

ESTABILIZANTES IONICOS DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION

Botasso, H. G.^a, Fensel, E. A.^a, Ricci, L. A.^a

^a Centro de Investigaciones Viales LEMaC, U.T.N. - FRLP, Calle 60 y 124 (1900), La Plata, Argentina.
Telfax: 0221-4890413; Email: lemac@frlp.utn.edu.ar; web: www.frlp.utn.edu.ar/lemac

Los estabilizantes iónicos de suelos empleados en suelos no aptos para ser utilizados como fundación, son productos de reciente comercialización en el país, con un marcado uso sobre los estratos arcillosos. Las primeras aplicaciones de éstos se realizaron con productos importados, desarrollados en la industria petrolera canadiense y sudafricana; mas tarde con el paso del tiempo han surgido algunas formulaciones en la industria nacional, pequeñas empresas del sector petroquímico.

Básicamente se los puede clasificar en dos grandes grupos, por un lado los estabilizadores derivados del petróleo, emulsionados o sulfonados, y por otro los estabilizadores con base polimérica. Ambos con alta concentración de cargas electropositivas y con índices de acidez bien marcados, y que mediante acciones de intercambio iónico reducen el potencial electrostático de las partículas de suelos arcillosos disminuyendo su capacidad de absorción.

Su uso en Argentina ha comenzado sin considerar los riesgos intrínsecos y sin una adecuada sistemática de ensayos que respaldara su acción mejoradora de las propiedades estructurales de la capa tratada, sin una adecuada caracterización de los riesgos de utilización y los niveles de toxicidad del producto. En los primeros usos han aparecido corrosión en equipos de aplicación, alteraciones y desmayos del personal que los ha utilizado sin los recaudos necesarios y con presencia de metales pesados en suelos.

El presente trabajo plantea la necesidad de evaluar los riesgos contaminantes que poseen estos productos y establecer una sistemática que compruebe la eficacia y eficiencia como agente estabilizador de cada uno de los productos existentes en el mercado.

Para esto se desarrollaron técnicas de evaluación fisicoquímica, buscando una adecuada caracterización y establecer parámetros básicos a cumplir desde el punto de vista ambiental, según la Ley 24.051 actualmente vigente y las normas establecidas en Pliegos de Especificaciones Técnicas de obras viales de la Dirección Nacional de Vialidad.

Los resultados obtenidos establecen una metodología de estudio, la cual se pretende se constituya en base para la normalización en IRAM y se utilice para establecer exigencias científicas para la comercialización.

No se presentan resultados particulares de las muestras estudiadas ya que se pretende mostrar la metodología desarrollada, sí se informa que los resultados obtenidos muestran la eficiencia de la misma.

Palabras claves: Aditivos, Suelos, Propiedades, Medio Ambiente, Normalización.

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 Vial, 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 y valorar su acción, 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 las cartillas técnicas.

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 los efectos de los aditivos, para luego valorar estos mismos parámetros en el suelo aditivado.

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.

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 asociado a la eliminación del agua pelicular, adsorbida.

Individuando las **características químicas** de los aditivos según su procedencia como: 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 (por evaporación y gravedad), las partículas se aglomeran por atracción electroquímica, sellando la estructura porosa-capilar, aumenta la resistencia, la capacidad portante, disminuye la 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.

2. PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS. IDENTIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS

Los estudios de identificación de sustancias o compuestos, constituyen el único medio idóneo para establecer las medidas de prevención y protección del personal, de los bienes y del medio ambiente.

De acuerdo al Art. 172 del Decreto 911/96, la identificación del producto está dada por el fabricante a través de los rótulos que llevan los envases donde como mínimo debe figurar: **la forma de uso del producto, los riesgos derivados de su manipulación, y la indicación de primeros auxilios ante situaciones de emergencia.**

La Ley Nacional 24051 y su Decreto Reglamentario 831, sobre Residuos Peligrosos, Generación, Manipulación, Transporte y Tratamiento, en su Anexo IV establece los procedimientos para la identificación de residuos peligrosos.

Cuando el producto está identificado, sus características de peligrosidad, valores máximos permisibles etc. se determinan mediante la consulta de: a) listas de elementos o compuestos químicos peligrosos; b) listas de industrias y /o procesos de alta probabilidad

Cuando el producto no está bien identificado, sus características peligrosas, por ejemplo: inflamabilidad, corrosividad, reactividad, irritabilidad, lixiviabilidad etc. se determinan mediante ensayos específicos.

2.1 IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y DE PROTECCIÓN PARA LAS PERSONAS

A los fines de implementar medidas de prevención y protección para las personas, los bienes y el medio ambiente, la identificación de las sustancias o compuestos componentes de los productos a utilizar se debe efectuar cuando se trata de un producto nuevo, o un producto que se va a usar por primera vez, o cada vez que se cambia la formulación del producto.

2.1.1 Datos de etiquetado

a) El proveedor de todo producto deberá entregar la hoja o ficha de datos Químicos y de Seguridad del material y datos de etiqueta, de las cuales entregará una copia al Servicio de Medicina y otra al de Higiene y Seguridad. La Ficha de Datos Químicos y de Seguridad (M.S.D.S.) debe contener como mínimo: Información del producto; Situaciones de exposición al Peligro; Prevención y Protección del Riesgo; Demás Información Específica y debe estar firmada y avalada por un profesional con incumbencia que se hace responsable.

Los envases del producto deberán estar provistos de una etiqueta donde figurarán: Las características del producto, identificación, contenido, concentración, colores y signos indicativos, formas de uso, peligrosidad (cáustico, irritante, corrosivo, tóxico, inflamable, etc.), información sobre primeros auxilios y a quien acudir en casos de emergencias; Datos del fabricante o designación comercial responsable, fechas de fabricación y de vencimiento, disposición final de los envases vacíos, etc.

b) Los servicios de Medicina y de Higiene y Seguridad buscarán la coincidencia de lo dicho en la hoja de seguridad y en la etiqueta. En caso de dudas y para reforzar los pedidos, convendrá la realización de ensayos de aptitud del producto desde los puntos de vista citados anteriormente.

c) Aceptado el producto se debe dejar constancia en la Planilla de Aceptación de Productos correspondiente.

d) De acuerdo a las características del producto, el Decreto 911/96 y Res.195/97 de la Secretaría de Transporte de la Nación, el responsable de Higiene y Seguridad deberá elaborar una metodología de trabajo, normas de transporte del producto dentro de la obra y almacenamiento transitorio.

2.1.2 Seguridad en la Metodología de Uso

En la metodología de trabajo se tendrán en cuenta las indicaciones del fabricante y las características de la o las sustancias que se van a utilizar.

- 1) Se deberán tomar recaudos para tornar seguras las operaciones de transporte, almacenamiento transitorio, prevención de derrames y carteles de señalamiento.
- 2) Se capacitará a los trabajadores
- 3) Se seleccionarán los elementos de protección personal adecuados al riesgo y su uso obligatorio.
- 4) Se verificará durante el almacenamiento, movimiento y uso, se dé cumplimiento a las

indicaciones de los afiches indicadores correspondientes a cada producto genérico.

- 5) Se establecerán normas de orden y limpieza y tratamiento de los residuos, envases, etc. provenientes del producto.
- 6) Se mantendrá a los trabajadores permanentemente informados con respecto a estos riesgos y el modo de actuar en caso de emergencias.

3. SISTEMAS DE EVALUACIÓN

3.1 Características Químicas

3.1.1 Sobre los aditivos

Se plantea estudiar la realización de análisis sencillos, que permitan 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, como se dijera, de dos tipos de productos. Unos derivados de petróleo sulfonados y otros derivados de polímeros. 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 de:

1. pH : método potenciométrico, expresado en unidades de pH (upH)
2. Conductividad (Cond.): método por sensor (conductímetro), expresado en micro o mili Siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$ ó mS/cm)
3. Sólidos Disueltos Totales (TDS) : como residuo conductimétrico, expresado en mg/dm^3
4. Fosfato (PO_4) : método colorimétrico, expresado como fósforo de fosfato en miligramos por decímetro cúbico ($\text{P}/\text{PO}_4 \text{ mg}/\text{dm}^3$)
5. Amonio (NH_4) : método colorimétrico, expresado como nitrógeno de amonio en miligramos por decímetro cúbico ($\text{N}/\text{NH}_4 \text{ mg}/\text{dm}^3$)
6. Densidad (d) : expresado como masa por unidad de volumen, en g/cm^3 , a temperatura ambiente
7. Índice de refracción (n): medido con refractómetro, a 25°C , expresado como índice de refracción relativo al agua destilada

son parámetros adecuados para un control de materia prima, como términos principales.

La metodología en las determinaciones de parámetros fisicoquímicos efectuados para la caracterización de productos químicos estabilizadores de suelos, tomados como materia prima, se establecen sobre diluciones acuosas en la relación 1 : 100 v/v (muestra-agua).

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 $100-120^\circ\text{C}$
- Residuos después de calcinar a 550°C .
- Cenizas después de calcinar a 900°C .

3.1.2 Sobre el suelo

El suelo adoptado para evaluar esta metodología consiste en un suelo con características de ser altamente plásticos. Se miden los parámetros de pH y Conductividad ya mencionados para el aditivo más los de Lixiviado e Hidrocarburos Totales. Se proponen ocho cationes a medir en el lixiviado, aunque se puede ampliar la medición a otros, en búsqueda de alguna característica propia relacionada al entorno del sitio. Los cationes valorados son: Cadmio (Cd), Zinc (Zn), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Plata (Ag), Plomo (Pb) y Níquel (Ni).

1. Lixiviación (EPA 1310/1311-EPTOX / TCLP): proceso por el que los contaminantes son transferidos de una matriz sólida o estabilizada al lixiviante.
2. Hidrocarburos Totales (H.T.): Método 3550 (EPA), de extracción sólido-líquido por sonicación.

3.1.3 Sobre la mezcla Suelo Aditivo

Se implementan los mismos ensayos planteados para el suelo de referencia con el objeto de establecer las modificaciones producidas por la acción del aditivo.

3.2 Características Físicas

3.2.1 Sobre el suelo y el suelo aditivado

Adición del Estabilizante: El aditivo se adiciona al agua faltante para llevar la muestra de suelo secado al aire a la humedad óptima y luego se deja la muestra cerrada al vacío, para evitar intercambio de humedad, durante 24 h para lograr una humectación total de la muestra. Paso siguiente se deja secar la muestra aditivada al aire durante 24 h, para emular las condiciones de obra en las que se obtiene un mejor rendimiento del producto, para luego, mediante la adición de humedad, llevar las muestras a la condición de Humedad óptima para el moldeo de probetas para evaluar los demás parámetros.

Determinación de Constantes Físicas :

Se toma este parámetro dadas las características del mismo en donde se evalúa los

cambios en la plasticidad y la granulometría de los suelos mediante una técnica sencilla y muy común para su clasificación en el ámbito vial.

Ensayo de Compactación

La elección de este ensayo viene dado fundamentalmente porque los ensayos realizados con la energía de compactación del Proctor Standard sobre los suelos con y sin aditivos son los indicados para obtener los valores de Densidad Seca máxima y Humedad Óptima, valores imprescindibles para valorar distintos parámetros en Laboratorio como en obra, además se pueden establecer valores de P.U.V. (Peso por unidad de volumen) suelto y compactado, valores referenciales para la geometría de la obra.

Determinación de Valor Soporte Relativo (V.S.R.)

Se considera un parámetro fundamental establecer el valor soporte y a través del mismo el cambio volumétrico que se relaciona con el hinchamiento medido en este ensayo, a su vez, es un parámetro en donde se hace muy factible medir los cambios producidos por una adición en el material de referencia.

Ensayos de absorción por capilaridad:

Dada la conformación de las características que estos productos ejercen en la morfología de los suelos tratados es que se hizo hincapié en valorar los cambios producidos en la absorción de los suelos. Para valorar los cambios de absorción se moldean probetas de suelo y suelo aditivado, para establecer la misma mediante un método comparativo. Para ello se diseñó en el LEMaC una metodología en la evaluación de este parámetro que consiste en el moldeo de probetas cilíndricas con Densidad Máxima Seca prefijada y con Humedad Óptima, con compactación en forma estática con doble pistón, sobre un molde de caño reforzado de PVC, lo que le confiere una presión de confinamiento lateral. Inmediatamente después de moldeadas, se introducen en un compartimiento estanco, sobre una mezcla de suelo seleccionado y arena silíceo monogranular, saturado de agua en forma permanente y cubierto con un papel secante hidratado, en donde se apoyan las probetas, la cara de apoyo de la probeta siempre es la misma. Se pesan las mismas y en función de un tiempo estipulado, se calcula el porcentaje de agua absorbido por las mismas. Los porcentajes de absorción se refieren al agua absorbida por la probeta a partir la humedad óptima.

Ensayo de resistencia a compresión simple, inconfiada

Tomando el método descrito por Vialidad de la Provincia de Buenos Aires, se moldean probetas de $\phi=5$ cm y altura $h=10$ cm, del tipo de suelo cemento, a compactación estática a doble pistón, en las mismas condiciones que las de absorción, luego las

mismas se curan en cámara húmeda durante 7 días previo al ensayo de rotura.

4 Cartilla de Evaluación

A modo de ejemplo se presenta en la Figura 1 una cartilla de evaluación tipo en donde se presentan los distintos parámetros a evaluar.

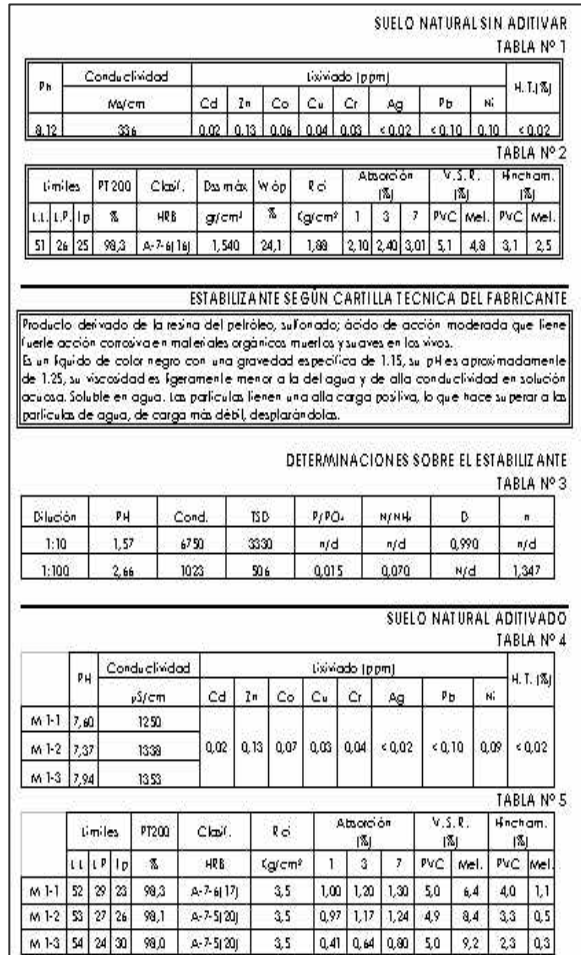


Figura 1. Cartilla tipo para la evaluación de los aditivos, suelo y suelo aditivado.

5. Conclusiones

La presente metodología a dado muestras de su eficiencia en la valoración del accionar de distintos aditivos iónicos mejoradores de suelos, a pesar de lo compleja y variada composición de los mismos, por lo que se recomienda su implementación para el control de su eficiencia como producto y para valorar su acción en obra.