

## **DISMINUCION DE CONTENIDOS DE CEMENTO EN CAPAS DE SUELO-CEMENTO MEDIANTE LA INCORPORACION DE UN ESTABILIZANTE QUIMICO**

Gerardo Botasso, Julián Rivera, Oscar Hansen, Andrés Poletti, Martín Villanueva, Gladys Sosa

LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional  
La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina

+54-221-4890413, [jrivera@frlp.utn.edu.ar](mailto:jrivera@frlp.utn.edu.ar)

### **RESUMEN**

Las capas de suelo-cemento constituyentes del paquete estructural de un pavimento, suelen requerir para su constitución contenidos de cemento que van desde un 1,5 % hasta un 10 %, ya sea que se trate en rigor desde una capa cementada a ser empleada en vías de bajo tránsito con reducidos periodos de saturación, hasta una capa constituida por un suelo fino más cemento a ser empleada en un paquete estructural de una vía con alta solicitaciones y en un ambiente con periodos de saturación de importancia. Tanto en un caso extremo como en el otro, y en todas las situaciones intermedias existentes, el componente de costos originado por el contenido de cemento a emplearse suele ser de significancia, lo cual lleva a que el hallar un modo de lograr reducciones de dicho contenido sea un aspecto de fundamental interés. Esta reducción además llevaría a la obtención de respuestas modulares más adecuadas a un pavimento flexible, tanto caminos que sean o no pavimentados.

A partir de ciertas bases teóricas de tipo físico-químicas existía la presunción de que algunos aditivos químicos de los empleados en la estabilización de suelos podían ser empleados de algún modo para el fin citado. Esto llevó al LEMaC a generar un trabajo de investigación en esa línea de pensamiento, encuadrado en un Proyecto I+D con el que cuenta, llegándose a confirmar tales bases teóricas cuando las tareas se realizan teniendo en cuenta algunos condicionantes en particular. En el presente trabajo se presentan los detalles de las tareas realizadas y las conclusiones a las cuales se han arribado en tal sentido.

### **INTRODUCCION**

Las capas de base de suelo-cemento, ya sea que queden expuestas al tránsito o se recubran con una capa de rodamiento, son una de las soluciones viales más empleadas en vías de la región central de la Argentina, en donde el aporte de material granular puede resultar oneroso, debido a las grandes distancias de transporte existentes. Esto se debe principalmente a que en esta amplia zona, se registra la existencia sólo de mantos de suelos finos de variadas características, observándose la presencia y explotación de material granular en lugares muy concentrados y/o alejados de gran parte de las zonas de obras potenciales (ICPA, 2015; Rivera, 2013).

Entre estas capas cementadas existen diferencias relacionadas con el contenido de cemento a emplearse, cubriéndose de este modo un espectro que va desde apenas el entorno del 1,5 % (dando lugar a capas levemente cementadas) hasta aquellas que pueden ubicarse en el entorno del 10 % de cemento (límite máximo habitualmente recomendable por rigidez para un pavimento flexible), hablando siempre de porcentajes respecto del peso de suelo seco (Garber et al, 2011; Rico y Del Castillo, 1996).

A partir de ciertas bases teóricas de tipo físico-químicas, es posible considerar que algunos de los aditivos químicos empleados habitualmente en la estabilización de suelos viales pueden ser empleados para generar una reducción en los contenidos de cemento previstos o, al menos, ante ese mismo contenido de cemento obtener un mayor aporte estructural de la capa.

Las condiciones enunciadas han llevado al LEMaC a generar un trabajo de investigación en esa línea de pensamiento, encuadrado en un Proyecto I+D con el que cuenta, buscando establecer parámetros que pudieran confirmar dicha teoría y generar una sistemática de ensayos asociada, empleable en el diseño y control de estas capas, buscando introducir el menor número de cambios en la sistemática normalizada generalmente empleada.

## **MATERIALES Y METODOS**

El análisis bibliográfico permite establecer que el diseño estructural de una vía que emplea una capa de suelo-cemento se debe realizar de diferentes maneras de acuerdo a en cuál de estos límites de contenido de cemento se esté trabajando. De este modo cuando se lo hace en cercanías al límite máximo citado del 10 % de cemento, la metodología por excelencia que permite estimar del Módulo de Rigidez (MR) de trabajo en forma indirecta es la que implica la determinación de la Resistencia a Compresión Inconfinada (RCI) de probetas moldeadas a tal fin a una edad de 7 días. Por otro lado, cuando el contenido de cemento se ubica en el límite mínimo cercano al 1,5 %, la determinación RCI se vuelve imposible de aplicar, dada la disgregación de las probetas al ser sumergidas en agua en forma previa a su rotura, tornándose por lo tanto el ensayo de Valor Soporte Relativo (VSR) como la alternativa factible de empleo.

En esta primera parte de un trabajo completo más abarcativo, motivo de la presente publicación, se ha decidido abordar el análisis correspondiente a los contenidos mínimos de cemento citados. En futuras presentaciones se ampliará el estudio, abordando el límite superior de contenido de cemento, más los puntos intermedios entre ambos.

No obstante las observaciones de índole teórico efectuadas, resulta necesario verificar el hecho de que no es factible aplicar para estos contenidos la metodología de análisis a partir de la RCI, pero sucede que en la práctica existen diversas metodologías de análisis aplicables, algunas de las cuales no reflejan a ciencia cierta los lineamientos básicos de los modelos de diseño estructural relacionados (Rivera, 2013). Por ello, desde el LEMaC se encaró oportunamente un trabajo de investigación, encuadrado en un Proyecto I+D del Programa de Incentivos del

Ministerio de Educación de la Nación, que llevó al desarrollo del procedimiento de ensayo LEMaC-B05/15, que apunta a establecer un procedimiento para la obtención de la RCI adaptado a las condicionantes locales y a los modelos de diseño estructural de pavimentos de uso más difundido en la región (LEMaC, 2016). Este procedimiento es entonces el aplicado para poder establecer si se puede descartar el empleo de la RCI como parámetro de referencia para el entorno de contenido de cemento citado.

Por otro lado, el ensayo de VSR en su normativa no contempla tanto la incorporación de cemento como la del aditivo químico. En trabajos previos llevados adelante por el LEMaC se abordó la temática, arribándose a dos procedimientos de ensayo que vienen a cubrir esta falencia normativa. De este modo se genera el procedimiento LEMaC-B07/12, que entiende sobre la valoración de mezclas de suelo-cemento-aditivo químico, pero en la confección de probetas para RCI, y el procedimiento LEMaC-B02/12, que entiende sobre el ensayo de VSR pero sólo en mezclas de suelo-aditivo químico (LEMaC, 2016). Para la determinación del VSR en este tipo de mezclas, se emplea entonces una conjunción de ambos procedimientos, en aquellos pasos que resultan necesarios, de acuerdo a los detalles que se citan en el apartado siguiente.

## RESULTADOS

Para llevar adelante la experiencia se procedió a tomar un suelo patrón para el estudio. De entre las posibilidades existentes se optó por un suelo seleccionado, tipo A-4 de la Clasificación HRB, que reúne las características que se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización del suelo

<b>Clasificación según Norma: (VN-E1-65;VN-E2-65;VN-E3-65)</b>	
LL =	36
LP =	np
IP =	0
PT N° 10 =	81
PT N° 40 =	68,4
PT N° 200=	56,8
HRB	A - 4 (0)

Sobre dicho suelo se realizó el ensayo Proctor Estándar para determinar su Densidad Seca Máxima (D<sub>smax</sub>) y su Humedad Óptima (H<sub>opt</sub>), parámetros que permiten luego moldear y ensayar probetas para determinar su VSR e Hinchamiento, de acuerdo a lo normalizado por DNV. En la Tabla 2 se observan los resultados obtenidos en tal sentido.

Tabla 2. Resultados del suelo solo  
*Resultado ensayo Proctor Estándar (VN-E3-93)*

Dsmax [g/cm <sup>3</sup> ]	1,470
Hopt [%]	24,6

*Resultados ensayo Valor Soporte Relativo (VN-E6-84)*

VSR [%]	17,7
Hinchamiento [%]	1,8

Luego se procedió a analizar los resultados obtenibles al efectuar con un contenido del 1,5 % de cemento una mezcla de suelo-cemento. Para ello se realizó el Ensayo Proctor Estándar siguiendo la normativa DNV para este material. Con los resultados obtenidos por esta vía se aplicó el procedimiento LEMaC-B05/15 para determinar RCI, pero se observó que la totalidad de las probetas que conformaron el juego en estudio se desintegraron al efectuarse la inmersión en agua previo a su ensayo, tal cual se observa en la Figura 2, razón por la cual se procede a desestimar este procedimiento de análisis para este caso en particular.

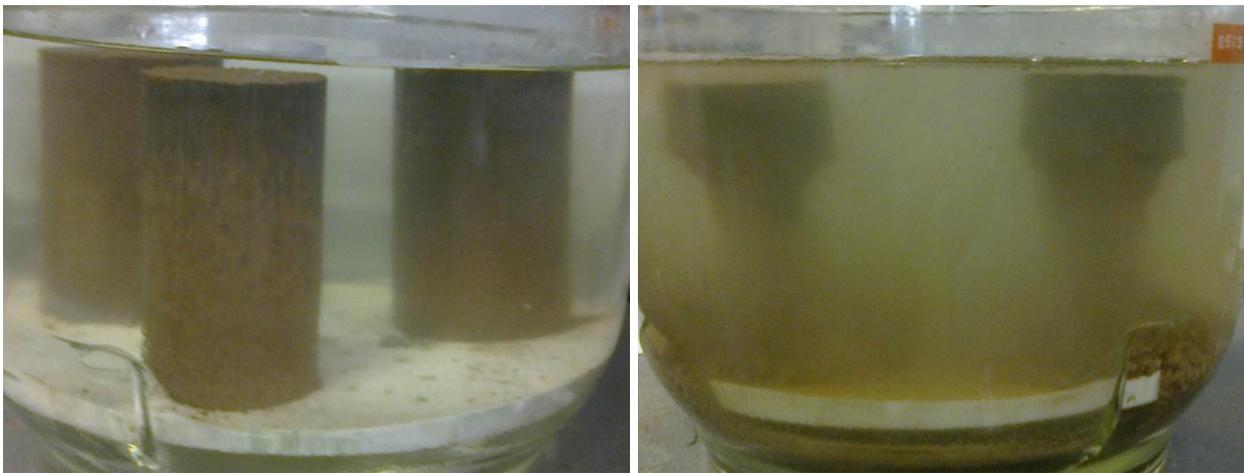


Figura 2. Probetas recién sumergidas (izq) y a los 30 minutos de inmersión (der)

Dados estos resultados se decide de aquí en más aplicar los análisis entorno al VSR. A tal efecto se realiza nuevamente la mezcla y se procede al ensayo, obteniéndose los resultados que se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la mezcla suelo-cemento  
*Resultado ensayo Proctor Estándar (VN-E3-93)*

Dsmax [g/cm <sup>3</sup> ]	1,426
Hopt [%]	27,8

*Resultados ensayo Valor Soporte Relativo (VN-E6-84)*

VSR [%]	27,4
Hinchamiento [%]	0,2

Puede corroborarse de este modo que existe un incremento importante en el aporte estructural del material, tal cual se preveía, siendo que la Dsmax baja y aumenta la Hopt, resultados típicos en este tipo de materiales.

Pasada esta instancia se procede a analizar si existe un incremento de aporte al emplear sólo el aditivo químico sobre este suelo en específico. Para ello se selecciona una muestra de un producto aditivo químico de suelos del mercado local. El proveedor de dicho producto posee en tal sentido una metodología que le permite establecer el contenido óptimo de producto a ser empleado. Se envía al proveedor por lo tanto una muestra del suelo patrón, y el mismo establece que la dosis óptima. Utilizando dicha dosis y el procedimiento LEMaC-B02/12 para la mezcla suelo-aditivo químico se obtienen los resultados que se observan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la mezcla suelo-aditivo químico  
*Resultado ensayo Proctor Estándar (VN-E3-93)*

Dsmax [g/cm <sup>3</sup> ]	1,485
Hopt [%]	24,5

*Resultados ensayo Valor Soporte Relativo (VN-E6-84)*

VSR [%]	23,6
Hinchamiento [%]	0,5

Nuevamente se corroboran aquí resultados de los que habitualmente se registran con estos materiales, observándose un aumento de la Dsmax sin variación significativa de la Hopt, lo cual permite obtener un incremento marcado en el VSR y una importante disminución en el Hinchamiento, aunque sin llegar a los resultados obtenidos en la mezcla de suelo-cemento.

Pasada esta etapa se decide analizar los resultados obtenibles con la mezcla de suelo-cemento-aditivo químico. Existen diversas maneras de encarar el proceso constructivo en tal

sentido, y por lo tanto su sistemática de ensayo que lo refleje. Como una primera prueba se decide analizar un proceso constructivo que implique en primer lugar la mejora del suelo generada por el aditivo químico, realizando y curando una mezcla suelo-aditivo químico tal cual lo establecido en el procedimiento correspondiente. Cumplida esa etapa, y dada la ganancia de aporte generada por el aditivo químico, se procede a la aplicación del cemento, para generar de ese modo la mezcla suelo-cemento-aditivo químico. De este modo se tiene un proceso que implicaría la sumatoria de los aportes de los dos materiales por separado. Mediante esta metodología de análisis se arriba a los resultados que se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de la mezcla suelo-aditivo químico + cemento  
*Resultado ensayo Proctor Estándar (VN-E3-93)*

Dsmax [g/cm <sup>3</sup> ]	1,453
Hopt [%]	24,5

*Resultados ensayo Valor Soporte Relativo (VN-E6-84)*

VSR [%]	29,5
Hinchamiento [%]	0,3

Los resultados obtenidos son acordes a lo previsto, observándose una reducción de la Dsmax (evidenciando una influencia mayor del cemento) sin modificar la Hopt, y obteniéndose un VSR mayor al de los productos incorporados en forma individual, aunque no con resultados que alcancen a su sumatoria por separado. El Hinchamiento también es acorde a lo previsible. Se observa de este modo que este proceso constructivo pone en evidencia un aporte de ambos materiales, sin alcanzarse la sumatoria de incrementos que cada uno aportaría.

Por lo expresado, y en cumplimiento de lo que en experiencias previas ha podido ratificarse, se procede a analizar un proceso constructivo en donde el aditivo químico, más allá del aporte que le dé al suelo solo, funcione principalmente como un potenciador de efecto de la incorporación del cemento. Para reflejar esto en el proceso constructivo y en la sistemática de ensayo, se procede a realizar un análisis en donde la incorporación del aditivo químico se dé en forma simultánea con la del cemento, aplicándose de allí en más las indicaciones correspondientes al uso de este último. Los resultados obtenidos por esta vía se observan en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de la mezcla suelo-cemento-aditivo químico  
*Resultado ensayo Proctor Estándar (VN-E3-93)*

Dsmax [g/cm <sup>3</sup> ]	1,435
Hopt [%]	24,4

*Resultados ensayo Valor Soporte Relativo (VN-E6-84)*

VSR [%]	35,4
Hinchamiento [%]	0,5

Se observa aquí nuevamente la disminución de la Dsmax esperable, sin modificación de la Hopt, con un marcado incremento del VSR, a valores que superarían incluso la sumatoria de lo aportado en forma individual por ambos productos.

## CONCLUSIONES

Se desprende de lo analizado en este trabajo que:

- Para vías en donde se empleen capas de suelo levemente cementadas, con el potencial aporte de aditivos químicos, el análisis en cuanto al aporte estructural alcanzado por la capa debe efectuarse a través de la determinación del Valor Soporte Relativo, empleando para ello una integración entre lo especificado en el procedimiento LEMaC-B02/12 y el procedimiento LEMaC-B07/12.
- En aquellas de estas capas en la que se constituya una solución del tipo suelo-cemento-aditivo químico, el principal aporte de este último se da por su efecto potenciador de la incorporación del cemento, obteniéndose incluso resultados por encima de los que se obtendrían con el empleo de cada material por separado. Por esta razón es que el procedimiento constructivo a ser empleado en obra, y que se ve reflejado en la sistemática de ensayo, es el de generar el mezclado del suelo, el cemento y el aditivo químico en forma simultánea.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

DNV, "Normas de Ensayos de la Dirección Nacional de Vialidad", Argentina, 1998.

GARBER S, RASMUSSEN R, HARRINGTON D, "Guide to Cement-Based Integrated Pavement Solutions", Iowa State University, EEUU, 2011.

ICPA, "Construcción de Bases y Subbases de Suelo Cemento", Departamento técnico de pavimentos, Instituto del Cemento Portland Argentino, Argentina, 2015.

LEMaC. "Guía de metodologías y procedimientos para uso vial desarrollados en el LEMaC - Centro de Investigaciones Viales (edición 2016)", Editorial edUTecNe (ISBN 978-987-1896-51-6), Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. 2016. Consultado web abril de 2016: [http://www.edutecne.utn.edu.ar/lemac/guia\\_metodologias\\_uso\\_vial.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/lemac/guia_metodologias_uso_vial.pdf)

RICO A, DEL CASTILLO H, "La ingeniería de suelos (Volumen 2)", Limusa, ISBN 968-18-0079-6, México, 1996.

RIVERA J, "Diseño estructural de pavimentos basados en metodologías empíricas, mecanicistas y empírico-mecanicistas", Cátedra Vías III, Universidad Tecnológica Nacional Fac. Reg. La Plata, Argentina, 2013.