

ÍNDICE

1	TRATAMIENTOS: MODIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	1
1.1	Modificación y estabilización de suelos	1
1.2	Tipos de tratamiento y campos de aplicación	2
1.2.1	<i>Aspectos generales</i>	2
1.2.2	<i>Secado de suelos para su uso en terraplenes y desmontes</i>	4
1.2.3	<i>Suelos mejorados para su empleo en núcleos de terraplén</i>	4
1.2.4	<i>Suelos mejorados o estabilizados para capas de asiento de firmes</i>	5
1.2.5	<i>Otros ejemplos de utilización</i>	6
1.3	Ventajas de los suelos estabilizados	8
1.3.1	<i>Ventajas técnicas</i>	8
1.3.2	<i>Ventajas económicas y ambientales</i>	8
1.3.3	<i>Limitaciones</i>	9
1.4	Desarrollo de la técnica	10
1.4.1	<i>Inicio de la técnica</i>	10
1.4.2	<i>Desarrollo de la técnica en España</i>	11
1.4.3	<i>Normativa española</i>	13
2	MATERIALES BÁSICOS	15
2.1	Suelos	15
2.1.1	<i>Características generales</i>	15
2.1.2	<i>Clasificación</i>	16
2.1.3	<i>Suelos en terraplenes y explanadas</i>	17
2.1.4	<i>Suelos en capas estabilizadas de explanadas</i>	18
2.2	Cales	20
2.3	Cemento	22
2.3.1	<i>Designación de los cementos españoles</i>	23
2.3.2	<i>Cementos más adecuados</i>	23
2.4	Agua	25
2.5	Aditivos	26
2.6	Emulsiones para riegos de curado	27
3	ACCIONES SOBRE LOS SUELOS	29
3.1	Efectos de la cal	29
3.1.1	<i>Mejora por modificación inmediata</i>	29
3.1.2	<i>Efectos a largo plazo</i>	32

3.2	Efectos de la incorporación del cemento	34
3.2.1	<i>Mejora por modificación inmediata</i>	34
3.2.2	<i>Efectos a medio y largo plazo</i>	35
3.3	Efectos de la adición conjunta de cal y cemento en dos etapas	36
3.4	Propiedades de los suelos estabilizados con cal	37
3.4.1	<i>Granulometría</i>	37
3.4.2	<i>Plasticidad</i>	37
3.4.3	<i>Capacidad de soporte</i>	37
3.4.4	<i>Estabilidad volumétrica</i>	41
3.4.5	<i>Resistencia a compresión</i>	41
3.4.6	<i>Resistencia frente a la acción del agua</i>	43
3.4.7	<i>Permeabilidad</i>	43
3.4.8	<i>Resistencia a los ciclos hielo-deshielo</i>	44
3.5	Propiedades de los suelos estabilizados con cemento	44
3.5.1	<i>Naturaleza de los suelos estabilizados con cemento</i>	44
3.5.2	<i>Propiedades en estado fresco</i>	46
3.5.3	<i>Propiedades físicas y mecánicas</i>	48
3.5.4	<i>Durabilidad</i>	58
4	MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN	61
4.1	Tratamientos con cal	61
4.1.1	<i>Preparación de las probetas y ensayos</i>	61
4.1.2	<i>Porcentaje mínimo de cal</i>	62
4.1.3	<i>Porcentaje óptimo de cal</i>	64
4.2	Dosificación con cemento	65
4.2.1	<i>Introducción</i>	65
4.2.2	<i>Determinaciones previas</i>	66
4.2.3	<i>Dosificación</i>	66
4.2.4	<i>Dosificación basada en la durabilidad</i>	76
4.2.5	<i>Otros ensayos de caracterización mecánica</i>	76
5	MAQUINARIA Y EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DE SUELOS	79
5.1	Introducción	79
5.2	Almacenamiento del conglomerante	79
5.2.1	<i>Silos fijos</i>	80
5.2.2	<i>Silos remolcables</i>	81
5.3	Preparación del suelo	82
5.3.1	<i>Cribas y máquinas despedregadoras</i>	82
5.3.2	<i>Maquinaria para la disgregación, escarificación o aireación del suelo</i>	84
5.4	Humectación y distribución del conglomerante	85
5.4.1	<i>Equipos para la distribución del conglomerante por vía seca</i> ..	85

5.4.2	<i>Equipos para la distribución del conglomerante por vía húmeda</i>	93
5.5	Mezcla in situ	95
5.5.1	<i>Maquinaria de origen agrícola</i>	96
5.5.2	<i>Equipos específicos de obra civil - Estabilizadores de suelos</i>	99
5.6	Compactación	104
5.6.1	<i>Rodillo estático tipo pata de cabra</i>	104
5.6.2	<i>Rodillo vibratorio liso</i>	106
5.6.3	<i>Rodillo vibratorio pata de cabra</i>	108
5.6.4	<i>Compactador de neumáticos</i>	108
5.7	Refino de la superficie	109
5.8	Curado y protección	111
5.9	Tratamiento en central	111
5.9.1	<i>Centrales de fabricación</i>	112
5.9.2	<i>Transporte</i>	113
5.9.3	<i>Extendido</i>	113
6	EJECUCIÓN DE LAS OBRAS	115
6.1	Planteamiento general	115
6.1.1	<i>Tratamiento de suelos en terraplenes y fondos de desmonte</i>	115
6.1.2	<i>Estabilización de las capas de apoyo del firme</i>	115
6.1.3	<i>Etapas</i>	117
6.1.4	<i>Consideraciones prácticas</i>	118
6.2	Secado de suelos	118
6.2.1	<i>Introducción</i>	118
6.2.2	<i>Técnicas de ejecución</i>	120
6.3	Tratamiento y estabilización de los suelos en la construcción de terraplenes y fondos de desmonte	122
6.3.1	<i>Introducción</i>	122
6.3.2	<i>Técnicas de ejecución</i>	123
6.4	Estabilización de capas del cimiento del firme	130
6.4.1	<i>Técnicas de ejecución</i>	130
6.4.2	<i>Limitaciones a la ejecución</i>	143
6.5	Guía práctica de identificación de problemas	144
7	GESTIÓN DE LA CALIDAD	147
7.1	Introducción	147
7.2	Especificaciones a considerar en el PAC para los tratamientos	149
7.2.1	<i>Establecimiento de las especificaciones de los materiales</i>	149
7.2.2	<i>Establecimiento de las especificaciones del proceso de ejecución</i>	151

7.3	Especificaciones de los tratamientos en formación de explanadas . . .	152
7.3.1	<i>Establecimiento de las especificaciones de los materiales</i>	152
7.3.2	<i>Suelos aptos para estabilizar para la formación de las explanadas</i>	155
7.3.3	<i>Características de los suelos una vez estabilizados para formación de explanadas</i>	156
7.3.4	<i>Establecimiento de las especificaciones del proceso de ejecución</i>	157
7.4	Elaboración del Plan de Aseguramiento de la Calidad	158
7.4.1	<i>Estructuración y división en lotes</i>	159
7.4.2	<i>Especificaciones Técnicas de Compra y Fichas de Recepción</i>	160
7.4.3	<i>Procedimiento técnico de ejecución de la estabilización</i>	161
7.4.4	<i>Plan de Puntos de Inspección y Fichas de Inspección</i>	161
7.5	Control y verificación de equipos	170
7.6	Detección y tratamiento de las no conformidades y medidas correctivas	170
7.7	Análisis de resultados	170
8	PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES	173
8.1	Identificación de riesgos	173
8.1.1	<i>Del proceso de ejecución</i>	173
8.1.2	<i>Exposición a agentes físicos o químicos</i>	173
8.2	Equipos y medios auxiliares	174
8.2.1	<i>Maquinaria</i>	174
8.2.2	<i>Elementos de protección colectiva</i>	174
8.2.3	<i>Equipos de protección individual (EPI)</i>	174
8.3	Procedimiento de trabajo	175
8.3.1	<i>Actuaciones previas</i>	175
8.3.2	<i>Ejecución</i>	175
8.4	Estabilización con cal	176
8.4.1	<i>Indicaciones generales</i>	176
8.4.2	<i>Protección personal</i>	177
8.4.3	<i>Manipulación y almacenamiento</i>	178
8.4.4	<i>Información toxicológica. Síntomas</i>	179
8.5	Estabilización con cemento	179
8.5.1	<i>Indicaciones generales</i>	179
8.5.2	<i>Protección personal</i>	180
8.5.3	<i>Manipulación y almacenamiento</i>	181
8.5.4	<i>Información toxicológica. Síntomas</i>	181
8.6	Normativa aplicable	182

9	PROYECTO DE EXPLANADAS ESTABILIZADAS	183
9.1	Planteamiento general	183
9.2	Normativa del Ministerio de Fomento	183
9.3	Normativas autonómicas	187
9.3.1	<i>Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos de la Junta de Castilla y León</i>	187
9.3.2	<i>Instrucción para el Diseño de Firmes de la Red de Carreteras de Andalucía</i>	189
9.3.3	<i>Otras normativas autonómicas</i>	190
9.4	Estudio global del diseño del firme y la explanada conjuntamente ...	190
10	ESTUDIO ECONÓMICO	193
10.1	Introducción	193
10.2	Costes de los distintos elementos que influyen en la estabilización (valoración en euros, 2007)	193
10.3	Ejemplo (precios en euros, 2007)	196
10.4	Algunas consideraciones prácticas para mejorar los rendimientos ...	199
10.4.1	<i>Organización de la obra</i>	199
10.4.2	<i>Suministro del conglomerante</i>	199
10.4.3	<i>Suministro de agua</i>	200
10.4.4	<i>Solapes</i>	200
10.4.5	<i>Desgastes</i>	200
10.4.6	<i>Maquinaria auxiliar</i>	200