8	31,1
Método 1	Suelo Solo	1,6	9,7	29,8
	Suelo Adit.	2,1	7,5	30,4
Método 2	Adit. 10 % pérdida Hum. Opt.	4,0	4,8	28,1
	Adit. 20 % pérdida Hum. Opt.	2,4	5,8	27,3
	Adit. 30 % pérdida Hum. Opt.	2,4	6,6	27,9
Método 3	Serie I	2,1	5,4	32,9
	Serie II	1,3	6,9	33,7
Método 4		4,3	2,9	31,5
Método 5		7,0	2,0	29,0

## Resultados de ensayos de la Parte B

Siguiendo la metodología para la realización del Ensayo de Modulo Resiliente del suelo solo y el suelo aditivado que establece la Norma AASHTO T307-99, se arriba a los resultados de  $M_r$ ,  $s_3$  y  $s_d$  en las 15 series de ensayo para cada caso.

Mediante una planilla de cálculo confeccionada a tal fin, con los datos obtenidos se efectúan las correspondientes regresiones para hallar los parámetros  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$ , y el coeficiente de determinación  $R^2$ , para la ecuación constitutiva que emplea el programa de diseño mecanicista de pavimentos BackVid, desarrollado por el IMAE de la Universidad Nacional de Rosario. Para arribar a esta ecuación constitutiva se parte de las tensiones principales que se observan en la Figura 1.

$$\sigma_2 = \sigma_3$$

$$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$$

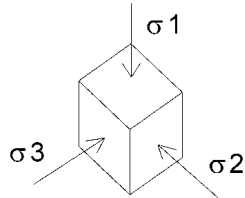


FIGURA 1 Tensiones principales actuantes

De esta manera puede definirse al primer invariante de tensiones  $\theta$  como se observa en la Ecuación 1.

$$\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_d + 3 \cdot \sigma_3 \quad (1)$$

Con este  $\theta$  y una presión atmosférica de 0,1 MPa, puede establecerse la ecuación constitutiva dependiente de  $s_d$  y  $s_3$  de la Ecuación 2.

$$M_r = k_1 \cdot 0,1 \cdot \left( \frac{\theta}{0,1} \right)^{k_2} \cdot \left( \frac{\sigma_d}{0,1} \right)^{k_3} \quad (2)$$

Aplicando las regresiones con la planilla de cálculo antes mencionada se arriba a los resultados de la Tabla 1, en donde pueden observarse los elevados valores de coeficientes de determinación alcanzados, que hacen que las regresiones sean estadísticamente aceptables.

TABLA 1 Resultados de las regresiones efectuadas

Parámetro	Suelo Solo	Suelo Aditivado
k1	11,617	13,658
k2	- 0,092	0,025
k3	- 0,271	- 0,325
R2	0,81	0,89

Luego se ingresan estos parámetros en el programa de diseño BackVid, estableciendo los siguientes parámetros habituales para una solución vial de conservación en la cual se emplee un estabilizante químico, como es el del caso analizado:

- Tránsito de ejes equivalentes anuales de 100.000.
- Subrasante de bajo aporte estructural, equivalente a un VSR inferior al 3 %.
- El espesor de la capa de rodamiento, constituida por el suelo solo o el suelo aditivado, es de 20 cm.

El módulo de trabajo del suelo solo resulta de 13 MPa y el del suelo aditivado de 31 MPa.

Se obtiene como resultado además que el módulo de trabajo de la capa de subrasante es de 36 MPa, es decir superior al módulo de las capas de rodamiento en ambas opciones. Esto podría interpretarse en un principio como un error en el análisis, pero no es así, ya que en suelos plásticos al



**Advice**  
A Volt Information Sciences Company INGENIERÍA

- Civil
- Química
- Industrial Mecánica
- Naval
- Telecomunicación
- Agrimensura
- Eléctrica y Electrónica
- Alimentos

## Reclutamos los Ingenieros que su proyecto necesita.

MONTEVIDEO: Avda. Dr. Luis A. de Herrera 3255 - Tel.: 2480 04 04\*  
 COLONIA: Lavalleja 292, Of. 101 - Tel.: 4522 1937  
 ingenieros@advice.com.uy - www.advice.com.uy

aumentar la profundidad disminuye el tensor desviante y por lo tanto aumenta el módulo.

## CONCLUSIONES

### Conclusiones de la Parte A

La principal conclusión que puede extraerse del análisis efectuado en la parte A es que de las diversas metodologías de análisis planteadas en tal sentido, la más adecuada resulta la expuesta en el Método 5, que permite alcanzar un incremento del VSR del 233 % en el suelo A-7-6 analizado.

Metodología para valorar el aporte del Aditivo Químico de suelos CON-AID Super® sobre suelos naturales:

- Separación de la fracción que pasa el Tamiz N° 4 de la muestra de suelo original.
- Clasificación del suelo-solo según el sistema de Clasificación HRB y establecimiento del contenido de aditivación a ser empleado por parte de CON-AID.
- La dosificación recomendada por CON-AID en función de la Clasificación se expresa en X cm<sup>3</sup> de producto cada 1 litro de agua. Esta disolución es empleada luego en la proporción de 10 cm<sup>3</sup> por cada 1 kg de suelo seco a ser tratado.
- Aditivación del suelo a partir del suelo-solo con la Humedad Óptima, incorporando el producto en disolución en agua, obteniéndose una mezcla con una Humedad un par de puntos por encima de su Humedad Óptima. La mezcla se mantiene en esta humedad durante 24 horas.
- Pérdida de humedad de la muestra aditivada durante 48 horas al aire en ambiente de laboratorio.
- Realización del Ensayo Proctor sobre la muestra de suelo-solo y la muestra de suelo aditivado.
- Aditivación de una nueva muestra de suelo, según la metodología ya expuesta, para realización del Ensayo de Valor Soporte Relativo. Simultáneamente se lleva la muestra de suelo-solo a la Humedad Óptima correspondiente. Este paso de aditivación se puede comenzar antes de obtener los resultados del Ensayo Proctor, para economizar en el plazo de tareas de laboratorio.
- Ambas muestras se dejan homogeneizar durante 24 horas en bolsas impermeables. Luego la muestra aditivada se deja 4 días al aire en ambiente de laboratorio, con rehidratación hasta la Humedad Óptima pasados los primeros 2 días y al finalizar el ciclo, dejándola finalmente 24 horas en esa condición dentro de una bolsa, para homogenización de la Humedad. La muestra de suelo-solo se mantiene en la bolsa impermeable durante este periodo.

- Seguidamente se moldean simultáneamente las respectivas probetas de Valor Soporte Relativo, se colocan a embebido durante 96 horas y se ensayan, determinando la Humedad de Ensayo según lo especificado por norma.
- De las probetas de suelo aditivado ensayadas se toma una muestra y se clasifica según el sistema de Clasificación HRB.

### Conclusiones de la Parte B

Las conclusiones respecto de lo desarrollado en la Parte B del trabajo son:

- Es posible valorar mediante la metodología expuesta, que hace uso de modernas técnicas de análisis de materiales ante solicitaciones dinámicas y de sistemas de diseño de pavimentos modernos, el incremento en el aporte estructural de un suelo natural empleado en conservación de caminos no pavimentados cuando es tratado con un producto estabilizante químico.
- Sobre el suelo analizado, se constata mediante esta metodología un incremento del módulo de trabajo del 238 %, notoriamente muy cercano al incremento de aporte estructural establecido en la Parte A del trabajo mediante el ensayo de VSR, lo cual daría grado de validación a ambas metodologías de análisis.

\* **LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, La Plata (1900), Buenos Aires, Argentina, lemac@frlp.utn.edu.ar, Tel + 54 221 4890413**

\*\* **Con-Aid Argentina S.A., Belgrano 126 Piso 3 Of. 304, (1642) San Isidro, Buenos Aires, Argentina, conaid@conaid.com.ar, Tel.: +54 11 47478686**

- <sup>1</sup> DNV. *Normas de Ensayos de la Dirección Nacional de Vialidad*. Argentina, 1998.
- <sup>2</sup> Quispe, E. y Torres, R. *Generando una cultura de mantenimiento vial rural: el caso del Programa de Caminos Rurales*, Ministerio de Transporte, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, Perú, 2002.
- <sup>3</sup> Department of the Army. *Unsurfaced Road Maintenance Management (TM 5-626)*, EEUU, 1995.
- <sup>4</sup> Rivera J. y Botasso G. et al. *Comportamiento del aditivo químico CON-AID Super® en distintos tipos de suelos, combinación con otros materiales de estabilización* (ISBN 978-950-42-0135-9). Universidad Tecnológica Nacional, Argentina, 2011.
- <sup>5</sup> CONAVI. *Especificaciones Generales para la Conservación de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica* (CRM-2002), Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Costa Rica, 2002.
- <sup>6</sup> Botasso, G. y Rivera J. *Soil-Cement + CON-AID Super® Stabilization*. CON-AID Argentina, Argentina, 2012.
- <sup>7</sup> Giovanon, O. y Pagola M. *Modelos mecanicistas y criterios de falla* (IBP2237-11), XVI Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Brasil, 2011.