

# DESARROLLO DE METODOLOGIA DE EVALUACION DE APTITUD EN BASES VIALES DE SUELO, CEMENTO Y ESTABILIZANTE QUIMICO

Becaria: A. Porro<sup>1</sup>;

Directores: G. Sosa<sup>2</sup>; M. Villanueva<sup>3</sup>; J. Rivera<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina. [anaelarp@gmail.com](mailto:anaelarp@gmail.com)



**Área:** Gestión y Diseño Vial **PID Asociado:** Análisis para la calibración a las condiciones locales de modelos para el diseño de pavimentos basados en evaluaciones superficiales y estructurales (TVUILP3943TC)

## Resumen

Los suelos utilizados para la conformación del paquete estructural vial en la región de La Plata generalmente son estabilizados con agentes hidráulicos y/o químicos.

En este trabajo se pretende evaluar desde el punto de vista estructural para un tipo de suelo característico de la zona, la metodología más apropiada para analizar su estabilización con diversos contenidos de ligante hidráulico y contenidos de estabilizante químico en forma combinada.

**Palabras clave:** Ingeniería Vial, Diseño Estructural Vial, Bases Estabilizadas.

**Keywords:** Road Engineering, Road Structural Design, Stabilized Bases.

## 1. Introducción

Uno de los métodos más extendidos en el área vial para la estabilización de suelo seleccionado, está constituido por la adición de cemento y también, desde hace algunos años, el aditamento de agentes químicos.

Dado que la zona de influencia de La Plata se caracteriza, casi en su totalidad, por presentar suelos finos, se debe aceptar que el más apto que se puede encontrar, desde el punto de vista vial como suelo seleccionado, es el que clasifica como A-4. Este material utilizado como base en el paquete estructural vial una vez estabilizado, presenta condiciones relativamente homogéneas, por ello cabe esperar que establecer una generalidad en el comportamiento del mismo, ante la adición de estabilizantes hidráulicos y/o químicos, permita visualizar un modelo de comportamiento del material en cuestión, en estas situaciones.

## 2. Materiales y procedimientos

### 2.1. 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).
- 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 de las capas de suelo aditivado. Se ha asignado con la letra B a una de las marcas comerciales utilizadas en el proyecto de investigación.

### 2.2. Procedimientos

Para trabajar con suelos es necesario conocer sus características y propiedades, para esto se le realizó la clasificación HRB del mismo [1] [2]. Posteriormente se realizaron Ensayos de Compactación (Proctor) [3] obteniendo la Densidad Seca Máxima ( $D_{seca_{máx}}$ ) y Humedad Óptima ( $H_{ópt}$ ); y de Valor Soporte Relativo (VSR) [4] a esos niveles de densidad y humedad, obteniéndose una valoración de su capacidad portante con su correspondiente Hinchamiento (H). Este último ensayo se caracteriza por ser empleado para bajos contenidos de cemento. (**Tabla 1**)

**Tabla 1.**

Proctor	VSR
$D_{seca_{máx}} = 1,470 \text{ g/cm}^3$	17,7%
$H_{ópt} = 24,6\%$	H = 1,8%

Para el proceso de aditivación con el producto B, se aplicó 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 cm<sup>3</sup>) y de aplicar esta solución a razón de 10 cm<sup>3</sup> por cada kilogramo de suelo seco a aditivar, 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”. [5]

Luego se compararon dos procesos de aditivación para seleccionar el más apto. Un procedimiento con la incorporación del cemento y el estabilizante de manera simultánea (Tabla 2); y el otro aplicando un proceso de “curado” del suelo luego de haber sido aditivado con el estabilizante, consistente en dejarlo al aire en ambiente de laboratorio durante 48 horas, para proceder luego a la incorporación del cemento (Tabla 3). Para seleccionar el método de trabajo, se realizaron Ensayos de Compactación [3] y VSR [4]. Analizando los resultados obtenidos se observó que los VSR mediante la primera metodología de mezclado aplicable fueron superiores (es decir mezclado en forma simultánea), por lo que se decidió ratificarla para el resto del estudio.

**Tabla 2.**

	Proctor		VSR	
	Dseca <sub>máx</sub>	Hópt	VSR	H
SS + 1,5% cto	1,426g/cm <sup>3</sup>	27,80%	17,9%	0,20%
SS + 1,5% cto + 3cm <sup>3</sup> de B	1,435g/cm <sup>3</sup>	24,40%	20,3%	0,50%

**Tabla 3.**

	Proctor		VSR	
	Dseca <sub>máx</sub>	Hópt	VSR	H
SS + 1,5% cto	1,485 g/cm <sup>3</sup>	24,5%	15,5%	0,5%
SS + 1,5% cto + 3cm <sup>3</sup> de B	1,453 g/cm <sup>3</sup>	24,5%	18,5%	0,3%

Se observa en la Tabla 3 un VSR para la mezcla de SS+1,5% CTO de 15,5 %, inferior al que se informa en la Tabla 2 para el SS solo de 17,7%. Esto se debe a un inconveniente registrado en el equipo de ensayo que fuera luego subsanado. En tal sentido debe considerarse el VSR expresado en la Tabla 2 sólo a nivel de entorno de situación. En esta instancia, se ejecutaron también Ensayos de Compactación [3] y VSR [4] al suelo con una adición de 6 cm<sup>3</sup> de producto B, manteniendo la cantidad de cemento en 1,5%, comprobándose que no se modificaron los valores de Compactación ni de VSR. Por esto se dedujo que la dotación utilizada previamente sería la óptima para este material, 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 ejecutó según la metodología “LEMaC-B05/15 - Resistencia inconfinada de capas de suelo cemento que emplean suelos finos”. [5]

### 3. Resultados

Se analizaron las curvas de evolución de la Dseca<sub>máx</sub> y Hópt a contenidos crecientes de cemento, en estabilizaciones de suelo seleccionado + cemento. (Tabla 4)

Además, se analizó esta tendencia en mezclas de suelo seleccionado, cemento y estabilizante químico B. (Tabla 5)

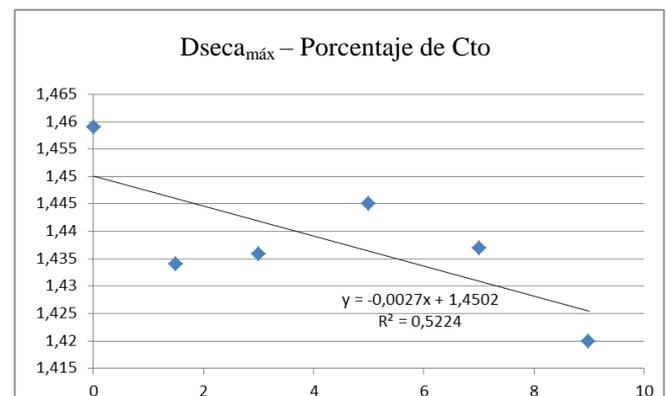
**Tabla 4.**

	Proctor	
	Dseca <sub>máx</sub>	Hópt
SS + 0% cto	1,459 g/cm <sup>3</sup>	25,80%
SS + 1,5% cto	1,434 g/cm <sup>3</sup>	26,20%
SS + 3% cto	1,436 g/cm <sup>3</sup>	26,20%
SS + 5% cto	1,445 g/cm <sup>3</sup>	25,10%
SS + 7% cto	1,437 g/cm <sup>3</sup>	25,90%
SS + 9% cto	1,420 g/cm <sup>3</sup>	26,50%

**Tabla 5.**

	Proctor	
	Dseca <sub>máx</sub>	Hópt
SS + 3cm <sup>3</sup> de B + 0% cto	1,453 g/cm <sup>3</sup>	25,70%
SS + 3cm <sup>3</sup> de B + 5% cto	1,469 g/cm <sup>3</sup>	24,80%
SS + 3cm <sup>3</sup> de B + 9% cto	1,506 g/cm <sup>3</sup>	23,80%

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. Al graficar los resultados de Dseca<sub>máx</sub> versus contenido de cemento de la Tabla 4, puede observarse la existencia de una tendencia, más allá de algunos valores puntuales (Figura 1).



**Figura 1.** Densidad Seca Máxima. (Suelo sin aditivar)

Como el Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) resulta deficiente, se decide observar las tendencias dejando de lado los valores correspondientes al 1,5 % y 3,0 % de cemento, ya que aparentan ser datos atípicos respecto del resto. Se obtiene la gráfica resultante con su correspondiente  $R^2$ . (Figura 2)

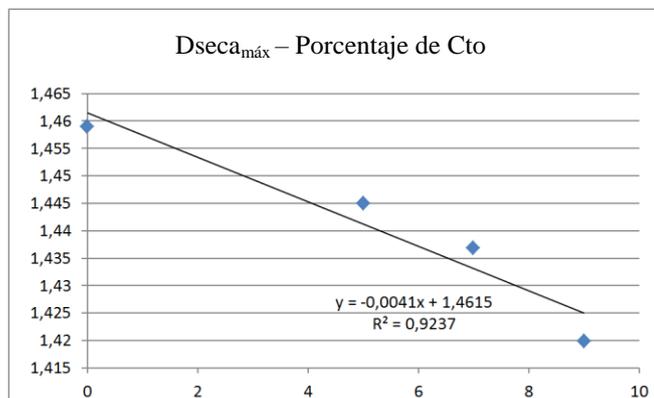


Figura 2. Densidad Seca Máxima corregida en suelo sin aditivar.

La pendiente de la gráfica Dseca<sub>máx</sub> vs. Porcentaje de cto, cuando el suelo no está aditivado químicamente, es negativa (Figura 2); mientras que sucede todo lo contrario cuando el suelo está estabilizado con el agente químico. (Figura 3)

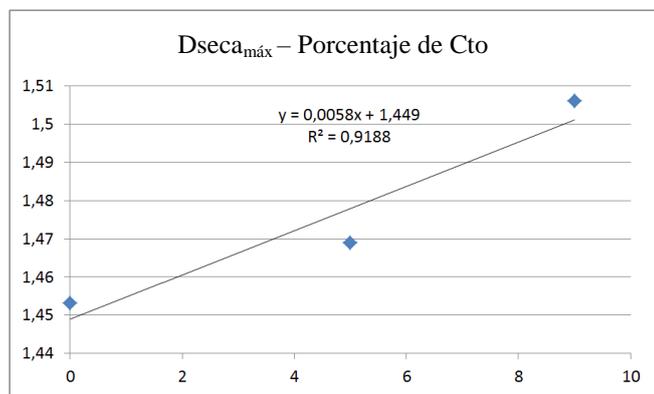


Figura 3. Densidad Seca Máxima en suelo con aditivo químico.

Para analizar si los rangos de Dseca<sub>máx</sub> establecidos en ambos casos resultan significativos en cuanto a la RCI, se moldearon probetas con mezclas con un mismo contenido de cemento (5%), con valores de Dseca<sub>máx</sub> de 1,440 g/cm³ y 1,500 g/cm³ y una Hópt de 26%. Sobre estas probetas se determinó su RCI, pudiéndose corroborar que las diferencias de Dseca<sub>máx</sub> 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<sub>máx</sub> que se estime para cada caso en particular.

A partir de las tendencias en los valores Proctor 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 de 2, 3, 4, 5 y 7% de cemento, con las Dseca<sub>máx</sub> 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 6**.

	Proctor		RCI
	Dseca <sub>máx</sub>	Hópt	Tensión promedio
SS + 3cm³ de B +2% CTO	1,461 g/cm³	26,00%	Se disgregaron
SS + 3cm³ de B +3% CTO	1,466 g/cm³	26,00%	118,4 KPa
SS + 3cm³ de B +4% CTO	1,472 g/cm³	26,00%	490,4 KPa
SS + 3cm³ de B +5 CTO	1,478 g/cm³	26,00%	1167,0 KPa
SS + 3cm³ de B +7% CTO	1,490 g/cm³	26,00%	2569,4 KPa
SS + 2% CTO	1,454 g/cm³	26,00%	Se disgregaron
SS + 3% CTO	1,450 g/cm³	26,00%	256,6 KPa
SS + 4% CTO	1,445 g/cm³	26,00%	470,7 KPa
SS + 5% CTO	1,441 g/cm³	26,00%	843,4 KPa
SS + 7% CTO	1,433 g/cm³	26,00%	2000,6 KPa

También se repitieron los ensayos de VSR para 1,5%, 2% y 3% de cemento, poniendo en práctica el análisis de compactación necesario. **Tabla 7**.

	Valores empleados		VSR	
	Dseca <sub>máx</sub>	Hópt	VSR	H
SS + 3cm³ de B +1,5% CTO	1,458 g/cm³	26,00%	21,30%	0,70%
SS + 3cm³ de B +2% CTO	1,461 g/cm³	26,00%	22,00%	0,50%
SS + 3cm³ de B +3% CTO	1,466 g/cm³	26,00%	56,10%	0,30%
SS +1,5% CTO	1,455 g/cm³	26,00%	19,90%	0,50%
SS + 2% CTO	1,453 g/cm³	26,00%	24,30%	0,70%
SS +3% CTO	1,450 g/cm³	26,00%	54,60%	0,31%

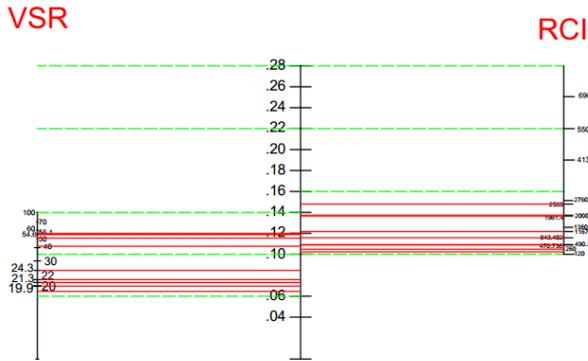
#### 4. Análisis estructural y discusión

Se observa de los resultados de la Tabla 6, que no pueden aplicarse determinaciones de RCI en contenidos de cemento menores al 2%, por disgregarse las probetas, previo a su ensayo.

También en la Tabla 6 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 7. Lo observado parece indicar una incongruencia con los resultados volcados en la Tabla 7 para el contenido del

2% de cemento, razón por la cual se decide desestimarlos en los análisis a efectuarse a continuación.

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 [6], se confecciona la **Figura 4**.

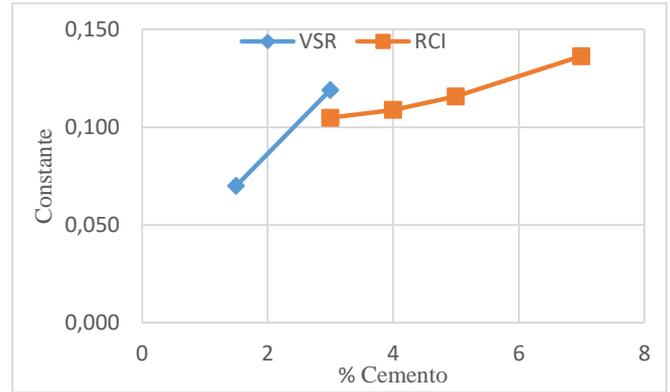


**Figura 4.** Relación entre el coeficiente estructural y los ensayos RCI y VSR.

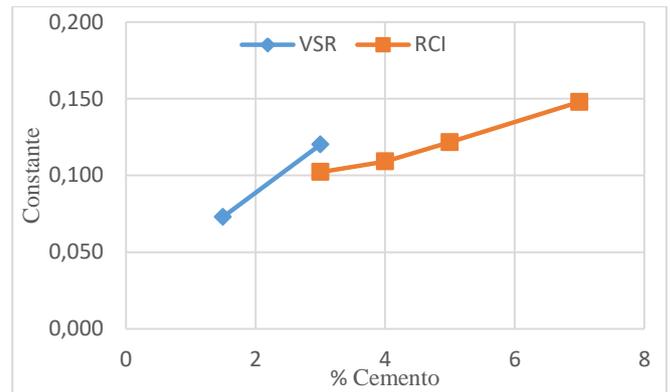
Los valores así obtenidos se vuelcan en la **Tabla 8**, generándose las gráficas comparativas entre los coeficientes estructurales y el % de cemento. (**Figura 5 y Figura 6**).

**Tabla 8.**

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



**Figura 5.** Coeficiente vs. % de cemento para suelo sin aditivado.



**Figura 6.** Coeficiente vs. % de cemento para suelo aditivado.

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.

#### 4. Conclusiones

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

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

Existe una tendencia a que la  $D_{seca_{m\acute{a}x}}$  disminuya con el incremento del contenido de cemento en mezclas de suelo + cemento, y se 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  $D_{seca_{m\acute{a}x}}$  redundan 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 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.**

#### **5. Trabajos Futuros**

Corroborar los estudios realizados muestras que presenten características diferentes a las del presente informe.

#### **Agradecimientos**

El presente trabajo ha sido desarrollado en el marco del plan de tesis de investigación de alumnos avanzados del Departamento de Ingeniería Civil. Por ello como primer autor, manifiesto mi agradecimiento al LEMaC por la oportunidad y confianza para llevar a cabo este trabajo. En especial a mis directores de beca Gladys, Martín y Julián quienes me orientaron en este camino de investigación. A mis abuelos por el apoyo, mis padres por la formación y mi pareja por su compañía.

#### **Referencias**

- [1] VN-E3-65 Limite Plástico e Índice de Plasticidad.
  - [2] VN-E4-84 Clasificación de Suelos.
  - [3] VN-E5-65 Compactación de Suelos.
  - [4] VN-E6-84 Determinación del V.S.R e Hinchamiento de Suelos.
  - [5] Guía de Metodologías y procedimientos para uso Vial. Desarrollados en el LEMaC.
  - [6] AASHTO GUIDE FOR Desing of Pavement Structures
- VN-E: Normas de ensayo. Dirección Nacional de Vialidad. (1998)