

Economía en calles sin pavimentar de suelo-cemento por uso de agente estabilizante

Julián Rivera, Anael Porro, Andrés Poletti, Oscar Hansen

Resumen

Una de las maneras de tratar las calles sin pavimentar que están constituidas con ciertos tipos de suelos, es la de generar una mezcla superficial denominada suelo cemento. Esa mezcla puede registrar una economía si en lugar de parte del cemento a adicionarse, se incorporan ciertos agentes estabilizantes químicos. Se analiza en la presente publicación como el ingeniero a cargo puede efectuar el análisis de la estructura del pavimento en tal sentido.

Abstract

One of the ways to treat an unpaved street, when it is constituted with certain types of soils, is to generate a surface mix of materials called soil cement. This mix can register an economy if part of the cement to be added is replaced by certain chemical stabilizing agents. In this publication in analyzed as the engineer in charge can perform the study of the pavement structure in this cases.

Palabras clave: calles no pavimentadas, base de suelo-cemento, estabilizantes de suelos

INTRODUCCIÓN

Uno de los métodos de mayor difusión para la estabilización de calles sin pavimentar que cuentan superficialmente con suelos de aceptable aptitud vial, es la de la generación de las capas conocidas como “bases de suelo cemento” [1]. Desde el LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN-CIC, emplazado en la ciudad de La Plata, se decide analizar cómo estas bases pueden registrar una economía si en su constitución se les adiciona cierto contenido de un agente estabilizante químico, de marcado menor costo, en reemplazo del cemento a utilizarse; generando una situación que permite una mejora social del entorno, pues más m² de superficie puede ser tratada a igual empleo de recursos. Este aspecto es de interés de las reparticiones viales a nivel nacional, provincial y municipal, como así también para entes privados, como es el caso de desarrolladoras de barrios privados, parques industriales, empresas concesionarias, etc. De entre éstas cabe destacar como demandantes en tal sentido, y potenciales adoptantes a aquellas con las que desde el LEMaC se mantienen convenios y se llevan acciones coordinadas, es decir la mayoría de los entes públicos y privados que entienden en la materia. Por citar sólo algunos, la Dirección Nacional de Vialidad, la Dirección de Vialidad de Buenos Aires, la Dirección de Vialidad de Mendoza, la Municipalidad de Magdalena, la desarrolladora EIDICO, el Parque Industrial

Campana, la empresa Buenos Aires Zona Franca, entre otros.

Para eso se contacta a la empresa CON-AID Argentina, que entiende sobre este tipo de productos estabilizantes y se genera un proyecto PDS conjunto en tal sentido, denominado “Metodología para el análisis de capas viales de suelo, cemento y aditivo químico” (PCTI-255, Resolución MCTIP 20/17).

Se vuelcan aquí los primeros resultados a los cuales se ha arribado con los ensayos llevados a cabo en función del proyecto mencionado, en el marco de su primera etapa prevista. En su segunda etapa se contempla la materialización de los avances en obra, lo cual no se ha podido realizar al día de la fecha.

MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS

Materiales

- Suelo seleccionado (SS) extraído de una cantera de los alrededores de La Plata, limo-arcilloso cuya clasificación Highway Research Board (HRB) fue A-4 (0) de acuerdo a la Norma VN-E4-84 [2].
- Cemento Portland Compuesto (CPC-40). Es un cemento Portland compuesto con adiciones minerales, de los que habitualmente se emplean en la obra vial.
- Aditivo químico denominado como B. Se lo puede definir como un agente de superficie que modifica la capacidad de

mojado de las partículas de arcilla. A su vez esta condición permite que las partículas de suelo se aproximen entre sí, generando estructuras posiblemente más densas. Se ha asignado con la letra B a una de las marcas comerciales utilizadas en el proyecto de investigación.

Procedimientos

Para el proceso de adición del producto B, se aplica la metodología establecida por su empresa proveedora, de diluir X cantidad de centímetros cúbicos en un litro de agua (en este caso la cantidad diluida fue de 3 cm³) y de aplicar esta solución a razón de 10 cm³ por cada kilogramo de suelo seco a ser tratado, continuando luego con la aplicación del procedimiento “LEMaC-B07/12 - Metodología para el análisis de la incorporación de un estabilizante químico de suelos en la estabilización de tipo suelo-cemento”. [3]

Se comparan dos procesos de adición del producto para seleccionar el más apto; todo esto sobre mezclas del suelo seleccionado y del cemento empleado de referencia (suelo+cemento), y de esos materiales más la incorporación del estabilizante químico (suelo+cemento+estabilizante).

Un procedimiento con la incorporación del cemento y el estabilizante de manera simultánea (Tabla 1); y el otro aplicando un proceso de “curado” del suelo luego de haber sido adicionado el estabilizante, consistente en dejarlo al aire en ambiente de laboratorio durante 48 horas, para proceder luego a la incorporación del cemento, es decir una adición en forma escalonada (Tabla 2). Para seleccionar el método de trabajo, se realizan Ensayos de Compactación de acuerdo a la Norma VN-E5-65 (que permite obtener la densidad seca máxima $D_{seca_{max}}$ y la humedad óptima H_{opt}) y de Valor Soporte Relativo (VSR) según Norma VN-E6-84, que permite obtener el VSR y el Hinchamiento (H) [2]. Analizando los resultados obtenidos se observa que los VSR mediante la primera metodología de mezclado aplicable son superiores (es decir mezclado en forma simultánea), por lo que se decide ratificarla para el resto del estudio.

Tabla 1: Resultados mediante “mezclado simultáneo”

Caso	Ensayo de Compactación		VSR	
	Dsecam _{ax} (g/cm ³)	Hópt. (%)	VSR (%)	H (%)
SS + 1,5% cto	1,426	27,8	17,9	0,2
SS +1,5% cto + 3cm ³ de B	1,435	24,4	20,3	0,5

Tabla 2: Resultados mediante “mezclado escalonado”

Caso	Ensayo de Compactación		VSR	
	Dsecam _{ax} (g/cm ³)	Hópt. (%)	VSR (%)	H (%)
SS + 1,5% cto	1,485	24,5	15,5	0,5
SS +1,5% cto + 3cm ³ de B	1,435	24,5	18,5	0,3

En esta instancia, se ejecutan también Ensayos de Compactación y VSR al suelo con una adición de 6 cm³ de producto B, manteniendo la cantidad de cemento en 1,5 %, comprobándose que no se modifican los valores de referencia. Por esto se deduce que la dotación de estabilizante utilizada previamente sería la óptima para este material, al menos ante bajos contenidos de cemento, manteniéndola fija de aquí en adelante.

Finalmente, dentro de las metodologías empleadas, cabe destacar el ensayo de Resistencia a Compresión Inconfinada (RCI) necesario para los estudios llevados a cabo generalmente cuando los contenidos de cemento son elevados. Éste se ejecuta según la metodología “LEMaC-B05/15 - Resistencia inconfinada de capas de suelo cemento que emplean suelos finos”. [3]

RESULTADOS

Se analiza la evolución de la $D_{seca_{max}}$ y H_{opt} a contenidos crecientes de cemento, en estabilizaciones de suelo+cemento, dados los resultados volcados en la Tabla 3. Además, se analiza esta tendencia en mezclas de suelo +cemento+estabilizante, según los resultados de la Tabla 4.

Tabla 3: Análisis de compactación para suelo+cemento

Caso	Ensayo de Compactación	
	Dseca _{máx} (g/cm ³)	Hópt (%)
SS + 0% cto.	1,459	25,8
SS + 5% cto.	1,445	25,1
SS + 7% cto.	1,437	25,9
SS + 9% cto.	1,420	26,5

Tabla 4: Análisis de compactación para suelo+cemento+estabilizante

Caso	Ensayo de Compactación	
	Dseca _{máx} (g/cm ³)	Hópt. (%)
SS + 3cm ³ de B + 0% cto.	1,453	25,7
SS + 3cm ³ de B + 5% cto.	1,469	24,8
SS + 3cm ³ de B + 9% cto.	1,506	23,8

En ambas tablas se observan valores aproximadamente constantes de la Hópt, próximos al 26,0%, razón por la cual se decide instrumentarlo como de referencia.

En la Figura 1 se observa la tendencia en cuanto a los resultados obtenidos de Dseca_{máx}, que permiten la obtención de un Coeficiente de Determinación R² para la regresión lineal de 0,92 superior al límite empírico generalmente establecido para este tipo de estudios de 0,90 [4].

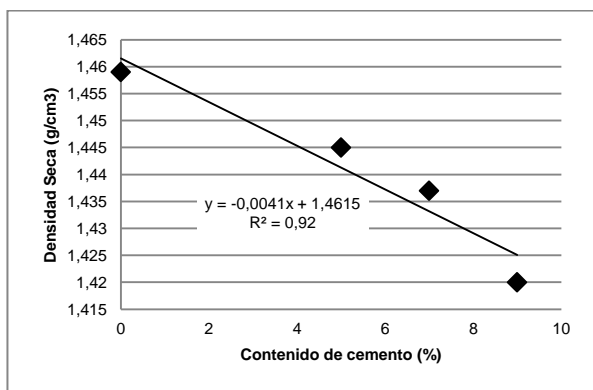


Figura 1: Evolución Dseca_{máx} en mezclas suelo+cemento

Como se observa la pendiente de la gráfica de la Figura 1 es negativa; mientras que sucede todo lo contrario cuando se analiza lo que sucede en la mezcla de suelo+cemento+estabilizante que se observa en la Figura 2. Esta tendencia también presenta un R² aceptable, aunque claro está esto se debe también a que en ambos casos los puntos que constituyen el análisis son muy reducidos.

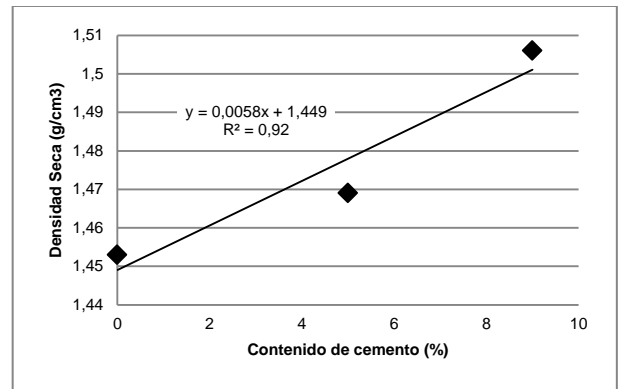


Figura 2: Evolución Dseca_{máx} en mezclas suelo+cemento+estabilizante

Para analizar si los rangos de Dseca_{máx} establecidos en ambos casos resultan significativos en cuanto a la RCI, se moldean probetas con mezclas con un mismo contenido de cemento (5 %), con valores de Dseca_{máx} de 1,440 g/cm³ y 1,500 g/cm³ y una Hópt de 26 %. Sobre estas probetas se determina su RCI, pudiéndose corroborar que las diferencias de Dseca_{máx} resultan significativas; ya que en las mezclas de suelo+cemento la RCI aumenta aproximadamente un 50 % entre los límites establecidos; y en las mezclas de suelo+cemento+estabilizante aumenta aproximadamente un 30 %. Por lo cual se deduce que deben efectuarse los moldeos para cada contenido de cemento en función de la Dseca_{máx} que se estime para cada caso en particular.

A partir de las tendencias en los valores de Compactación en ambos casos analizados, se estudian las resistencias alcanzables a través del ensayo de RCI. El estudio se aplica sobre el suelo con la adición del 2 %, 3 %, 4 %, 5 % y 7% de cemento, con las Dseca_{máx} obtenidas de las regresiones efectuadas en los casos de adición de estabilizante químico B y sin la adición del mismo. Los resultados son los volcados en la Tabla 5.

También se realizan los ensayos de VSR para 1,5 %, 2 % y 3 % de cemento, poniendo en práctica el análisis de compactación necesario, obteniendo los resultados de la Tabla 6.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DISCUSIÓN

Se observa de los resultados de la Tabla 5, que no pueden aplicarse determinaciones de RCI en contenidos de cemento menores al 2 %, por disgregarse las probetas, previo a su ensayo.

Tabla 5. Resultados de RCI para las diversas combinaciones

Caso	Val. de Ref.		RCI
	Dseca _{máx} (g/cm ³)	Hum. (%)	Tensión prom. (KPa)
SS + 3cm ³ de B +2% CTO	1,461	26,0	Se disgregaron
SS + 3cm ³ de B +3% CTO	1,466	26,0	118,4
SS + 3cm ³ de B +4% CTO	1,472	26,0	490,4
SS + 3cm ³ de B +5 CTO	1,478	26,0	1167,0
SS + 3cm ³ de B +7% CTO	1,490	26,0	2569,4
SS + 2% CTO	1,454	26,0	Se disgregaron
SS + 3% CTO	1,450	26,0	256,6
SS + 4% CTO	1,445	26,0	470,7
SS + 5% CTO	1,441	26,0	843,4
SS + 7% CTO	1,433	26,0	2000,6

Tabla 6. Resultados de RCI para las diversas combinaciones

Caso	Val. de Ref.		Resultados	
	Dseca _{máx} (g/cm ³)	Hum (%)	VSR (%)	H (%)
SS + 3cm ³ de B + 1,5% CTO	1,458	26,0	21,3	0,7
SS + 3cm ³ de B + 2% CTO	1,461	26,0	22,0	0,5
SS + 3cm ³ de B + 3% CTO	1,466	26,0	56,1	0,3
SS + 1,5% CTO	1,455	26,0	19,9	0,5
SS + 2% CTO	1,453	26,0	24,3	0,7
SS + 3% CTO	1,450	26,0	54,6	0,3

En la Tabla 5 se evidencia que a contenidos de cemento superiores al 4%, con el ensayo de RCI existe un incremento de la capacidad portante en mezclas de suelo+cemento+estabilizante, respecto de mezclas de suelo+cemento. La misma tendencia se repite para el ensayo de VSR para 1,5 % y 3 % de cemento, según se observa en la Tabla 6.

Para analizar la existencia de una correlación entre los valores obtenidos de RCI y VSR, y los correspondientes coeficientes estructurales asignables, según lo que propone la Guía AASHTO93 [5], se confecciona la Figura 3.

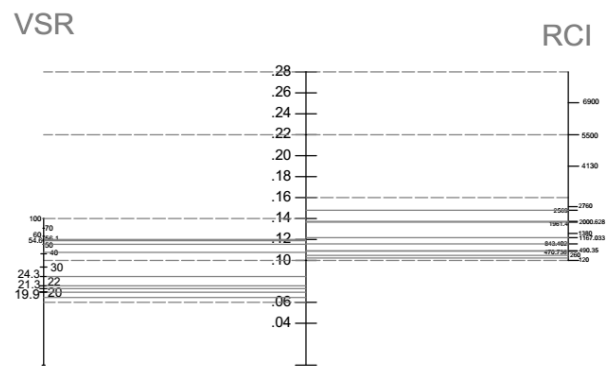


Figura 3. Relación entre el coeficiente estructural AASHTO y los ensayos RCI y VSR.

Los valores así obtenidos se vuelcan en la Tabla 7, generándose las gráficas comparativas entre los coeficientes estructurales y el % de cemento de la Figura 4 y la Figura 5.

Tabla 7. Tabla resumen adoptada para los coeficientes estructurales AASHTO en cada combinación

Caso	RCI (KPa)	VSR (%)	Coefficiente
SS + 3cm ³ de B +1,5% CTO		21,3	0,073
SS + 3cm ³ de B +3% CTO		56,1	0,120
SS + 3cm ³ de B +3% CTO	118,4		0,102
SS + 3cm ³ de B +4% CTO	490,4		0,109
SS + 3cm ³ de B +5 CTO	1167,0		0,122
SS + 3cm ³ de B +7% CTO	2569,4		0,148
SS + 1,5% CTO		19,9	0,070
SS + 3% CTO		54,6	0,119
SS + 3% CTO	256,6		0,105
SS + 4% CTO	470,7		0,109
SS + 5% CTO	843,4		0,116
SS + 7% CTO	2000,6		0,136

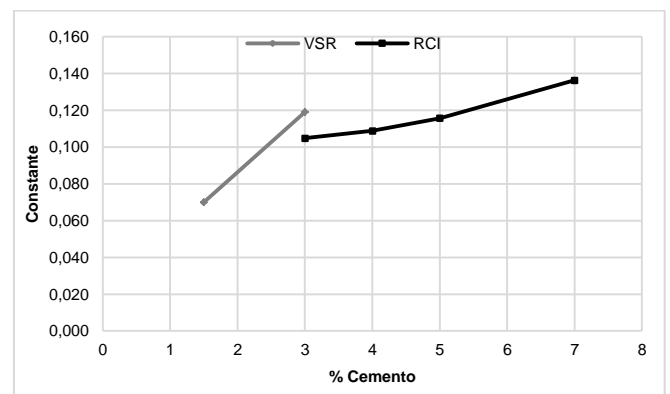


Figura 4. Coeficiente vs. % de cemento para suelo+cemento

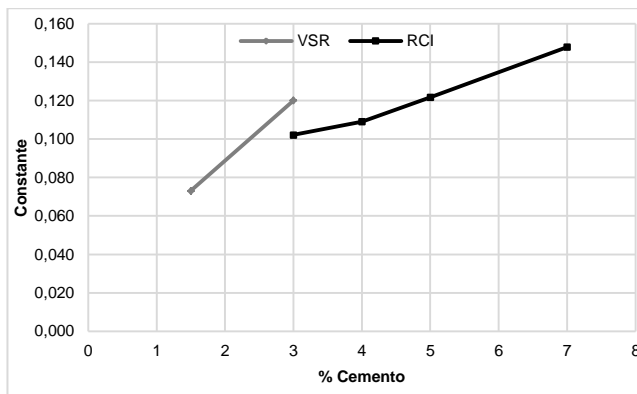


Figura 5. Coeficiente vs. % de cemento para suelo+cemento+estabilizante

Se observa una incongruencia entre los coeficientes de aporte estructural obtenibles por una vía o la otra. Todo esto permite arribar a una serie de conclusiones.

CONCLUSIONES

Para la combinación de suelo, cemento y estabilizante químico analizados, puede arribarse a las siguientes conclusiones:

El proceso de mezclado del suelo+cemento+estabilizante, muestra resultados óptimos cuando se efectúa de manera simultánea.

Existe una tendencia a que la $D_{sec_{m\acute{a}x}}$ disminuya con el incremento del contenido de cemento en mezclas de suelo+cemento, e incremente en mezclas de suelo+cemento+estabilizante. Se observa en cambio que la $H_{\acute{o}pt}$ se mantiene relativamente constante.

Debido a que las variaciones obtenibles en la $D_{sec_{m\acute{a}x}}$ redunda en diferencias no despreciables en cuanto a RCI, es necesario efectuar ensayos de Compactación para cada combinación de suelo+cemento+estabilizante y suelo+cemento, que se decida analizar.

El ensayo de VSR permite poner en evidencia a contenidos de cemento del 1,5% el incremento en la capacidad portante obtenible en mezclas de suelo+cemento+estabilizante respecto de mezclas de suelo+cemento.

No es posible aplicar el ensayo de RCI en mezclas con menos de un 2 % de cemento, porque las probetas se disgregan previo a su ensayo; ni es posible poner de manifiesto el incremento en la capacidad portante obtenible en mezclas de suelo+cemento+estabilizante respecto de mezclas de suelo+cemento, en contenidos de cemento menores al 4 %.

Los coeficientes de aporte estructural AASHTO obtenibles por ambas vías para el 3 % de cemento, no son coincidentes, e incluso para arribar mediante RCI a los coeficientes alcanzables por VSR al 3 % de cemento, hay que analizar los valores obtenidos por esa vía para el 5 % de cemento.

Por lo señalado, es probable que el VSR al 3 % de cemento no sea un ensayo representativo de su aporte estructural, quedando ese contenido por fuera de los límites de aplicación del ensayo (el material no se comportaría como granular). Por otro lado, también es probable que hasta un contenido del 5 % de cemento, el ensayo de RCI se encuentre fuera de los límites de aplicación (el material no se comportaría como claramente cementado). En resumen, subsiste al análisis tradicional para el caso abordado, una región indefinida en cuanto a su forma de tratamiento entre el 2 % y el 5 % de cemento, al efectuar una consideración estructural de la situación de acuerdo a AASHTO93.

Se deben corroborar los estudios realizados sobre muestras que presenten características diferentes a las del presente informe, por ejemplo sobre un suelo más plástico (con mayor Índice de Grupo) y con otras dosificaciones del producto estabilizante.

Se han presentado los primeros resultados a los cuales se ha arribado con los ensayos llevados a cabo en función de la primera etapa del proyecto que da marco al trabajo. En su segunda etapa se contempla la materialización de los avances en obra, lo cual no se ha podido realizar al día de la fecha.

REFERENCIAS

- [1] Rivera, J.; Botasso, G.; et. Al (2016). *Capas de suelo-cemento-estabilizante químico para el mejoramiento de caminos rurales*. Revista Ingenieria de la Asociación de Ingenieros del Uruguay, ISSN 1510-6896, N°77, pag. 20-24, diciembre, Uruguay.
- [2] DNV (1998). *Normas de Ensayos*, Dirección Nacional de Vialidad, Argentina
- [3] LEMaC (2016). *Guía de Metodologías y procedimientos para uso Vial desarrollados en el LEMaC*, ISBN 978-987-1896-51-6, Editorial edUTecNe, Argentina.
- [4] Bello, M. (2016). *Apuntes de la capacitación sobre predicción y bondad de ajuste*, Capacitaciones Software-Shop, Colombia.

- [5] AASHTO (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*, ISBN 1-56051-055-2
American Association of State Highway and
Transportation Officials, EEUU.