

**Título trabajo: GUÍA PARA EL TRANSPORTE, MANIPULACIÓN Y USO DE ESTABILIZADORES QUÍMICOS DE SUELOS. RECOMENDACIONES PARA LA CERTIFICACIÓN DE USO. Parte II: CONCLUSIÓN**

Autores: H. Gerardo Botasso<sup>1</sup>, Enrique A. Fensel<sup>2</sup>, Ricci, Luis A.<sup>3</sup>

Dirección: 60 esq 124 La Plata Teléfono: +54-221-4890413

e-mail: lemac@frlp.utn.edu.ar

Entidad u organismo a que pertenece: Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional La Plata- LEMaC - Área Medio Ambiente y Obras Civiles

1 - Director del LEMaC - Investigador Categoría B. Prof. UTN - Experto PNUD

2 - Responsable Área Medio Ambiente y Obras Civiles – LEMaC

3 - Becario Alumno

## **RESUMEN**

El presente trabajo trata sobre la valorización de los estabilizadores químicos de suelos, comúnmente utilizados en bases y subbases de pavimentos asfálticos. Se analizan desde el punto de vista físico-químico, y se valora la acción de éstos en suelos arcillosos, desde el punto de vista físico-químico y físico-mecánico, fijando parámetros de control para certificar la calidad del producto base elaborado. Además se mide su acción sobre el suelo con muestras preparadas en laboratorio, para ser correlacionado con la respuesta dada por el producto aplicado en obra. El trabajo sigue los lineamientos de control desde el punto de vista de la Seguridad e Higiene, Ambiental y Vial fijados en la Parte I, trabajo que fuera expuesto en la edición 2000 de la Trigésima Primera Reunión del Asfalto de la Comisión Permanente del Asfalto.

Finalmente se aportan los resultados obtenidos en los ensayos, recomendando una metodología a emplear sobre la forma de uso, destacando en sus conclusiones el tratamiento integral a dar a este tipo de productos y fijando las bases para la discusión de una normativa que regle el accionar de los mismos.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Dada la carencia normativa para valorar los Estabilizadores Químicos de Suelos, desde el punto de vista Ambiental y de la Seguridad e Higiene, y la modificación de las propiedades que los mismos ejercen sobre los suelos, es que el LEMaC aborda esta temática con el fin de crear una guía práctica para el control de calidad del producto en su estado natural, buscando que se encuadre dentro de las leyes y normas establecidas para productos tóxicos, y determinando los ensayos mínimos para tipificar su acción desde el punto de vista físico, químico y mecánico.

Para fijar este procedimiento se valoró, en primera instancia, químicamente el aditivo, tratando de destacar y valorar los componentes que “a priori” se establecían como integrantes comunes a las distintas muestras, en función de las definiciones que los fabricantes hacen de su producto en la cartilla técnica.

Se valoró el suelo en su estado natural desde el punto de vista físico-químico y físico-mecánico, en los parámetros que pudieran ser modificados por la acción de los

estabilizadores, estableciéndose como base comparativa para valorar la acción de los estabilizadores.

Se realizaron las adiciones de los estabilizadores en la proporción asignada por el fabricante. En el caso en que se especificara un rango de adición, se colocaba el límite inferior, la media y el límite superior; en los casos en que se especificaba un porcentaje óptimo, se tomaba como media y se estableció como límite inferior y superior respectivamente un  $\pm 10\%$  de adición.

## 2. ACCIÓN DE LOS ESTABILIZADORES QUÍMICOS

El proceso de estabilización de suelos mediante el uso de estabilizadores químicos se produce con la acción que realizan los mismos sobre las arcillas, neutralizando la actividad electroquímica. Siendo las arcillas Silicatos Hidratados de partículas microscópicas con yuxtaposición de cristales aplanados que poseen cargas negativas, fijan por adsorción los cationes (+) del agua, por lo que la variación de humedad las hace inestables. El fenómeno de estabilización química de suelos está asociada a la eliminación del agua pelicular, adsorbida.

Individualizando las **características químicas** de los aditivos según su procedencia:

- a) Derivados del petróleo emulsionados y/o sulfonados; orgánicos; ácidos
- b) Derivados poliméricos; orgánicos; alcalinos

la **acción** de los mismos tomando como base las características expuestas generan:

Las del tipo a):

- Un alto potencial de intercambio iónico (++++)
- Intercambian sus cargas positivas con las de las partículas negativas
- Se desprende el agua pelicular y drena (evaporación y gravedad)
- Las partículas se aglomeran por atracción electroquímica, sellando la estructura porosa-capilar
- Aumenta la resistencia, capacidad portante
- Disminuye permeabilidad
- Reacción permanente en general

Las del tipo b):

- Forman polímeros tridimensionales hidrofóbicos, en los capilares del material compactado, rechazando el agua

Ambos procesos se complementan con control de humedad y compactación

### 3. SOBRE LOS ENSAYOS

En el presente punto se destacan algunas singularidades en el tratamiento recibido en los distintos ensayos para los suelos aditivados.

#### **Determinaciones físico-químicas propuestas sobre aditivos estabilizantes**

La idea original fue la de estudiar la realización de análisis sencillos, que permitieran establecer algunos parámetros con el fin de reconocer o diferenciar las sustancias utilizadas como estabilizadores de suelos, obteniéndose una caracterización adecuada a un control de materia prima.

La posibilidad más práctica es tomar aquellas determinaciones que correspondieran con las propiedades generales de los materiales, buscando la facilidad de ejecución y posibilidad de realización de éstas, tanto en el laboratorio como en obra.

Teniendo en cuenta las características generales informadas por los fabricantes que aportaron muestras de sus productos para estos ensayos, los aditivos estabilizantes consisten en general de dos tipos de productos. Unos derivados de petróleo sulfonados y otros derivados de polímeros, ambos con alta concentración de cargas electropositivas y con índices de acidez bien marcado. Así, mediante acciones de intercambio iónico, reducen el potencial electrostático de las partículas de arcilla contenido en el suelo, quitándoles la capacidad de absorción del agua y las sales disueltas en ella, lo que posteriormente permite una óptima compactación y resistencias a las cargas y a elementos de corte. De esta manera el suelo se vuelve impermeable evitando las erosiones y los ablandamientos.

Las características mencionadas permiten establecer a priori que la medida del pH y conductividad de sus soluciones con parámetros adecuados para un control de materia prima, como términos principales.

**pH:** parámetro físico característico de soluciones iónicas acuosas, basada en una escala práctica que indica que el valor de 7 corresponde a soluciones neutras; los valores menores de 7 indican soluciones ácidas y mayores de 7 a soluciones alcalinas. Cuanto más bajo es el pH, mayor es la acidez.

**Conductividad:** este parámetro está relacionado con la cantidad de electrolito disuelto y permite establecer si se trata de un mismo producto.

Como parámetros secundarios se proponen la determinación de densidad aplicable al aditivo concentrado o en soluciones; índice de refracción en soluciones de aditivos traslúcidos.

Además, y en función de las experiencias realizadas se puede agregar las determinaciones del fosfato y amonio, aplicable a aditivos en base a sustancias iónicas, que contienen fosfatos solubles y sales de amonio.

Para el caso de aditivos insolubles en agua, lo que hace imposible la realización de las determinaciones citadas anteriormente, se propone realizar las siguientes:

- Humedad, por diferencia de peso luego de calentar a 100-120 °C
- Residuos después de calcinar a 550 °C.
- Cenizas después de calcinar a 900 °C.

**Adición del Estabilizante:** El aditivo fue adicionado al agua faltante para llevar la muestra de suelo natural secado al aire a la humedad óptima y luego se dejaba la muestra cerrada al vacío, para evitar intercambio de humedad, durante 24 h para lograr una humectación total de la muestra.

**Constantes Físicas:** Luego del período de estacionamiento de 24 h de la muestra, se procedió a operar con la misma tal como lo describe la norma respectiva.

**Compactación Máxima:** Dada la experiencia del LEMaC en el tratamiento de aditivos químicos para suelos, y teniendo comprobado que no hay variación en los valores del Proctor Standart entre la muestra del suelo natural y la muestra del suelo aditivado, es que se optó por tomar el valor arrojado por el suelo natural para el moldeo de los distintos parámetros evaluados.

**Resistencia:** el moldeo de las probetas, de  $\varnothing = 5$  cm y altura  $h = 10$  cm, para evaluar este parámetro se hizo con el método descrito por Vialidad de la Provincia de Buenos Aires, colocándose las mismas en recipientes herméticos en cámara húmeda hasta la edad de ensayo de 7 días.

**Absorción:** Se moldearon probetas cilíndricas como las de resistencia inconfiada, quedando encamisadas en moldes de PVC (presión de confinamiento lateral), con densidad seca máxima y humedad óptima del Proctor Standart. Se ideó un sistema de moldeo usando los moldes de resistencia con lo que con este procedimiento se procedió a confinar los moldes de PVC, sin que sufran deformaciones en ese sentido. El método LEMaC consiste en medir la absorción capilar a través de colocar las probetas sobre un papel secante que descansa sobre una mezcla de suelo seleccionado y arena monogranular en partes iguales, ambos materiales totalmente saturados, en un compartimento con cierre hidráulico en donde no se produce un intercambio de humedad con el medio que lo rodea. A las edades fijadas se pesan las probetas y por diferencia con el peso de moldeo, parámetro de referencia, se establece el porcentaje de absorción. La cara de apoyo de la probeta siempre es la misma. Los porcentajes de absorción se refieren al agua absorbida por la probeta desde la humedad óptima.

**Valor Soporte Relativo:** Dada la característica química de los aditivos, se consideró una posible reacción de los mismos con los moldes metálicos del Valor Soporte Relativo, por lo que se moldearon probetas con moldes de PVC, de dimensiones iguales a los metálicos, con la intención de poder valorar las diferencias en los resultados entre los distintos materiales. Como en el caso de las probetas de absorción, para el moldeo del V.S.R. en moldes de PVC, se procedió al encamisado del mismo con un molde metálico diseñado para tal fin, con el propósito de evitar deformaciones en el sentido lateral.

#### 4. SUELO NATURAL

El suelo adoptado para este trabajo consiste en un suelo natural, típico de la región, que se encuentra en las cotas de aperturas de cajas para la realización de pavimentos, suelos altamente plásticos, cuyas características químicas y físico-mecánicas evaluadas, se reflejan en las tablas n° 1 y 2.

##### CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS TABLA N° 1

Ph	Conductividad	Lixiviado (ppm)								H. T.(%)
	μS/cm	Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Ag	Pb	Ni	
8,12	336	0,02	0,13	0,06	0,04	0,03	< 0,02	< 0,10	0,10	< 0.02

##### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS TABLA N° 2

Límites			PT 200	Clasif.	Dss máx	W óp	R ci	Absorción (%)			V. S. R.	Hincham.
L.L.	L.P.	I p	%	HRB	gr/cm <sup>3</sup>	%	Kg/cm <sup>2</sup>	1	3	7	(%)	(%)
51	26	25	98,3	A-7-6(16)	1,540	24,1	1,88	2,10	2,40	3,01	4,8	2,5

##### Descripción de las características químicas TABLA N°1

Los valores obtenidos están dentro de las características de un suelo natural, y se toman como referencia para las comparaciones posteriores.

- pH: método potenciométrico, expresado en unidades de pH (upH)
- Conductividad (Cond.): método por censer (conductímetro), expresado en micro Siemens por centímetro (μS/cm)
- Lixiviación (EPA 1310/1311-EPTOX / TCLP): Ensayos de extracción y lixiviación, medidos en parte por millón (ppm)
- Hidrocarburos Totales (H.T.): Método 3550 (EPA), de extracción sólido-líquido por sonicación.
- Sólidos Disueltos Totales (TSD): como residuo conductimétrico, expresado en mg/dm<sup>3</sup>
- Fosfato (PO4): método colorimétrico, expresado como fósforo de fosfato en miligramos por decímetro cúbico (P/PO4 mg/dm<sup>3</sup>)
- Amonio (NH4): método colorimétrico, expresado como nitrógeno de amonio en miligramos por decímetro cúbico ( N/NH4 mg/dm<sup>3</sup>)
- Densidad (d): expresado como masa por unidad de volumen, en g/cm<sup>3</sup>, a temperatura ambiente
- Índice de refracción (n): medido con refractómetro Abbe, a 25 °C, expresado como índice de refracción relativo al agua destilada

**Descripción de las características físico- mecánicas**  
**TABLA Nº 2**

**Límites:** límites de Atterberg, L.L.: Límite Líquido; L.P.: Límite Plástico; Ip: índice de Plasticidad

**PT 200:** Pasa Tamiz Nº 200

**Clasif.:** Clasificación de la Highway Research Board (HRB)

**Dss máx:** Densidad seca máxima obtenida a través del Proctor Standart

**W óp:** Humedad óptima obtenida del Proctor Standart

**R ci:** Resistencia a la compresión inconfiada

**Absorción:** Porcentaje de absorción medido a 1, 3 y 7 días, a partir de la humedad óptima

**V.S.R. :** Valor Soporte Relativo

**Hincham.:** Hinchamiento valorado en el VSR

**5. ESTABILIZADORES QUÍMICOS**

**5.1.MUESTRA M 1**

**ESTABILIZANTE SEGÚN CARTILLA TECNICA DEL FABRICANTE**

Producto derivado de la resina del petróleo, sulfonado; ácido de acción moderada que tiene fuerte acción corrosiva en materiales orgánicos muertos y suaves en los vivos.

Es un líquido de color negro con una gravedad específica de 1,15, su pH es aproximadamente de 1,25, su viscosidad es ligeramente menor a la del agua y de alta conductividad en solución acuosa. Soluble en agua. Las partículas tienen una alta carga positiva, lo que hace superar a las partículas de agua, de carga más débil, desplazándolas.

**DETERMINACIONES SOBRE EL ESTABILIZANTE**  
**TABLA Nº 3**

Dilución	PH	Cond.	TSD	P/PO <sub>4</sub>	N/NH <sub>4</sub>	D	n
1:10	1,57	6750	3330	n/d	n/d	0,990	n/d
1:100	2,66	1023	506	0,015	0,070	N/d	1,347

**SUELO NATURAL ADITIVADO**  
**TABLA Nº 4**

	PH	Conductividad µS/cm	Lixiviado (ppm)							H. T. (%)	
			Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Ag	Pb		Ni
M 1-1	7,60	1250	0,02	0,13	0,07	0,03	0,04	< 0,02	< 0,10	0,09	< 0,02
M 1-2	7,37	1338									
M 1-3	7,94	1353									

**TABLA Nº 5**

	Límites			PT200 %	Clasif. HRB	R ci Kg/cm <sup>2</sup>	Absorción (%)			V. S. R. (%)	Hincham. (%)
	L	L P	l p				1	3	7		
M 1-1	52	29	23	98,3	A-7-6(17)	3,5	1,00	1,20	1,30	6,4	1,1
M 1-2	53	27	26	98,1	A-7-5(20)	3,5	0,97	1,17	1,24	8,4	0,5
M 1-3	54	24	30	98,0	A-7-5(20)	3,5	0,41	0,64	0,80	9,2	0,3

**ANALISIS DE RESULTADOS M1**  
**TABLA Nº 3**

**Dilución 1: 10**

El pH sigue siendo ácido similar al del aditivo puro. La conductividad es alta debido a la presencia de sales. Corroborado por el contenido de sólidos disueltos totales (TSD) y la densidad (D) toma valores mas bajos debido a su dilución.

**Dilución 1: 100**

El pH aumenta debido a la dilución con agua, al igual que la conductividad que toma valores equivalentes similar al comportamiento por sólidos disueltos totales.

En esta muestra se pudo determinar fósforo de fosfato (P/PO<sub>4</sub>) y el nitrógeno de amonio (N/NH<sub>4</sub>) siendo sus valores bajos.

**TABLA Nº 4**

Determinaciones sobre el suelo natural aditivado con la concentración recomendada por el fabricante (M 1-2) y con adición de -10 % (M 1-1) y +10 % (M 1-3) del porcentaje recomendado.

Para las muestras M1-1, M 1-2 y M 1-3 los valores de pH y conductividad del suelo natural han sido algo afectados por el agregado del aditivo, pero manteniéndose en valores aceptables para suelo.

En cuanto a los valores de la concentración de metales pesados en el suelo natural no han sido prácticamente afectados por el agregado del aditivo.

El contenido de hidrocarburos totales no resulta de importancia.

**Evaluación con respecto al suelo natural sin aditivar**

**TABLA Nº5**

**Constantes Físicas:** hay un incremento en el límite líquido, alcanzando su mayor valor en la dosis mayor; el límite plástico tiene un incremento para el menor porcentaje de adición, pasando a tener un descenso con un contenido de aditivo mayor. Esto refleja, en las distintas concentraciones, un pequeño aumento del índice de plasticidad.

El valor del pasa tamiz N° 200 prácticamente no sufre variaciones.

**Resistencia (R ci):** el aumento de la resistencia es importante en los distintos porcentajes en que interviene el aditivo, llegando a un aumento promedio del 86%.

**Absorción:** hay un marcado descenso de la absorción en todo el período evaluado y para las distintas concentraciones.

**Valor Soporte Relativo:** los valores crecen significativamente.

**Hinchamiento:** se produce una reducción en los valores, siendo menor en el valor de adición mayor.

## 5.2. MUESTRA M 2

### ESTABILIZANTE SEGÚN CARTILLA TECNICA DEL FABRICANTE

Son polímeros que actúan como agentes catalíticos de intercambios iónicos sobre la fracción coloidal o “activa” de las arcillas, reduciendo el potencial electroestático de sus partículas, quitándole la capacidad de adsorber agua y a las sales disueltas en ellas, eliminando consecuentemente la capa pelicular de agua que las envuelve. Las partículas de arcilla quedan así rodeadas por aniones de su misma carga, a los que no pueden adsorber, por lo que el agua pelicular se convierte en capilar y como tal, se elimina por evaporación o por compactación, arrastrando con ella los iones metálicos presentes.

### DETERMINACIONES SOBRE EL ESTABILIZANTE

**TABLA Nº 6**

Dilución	PH	Cond.	TSD	P/PO <sub>4</sub>	N/NH <sub>4</sub>	D	n
1:10	12,28	17580	8730	n/d	N/d	1,007	n/d
1:100	11,03	2280	1140	0,095	1,850	n/d	1,370

### SUELO NATURAL ADITIVADO

**TABLA Nº 7**

	pH	Conductividad μS/cm	Lixiviado (ppm)							H. T. (%)	
			Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Ag	Pb		Ni
M 2-1	7,7	3207	0,02	0,14	0,07	0,04	0,03	< 0,02	< 0,10	0,10	< 0,02
M 2-2	8,1	1095									
M 2-3	8,15	1050									

**TABLA 8**

	Límites			PT200 %	Clasif. HRB	R ci Kg/cm <sup>2</sup>	Absorción (%)			V. S. R. (%)	Hincham. (%)
	L	L	P				1	3	7		
M 2-1	50	27	23	97,8	A-7-6(15)	2,9	1,58	1,65	1,73	5,0	0,6
M 2-2	48	26	22	98,4	A-7-6(13)	3,0	1,04	1,26	1,33	6,6	0,3
M 2-3	47	25	22	98,5	A-7-6(14)	3,6	0,39	0,50	0,59	7,6	0,3

### ANALISIS DE RESULTADOS M2

**TABLA Nº 6**

#### **Dilución 1: 10**

El pH es claramente alcalino y la alta conductividad indica una gran concentración de sales.

#### **Dilución 1: 100**

El valor de pH y conductividad y sólidos disueltos totales bajan debido a la dilución pero manteniéndose en el nivel alcalino.



Con respecto al fósforo de fosfato se nota una mayor concentración que en la muestra anterior.

En cuanto al nitrógeno de amonio es importante hacer notar el alto contenido de este ión, característica que correspondería a la información de la cartilla técnica.

**TABLA N° 7**

Determinaciones sobre el suelo natural aditivado con la concentración recomendada por el fabricante (M 2-2) y con adición de -10 % (M 2-1) y +10 % (M 2-3) del porcentaje recomendado.

Con respecto al pH y conductividad, el suelo no ha sido modificado sustancialmente en sus características originales, salvo en la M 2-1 que muestra una mayor conductividad.

Con respecto a las concentraciones de metales pesados no se observan modificaciones en los valores del suelo natural.

El contenido de hidrocarburos totales no resulta de importancia.

**Evaluación con respecto al suelo natural sin aditivar**

**TABLA N° 8**

**Constantes Físicas:** se detecta un descenso poco sensible en los valores del límite líquido, prácticamente no hay alteración en los valores del límite plástico y no se evidencia cambios significativos en el índice plástico.

Con respecto al pasa tamiz N° 200 no se registran variaciones significativas.

**Resistencia (R<sub>ci</sub>):** es significativo el aumento en este parámetro con un valor promedio del 68%, llegando a duplicar el valor con la mayor adición, crece con el aumento del porcentaje de adición.

**Absorción:** en los distintos porcentajes de adición y a lo largo de todo el período se reduce este parámetro.

**Valor Soporte Relativo:** crecen los valores del valor soporte a medida que crece el porcentaje de adición.

**Hinchamiento:** hay una disminución promedio del 69% con muy poca variación en los distintos porcentajes de adición.

**5.3. MUESTRA M3**

**ESTABILIZANTE SEGÚN CARTILLA TÉCNICA**

Consiste en un hidrocarburo mineral emulsionado (EMH-10) modificado con un polímero natural derivado (NPR-99S ó NPR-44L) y otros agente patentados. Estos agentes incrementan la capacidad de carga del camino y son particularmente beneficiosos cuando se usan con suelos finos no plásticos y agregados periféricos a este suelo, como se encuentran en muchos lados de Argentina.

**DETERMINACIONES SOBRE EL ESTABILIZANTE**

**TABLA N°9**

Dilución	PH	Cond.	TSD	P/PO <sub>4</sub>	N/NH <sub>4</sub>	D	n
1:10	0,86	n/d	n/d	n/d	n/d	0,999	n/d
1:100	1,76	13690	6850	0,139*	0,150	n/d	1,356

**SUELO NATURAL ADITIVADO  
TABLA Nº 10**

	pH	Conductividad µS/cm	Lixiviado (ppm)								H. T. (%)
			Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Ag	Pb	Ni	
M 3-1	8,2	1207	0,02	0,17	0,07	0,06	0,03	< 0,02	< 0,10	0,08	< 0,02
M 3-2	7,4	1400									
M 3-3	7,9	843									

**TABLA Nº11**

	Límites			PT200 %	Clasif. HRB	R ci Kg/cm <sup>2</sup>	Absorción %			V. S. R. (%)	Hin Cham. (%)
	L	L	P I p				1	3	7		
M 3-1	47	25	22	97,0	A-7-6(14)	2,7	0,85	1,00	1,03	7,0	0,8
M 3-2	46	25	21	96,5	A-7-6-(11)	2,8	0,55	0,76	0,82	11,4	0,7
M 3-3	45	25	20	97,5	A-7-6(15)	2,9	0,48	0,62	0,66	12,0	0,5

**ANALISIS DE RESULTADOS M3  
TABLA Nº9**

**Dilución 1: 10**

Para esta dilución el pH baja indicando una acidez pronunciada.

La presencia de gran cantidad de sales hizo imposible la determinación de conductividad.

**Dilución 1: 100**

El pH sigue siendo bajo y la conductividad alta confirma la gran presencia de sales mencionadas en la dilución 1:10.

La determinación de fósforo de fosfato se realizó sobre una dilución (\*) 1:200 por razones operativas y el valor obtenido da el indicio de una concentración relativamente alta en el aditivo puro.

Lo mismo se puede decir para la concentración de nitrógeno de amonio (1:100).

**TABLA Nº 10**

Determinaciones sobre el suelo natural aditivado con la concentración recomendada por el fabricante (M 3-2) y con adición de -10 % (M 3-1) y +10 % (M 3-3) del porcentaje recomendado.

A pesar del aditivo el pH del suelo natural aditivado sigue manteniendo sus características normales.

Con respecto a la conductividad el aumento observado permanece dentro del rango de los suelos.

En cuanto a las concentraciones de metales pesados prácticamente no hay variaciones.

El contenido de hidrocarburos totales no resulta de importancia.

**Evaluación con respecto al suelo natural sin aditivar**

**TABLA N°11**

**Constantes Físicas:** se detecta un pequeño descenso en el límite líquido con respecto al suelo patrón y descendiendo en un punto a medida que crece el porcentaje de adición, en el límite plástico hay una disminución en un punto en los porcentajes de adición, lo que redundaría en un descenso en el índice de plasticidad.

El porcentaje de variación en el pasa tamiz N° 200 no es significativo.

**Resistencia (R<sub>ci</sub>):** se registra un aumento en la resistencia, estando su valor mayor en la adición porcentual media máxima.

**Absorción:** hay una disminución general en este parámetro, manteniéndose esta disminución constante a través del período valorado.

**Valor Soporte Relativo:** se produce un importante incremento general en los valores.

**Hinchamiento:** se produce una disminución general de los valores, estando la mayor disminución para el porcentaje con mayor adición.

**5.4. MUESTRA 4**

**ESTABILIZANTE SEGÚN CARTILLA TECNICA DEL FABRICANTE**

Es una solución alcalina que se diluye en agua y por el hecho de ser un líquido es absorbido por la tierra en forma rápida y sencilla. Su incorporación al suelo es instantánea.

**DETERMINACIONES SOBRE EL ESTABILIZANTE**

**TABLA N° 12**

Dilución	PH	Cond.	TSD	P/PO <sub>4</sub>	N/NH <sub>4</sub>	D	N
1:10	12,52	n/d	n/d	n/d	n/d	1,012	n/d
1:100	11,58	3210	1600	0,034	0,561	n/d	1,383

**SUELO NATURAL ADITIVADO**

**TABLA 13**

	pH	Conductividad MS/cm	Lixiviado (ppm)							H. T. (%)	
			Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Ag	Pb		Ni
M 4-1	8,3	840	0,02	0,18	0,08	0,05	0,04	< 0,02	< 0,10	0,10	< 0,02
M 4-2	7,9	850									
M 4-3	7,8	975									

**TABLA 14**

	Límites			PT200	Clasif.	R ci	Absorción %			V. S. R.	Hincham.
	L L	L P	I p	%	HRB	Kg/cm <sup>2</sup>	1	3	7	(%)	(%)
M 4-1	46	26	20	96,8	A-7-6(13)	2,1	0,57	0,66	0,87	9,4	0,1
M 4-2	47	26	21	95,6	A-7-6(13)	2,2	0,52	0,57	0,68	7,6	0,4
M 4-3	49	27	22	97,9	A-7-6(15)	2,0	0,41	0,45	0,57	6,7	0,1

**ANÁLISIS DE RESULTADOS M4**

**TABLA Nº 12**

**Dilución 1:10**

El pH es francamente alcalino y se corresponde con la información de la cartilla técnica. En esta dilución no se detectó el valor de la conductividad, por escapar al rango del aparato.

**Dilución 1:100**

El pH sigue con valores altos indicando su alta alcalinidad y la conductividad indica la presencia de sales disueltas.

En cuanto al fósforo de fosfato el valor es relativamente bajo y el de nitrógeno de amonio es relativamente alto, lo que indica la presencia de sales amoniacales en el aditivo original.

**TABLA Nº 13**

Determinaciones sobre el suelo natural aditivado con la concentración recomendada por el fabricante (M 4-2) y con adición de -10 % (M 4-1) y +10 % (M 4-3) del porcentaje recomendado.

El pH del suelo prácticamente no ha sido afectado por el agregado del aditivo.

La conductividad se mantiene dentro de valores normales para suelo.

Los valores de las concentraciones de metales pesados no han sido particularmente afectadas.

El contenido de hidrocarburos totales no resulta de importancia.

**Evaluación con respecto al suelo natural sin aditivar**

**TABLA Nº 14**

**Constantes Físicas:** a medida que aumenta el porcentaje de adición, aumenta el límite líquido, pero sin alcanzar en ningún caso el valor comparativo, el límite plástico se mantiene prácticamente constante por lo que se evidencia una disminución en el índice de plasticidad, manteniendo la tendencia de crecimiento del límite líquido.

Si bien hay una pequeña disminución en el pasa tamiz Nº 200 ésta no es significativa.

**Resistencia (R ci):** hay un aumento promedio del 12 % y prácticamente sin variación para cada uno de los porcentajes de adición.

**Absorción:** los niveles de absorción decayeron en un nivel promedio para todo el período, y sin cambios significativos para los distintos porcentajes de adición.

**Valor Soporte Relativo:** se evidencia un crecimiento de los valores en un porcentaje promedio del 65 %, decayendo sus valores en función del aumento del porcentaje de adición.

**Hinchamiento:** se produce una importante reducción de los valores de hinchamiento y prácticamente sin diferencias entre los distintos porcentajes de adición.

## 5.5. MUESTRA M5

### 5.5.1. M 5-1

#### ESTABILIZANTE SEGÚN CARTILLA TÉCNICA DEL FABRICANTE

El aditivo se inserta entre las partículas del suelo formando complejas estructuras moleculares que actúan mediante procesos catalíticos que reducen la tensión superficial del agua que circunda dichas partículas, de manera tal que la película de agua que las cubre y hace las veces de barrera entre ellas, es dispersada permitiendo así su evaporación.

#### DETERMINACIONES SOBRE EL ESTABILIZANTE

Compuesto por dos productos

**Producto Base TABLA Nº 15**

	Pérdida 100-120 °C (%)	Pérdida 500-550 °C (%)
M 5	75-78	98-99

**Producto Complementario TABLA Nº 16**

	Pérdida 100-120 °C (%)	Pérdida 500-550 °C (%)
M 5-1	0.8-0.8	< 1

#### SUELO NATURAL ADITIVADO

#### TABLA Nº 17

	PH	Conductividad µS/cm	Lixiviado (ppm)							H. T. (%)	
			Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Ag	Pb		Ni
M 5-1-1	10,5	1490	0,02	0,21	0,09	0,06	0,05	<0,02	<0,10	0,09	< 0,02
M 5-1-2	10,6	2100									
M 5-1-3	10,3	1735									

#### TABLA Nº 18

	Límites			PT200 %	Clasif. HRB	R ci Kg/cm <sup>2</sup>	Absorción %			V. S. R. (%)	Hincham. (%)
	L	L	P   p				1	3	7		
M 5-1-1	52	31	21	97,3	A-7-5(14)	3,0	0,16	0,58	0,61	16,2	0,4
M 5-1-2	52	32	20	98,5	A-7-5(14)	6,4	0,18	0,60	0,74	25,9	0,3
M 5-1-3	40	28	12	98,1	A-7-6(9)	6,8	0,27	0,73	0,89	33,1	0,1

## ANÁLISIS DE RESULTADOS M 5-1

### TABLAS 15 Y 16

Este producto es de una característica distinta a los ya tratados puesto que actúa en combinación, con un producto base que se le adiciona al suelo, se lo deja actuar y se le adiciona un segundo producto, que denominamos producto complementario, éstos componen un lote de dos productos, para este primer caso se trata de un producto en polvo.

En este producto no fue posible realizar soluciones acuosas en ninguna de sus tres variantes, a saber, el producto base y sus dos productos complementarios, dado que la muestra fue insoluble en agua. Tratando de encontrar alguna manera de llegar a la solubilización, se intentó con soluciones ácidas y alcalinas de diversa concentración, y con varios solventes (metanol, etanol, acetona, hexano, etc.) sin conseguir resultado alguno.

Ante esta situación, y ante la imposibilidad de realizar análisis más complejos, dado que se perdería el concepto de control expeditivo para una caracterización del producto, se resuelve establecer como parámetro la pérdida en estufa a 100-120 °C, para de esta manera poder establecer no sólo el contenido de humedad, sino también la cantidad de materias volátiles, y la pérdida en mufla a 500-550 °C, que puede indicar el contenido de materia orgánica. El porcentaje de pérdida en peso a 500-550 °C es sobre residuo seco (100-120 °C)

### TABLA Nº 17

Determinaciones sobre el suelo natural aditivado con la concentración recomendada por el fabricante (M 5-1-2) y con adición de -10 % (M 5-1-1) y +10 % (M 5-1-3) del porcentaje recomendado.

El pH es alcalino, indicando una modificación producida por el aditivo, la conductividad si bien ha sido afectada, se mantiene dentro de valores normales para suelos.

En las concentraciones de los metales pesados se observa un pequeño incremento en cuatro de los ocho metales siendo más notable para el caso del Zinc.

El contenido de hidrocarburos totales no resulta de importancia.

### Evaluación con respecto al suelo natural sin aditivar

### TABLA Nº 18

**Constantes Físicas:** en límite líquido hay un aumento y del mismo valor para los porcentajes menor y medio de adición y una disminución para el porcentaje mayor. En el límite plástico se produce un aumento en los tres niveles de adición, aunque en el porcentaje de adición mayor el aumento es menor. Por lo tanto el índice de plasticidad pasa a tener una disminución general, acentuándose en el nivel superior de adición.

Con respecto al PT Nº 200 las pequeñas variaciones registradas no son significativas.

**Resistencia (R<sub>ci</sub>):** hay un aumento considerable de la resistencia llegando a valores promedio de 187%, situándose el mayor valor en la adición mayor de aditivo.

**Absorción:** este parámetro sufre una importante reducción donde la mayor diferencia comparativa se expresa en el primer período, para ir decreciendo, esta diferencia, en función del paso del tiempo evaluado.

**Valor Soporte Relativo:** hay un incremento muy importante de los valores de VSR, alcanzando un valor promedio del 422 % y con la tendencia de crecimiento en función del crecimiento del porcentaje de adición.

**Hinchamiento:** se produce una importante reducción del Hinchamiento y sin variar prácticamente en la comparación entre los distintos niveles de adición.

### 5.5.2. MUESTRA 5-2

#### ESTABILIZANTE SEGÚN CARTILLA TÉCNICA DEL FABRICANTE

El aditivo se inserta entre las partículas del suelo, formando complejas estructuras moleculares que actúan mediante procesos catalíticos que reducen la tensión superficial del agua que circunda dichas partículas, de manera tal que la película de agua que las cubre y hace las veces de barrera entre ellas, es dispersada permitiendo así su evaporación.

#### DETERMINACIONES SOBRE EL ESTABILIZANTE Producto Complementario TABLA Nº 19

	Pérdida 100-120 °C (%)	Pérdida 500-550 °C (%)
M 5-2	36-42	94-95

#### SUELO NATURAL ADITIVADO TABLA Nº 20

	pH	Conductividad µS/cm	Lixiviado (ppm)							H. T. (%)	
			Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Ag	Pb		Ni
M 5-2-1	8,25	883	0,02	0,22	0,06	0,04	0,04	< 0,02	< 0,10	0,08	0,08
M 5-2-2	8,33	837									
M 5-2-3	8,3	1070									

#### TABLA Nº 21

	Límites			PT200 %	Clasif. HRB	R ci Kg/cm <sup>2</sup>	Absorción %			V. S. R. (%)	Hincham. (%)
	L	L	P   p				1	3	7		
M 5-2-1	50	26	24	92,3	A-7-6(16)	5,0	2,38	2,78	2,96	17,7	0,6
M 5-2-2	51	29	22	95,4	A-7-6(15)	5,4	1,75	2,14	2,45	19,9	0,5
M 5-2-3	49	31	18	92,3	A-7-5(13)	7,3	1,48	1,81	2,00	25,3	0,3

## ANÁLISIS DE RESULTADOS M5-2

### TABLA Nº 19

El producto es la segunda combinación posible según se detalla para el producto anterior, actúa en la misma forma, siendo en este caso un líquido.

### TABLA Nº 20

Determinaciones sobre el suelo natural aditivado con la concentración recomendada por el fabricante (M 5-2-2) y con adición de -10 % (M 5-2-1) y +10 % (M 5-2-3) del porcentaje recomendado.

El pH aumentó muy poco respecto del suelo. La conductividad se mantiene dentro de valores normales. En las concentraciones de metales pesados se nota un aumento prácticamente al doble del Zinc.

El contenido de hidrocarburos totales no resulta de importancia.

### Evaluación con respecto al suelo natural sin aditivar

### TABLA Nº 21

**Constantes Físicas:** se registran valores prácticamente iguales al del suelo comparativo en el límite líquido, estableciéndose el mayor valor para el porcentaje mínimo. El límite plástico va en aumento desde un valor igual al suelo patrón, para el porcentaje de menor adición, hasta un valor mayor para la mayor adición. El índice de plasticidad se reduce desde el porcentaje menor de adición hasta la adición mayor de porcentaje de aditivo.

En la valuación del PT Nº 200 se observa una pequeña disminución en sus valores, sin ser estos valores significativos para la clasificación HRB.

**Resistencia (R<sub>ci</sub>):** es importante la variación de la resistencia, alcanzando un aumento promedio de 214 %, alcanzando su mayor valor para el porcentaje de adición mayor.

**Absorción:** se registra una disminución en los niveles de absorción para las adiciones media y superior, acentuándose a medida que avanza el período evaluado.

**Valor Soporte Relativo:** hay un aumento significativo en los valores, creciendo los mismos en función del aumento del porcentaje de adición.

**Hinchamiento:** se establece una reducción importante, en el porcentaje de adición mayor se registra el menor valor.

## 5.6. MUESTRA M6

### ESTABILIZANTE SEGÚN CARTILLA TECNICA

Producto elaborado a base de derivados de petróleo sulfonado, buffered ácidos y bisulfuros orgánicos.



**DETERMINACIONES SOBRE EL ESTABILIZANTE  
TABLA Nº 22**

Dilución	PH	Cond.
1:10	1,47	Fuera de Rango
1:100	1,91	10000-76000

**SUELO NATURAL ADITIVADO  
TABLA Nº23**

	pH	Conductividad µS/cm	Lixiviado (ppm)								H. T. (%)
			Cd	Zn	Co	Cu	Cr	Ag	Pb	Ni	
M 6-1	6,7	1380	0,01	0,19	0,08	0,07	0,05	< 0,02	< 0,10	0,09	< 0,02
M 6-2	8,3	765									
M 6-3	8,54	710									

**TABLA Nº24**

	Límites			PT200 %	Clasif. HRB	R ci Kg/cm2	Absorción %			V. S. R. (%)	Hin Cham. (%)
	L L	L P	I p				1	3	7		
M 6-1	55	32	23	94,1	A-7-5(19)	7,9	3,41	3,77	3,86	6,5	0,33
M 6-2	57	33	24	93,7	A-7-5(19)	8,8	2,64	2,87	3,00	8,2	0,20
M 6-3	67	35	32	94,0	A-7-5(20)	10,2	2,34	2,54	2,77	8,9	0,20

**ANÁLISIS DE RESULTADOS M6**

**TABLA Nº 22**

Si bien esta muestra fue soluble en agua en las diluciones efectuadas, su fuerte coloración impidió realizar los análisis colorimétricos del fósforo de fosfato y nitrógeno de amonio.

La conductividad fuera de rango de la dilución 1:10, está provocada por la presencia de un alto contenido de sales, tal como lo indica el valor obtenido para la dilución 1:100. También es importante remarcar el valor del pH, fuertemente ácido.

**TABLA Nº23**

Determinaciones sobre el suelo natural aditivado con la concentración recomendada por el fabricante (M 6-2) y con adición de -10 % (M 6-1) y +10 % (M 6-3) del porcentaje recomendado.

En la muestra M 6-1 se nota una baja del pH y un aumento de la conductividad, afectaciones éstas producidas por el agregado del aditivo en esa concentración.

En las dos restantes M 6-2 y M 6-3 los valores están dentro de los rangos de los suelos naturales.

En las concentraciones de metales pesados los valores prácticamente no se han modificado salvo un muy leve aumento en la concentración del Zinc. El contenido de hidrocarburos totales no resulta de importancia.

### **Evaluación con respecto al suelo natural sin aditivar**

#### **TABLA Nº 24**

**Constantes Físicas:** se registra un aumento considerable en los valores de los límites líquidos y crecientes en función del aumento del porcentaje de adición. En el límite plástico también hay un aumento en los valores con la misma tendencia de crecimiento que para el límite líquido. El índice de plasticidad aumenta con el crecimiento del porcentaje de adición, sin llegar a alcanzar el valor comparativo para las dos primeras adiciones.

Los valores arrojados por el PT Nº 200 sufren una disminución, aunque éstos no representan una variación significativa.

**Resistencia (R<sub>ci</sub>):** se registra un aumento importante promedio de resistencia del 377 %, con valores que crecen en función del aumento de adición.

**Absorción:** en este parámetro hay un pequeño aumento general. En el porcentaje medio y mayor de adición a los 7 días disminuye la absorción con respecto al suelo comparativo.

**Valor Soporte Relativo:** se produce un incremento promedio del 64 %, dándose el crecimiento de dichos valores en función del crecimiento de adición.

**Hinchamiento:** se produce una disminución considerable del hinchamiento.

## **6. CONCLUSIONES GENERALES**

En esta segunda etapa se pone en práctica la metodología propuesta en la Parte I, trabajo que fuera expuesto en la edición 2000 de la Trigésima Primera Reunión del Asfalto de la Comisión Permanente del Asfalto. Así mismo se pone de manifiesto que esta segunda parte ha sido expuesta, mediante la modalidad de curso de perfeccionamiento, ante una audiencia compuesta por las empresas productoras y comercializadoras de este tipo de productos, juntamente con representantes de organismos gubernamentales, municipales y provinciales, y empresas privadas ligadas a la actividad vial y Vialidades Provinciales.

La metodología propuesta resulta adecuada para realizar una caracterización completa del producto.

Desde el punto de vista físico-químico los parámetros medidos, tales como: pH, conductividad, TSD, P/PO<sub>4</sub>, N/NH<sub>4</sub>, densidad e índice de refracción, evidencian los cambios producidos en el sistema suelo-aditivo.

Desde el punto de vista físico-mecánico, los parámetros seleccionados son también suficientes para valorar la acción del producto sobre el suelo.

Cabe aclarar que se realizó el moldeo de V.S.R. con moldes de PVC, pero los resultados obtenidos en la medición de este parámetro, junto con el de hinchamiento, no permitieron establecer valores congruentes que establecieran una tendencia clara para la valoración de los efectos presupuestos de algún tipo de reacción química sobre los moldes.

En forma general se puede decir que las variables químicas como pH, conductividad y medición de metales lixiviados varían según la naturaleza del producto modificando al suelo en entornos aceptables desde el punto de vista de la normativa ambiental.

Desde el comportamiento físico-mecánico se observa la tendencia a:

- Disminuir la absorción
- Disminuir el hinchamiento
- Aumentar el valor soporte relativo
- Aumentar la resistencia

En forma aleatoria se observan distintas realidades según los productos en las variables:

- Constantes físicas
- Pasa tamiz N° 200
- Clasificación H.R.B.

## **7. CONCLUSIÓN FINAL**

Los aditivos comercializados en el país, e incorporados en el presente estudio, pueden sin duda satisfacer su examen bajo la metodología propuesta desde su fabricación y comercialización hasta su análisis tecnológico.

Cada marca tiene aspectos a ajustar, tendientes a resolver la confiabilidad del producto en el mercado. En este sentido creemos que esta propuesta ayuda a tener una base de comercialización y de estandarización de los controles de calidad.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

- Decreto 911/96 del Poder Ejecutivo Nacional - Reglamento de Higiene y Seguridad para la Industria de la Construcción.
- Ley Nacional 19587 - Decreto Reglamentario 351/79 - sobre Medicina, Higiene y Seguridad en el Trabajo en los siguientes puntos: Título IV - Condiciones de Higiene en los Ambientes Laborales - Cap. 9 - Art. 61 y Anexo III aprobado por Resolución 444/91 - Título VI - Protección Personal del Trabajador - Capítulo 19 - Título VII- Selección y Capacitación del Personal - Cap. 21 Capacitación.
- Ley Nacional 24051 Decreto 831/93 Residuos Tóxicos y Peligrosos
- Ley Provincial 11720 Decreto 806/97 ( Prov. de Bs. As.) Residuos Especiales
- Secretaría de Transportes de la Nación - Resolución 195/97. Sobre sustancias Peligrosas.
- Norma IRAM 10007 (NFPA 704) Señales de advertencia. Sistemas de señalización de Riesgo para eventual incendio o otra emergencia
- A. R. Rodríguez y E. Del Castillo -La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres - Vol. 2 - Ed. Limusa. 1999.
- C. Crespo Villalaz - Vías de Comunicación - 3ra edición.- Ed. Limusa - 1999
- H. G. Botasso, E. Fensel - Incorporación de Residuos Peligrosos en bases Cementadas - - Memorias del 10° Congreso del CILA - Sevilla, España, 1999. y en prensa Rev. Carreteras de la Asociación Española de Carreteras.

- M. Lagrega, P. Buckingham, J. C. Evans - Gestión de Residuos Tóxicos - Mc. Graw Hill 1998
- R. Lauwerys - Toxicología Industrial e Intoxicaciones Profesionales - Ed. Masson S.A. 1995
- S. Hector - Estabilización química de suelos. Publicación - LEMaC - Trabajos Realizados por los Becarios - 1999 - Biblioteca de la Facultad Regional La Plata.
- Lofeudo Ernesto, Tesis final, Maestría en Ingeniería Ambiental sobre: Etiquetado de sustancias peligrosas. U.T.N. - Biblioteca de la Facultad Regional La Plata.