



LA ADECUADA ELECCIÓN DEL CONGLOMERANTE EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Autores/Ponente

Jesús Díaz Minguela

Director IECA Noroeste

Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA)

Ángel Sampedro Rodríguez

Consultor

Profesor Coordinador de Ingeniería de Carreteras

E.P.S. de la Universidad Alfonso X El Sabio

A vertical decorative strip on the left side of the page, composed of three distinct images: a golden-yellow textured pattern at the top, a blue and white abstract pattern in the middle, and a golden-yellow textured pattern at the bottom.

RESUMEN


En las estabilizaciones de suelos, uno de los factores clave para la obtención de los resultados buscados es la elección del conglomerante, o mezcla de conglomerantes, más adecuado. En la presente comunicación los autores analizan y exponen, cuáles deben ser los criterios a seguir para esta elección.

Los factores que determinan el conglomerante más adecuado son los siguientes:

- Tipo de suelo o materiales a estabilizar
- Parámetros resistentes a obtener
- Conglomerantes disponibles en el entorno
- Condiciones climatológicas durante la ejecución de los trabajos
- Etc.

Los autores, en base a su gran experiencia en este tipo de trabajos, describirán de forma muy clara las pautas a seguir en la determinación del conglomerante o conglomerantes posibles en función de todos estos factores.

Atendiendo al tipo de conglomerante, en España, las estabilizaciones de suelos se realizan fundamentalmente con cal aérea, con cemento, o de forma mixta (cal aérea + cemento). Además, los autores expondrán otros posibles conglomerantes empleados en otros países europeos: cal hidráulica, emulsiones, etc.

A vertical decorative strip on the left side of the page, composed of three stacked images: a golden-yellow textured pattern at the top, a blue and white abstract pattern in the middle, and a golden-yellow textured pattern at the bottom.

Una vez elegido el conglomerante o los conglomerantes posibles, el siguiente paso es diseñar el tratamiento determinando los porcentajes de conglomerante necesarios para lograr los objetivos buscados.

Palabras Clave: estabilización, tratamiento, conglomerante, cal, cemento.



1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de estabilización de suelos, como puede apreciarse tras la lectura de las numerosas comunicaciones que sobre estos temas han sido presentadas en este Congreso, han experimentado un gran desarrollo en España durante los últimos años.

Ello se ha debido a varios factores:

- La necesidad, por motivos medioambientales, de la reutilización de los suelos de la traza.
- La necesidad en la explanada y en las bases de firmes de capas de elevada capacidad de soporte ante unos tráficos cada vez mayores.
- Y el desarrollo de la maquinaria disponible en el mercado español para la ejecución de estas unidades de obra.

Todo ello ha motivado que las normativas españolas de carreteras contemplen de forma preferente las capas estabilizadas dentro de las posibles soluciones para la construcción de los rellenos, la formación de las explanadas y para las capas de base en firmes.

Las capas estabilizadas han demostrado una mayor fiabilidad y durabilidad ante el tráfico y a climatología, debido a su mayor capacidad resistente y a su menor susceptibilidad al agua.

2. CONGLOMERANTES A EMPLEAR

En España, la normativa vigente contempla el empleo de cal aérea (viva o hidratada) y cemento. No obstante, en casos singulares puede plantearse el empleo de otros estabilizantes o la mezcla de cal o cemento con otros materiales que refuercen su acción conglomerante.

Por ejemplo, algunas escorias, cenizas volantes y otros tipos de residuos, al mezclarlos con cal, se activan y tienen propiedades cementantes. De esta forma, se logra estabilizar un suelo de forma más económica y valorizando un residuo.

Las **cales** utilizadas en la estabilización de suelos son Cales Aéreas Cálcidas (CL) y, dentro de estas, los siguientes tipos:

- Cales vivas: CL 90-Q o CL80-Q
- Cales apagadas o hidratadas: CL 90-S o CL 80-S

Los **cementos** que más adecuados para la estabilización de suelos son los que presentan las siguientes propiedades:

- Inicio y final de fraguado suficientemente largos, de forma que se tenga un elevado plazo de trabajabilidad.
- Moderado calor de hidratación, para limitar los efectos de la fisuración por retracción (ancho de fisuras y distancia entre estas), principalmente en épocas calurosas.
- Desarrollo lento de resistencias y módulos de rigidez a edades tempranas, recuperándolas a largo plazo. Así se consigue limitar el efecto de la retracción y los fenómenos iniciales de fatiga inducidos por las cargas del tráfico.

Los cementos que más se aproximan a las cualidades anteriores son aquellos con mayor contenido de adiciones activas (escorias de horno alto, puzolanas naturales y cenizas volantes principalmente), como pueden ser los tipos CEM III, IV, o V.

En general, se debe procurar emplear cementos de resistencia media o baja (clase 32,5 N), dejando los de clase superior para situaciones especiales, como puede ser una puesta en obra en tiempo frío.

No se deben emplear cementos de aluminato de calcio, ni mezclas de cemento con adiciones que no hayan sido realizadas en la fábrica de cemento.



Foto 1: Fábrica de cemento.

3. LA ELECCIÓN DEL CONGLOMERANTE

Como ya se ha dicho, en las estabilizaciones de suelos, uno de los factores clave para la obtención de los resultados buscados es la adecuada elección del conglomerante, o mezcla de conglomerantes.

La elección de este dependerá del análisis pormenorizado de los siguientes aspectos:

A. Tipo de suelo o materiales a estabilizar

Tras un estudio geotécnico de todos los tipos de suelos que se vayan a emplear, se debe decidir qué conglomerante es el más adecuado.

No sirve cualquier conglomerante para cualquier tipo de suelo. Esta es una de las razones de alguno de los fracasos en obras de este tipo.

En general, puede afirmarse que los suelos plásticos, arcillosos, reaccionan bien con la cal. Y los suelos granulares, no plásticos, reaccionan bien con el cemento.

Los dos parámetros que mejor pueden clasificar un suelo de cara al conglomerante más adecuado con la **plasticidad** y la **granulometría**.

Los suelos con un Índice de Plasticidad menor o igual a 12 son suelos que reaccionarán mejor con el cemento. Los suelos cuyo I.P. sea mayor de 20 son suelos cohesivos, que reaccionarán mejor con la cal. Y los suelos cuyo I.P. esté entre esos valores, entre 12 y 20, serán suelos más aptos para una **estabilización mixta**.





En el caso de suelos muy plásticos, con valores del I.P. superiores a 40, se debe realizar la estabilización con cal, y en dos etapas, para mejorar su eficacia.

Analizando la granulometría, lo que interesa es ver la fracción fina del suelo. En el caso de suelos muy finos, con más del 50% de pase por el tamiz de 63 μm , son claramente suelos aptos para reaccionar mejor con la cal.

Si el porcentaje de finos es menor del 35%, son suelos aptos para el cemento. Y, como en el caso anterior, los suelos cuya fracción fina se encuentre entre el 35 y el 50%, serán suelos para realizar una estabilización mixta cal + cemento.

Puede haber casos especiales en los que, a pesar de ser suelos muy finos, no sean plásticos. En estos casos, deberán realizarse ensayos con la cal y con el cemento para determinar cuál de ellos actúa mejor sobre el suelo.

Este mismo planteamiento es el que debe realizarse ante el estudio del tratamiento de cualquier otro tipo de material o residuo.

Como ya se ha dicho antes, también puede plantearse el empleo de la cal o el cemento conjuntamente con algún otro material o subproducto de tal forma que se potencien sus propiedades cementantes u otras características.

Es el caso de algunas escorias, cenizas volantes y residuos de vidrio, muy empleados en otros países europeos y en Estados Unidos.

En estos casos, la tipología de suelos que se puede estabilizar mejor con cal o con cemento es más amplia, de tal forma que cada uno de ellos abarcaría un mayor rango de los expuestos anteriormente.

B. Parámetros u objetivos buscados

Una vez definido el conglomerante o combinación de ellos más adecuada, deberán realizarse los ensayos de dosificación necesarios para alcanzar los parámetros resistentes exigidos o los objetivos buscados.

- Ante la necesidad de **secado** o, incluso, descongelación de cualquier tipo de suelos en condiciones climatológicas adversas, se debe emplear cal viva, y su dosificación debe realizarse sobre la marcha, día a día, a pie de obra, en función de las condiciones de trabajo.
- En el caso de estabilización de materiales marginales para su reutilización en la construcción de **terraplenes y saneos**, la dosificación será la necesaria para corregir sus problemas geotécnicos y resistentes hasta unos valores aceptables: plasticidad, hinchamiento, capacidad de soporte, etc.

En estos casos, la cal suele ser el conglomerante más adecuado, pues la clasificación marginal de los suelos y su consiguiente necesidad de estabilización vienen dados por su carácter arcilloso.

- En el caso de la mejora y estabilización de suelos en capas de coronación de terraplenes y fondos de desmonte, para la formación de explanada, la dosificación será aquella que cumpla todas las especificaciones del tipo de suelo estabilizado que se quiera obtener (ver tabla 1).

En este caso, para la obtención de suelos de los tipos S-EST1 y S-EST2 es posible emplear cal o cemento, según la naturaleza de los suelos a estabilizar.

Para la obtención de un suelo estabilizado del tipo S-EST3 sólo es posible el empleo de cemento.

Podría emplearse cal viva previamente, para secar el suelo, pero ese conglomerante no entraría en la dosificación necesaria.

Tabla 1: Especificaciones de los suelos estabilizados (PG-3).

| CARACTERISTICAS | TIPO DE SUELO ESTABILIZADO | | |
|-----------------------------|----------------------------|-----------|------------|
| | S-EST1 | S-EST2 | S-EST3 |
| CONTENIDO DE CAL O CEMENTO | ≥ 2 | ≥ 3 | |
| INDICE CBR, a 7 días | ≥ 6 | ≥ 12 | |
| COMPRESION SIMPLE, a 7 días | - | - | $\geq 1,5$ |

- Y por último, para la construcción de capas tratadas, suelocemento (SC) y gravacemento (GC), como bases de firmes semirrígidos, se debe emplear la dosificación de cemento necesaria para alcanzar los valores de resistencia exigidos: 2,5 – 4,5 MPa (SC) y 4,5 – 7,0 MPa (GC).



Sobre estos aspectos es importante dejar claro que cualquier tipo de conglomerante no va a permitir obtener cualquier tipo de capa. Hay casos en los que, como se ha visto, desde un principio, debe tenerse claro que deben ceñirse a algún tipo de conglomerante.

Es el caso, por ejemplo, de las capas tratadas con cemento para conseguir determinados valores de resistencia a compresión. En este caso, el proceso de diseño debe ser diferente, hay que seleccionar previamente suelos que sean aptos para su estabilización con cemento, es decir, granulares.

Así, no se puede pretender, con un suelo muy plástico, susceptible de estabilizar con cal, alcanzar los parámetros resistentes exigidos para un suelo estabilizado del tipo S-EST3.

La propia normativa vigente (PG-3) no va a permitir el empleo de ese suelo y, además, impone de forma clara la obligatoriedad de emplear cemento como conglomerante.

C. Conglomerantes disponibles en el entorno

Puede darse el caso de que, en función de la ubicación espacial y temporal de la obra, no se tenga la disponibilidad de cualquier tipo de conglomerante.

En este caso deberán realizarse los estudios geotécnicos necesarios con los conglomerantes disponibles para comprobar si se puede llegar a lograr los resultados necesarios.

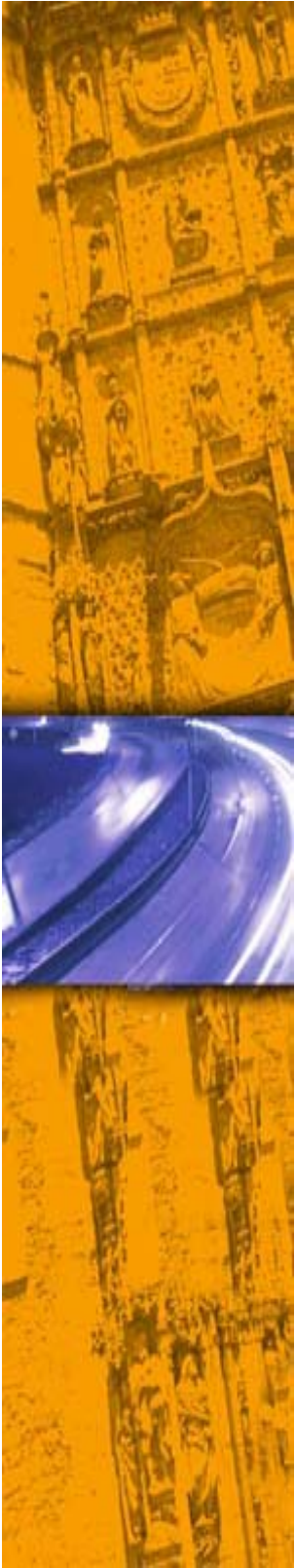
Como ya se ha dicho antes, y en estos casos puede ser muy recomendable, existe la posibilidad de emplear adicciones (escorias, cenizas, etc.) y aditivos que permitan ampliar el rango de actuación a los conglomerantes disponibles.



Foto 2: Estabilización con cemento por vía seca.

4. ESTUDIOS DE DOSIFICACIÓN

Una vez elegido el conglomerante o los conglomerantes posibles, el siguiente paso es diseñar el tratamiento

Three vertical decorative images are positioned on the left side of the page. The top image shows a close-up of a textured, orange-toned surface. The middle image is a blue-toned photograph of a road curving into the distance. The bottom image shows a close-up of a textured, orange-toned surface, similar to the top one.

determinando los porcentajes de conglomerante necesarios para lograr los objetivos buscados, tal como ya se ha visto en el capítulo anterior.

Estos estudios de dosificación también son muy importantes, y tienen como objetivo establecer los porcentajes de conglomerante que se debe aplicar.

Una vez realizados estos estudios, deben respetarse, es decir, no deben realizarse variaciones sobre la marcha en función de otros factores (aspecto visual, desconfianza, etc.).

Es perjudicial emplear porcentajes tanto por debajo como por encima de la fórmula de trabajo. La sobredosificación de cal o de cemento tiene riesgos e inconvenientes que carecen de sentido si se han realizado los estudios recomendados.

5. ESTABILIZACIÓN MIXTA

La estabilización mixta (cal + cemento) es una opción muy interesante en la que primero, mediante un pequeño porcentaje de cal se logra mejorar la ligera plasticidad que puede presentar un material dejándolo en óptimas condiciones para, a continuación, tratarlo mejor con cemento. Aplicando este tipo de estabilización los porcentajes requeridos de conglomerante son menores, lo cual implica numerosas ventajas técnicas y económicas.

También se puede recurrir a un tratamiento mixto en el caso de ejecutar capas tratadas con cemento en condiciones climatológicas adversas.

En el caso de suelos con humedades excesivas, puede secarse previamente la capa mediante la aplicación de un pequeño porcentaje de cal viva que, además de reducir rápidamente la

humedad, eleva la temperatura del material, lo cual favorece las posteriores reacciones de hidratación del cemento. Esto puede ser muy útil en la ejecución de obras durante los meses de invierno.



Foto 3: Estabilización mixta en las pistas del Aeropuerto de MAD-Barajas.

Hay numerosos ejemplos de estos tipos de realizaciones, con excelentes resultados, permitiendo terminar las obras en las que se ha aplicado dentro de los plazos previstos.

6. CONSIDERACIONES FINALES

Es importante realizar los estudios necesarios que permitan la correcta elección del conglomerante, pues de ello depende la obtención de los resultados esperados.

Hay que tener en cuenta que los suelos y materiales disponibles, en cada proyecto u obra, serán diversos. Por lo tanto, debe realizarse un estudio que analice todos los tipos de suelos y materiales susceptibles de ser estabilizados.



Debido a ello, será frecuente que se tengan suelos aptos para cal, suelos aptos para cemento, y suelos aptos para estabilizaciones mixtas. Incluso, dentro de un mismo conglomerante, la dosificación requerida por cada tipo de material será distinta.

Esto, con las máquinas estabilizadoras de suelos disponibles en el mercado, no supone ningún problema, sino, al contrario, pues permite optimizar el empleo de los distintos tipos de materiales que tengamos disponibles, pudiéndolos emplear donde resulte más interesante.

Se puede dar el caso, por ejemplo, de que para construir una capa de suelo estabilizado del tipo S-EST2, se puedan emplear distintos tipos de suelos, tramificando la obra, de tal forma que unos se estabilicen con cal, otros con cemento, y pudiendo variar los porcentajes de conglomerante empleados, según los tramos.

También se puede plantear el caso de que un mismo tipo de suelo interese estabilizarlo con cal o cemento, o con distintos porcentajes de alguno de ellos, en función del tipo de capas en que se vaya a emplear, como parte también de la optimización del movimiento de materiales a lograr en cualquier obra lineal.

Por ejemplo, no es lo mismo emplearlo en la construcción de capas de terraplén que en capas de coronación para la formación de explanada.

A vertical decorative strip on the left side of the page, composed of three distinct images: a top section with a textured orange-brown pattern, a middle section with a blue and white abstract design, and a bottom section with a textured orange-brown pattern. The word "CONCLUSIONES" is written in blue, uppercase, sans-serif font.

CONCLUSIONES

La adecuada elección del conglomerante, o la combinación de conglomerantes, es un factor clave en el éxito de la estabilización de suelos.

Para ello, deberán estudiarse todos los tipos de suelos y materiales disponibles para ver cuál es su susceptibilidad ante su posible estabilización con cal o con cemento.

En general, los suelos cohesivos, plásticos, serán suelos susceptibles de estabilizar con cal, y los suelos granulares, no plásticos, serán susceptibles de tratar con cemento.

Y, a partir de aquí, deben realizarse los estudios de dosificación necesarios para conseguir los parámetros exigidos en función de la colocación de los materiales estabilizados.

Estas técnicas permiten la reutilización de los suelos de la traza y el empleo y valorización de residuos en la construcción de carreteras.

De esta forma, se logra construir capas con menores exigencias a los materiales de partida y con mejores prestaciones finales, debidas a la resistencia por cohesión que proporciona el conglomerante.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANCADE y ANTER. "La estabilización de suelos con cal en carreteras y líneas de alta velocidad". SMOPYC 2008 – Salón Internacional de Maquinaria para Obras Públicas, Construcción y Minería. Zaragoza, 2008.
2. Armayor, J.L. y Sampedro, A. "Ingeniería del terreno (INGEOTER) – Volumen 9". *Capítulo 17: Estabilización y tratamiento de suelos con cal*. Madrid, 2007.
3. CEDEX – IECA. "Manual de firmes con capas tratadas con cemento". Madrid, 2003.
4. CEDEX – INTEVÍA. "Caracterización de zahorras, suelos estabilizados y materiales tratados con cemento para firmes de carretera". Varias Ponencias. Madrid, 2004.
5. E.T.U. de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas. "Curso de estabilización de suelos". Varios autores. Madrid, 2008.
6. Faculdade de Engenharia de la Universidade do Porto (FEUP). "Curso sobre Tratamento de Materiais com Cal e/ou Cimento para Infra-estruturas de Transporte. Seminário de Casos de Obra Portugueses (TRATCICA 2008). Varios autores. Porto, 2008.
7. IECA, AEC, ATC. Varias Ponencias. "I^{er} Simposio Internacional sobre Estabilización de Explanadas y Reciclado In Situ de Firmes con Cemento". Salamanca, 2001.



8. INTEVÍA. "Los suelos marginales en la construcción de Obras Lineales". Varias Ponencias. Sevilla 2002.
9. INTEVÍA. "Explanadas estabilizadas y capas de firme tratadas con cemento. Aspectos prácticos". Varias Ponencias. Sevilla, 2006.
10. Junta de Andalucía, AEC. Varias Ponencias. "IV Congreso Andaluz de Carreteras". Jaén, 2007.
11. Junta de Castilla y León. "Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos 2004". Valladolid, 2004.
12. Kraemer, C. et al. "Ingeniería de carreteras". Vol. I y II. McGraw-Hill Interamericana, S.A. Madrid, 2004.
13. Ministerio de Fomento. Artículos 200 "Cales para estabilización de suelos", 202 "Cementos", 330 "Terraplenes", 512 "Suelos estabilizados in situ" y 513 "Materiales tratados con cemento (suelocemento y gravacemento)" del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). España, 2002.
14. Ministerio de Fomento. Norma 6.1 - IC "Secciones de firme". Madrid, 2002.