

Elementos de Edafología y Edafotecnia

(Continuación)

Cap. IV.—Estabilización de suelos con materiales cementantes naturales.— A) Definiciones.—B) Estudios de Laboratorio.—C) Estudios en el terreno.—Cap. V.—Mejoramiento físico-químico de los suelos.—A) Tratamientos salinos.— B) Tratamientos con cemento portland.— C) Estabilización con emulsiones bituminosas.

Capítulo IV.—Estabilización de suelos con materiales cementantes naturales

A.—DEFINICIONES.

Los materiales cementantes se encuentran en nuestro país en formas muy variadas:

1.º *Lajas*.—Este nombre—de factura local—corresponde a un suelo arenoso fino, débilmente cementado por carbonato de calcio en polvo. Puede ser removido con arados comunes y picotas. El tráfico lo desintegra.

2.º *Morteros de tosca*.—Son conglomerados arenosos cementados por carbonato de calcio. Al ser molidos con el mortero, no presentan agregado grueso. Hay una enorme variedad de tipos de morteros toscos. Se los puede distinguir a primera vista por su color y características resistentes. Desde nuestro punto de vista, conviene clasificarlas en tres grupos:

a) Mortero tosco blando. Tiene alguna plasticidad. La humedad combinada con el tráfico le causan gran daño. Puede ser removido en estado seco con arados comunes y picotas. En estado húmedo, hasta con pala.

b) Mortero tosco semiduro. Tiene plasticidad muy baja. La cementación es firme. Su remoción obliga a hacer uso del chuzo y de la cuña casi exclusivamente. La trituración puede hacerse con martillo. La humedad ni el tráfico le causan daño.

c) Mortero tosco duro. Estratos macizos fuertemente cementados, que exigen para su remoción el uso de explosivos. Su trituración impone una lajeadura previa antes de ponerlo en las chancadoras.

La humedad ni el tráfico ejercen sobre este material influencia sensible. No tiene plasticidad.

3.º—*Hormigones de tosca*. Son los mismos morteros toscos que, al ser desintegrados en el mortero, dan agregado grueso y aun piedras. Generalmente son más duros que los morteros. (Por lo menos, yo no he visto aún un hormigón tosco blando). He observado también que los hormigones toscos más corrientes tienen sílice como material cementante; es decir, son cuarcitas. La remoción de este material, cuando se presenta más blando, sólo puede ser hecha con chuzo y cuñas. Generalmente exige explosivos.

B.—ESTUDIOS DE LABORATORIO.

El estudio de los materiales cementados con carbonato de calcio ha sido emprendido en Estados Unidos, analizando muestras de caminos de tosca cuyo comportamiento a través de largos años era conocido. Los resultados de estos estudios no son concluyentes porque poco después de colocada la tosca, fué tratada con productos bituminosos.

1.º Desde el punto de vista químico, los mejores materiales fueron los más ricos en carbonato de calcio. Abundan las excepciones.

2.º Los ensayos de cementación tuvieron por resultado una paradoja: en general, los valores más bajos correspondieron a los mejores materiales. Hay muchas excepciones.

3.º Las mejores toscas presentaron, en general, una mayor resistencia a la desintegración causada por el agua. Hay excepciones.

4.º Los resultados más concluyentes fueron los relativos al límite líquido y al índice de plasticidad: los mejores materiales presentaron valores más bajos del límite líquido y del índice de plasticidad. No se registraron excepciones.

Con índice de plasticidad mayor que 15, puede presumirse mal comportamiento. Entre 10 y 15, puede suponerse comportamiento aceptable en zonas secas y bien drenadas.

5.º El análisis mecánico, límite de contracción, razón de contracción, equivalente de humedad y cambio volumétrico, son ensayos cuyos resultados no guardan relación con el comportamiento de las toscas.

C.—ESTUDIOS EN EL TERRENO.

Estudios experimentales realizados por el suscrito en la provincia de Malleco, permiten exponer los siguientes resultados:

1.º Las lajas pueden emplearse como capas de base sin mayor tratamiento.

2.º Son completamente inadecuadas como capa de rodadura.

3.º Sugiero el tratamiento de las lajas con cemento portland o bitúmenes, para obtener superficies de rodado eficientes. (No he hecho experiencias en este sentido).

4.º Las lajas pulverizadas sirven en zonas lluviosas como relleno de materiales graduados de bajo índice de plasticidad. (Mezclas estabilizadas).

5.º El mortero tosco blando no es útil—él sólo—ni como capa de rodado ni como capa de base. Es buena fundación en terrenos bien drenados. (Observacio-

nes experimentadas en la zona *lluviosa* de Traiguén, camino de Traiguén a Victoria).

6.º El mortero toscoso blando puede ser empleado como componente de mezclas graduadas, en la capa superficial o básica.

7.º Los morteros toscos semiduro y duro, son espléndidos materiales para capa de base y rodado; a condición de que se exija severamente el cumplimiento de las siguientes normas:

a) La tosca se chancará de modo que todo el material pase por la criba de una pulgada.

b) El material chancado, con todo su polvo, se colocará por parcialidades de $1/2$ del espesor especificado, sobre la subrazante mejorada, regada y rodillada.

c) La capa colocada será regada y rodillada hasta que el rodillo no deje huella.

d) Por ningún motivo se tolerará la mezcla de la tosca con materiales térreos.

e) La firmeza de la carpeta aumenta mezclando la tosca con ripio o chancado graduado, exento de arcilla, limo y arena.

El no cumplimiento de estas recomendaciones trae consigo los siguientes defectos. (Experiencias camino Traiguén-Lumaco):

a) Si la tosca se chanca en trozos demasiado grandes, la capa queda con porcentaje considerable de huecos, aun *después de una prolija consolidación* por riego y rodillo. Posteriormente, el tráfico consolida mejor que el rodillo, y elimina un gran porcentaje de huecos, por molienda de la tosca: pero los resultados de esta consolidación, en vez de benéficos, resultan perjudiciales para el camino porque—especialmente donde las carpetas se han construido con un ancho de simple vía (tres o

cuatro metros) — los vehículos, una vez formada la huella, sólo circulan por ella. El camino queda entonces como se ve en la figura: con dos cintas centrales bien consolidadas, y hundidas con respecto a la cota de la rasante



Figura 82

de construcción.

b) Es una práctica muy empleada por los constructores, la de separar el polvo de tosca de la tosca gruesa, para colocarlo como recebo. Esta práctica es extremadamente perjudicial; puesto que deja a la capa de afirmado prácticamente con todos sus huecos. Por cierto que el camino construido en estas condiciones tiene un hermoso aspecto durante los primeros tres o cuatro meses; pero, pasado este tiempo, comienzan a producirse los fenómenos de consolidación por tráfico explicados en la letra a).

El material debe ser colocado sobre una subrazante firme, con el objeto de que no se produzcan mezclas entre las toscas y el suelo natural. He observado en este sentido que la arcilla húmeda que penetra en un conglomerado toscoso, es un verdadero lubricante que destruye la cohesión de las partículas que aun no empiezan a cementar.

c) El riego y la consolidación más tenaz son factores indispensables del éxito de esta clase de caminos.

d) En la letra b) se ha explicado por qué no se debe mezclar la tosca con arcilla.

8.º Los hormigones de tosca deben ser empleados con las mismas precauciones que los morteros. Los resultados son, por lo general, mejores.

9.º La elección de la tosca ha sido hecha por el suscrito con éxito, atendiendo exclusivamente a sus características resistentes y a su plasticidad. Una receta práctica que no falla es ésta:

a) La tosca que humedecida tiene plasticidad al tacto, no sirve.

b) Si un obrero trabajando ocho horas, con chuzo, pala y picota, saca más de cuatro metros cúbicos de tosca en bloques de 15 a 20 centímetros, el material es dudoso.

Una última observación útil, que deberá ser motivo de mayores estudios y que quizá tenga alguna trascendencia, es ésta: los pesos aparentes de los buenos materiales, medidos en estado de compactación natural, son bastante mayores que los de los malos materiales. (Observaciones hechas en el camino de Traiguén a Galvarino)

Capítulo V.—Mejoramiento físico-químico de los suelos

A.—TRATAMIENTOS SALINOS.

Al hacer el estudio de las propiedades camineras de los suelos, se expresó que la estabilización consistía en realizar mezclas de mínima porosidad en las cuales el material ligante era la arcilla.

La acción ligante de la arcilla está subordinada a su contenido de humedad: es preciso que el suelo mantenga cierta dosis de agua para que la calzada no peligre por desintegración superficial. En la práctica ocurre que los fuertes calores del verano eliminan el agua de las capas superiores de los revestimientos estabilizados y los hacen polvorientos.

El agregado dosificado de sales deliquescentes anula los efectos perjudiciales de estos fenómenos e introduce además, nuevos elementos de resistencia.

La aplicación de sales a los caminos ha sido precedida de una copiosa experimentación de Laboratorio.

El Dr. Ries, profesor de Geología de la Universidad de Cornell, Estados Unidos, ha estudiado los efectos que produce en los suelos el agregado de sales. Ha llegado a las siguientes conclusiones:

1.º *Variaciones volumétricas.*—La sal disminuye la expansión de las arcillas que se humedecen y la contracción de las que se secan.

2.º *Retardo de la evaporación.*—La pérdida de agua por evaporación sufre un retardo considerable en los suelos tratados con sal, con respecto al mismo suelo lavado. El cuadro que sigue destaca este hecho con claridad:

Contenido de sal en %	0	3	6
Agua perdida por secamiento al aire libre durante 24 horas (en %)	14,7	9,96	3,85
Agua perdida por secamiento adicional de 6 horas en la estufa de 105 C (%)	0,25	2,83	9,78

3.º *Migración de la sal.*— En los suelos la sal no está estática: se mueve de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo, junto con su solvente, el agua.

4.º *Acción coagulante.*—La sal tiende a coagular la arcilla.

Conocidos estos hechos experimentales, es posible sentar una teoría que los explique, y que explique también el comportamiento de los suelos graduados tratados con sal.

Tomemos el caso de un suelo seco estabilizado y tratado con sal, en el momento en que comienza a llover. ¿Qué fenómenos ocurren en el suelo?

En primer término, el agua disuelve la costra salina superficial y la disolución penetra en la carpeta. Al contacto con el agua, las partículas arcillosas se hinchan, y aun se produce la disolución coloidal de algunas de ellas. Con esto, los poros se cierran y la carpeta se hace impermeable.

Terminada la lluvia e iniciado el secamiento del camino por acción del sol y del viento, la sal vuelve a subir a la superficie en su solución, por capilaridad. Finalmente, agotada el agua, la sal cristaliza y forma una costra superficial que sella la carpeta y retarda la evaporación posterior. La arcilla vuelve a coagular y el suelo estabilizado retorna al estado en que se encontraba cuando comenzó a llover.

Las sales de uso más difundido en caminos son el cloruro de sodio y el cloruro de calcio.

Las dosificaciones más usuales para el cloruro de sodio son:

Cantidad de sal por metro cuadrado de superficie y por centímetro de profundidad.....	de 100 a 150 gr.
Espesor de carpeta que es conveniente tratar.....	de 8 a 15 cm.
Agua de riego necesaria por metro cuadrado de superficie y por centímetro de profundidad.....	de 1,5 a 2 lts.

Las recomendaciones para el empleo del cloruro de calcio incluyen la consideración de más factores que en el caso del cloruro de sodio.

Desde luego, debe adquirirse en forma de hojuelas o laminillas que al ensayarse por tamizado den:

Pasa por la criba de 3/8"	100 %
Retenido en la criba de 1/4"	menos de 20 %
Pasa el tamiz N.º 20	menos de 10 %

La composición química deberá encuadrar dentro de las especificaciones:

Cloruro de calcio anhidro	más de 77 %
Cloruro de magnesio	menos de 0,5 %
Total de cloruros alcalinos.....	menos de 2,0 %
Otras impurezas	menos de 1,0 %

La cantidad más conveniente, fluctúa entre 90 y 110 gramos por metro cuadrado de superficie y centímetro de profundidad. El espesor que debe ser tratado, varía según los resultados que se busquen, entre 5 y 10 centímetros.

B.—TRATAMIENTOS CON CEMENTO PORTLAND

Estos estudios se encuentran aún en su etapa experimental de Laboratorio. No obstante, ya se tienen resultados más o menos concretos, que han sido llevados a la práctica en caminos experimentales.

Al respecto, el Ingeniero F. A. Willis, en su trabajo sobre Suelos, presentado al Tercer Congreso Panamericano de Carreteras expone:

Se han establecido grupos de suelos de granulometría fina adecuados para el tratamiento con cemento portland para obtener bases estables. Ellos son:

Grupo N.º 1 —Adecuado para estabilización con 4 a 6 % de cemento.

Grupo N.º 2.—Adecuado para estabilización con 6 a 8% de cemento.

Grupo N.º 3.—Adecuado para estabilización solamente con 10 ó más por ciento de cemento.

Los ensayos de durabilidad que permiten agrupar a los suelos en esta forma consisten en someter a pruebas de humedecimiento y congelamiento, probetas preparadas con su máxima densidad aparente y óptimo contenido de humedad en el cilindro de Proctor.

La prueba de humedecimiento consiste en la inmersión de la probeta en agua durante ocho horas a la temperatura de la sala; después, 15 horas de secamiento a 300 grados F y, por último, una hora de enfriamiento a la temperatura de la sala.

La prueba de congelamiento consiste en: Ocho horas de inmersión en agua a la temperatura de la pieza; 16 horas de refrigeración a la temperatura de 20 grados F (o menos); ocho horas de deshielo a la temperatura de la pieza; 15 horas de secamiento a 300 grados F.; y una hora de enfriamiento a la temperatura de la pieza.

Después de cada una de esas dos pruebas, una de las probetas se cepilla con escobilla de alambre, a fin de eliminar las partículas sueltas. La otra se deja sin alterar.

El peso y dimensiones de todas las muestras, se registra después de cada prueba. El punto de falla en estos ensayos se alcanza cuando las probetas han perdido el 50% de su volumen.

Si una probeta falla en menos de 12 pruebas de humedecimiento o congelamiento, se considera que la mezcla de tierra con cemento que la compone, no es apta para capa de base.

Los suelos del grupo 1—con cuatro a seis por ciento de cemento—soportan las 12 pruebas standard sin pérdidas dignas de consideración. En los otros, los desperfectos observados son mayores; y obligan a incrementar la dosis de cemento.

Las propiedades físicas características de los suelos clasificados en los grupos primero y segundo, son los siguientes:

- a) Límite líquido, bajo 50%.
- b) Índice de plasticidad, bajo 25%.
- c) Contenido de arcilla, bajo 35%.
- d) Porcentaje de macizo en el punto de máxima densidad, 60 ó más.
- e) La curva de compactación standard del suelo debe ser «regular».

El trabajo con cemento es más sencillo que la estabilización por mezcla. Sólo consiste en lo siguiente:

Se escarifica y se muele el suelo del camino. En seguida se agrega la cantidad de cemento calculada; y se hace la revoltura en seco. Finalmente se le agrega el agua para la compactación. Esta agua debe obtenerse de la curva de compactación standard (Por cierto que al calcular el agua de riego, debe considerarse la humedad existente en el terreno).

Para terminar, será preciso insistir en que el tratamiento con cemento Portland sólo sirve para capas de base; no para carpetas de rodadura.

C.—ESTABILIZACIÓN CON EMULSIONES BITUMINOSAS.

Para los efectos de este sistema de trabajo, los suelos se clasifican en dos grupos:

Grupo N.º 1.—Suelos con 20% o menos de material que pasa 200 mallas.

Grupo N.º 2.—Suelos con más de 20% de material que pasa por 200 mallas.

En el primer grupo tienen cabida las arenas y suelos friables. La dosis de emulsión en estos materiales aumenta a medida que disminuye el conglomerante (Pasa 200 mallas). Se ha encontrado una fórmula empírica que da el porcentaje de emulsión necesario para estabilizar suelos de la clase 1 con emulsión:

$$P = \frac{(20 - A)^2}{100} + 3$$

P.—Porcentaje de emulsión con respecto al peso seco del material que se quiere estabilizar.

A.—Porcentaje de material que pasa el tamiz N.º 200.

El segundo grupo, con mayor porcentaje de material plástico finísimo, exige mayores cantidades de emulsión debido a que su superficie interna específica—que crece desmesuradamente con los finísimos—es mayor. La fórmula que da en este caso la cantidad aproximada de emulsión es la siguiente:

$$S = K \frac{n}{100} (0,05A + 0,1B + 0,35C)$$

S.—Porcentaje de emulsión con respecto al peso del suelo seco.

A.—Porcentaje del mortero de suelo que es mayor que 0,005 m/m y menor que 0,074 m/m (200 mallas).

B.—Porcentaje del mortero de suelo que es mayor que 0,001 m/m y menor que 0,005 m/m.

C.—Porcentaje del mortero de suelo menor que 0,001 m/m.

n.—Porcentaje de mortero que tiene el suelo (Pasa 10 mallas).

K.—Constante que en condiciones normales vale uno; y que depende del comportamiento de la tierra emulsificada, medido mediante ensayos standard de absorción y estabilidad.

(Concluirá).