



Tratamiento de suelos.

Capas de base con ligantes hidráulicos



Índice

1	Tratamiento de suelos	11
1.1	Determinación de conceptos y términos	12
1.1.1	Definiciones según RStO 12	12
1.1.2	Términos y normativas relacionados con el tratamiento de suelos	14
1.1.3	Asignación de las normativas a las capas	16
1.2	Definiciones de términos relacionados con el tratamiento de suelos	18
1.2.1	Estabilización de suelos	18
1.2.2	Mejoramiento de suelos	18
1.2.3	Mejoramiento cualificado de suelos	18
1.2.4	Capas de base con ligantes hidráulicos	18
1.3	Estudios geotécnicos	19
1.3.1	Generalidades	19
1.3.2	Descripción de los tipos de suelos conforme a la norma DIN EN ISO 14688-1 (antiguamente: 4022, parte 1)	19
1.3.3	Clasificación de suelos conforme a DIN 18196	20
1.3.3.1	Grupos de suelos	20
1.3.3.2	Fundamento de la clasificación de suelos	21
1.3.3.3	Suelos de grano grueso	22
1.3.3.4	Suelos de grano mixto	22
1.3.3.5	Suelos de grano fino	22
1.3.3.6	Suelos organógenos y orgánicos	22
1.3.3.7	Diagrama	23
1.3.3.8	Clasificación de suelos según sus propiedades plásticas	24
1.3.3.8.1	Determinación de la consistencia	24
1.3.3.8.2	Diagrama de plasticidad para la clasificación de los tipos de suelo de grano fino	25
1.3.3.9	Clasificación de suelos según DIN 18196	26
1.4	Sensibilidad a las heladas de suelos y rocas de dureza variable	30
1.4.1	Clasificación de grupos de suelos según la sensibilidad a las heladas	30
1.4.2	Sensibilidad a las heladas tras un mejoramiento del suelo con ligantes	31
1.5	Aplicación	32
1.5.1	Mejoramiento de suelos	32
1.5.2	Mejoramiento cualificado de suelos	32

1.5.2.1	Reducción del espesor de la superestructura mediante un mejoramiento cualificado del suelo	34
1.5.2.2	Requisitos que debe cumplir el mejoramiento cualificado del suelo en el área de la subrasante	35
1.5.3	Estabilización de suelos	36
1.5.3.1	Afirmado del suelo sin consideración de la superestructura	36
1.5.3.2	Afirmado del suelo con consideración de la superestructura	37
1.5.3.3	Extracto de la tabla 1 de la directiva RStO 12	38
1.5.3.4	Extracto de la tabla 2 de la directiva RStO 12	40
1.6	Fundamentos para los movimientos de tierra	42
1.6.1	Compactación	42
1.6.2	Requisitos de compactación del subsuelo y cimiento del firme	42
1.6.3	Requisitos que debe cumplir la subrasante	43
1.6.4	Módulo de deformación en la subrasante de tierra (10 % de cuantil mínimo)	44
1.6.5	Requisitos que deben cumplir los parámetros de compactación	45
1.7	Aseguramiento de la calidad	46
1.7.1	Pruebas previas a la realización de las obras	46
1.7.1.1	Pruebas que realiza la empresa contratante	46
1.7.1.2	Pruebas que realiza la empresa contratada	46
1.7.1.3	Especificaciones para ensayos de adecuación	49
1.7.2	Pruebas durante la realización de las obras	50
1.7.2.1	Tipo y volumen de las pruebas durante el tratamiento de suelos	50
1.7.2.2	Métodos y procedimientos de pruebas	52
1.7.2.2.1	Métodos de pruebas de los parámetros de compactación	53
1.7.2.2.2	Procedimientos de pruebas para determinar parámetros de compactación	54
1.7.2.2.3	Comprobación del módulo de deformación, de la posición de acuerdo con el perfil y de la planeidad en la subrasante	57
1.8	Suelos y materiales de construcción minerales para el tratamiento de suelos	58
1.8.1	Suelos adecuados (según DIN 18196)	58
1.8.2	Suelos parcialmente adecuados (según DIN 18196) y materiales de construcción	58
1.8.3	Suelos inadecuados	58
1.8.4	Granulación natural y artificial de rocas y materiales de construcción reciclados	59

Índice

1.8.5	Influencia del sulfato	59
1.9	Ligantes	60
1.9.1	Generalidades	60
1.9.2	Tipos de ligantes	60
1.9.3	Modo de acción de los ligantes	60
1.9.3.1	Cales para obras	60
1.9.3.2	Cementos	62
1.9.3.3	Ligantes mezclados	62
1.9.4	Ligantes con características especiales	63
1.9.4.1	Ligantes con desprendimiento reducido de polvo	63
1.9.4.2	Ligantes hidrófobos	63
1.9.5	Campos de aplicación de los ligantes	64
1.9.6	Vida útil de los ligantes	66
1.9.7	Tiempos de reacción de los ligantes	66
1.10	Agua	68
1.11	Influencias meteorológicas	70
1.11.1	Precipitaciones	70
1.11.2	Viento	70
1.11.3	Temperatura	71
1.12	Tratamiento de suelos – realización de obras	72
1.12.1	Procedimientos de mezclas	72
1.12.2	Adición de ligantes sin polvo	72
1.12.3	Mixed-in-Place (procedimiento de mezcla en el lugar de obras)	74
1.12.3.1	Fundamentos del procedimiento de mezcla en la planta (para todos los sectores del tratamiento de suelos)	74
1.12.4	Requisitos que debe cumplir el tratamiento de suelos	80
1.12.4.1	Cantidad de ligantes	80
1.12.4.2	Parámetros de compactación	80
1.12.4.3	Comprobación de la cantidad de ligantes	82
1.12.4.4	Superficie	82
1.12.4.5	Planeidad	82
1.12.4.6	Espesor de extendido	82

1.13	Rellenos posteriores de obras de construcción	84
1.13.1	Conceptos	84
1.13.2	Materiales de construcción	84
1.13.2.1	Zona de drenaje	84
1.13.2.2	Zona de relleno y vertido	84
1.13.3	Compactación	85
1.14	Llenado de zanjas de tubos y cables	86
1.14.1	Generalidades	86
1.14.2	Incorporación del ligante	86
1.14.3	Compactación	86
2	Capas de base con ligantes hidráulicos	91
2.1	Generalidades	91
2.2	Terminología	92
2.3	Capas de base con ligantes hidráulicos según ZTV Beton-StB (Condiciones contractuales técnicas adicionales y directivas para la construcción de capas portantes con ligantes hidráulicos y capas de carreteras de hormigón) y compactación del suelo según ZTV E-StB (Condiciones contractuales técnicas adicionales para prestaciones en obras viales y de puentes)	93
2.4	Principios de producción	94
2.4.1	Generalidades	94
2.5	Ensayos – Definiciones	95
2.5.1	Ensayo inicial (ensayo de idoneidad)	95
2.5.2	Control de producción del fabricante	95
2.5.3	Ensayo de autocontrol	97
2.5.4	Ensayo de control	97
2.6	Materiales de construcción	98
2.6.1	Suelos y rocas granuladas para compactaciones	98
2.6.2	Roca granulada y mezclas de materiales de construcción para capas de base ligadas de forma hidráulica	99
2.6.3	Roca granulada y mezclas de materiales de construcción para capas de base de hormigón	102

Índice

2.6.4	Ligantes hidráulicos	103
2.6.5	Agua	104
2.6.6	Aditivos/materiales adicionales del hormigón	104
2.7	Requisitos que deben cumplir las capas de base con ligantes hidráulicos	105
2.7.1	Cálculo	105
2.7.2	Capas de superestructura con ligantes	105
2.7.3	Grosores mínimos de extendido	105
2.7.3.1	Compactaciones	105
2.7.3.2	Capas de base ligadas de forma hidráulica	105
2.7.3.3	Capas de base de hormigón	106
2.7.4	Formación de bordillos de las capas de base	106
2.7.4.1	Detalle de la formación de los bordillos	107
2.7.5	Desagüe de capas de base	108
2.7.6	Ejecución con temperaturas bajas/altas y heladas	108
2.7.7	Posición acorde con el perfil	108
2.7.8	Planeidad	108
2.7.9	Tolerancias del grosor de extendido	109
2.7.10	Muescas o juntas	109
2.7.11	Tratamiento ulterior	110
2.7.11.1	Resumen de los requerimientos para capas de base con ligantes hidráulicos según las condiciones contractuales técnicas adicionales y directivas para la construcción de capas portantes con ligantes hidráulicos y capas de carreteras de hormigón (ZTV Beton-StB)	112
2.8	Ejecución de compactaciones	114
2.8.1	Requisitos que deben cumplir las mezclas de materiales de extendido para compactaciones	114
2.8.2	Producción	114
2.8.3	Procedimiento de mezcla en el lugar de obras	114
2.8.4	Procedimiento de mezcla centralizado	115
2.8.5	Extendido y compactación	116
2.8.6	Requisitos que deben cumplir el grado de compactación	116
2.9	Ejecución de capas de base ligadas hidráulicamente	117

2.9.1	Requisitos que debe cumplir la mezcla de materiales de extendido	117
2.9.2	Producción, transporte y extendido	117
2.9.3	Requisitos que debe cumplir la capa terminada	118
2.10	Tipo y alcance de los ensayos	119
2.10.1	Ensayo inicial para compactaciones	119
2.10.2	Ensayo inicial para capas de base ligadas hidráulicamente	121
2.10.3	Ensayo de autocontrol y ensayo de control para compactaciones	122
2.10.4	Ensayo de autocontrol y ensayo de control para capas de base ligadas hidráulicamente	124
2.10.5	Ensayo de autocontrol y ensayo de control para capas de base de hormigón	125
2.11	Utilización de granulado de asfalto y materiales fresados de carreteras con contenido bituminoso en capas de base con ligantes hidráulicos	126
2.11.1	Generalidades	126
2.11.2	Materiales de base – roca granulada	126
2.11.3	Aditivos	126
2.11.4	Almacenamiento de sustancias con contenido bituminoso	127
2.11.5	Mezclas de materiales de construcción	127
2.11.6	Requisitos	127
2.11.7	Ensayo inicial	127
Notas bibliográficas		128
Obras de consulta técnicas		129

1.6 Fundamentos para los movimientos de tierra

1.6.1 Compactación

Antes de comenzar con los trabajos de compactación, la empresa contratada deberá comprobar en un campo de prueba que el suelo cumple los requisitos de compactación.

El espesor máximo del material vertido (o bien, el espesor máximo de la capa mejorada) deberá ser sólo de tal tamaño que se alcance el grado de compactación prescrito en todo el espesor de la capa.

En el área de terraplenes se aplican unas condiciones especiales en cuanto a la compactación y la realización de las obras, lo que, en caso de una compactación del suelo o de la superestructura, puede repercutir en la anchura del material vertido de un terraplén.

Al extender materiales de construcción sensibles a las condiciones meteorológicas, las superficies de material vertido deberán contar con una pendiente transversal del 6 % como mínimo.

1.6.2 Requisitos de compactación del subsuelo y cimiento del firme

El subsuelo o la infraestructura de carreteras y caminos se tienen que compactar de tal manera que cumplan las siguientes exigencias del cuantil

mínimo del 10 % para el grado de compactación de D_{Pr} o del cuantil máximo del 10 % para el porcentaje de poros de aire n_a .

Área	Grupos de suelos	D_{Pr} en %	n_a en % en vol.
Subrasante de hasta 1,00 m de profundidad de terraplenes, subrasante de hasta 0,50 m de profundidad de desmontes	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	100	–
1,00 m por debajo de la subrasante hasta la base del terraplén	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	98	–
Subrasante hasta la base del terraplén, subrasante de hasta 0,50 m de profundidad de desmontes	GU*, GT*, SU*, ST* U, T, OU ¹⁾ , OT ¹⁾	97	12 ²⁾

1) Para suelos de los grupos OU y OT, los requisitos solo se aplican si la idoneidad y las condiciones de extendido se analizan por separado y si se han determinado de común acuerdo con la empresa contratante.

2) Si no se prevé la compactación o el mejoramiento cualificado de los suelos, se recomienda cumplir un cuantil máximo del 10 % para el porcentaje de poros de aire
· en caso de extendido de suelos sensibles al agua, mixtos y de granos finos del 8 % vol.,
· en caso de extendido de rocas de dureza variable del 6 % vol.
Esto deberá mencionarse en la descripción de las prestaciones.

1.6.3 Requisitos que debe cumplir la subrasante

La subrasante se tiene que producir de acuerdo con el perfil y tiene que ser llana y resistente a la carga.

Requisitos que debe cumplir la subrasante en cuanto al perfil:

Divergencia ± 3 cm de la altura teórica
 ± 2 cm, si se ha previsto colocar encima una capa de base ligada

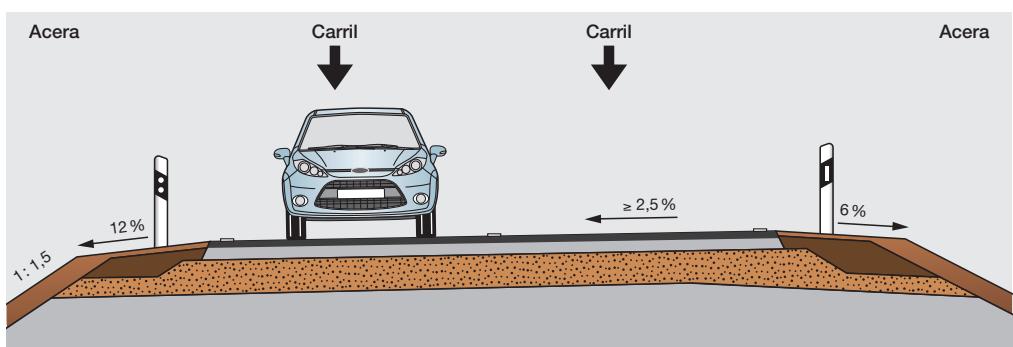
La inclinación transversal de la subrasante será:

- > $\geq 4,0\%$ en caso de suelos y materiales de construcción sensibles al agua
- > $\geq 2,5\%$ después del tratamiento del suelo con ligantes

Con la reducción de la inclinación transversal tras el tratamiento del suelo se obtiene un enorme potencial de ahorro de material para la superestructura.

Ejemplo: $q_{carretera} = 2,5\%$
 $q_{rasante} = 4,0\%$
Subrasante ancha = 6,00 m
→ Ahorro: aprox. $0,30 \text{ m}^3/\text{m}$

La subrasante deberá contar con un declive en sentido opuesto en el borde elevado de la carretera.



Debido a la tecnología de producción y/o de las máquinas, la conformación de los bordillos en la construcción de terraplenes posiblemente puede precisar un perfil mayor después de un tratamiento del suelo en la zona de la subrasante.

1.12 Tratamiento de suelos – realización de obras

1.12.1 Procedimientos de mezclas

Por regla general se hace una distinción entre dos procedimientos de producción de una mezcla de suelo y ligante.

> Mixed-in-Plant (procedimiento de mezcla centralizado)

Si por razones técnicas (p. ej. pozos, sumideros, ampliaciones de la calle, zanjas, etc.) no fuere posible realizar el procedimiento de mezcla en el lugar de obras o si este resultare poco económico, se podrán utilizar mezclas de suelo y ligantes producidas mediante el procedimiento de mezcla centralizado.

Normalmente no es posible producir de forma económica una mezcla de suelo y ligantes en el tratamiento de suelos mediante el procedimiento de mezcla centralizado.

> Mixed-in-Place (procedimiento de mezcla en el lugar de obras)

El procedimiento Mixed-in-Place es el procedimiento más usual en el tratamiento de suelos.

La mezcladora se desplaza por encima de la capa preparada para el tratamiento del suelo e incorpora el ligante previamente esparcido y el agua que pudiera ser necesaria.

Dependiendo del lugar de descarga y del lugar de incorporación, el orden de las distintas operaciones puede variar.

> Forma especial

Si no es posible utilizar una mezcladora en el lugar de la incorporación (en caso de ampliaciones de carreteras, rellenos de zanjas de tuberías, relleno de obras de construcción y en poblaciones, en las que se tienen que evitar los remolinos de ligantes, etc.), será posible distribuir e incorporar el ligante en el lugar de descarga. A continuación, la mezcla de suelo y ligante se transporta al lugar de extendido, en donde se extiende y compacta.

1.12.2 Adición de ligantes sin polvo

El «S-Pack» (Spreader-Pack) integrado de forma opcional en las máquinas WR 240, WR 240 i o WR 250 se utiliza para el esparcido de ligantes sin producir polvo durante el proceso de reciclaje en frío y estabilización de suelos. Controlado por microprocesadores, este dispositivo coloca la cal o el cemento directamente delante del rotor de fresado y de mezcla. Sobre todo en autopista, en zonas industriales que exigen el cumplimiento de estrictas disposiciones relacionadas con las emisiones, en zonas residenciales y reservas naturales, el «S-Pack» garantiza el procesamiento de ligantes sin generar polvo.

El esparcidor se llena por completo en menos de cinco minutos. El «S-Pack» vacía un tren de silo convencional de 27 t con toda facilidad en solo dos horas. El manejo y la supervisión del proceso de esparcido se realizan de forma intuitiva a través de la pantalla de control instalada. La enorme capacidad de marcha sobre todo terreno de la serie WR permite esparcir ligantes de forma segura y precisa, incluso en zonas a las que no pueden acceder esparcidores autopropulsados con carga pesada.



2.2 Terminología

Las capas de base con ligantes hidráulicos se distinguen según la tecnología, el material de partida y el procedimiento de mezcla entre

> Compactación con ligantes hidráulicos

Las compactaciones son procesos de construcción para aumentar la resistencia de las capas de base no ligadas frente a las cargas impuestas por el tráfico y el clima. La mezcla de materiales de construcción se compacta después del extendido. Para ello se añaden ligantes hidráulicos y agua a los suelos y/o a las mezclas de materiales de construcción por el procedimiento de mezcla in situ en obra o en central

- Procedimiento de mezcla in situ en obra
La mezcladora se desplaza sobre la capa preparada para la compactación; la escarifica y mezcla el ligante hidráulico previsto junto con el agua aún necesaria.

- Procedimiento de mezcla en central
El suelo o la mezcla de roca clasificada se mezclan con el ligante previsto y el agua (agua añadida) en mezcladoras estacionarias, se transporta al lugar de la obra y se extiende allí

> Capas de base ligadas de forma hidráulica

(HGT, por sus siglas en alemán, producidas únicamente en el procedimiento de mezcla en central)

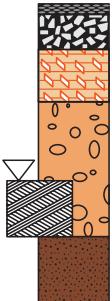
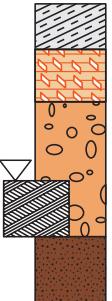
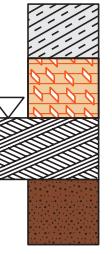
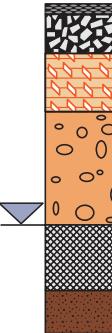
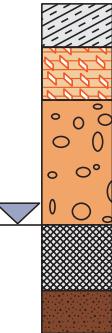
Las capas de base ligadas de forma hidráulica (HGT) se componen de mezclas de materiales de construcción no triturados y/o triturados y ligantes hidráulicos. La distribución del tamaño del grano debe encontrarse dentro de los rangos de curva granulométrica especificados. La mezcla de materiales de extendido debe producirse en instalaciones de mezcla.

> Capas de base de hormigón

Las capas de base de hormigón son capas de base formadas con hormigón según DIN EN 206-1 y DIN 1045-2.



2.3 Capas de base con ligantes hidráulicos según ZTV Beton-StB¹⁾ y compactación del suelo según ZTV E-StB²⁾

Posición de las capas de base con ligantes hidráulicos según las condiciones contractuales técnicas adicionales y directivas para la construcción de capas portantes con ligantes hidráulicos y capas de carreteras de hormigón (ZTV Beton-StB)				Posición de la compactación del suelo en el subsuelo o infraestructura según las condiciones contractuales técnicas adicionales para prestaciones en obras viales y de puentes (ZTV E-StB)	
Firme de asfalto Capa de base de asfalto	Firme de hormigón	Firme de adoquín	Superestructura de hormigón	Firme de asfalto Capa de base de asfalto	Firme de hormigón
					



Material resistente a las heladas [FSS]
(extendido o depositado)



Capas de base con ligantes hidráulicos



Compactación del subsuelo o de la infraestructura



Subsuelo (suelos F2/F3)



Módulo de deformación en la subsanante de tierra
 $E_{2\%} \geq 45 \text{ MN/mm}^2$



Grado de compactación
 $D_{pr} \geq 98\%$

¹⁾ Condiciones contractuales técnicas adicionales y directivas para la construcción de capas portantes con ligantes hidráulicos y capas de carreteras de hormigón

²⁾ Condiciones contractuales técnicas adicionales para prestaciones en obras viales y de puentes

2.6.3 Roca granulada y mezclas de materiales de construcción para capas de base de hormigón

Las rocas granuladas como las que se citan en el apartado 2.6.2, las rocas granuladas y mezclas de materiales de construcción para HGT, pero con la limitación de que las SFA apropiadas no se pueden emplear como suplemento de las rocas gra-

nuladas, sino solamente como material adicional. Las curvas granulométricas que deben cumplirse se rigen por los requerimientos de las normas DIN EN 206-1 y DIN 1045-2.



2.6.4 Ligantes hidráulicos

A modo de ligantes se utilizan cementos según DIN EN 197 o DIN 1164-10 con arreglo a la tabla o aglomerantes hidráulicos de suelos y capas

de base según DIN 18506 (clases de resistencia mecánica 12,5 y 32,5).

Tipos principales de cemento	Denominación de los tipos de cemento	Componentes principales					
CEM I	Cemento Portland						
CEM II	Cemento Portland siderúrgico	A/B	S	Escoria de alto horno granulada			
	Cemento Portland de polvo de silicato	A	D	Polvo de silicato			
	Cemento Portland de puzolana	A/B	P/Q	Puzzolane			
	Cemento Portland de cenizas volantes	A	V	Ceniza volante			
	Cemento Portland de arcilla	A/B	T	Arcilla			
	Cemento Portland de caliza	A	LL	Piedra caliza			
CEM II-M	Cemento Portland compuesto	A	S-D, S-T, S-LL				
			S-P, S-V				
			D-T, D-LI, D-P				
			D-V				
			T-LL				
			P-V, P-T, P-LL				
		B	V-T, V-LL				
			S-D, S-T, S-P				
			D-T, D-P				
			P-T				
CEM III	Cemento de alto horno	A	S				
		B	S				
CEM IV	Cemento de puzolana	B	P ¹⁾				
CEM V	Cemento compuesto	A					
			S-P ²⁾				

¹⁾ Rige solo para cemento Trass según DIN 51043 como componente principal hasta un 40 %M como máximo

²⁾ Rige solo para cemento Trass según DIN 51043 como componente principal