

CAPAS DE SUELO-CEMENTO-ESTABILIZANTE QUIMICO PARA EL MEJORAMIENTO DE CAMINOS RURALES. BASES PARA SU ANALISIS

Julián Rivera, Gerardo Botasso, 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

INTRODUCCION

Las capas de base de suelo-cemento, ya sea que queden expuestas al tránsito o se recubran con una capa de rodamiento mínima, son una de las soluciones viales más empleadas en caminos rurales de la región central de la Argentina de cierto estándar de prestaciones, 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.

Entre estas capas cementadas se destacan aquellas que requieren de la aditivación de bajos contenidos de cemento, habitualmente de no más de un 2 % respecto del peso de suelo seco, en donde el mismo se incorpora con la finalidad principal de mitigar en alguna medida el potencial de erosión de la capa, ya sea por las condiciones climáticas a las que queda expuesta o a la acción del tránsito circulante por la misma (CONAVI, 2002; DTA, 1995; Quispe y Torres, 2002).

No obstante tratarse de bajos contenidos de cemento, es justamente la provisión de este material una de las componentes del precio que más amerita de su ajuste, ya que en forma relativa con el resto de las componentes previstas para una solución de bajo costo como esta, su costo resulta de importancia.

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 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.

En el presente trabajo se presentan los detalles de las tareas realizadas y las conclusiones a las cuales se han arribado en tal sentido.

MATERIALES Y METODOS

El diseño estructural de vías rurales no pavimentadas, o que cuentan con una capa de protección superficial mínima, no puede abordarse directamente mediante las metodologías habitualmente empleadas en la resolución de paquetes estructurales que cuentan con una superficie pavimentada, como es el caso de los modelos AASHTO93, SHELL78, ME-PDG, etc. (MTC, 2008).

Es por esto que desde diversas reparticiones viales se han intentado desarrollar modelos que de algún modo puedan establecer algún parámetro de diseño en tal sentido. Entre estos se encuentra el modelo de origen australiano, conocido como Método NAASRA-AUSTROADS, que permite obtener el espesor de base granular requerido en vías no pavimentadas (MTC, 2008; Rivera, 2013), el cual se observa en la Ecuación 1.

$$e = [219 - 211 \cdot \log_{10} VSR + 58 \cdot \log_{10} VSR^2] \cdot \log_{10} (Nrep/120) \quad (1)$$

Donde:

e = Espesor en mm de la capa de base estabilizada granular requerida

VSR = Valor Soporte Relativo en %

N_{rep} = Número de repeticiones de ejes equivalentes

Al establecer el espesor de base estabilizada granular requerida para un caso en particular, el mismo puede ser traducido a un número estructural, considerando un coeficiente a aporte estructural por pulgada habitual asignable a este material de 0,140. De este modo, con ese número estructural retrocalculado, pueden establecerse alternativas que presenten una equivalencia estructural, entre las cuales se encontrarían las que incluyen bases de suelo-cemento (Rivera, 2013).

Generalmente en las capas de base de suelo-cemento, que implican un contenido de cemento del entorno del 8 %, dependiendo del suelo empleado, esta consideración desde el punto de vista estructural se puede efectuar con lo establecido en la Guía AASHTO93. En ésta se observa que el aporte estructural de este tipo de bases se obtiene mediante su Figura 2.8 (Figura 1), que correlaciona el Aporte Estructural Unitario de la Capa de Base (a_2) con la Resistencia a Compresión Inconfinada obtenida a una edad de 7 días aplicando la Norma ASTM D-1633 (AASHTO, 1993), entre otros parámetros mecánicos.

Al analizar esta norma se observa que la misma contempla dos métodos de análisis de acuerdo a la tipología de suelo-cemento en cuestión (Método A y B). De estos, el Método B es el que resulta de interés, por aplicar sobre muestras confeccionadas con material que pasa en su totalidad el Tamiz N° 4 (4,75 mm de abertura), empleando probetas cilíndricas de diámetro 71 mm y altura 142 mm, es decir con esbeltez de 2,0 (ASTM, 2000). Las mismas deben ser moldeadas y curadas siguiendo la Norma ASTM D-1332, y ensayadas al cumplirse los 7 días de edad a una velocidad de avance de 1 mm/minuto cuando se ensayan en una prensa con tornillo, o a una velocidad de incremento de carga de entre 70 kPa/s y 140 kPa/s si se ensayan con una prensa hidráulica. Por su parte, la Norma ASTM D-1632 establece una metodología de moldeo de las probetas estática a doble pistón (ASTM, 1996).

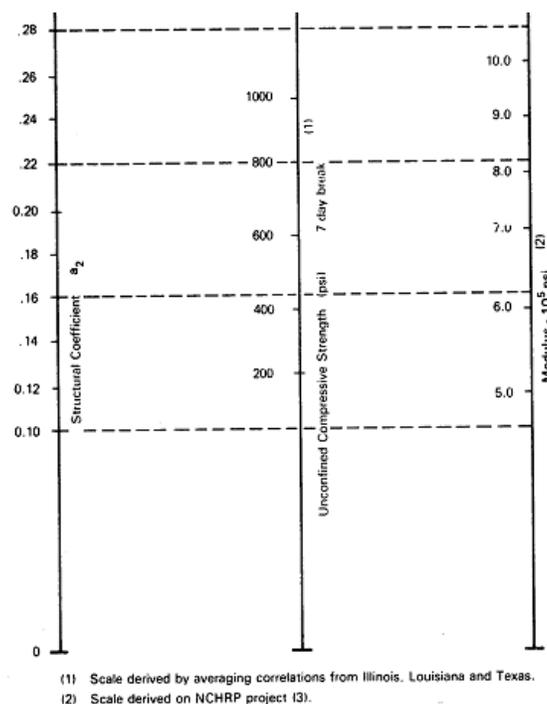


Figura 1. Variación en una base tratada con cemento de los parámetros de resistencia

Al analizar lo establecido por la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) como sistemática de ensayo aplicable en la consideración de este tipo de material, ente por excelencia del cual se utilizan sus indicaciones como las de referencia en toda la Argentina, se observa que se establece una velocidad de ensayo de $1,4+0,7 \text{ kg/cm}^2$ en la Norma VN-E33-67, que entiende sobre el ensayo a compresión de las probetas de suelo-cemento, referenciando a la Norma VN-E19-66 y a la Norma IRAM 10522 el moldeo de las probetas (DNV, 1998). Estas últimas definen para el “material fino” un sistema de moldeo de las probetas de diámetro de 101,6 mm y altura 116,6 mm, dinámico en tres capas de 25 golpes con el pisón T-99 (DNV, 1998; IRAM, 1972), similar al del Ensayo Proctor Tipo I.

La Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires (DVBA), ente del cual también su normativa es utilizada como de referencia, por su parte establece en su Norma Técnica N°49 para los “suelos finos”, con menos del 50 % de material que pase el Tamiz N°270, el moldeo de probetas cilíndricas de 50 mm de diámetro y 100 mm de altura y su curado hasta una edad de 7 días (DVBA, 1991). Dicho moldeo se realiza acomodando con pisón la muestra en tres capas y efectuando la compactación en forma estática y a simple pistón.

Como puede deducirse de todo lo citado, la normativa argentina aplicada en la inmensa mayoría de los casos en donde se constituyen capas de base de suelo-cemento con suelos finos, guarda diferencias más o menos notorias con la normativa utilizada de referencia por el método de análisis estructural de mayor uso en ese mismo medio, como lo es la Guía AASHTO93.

Cabe por esto establecer la incertidumbre en cuanto a si los resultados obtenidos bajo una sistemática son análogos o no a los establecidos bajo las otras. Por este motivo desde el LEMaC se encaró oportunamente un trabajo de investigación, encuadrado en el Proyecto I+D “Análisis para la calibración a las condiciones locales de modelos para el diseño de pavimentos basados en evaluaciones superficiales y estructurales” del Programa de Incentivos del Ministerio de Educación de la Nación, que llevó al desarrollo del procedimiento de ensayo LEMaC-B05/15 (LEMaC, 2016).

Pero como se ha expresado, la validez de esta sistemática de ensayo se da generalmente en contenidos de cemento cercanos al 8 % (constituyendo bases para pavimentos, que no son el motivo del presente trabajo). Como en el caso de la base de suelo-cemento-aditivo químico el contenido de cemento empleado sería mucho menor, existe la posibilidad de inconvenientes en su aplicación. Puntualmente, resulta previsible que se genere en estos casos la desintegración de las probetas al ser sumergidas en agua en forma previa a su ensayo. Por tal razón es necesario encontrar otro ensayo que permita cumplir con la finalidad planteada.

El ensayo por excelencia que entiende en tal sentido es el de Valor Soporte Relativo (VSR). Pero dicho ensayo 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 (LEMaC, 2016), que entiende sobre la valoración de mezclas de suelo-cemento-aditivo químico, pero en la confección de probetas para Resistencia a Compresión Inconfinada (RCI), y el procedimiento LEMaC-B02/12 (LEMaC, 2016) que entiende sobre el ensayo de VSR pero sólo en mezclas de suelo-aditivo químico.

Dada esta situación se decide encarar un estudio que permita establecer para este rango de contenidos de cemento cuál de las dos determinaciones corresponde analizar (RCI o VSR), corroborar la potencialidad de empleo de las mezclas suelo-cemento-aditivo químico, y establecer una vez corroborado esto cuál es el proceso constructivo óptimo relacionado.

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

Clasificación según Norma: (VN-E1-65;VN-E2-65;VN-E3-65)	
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_{smax}) y su Humedad Optima (H_{opt}), 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)

D _{smax} [g/cm ³]	1,470
H _{opt} [%]	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.

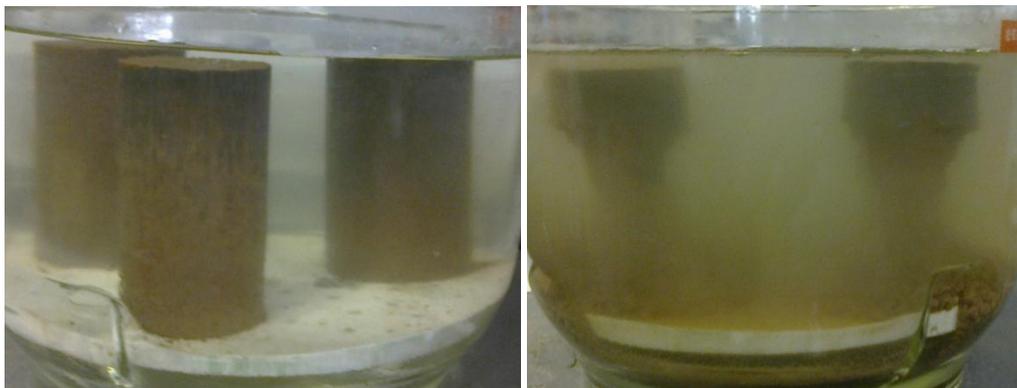


Figura 2. Probetas recién sumergidas (izq) y a los 30 minutos de inmersión (der)

Dados estos resultados se decide de aquí en más aplicar los análisis en torno 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 ³]	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 de excelencia en el mercado local y uso difundido. 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 ³]	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 ³]	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 ³]	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 rurales no pavimentadas o que reciben una capa de protección superficial mínima, la constitución de capas de suelo levemente cementadas son una opción que permite reducir la pérdida por erosión dada la influencia climática y la acción del tránsito.
- El análisis estructural de dichas capas no debería conducirse con los modelos de cálculo habituales, sino que deberían emplearse modelos alternativos sencillos que se encuentran a disposición.

- Estos modelos implican la necesidad de considerar las capas por medio de su aporte estructural.
- Ante contenidos reducidos de cemento, con el potencial aporte de aditivos químicos, el análisis 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 la de generar el mezclado del suelos, el cemento y el aditivo químico en forma simultánea.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AASHTO, “AASHTO guide for design of pavement structures 1993”, American Association of State Highway and Transportation Officials, ISBN 1-56051-055-2, EEUU, 1993.
- ASTM, “ASTM D1632-96 – Standard Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory”, EEUU, 1996.
- ASTM, “ASTM D-1633-00 – Standard Test Methods for compressive Strength Molded Soil-Cement Cylinders”, American Society for Testing Materials, EEUU, 2000.
- 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.
- DNV, “Normas de Ensayos de la Dirección Nacional de Vialidad”, Argentina, 1998.
- DTA, “Unsurfaced Road Maintenance Management (TM 5-626)”, Department of the Army, EEUU, 1995.
- DVBA, “Norma Técnica N°49 – Ensayo de compresión para probetas compactadas de suelo-cal y suelo-cemento”, Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, 1991.
- IRAM, “IRAM 10.522/72 - Método de ensayo de compactación en mezclas de suelo-cemento”, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Argentina, 1972.
- 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
- MTC, “Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito”, Ministerio de Transporte Y Comunicaciones, Perú, 2008.
- QUISPE E, 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.
- 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.