



Firme estabilizado,
dispuesto para revesti-
rlo con una capa
asfáltica.

revestimientos de hormigón en carreteras

W. SCHÜEPP, ingeniero

514 - 48

Introducción

El autor, W. Schüepp, ingeniero diplomado, director de la S. A. des Routes en Beton de Wildegg (Suiza), dio una conferencia tratando de este mismo tema en el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.

En este trabajo recogemos la exposición general que el destacado ingeniero expuso en su conferencia.

La estabilización

La estabilización de suelos utilizando el cemento como agente estabilizador se va extendiendo cada día más por todo el mundo en las aplicaciones que ya se pueden calificar como tradicionales, basadas en una experiencia de casi 30 años. A este empleo, y desde hace varios años, se añaden nuevas aplicaciones que corren paralelamente al desarrollo, cada día mejorado, de la técnica en la construcción de carreteras.



Las experiencias suizas se refieren, de preferencia, a un segundo campo de las aplicaciones citadas. En principio distinguiremos dos casos: El referente a suelos cuyos materiales no pueden utilizarse como materiales de construcción de carreteras, y el correspondiente a un tipo de suelo que no siempre puede ser utilizado como material de construcción por estar expuesto a cambios importantes de volumen como consecuencia de las variaciones estacionales del contenido de agua, cual es el caso de las arcillas negras.

En estos dos casos resulta posible la corrección de las cualidades del suelo, añadiéndole una cantidad de cemento que variará de acuerdo con las propiedades geotérmicas que la caracterizan.

Los suelos pulverulentos, desde las gravas hasta las arenas fangosas, adquieren una cohesión que aumenta con la dosificación de cemento. Los suelos plásticos, de grava o arenas arcillosas hasta las arcillas magras, en principio muestran una disminución importante de su plasticidad, aun con débiles dosificaciones de cemento y, después, con aumento de su resistencia a la compresión que aumenta con la dosificación del aglomerante. El primero de estos efectos, la disminución del índice de plasticidad, se puede obtener también utilizando en lugar del cemento la cal.

Con todo esto se ha descrito la acción primaria de los aglomerantes sobre el suelo. Los efectos que de ella se derivan muestran rápidamente la importancia de la estabilización en la construcción de carreteras.

Las gravas o fangos estabilizados dan una resistencia generalmente elevada, insensible a los efectos del agua y de la desecación; dejan de ser pulverulentos, resistentes a la abrasión mecánica en una proporción más o menos elevada y pueden repartir las cargas concentradas sobre una gran superficie a lo que se llama efectos de placa. En cuanto a los suelos arcillosos, la disminución de su índice de plasticidad les hace ser más fáciles a la compactación y evitan su fisuración en la desecación y el entumecimiento bajo la acción del agua.

Al aumentar la dosificación del aglomerante se obtiene en los suelos arcillosos una resistencia a la abrasión de las cargas, si bien a este respecto, y tratándose de esta clase de suelos, el rendimiento del aglomerante sea menor que si se trata de suelos pulverulentos.

Estabilización de una capa.
Escarificadora de púas.





Mezcladora de suelo-cemento.

Estas cualidades importantes de la estabilización fueron la base de las primeras aplicaciones en los Estados Unidos del método de la estabilización en la construcción, sobre todo, de una importante red de carreteras secundarias. La experiencia adquirida a este respecto permite decir actualmente que la construcción vial rural o similares, sobre todo donde la acción de la helada no deba temerse, ha dejado de presentar problemas.

Siempre que los materiales a base de gravas o piedras no estén presentes o no puedan obtenerse más que a precios elevados, la estabilización con cemento permite, frecuentemente, utilizar los suelos «in situ» o de materiales procedentes de préstamos de calidades que, de otra forma, serían insuficientes, lo que se traduce en una gran economía de transporte y material.

La gran experiencia adquirida en este género de construcciones ha permitido el desarrollo del método, antes y después de la segunda guerra mundial, que va hasta la construcción rápida de pistas de aviación y militares. La gran expansión ha conducido después a las aplicaciones más ambiciosas de la estabilización, que se refieren a aquellas de las que ya tenemos algunas experiencias.

En efecto, la estabilización de suelos ha sido aplicada en Suiza, sobre todo para resolver problemas de dimensionamiento de la calzada respecto a la capacidad de sustentación. Las primeras aplicaciones se han realizado con motivo de la construcción de pistas de aviación. El principio que constituye la base de las aplicaciones del suelo-cemento es, en Suiza, el mismo que el de otros países, es decir, hacer que la construcción de carreteras sea más económica. Las diferencias respecto a las aplicaciones en otros países cálidos, por ejemplo, son debidas a condiciones climatológicas diferentes que nos obligan a tener siempre en cuenta los efectos del hielo. Es sobre todo esta última razón la que nos impide prever la utilización directa de la capa de suelo estabilizada como superficie de rodadura, puesto que, aun si la resistencia a la abrasión es suficiente, los efectos superficiales del hielo pueden ser causa de desperfectos.



Estabilización con escarificadora de púas y mezcladora formando equipo.

En los ejemplos en que la capa estabilizada constituye por sí sola el cuerpo del firme es necesario recubrirla de un delgado tapiz bituminoso, o, en el caso en que el volumen de tráfico así lo exija, por una capa bituminosa de 2 a 4 cm de espesor o también una losa de hormigón. En este trabajo seguimos la experiencia adquirida en los Países Bajos en la construcción de redes viales rurales. La capa estabilizada asegurará la capacidad de sustentación, mientras que la capa bituminosa garantizará la resistencia del rozamiento en caso de helada.

Además de estas aplicaciones económicas donde los materiales de grava no existen, hemos podido comprobar que se pueden realizar construcciones económicas utilizando, en forma óptima, las propiedades de repartición de carga de las capas estabilizadas en el dimensionamiento de la calzada o de la pista y, también, la propiedad esencial de los suelos estabilizados de adquirir una cohesión, así como la compactación debida a la acción del aglomerante.

En estos casos particulares elegimos dos ejemplos típicos. Se trata de una carretera y de una pista de aviación para las que fue imposible obtener, por razones diferentes, una compactación suficiente del cuerpo del firme.

En el primer caso una parte de la red de nuevas carreteras nacionales para la que estaba prevista un revestimiento bituminoso, los materiales de que se disponía compartían una fracción importante de arena fina que les daba una compactación difícil y hasta imposible (lluvias).

En general, cuando uno se halla ante la presencia de un material de difícil compactación siempre es posible, por lo menos teóricamente, la mejora de la distribución granulométrica por medio de añadidos complementarios de otros materiales procedentes de préstamos de calidad determinada. He aquí un ejemplo en el cual la adición de arena a otra fangosa en proporciones determinadas permite la mejora del peso específico aparente y la reducción del contenido de agua óptimo. Para este estudio se han trazado varias curvas granulométricas de dos materiales, así como de las mezclas que con ellos se podían realizar.

Debajo de estas curvas se dibujaron las de Proctor, que representan la variación del peso específico aparente en función del contenido de agua y que mostraron la eficacia de las medidas adoptadas.

Evidentemente este procedimiento sólo es posible prácticamente cuando existen depósitos bastante importantes y homogéneos, pero, de cualquier forma, es necesario separar primero el material en fracciones (por ejemplo, por medio de cribas) y utilizar las diferentes fracciones para recomponer un nuevo material de las cualidades deseadas. Este procedimiento, frecuentemente empleado en la preparación de hormigones, no resulta económico debido a las inmensas cantidades que son necesarias para la construcción de una carretera. Por esta razón se ha sentado la premisa para este caso, de que los resultados de los ensayos de laboratorio tienen que ser favorables, y estabilizar el material «in situ» por medio de una adición de una cantidad de cemento variable entre 60 y 80 kg/m³.

Mezcladoras en servicio.

Mezcladoras formando equipo.

Compactación de una capa estabilizada.

La aplicación de la estabilización del suelo ofrece, además, una ventaja. El depósito de materiales de grava presentaba, en efecto, calidades bastante variables y los porcentajes de la fracción de arena cambiaban a medida que se iba desarrollando la explotación. Al estabilizar el material por medio de cemento, el ingeniero encargado podía fácilmente tener cuenta de las características del material empleado, ya aumentando o disminuyendo la dosificación del cemento, y lograr así, de la forma más simple, un cuerpo de firme de calidad homogénea.

Otra aplicación, varias veces repetida, la constituye la construcción de una pista cuya compactación era difícil debido a la pequeña capacidad de sustentación de la base del firme, aunque todos los materiales de construcción resultasen ser de la mejor calidad.

Se trata de los trabajos de ampliación y refuerzo de una pista de aviación y de carreteras principales. La sub-base estaba constituida por un fango de débil plasticidad y muy sensible a las variaciones de su contenido en agua. Aunque en principio poco compresible, el material no tenía suficiente capacidad de sustentación para permitir la compactación de una capa de grava. Aun con espesores de capas de grava de 1,50 m, no fue posible lograr la capacidad de sustentación necesaria para la construcción de losas de hormigón para el revestimiento. Además, la maquinaria auxiliar utilizada se hundía fácilmente, lo que hacía imposible un progreso normal en la construcción. Después de los ensayos se decidió colocar sobre el terreno de débil capacidad de sustentación, y en primer lugar, una capa de material de préstamos de buena calidad, estabilizado con cemento y una dosificación de 100 a 150 kg/m³. Esta primera capa delgada, de 15 cm de espesor, fue primeramente preparada por el sistema Mix in Plant y transportada ya mezclada con el aglomerante y el agua. Después, y en el curso del trabajo, se pudo comprobar que era más económico el empleo de materiales de préstamos y su estabilización «in situ» con ayuda de las mezcladoras. Debido a que esta aplicación era nueva, los ensayos que precedieron su aplicación fueron realizados con gran precisión. Las propiedades de cargas de la capa estabilizada se determinaron con ayuda de presiómetros de cuerdas vibrantes sistema Galileo embebidos en la capa. Los resultados describen la repartición de las cargas. Una carga de 6,1 toneladas con una resistencia específica P-6,5 kg/cm² se ha repartido sobre una zona de influencia de 7 m de diámetro. La resistencia vertical máxima es de 0,155 kg/cm², que corresponde a 2,4 % de la resistencia original.





Niveladora escarificadora
preparando el cuerpo del firme.

Sobre esta capa estabilizada, rígida, la grava puede ser compactada fácilmente. Se han recogido en un gráfico los resultados de los ensayos de carga sobre una capa de 50 cm de espesor después de 1, 2, 4 y 6 pasadas del vibrador. Y se ha visto que la compactación óptima se obtiene después de la primera pasada del cilindro compactador. Sobre esta capa, y teniendo en cuenta su capacidad de sustentación, se construyó el revestimiento con losas de hormigón. Según opinión del autor estos ejemplos dan prueba que el método de la estabilización presenta grandes posibilidades, no solamente cuando se trata de falta de materiales de grava, sino cuando se trata de la construcción de carreteras secundarias utilizando materiales «in situ» como es el caso de terrenos de débil capacidad de sustentación; en general, en todos los casos en que uno se halla en presencia de dificultades en la compactación, es el apropiado para su utilización, puesto que permite la realización de mejoras económicas en los firmes de calidad homogénea y de primer orden. El método es simple en su aplicación y proporciona al ingeniero un medio de reforzar la calzada y aumentar la capacidad de sustentación, siempre que se trate de corregir las variaciones de la calidad de los materiales de construcción. Existen algunas causas de retraso de los trabajos de gran extensión que pueden de esta forma ser eliminadas.

Consideremos ahora la ejecución práctica en obra de la estabilización utilizando el cemento. Es evidente que el problema se plantea diferentemente, según la extensión del trabajo que ha de realizarse en lo que respecta las máquinas que se han de utilizar y la precisión de los ensayos previos. En los casos particulares se realizarán en principio estudios previos.

La duración de una capa estabilizada depende, en efecto, de la dosificación del aglomerante, de la cantidad de agua, de la homogeneidad de la mezcla y del grado de compactación realizado. Antes de toda ejecución, estos valores importantes deben ser fijados en el laboratorio. También se examinará si estos valores han de ser respetados en la obra y si la solución prevista presenta, desde el punto de vista económico, la posibilidad óptima.

Para la ejecución práctica se conocen dos posibilidades para mezclar el suelo «in situ» con cemento y agua:

1.ª «In situ», utilizando maquinaria auxiliar automóvil de mezcladoras y los dispositivos correspondientes para la escarificación del suelo, la repartición del cemento y el añadido de agua. Los anglosajones denominan a este método de «Mix in place».

2.ª En una central fija, análoga a una central de hormigón, el método se conoce bajo la denominación de «mix in plant».

El primer trabajo que ha de ejecutarse en obra consiste en nivelar a la altura debida y de acuerdo con un perfil correcto la superficie que ha de ser tratada. Para evitar los fracasos en caso de lluvia es indispensable la construcción de un drenaje lateral.

Los suelos duros deben ser escarificados previamente hasta llegar a la profundidad deseada, ayudándose de arados de rejas o de una niveladora o de un rastrillo de púas. Este trabajo se ve grandemente facilitado si el suelo se ha humidificado regándole previamente. Paralelamente a esta operación, puede ser transportado a pie de obra el cemento. En el estado actual de cosas, en Suiza se utiliza el cemento en sacos de papel, pero está en estudio la posible utilización del cemento a granel.

La repartición del cemento puede ser ejecutada a mano o por medio de una esparcidora mecánica.

Para asegurar el funcionamiento racional de la esparcidora es necesario repartir el cemento formando depósitos de 40 a 50 sacos.

Como esparcidora mecánica se puede emplear el tipo Bucher-Guyer de Niederweningen, el tractor tipo 4.000 de esta misma casa, que tira un remolque de dos ruedas y acciona su dispositivo distribuidor. La dosificación puede ser regulada. La anchura a que alcanza la repartición es un andén de dos metros reducible a 1,50, 1 y 0,50 metros.

Mezcla del cemento

Detrás de la esparcidora sigue una o varias mezcladoras. En el extranjero existen trenes de estabilización que reparten el cemento, añaden el agua, mezclan y compactan en una sola pasada. Todas estas máquinas son costosas, pesadas, poco móviles y, por consiguiente, no son aplicables más que en un número restringido de casos.

En las primeras aplicaciones en Suiza se ha utilizado una máquina ligera de poco coste, pero muy móvil.

Como máquina de tracción se puede utilizar el propio tractor de la esparcidora. La maniobra de cambio se realiza en unos minutos.

La anchura del andén de trabajo de la mezcladora es de 1,75 m y su profundidad de acción es como máximo de 25 cm, que corresponde a un espesor de 25 cm de la capa compactada.

A la izquierda: Capa estabilizada,
y a la derecha, en preparación.



Gracias a su peso reducido, la máquina no se ve bloqueada o averiada en caso de hallarse frente a grandes piedras aisladas. La capacidad diaria de una mezcladora depende del género de materiales que han de mezclarse. En una morena floja, por ejemplo, han de hacerse tres y cuatro pasadas, con un rendimiento diario variable entre 800 a 1.200 m² si se emplea un tractor suplementario para esparcir el cemento.

La cantidad de agua del suelo que ha de ser estabilizado no corresponde, generalmente, al valor determinado en el laboratorio para alcanzar la duración deseada. El suplemento de agua necesario se va añadiendo progresivamente. La práctica corriente utilizada en obra consiste en distribuir el agua con ayuda de una regadera móvil. Empleando este método no se puede evitar que el agua se acumule en las trazas que deja la regadera móvil. Así se producen zonas excesivamente húmedas. Este efecto puede ser eliminado, parcialmente, si la mezcladora avanza directamente detrás de la regadera mecánica. Si se cuenta con suficiente espacio, resulta ventajoso hacer circular la regadera mecánica fuera de la superficie tratada y añadir la cantidad de agua necesaria por medio de un tubo.

Numerosas investigaciones han demostrado que una compactación cuidada de la mezcla tiene tanta importancia para la duración de la capa estabilizada como la dosificación correcta del cemento y del agua. Es, pues, indispensable el empleo

exclusivo de máquinas de compactación adaptadas a las condiciones del suelo. En los suelos plásticos se logran los mejores resultados por medio de cilindros de pata de cabra combinados con cilindros neumáticos, mientras que para los suelos de débil cohesión se prefiere la utilización de cilindros vibrantes o de placas también vibrantes combinadas con cilindros lisos o de neumáticos.

Para permitir la hidratación de la capa estabilizada, ésta debe ser mantenida húmeda durante siete días por lo menos. De acuerdo con la posición de la capa estabilizada con respecto al revestimiento del firme, se puede asegurar esta protección por medio de una emulsión bituminosa o por la superposición inmediata de una capa de grava de cemento en todo caso prevista. Es necesario siempre un control de ejecución.

Como se indicó previamente, el suelo que debe estabilizarse puede ser mezclado con cemento y agua procedente de una central fija. Este método no es aplicable más que en los casos de débil cohesión, como, por ejemplo, las calizas manchadas con yeso, las arenas y las gravas fangosas o poco arcillosas. Puede también resultar ventajoso cuando es necesario construir capas de gran espesor, puesto que no podría mezclarse a pie de obra en una sola capa. La ventaja es indiscutible cuando se trata de construir un suelo de poca capacidad de sustentación, que, además, no es estabilizable, como, por ejemplo, los suelos que rebosan de humedad, suelos orgánicos o de turba. En este último caso, en lugar de la estabilización «in situ» se empleará la estabilización del suelo «en central» o un verdadero hormigón pobre.

El precio de la mezcla en central fija es, con frecuencia, menos ventajoso que el de una mezcla «in situ», puesto que los precios han sido comprobados con motivo de ejecuciones prácticas en los que se han utilizado los dos métodos.

Parte inferior sub-base; inmediata superior estabilizada con cemento; superior a este cimentado; superior base del firme, y extremo superior cuerpo del firme.

