



# SUELOCEM

## Suelo cemento in situ



# **Trabajos Bituminosos, S.L.U.**

**Ctra. de la Poveda a Velilla de San Antonio, Km. 2,800**

**28.891 Velilla de San Antonio (Madrid)**

**Tlfno.: 91 655 35 05**

**Fax: 91 660 82 23**

**[www.trabit.com](http://www.trabit.com)**

# SUELO CEMENTO IN SITU

Trabajos Bituminosos, S.L.U.

Departamento de Reciclados

## Definición

El suelo cemento se define como la mezcla homogénea en las proporciones adecuadas, de material granular, cemento y agua y, eventualmente aditivos, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural de un firme.

## Ventajas suelo cemento “In situ”

La fabricación in situ tiene importantes ventajas técnicas, económicas y medio ambientales:

1. **Ahorro de áridos**
2. **Reducción de transportes**
3. **Reducción de emisiones de CO2**
4. **Eliminación de riesgos laborales**

## Experiencias del suelo cemento “in situ”

Existe hoy en día numerosas experiencias que demuestran que si se lleva a cabo un adecuado proceso constructivo se puede conseguir un suelo cemento de mayor calidad, incluso, que el ejecutado de Planta. No podemos olvidar que este último también presenta una serie de inconvenientes en su elaboración.

*“Para la correcta ejecución de un suelo cemento in situ se debe tener especial cuidado en la calidad y homogeneidad del material a emplear, espesor de la capa, densidades exigidas, dotación mínima de cemento y equipos a emplear ...”*



Suelo cemento in situ — Variante de Valdemoro (Madrid)

## Temas importantes

- Antecedentes
- Suelos
- Ejecución
- Maquinaria
- Control de calidad
- Diferencias entre

## Presente

En España no se contemplaba la ejecución del suelo cemento in situ porque en el momento de redactar la norma sólo solo se había hecho en central.

Existen determinadas administraciones que su experiencia avalan los resultados de esta técnica.

La mejora de los conocimientos de los materiales tratados con conglomerantes hidráulicos, la evolución de la maquinaria actual y experiencia del personal en obra hacen posible la aplicación del suelo cemento in situ en cualquier tipo de firmes.

Si se realiza un proceso constructivo exhaustivo se puede conseguir una calidad incluso mayor al elaborado de central.

## Antecedentes

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: suelo cemento, grava cemento e incluso hormigón en capas de rodadura.

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

La aparición en nuestro entorno de maquinaria pesada para la construcción de capas estabilizadas en la año 1.996, el éxito del funcionamiento de carreteras construidas con suelo cemento y el agravamiento de los problemas medioambientales (extracción de materiales de préstamos y dificultades para encontrar vertederos) junto con un encarecimiento de las 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.



Extendido de cemento en sacos

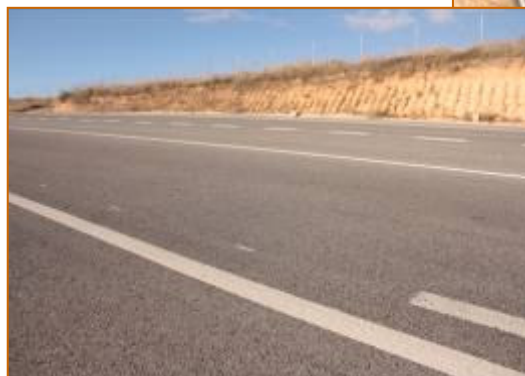
Según el PG-3 no se contempla la realización del suelo cemento in situ, aunque haya ya una gran experiencia demostrable de los resultados en la realización de materiales tratados con cemento in situ y una maquinaria específica para tal desarrollo.

Hoy en día, ya podemos decir que existe la suficiente experiencia como para realizar un proceso constructivo adecuado en la elaboración del suelo cemento in situ.



Variante de Valdelaguna  
M-317 (CAM)

Suelo cemento In Situ



# Características del suelo cemento

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).

En general se trata de un material con cohesión proporcionada por el cemento, con contenido de cemento relativamente bajo (3 – 5 % en peso), con módulo de elasticidad en torno a 2.000 a 8.000 MPa) y con un comportamiento a fatiga según una ley bastante tendida. 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.

La unidad ha de terminarse con riegos de curado, normalmente con agua en las primeras horas y a continuación con emulsión asfálticas.

La fabricación del suelo cemento in situ para capas de firmes tienen que cumplir todas las Prescripciones establecidas en la normativa vigente, el PG-3 en todo el ámbito nacional y aquellas particulares de Las Recomendaciones, que no contradicen el PG-3.

## Metodología constructiva

El proceso constructivo de un suelo cemento comienza con la elección del suelo a emplear, siendo básico para el resultado final.

De acuerdo con las características del suelo se formula con distintas dosificaciones de cemento para conseguir la resistencia solicitada y se realiza el ensayo Proctor Modificado, con cada contenido de cemento, que nos facilita la humedad óptima y la densidad máxima, obteniéndose el valor de la resistencia.

El extendido del suelo se hará mediante maquinaria adecuada para garantizar, antes de su mezcla con cemento las condiciones de regularidad superficial.

Se estabiliza el material con la maquinaria que te garantice conseguir el espesor exigido y la homogeneidad en la mezcla, la dosificación exacta de cemento, la humedad óptima, la nivelación precisa y compactación requerida.

Finalmente se procederá al curado de la mezcla con agua y al final del día se protegerá con un riego de curado, con una emulsión del tipo ECR-1.

El cuidado del proceso constructivo debe comenzar desde antes de la propia ejecución de este, los materiales a utilizar son un aspecto fundamental en la mezcla, pero una vez elegidos estos es primordial la garantía de la empresa que vaya a ejecutar los trabajos, maquinaria en buen estado, personal cualificado y con experiencia, son aspectos que nos da una mayor seguridad en la calidad final.



Ejecución Suelo Cemento In Situ — Pirineo de Lleida



BA-032 Burguillo del Cerro a Valverde de Burguillos (Badajoz)

## Suelos

En el suelo cemento lo más frecuente es el empleo de suelos o zahorras naturales, aunque también se pueden utilizar materiales machacados procedentes de cantera, excavaciones, o incluso zahorra artificiales, siempre que cumplan las prescripciones exigidas.

Debemos de realizar los ensayos previos para caracterizar correctamente el suelo. Para ello, se toman muestras suficientemente representativas del suelo y se realizan los ensayos de laboratorio que al menos definan la granulometría, plasticidad, humedad natural, contenido de materia orgánica y otros componentes perniciosos, tales como sulfuros (piritas), sulfatos (yesos) o cloruros (sal gema) que pudieran perturbar o incluso impedir el fraguado del cemento.

En la siguiente tabla se presentan recomendaciones sobre las características que deberían cumplir los suelos para que al estabilizarlos con cemento resulte un material con características técnicas adecuadas y económicamente admisible.

## Materiales inadecuados

Existen ciertas características como una granulometría inadecuada, con ausencia de algunos tamaños intermedios que impiden su correcta compactación, o una plasticidad excesiva, que puedan ser inviables la utilización de estos.

Suelos que presenten un contenido excesivo de materiales perniciosos que puedan afectar a la durabilidad, tales como los sulfatos, azufre, materia orgánica, etc.



Limo seco

Propiedad del suelo	Pliego PG-3 del Mº de Fomento Art. 513	Recomendaciones de Castilla y León	Instrucciones de Firmes de Andalucía	Norma País Vasco
Tamaño máximo	< 50 mm	< 50 (40) mm	< 50 mm	< 50 mm
Husos	SC-40 y SC-20	--	= PG3	= PG3
Pasa # 2 UNE	SC40: de 17 a 52 % SC20: de 36 a 94 %	≥ 20%	≥ 20%	= PG3
Pasa # 0,0063 UNE	SC40: de 2 a 20 % SC20: de 2 a 35 %	≥ 35%	SC40: de 2 a 20 % SC20: de 2 a 35 %	= PG3
Plasticidad	LL<30 IP<15	LL<30 IP<12	LL<30 IP<12 (mejor 10)	= PG3
Materia orgánica	< 1%	= PG3	Exento	= PG3
Sulfatos o sulfuros	< 1% & Si > 0,5% → cemento SR	= PG3	= PG3	= PG3

Tabla 1. Prescripciones de los suelos a utilizar en los suelo cemento

En el artículo 513, materiales tratados con cemento del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales del PG-3 del Ministerio de Fomento exponen una serie de características exigidas a los suelos para poder ser utilizados en el suelo cemento. Pero, sin embargo, existen diferentes normativas autonómicas que varían ciertos valores, como puede ser el Índice Plasticidad, siendo mejor, por debajo de 10 y estar exento de materia orgánica como recomienda la Instrucción de Firmes de Andalucía.

	Cernido ponderal acumulado (% masa) en tamices UNE-EN 933-2 (mm)									
	50	40	25	20	12,5	8	4	2	0,5	0,063
SC 40	100	80-100	67-100	53-100	45-89	30-65	17-52	17-52	5-37	2-20
SC 20	-	-	100	92-100	76-100	63-100	48-100	36-94	18-65	2-35

Tabla 2. Granulometría definidas en el PG-3 para el suelo cemento

Cuando se prescribe los dos husos granulométricos, el denominado SC20 (Ver tabla 2) solo se puede emplear en carreteras con categoría de tráfico pesado T3 y T4, además de arcenes, salvo en las carreteras de la red autonómica andaluza que admite todo tipo de tráfico para este huso.

Las razones por la que se introduce ciertas limitaciones en algunas normativas se incluyen en la Tabla 3, considerando que siempre es importante conocerlas para poder permitir o no ciertas excepciones.

CARACTERÍSTICAS	LIMITACIÓN	CAUSA DE LA LIMITACIÓN
Máx. % de finos	35%	Mejorar estabilidad del esqueleto mineral Evitar altos contenidos de cemento
Mín. % de finos	3%	Evitar dificultades en la compactación Evitar altos contenidos de cemento
Mín. % de arenas 2 mm.	35%	Obtener contenido adecuado de mortero
Tamaño máx.	40 - 60 mm	Mejorar regularidad superficial Evitar segregaciones Evitar dificultades de compactación
Continuidad granulométrica	HUSO	Mejorar la compactación Disminuir el contenido de cemento necesario
Plasticidad máxima	IP < 10 < -15	Evitar problemas durante el mezclado y extendido del material Evitar altos contenidos de cemento Disminuir la sensibilidad del material al agua
Materia orgánica máxima	0,05% ácido tánico	Evitar retraso o falta de fraguado y endurecimiento del material
Sulfatos o sulfuros	< 1%; S. Cohesivos ensayo de inm-comp.	Evitar reacciones expansivas Evitar pérdidas de resistencia del material

Tabla 3. Causas de las prescripciones de los suelos a utilizar en suelo cemento

En todas las normativas se limita el contenido mínimo de cemento al 3% en masa respecto del total del material en seco, debiéndose aportar el necesario para conseguir una resistencia mínima a compresión a la edad de 7 días de 2,5 MPa. Este valor puede reducirse un 15% (2,1 MPa) en el caso de emplear cementos con alto contenido de adiciones.

En el PG-3 se limita la resistencia máxima a 4,5 MPa, resistencia que se suprime en algunas normativas autonómicas si el suelo se prefisura.

## Maquinaria

La evolución de la maquinaria ha conseguido garantizar la homogeneidad de las mezclas estabilizadas, aportación del conglomerante exacto y humedad óptima del material.

Los sistemas de automatización de los equipos de nivelación han permitido corregir los problemas de espesores y rasante en las capas estabilizadas.

La maquinaria actual ha dado un impulso muy importante a estas técnicas.

## Ejecución

Una vez que tengamos caracterizado y formulado el material para el suelo cemento se procede a la preparación de la superficie existente con la aportación del material.

Esta operación, no tenida muy en cuenta, es básica para el tratamiento exacto del espesor a estabilizar. En el caso que hayan variaciones de más en el material extendido, cuando se proceda a la nivelación posterior al estabilizado sobrarán tantos centímetros como sobran inicialmente y esto dará lugar a una disminución de la capa final del suelo cemento.



Las máquinas recicladoras — estabilizadoras no crean ni consumen áridos: el volumen de tierras antes de ser tratados es casi el mismo que el que encontramos después de haberse tratado.

Debemos de asegurar que la capa extendida, previamente al estabilizado, este a la cota adecuada y con su humedad óptima.

Si la humedad del suelo está muy por encima de la óptima se puede realizar un estabilizado previo con cal viva para desecar el material.

### Etapas de ejecución

Las operaciones básicas de ejecución son:

1. **Estudio del material y obtención fórmula de trabajo**
2. **Preparación de la superficie existente con la aportación del material**
3. **Ejecución de la mezcla**
4. **Compactación**
5. **Prefisuración**
6. **Terminación de la superficie**
7. **Curado y protección superficial**



De acuerdo con el tipo de obra y los equipos disponibles, algunas de las operaciones anteriores pueden agruparse o realizarse conjuntamente.

### Ejecución de la mezcla — Vía húmeda o seca

La incorporación del conglomerante se puede hacer por vía seca o por vía húmeda. En el primer caso, el conglomerante se extiende en polvo y el agua se puede extender directamente o incorporar a la estabilizadora, mientras que en el caso de la vía húmeda, se prepara una lechada de agua y conglomerante que se inyecta directamente en la cámara de mezclado.

Para la elección de la vía a ejecutar es necesario tener en cuenta una serie de factores: época del año, tipo de suelo, estado hídrico del mismo, configuración y tamaño de la obra, condiciones de tráfico, etc.



## Maquinaria a utilizar

El número de máquinas a utilizar dependerá del tipo de obra, anchos de trabajo, con o sin prefisurado, canon de agua, etc.

1. **Recicladora - Estabilizadora Wirtgen WR2500S**
2. **Dosificador vía húmeda (WM1000)**
3. **Dosificador de pulverulentos**

Estas son las máquinas principales de estabilizado o reciclado, necesitando equipos de compactación con motoniveladora, compactador y cuba de agua. Siendo muchas veces necesario varios compactadores para no perder la humedad óptima requerida del Proctor Modificado.

## Ejecución por vía húmeda

La ejecución mediante la vía húmeda, dosifican la lechada a través de unos inyectores a la carcasa del equipo donde se realiza el mezclado. Consta de un mezclador con alimentación volumétrica de agua y dosificación ponderal del conglomerante y una bomba de caudal variable que envía la lechada a la barra de inyección, con control automático programable de dosificación que permite además la dosificación prevista según la profundidad de trabajo y la velocidad de avance del equipo.

Se debe asegurar siempre que se está dosificando la cantidad de conglomerante necesaria, por lo que los controles en obra deben de ser continuos y cuidadosos, comprobándose que los inyectores funcionan correctamente. Al final de la jornada se debe proceder a la limpieza de los mismos y del conjunto del equipo.

**Es muy importante prever en la organización de la obra el número de paradas necesario para alimentar los equipos dosificadores**



La descarga de una cuba de cemento puede durar casi media hora, contabilizando todas las operaciones necesarias. En el caso de ejecutar cuatro cisternas de cemento esto supondría casi dos horas de parada

## Ejecución por vía seca

Los equipos de distribución en polvo (vía seca) han experimentado un gran desarrollo en los últimos años, logrando unas altas prestaciones y cumpliendo con todos los requisitos de la legislación medioambiental y de seguridad y salud, como por ejemplo la protección con faldones cuando la descarga del conglomerante se realice a más de 10 cm. del suelo.



**Extendido de cemento**

La extensión del cemento se efectúa por bandas adyacentes paralelas, borde contra borde, sobre toda la superficie a tratar de acuerdo con la planificación realizada para el equipo de mezclado.

En el control de humedades mediante la vía seca tiene la posibilidad de conectar una cuba de agua directamente a la recicladora / estabilizadora WR2500 transmitiendo la cantidad de agua necesaria controlada por un caudalímetro e introduciendo la necesaria al tambor / fresador a través de 16 inyectores, teniendo la posibilidad de cerrarlos uno a uno con el fin de no añadir un exceso de humedad en los solapes y así conseguimos la humedad óptima exigida y dando como resultado un material homogéneo.



**Control de humedad**

## Recicladoras

Envuelta homogénea en virtud de su rotor equipado con 216 brazos.

Aportación rigurosa de agua y/o lechada mediante barra equipada con 16 pulverizadores.

Espesor del material tratado con sistema de nivelación de la profundidad del rotor mediante cuatro referencias simultáneas de la planimetría de la capa.

# Recicladora - Estabilizadora

Si la distribución precisa del conglomerante es importante, también lo es en la misma medida un adecuado proceso de mezclado con la humedad apropiada, que asegure una buena homogeneidad del producto en la profundidad requerida.

Para ello se emplean equipos mezcladores rotatorios, constituidos por un único rotor de eje horizontal provisto de brazos, recubierto por una carcasa suspendida del bastidor en posición frontal o central.

Características principales de Wirtgen WR2500S

1. **Motor 670 Hp**
2. **Ancho de trabajo de 2,5 metros**
3. **Profundidad hasta 50 centímetros**
4. **Rotor de 216 brazos**
5. **Barra con 16 difusores**

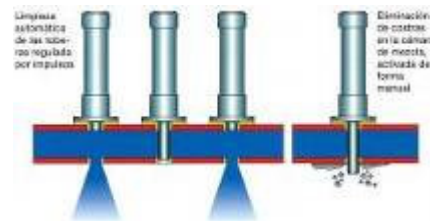


Rotor fresador ( 216 picas)

Hay que tener en cuenta que la anchura de trabajo de estas máquinas son de 2,5 metros, esto obliga a un planteamiento de construcción por calles, que no podrán ser de excesiva longitud para evitar la formación de juntas frías entre franjas. Por cada banda se deberán solapar suficientemente (15 - 20 cm) para no dejar materiales en los bordes sin mezclar con control automático programable de dosificación que permite además la dosificación prevista según la profundidad de trabajo y la velocidad de avance del equipo.

Estas máquinas están dotadas de una rampa de riego con 16 inyectores que tienen la posibilidad de cerrar el número necesario de estos según el solape a ejecutar.

Los difusores poseen un sistema de autolimpieza para evitar la obstrucción del material.



Autolimpieza inyectores

La homogeneidad de la mezcla y el rendimiento obtenidos dependen de diversos parámetros que se deben coordinar correctamente como son la velocidad de avance de la maquinaria y la velocidad de giro del rotor.

El rendimiento puede variar mucho dependiendo de los equipos empleados, del espesor a estabilizar y de las características del suelo a tratar.

Evidentemente la naturaleza del terreno tiene una gran influencia: cuantos más duros sean los materiales y más grande su tamaño, menor será el rendimiento por la dificultad en el avance y el mayor desgaste de las picas. La presencia de elementos muy gruesos dificulta más el trabajo y provoca más atascos y averías.

Es importante observar cuidadosamente el estado de las picas para que tengan un desgaste similar para lograr una buena homogeneidad.

## Proceso de nivelación o refino y compactación

Hoy por hoy podemos decir que la evolución, tanto del proceso constructivo como de la maquinaria actual han desarrollado un importante avance en materia de compactación y nivelación final en la elaboración del suelo cemento in situ.

Pero para ello se debe comenzar el proceso desde la coronación de la explanada o capa inferior al suelo cemento.

Debido a la precisión de espesores que tienen las estabilizadoras debemos asegurar que la capa inferior del suelo cemento esté a la cota determinada, siendo aconsejable que la terminación de este se realice con sistema automatizado de nivelación y así asegurar que el posterior extendido se realizará con el espesor adecuado. Posteriormente, una vez extendido el material seleccionado para el suelo cemento y antes de proceder a su estabilización, se recomienda reperfilarlo con el mismo sistema de nivelación con el que se vaya a refinar posteriormente al mezclado del material con el cemento y agua, de esta manera podemos confirmar que el material tratado no le sobra ni le falta material.

De esta manera podemos asegurar que todas las capas que componen la sección del firme tengan el espesor mínimo definido en proyecto. En caso de existir irregularidades en los espesores se deben suplir en las capas superiores siendo además mucho más caras.

## Compactación

La densidad mínima exigida para un suelo cemento es el 98 % de la densidad máxima del Proctor Modificado

Dado que el material se debe compactar en una única tongada, se debe disponer de equipos de compactación capaces de conseguir la densidad especificada.

Es usual utilizar un compactador pesado de 19 – 25 t de peso con una carga estática sobre generatriz de 500 N/cm o superior, para capas de 25 – 40 cm, y algo menos pesados, con carga estática del orden de 350 N/cm, para capas entre 15 y 25 cm.

Ambos compactadores se pueden utilizar también conjuntamente disponiendo el más pesado tras la recicladora – estabilizadora y el segundo para completar la compactación tras el refino con motoniveladora.

Por ello, una vez fijadas las condiciones de empleo de los equipos en el tramo de ensayo, es necesario respetarlas estrictamente, dando instrucciones claras y precisas a los conductores de los compactadores, los cuales han de conocer:

- ⇒ el momento en el que deben intervenir
- ⇒ la velocidad de trabajo de su compactador
- ⇒ los parámetros de trabajo (frecuencia y amplitud de la vibración, presión de inflado)
- ⇒ el número de pasadas que tienen que realizar.



Durante la compactación se debe efectuar un control continuo de la densidad alcanzada y de la humedad mediante el uso de equipos rápidos como la sonda nuclear. De esta forma se puede detectar anomalías en el proceso y corregir sus causas.

## Refino y nivelación

Tras una primera compactación inicial hasta alcanzar una densidad del orden del 90 – 92 % de la máxima Proctor Modificado, se procede al refino de la capa.



El refino debe realizarse de forma rápida y siempre dentro del plazo de trabajabilidad del material estabilizado.

Al ser ésta una operación que depende de la habilidad del maquinista, para lograr buenos resultados son interesantes las motoniveladoras dotadas de equipos auxiliares de nivelación tipo 3D, guiadas desde una estación total por radio.

Una vez llevado a cabo el refino, se prosigue la compactación hasta alcanzar la densidad requerida.

## Calidades

El mejor curado para suelos tratados con cemento es el agua, pero no es viable tener en todo momento una cuba de agua regando todos los tajos ejecutados.

La mejor comprobación para verificar el proceso constructivo de estas técnicas es realizando un tramo de prueba.

La profesionalidad de la empresa encargada de ejecutar estos trabajos determinan un procedimiento de producción eficaz

## Riego de curado o protección final

Una vez finalizado la mezcla, nivelación y compactación del material se debe tratar el material para evitar la evaporación del agua y mantener su nivel hídrico durante al menos un periodo inicial de 7 días.

Para ello la práctica más habitual es el curado con agua durante la jornada de eje-



Riego de curado con agua

No se debe permitir el paso de vehículos ligeros durante los tres primeros días, ni pesados en los siete primeros. En el caso de tener que abrir por cualquier circunstancia esta capa al tráfico de obra se debe proteger el riego de curado mediante el extendido de un árido 3-6 de protección con una dotación de 2-4 l/m<sup>2</sup>, que se deberá retirar y limpiar bien antes del extendido de la capa superior.

## Tramo de prueba

Antes de iniciar la obra como tal, o bien como una parte más de la misma, se debe realizar un tramo de prueba para comprobar los resultados de la fórmula de trabajo con las condiciones especificadas de humedad, profundidad de capa, granulometría del material disgregado, dosificación de cemento y uniformidad en la dosificación.

Además se debe establecer las relaciones entre el número de pasadas y la densidad alcanzada para cada compactador y para el conjunto del equipo de compactación. También puede servir para establecer la correlación entre los métodos de control de la humedad y densidad in situ establecidos en el Pliego y otros métodos rápidos de control que se pudieran emplear, como la sonda nuclear.

La longitud del tramo de ensayo no debe ser inferior a 100 metros, siendo conveniente longitudes superiores.



# Control de calidad

La calidad de la obra viene fijada por unos requisitos que se deben alcanzar dentro de unos límites prefijados, generalmente en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto.

Para conseguir estos requisitos no sólo se deben emplear unos materiales adecuados, sino que esto debe complementarse con los correspondientes equipos de fabricación y puesta en obra. Además es necesario disponer de una estructura de personal que sea capaz de poner en marcha y llevar a buen término las operaciones necesarias. Es decir, deben existir unos procedimientos de producción eficaces.

Dentro de este proceso es preciso efectuar las verificaciones oportunas que nos indiquen que la obra terminada cumple las prescripciones especificadas.

La gestión de calidad comienza por establecer unas especificaciones para todos los elementos que intervienen en el proceso, es decir:

- Materiales
- Estudios y ensayos necesarios
- Equipos y procesos
- Ejecución
- Obra terminada

Existe una relación muy acusada entre las exigencias de la obra terminada, las de los materiales a emplear y las de fabricación y puesta en obra.

## Análisis de resultados

Por las características de este material y para lograr el buen funcionamiento del firme resulta imprescindible asegurar las densidades, resistencias y espesores de capa exigidos.

Anteriormente a la ejecución se debe obtener una fórmula de trabajo a emplear, es necesario confeccionar una serie de probetas con varios porcentajes de cemento (por ejemplo, 3%, 4% y 5%) y romperlas a compresión simple a 7 días, y realizar el ensayo Proctor Modificado para definir la humedad óptima y densidad máxima de compactación.

En el momento de la ejecución en el campo es necesario comprobar que la densidad obtenida coincide con la máxima posible, y se deben confeccionar probetas en la obra, con la densidad obtenida en el tajo, para comprobar que la rotura de las mismas a 7 días supera los valores a compresión a 2,5 Mpa e inferior a 4,5 Mpa, excepto con cementos con alto contenido en adiciones, tipo III, IV/B, V o ESP VI-1, que al tener un bajo calor de hidratación el fraguado es más lento y se exige una resistencia a compresión de 2,1 Mpa.

Utilizar cementos con mayor contenido de adiciones tiene la ventaja de mejorar en los tiempos de trabajabilidad y disminuye la retracción.

También es importante durante la ejecución efectuar verificaciones periódicas de las máquinas que intervienen, comprobando las dosificaciones y el estado de los dispositivos de mezclado.

Una vez acabada la ejecución del suelo cemento in situ se debe controlar la calidad geométrica como replanteos, control de espesores, rasantes, tolerancias geométricas u otros elementos que el contratista considere necesario para la calidad de la obra.



## Fabricación

No debería de haber 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.

Cada proceso constructivo tiene que tener sus controles de ejecución para lograr su máxima calidad.

# 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 dosificando el porcentaje necesario de conglomerante y de agua según las necesidades de la capa.

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

A continuación presentamos las ventajas más destacadas en virtud de la ejecución in situ frente a la ejecución en planta:

## Segregaciones

### Planta

Están determinadas por la altura entre la tolva que suele haber después del mezclador y los camiones y entre el volteo desde el camión a la extendidora.

### In situ

El volteo del suelo dentro de la campana mezcladora impide prácticamente en todos los casos la aparición de segregaciones

## Extendido

### Planta

El sistema de cadena de arrastre del material y de sinfines de distribución puede dar problemas para tamaños de áridos muy gruesos

### In situ

Al no haber extendidora no puede haber problemas de este tipo.

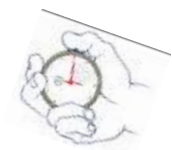
## Tiempos de trabajabilidad

### Planta

Desde la carga en el camión, transporte al tajo, descarga en extendidora e inicio de compactación podemos sobrepasar los tiempos de trabajabilidad, sobre todo en los casos de no tener una planta instalada en la obra.

### In situ

El número de maniobras es menor, sólo en el caso de tener que realizar juntas transversales retrasaría el proceso constructivo, aunque tenemos la posibilidad de realizar tramos más cortos.



## Energía y calidad de envuelta

Las recicladoras de nueva generación, tipo WR2500S, transmite a su motor mezclador más del doble de potencia (340 cv.) que el motor que mueve los ejes del mezclador de una planta de suelo cemento (125 cv.) de 500 t/h (2.300 m3/jornada).

## Control de 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 sobre dosificación de agua, pasando a la rama húmeda del ensayo Proctor y pudiendo correr el riesgo de no conseguir la máxima densidad posible.

### Planta

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.

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.

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.

### In situ

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

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)

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.

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



Paralización de equipos por lluvia



Extendido de material para suelo cemento in situ

## Control de espesores

### Planta

El material fabricado es depositado encima de la capa anterior. Por lo tanto, cualquier sobre elevación de la capa subyacente se traduce en una merma de espesor en la capa de suelocemento, con el consiguiente debilitamiento de la misma. 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.

No es posible corregir las posibles sobre elevaciones de la capa inferior

### In situ

El material que con el que hay que fabricar el suelo cemento a de ser previamente colocado en su ubicación definitiva. Una sobre elevación del mismo supone que se incorporará cemento a una parte del material que más tarde será retirado, con la consiguiente pérdida de espesor y por lo tanto de durabilidad.

Las sobre elevaciones 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 suelo cemento.

## Obras

Las experiencias de las obras ejecutadas por Trabit de suelo cemento in situ han tenido un resultado muy óptimo.

En general, ha habido muy buena aceptación por parte de las administraciones responsables de las obras ejecutadas.

Realizar un correcto proceso constructivo es la clave del éxito en la ejecución del suelo cemento in situ.

# Obras de referencia ejecutadas por Trabit

- **Acondicionamiento de la carretera H-212 (Actual HU-9100) entre Encinasola y Límite de Provincia de Badajoz en dirección a Oliva de la Frontera. (Junta de Andalucía).** (Septiembre – 2013). Suelo cemento in situ.



- **Duplicación de la carretera M-206 Tramo: Torrejón de Ardoz - Loeches. (Comunidad de Madrid)** (Junio - 2013) Suelo cemento in situ. 110.000 m<sup>2</sup> a 25 cm. de espesor.

- **Conservación y explotación Autovía: A-4 P.K. 138 al P.K. 245. Tramo: Puerto Lapice – Venta de Cárdenas. (Ministerio de Fomento)** (Julio – 2012). Suelo cemento in situ. 200.000 m<sup>2</sup>, 20 cm. de espesor.



- **Acondicionamiento acceso a Alcalá de Henares desde M-300 (Comunidad de Madrid)** (Marzo – 2012). Suelo cemento in situ. 25.000 m<sup>2</sup>, 20 cm. de espesor.

- **Carretera Moncelos - Abadín. (Xunta de Galicia)** (Junio - 2011) Suelo cemento in situ. 90.000 m<sup>2</sup> a 25 cm. de espesor.

- **Carretera BA-032 Burguillo del Cerro a Valverde de Burguillos (Badajoz).** (Julio – 2011). Suelo cemento in situ. 70.000 m<sup>2</sup>, 22 cm. de espesor.



- **Variante de las carreteras M-315 y M-316. (Comunidad de Madrid)** (Diciembre - 2010) Suelo cemento in situ. 74.000 m<sup>2</sup> a 22 cm. de espesor.





- **Nueva carretera M-224 en Torres de la Alameda. (Comunidad de Madrid)** (Noviembre - 2010) Suelo cemento in situ. 175.000 m<sup>2</sup>. 20 cm. de espesor.
- **Pirineo de Lleida. Carretera LV-5134. (Generalitat de Cataluña)** (Octubre – 2009) Suelo cemento in situ. 30.000 m<sup>2</sup> a 22 cm. de espesor.
- **Carretera de Quijorna (Madrid). (Comunidad de Madrid)** (Agosto – 2009) Reciclado in situ con cemento y suelo cemento in situ. 44.000 m<sup>2</sup> a 22 cm. de espesor.
- **Carretera C-9 (Lorca). (Comunidad Autónoma de Murcia)** (Julio – 2009) Suelo cemento in situ. 38.250 m<sup>2</sup>. 25 cm. de espesor.



- **LAV Picassent – Alcacer. (Adif)** (Diciembre – 2008) Estabilizado y Suelo cemento in situ. 36.000 m<sup>2</sup>. 30 y 22 cm. de espesor.
- **Variante de Valdemoro. (Comunidad de Madrid)** (Octubre – 2008) Suelo cemento in situ. 175.000 m<sup>2</sup>. 25 cm. de espesor.



- **Carretera en La Palma del Condado (Huelva) (Junta de Andalucía)** (Agosto – 2008) Suelo cemento in situ. 37.000 m<sup>2</sup>, 30 cm. de espesor.

- **Accesos a los vertederos de Valdemingómez (Ayuntamiento de Madrid)** (Abril – 2008). Suelo cemento in situ. 70.000 m<sup>2</sup>, 30 cm. de espesor.



- **Variante de Valdemoro. (Comunidad de Madrid)** (Octubre – 2008) Suelo cemento in situ. 175.000 m<sup>2</sup>. 25 cm. de espesor.
- **Enlace de la A-3 con el Polígono El Olival. (Generalitat Valenciana).** (Septiembre – 2007). Suelo cemento in situ. 40.000 m<sup>2</sup>, 25 cm. de espesor.

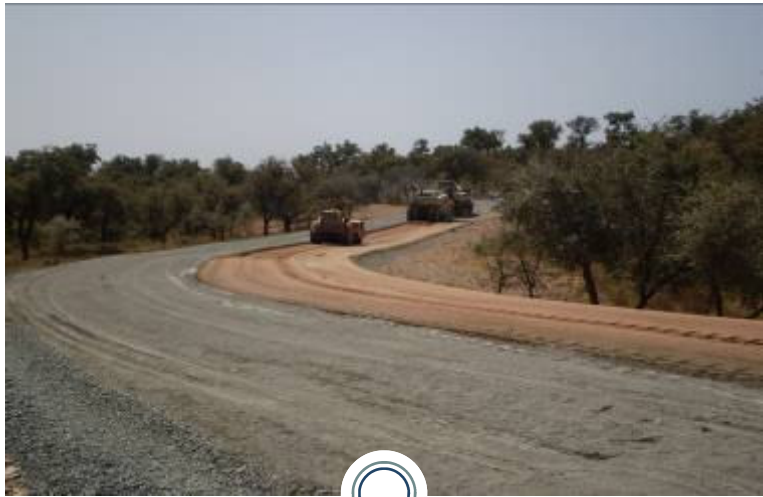
## Exigencias

Existen en la actualidad máquinas capaces de asegurar la homogeneidad del material y espesores en la elaboración de las capas de suelo cemento in situ.

Hay, hoy en día, la suficiente experiencia en la ejecución del suelo cemento in situ que avalan el buen resultado de esta técnica.

Se debería trabajar con empresas que ofrezcan las garantías de calidad suficiente para poder seguir luchando por una técnica aún fuera de normativa.

El buen hacer nos beneficia a todos.



## Conclusiones

El suelo cemento 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 tráficos 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 suelo cemento y los controles de ejecución prescritos aseguran la bondad del producto terminado y la durabilidad de la obra construida con él.

El equipo humano encargado de este tipo de trabajo cobra especial importancia, su experiencia y profesionalidad aporta la capacitación de resolución de problemas en el momento de la ejecución.

El correcto uso de la maquinaria, su mantenimiento y calibración, también, es básico para garantizar el buen hacer de estas técnicas.

Trabit pone a disposición de sus clientes toda la experiencia de su Departamento Técnico para asesorar sobre la solución técnica más óptima y adecuada en cada caso.

# Referencias Bibliográficas:

- Instrucción de Carreteras. Norma 6.1-IC, Sección de Firme. Ministerio de Fomento. Madrid 2003
- VIII Congreso Nacional de Firmes. Valladolid del 21 al 23 de Octubre de 2008
- Manual de estabilización de suelos con cemento y cal. ANTER, IECA y ANCADE. Madrid 2008
- Guía de soluciones para obras de estabilización de suelo cemento in situ y reciclado de firmes. ANTER
- Manual de firmes con capas tratadas con cemento. IECA

## Para más información:

Llámenos si desea más información sobre nuestros productos y servicios

**Ctra. Poveda a Velilla de San Antonio, Km. 2,800**  
28.891, Velilla de San Antonio (Madrid)

Félix Burgos G<sup>a</sup> de la Chica

Móvil: 618 38 30 21

[felix.burgos@trabit.com](mailto:felix.burgos@trabit.com)

Consulte nuestra web:  
[www.trabit.com](http://www.trabit.com)

Trabajos Bituminosos, S.L.U. (Trabit)

