

## 512 SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO

### 512.1 DEFINICION

Se define como suelo estabilizado con cemento la mezcla íntima, convenientemente compactada, de suelo, cemento, agua y eventualmente adiciones, a la cual se le exigen unas determinadas condiciones de insusceptibilidad al agua, resistencia y durabilidad.

Se distinguirán dos métodos de construcción, según el lugar en que se efectúe la mezcla del suelo, cemento y agua:

- Mezcla in situ.
- Mezcla en central.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el método a seguir.

### 512.2 MATERIALES

#### 512.2.1 Cemento

Ver Artículo 202, «Cementos».

Podrán utilizarse los tipos siguientes: Portland, portland con adiciones activas, siderúrgico, puzolánico, compuesto y cementos con propiedades adicionales.

No se utilizarán cementos de categoría superior a 350.

#### 512.2.2 Suelo

##### 512.2.2.1 Condiciones generales

Los materiales a estabilizar con cemento serán suelos, materiales locales o escorias; exentos de cantidades tales de materia vegetal, u orgánica, o cualquier otra sustancia que perjudique el fraguado del cemento.

##### 512.2.2.2 Composición granulométrica

Los materiales a estabilizar con cemento tendrán un tamaño máximo inferior a la mitad (1/2) del espesor de la tongada compactada, sin exceder de ochenta milímetros (80 mm); no contendrán más de un ochenta por ciento (80 %), en peso, de elementos retenidos en el tamiz 2 UNE ni más de un cincuenta por ciento (50 %), en peso, de elementos que pasen por el tamiz 0,080 UNE.

Estas condiciones granulométricas podrán ser restringidas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

#### 512.2.2.3 Plasticidad

Salvo que el Contratista demuestre que el equipo de que dispone tiene una capacidad de disgregación suficiente para conseguir una mezcla íntima y homogénea del suelo con el cemento, la fracción cernida por el tamiz 0,40 UNE cumplirá las condiciones siguientes: límite líquido inferior a treinta y cinco ( $LL < 35$ ) e índice de plasticidad inferior a quince ( $IP < 15$ ).

Las anteriores determinaciones se harán de acuerdo con las Normas NLT-105/72 y NLT-106/72.

#### 512.2.2.4 Composición química

Si la proporción de sulfatos, expresada en  $SO_3$ , y determinada de acuerdo con la Norma NLT-120/72, es superior al medio por ciento (0,5 %), en peso, deberá emplearse para la estabilización cemento portland resistente al yeso. En ningún caso podrá exceder dicha proporción de sulfatos del uno por ciento (1 %), en peso.

#### 512.2.3 Agua

Ver Artículo 280, «Agua a emplear en morteros y hormigones».

#### 512.2.4 Adiciones

El empleo de adiciones estará condicionado a la aprobación del Director de las obras.

### 512.3 TIPO Y COMPOSICION DE LA MEZCLA

El tipo y composición de la mezcla serán los definidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

La dosificación de cemento deberá ser capaz de conferir al suelo estabilizado compactado la resistencia a compresión simple a los siete días (7 d) que se especifique en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, que, en cualquier caso, no será inferior a veinte kilogramos fuerza por centímetro cuadrado ( $20 \text{ kgf/cm}^2$ ) en capas de firme y a quince kilogramos fuerza por centímetro cuadrado ( $15 \text{ kgf/cm}^2$ ) en explanadas.

### 512.4 EJECUCION DE LAS OBRAS

#### 512.4.1 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

La ejecución de la mezcla no deberá iniciarse hasta que no se haya estudiado y aprobado su correspondiente fórmula de trabajo.

Dicha fórmula señalará:

- El contenido de cemento.
- El contenido de agua del suelo en el momento del mezclado y el de la mezcla en el de la compactación.
- El valor mínimo de la densidad a obtener.
- El valor mínimo del índice CBR de la mezcla a los siete días (7 d), si se exige en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Se admitirá una tolerancia en la dosificación de cemento, respecto a la fijada en la fórmula de trabajo, de un tres por mil ( $\pm 0,3\%$ ) del peso seco del suelo, siempre que la dosificación de cemento sea igual o superior al tres por ciento (3%) del peso seco del suelo, y del diez por ciento (10%) del peso del cemento cuando la dosificación de cemento sea menor.

Si la marcha de las obras lo aconseja, el Director podrá corregir la fórmula de trabajo, con objeto de mejorar la calidad de la estabilización; justificándolo debidamente, mediante un nuevo estudio y los ensayos oportunos.

#### 512.4.2 Preparación de la superficie existente

Cuando se emplee el procedimiento de mezcla in situ, utilizando el propio suelo de la explanada, deberá escarificarse dicho suelo en toda la anchura de la capa que se va a mezclar, y hasta una profundidad suficiente para producir, una vez compactada, una capa de suelo estabilizado del espesor señalado en los Planos y Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Si se añade suelo de aportación para corregir el existente, se mezclarán uniformemente ambos suelos en todo el espesor de la capa a estabilizar, antes de iniciar la distribución del cemento.

Si todo el suelo empleado es de aportación, o la mezcla se realiza en central, se comprobará, antes de extenderlo, que la superficie subyacente tiene la densidad exigida y las rasantes indicadas en los Planos, con las tolerancias establecidas en el presente Pliego.

Si en dicha superficie existen irregularidades que excedan de las mencionadas tolerancias, se corregirán, de acuerdo con lo que se prescribe en la unidad de obra correspondiente de este Pliego.

#### 512.4.3 Disgregación del suelo

El suelo que vaya a ser estabilizado se disgregará previamente, hasta conseguir una eficacia mínima del cien por ciento (100%), referida al cedazo 25 UNE, y del ochenta por ciento (80%) referida al tamiz 5 UNE. Por eficacia de disgregación se entiende la relación entre el cernido en seco en obra y el cernido en húmedo en laboratorio, por el tamiz a que se refiere.

#### 512.4.4 Humedad del suelo

La humedad del suelo disgregado, inmediatamente antes de su mezcla con el cemento, deberá ser tal, que permita una subsiguiente mezcla uniforme e íntima de ambos, con el equipo que se utilice, y no deberá rebasar la fijada en la fórmula de trabajo. En caso necesario podrá humedecerse previamente el suelo para facilitar dicha mezcla; pero, en el caso de mezcla in situ, no podrá distribuirse el cemento mientras queden concentraciones superficiales de humedad.

Los suelos cohesivos secos se humedecerán el día anterior al de la ejecución de la mezcla, para que todos los grumos resulten interiormente mojados.

## **512.5 METODO DE MEZCLA IN SITU**

### **512.5.1 Distribución del cemento**

El cemento se distribuirá uniformemente, de acuerdo con la dosificación establecida, utilizando maquinaria adecuada, aprobada por el Director.

En zonas en que, por su reducida extensión, no se justifique, a juicio del Director, el empleo de maquinaria, el cemento podrá distribuirse a mano. Para ello los sacos se colocarán sobre el suelo, formando filas longitudinales y transversales, a una distancia adecuada unos de otros, según la dosificación que corresponda. La distancia entre las filas longitudinales será aproximadamente igual a la distancia entre las transversales.

Las operaciones de distribución se suspenderán en caso de viento fuerte.

El cemento extendido que haya sido desplazado se reemplazará antes del mezclado.

### **512.5.2 Mezcla del suelo con el cemento**

Antes de que haya transcurrido una hora (1 h) desde el vertido del cemento en un punto cualquiera, se procederá en dicho punto a mezclar el cemento con el suelo, hasta lograr que no se aprecien grumos de cemento en el amasijo.

### **512.5.3 Adición de agua**

Inmediatamente después de la mezcla de cemento con el suelo, se añadirá el agua necesaria para que la humedad de la mezcla alcance el valor fijado en la fórmula de trabajo, teniendo en cuenta las precipitaciones y evaporaciones de agua que puedan tener lugar durante la ejecución de los trabajos.

El agua se agregará uniformemente, y deberá evitarse que escurra por las roderas dejadas por el equipo de humectación.

Por ningún concepto se permitirá que los tanques regadores se paren mientras rieguen, y formen zonas con exceso de humedad. Para evitar interrupciones, se emplearán los equipos regadores necesarios; y la adición de agua continuará hasta que la mezcla tenga en cualquier punto la humedad debida, uniformemente repartida, dentro de las dos horas (2 h) siguientes al vertido del cemento en dicho punto.

### **512.5.4 Mezcla final**

La velocidad de las máquinas deberá regularse convenientemente y las operaciones de mezclado y nivelación deberán coordinarse para obtener un material homogéneo. Cuando no se disponga de un medio rápido que asegure la uniformidad de la mezcla, se continuará hasta que ésta presente un color uniforme.

La mezcla en cualquier punto no podrá permanecer más de media hora (1/2 h), sin que se proceda a su compactación y acabado, o a una nueva remoción y mezclado.

## **512.6 METODO DE MEZCLA EN CENTRAL**

### **512.6.1 Fabricación de la mezcla**

La mezcla se realizará en una amasadera, provista de dosificadores que permitan suministrar, por separado, el suelo disgregado y con la humedad adecuada, el cemento y el agua, en las proporciones y con las tolerancias fijadas en la fórmula de trabajo.

Una vez mezclados, el cemento y el suelo, de manera que en el amasijo no se aprecien grumos de cemento, se añadirá el agua necesaria para alcanzar la humedad fijada en la fórmula de trabajo. Se tendrán en cuenta las precipitaciones y evaporaciones de agua que puedan tener lugar durante la realización de los trabajos.

La amasadura se proseguirá hasta obtener un material homogéneo. Cuando no se disponga de un medio rápido que asegure la uniformidad de la mezcla, se continuará hasta que ésta presente un color uniforme.

El Director fijará, a partir de los ensayos iniciales, el tiempo mínimo de amasado.

En las instalaciones de mezcla discontinua, no se volverá a cargar la amasadera sin haber vaciado, totalmente, su contenido.

### **512.6.2 Transporte de la mezcla**

En el transporte de la mezcla se tomarán las mayores precauciones para reducir al mínimo la segregación y las pérdidas de humedad. En tiempo caluroso, o para distancias de transporte en que se presuma que pueden producirse pérdidas apreciables de humedad, se cubrirá la mezcla con lonas u otros cobertores adecuados.

### **512.6.3 Vertido y extensión de la mezcla**

Una vez comprobada la superficie de asiento del suelo estabilizado con cemento, e inmediatamente antes de la extensión del mismo, se regará dicha superficie, de forma que quede húmeda, pero no encharcada.

El vertido y la extensión se realizarán tomando las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

El espesor de la tongada, antes de compactar, deberá ser tal que con la compactación se obtenga el espesor previsto en los Planos, con las tolerancias establecidas en el presente Artículo, teniendo en cuenta que, en ningún caso, se permitirá el recrecido de espesor en capas delgadas una vez efectuada la compactación.

No se permitirá la colocación de la mezcla por semianchos continuos, con más de una hora (1 h) de diferencia entre los instantes de sus respectivas extensiones; a no ser que el Director autorice la ejecución de una junta de construcción longitudinal.

Si el suelo estabilizado con cemento se extiende en una sola tongada, el equipo de compactación deberá ser capaz de alcanzar la densidad especificada, en todo su espesor, dentro del plazo señalado en el apartado 512.7. De lo contrario, deberá extenderse el suelo estabilizado en dos (2) o más tongadas, cada una de espesor lo suficientemente reducido para que, con los medios disponibles, se obtenga en todo el espesor el grado de compactación exigido.

En este último caso, la tongada superior se extenderá inmediatamente después de compactada la inferior. En cualquier caso, la compactación total debe quedar terminada antes de transcurrir el plazo señalado en el apartado 512.7. Si no se pudiese realizar la compactación total dentro de dicho plazo, no se extenderá la capa superior hasta pasados tres días (3 d), como mínimo.

#### 512.7 COMPACTACION DE LA MEZCLA

La compactación, en cualquier punto, deberá comenzar cuando se alcance en él la humedad prescrita; y en el caso de mezcla en central, antes de que haya transcurrido una hora (1 h) desde el mezclado.

Al principio de la compactación, la humedad del suelo estabilizado con cemento no deberá diferir, de la fijada en la fórmula de trabajo, en más del dos por ciento (2 %) del peso de mezcla. Si, a pesar de ello, al compactar se produjeran fenómenos de inestabilidad o arrollamiento, deberá reducirse la humedad por nueva mezcla y/o aireación, hasta que dejen de producirse tales fenómenos.

En el caso de que fuera preciso añadir agua, esta operación se efectuará de forma que la humectación de los materiales sea uniforme.

En el momento de iniciar la compactación, la mezcla deberá hallarse suelta en todo su espesor.

La compactación se iniciará longitudinalmente por el borde más bajo de las distintas bandas, y se continuará hacia el borde más alto de la capa; solapándose los elementos de compactación en sus pasadas sucesivas, que deberán tener longitudes ligeramente distintas. En el caso de mezcla en central, deberá disponerse en los bordes una contención lateral adecuada, que podrá consistir en unas creces.

Durante la compactación deberá procederse a una nivelación y conformación de la superficie obtenida, para conseguir la rasante y sección definidas en los Planos, con las tolerancias establecidas en el presente Artículo.

Los equipos de compactación que se utilicen serán los necesarios para conseguir que la compactación termine dentro de las cuatro horas (4 h) siguientes a la incorporación del cemento al suelo; plazo que se reducirá a tres horas (3 h) si la temperatura del aire es superior a treinta grados centígrados (30° C).

En las fases finales de la compactación se evitará sobrecargar el suelo estabilizado con compactadores demasiado pesados, o con procesos de compactación demasiado largos; que en ningún punto podrán exceder de las dos horas (2 h) a partir del comienzo de la compactación en dicho punto.

La densidad a obtener se fijará en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y deberá ser, como mínimo, igual a la que corresponda al porcentaje de la máxima obtenida en el ensayo Proctor normal, según la Norma NLT-107/72, que se señala a continuación:

- Capas de explanada: Noventa y siete por ciento (97 %).
- Capas de firme: Cien por ciento (100 %).

Las zonas que por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de fábrica no permitan el empleo del equipo que normalmente se estuviera utilizando para la compactación de la capa, se compactará con los medios adecuados para el caso; de forma que las densidades que se alcancen no sean inferiores a las obtenidas en el resto de la capa.

#### **512.8 ACABADO DE LA SUPERFICIE**

Una vez terminada la compactación de la tongada no se permitirá su recrecido. Sin embargo, y siempre dentro del plazo máximo de ejecución establecido, se podrá hacer el refinado con niveladora, hasta conseguir la rasante y sección definidas en los Planos, con las tolerancias establecidas en el presente Artículo. A continuación, se procederá a eliminar de la superficie todo el material suelto, por medio de barredoras mecánicas u otros medios adecuados y a la recompactación posterior del área corregida.

#### **512.9 EJECUCION DE JUNTAS**

Las juntas de trabajo se dispondrán de forma que su borde quede perfectamente vertical, debiendo recortarse parte de la capa terminada.

Se dispondrán juntas transversales cuando el proceso constructivo se interrumpa más de tres horas (3 h). Si se trabaja por fracciones del ancho, se dispondrán juntas longitudinales si existe una demora superior a una hora (1 h) entre las operaciones en franjas contiguas.

#### **512.10 CURADO DE LA MEZCLA**

La mezcla se mantendrá húmeda, por lo menos, durante los siete días (7 d) que sigan a su terminación. Para ello, antes de que transcurran veinticuatro horas (24 h) del final de las operaciones de acabado, y cuando la superficie esté todavía húmeda, se podrá aplicar un producto bituminoso, del tipo y en la cantidad que figuren en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o, en su defecto, señale el Director, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 531, «Riegos de adherencia».

Sobre las capas de firme constituidas por suelos estabilizados con cemento, se prohibirá la circulación de todo tipo de tráfico, por lo menos durante los tres (3) días siguientes a su terminación, y de vehículos pesados durante los siete (7) días siguientes a su terminación. Si durante este período los equipos de construcción, u otro tráfico, deben circular ineludiblemente por encima del riego de curado, el Director podrá ordenar se recubra éste con arena o tierra, con una dotación no superior a seis litros por metro cuadrado (6 l/m<sup>2</sup>). Al cabo de los siete días (7 d), se procederá a eliminar la arena o tierra por medio de barredoras mecánicas u otros medios adecuados.

Si dentro de los siete (7) primeros días de la fase de curado se presentasen heladas, la capa estabilizada deberá protegerse adecuadamente contra las mismas.

#### 512.11 TRAMOS DE PRUEBA

Al iniciarse los trabajos, el Contratista construirá una sección de ensayo del ancho y longitud adecuados, de acuerdo con las condiciones establecidas anteriormente, y en ella se probará el equipo y se determinará el plan de trabajo.

Se tomarán muestras del suelo estabilizado, y se ensayarán para determinar su conformidad con las condiciones especificadas sobre grado de disgregación del suelo, humedad, espesor de la capa, densidad, proporción de cemento y demás requisitos exigidos.

En el caso de que los ensayos indicasen que el material estabilizado no se ajusta a dichas condiciones, deberán hacerse inmediatamente las necesarias correcciones; y, si fuera preciso, se modificará la fórmula de trabajo, repitiéndose la sección de ensayo una vez efectuadas las correcciones.

#### 512.12 TOLERANCIAS DE LA SUPERFICIE ACABADA

Dispuestas estacas de refino, niveladas hasta milímetros (mm) con arreglo a los Planos, en el eje y bordes de perfiles transversales, cuya distancia no exceda de veinte metros (20 m), se comparará la superficie acabada con la teórica, que pase por las cabezas de dichas estacas.

La superficie acabada no deberá rebasar a la teórica en ningún punto, ni quedar por debajo de la misma en más de un quinto (1/5) del espesor previsto en los Planos y Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para la capa de suelo estabilizado con cemento.

La superficie acabada no deberá variar en más de diez milímetros (10 mm) cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), aplicada tanto paralela como normalmente al eje de la carretera.

Las zonas en que no se cumplan las tolerancias antedichas, o que retengan agua sobre la superficie, deberán corregirse de acuerdo con lo siguiente:

- El recorte, y recompactación de la zona alterada, sólo podrá hacerse si se está dentro del plazo máximo fijado para la puesta en obra. Si se hubiera rebasado dicho plazo, se reconstruirá totalmente la zona afectada, de acuerdo con las instrucciones del Director.
- El recrecimiento en capa delgada no se permitirá en ningún caso. Si la rasante de la capa de suelo estabilizado con cemento queda por debajo de la teórica en más de las tolerancias admitidas, se adoptará una de las siguientes soluciones, según las instrucciones del Director:
  - Incremento del espesor de la capa inmediatamente superior.
  - Reconstrucción de la capa de suelo estabilizado con cemento.



### 512.13 LIMITACIONES DE LA EJECUCION

Las estabilizaciones con cemento se efectuarán cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior a los cinco grados centígrados ( $5^{\circ}\text{C}$ ), y no exista fundado temor de heladas. No obstante, si la temperatura ambiente tiene tendencia a aumentar, podrá fijarse en dos grados centígrados ( $2^{\circ}\text{C}$ ) la temperatura límite, para poder realizar la estabilización.

En el caso de mezcla in situ, el cemento se extenderá solamente en la superficie que pueda quedar terminada en la jornada de trabajo.

### 512.14 MEDICION Y ABONO

En el caso de que la totalidad del suelo estabilizado sea de aportación, no habrá lugar al abono por separado de la preparación de la superficie existente; considerándose ésta incluida en la unidad de obra correspondiente a la construcción de la capa subyacente, siempre y cuando dicha construcción haya sido realizada bajo el mismo Contrato. De no cumplirse alguna de las condiciones anteriores, la preparación de la superficie existente se abonará por metros cuadrados ( $\text{m}^2$ ) realmente preparados, medidos en el terreno.

El cemento empleado en la estabilización se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra, medidas antes de su empleo, por pesada directa en báscula debidamente contrastada; o, si el Director lo autoriza, por sacos enteros, adoptándose como peso unitario el de cincuenta kilogramos (50 kg) por saco. No se abonará el cemento desplazado antes de la mezcla in situ.

La ejecución del suelo estabilizado con cemento se abonará por metros cúbicos ( $\text{m}^3$ ) de material realmente estabilizado, los cuales se obtendrán, en el caso de mezcla in situ, como producto de la superficie realmente estabilizada, medida sobre el terreno, por el espesor medio estabilizado, deducido de los ensayos de control de espesor; y, en el caso de mezcla en central, se obtendrán directamente de la cubicación de las secciones tipo señaladas en los Planos.

La aplicación del ligante bituminoso para el curado se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra, medidas antes de su empleo. Si la deducción tuviera que hacerse a partir de su volumen, éste deberá reducirse al correspondiente a la temperatura de veinticinco grados centígrados ( $25^{\circ}\text{C}$ ), por medio de las tablas de corrección correspondientes a su naturaleza.