

SUELOCIMIENTO IN SITU FRENTE A SUELOCIMIENTO EN PLANTA

Autores

Anna Gelonch Saló

Directora del departamento de reciclado y estabilizaciones
Euroasfalt

Miguel López-Bachiller Fernández

Presidente

ANTER (Asociación Nacional Técnica de Estabilizado de Suelos y Reciclado de Firmes)

RESUMEN

En 1.996 aparecen en el mercado de equipos de Obras Públicas máquinas capaces de mezclar con eficiencia espesores mucho mayores (50 cm) que los contemplados hasta entonces en los pliegos (15 cm).

También se presentan distribuidores de cemento o cualquier otro conglomerante en polvo, con capacidad para formar una lechada agua-conglomerante conforme los equipos se van desplazando sobre la superficie de la obra.

Al tiempo, se presentan en el panorama de la construcción de infraestructuras en general otras circunstancias como una mayor conciencia medioambiental y también la constatación de que es necesario construir explanadas más resistentes y duraderas para el tráfico actual.

Todo lo anterior lleva a que las Administraciones encargadas de estas obras proponen y normalizan explanadas más potentes, tanto en espesor como en resistencia y dan un mayor énfasis en las estabilizaciones en general.

Entre las secciones tipo disponibles, aquellas que están formadas por suelocemento cobran importancia, al ser un material con una relación prestaciones-precio muy favorable.

La experiencia y los resultados obtenidos en los trabajos de estabilización empuja a poner a punto la técnica de fabricación de suelocemento in

situ, apoyándose en las prescripciones de los pliegos en los que se dice que el suelocemento debe ser fabricado en planta.

En esta comunicación se presenta la descripción detallada de uno y otro sistema y se repasan las ventajas de uno sobre el otro en aquellos puntos de relevancia como son:

- El tamaño de áridos y las segregaciones
- El tiempo transcurrido entre la fabricación y la colocación
- La dosificación en lechada o en polvo
- La energía empleada en la envuelta áridos-cemento
- El control de la humedad
- El endurecimiento del exterior de la carga de los camiones
- El IRI conseguido con uno y otro sistema
- El control de los espesores de la capa fabricada

Se dan también unas pautas en cuanto a las precauciones que es necesario tomar tanto in situ como en planta:

- Control de la calidad del suelo, cemento y agua
- Control de la dosificación
- Control de producto final
- Elección del ejecutor de la unidad

e incluso un cálculo de coste para un caso determinado.

Las conclusiones de este trabajo son, además de las múltiples ventajas de la unidad de suelocemento frente a otras unidades para la formación del paquete de firme, las siguientes:

- La fabricación de suelocemento in situ frente a la fabricación en planta aporta muchas ventajas, especialmente en obras pequeñas en las que no se dispone de una planta fija cerca de la obra y en aquellas en las que por las circunstancias el material (el suelo) ya está colocado y es necesario mejorar sus prestaciones, bien porque el suelo es de mala calidad, bien porque el tráfico real ha resultado ser mayor del previsto en el proyecto.
- También aporta ventajas en los casos en los que haya que dividir una obra grande en varias fases o en las que la climatología adversa pueda dificultar la ejecución cumpliendo los plazos contratados.
- La maquinaria y los métodos de fabricación del suelocemento in situ están suficientemente descritos y contrastados con la realidad.
- El equipo humano encargado de este trabajo cobra especial importancia. Con la adquisición de las máquinas para este trabajo se entrega el manual para el correcto uso de las mismas, pero no la capacitación de los operadores, ni la capacidad de resolución de problemas en el momento de la ejecución.
- Los controles sobre la fabricación y el producto terminado tanto en uno y otro caso (planta o in situ) han de ser los mismos.

En definitiva, la fabricación de suelocemento in situ no debería estar prohibida tal y como hace el PG3 vigente, sino estar sometida a un control más riguroso, tanto de la ejecución como de las empresas ejecutoras de esta unidad, pudiendo fijarse mayores espesores para la construcción de capas con esta técnica, habida cuenta del diferencial de precio que existe entre la fabricación in situ y en planta y como seguridad adicional.

Palabras Clave: suelocemento, planta, in situ, ventajas

1. Antecedentes
2. Características del suelocemento
3. Diferencias de fabricación en planta – in situ
 - a. Fabricación en planta
 - b. Fabricación in situ
4. Ventajas de una y otra técnica
 - a. Tamaño de áridos. Segregaciones
 - b. Tiempo entre la fabricación y la colocación
 - c. Dosificación en lechada
 - d. Energía de envuelta áridos-cemento
 - e. Control de la humedad
 - f. Endurecimiento del exterior de la carga de los camiones
 - g. IRI conseguido con uno y otro sistema
 - h. Control de los espesores
5. Precauciones en ambos casos
 - a. Control de la calidad del suelo, cemento y agua
 - b. Control de la dosificación
 - c. Control de producto final
 - d. Elección del ejecutor de la unidad
6. Costes en ambos casos
7. Requisitos exigidos por la Junta de Castilla y León
8. Conclusiones
9. Anejos
 - a. PG3 / 75
 - b. PG3 actual
 - c. Cap. 6 de las recomendaciones de la JCyL
 - d. Cálculo para una sección tipo de incremento de ejes al aumentar 3 cm el espesor

1. Antecedentes

Actualmente, según el artículo 513 del PG-3 se define Suelocemento como la mezcla homogénea, en las proporciones adecuadas, de material granular, cemento, agua y, eventualmente aditivos, realizada en central, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural en firmes de carretera.

En este artículo se definen dos tipos de suelocemento denominados, respectivamente, suelocemento (SC40 y SC20).

Desde las primeras ediciones de la 6.1 IC se ha incluido la unidad de suelocemento como una de las capas con las que se puede construir los paquetes de firme de las carreteras.

Sus características se fijaban en el PG3 vigente en ese momento.

En el año 1.987 se promociona por parte del Ministerio de Fomento la construcción de secciones de firme con el uso de cemento como conglomerante en diferentes capas: suelocemento, gravacemento e incluso hormigón en capas de rodadura.

La aparición de fisuras en superficie y otros problemas influyó en abandonar, al menos de manera momentánea, el empleo de estas secciones, volviéndose a aquellas cuyo conglomerante principal es el betún.

En algunas regiones, una vez estudiada la ubicación de materiales con los que es posible construir las diferentes capas de las carreteras, se apuesta por el empleo del suelocemento como material cuyo empleo es preferencial, frente a otros como el suelo seleccionado o la zahorra natural.

Los contratistas de esas regiones se equipan con maquinaria y personal con conocimientos suficientes para llevar a cabo esta unidad con éxito, de manera que se construyen muchos kilómetros de carreteras cuyo funcionamiento ha resultado ser satisfactorio con el paso del tiempo.

La aparición en nuestro entorno de maquinaria pesada específica para la construcción de capas estabilizadas en el año 1.996, el éxito del funcionamiento de carreteras construidas con suelocemento y el agravamiento de los problemas medioambientales (extracción de materiales de préstamos y dificultades para encontrar vertederos) junto con un encarecimiento de los áridos en general, llevan a los proyectistas y administraciones en general a dar un nuevo impulso al empleo de conglomerantes mezclados con los diferentes suelos para conseguir buenas capas tanto de coronación de tierras como de firme.

En la edición del año 2.002 se aumentan las condiciones de resistencia que debe cumplir el suelocemento e incluso en la última edición se prescribe el empleo de suelo que debe estar dentro de un huso granulométrico determinado, además de ciertas condiciones sobre su plasticidad antes de incorporarle el conglomerante.

Poco más tarde de la aparición de maquinaria específica para estabilizaciones, aparecen máquinas capaces de preparar una lechada de cemento bombeándola a la cámara de las recicladoras-estabilizadoras, posibilitando la formación de suelocemento in situ, y también con capacidad de reciclar cierto tipo de carreteras, llevando a cabo las operaciones de demolición de las capas superiores de la existente y mezcla con lechada de cemento, de una sola pasada.

Al material así fabricado se le piden también características de suelocemento, lo que sirve para apoyar la viabilidad de este material y ganar experiencia sobre la utilización del mismo.

Según el PG 3 no se contempla la realización de suelocemento in situ, aunque haya países que tengan una gran experiencia demostrable de los resultados en la realización de materiales tratados con cemento in situ y una maquinaria específica para tal desarrollo, en España no se contempla esta opción porque en el momento de redactar la norma sólo se había hecho en central.

Existe, por otra parte, el manual de recomendaciones de la Junta de Castilla y León (2.004) que ya en su presentación, en la que se erige como Comunidad Autónoma innovadora y que abre camino a las demás Comunidades en lo que respecta a firmes y pavimentos, apuesta firmemente en la construcción "in situ" del suelocemento, dedicando en el apartado 6.8 "suelocemento", el punto 5.2 de recomendación constructiva del suelocemento fabricado in situ. Cabe decir que esta comunidad dio la instrucción CE-2/2006 con prescripciones para el empleo de suelocemento in situ debido al empleo inapropiado de ésta técnica, teniendo que obtener una aprobación expresa por parte de la Dirección General de Carreteras e Infraestructuras para permitir el diseño y su realización, con el que la obra tenía que asegurar la calidad exigida que en esta instrucción se exponía.

Fue a partir de la nota de servicio 5/2006 del Ministerio de Fomento sobre explanaciones y capas de firme tratadas con cemento que se prohibió el uso de ésta técnica excepto en arcenes de las categorías de tráfico pesado T1, T2 y T31.

2. Características del suelocemento

Tal y como se especifica en los diferentes pliegos, el suelocemento se fabrica a partir de un suelo, cemento, agua y posibles adiciones de otros

elementos como retardadores de fraguado, debidamente mezclados y extendido y compactado convenientemente.

Las características del suelo y del cemento fundamentalmente son las que determinarán la dotación de éste último para conseguir una cierta resistencia del material (actualmente 2,5 Mpa de rotura de probetas cilíndricas de 7 días de edad) no sobrepasando un valor máximo (4,5 MPa en el mismo tipo de probetas).



Fig. 1 Capa fabricada in situ

La unidad ha de terminarse con la formación de juntas de prefisuración y con riegos de curado, normalmente con agua las primeras horas y a continuación con emulsión asfáltica.

En general se trata de un material con cohesión proporcionada por el cemento, con contenido de cemento relativamente bajo (3 – 6 % en peso), con módulo de elasticidad en torno a 2.000 a 8.000 Mpa) y coeficiente de Poisson de 0,25 según la mayor parte de la literatura

especializada, y con un comportamiento a fatiga según una ley bastante tendida, con lo que pequeñas variaciones en el aumento de tensión en la fibra inferior provocan disminuciones importantes en su vida útil.



Fig. 2 Equipo para la fabricación de suelocemento in situ

Es un material poco sensible a la acción del agua, con una permeabilidad del mismo orden de magnitud que la del suelo con la que está fabricado. Tiene poca resistencia a los esfuerzos tangenciales, por lo que si no está protegido al menos con un simple tratamiento superficial asfáltico se deteriora fácilmente con el paso de las ruedas de los vehículos y con la circulación en superficie del agua, especialmente en el caso de pendientes superiores al 2 %.

La resistencia que adquiere aumenta con la dotación de cemento, con la edad (en algunos estudios se considera que la resistencia total no se alcanza hasta dos años después de la fabricación, estando influenciado este periodo por el tipo de suelo y el tipo de cemento) y la densidad que se consiga en su fabricación.

Como consecuencia, el empleo de capas tratadas con cemento normalmente permite reducir los espesores del firme o aumentar la vida de servicio, lo que les hace muy interesantes desde el punto de vista técnico y económico.

3. Diferencias de fabricación en planta – in situ

La diferencia principal que hay entre los dos sistemas es que mientras que “en planta” se extiende el material previamente mezclado con cemento en una capa encima de la explanada existente, “in situ” se extiende y compacta el suelo, procediendo posteriormente a mezclarlo con cemento mediante estabilizadoras-recicladoras que llevan un distribuidor del conglomerante en forma de lechada que dosifica ponderalmente el porcentaje necesario del conglomerante y de agua según las necesidades de la capa.

En principio no hay ninguna diferencia en cuanto a la obtención de las mismas características del producto final partiendo de los mismos productos iniciales.

Sin embargo, cada método de fabricación tiene unas ventajas y unos inconvenientes diferentes que analizaremos más adelante.

a. Fabricación en planta:

Es un procedimiento muy sencillo. Las plantas están formada por una o varias tolvas dosificadoras para el suelo, uno o varios silos de cemento, un dosificador de agua, un mezclador de paletas que normalmente termina en una pequeña tolva que descarga directamente sobre los camiones.

Casi todas las plantas tienen varias tolvas para poder incorporar varios tipos de suelos al tiempo, o bien un suelo y un árido grueso para encajar el producto final en la granulometría que se pida.

Las plantas deben tener varios sistemas de seguridad entre los que destacan los siguientes:

- Anti formación de cuevas en los silos de cemento
- Detectores automáticos de falta de alguno de los materiales para parar la fabricación
- Dosificadores precisos de cada uno de los materiales: suelos, cemento, agua y posibles aditivos.

El suelo ha de acopiarse previamente en las inmediaciones de la planta. Este puede estar compuesto por un solo tipo de suelo, o proceder de varios préstamos diferentes que se van mezclando a través de las tolvas, o incluso incorporar uno o varios áridos para ajustar la curva granulométrica de salida.

Al tener acopiado el suelo, es fácil poder controlar la calidad y uniformidad del mismo.

El cemento también ha de acopiarse en silos, que pueden ser verticales u horizontales. Es normal tener capacidad de acopio de cemento para trabajar al menos todo un día.

Una vez fabricado el suelocemento, se transporta mediante camiones (normalmente bañeras) al punto de extendido. Habitualmente el extendido se hace mediante una o varias extendedoras que abarcan todo el ancho de la calzada o un semiancho cada una de ellas.

También se han construido obras extendiendo el suelocemento con motoniveladora guiada mediante automatismos, con muy buenos resultados.

Después del extendido, normalmente se hacen las juntas de prefisuración, a continuación la compactación con rodillos de tierras, mixtos o rodillos de doble llanta y neumáticos.

La unidad se termina con un riego de curado con emulsión asfáltica.

b. Fabricación in situ:

El suelo debe encontrarse colocado en su espesor, ubicación y cota definitiva, y compactado al menos hasta el 95 % del PN.



Fig. 3 Control del espesor de la capa fabricada in situ

La máquina recicladora-estabilizadora pasa por encima del suelo unida a la máquina que prepara una lechada de agua-cemento y ocasionalmente aditivos como retardadores de fraguado.

Conforme la recicladora avanza, va arrancando el suelo en el espesor que se especifique y mezclándolo con el cemento y el agua en forma de lechada preparada instantáneamente en la proporción que se requiera.

En el ordenador de la máquina que prepara la lechada han de introducirse datos de anchura de trabajo, profundidad, densidad seca del material (se refiere a la densidad de la unidad una vez terminada) y porcentaje de cemento y agua requerido.

La máquina mide continuamente la velocidad de avance del equipo y con este dato proporciona a la recicladora la cantidad exacta de lechada que se necesite.

Detrás del equipo de mezclado se hace una pequeña compactación del producto terminado, a continuación se marcan las juntas de prefisuración, se nivela la capa y se procede a la compactación final.

La unidad se termina igual que en el caso anterior, con un riego de curado.

4. Ventajas de una y otra técnica

Pese a que el procedimiento de fabricación es totalmente diferente, cada uno de los sistemas tiene ventajas e inconvenientes sobre el otro.

a. Tamaño de áridos. Segregaciones

El tamaño máximo de los áridos que se pueden emplear está fijado por el pliego general (PG3) o el particular de cada obra.

Los motivos que limitan dicho tamaño son:

- Segregaciones

En Planta	In situ
Están determinadas por la altura entre la tolva que suele haber después del mezclador y los camiones, aunque las plantas de nueva generación disponen de tolvas antisegregación. También se producen al volcar estos camiones en la extendedora. Al reducir el tamaño máximo, disminuye la facilidad para	El volteo del suelo dentro de la campana mezcladora impide prácticamente en todos los casos la aparición de segregaciones

formarse estas segregaciones	
------------------------------	--

- Espesor de la capa construida

En Planta	In situ
El tamaño máximo del árido que puede absorber una planta no puede ser superior a 10 cm si se quieren evitar la rotura de los ejes del mezclador, por lo que se obliga a cuidar más la granulometría y en muchas ocasiones obliga a un cribado previo del suelo.	Pueden construirse capas de 30, 35 y hasta 38 cm de una sola vez. En estos casos, el tamaño máximo por este concepto puede ser algo mayor, siempre limitado por el daño que los gruesos puedan ocasionar en las recicladoras

- Problemas en la extendedora

En Planta	In situ
El sistema de cadena de arrastre del material y de sinfines de distribución puede dar problemas para tamaños de árido muy grueso.	Al no haber extendedora, no puede haber problemas de este tipo

b. Tiempo entre la fabricación y la colocación

En Planta	In situ
Las operaciones que tienen lugar desde la fabricación hasta la compactación final son: <ul style="list-style-type: none"> • Carga en camión • Transporte hasta el tajo: interesa la mínima distancia. • Descarga en la extendedora • Inicio de la compactación 	El único condicionante o retraso es tener una anchura de trabajo suficiente como para poder poner a trabajar la motoniveladora a trabajar (normalmente 4,5 m). El número de maniobras es menor, reduciéndose los riesgos de pasar el plazo de trabajabilidad.

c. Dosificación del cemento

En Planta	In situ
El cemento se dosifica en polvo, solo exigible dosificaciones ponderales del cemento a partir de tráfico T2.	El cemento se dosifica en lechada, con lo que el aprovechamiento del mismo es máximo. La dosificación del cemento es siempre ponderal.

d. Energía y calidad de envuelta áridos-cemento

En Planta	In situ
El motor que mueve los ejes del mezclador de una planta de 500 t/h (2.300 m ³ /jornada) es de 125 cv que mueve las paletas a 118 rpm	El motor de la recicladora tipo Wirtgen 2500, que es la máquina indicada para hacer suelocemento in situ tiene 680 cv. El tambor está directamente acoplado al motor mediante correas, con lo que puede transmitir directamente al menos la mitad de su potencia: 340 cv. La velocidad de giro va desde 100 hasta 190 rpm.
Se mezclan sólidos (el suelo) con sólidos (el cemento)	Se mezclan sólidos con líquidos (lechada de cemento), con lo que con la misma energía y dotación de conglomerante, el resultado es más eficiente

e. Control de la humedad

En épocas de ausencia de precipitaciones, este efecto carece de importancia. Sólo en el caso de que parte de los áridos vengan de zonas húmedas, ya sea graveras naturales o canteras, es necesario controlar muy bien la cantidad de agua que aportan las fracciones finas (tamaños inferiores a 4 mm) para evitar una sobredosificación de agua, pasando a

la rama húmeda del ensayo Proctor y pudiendo correr el riesgo de no conseguir la máxima densidad posible.

Sin embargo, en época de lluvias más o menos intermitentes, hay algunas diferencias:

En Planta	In situ
<p>Puede que el material esté tan húmedo que no sea posible que deslice suficientemente bien en las tolvas, con lo que se imposibilita la fabricación de suelocemento.</p>	<p>El agua de lluvia es recibida más o menos por igual en toda la superficie. En general no cala más allá de los primeros 15 cm, pudiendo estar seco el material por debajo de este espesor. Puede que el exceso de humedad impida el empleo de la vía húmeda, ya que la aportación mínima de agua que se necesita para la preparación de la lechada, unida al agua presente en el suelo, puede superar la humedad óptima de compactación. No se debe trabajar con humedad superior a 2 puntos más de la óptima de compactación.</p>
<p>Dependiendo de la cantidad de agua y del material, ésta cala más o menos en los acopios, debiendo controlarse con cuidado después de cada lluvia</p>	<p>Es necesario medir el agua después de cada lluvia, pero no sólo en superficie (el gammadensímetro nuclear no capta la humedad de más de los 15 cm superiores).</p>
<p>Para secar los acopios en el caso de que no se deslicen en las tolvas, es necesario esperar buen tiempo, lo que en algunas ocasiones puede ser muy complicado, especialmente en épocas de pocas horas de sol.</p>	<p>Es posible secar la plataforma por varios procedimientos: con cal viva mezclada con el suelo con la recicladora, o bien, empleando el cemento por vía seca como situación excepcional.</p>

f. Endurecimiento del exterior de la carga de los camiones

En Planta	In situ
Este efecto puede tener algunas consecuencias en épocas de calor. Al endurecerse la parte superior y laterales de los camiones, pueden producirse zonas de más difícil compactación, aunque detrás de la regla de la extendedora y antes de la compactación, se consiga un buen perfil	Al no haber camiones, este efecto nunca se producirá, ni en verano ni en invierno.

g. IRI conseguido con uno y otro sistema

Generalmente puede conseguirse un dato del IRI aceptable en ambos casos. Sin embargo, la formación de juntas de prefisuración y trabajo provoca algunas diferencias:

En Planta	In situ
Una vez extendido el material, las únicas máquinas que circulan por la plataforma son la cortadora de juntas y los rodillos. La cortadora de juntas inevitablemente provoca una discontinuidad que es captada siempre por los sistemas medidores del IRI y que los rodillos no pueden corregir. Incluso en algunos casos se ha hecho pasar una motoniveladora para eliminar estas deformaciones.	Al tener una motoniveladora detrás de la máquina que hace las juntas, las deformaciones producidas pueden ser corregidas, con la mejora en el IRI que esto supone.
El IRI está influenciado por el IRI de las capas inferiores	Al remover todo el espesor de tratamiento, el IRI de las capas inferiores no tiene ninguna influencia sobre el IRI conseguido
No suelen producirse grandes discontinuidades debido a las juntas de trabajo o paradas, debido a que la extendedora está	Se pueden producir marcas en los arranques del equipo debidos a la brusca entrada del suelo al tambor de fresado, por lo que es

permanentemente ubicada en el punto de parada y reinicio de los trabajos.	necesaria la corrección con la motoniveladora y maquinistas con experiencia que minimicen estas irregularidades.
---	--

h. Control de los espesores.

En ambos casos suponemos que la rasante conseguida va a ser la que está prescrita en los planos y pliegos de la obra, y que se dispone de equipos de ejecución que tienen muy claro que pequeños errores de ejecución pueden dar lugar a daños muy graves en la infraestructura, por lo que van a poner toda su experiencia y celo en conseguir una obra casi perfecta.

El Manual de recomendaciones de la Comunidad de Castilla y León recomienda realizar una calicata cada 4000m², en la que, como bien apunta, además servirá para comprobar la homogeneidad de la granulometría, la humedad y el color del suelo.

En Planta	In situ
<p>Es preciso un estricto control geométrico de la subrasante para evitar faltas de espesor.</p> <p>El vertido y extensión de la mezcla debe hacerse teniendo en cuenta la compactación posterior para conseguir el espesor requerido, no pudiéndose recrecer el material después de compactar.</p>	<p>El material con el que hay que fabricar el suelocemento ha de ser previamente colocado en su ubicación definitiva, esto es, extendido y compactado a la que será su cota final después de la aportación y mezcla del cemento. Una sobreelevación del mismo supone que se incorporará cemento a una parte del suelo que más tarde será retirado, con la consiguiente pérdida de espesor y por lo tanto de durabilidad.</p> <p>Por lo tanto, es absolutamente necesario colocar el suelo con la misma precisión que se va a exigir una vez fabricado el</p>

	<p>suelocemento.</p> <p>Es necesario tener un control anterior a la extensión de la capa y uno posterior con la capa compactada al 98% del Proctor Modificado para asegurar que se tiene el espesor adecuado con la densidad adecuada. Se debe fresar con recicladoras con control de profundidad, pudiendo realizar catas posteriores a la compactación para comprobar que se llega a la profundidad deseada.</p>
<p>No es posible corregir las posibles sobreelevaciones de la capa inferior</p>	<p>Las sobreelevaciones de la capa inferior son corregidas al tener la máquina recicladora potencia suficiente como para poder fresar algunos centímetros de ésta y añadirles cemento con lo que el material pasa a ser suelocemento</p>

5. Precauciones en ambos casos

a. Control de la calidad del suelo, cemento y agua

Parece una obviedad hablar en nuestro sistema de construcción del control de calidad de las materias primas, tanto del suelo como del cemento o del agua.

Para la fabricación en planta se debe hacer el control diario de la recepción de materiales cuando estos llegan al acopio.

Sin embargo en el caso de la fabricación in situ, no es tan fácil tomar muestras en superficie, o en todo el espesor que ha de tratarse, y ensayarlas convenientemente. No se sabe muy bien cuál es la razón que hace que esto no sea tan fácil, pero una gran parte de los fracasos que

ha habido en la construcción de esta unidad están muy relacionados con la ausencia de control de la materia prima.



Fig. 4 Confección de probetas in situ

Parece también que hay una cierta tendencia a exigirle al suelo, antes de fabricarse el suelocemento, la característica de que sea "seleccionado". Quizá venga de la intención por parte de los proyectistas de "seleccionar el suelo", lo que quiere decir sin duda "escoger el mejor de los suelos disponibles". El hecho de que el suelo sea seleccionado no asegura un buen producto final, ya que la característica que debe buscarse es que ese suelo reaccione bien con el cemento que le vamos a añadir.

Puede darse el caso de que un suelo adecuado combine mejor con el cemento que un suelo seleccionado.

Con el cemento puede ocurrir otro tanto parecido. En algunos casos incluso se cambia el tipo de cemento o el suministrador sin ni siquiera comunicárselo a la propiedad.

El cemento es un producto industrial que pasa muchos controles de calidad antes de llegar al usuario final, lo que no le exime de la supresión del 100 % de los controles de recepción, especialmente si los cementos que se adquieren no tienen los sellos de calidad correspondientes.

Y otro tanto con el agua. Para esta unidad es posible utilizar agua de muy diversas procedencias, pero es buena práctica hacer un ensayo



previo con el cemento y el suelo que se van a emplear, y posteriormente, durante la ejecución,

controles sistemáticos.

b. Control de la dosificación

La cantidad de cemento añadida para la formación del suelocemento es muy pequeña. Cualquier pequeña variación en algo tan escaso puede tener unas consecuencias dramáticas.

Es por eso por lo que en las plantas debe haber sistemas que aseguren que no sale ni una sola amasada sin la cantidad precisa de cemento y

agua, y el motivo por el que las dosificaciones deben hacerse en peso y no en volumen.

En el procedimiento de trabajo in situ, la dosificación del cemento también se hace en peso mediante una báscula situada en la máquina, y puede verse continuamente en una pantalla la cantidad de cemento y agua añadidos.



Fig. 5 Testigo y probeta de una capa de suelocemento in situ

La lechada es aportada por la máquina recicladora-estabilizadora conforme avanza, debiendo mantener constante el espesor de material removido: si el espesor aumenta, al tiempo y en la misma proporción, disminuye la dotación de cemento. Si el espesor disminuye, la dotación de cemento aumenta, pero se debilita la sección construida, por lo que se recomienda añadir siempre 1 ó 2 cm a la hora de proyectar suelocemento in situ.

c. Control de producto final

Los controles de producto final son los mismos en un caso y en otro:



rotura a compresión simple de probetas cilíndricas a los 7 días y control intensivo en las densidades del producto una vez terminada la compactación, además de los controles geométricos: rasante, pendiente e IRI.

Fig. 6 Control de la densidad obtenida

d. Elección del ejecutor de la unidad

Viene siendo habitual en nuestro entorno el hecho de encargar algunas o todas las unidades de una obra a ejecutores especialistas de las mismas, normalmente llamados subcontratistas.

La especialización sin duda aporta muchas ventajas y evita errores costosos.

Sin embargo, encargar una serie de trabajos a especialistas no implica perder la responsabilidad, o, dicho de otra manera, descargar toda la responsabilidad de dicho trabajo en el subcontratista: los contratistas principales deben

- Preparar todos los elementos necesarios para la unidad de trabajo, especialmente el suministro de materiales
- Comprobar que se han realizado correctamente los ensayos previos necesarios.

- Velar para que la preparación del suelo y los caminos de acceso a los diferentes puntos de la obra y a los de la procedencia del agua, estén en perfectas condiciones.
- Velar por la correcta ejecución
- Velar para que se alcance el rendimiento previsto y analizar las causas en el caso de que no sea así
- Coordinar los trabajos con los controles que hay que llevar a cabo
- Comprobar la calidad del producto final dentro de los plazos que permitan rectificar los posibles defectos que pudieran aparecer.

La elección del subcontratista adecuado no es tarea fácil. La primera herramienta que se enseña a manejar a los jefes de obra es un cuadro comparativo de precios en el cual se refleja, en las condiciones más homogéneas posibles, el precio de cada uno de los posibles ejecutores.

Pero en algunas unidades, el disponer de la misma maquinaria no implica ni tener el personal igualmente cualificado y entrenado ni por supuesto conseguir los mismos estándares de calidad. Incluso el cuidado en la terminación que es necesario poner en unidades similares, no es el mismo.

Detalles como el mantenimiento de la maquinaria o los programas de formación a los que se haya sometido al personal encargado del manejo de las mismas, pueden ser herramientas más importantes que el precio a la hora de decantarse por uno u otro ejecutor.

6. Costes en ambos casos

Partimos de una misma hipótesis de trabajo para la fabricación de suelocemento in situ:

- Capa de 25 cm de suelocemento (sección 122 de la 6.1 IC) sobre explanada tipo E2
- Suelo de la propia obra
- Dotación 3,5 % de cemento en peso en ambos casos
- Dimensiones de la obra: 10 km de autovía con dos enlaces (unos 280.000 m2)

Suponemos que el suelo no es ni demasiado grueso ni demasiado fino, y que la época de trabajo es en tiempo seco, con lo que el funcionamiento de los dos sistemas es correcto, con un rendimiento óptimo.

El resultado se refleja en la tabla siguiente:

	En planta €/m3	In situ €/m3
Arranque, carga y tpte a planta o lugar de empleo	0	0
Transporte, montaje y desmontaje de planta	1,43	0
Transporte equipos extendido y reciclado	0,03	0,06
Precolocación de la capa	0	1,80
Fabricación	3,30	5,00
Transporte a lugar de empleo (media 4 km)	0,88	0
Extendido y compactado	4,40	1,20
Total	10,04	8,06
Total para 70.000 m3	702.800 €	564.200 €

En este caso, la ejecución en planta es un 24,5 % superior.

El coste de instalación de la planta fija, transporte y retirada, montaje y desmontaje, que hemos supuesto es de 100.000 €, mientras que el transporte de un equipo de suelocemento in situ normalmente puede hacerse por unos 18.000 €.

Para obras de tamaño inferior a la que se ha tomado como ejemplo, la diferencia de coste, expresada en %, aumenta.

7. Requisitos exigidos por la Junta de Castilla y León

El suelocemento in situ se ha utilizado con cierta frecuencia en la construcción de carreteras de la Junta de Castilla y León desde el año 1.998.

El producto final que se quería conseguir, junto con el conocimiento del control de calidad necesario facilitaron que poco tiempo después de la introducción de esta técnica pudieran ejecutarse obras de Suelocemento por el procedimiento in situ con resultados tan buenos como el de las obras ejecutadas en planta.

Sin embargo, la falta de profesionalidad en algunos de los equipos encargados de llevar a cabo estos trabajos pusieron de manifiesto algunas de las debilidades del sistema, lo que dio paso a la necesidad de fijar la atención en los siguientes puntos:

- Control exhaustivo de la calidad del suelo con la que se va a fabricar el suelocemento
- Control de la dosificación del cemento
- Toma de muestras y ensayo del producto terminado
- Control intensivo de la humedad del producto antes de la compactación
- Control de la densidad conseguida en toda la capa. El vástago del gamma densímetro nuclear ha de introducirse hasta el fondo de la capa
- Corrección de la dotación de cemento si la densidad conseguida no es la de las probetas con las que se ha confeccionado el estudio previo.
- Comprobación del espesor de la capa fabricada

Estos requisitos se están llevando a cabo actualmente en las obras de suelocemento in situ, en las que se ejecutan 3 cm más de espesor.

8. Conclusiones

El suelocemento es un material que se adapta perfectamente a las necesidades que se presentan en la construcción de infraestructuras de todo tipo. Su empleo se ha generalizado por su economía para tráfico pesados, ahorro de materiales bituminosos y gran capacidad soporte frente a los firmes compuestos por capas granulares y grandes espesores de mezclas bituminosas.

La calidad de los materiales con los que hay que fabricar el suelocemento y los controles de ejecución prescritos aseguran la bondad del producto terminado y la durabilidad de la obra construida con él.

La posibilidad de emplear los materiales de la traza y no tener que acudir a préstamos exteriores o canteras hace que sea una unidad de trabajo versátil y de aplicación en cualquier obra.

De manera específica, la fabricación in situ frente a planta cuenta con las siguientes circunstancias

- La fabricación de suelocemento in situ frente a la fabricación en planta aporta muchas ventajas, especialmente en obras pequeñas en las que no se dispone de una planta fija cerca de la obra y en aquellas en las que por las circunstancias el material (el suelo) ya está colocado y es necesario mejorar sus prestaciones, bien porque el suelo es de mala calidad, bien porque el tráfico real ha resultado ser mayor del previsto en el proyecto.
- También aporta ventajas en los casos en los que haya que dividir una obra grande en varias fases o en las que la climatología adversa pueda dificultar la ejecución cumpliendo los plazos contratados.
- La maquinaria y los métodos de fabricación del suelocemento in situ están suficientemente descritos y contrastados con la realidad.

- El equipo humano encargado de este trabajo cobra especial importancia. Con la adquisición de las máquinas para este trabajo se entrega el manual para el correcto uso de las mismas, pero no la capacitación de los operadores, ni la capacidad de resolución de problemas en el momento de la ejecución.
- Los controles sobre la fabricación y el producto terminado tanto en uno y otro caso (planta o in situ) han de ser los mismos.

En definitiva, la fabricación de suelocemento in situ no debería estar prohibida tal y como hace el PG3 vigente, sino estar sometida a un control más riguroso, tanto de la ejecución como de las empresas ejecutoras de esta unidad, pudiendo fijarse mayores espesores para la construcción de capas con esta técnica, habida cuenta del diferencial de precio que existe entre la fabricación in situ y en planta y como seguridad adicional.

9. Anejos

- a. Cálculo para una sección tipo de incremento de ejes al aumentar 3 cm el espesor

Se ha efectuado el cálculo mediante el programa Icafir2006 de la Junta de Andalucía de dos secciones idénticas de firme sobre el mismo tipo de explanada con la única diferencia de 3 centímetros más de Suelocemento en una de ellas.

El resultado obtenido es que en el primer caso el número de ejes equivalentes para los que puede dar servicio la sección es de 8.674.290 mientras que en el segundo caso es de 70.833.781 ejes, 8,2 veces mayor con sólo aumentar 3 cm el espesor de una capa.

A continuación se adjuntan las salidas del programa.

Proyecto:	Sección tipo 213-2A
Referencia:	Congreso de carreteras. Junta de Castilla y León
Autor:	Anna Gelonch Santaló. Miguel López-Bachiller Fernández
Fecha:	miércoles, 22 de octubre de 2008
Itinerario:	

Tramo 0 PK 0+00 al PK 1+00
Solicitaciones de cálculo
Tráfico

Categoría:	T2
Ejes de cálculo:	5.000.000

Clima

Zona térmica:	ZT2
Zona pluviométrica:	ZPS

Sección de Firme ⁽³⁾

Sección válida	Capa	Espesor
	Mezcla Semidensa	15 cm
	Suelocemento SC-4 (2)	26 cm
$\frac{\text{Ejes mínimos de cálculo } 8.674.290}{\text{Ejes equivalentes } 5.000.000} = 1.73$		

(2) Es obligatorio prefisurar en fresco esta capa

(3) Sección válida. Ejes equivalentes resultantes del cálculo: 8.674.290 > 5.000.000

Subtramo 0 PK 0+00 al PK 1+00
Sección de Cimiento de Firme ⁽⁰⁾

Sección válida	Capa	Espesor
 Terraplén menor de 2m	Suelo Estabilizado in situ Tipo 3	30 cm
	Suelo Seleccionado Tipo 3 Núcleo de Terraplén	30 cm
	Suelo Adecuado - CBR 5 Terreno natural subyacente	Indefinido

(0) La sección [Tramo 0 · Subtramo 0 · Cimiento de Firme] es válida. Deflexión 55,53 mm/100, módulo de compresibilidad 259,45 MPa

Tramo 1 PK 1+00 al PK 2+00

Solicitaciones de cálculo

Tráfico

Categoría: **T2**
Ejes de cálculo: **5.000.000**

Clima

Zona térmica: **ZT2**
Zona pluviométrica: **ZPS**

Sección de Firme ⁽⁵⁾

Sección válida	Capa	Espesor
	Mezcla Semidensa	15 cm
	Suelocemento SC-4 (4)	29 cm
$\frac{\text{Ejes mínimos de cálculo } 70.833.781}{\text{Ejes equivalentes } 5.000.000} = 14.17$		

(4) Es obligatorio prefisurar en fresco esta capa

(5) Sección válida. Ejes equivalentes resultantes del cálculo: 70.833.781 > 5.000.000

Subtramo 0 PK 1+00 al PK 2+00

Sección de Cimiento de Firme ⁽¹⁾

Sección válida	Capa	Espesor
 Terraplén menor de 2m	Suelo Estabilizado in situ Tipo 3	30 cm
	Suelo Seleccionado Tipo 3 Núcleo de Terraplén	30 cm
	Suelo Adecuado - CBR 5 Terreno natural subyacente	Indefinido

(1) La sección [Tramo 1 · Subtramo 0 · Cimiento de Firme] es válida. Deflexión 55,53 mm/100, módulo de compresibilidad 259,45 MPa

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bas Dutor, Alberto et al. 2007.** *Istrucción para el diseño de firmes de la red de carreteras de Andalucía.* Sevilla : Junta de Andalucía, 2007. J-670-07.
- Carreteras, Dirección General de. 2002.** *Secciones de firme y capas estructurales de firmes.* Madrid : Ministerio de Fomento. Secretaría general técnica, 2002. 84-498 0632-1.
- del Barrio Martín-Gamero, Eugenio. 1975.** *Caminos de suelo-cemento.* Madrid : Agrupación de fabricantes de cemento de España, 1975. Dep Legal M 12.321 - 1975.
- Fomento, Ministerio de. 2000.** Instrucción de Carreteras 3.1 IC Trazado, 6.1 IC Firmes. *BOE.* 2000, 28 Feb 2000.
- Instituto español del cemento y sus aplicaciones IECA; Asociación nacional de fabricantes de cales y derivados de España ANCADE; Asociación nacional técnica de estabilizados de suelos y reciclado de firmes ANTER. 2008.** *Manual de estabilizaciones con cal y cemento.* Madrid : En imprenta, 2008.
- Jofré Ibañez, Carlos; Ruiz Rubio, Aurelio et al. 2003.** *Manual de firmes con capas tratadas con cemento.* Madrid : Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Fomento, 2003. 84-7790-393-X.
- Junta de Andalucía. 2006.** http://www.giasa.com/icafir/icafir.asp?alias=pub_cat. [En línea] 2006. [Citado el: 28 de Julio de 2008.]
- Kraemer, Carlos; Pardillo, José M^a et al. 2004.** *Ingeniería de Carreteras.* Madrid : McGraw Hill/Interamericana de España s.a.u., 2004. 84-481-3999-2.
- Laboratoire central des ponts et chaussées; Service d'etudes techniques des routes et autoroutes. 2000.** *Traitement des sols à la chaux et/ou liants hydrauliques.* Paris, Bagneux : Ministère de l'équipement, des transports, et du logement, 2000. 2-7208-3810-1.
- Ministerio de Fomento. 2008.** *Pliego General para la construcción de Carreteras y puentes PG 3.* Madrid : Ministerio de Fomento, 2008.
- Objetivos y logros del PEIT. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Abril 2008.** 3487, Madrid : Revista de Obras Públicas, Abril 2008.