

ESTABILIZACION CON CAL Y CEMENTO PARA EL EMPLEO DE MATERIALES GRANULARES CON EXPANSIVIDAD EN CAPAS DE CORONACION

Autora:

Pilar Segura

Ingeniero de Caminos

Jefe del Servicio de Materiales

DRAGADOS. Dirección Técnica

RESUMEN:

En la ejecución de la autovía de La Plata, Tramo: Mérida - Almendralejo, el material indicado en el proyecto para ejecutar la coronación de la explanada era una zahorra natural situada en las cercanías de Mérida (PK 3,000 de la Autovía). Las características de este material eran tales que, aún tratándose de materiales que poseían una estructura granular, los datos de hinchamiento libre hacían temer problemas con el potencial expansivo de dichos suelos. Después de ejecutar dicha unidad de obra, y antes de extender el suelo-cemento, las lluvias provocaron la aparición de problemas de expansividad. Para solucionar el problema se realizó una estabilización con cal y cemento posterior que permitió anular el potencial expansivo del material y obtener una explanada de categoría E3.

También se ha empleado una estabilización previa con cal seguida de un tratamiento posterior con cemento en tramo de explanada de la M50 Oeste.

1.- INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años ha aumentado notablemente el empleo de los tratamientos de materiales marginales.

En el caso de los tratamientos con conglomerantes hidráulicos es habitual el empleo de la cal, aunque también existen diversas experiencias de tratamientos dobles con cal y cemento buscando obtener explanadas de tipo SEST3.

El caso más habitual de empleo de esta combinación de tratamientos suele buscar reducir la humedad de los suelos mediante el empleo de la cal, para posteriormente realizar una estabilización con cemento que permita obtener las características de un suelo estabilizado tipo 3.

En esta exposición se van a presentar dos experiencias distintas de doble tratamiento (cal+cemento) con materiales de características muy diferentes.

2.- TRATAMIENTO CON CAL Y CEMENTO DE MATERIALES GRANULARES PLÁSTICOS

En la ejecución del tramo de la Autovía de la Plata comprendido entre Mérida y Almendralejo hubo que recurrir al tratamiento con cal de diversos materiales marginales, bien por su alta plasticidad, bien por problemas de hinchamiento o baja capacidad portante. En esta ocasión, únicamente nos referiremos al tratamiento que se realizó en los materiales empleados en la formación de la explanada en los primeros kilómetros de la autovía.

El tramo tiene una longitud total de 31 km, por lo que los materiales empleados en la formación de la explanada procedían de diferentes préstamos.

El tramo de coronación comprendido entre los P.K. 0+000 a 9+200 está formado por 25 cm de suelo estabilizado tipo SEST3, sobre 25 cm de suelo estabilizado con cal en desmontes y sobre 25 cm de suelo adecuado en el caso de los terraplenes.

El material empleado para la estabilización es un material granular constituido por bolos cuarcíticos en matriz arcillosa, con una granulometría con un porcentaje menor del 30% de pase en el tamiz 2 mm y con un tamaño máximo 80 mm.

Las características de este material (bajo porcentaje de finos pero de gran plasticidad), nos llevaron a intensificar los controles sobre el préstamo del que procedía la coronación. Los suelos procedentes del préstamo se clasificaban como adecuados o tolerables, con índices de plasticidad entre 15 y 18, con valores puntuales superiores a 20.

Dada la necesidad de emplear ese préstamo para la ejecución de las obras, se decidió realizar un primer tratamiento con cal que permitiera mejorar la plasticidad de los suelos, de forma que se mejorará su comportamiento frente a las variaciones hídricas a largo plazo. Aunque en general se trataba de materiales con buena capacidad portante y no expansivos en las condiciones de ensayo de la norma (densidad y humedad del Proctor Normal), bajo las condiciones de compactación exigidas para la explanada (densidad y humedad óptima del Proctor Modificado) presentaban baja expansividad (valores de hinchamiento libre inferiores al 3%). En una zona de longitud cercana a 1000 m, se detectó que las características de los suelos los clasificaban como marginales en estas condiciones de compactación. En esta exposición se van a explicar en más detalle las características iniciales de los suelos tratados con mayor expansividad, así como el método de estabilización empleado y los resultados obtenidos.

2.1 Características de los materiales antes y después del tratamiento

En la zona comprendida entre los P.K. 5+500 a 6+500, las características del suelo son:

- Granulometría:

Tamiz 63 mm	100%
Tamiz 50 mm	84%
Tamiz 20 mm	60%
Tamiz 5 mm	36%
Tamiz 2 mm	31%
Tamiz 0,40 mm	20%
Tamiz 0'08 mm	12,9%

- Plasticidad

Límite líquido	49,8
Índice de plasticidad	22,5

- Densidad en Proctor Modificado

Densidad máxima	1,90 tn/m ³
Humedad óptima	13,0%

- Índice CBR al 100% PM 22,0

- Densidad en Proctor Normal

Densidad máxima	1,79 tn/m ³
Humedad óptima	19,0%

- Índice CBR al 100% PN 10,5

Aunque el ensayo de hinchamiento libre (con la densidad y humedad del Proctor Normal) no presentaba expansividad, las características de plasticidad del suelo, unido al hecho de que la compactación exigida al suelo estabilizado 3 es el 98% de la óptima del Proctor Modificado, nos llevaron a analizar el comportamiento de este suelo con la compactación y humedad del Proctor Modificado. El valor obtenido en el edómetro para estas condiciones de densidad y humedad presentaba unas características que hacían temer riesgos de expansividad en esta capa (valores cercanos al 4,8%).

Estas características de los suelos, unido a la escasez de suelos aptos en la zona de obra (la mayoría de los préstamos analizados presentaban características de suelos marginales o tolerables no aptos para obtener la resistencia exigida a 7 días a un suelo estabilizado 3) nos llevaron a analizar la posibilidad de realizar una doble estabilización de los suelos:

- Una primera estabilización con cal al 3,5% que permitiera disminuir la plasticidad del material y eliminar el riesgo de expansividad.
- Una segunda estabilización con cemento al 3,5% para obtener un suelo estabilizado tipo SEST3 con resistencia a 7 días superior a 1,5 MPa.

Los valores obtenidos después de tratar el suelo con cal son:

- Plasticidad

Límite líquido	43,1
Índice de plasticidad	5,1

- Densidad en Proctor Modificado

Densidad máxima	1,87 tn/m ³
Humedad óptima	14,0%

- Índice CBR al 100% PM 80,0

- Hinchamiento libre en edómetro (densidad y humedad de PM)

0,2%

Al estabilizar con cemento (3,5%) el material previamente tratado con cal los resultados obtenidos son:

- Densidad en Proctor Modificado

Densidad máxima	1,88 tn/m ³
Humedad óptima	15,5%

- Resistencia a compresión a 7 días 2,1 MPa

2.2 Ejecución del tratamiento

El proceso de tratamiento con cal comprendía las siguientes actuaciones:

- Extendido y refino de la capa de coronación.
- Corrección de humedad (en el caso de ser necesario)
- Aportación de cal mediante panien dosificador
- Mezclado del suelo con la cal empleando recicladora WIRTGEN 2500
- Compactación con rodillo de tierras y refino con motoniveladora.

Se deja actuar la cal un periodo de 24-48 horas, y a continuación se procede a realizar la estabilización con cemento. Antes de la ejecución de la estabilización con cemento se abrieron rozas en el material estabilizado para comprobar la homogeneidad del tratamiento.

Se tomaron densidades de la capa tratada con cal mediante densímetro nuclear, obteniéndose porcentajes de compactación comprendidos entre el 95-98% de la densidad máxima del Proctor Modificado.

Para la ejecución de la estabilización con cemento se ha empleado el sistema de vía húmeda mediante un tren de estabilización compuesto por una recicladora WIRTGEN 2500 y un mezclador WM 2100. La compactación se ha realizado con un rodillo liso, terminándose la capa mediante refino con motoniveladora

Las densidades obtenidas en el tramo estabilizado se encuentran comprendidas entre el 97-99% del Proctor Modificado.

2.3 Conclusiones

El doble tratamiento con cal y cemento que se ejecutó en los primeros kilómetros de la Autovía Mérida – Almendralejo permitió el empleo de materiales que, aunque con porcentajes altos de gruesos, tenían Índices de Plasticidad altos y, en algunos casos, riesgos de expansividad en las condiciones de empleo del material en la obra.

Las principales conclusiones que se obtuvieron de este caso son:

- 1.- Aunque el escaso porcentaje de finos y la presencia de gruesos en un porcentaje superior al 50% podían indicar que el riesgo de expansividad podía minimizarse, ensayos en célula Rowe indicaron que no debía despreciarse dicho riesgo.
- 2.- El tratamiento con cal al 3,5% permite disminuir notablemente el Índice de Plasticidad y eliminar el potencial expansivo de la matriz arcillosa.
- 3.- La estabilización con cemento del suelo tratado con cal proporciona un material con resistencia a compresión a 7 días superior a 1,5 MPa.

3.- TRATAMIENTO CON CAL Y CEMENTO EN SUELOS CON EXCESO DE HUMEDAD

En la ejecución de la obra “Radiales de Madrid, R3, R5 y M50”, en el caso del tramo “M50 Oeste” la explanada definida en el proyecto era de categoría E2.

Dada la falta de suelos seleccionados en cantidad suficiente para abastecer las necesidades de la obra, se optó por la solución de estabilizar el suelo con un 3% de cemento, lo cual permitía conseguir las características de un SEST2.

En un principio el sistema de estabilización empleado fue por vía húmeda, empleando para ello un tren estabilizador constituido por una recicladora WIRTGEN 2500 y un mezclador WM 2100.

Durante la ejecución de la obra, el aumento de lluvias en el período de otoño-invierno, provocó un incremento de humedad en los materiales de los préstamos, lo que provocaba que las humedades naturales fueran muy cercanas o incluso superiores a las óptimas de compactación del material.

En estas condiciones, dado que la estabilización por vía húmeda siempre implica una aportación de agua al material, aún en el caso de ir a las menores relaciones agua/cemento posibles, unido a los plazos estrictos de terminación de obra que no permitían esperar ni recurrir a materiales de otras procedencias, se planteó la necesidad de, en función de la humedad natural de los suelos, tramitar dichas condiciones de humedad y plantear diferentes estrategias de tratamiento.

La densidad máxima y humedad óptima de puesta en obra de los suelos empleados en la explanada de la M50 Oeste era:

- Material sin tratar:

Densidad óptima Proctor Modificado	2,06-2,11 t/m ³
Humedad óptima Proctor Modificado	7,5 – 9,0%

- Material estabilizado con el 3% de cemento:

Densidad óptima Proctor Modificado	2,08-2,12 t/m ³
Humedad óptima Proctor Modificado	8,0 – 10,0%

Teniendo esto en cuenta, se determinaron unos intervalos de humedad natural del material en el préstamo que permitieran, en cada caso, optar por el tratamiento más adecuado.

Dichos intervalos, sí como los tratamientos elegidos, fueron:

- Humedad natural por debajo de 8%: estabilización con un 3% de cemento por vía húmeda



- Humedad natural comprendida entre el 8% y el 11%: estabilización con cemento por vía seca.



- Humedad natural comprendida entre el 12% y el 14%: tratamiento inicial con un 2% de cal hidratada y posterior estabilización con cemento por vía seca.



- Humedad natural comprendida entre el 14% y el 16%: tratamiento inicial con un 3% de cal hidratada y posterior estabilización con cemento por vía seca.



Con un estricto control del material procedente de los préstamos y la aplicación de los tratamientos ya indicados, fue posible mantener el ritmo de producción en la ejecución de la explanada durante los meses de otoño e invierno.

4.- CONCLUSIONES

El gran incremento del empleo de materiales estabilizados con cal o cemento, así como el tratamiento de materiales marginales, ha permitido el desarrollo de diferentes métodos de tratamiento de los suelos, así como el empleo de soluciones que permiten utilizar suelos que en otras condiciones presentarían riesgos en su uso, así como mantener los ritmos de producción, incluso en las épocas climatológicamente más desfavorables.

Las principales conclusiones que pueden extraerse son:

- Un primer tratamiento con cal permite reducir las condiciones de plasticidad de los suelos, de forma que se mejora su comportamiento a medio y largo plazo.
- Aún en el caso de no existir expansividad en las condiciones de ensayo de la norma, algunos suelos plásticos pueden ser expansivos en las condiciones de puesta en obra. Este primer tratamiento con cal permite eliminar dicho riesgo.
- La posterior estabilización con cemento de un suelo previamente tratado con cal permite obtener una explanada que cumpla los requisitos de un suelo estabilizado tipo 3.
- En el caso de que las condiciones de humedad natural de los suelos no permitan emplear sistemas de estabilización con cemento por vía húmeda o por vía seca, un tratamiento inicial con cal (en las dotaciones estudiadas previamente) permite modificar la humedad óptima de compactación de dichos suelos, haciendo viable la posterior estabilización con cemento.