

Aplicaciones de la cal en la ingeniería civil

Ángel Sampedro Rodríguez

Universidad Alfonso X el Sabio (UAX). España. sampedro@uax.es

Resumen

La presente ponencia describe y analiza las principales aplicaciones de las cales, vivas o hidratadas, en la construcción de infraestructuras de ingeniería civil.

Por un lado, se muestra el “estado del arte” de las técnicas de estabilización de suelos con cal, exponiendo las últimas experiencias y aplicaciones en España.

Los tratamientos más novedosos consisten en el secado e, incluso, descongelación de suelos mediante cal viva; el empleo de materiales estabilizados en zonas especiales para la protección de la plataforma; estabilizaciones mixtas cal – cemento; secado y estabilización de lodos que permiten su trabajabilidad y reutilización en rellenos; tratamiento de residuos para su empleo en la construcción de infraestructuras; tratamientos de mejora del terreno, para poder construir infraestructuras sobre terrenos blandos; y descontaminación de suelos.

Por otro lado, la cal hidratada constituye un polvo mineral o filler que reduce el riesgo de deformaciones plásticas, mejora la resistencia a la desvuelta del árido por la acción del agua y limita la rigidización que acompaña a los fenómenos de envejecimiento en las mezclas bituminosas o asfálticas, muy empleadas en firmes de carreteras y, ahora, de forma experimental, en plataformas ferroviarias.

Palabras clave: Cal; Tratamiento; Estabilización; Residuos; Mezclas bituminosas.

Introducción

La presente ponencia analiza y expone las últimas experiencias y aplicaciones de las cales en las obras de ingeniería civil en España, basadas en muchas ocasiones, en la experiencia obtenida en otros países.

Las principales aplicaciones de las cales, vivas o hidratadas, en la construcción de carreteras, son en tratamientos y/o estabilizaciones de suelos, por un lado; y, por otro, como polvo mineral de aportación en mezclas bituminosas o asfálticas.

La aplicación más desarrollada en nuestro país es la estabilización de suelos que cuando son arcillosos, se clasifican como marginales o especiales y su reutilización pasa por la corrección de sus problemas geotécnicos mediante su adecuado tratamiento con cal.

Además de los suelos arcillosos, para los cuales están desarrolladas la mayoría de las especificaciones técnicas, son susceptibles de tratar con cal todos aquellos que contienen minerales puzolánicos, aunque no sean plásticos.

El tratamiento y estabilización con cal de cualquiera de estos suelos es una solución muy interesante desde los puntos de vista técnico, económico y medioambiental. Esta técnica se viene aplicando de forma sistemática en España desde hace varias décadas.

Los efectos de mejora conseguidos y sus ventajas han hecho que su aplicación se haya extendido a una gran variedad de infraestructuras:

- Tratamientos de mejora y estabilización en terraplenes y explanadas en carreteras.
- Tratamientos y mejora de suelos en plataformas ferroviarias, especialmente de alta velocidad.
- Estabilización y reparación de caminos y vías de servicio.
- Estabilización de explanaciones aeroportuarias (pistas de vuelo).
- Estabilización de terrenos para las explanaciones en grandes obras de urbanización.
- Estabilización de zonas de vertederos para construir sobre ellas.
- Etc.



Figura 1: Secado de lodos mediante cal viva.

Los tratamientos de suelos con cal más novedosos que se están aplicando en España actualmente son:

- Secado e, incluso, descongelación, de cualquier tipo de suelo con cal viva en condiciones climatológicas adversas, permitiendo seguir con los trabajos y concluir las obras en plazo.
- Tratamiento de todo el terraplén, construido a base de capas o tongadas de suelos arcillosos estabilizadas con cal.
- Tratamientos de zonas especiales para la protección de la infraestructura.

- Estabilizaciones mixtas cal – cemento en las que se optimiza el empleo de ambos tipos de conglomerantes. Ante materiales con leves plasticidades y/o excesivamente húmedos, su tratamiento previo con pequeños porcentajes de cal permite un mejor rendimiento de su posterior estabilización con cemento.
- Secado y estabilización de lodos que permiten su trabajabilidad y reutilización en los rellenos necesarios para obras de infraestructura.
- Tratamiento de residuos para su empleo en la construcción de infraestructuras.
- Tratamientos de mejora del terreno, para poder construir infraestructuras sobre terrenos blandos.
- Descontaminación de suelos, permitiendo, incluso, su reutilización en la construcción de los rellenos necesarios.

Por otro lado, la cal hidratada o hidrato de cal se ha utilizado durante décadas como polvo mineral de las mezclas bituminosas. Aún hoy sigue utilizándose en Estados Unidos y otros países europeos. Sin embargo, en nuestro país su uso ha ido desapareciendo y a la vez se han olvidado sus beneficiosos efectos sobre la mezcla bituminosa.

Tratamiento de lodos

Dentro de los tratamientos con cal novedosos, puede citarse un caso especial de reutilización de residuos expansivos. En la última ampliación del Aeropuerto de Málaga se han reutilizado más de 300.000 metros cúbicos de los lodos procedentes de la excavación de muros pantalla para la construcción de la Nueva Terminal e instalaciones anexas.

Estos lodos, además de difíciles de manipular, presentan problemas de baja capacidad de soporte y son muy expansivos. En este caso, se ha necesitado la aplicación de un 5 por ciento de cal viva para conseguir su secado y estabilización.

Tabla 1: Efectos de mejora de la expansividad de los lodos (Fuente: ROP)

Dosificación de cal (%)	Hinchamiento libre (%)
0	7,50
1	2,25
2	1,80
3	1,70
4	0,20

En la siguiente fotografía puede apreciarse la ejecución de su estabilización. Este mismo tratamiento se ha aplicado para la manipulación y posterior reutilización de los lodos procedentes de la excavación mediante tuneladoras en las obras del Metro de Madrid y Barcelona.

Los efectos ya conocidos del óxido de calcio sobre estos lodos facilita su manipulación y transporte y permite, además, su reutilización en la construcción de infraestructuras civiles, evitando su llevada a vertedero, como se venía haciendo hasta ahora.



Figura 2: Estabilización de lodos con cal viva. (Fuente: ROP)

Estabilización de terraplenes en alta velocidad

Durante los últimos años, en España, los tratamientos de suelos con cal se han empezado a aplicar de forma habitual en líneas de alta velocidad ferroviaria, empleándose estas técnicas en la construcción de las plataformas de las líneas de alta velocidad que atraviesan Andalucía y Castilla y León.

Incluso, en el Subtramo: Nudo de Venta de Baños-Conexión Valladolid-Palencia-León ha sido necesario realizar un estudio especial de la estabilización con cal de suelos de carácter marginal de la traza, facies Tierra de Campos, para poderlos reutilizar en la construcción de rellenos, y en particular en rellenos inundables, correspondientes al estribo de acceso al viaducto del Pisuerga (la alternativa era recurrir a pedraplén, que debía proceder de canteras muy alejadas de la traza).

A tal efecto, se diseñó una sección especial, recogida en el esquema de la figura 1, tratando con cal el relleno hasta 50 cm por encima de la cota de avenida de 500 años, así como la zona del cimiento y saneo. La sección se zonificó, disponiendo el material mas “estabilizado” en cimiento y parte mojada de espaldones, y completándola con un sobreecho de 3 metros, que ejerza de protección frente a la acción erosiva (así como un tacón para evitar la socavación).

El trazado de la LAV discurre en su mayor parte sobre los distintos niveles de terrazas cuaternarias y sobre el aluvial actual del río Pisuerga; estos materiales se disponen discordantes sobre el sustrato terciario, constituido por las Facies Dueñas y Tierra de Campos, formadas por materiales arcillo-margosos.

Debido a que el volumen procedente del movimiento de tierras de la obra no cubre las necesidades para la construcción de los rellenos es necesaria la búsqueda de zonas de préstamo o la reutilización de los suelos marginales procedentes de las excavaciones. Por criterios técnicos, económicos y, por supuesto, medioambientales, se ha optado por la última opción.

Tras una fase de estudios, se concluyó que los suelos de Tierra de Campos, tratados adecuadamente con las proporciones oportunas de cal, permiten obtener un material insensible a los cambios de humedad, estable baja la acción del agua, tanto saturable como sumergible, y en consecuencia apto para su empleo en las zonas clasificadas como “inundables” en los rellenos.

Por lo tanto, dada la potencial disponibilidad próxima de volúmenes suficientes de estos materiales de la formación de Tierra de Campos, se estimó que su empleo, con el adecuado tratamiento con cal, en este relleno inundable aquí analizado, era una alternativa completamente válida desde el punto de vista técnico, a la vez que una oportunidad desde la perspectiva económica y medioambiental.

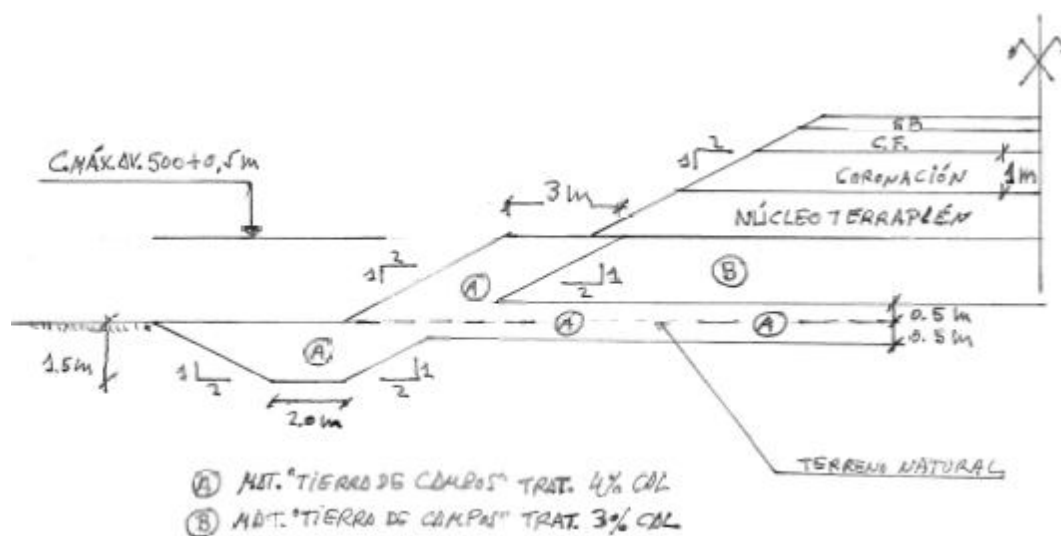


Figura 3: Diseño de contraterraplenes en zona inundable.

Estabilizaciones mixtas (cal + cemento)

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.

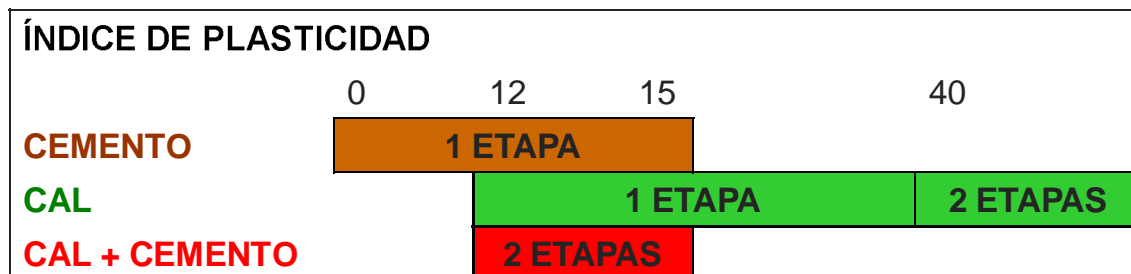


Figura 4: Criterios para la elección del conglomerante (cal y/o cemento).

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.

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.

Así, por ejemplo, para la construcción de la capa de base de los firmes de las nuevas Pistas de Vuelo del Aeropuerto de Barajas (Madrid) se planteó sustituir la capa de zahorras artificiales prevista en un principio por una capa de suelocemento que permitiera reducir los espesores previstos y, por tanto, el movimiento de tierras necesario.

Parte de los suelos a emplear presentaban ligeras plasticidades que hacían que en los ensayos previos de dosificación exigieran porcentajes de cemento superiores sin aumento de la resistencia. A ello se añadió otro problema: con un plazo prefijado para la terminación de las obras y puesta en funcionamiento de las pistas, comenzó un otoño muy lluvioso y frío.

La única forma de poder comenzar y terminar en plazo los trabajos de la base de los firmes fue la de realizar una estabilización mixta: primero, se secaban los suelos y se corregía su plasticidad con un pequeño porcentaje de cal viva, en torno al 1 %. Este tratamiento se realizaba in situ, por vía seca.

Y a continuación, pasado un período de una hora, para que toda la cal pudiese actuar sobre todo el espesor de capa, se pasaba a estabilizar la capa con cemento, in situ, por vía húmeda.

Otro ejemplo de este tipo de estabilización mixta es el que se está ejecutando en la actualidad para la formación de la explanada en las obras de la Ronda de Sabadell (Barcelona).

Para obtener un S-EST3, estabilizado con cemento, se ha recurrido a un tratamiento previo con cal que ha permitido, de esta manera, reutilizar los suelos de la traza, que son ligeramente plásticos, y, con un posterior tratamiento con el 3 por ciento de cemento, porcentaje mínimo marcado por la normativa, se lograron resistencias superiores a las exigidas para este material.



Figura 5: Tratamiento con cal en estabilización mixta.

La cal como aditivo en mezclas bituminosas

La cal hidratada o hidrato de cal se ha utilizado durante décadas como polvo mineral de las mezclas bituminosas. Sin embargo, en nuestro país su uso ha ido desapareciendo y a la vez se han olvidado sus beneficiosos efectos sobre la mezcla bituminosa.

Un elemento que ha favorecido la caída en desuso del hidrato de cal en mezclas bituminosas ha sido la mejora de los ligantes bituminos. Así, propiedades como la resistencia a las deformaciones plásticas o la mejora de la adhesividad pasiva árido-ligante, que tradicionalmente se han atribuido a la incorporación del hidrato de cal, habrían mejorado en las últimas décadas gracias al empleo de ligantes modificados con polímeros. Y lo mismo podría decirse del problema del envejecimiento de mezclas bituminosas. No obstante, nuestras carreteras siguen teniendo problemas de deformaciones plásticas y de envejecimiento prematuro de sus capas bituminosas.

Recientes trabajos parecen poner de manifiesto que no todos los betunes modificados mejoran la durabilidad de las mezclas bituminosas.

Cada día parece más urgente incorporar en los criterios de proyecto de mezclas bituminosas ensayos de envejecimiento, de modo que las mezclas que se pongan en obra no sólo tengan un buen comportamiento inicial –medido a través de la ley de fatiga de la mezcla bituminosa virgen, sin envejecer-, sino también unas buenas características de durabilidad para que las propiedades iniciales de la mezcla se prolonguen en el tiempo.

Por ello la utilización de la cal hidratada como aditivo en la mezcla bituminosa, junto a otros polvos minerales de aportación o bien sustituyendo a aquéllos, puede ser una opción interesante.

Estos beneficios se deben, según los casos, a los siguientes mecanismos:

- Resistencia a las deformaciones plásticas: El valor elevado de la superficie específica del hidrato de cal y su baja densidad aparente hacen que el betún adquiera más viscosidad que si se emplean en la misma proporción ponderal otros polvos minerales. Para conseguirlo es suficiente añadir la cal a la mezcla bituminosa, sin que sea preciso el pretratamiento de los áridos.
- Resistencia a la desenvuelta por la acción del agua: El hidrato de cal hace que la superficie de los áridos ácidos (silíceos) se transforme en básica, generando así mayor afinidad por los radicales ligeramente ácidos que existen en el betún y favoreciendo la adhesividad árido-ligante. El hidrato se puede aplicar por vía seca, como un polvo mineral en el mezclador, pero es preferible el pretratamiento de los áridos mediante lechada agua/cal.
- Resistencia al envejecimiento: El hidrato de cal capta diversas sustancias catalizadoras de la oxidación que están naturalmente presentes en el betún. Además capta moléculas polares que se generan durante el envejecimiento y que de estar libres contribuirían al endurecimiento y rigidización del betún. Los tratamientos con hidrato de cal en los estudios que se han expuesto tienen unas condiciones difíciles de reproducir en obra por lo que resulta preciso un esfuerzo investigador para determinar si con las condiciones de obra se consiguen los mismos resultados.

En España los beneficios más interesantes serían los relativos a las deformaciones plásticas y al envejecimiento. Ya se ha dado el primer paso con la normalización de la cal hidratada a emplear en mezclas bituminosas (norma UNE 80503). Ahora es necesario que se estudien en proyectos españoles las ventajas de esta técnica, que con un coste bajo puede ser una opción interesante para mejorar las características de las mezclas bituminosas.

Nuevas aplicaciones

Por último, cabe citar que actualmente se están introduciendo otras aplicaciones de las cales en el campo de la pavimentación asfáltica, en base a desarrollos vigentes en otros países europeos.

Estas aplicaciones se basan en el efecto mejorador de una suspensión de cal hidratada en ciertas técnicas de las llamadas tecnologías en frío, donde se emplean las emulsiones bituminosas como ligante.

Mediante el empleo de esta lechada se logra mejorar la problemática de la falta de cohesión de estos tratamientos en frío en los primeros momentos de la aplicación, por retrasos en la maduración de la mezcla asfáltica construida.

Muchos han sido los estudios que se han realizado para intentar reducir el tiempo para que los tratamientos o las mezclas bituminosas, fabricadas empleando una emulsión bituminosa, adquieran una cohesión aceptable en los primeros momentos de la aplicación. Se han empleado diferentes aditivos pero sin solucionar el problema definitivamente. Dichos aditivos son añadidos en la mezcla asfáltica, ya sea por vía seca, en el árido, o húmeda, en la emulsión o en el agua de pre-envuelta a la hora de fabricar las mezclas.

Frente a ello, la lechada de cal hidratada produce una mejora de la adhesividad y, como consecuencia, de la cohesión de las mezclas, siendo aplicable de forma particular al caso de dos técnicas en frío: los llamados tratamientos superficiales o riegos, y la grava-emulsión, empleada para bases de firmes de carretera.

Conclusiones

De todo lo analizado puede concluirse, por un lado, que la estabilización de suelos con cal es una técnica que ha experimentado un gran desarrollo en España, especialmente en los últimos quince años.

El avance más reciente puede considerarse la aplicación de estas estabilizaciones, de forma sistemática, en la construcción de rellenos en las líneas de alta velocidad ferroviaria.

El más novedoso, el tratamiento con cal de lodos, un material cuya manejabilidad y reutilización se hacen imposibles de no ser por existir estas técnicas.

Y, por último, puede concluirse que el empleo de cal hidratada en las mezclas bituminosas, en porcentajes alrededor del 1,0% del peso de los áridos, ejerce una beneficiosa influencia sobre la resistencia a las deformaciones plásticas, el efecto del agua sobre la adhesividad árido-ligante y la resistencia al envejecimiento de las mezclas bituminosas en que se incorpora.

Bibliografía

- ANCADE, ANTER e IECA. Manual de estabilización de suelos con cemento o cal. Madrid, 2008.
- ANTER. Guía de Soluciones para obras de estabilización de suelos, ejecución de suelocemento in situ y reciclado de firmes. Madrid, 2010.
- INTEVÍA. Estabilizaciones con cal en carreteras y ferrocarriles. Madrid 2011.
- Leuseur, D. et al. Empleo de lechadas de cal en tratamientos en frío con emulsiones bituminosas. Madrid, 2018.
- Sampedro, A., Gallego, J. De cal y carreteras... Revista CARRETERAS. Núm. 135. Sep-Oct. Madrid, 2004.
- Sampedro, A. Estabilización de suelos en Alta Velocidad Ferroviaria. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Ingeniería Civil – Transportes. Madrid, 2006.