

Materiales granulares tratados con cemento como capa estructural

Artículo 350 – 22

350.1 Descripción

Este trabajo consiste en la construcción de una capa estructural de pavimento, constituida por una mezcla uniforme de suelos o agregados (material adicionado totalmente o resultante de la escarificación de la capa superficial existente, o una mezcla de ambos), cemento hidráulico, agua y eventualmente aditivos, de acuerdo con las dimensiones, los alineamientos y las secciones indicados en los documentos del proyecto.

A criterio del interventor, y de común acuerdo con el constructor, la capa estructural de pavimento, construida bajo las especificaciones presentadas en este artículo, puede ser considerada como una capa de base mejorada, u otra capa, siempre que se garantice su adecuado desempeño para las condiciones requeridas dentro de la estructura. Se debe especificar en el pliego de condiciones, el tipo

de capa estructural que se planea lograr con este mejoramiento.

Para la estabilización de materiales granulares, se deben definir tramos homogéneos que permitan garantizar los diseños de mezcla, los procesos constructivos y el control de calidad de la obra.

Este artículo reemplaza a los artículos 350 — 13, Suelo-cemento; y 351 — 13, Base tratada con cemento.

350.2 Materiales

350.2.1 Clases de material estabilizado con cemento

Se definen cuatro (4) clases de material estabilizado con cemento, como se indica en la Tabla 350 — 1, en función de los criterios para el diseño de la mezcla.

Tabla 350 — 1. Clases de material para estabilizar con cemento

Clase de material estabilizado con cemento	Descripción	Nivel de tránsito
Clase-1	Material fino o granular que no cumple una gradación específica o que va a ser utilizado como capa estructural y como rodadura, cuando se trate de un pavimento unicapa.	NT1
Clase-2	Material fino o granular que no cumple una gradación específica y que va a ser utilizado como capa estructural.	NT1 y NT2

Clase de material estabilizado con cemento	Descripción	Nivel de tránsito
Clase-3	Mezcla uniforme de agregados pétreos que cumplen una gradación especificada en este artículo, para un nivel de tránsito medio, que va a ser utilizado como capa estructural (Nota).	NT2
Clase-4	Mezcla uniforme de agregados pétreos que cumplen una gradación especificada en este artículo, para un nivel de tránsito alto, que va a ser utilizado como capa estructural.	NT3

Nota: la mezcla uniforme de agregados pétreos puede provenir de material seleccionado y/o tratado de una planta de producción, o provenir de material escarificado del sitio y tratado. Cuando el constructor demuestre que el material escarificado del sitio cumple los requisitos indicados en el numeral 350.2.2, para el material Clase-4, se le permite usar dicho material para la construcción de capas en proyectos con tránsito NT3.

Los documentos del proyecto deben definir la clase de material por utilizar, además, deben definir el tipo de gradación, dentro de las opciones mencionadas en la Tabla 350 — 3. En el caso de las mezclas para rodadura, los documentos del proyecto pueden, además, especificar una resistencia mínima, superior a la establecida en el numeral 350.4.1.2.

350.2.2 Suelos o agregados por estabilizar

El material por estabilizar con cemento hidráulico puede provenir de la escarificación

de la capa superficial existente, o ser un suelo natural proveniente de excavaciones o zonas de préstamo, o agregados locales, o escorias, o mezclas de ellos. El material, ya combinado, debe estar libre de toda sustancia que pueda perjudicar el correcto fraguado del cemento. Además, debe cumplir los requisitos generales que se indican en la Tabla 350 — 2, y se debe ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se muestran en la Tabla 350 — 3.

Tabla 350 — 2. Requisitos de los materiales a ser tratados con cemento. (Nota 1)

Ensayo	Norma de ensayo	Material para tratar con cemento			
		Clase-1	Clase-2	Clase-3	Clase-4
Composición (F)					
Granulometría del material a tratar, listo para estabilizar.	INV E-123 e INV E-213	N/A	N/A	Tabla 350 — 3	Tabla 350 — 3
Tamaño máximo. (fracción del espesor de la capa compactada).		1/3	1/3	Tabla 350 — 3	Tabla 350 — 3

Ensayo	Norma de ensayo	Material para tratar con cemento			
		Clase-1	Clase-2	Clase-3	Clase-4
Dureza (O)					
Desgaste en la máquina de Los ángeles, máximo (%): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	INV E-218	N/A N/A	N/A N/A	40 8	35 7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	INV E-238	N/A	N/A	30	25
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	INV E-224	N/A N/A	N/A N/A	70 75	90 75
Durabilidad (O)					
Pérdida en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota 1): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	INV E-220	N/A N/A	N/A N/A	12 18	12 18
Limpieza (F)					
Límite líquido, máximo (%).	INV E-125	30	30	25	25
Índice de Plasticidad, máximo (%). (Nota 2).	INV E-126 e INV E-125	12	12	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%). (Nota 3).	INV E-133	15	15	35	35
Valor de azul de metileno, máximo (g/kg). (Nota 3).	INV E-235	20	20	10	10
Contenido de materia orgánica, máximo (%). (Nota 4).	INV E-121/ UNE-103204 (Nota 5)	2	2	1	1
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%).	INV E-211	N/A	N/A	2	2
Geometría de las partículas (F)					
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%).	INV E-230	N/A	N/A	N/A	35
Caras fracturadas (una cara), mínimo (%).	INV E-227	N/A	N/A	50	60
Resistencia del material (F)					
CBR del material a tratar sin cemento, para una compactación del noventa y cinco por ciento (95 %) del ensayo de compactación medido en una muestra sometida a cuatro días (4 d) de inmersión, mínimo (%). (Nota 6).	INV E-148	N/A	10	60	80

Ensayo	Norma de ensayo	Material para tratar con cemento			
		Clase-1	Clase-2	Clase-3	Clase-4
Características químicas (O)					
Proporción de sulfatos del material combinado, expresado como SO ₄ ⁼ , máximo (%).	INV E-233	0,9	0,9	0,5	0,5

N/A: hace referencia a que no es aplicable; teniendo en cuenta la definición para cada clase de material.

Nota 1: todos los valores como requisitos exigidos para los materiales a ser tratados con cemento indicados en la Tabla 350 — 2, entendidos como ensayos de composición, dureza, durabilidad, limpieza, geometría de las partículas, resistencia del material y características químicas; pueden ser diferentes en el caso que sean establecidos en los documentos del proyecto y que el constructor, con aprobación del interventor, realice ensayos de validación de desempeño de estos materiales, en la fase de experimentación. El ensayo de solidez de sulfatos se puede realizar con sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Nota 2: en el caso de índices de plasticidad o límites líquidos mayores al especificado para cada clase de material, se puede utilizar un tratamiento previo con cal y posteriormente el tratamiento con cemento, siempre que en la fase de experimentación se compruebe que el material tratado presenta un comportamiento adecuado, según los requerimientos de la estructura.

Nota 3: el ensayo de valor de azul de metileno solo se exige cuando el equivalente de arena del material sea inferior al indicado en la Tabla 350 — 2, pero igual o superior a diez por ciento (10 %) para los materiales utilizados en las clases 1 y 2, y veinticinco por ciento (25 %) para las clases 3 y 4.

Nota 4: opcionalmente, si no se cumple el requisito de materia orgánica, el constructor puede utilizar el material, si cumple las siguientes dos condiciones: (i) determinar que la materia orgánica presente no causa un aumento en el tiempo de fraguado mayor a ciento veinte minutos (120 min) en muestras de mortero; (ii) determinar que la materia orgánica presente no causa una reducción mayor a veinte por ciento (20 %) de la resistencia a la compresión en probetas con veintiocho días (28 d) de curado.

Nota 5: se puede determinar el contenido de materia orgánica por el método propuesto en la norma UNE, siempre que se considere que el método por ignición (según lo describe la norma de ensayo INV E-121) no es aplicable al material, debido a la naturaleza de la materia orgánica presente o a la presencia de minerales que pueden sufrir ignición y registrarse como materia orgánica erróneamente.

Nota 6: en el caso de CBR menores al especificado para cada clase de material, se puede utilizar un tratamiento previo con cal y posteriormente el tratamiento con cemento.

Tabla 350 — 3. Requisitos granulométricos de los materiales a tratar con cemento Clase-3 y Clase-4

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. Standard)								
	50	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	¾ Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
Pasa tamiz (%)									
MGTC-50	100	70 — 100	60 — 100	50 — 90	40 — 80	30 — 70	20 — 55	10 — 40	2 — 20
MGTC-38	-	100	70 — 100	60 — 90	45 — 75	30 — 60	20 — 45	10 — 30	2 — 15
MGTC-25	-	-	100	70 — 100	50 — 80	35 — 65	25 — 50	15 — 30	2 — 15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0%	7 %	6 %			3 %			1,5 %

350.2.3 Cemento

Se debe utilizar cemento hidráulico, el cual debe cumplir con lo indicado en el artículo 501, Suministro de cemento hidráulico, o cementos de acuerdo con la NTC 4050. Cualquiera que sea el cemento por utilizar, se debe validar su comportamiento en la fase de experimentación. En general, no es recomendable usar cementos con tiempo de fraguado menor a una hora (1 h) ni mayor a diez horas (10 h).

No se debe permitir el empleo de cemento que haya fraguado parcialmente o que contenga terrones del producto endurecido. Tampoco se debe permitir el empleo de cemento extraído de bolsas usadas en jornadas anteriores. El constructor debe usar el cemento aproximadamente en el mismo orden cronológico en que fue producido y entregado por el fabricante.

350.2.4 Agua

El agua que se requiera para la estabilización debe ser limpia y libre de cantidades apreciables de aceites, ácidos, álcalis, azúcares, materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial que pueda afectar al cemento. Así mismo, el agua no debe afectar negativamente el fraguado, el endurecimiento y el comportamiento de la mezcla.

Se debe establecer la fuente de agua en el pliego de condiciones. En el caso que, durante la ejecución del proyecto se deba cambiar de fuente de suministro o se tenga sospecha que la calidad del agua ha cambiado, se debe evaluar su calidad nuevamente so pena de rechazar su uso.

Puede ser agua potable; si no lo es, debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 350 — 4.

Tabla 350 — 4. Requisitos del agua no potable para la construcción de material granular tratado con cemento

Característica	Norma de ensayo	Requisito
pH, mínimo	ASTM D1293	5,5
Contenido de sulfatos, expresado como $\text{SO}_4^{=}$, máximo (kg/m^3)	UNE 83956	1,0

350.2.5 Aditivos

Los documentos del proyecto pueden establecer el uso de aditivos para obtener la trabajabilidad adecuada o mejorar las características de la mezcla.

Los aditivos que se utilicen, según el diseño establecido, deben cumplir los requerimientos de la NTC 1299.

El empleo de aditivos retardadores de fraguado debe ser obligatorio cuando se prevea que la temperatura ambiente durante la construcción de la capa estabilizada es mayor a treinta grados Celsius (30 °C), salvo que el interventor, con base en los resultados de ensayos realizados para obtener la fórmula de trabajo, apruebe la construcción convencional sin uso de aditivos.

El constructor debe realizar los ensayos que demuestren que, los aditivos cumplen la función prevista con los materiales y dosificaciones de la fórmula de trabajo, y que estos no se encuentran vencidos.

350.3 Equipo

El equipo que se requiera utilizar para el proceso constructivo del material estabilizado debe ser probado y aprobado en los tramos de experimentación.

En la ejecución de los trabajos se deben emplear equipos mecánicos, que pueden ser independientes, o equipos que realicen dos o más operaciones. En general, la maquinaria debe estar constituida por equipos para la escarificación y la disgregación del material (si se requiere), la elaboración de la mezcla (planta de mezcla o máquina estabilizadora), motoniveladora, compactadores metálicos vibratorios y neumáticos, carrotanques para aplicar agua y el material de curado de la capa compactada, equipo para la formación de las juntas (si se requiere), equipos de transporte y herramientas menores.

Si los documentos del proyecto así lo indican, la extensión de la mezcla elaborada en planta se debe hacer con una máquina extendidora autopropulsada.

350.3.1 Equipo para la elaboración de la mezcla

Los documentos del proyecto deben definir el tipo de equipo para elaborar la mezcla de material estabilizado con cemento, dentro de las siguientes opciones: planta de mezcla, máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio y motoniveladora.

Si los documentos del proyecto no indican el equipo por utilizar, se debe dar por definido el uso de una máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio de paso sencillo. Solo se

debe permitir el uso de motoniveladora para la mezcla cuando los documentos del proyecto lo señalen taxativamente.

Si los documentos del proyecto exigen la preparación de la mezcla en una planta, se deben establecer, en detalle, las características de la planta y el procedimiento para la ejecución de los trabajos. Si no lo establecen, se deben aplicar las características de la planta y los procedimientos descritos en el artículo 630, Concreto estructural, para la elaboración de concreto.

En cualquier caso, el equipo para la mezcla, que suministre el constructor, debe ser capaz de lograr una completa homogenización de los componentes, dentro de las tolerancias establecidas en este artículo.

350.3.2 Equipos para explotación y manejo de materiales

En el caso que la estabilización incluya materiales transportados, el equipo debe incluir, también, elementos para su explotación, cargue, transporte, eventual trituración y clasificación.

350.3.3 Equipos para escarificación

Si está prevista la utilización de los materiales existentes en la vía, se debe contar con elementos apropiados para su escarificación.

350.4 Ejecución de los trabajos

350.4.1 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

350.4.1.1 Energía de referencia para la compactación

La energía de referencia para la compactación, en la construcción de las capas estructurales tratadas con cemento, debe ser establecida en los documentos del proyecto, en función del tipo de material granular por estabilizar, del nivel de tránsito, del tipo de pavimento y de la capacidad de soporte de la subrasante.

Todas las probetas necesarias para evaluar las propiedades de la mezcla se deben elaborar con el contenido de agua óptimo y el peso unitario seco máximo correspondientes a dicha energía de referencia.

Se debe tomar como referencia la Tabla 350 — 5, para la energía de compactación empleada en la fabricación de las probetas de materiales granulares tratados con cemento, teniendo en cuenta la naturaleza del material indicado en los documentos del proyecto.

Así mismo, los controles de compactación se deben efectuar, comparando los resultados de los ensayos de densidad en el terreno contra los resultados del ensayo de compactación en el laboratorio efectuado con esa energía.

Se deben realizar pruebas de desempeño del material bajo condiciones de servicio normales promedio, lo cual incluye condiciones climáticas y condiciones y volúmenes de tránsito.

Tabla 350 — 5. Procedimiento para la preparación de probetas de materiales tratados con cemento

Característica	Tipo de ensayo a ejecutar			
	Material tratado con cemento Clase-1 y Clase-2		Material tratado con cemento Clase-3 y Clase-4	
	Energía de compactación		Energía de compactación	
	Normal	Modificada	Normal	Modificada
Ensayo de referencia para la energía de compactación.	INV E-611	INV E-611 ajustado (Nota 2)	INV E-611 ajustado (Nota 2)	INV E-611 ajustado (Nota 2)
Energía nominal de compactación (kN*m/m³).	605	2 730	580	2 730
Determinación del peso unitario seco máximo y preparación de probetas para prueba de compresión.	Volumen del molde (cm³)	944	3 243 (Nota 3)	3 243 (Nota 3)
	Masa del martillo (kg)	2,495	4,536	4,536
	Altura de caída (mm)	305	457	457
	Número de capas	3	7	7
	Golpes/capa	25	61	13
				61

Nota 1: para la preparación de las probetas se debe tener en cuenta lo siguiente: si todo el material pasa el tamiz de 19,0 mm (3/4 de pulgada), se debe usar la gradación entera, sin modificación, para fabricar los especímenes de ensayo. Si hay partículas retenidas en dicho tamiz, ellas se deben remover y reemplazar por una cantidad igual, en masa, de material que pase el tamiz de 19,0 mm (3/4 de pulgada) y quede retenido en el tamiz de 4,75 mm (nro. 4), obtenido de porciones de la muestra total que no se van a usar para el ensayo.

Nota 2: el ajuste en la norma INV E-611 se refiere al cambio del molde, el martillo, el número de capas y el número de golpes por capa.

Nota 3: el molde de tres mil doscientos cuarenta y tres centímetros cúbicos (3 243 cm³) corresponde al del ensayo de CBR (norma de ensayo INV E-148) sin el disco espaciador o falso fondo. Sus dimensiones son: 152,4 mm ± 0,66 mm (6 pulgadas ± 0,026 pulgadas) de diámetro interior y 177,8 mm ± 0,46 mm (7 pulgadas ± 0,018 pulgadas) de altura. Se debe usar con una base sin perforaciones, como la que se emplea para la realización del ensayo de compactación modificado, norma de ensayo INV E-142, método C.

350.4.1.2 Diseño de la mezcla

La mezcla de material granular tratado con cemento se debe diseñar mediante los criterios de durabilidad y resistencia indicados en la Tabla 350 — 6. El contenido mínimo de cemento debe ser definido en los documentos del proyecto y validado en la fase de experimentación conforme a la fórmula de trabajo adoptada. En el caso de no contar con

esta validación, el contenido de cemento no debe ser inferior a tres por ciento (3 %) de la masa seca del material por estabilizar. Además, debe ser aquel que permita cumplir los parámetros definidos en la tabla citada.

Los valores de referencia asociados al criterio de durabilidad dependen de la clasificación del material por estabilizar según el sistema AASHTO, norma INV E-180.

Tabla 350 — 6. Criterios de diseño para la mezcla de material granular tratado con cemento

Ensayo	Norma de ensayo INV	Clase-1	Clase-2	Clase-3	Clase-4
Durabilidad					
Máxima pérdida de masa de la mezcla compactada en prueba de humedecimiento y secado (%). (Nota 1):	E-612				
- Suelos A-1; A-2-4; A-2-5; A-3		14	N/A	N/A	N/A
- Suelos A-2-6; A-2-7; A-4; A-5		10	N/A	N/A	N/A
- Suelos A-6; A-7		7	N/A	N/A	N/A
Resistencia					
Comportamiento de la resistencia con:	E-614				
- Incremento en el contenido de cemento		Crece			
- Incremento en la edad		Crece			
Resistencia a la compresión a siete días (7 d) (MPa).	E-614				
Aplica a material originario de suelo y/o escarificado en la superficie:					
- Mínima (Nota 2)		(Nota 3)	2,5	N/A	N/A
- Máxima (Nota 2)		4,5 (Nota 3)	4,5	N/A	N/A
Aplica a material originario de agregados:	E-614				
- Mínima (Nota 2)		(Nota 3)	2,5	2,5	2,5
- Máxima (Nota 2)		4,5 (Nota 3)	4,5	4,5	4,5
Resistencia a la compresión a veintiocho días (28 d) (MPa), para capas de rodadura. Mínima (Nota 4).	E-614	2,5			

Nota 1: de manera opcional, se puede evaluar el criterio de durabilidad del material granular tratado con cemento, mediante una prueba de desgaste similar a la prueba del Cántabro realizada para mezclas asfálticas abiertas (según lo describe la norma de ensayo INV E-760). En este caso, la mezcla debe obtener un valor de pérdida por desgaste inferior al cincuenta por ciento (50 %), calculado como el valor promedio de cuatro (4) probetas preparadas con el mismo tipo de material, mismo contenido de cemento e idéntico procedimiento de preparación. Cada probeta por ensayar debe ser de forma cúbica, de ciento cuarenta milímetros (140 mm) de longitud, que se obtienen al cortar cada tercio extremo de las vigas ensayadas a flexión a veintiocho días (28 d) (según lo describe la norma de ensayo INV E-414). Sobre cada viga ya ensayada, se miden ciento cuarenta milímetros (140 mm) desde cada cara extrema y se realiza un corte plano, de apariencia lisa, para formar un cubo, que se introduce en la máquina de Los Ángeles, sin la carga abrasiva de esferas de acero, y se determina la pérdida de masa después de doscientas (200) revoluciones. Los valores de módulo de rotura determinado para cada viga también se deben reportar, salvo que el interventor apruebe la formación de los cubos de concreto, a partir de vigas que no hayan sido falladas a flexión.

Nota 2: los valores de resistencia mínima y máxima indicados en la Tabla 350 — 6 pueden ser diferentes, únicamente en el caso que sean establecidos en los documentos del proyecto y que el constructor, con aprobación del interventor, realice ensayos de validación de desempeño de los materiales granulares tratados con cemento; por ejemplo, ensayos de módulo resiliente. La determinación del módulo resiliente se debe realizar siguiendo el procedimiento establecido en la norma INV E-156. Por tratarse de mezclas a las que se les ha incorporado un ligante hidráulico, el cual tiene

reacciones de hidratación y desarrollo de resistencia en el tiempo, esta prueba se debe realizar a los veintiocho días (28 d). Estos ensayos deben satisfacer los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

Nota 3: los documentos del proyecto deben definir el nivel de resistencia por emplear, para el uso de este material granular tratado con cemento. Pueden también definir un nivel de resistencia diferente a los indicados.

Nota 4: el interventor puede solicitar la determinación del valor de resistencia de probetas con veintiocho días (28 d) de curado para capas que no sean de rodadura, si lo considera necesario.

350.4.1.3 Fórmula de trabajo

Dentro de la franja granulométrica elegida, el constructor debe proponer al interventor una fórmula de trabajo a la cual se debe ajustar durante la construcción de la capa, con las tolerancias que se indican en la Tabla 350 — 3, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada.

La fórmula de trabajo establecida como resultado del diseño de la mezcla debe indicar:

- La granulometría del material.
- El tipo y la marca de cemento empleado en el diseño.
- El tipo y la marca de los aditivos empleados en el diseño.
- El contenido óptimo de cemento (*CFT* %).
- El valor de pérdidas por durabilidad.
- El valor de resistencia a la compresión (R_d) a los siete días (7 d).
- El valor de resistencia a la compresión a los veintiocho días (28 d), para el caso de capas de rodadura.
- Los porcentajes óptimos de agua para mezcla y compactación.

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se puede ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación; la fórmula ajustada debe cumplir los requisitos establecidos para el diseño de la mezcla.

Si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla, o la curva granulométrica incumple las tolerancias que se indican en la Tabla 350 — 3, se debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

350.4.2 Fase de experimentación

Al comienzo de los trabajos, el constructor debe elaborar secciones de ensayo de longitud, ancho y espesor definidos de acuerdo con el interventor, donde se debe probar el equipo y se debe determinar el método definitivo de trabajo, de manera que se cumplan los requisitos de la presente especificación.

Con base en los resultados que se obtengan a partir de muestras tomadas del material granular tratado con cemento, el interventor debe evaluar su conformidad en relación con las condiciones especificadas sobre disgregación, contenido de agua, espesor de la capa, proporción de cemento y demás requisitos exigidos.

En caso de que los ensayos indiquen que el material granular tratado con cemento no se ajusta a dichas condiciones, este debe ser removido y reemplazado por el constructor hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). Antes de efectuar el reemplazo, el constructor debe hacer

las modificaciones necesarias a los equipos y procedimientos de construcción y, si fuese preciso, debe modificar el diseño.

El proceso se debe repetir cuantas veces sea necesario hasta que las secciones de ensayo sean aprobadas por el interventor.

Tanto el constructor como el interventor deben emitir un informe con los resultados de la fase de experimentación y validación, y su cumplimiento como requisito para el inicio de la fase de construcción.

En cada tramo de experimentación y validación, deben quedar definidos los siguientes aspectos:

- Para el material granular tratado con cemento como capa estructural, ejecutado *in situ* con material existente o de préstamo:
 - Escarificación del material para tratar en el sitio
 - Incorporación del material de préstamo, cuando aplique
 - Aplicación del cemento de acuerdo con la condición planteada en la fase de experimentación
 - Mezcla
- Para mezcla en planta:
 - Bachadas de prueba
 - Tiempos de producción
 - Transporte
- Para tratamiento en sitio o mezcla en planta:
 - Perfilado
 - Extensión y conformación
 - Prefisuración (en caso de requerirse)
 - Compactación
 - Juntas de trabajo

- Curado de la capa compactada
- Apertura al tránsito
- Limitaciones en la ejecución

Para cada uno de los tramos homogéneos definidos en la etapa de diseño o de construcción, los trabajos se deben realizar, de acuerdo con lo aprobado en la fase de experimentación y validación.

350.4.3 Preparación de la superficie existente

Si el material por estabilizar es totalmente de aporte, antes de construir la capa de material granular tratado con cemento, se debe comprobar que la superficie que va a servir de apoyo tenga la densidad y la planicidad apropiadas, así como las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias establecidas en la especificación respectiva se deben corregir, de acuerdo con lo indicado en ella, hasta contar con la aprobación del interventor.

En caso de que la construcción se vaya a realizar únicamente con el material existente en la calzada, este se debe escarificar en todo el ancho de la capa que se va a mezclar, hasta una profundidad suficiente para que, una vez compactada, la capa de suelo-cemento alcance el espesor señalado en los documentos del proyecto.

Si se contempla la adición de un material de aporte para mejorar el existente, ambos se deben mezclar uniformemente, antes de iniciar la disgregación del material.

En todos los casos en que el proceso involucre el material del lugar, parcial o totalmente,

se debe comprobar que el material que se encuentre bajo el espesor por estabilizar presente adecuadas condiciones de resistencia y, en caso de no tenerlas, el interventor debe ordenar las modificaciones previas que considere necesarias.

En todos los casos debe estar concluida la construcción de los dispositivos necesarios para el drenaje de la calzada, previamente a la ejecución de las obras de la capa de material granular estabilizado con cemento.

350.4.4 Transporte y almacenamiento de suelos y agregados

Cuando la construcción de la capa incluya suelos o agregados de aporte, estos se deben transportar en vehículos apropiados, protegidos con lonas u otros cobertores adecuados, los cuales se deben asegurar a la carrocería, para impedir que parte del material caiga sobre las vías por las cuales transitan dichos vehículos.

Cuando se requiera almacenar los suelos o agregados, se deben tener en cuenta los cuidados señalados en el numeral 300.4.3 del artículo 300.

350.4.5 Mezcla en vía

El material granular sin cemento se debe conformar según la sección transversal mostrada en los documentos del proyecto, mediante el empleo de motoniveladora.

350.4.5.1 Disgregación del material

El material granular se debe disponer en un cordón de sección uniforme, donde debe ser verificada su homogeneidad. Si la capa se va

a construir mediante combinación de varios agregados granulares, estos deben ser mezclados en la planta, por cuanto no se admite su combinación en la superficie de la vía; se exceptúa el caso en que se requiera mezclar material de aporte con material del sitio, situación en la cual se puede efectuar la mezcla en el sitio.

Antes de aplicar el cemento, si el material por tratar, bien sea que se haya escarificado en el lugar o transportado desde los sitios de origen aprobados por el interventor, o sea una mezcla de ambos, presenta grumos o aglomeraciones de partículas, se debe disgregar con el equipo de construcción, aprobado a partir de los resultados de la fase de experimentación, en el ancho y espesor suficientes que permitan obtener la sección compactada indicada en los documentos del proyecto.

El proceso de disgregación debe continuar hasta que se logren los requerimientos granulométricos del numeral 350.2.2. La longitud de calzada disgregada no debe exceder de la que se pueda tratar y compactar, de acuerdo con esta especificación, en dos días (2 d) de trabajo, salvo autorización escrita del interventor.

Una vez disgregado el material, este se debe conformar según la sección transversal de la calzada, con el empleo de motoniveladora.

350.4.5.2 Aplicación del cemento

El cemento se puede aplicar en bolsas o a granel. En cualquier caso, se debe esparcir sobre el agregado o suelo disgregado empleando el procedimiento aceptado por el interventor durante la fase de experimentación, de manera que se esparza la cantidad requerida según el diseño más la cantidad prevista por

desperdicios, a todo lo ancho de la capa por estabilizar. Durante la aplicación del cemento, el contenido de agua del material no puede ser superior al definido, durante el proceso de diseño, como adecuado para lograr una mezcla íntima y uniforme del material con el cemento. Sobre el cemento esparcido solo se debe permitir el tránsito del equipo que lo va a mezclar con el material.

350.4.5.3 Mezcla

Inmediatamente después de ser esparcido el cemento, se debe efectuar la mezcla, empleando el equipo aprobado. El número de pasadas depende del equipo utilizado y debe ser el necesario para garantizar la obtención de una mezcla homogénea, según se haya definido en la fase de experimentación. En caso de que se requiera, se debe añadir el agua faltante y se debe continuar mezclando hasta que la masa resultante presente completa homogeneidad. El contenido de agua de la mezcla debe ser el establecido en la fórmula de trabajo, con una tolerancia de más o menos uno por ciento ($\pm 1\%$).

El constructor con previa autorización del interventor debe fijar, a partir de los ensayos iniciales, el tiempo mínimo de amasado, que en ningún caso debe ser inferior a treinta segundos (30 s).

350.4.6 Mezcla en planta

Si los documentos del proyecto exigen la preparación de la mezcla en una planta, en ellos se debe establecer en detalle el procedimiento para la ejecución de los trabajos. Si no lo establecen, se deben aplicar los procedimientos para la elaboración y transporte de la mezcla descritos en el artículo 500, Pavimento de concreto hidráulico.

La mezcla elaborada en la planta aprobada luego de la fase de experimentación se debe transportar al sitio en volquetas estancas y cubiertas, aptas para el transporte de concreto, cumpliendo con los requisitos y los procedimientos establecidos en los numerales 500.3.2 y 500.4.6.3 del artículo 500.

350.4.7 Extensión y conformación

La mezcla elaborada sobre la vía se debe extender, tomando las precauciones necesarias para evitar segregaciones y contaminaciones, en todo el ancho previsto, en una capa uniforme que permita obtener el espesor y el grado de compactación exigidos, de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación, y se debe conformar a la sección transversal de la calzada.

Siempre que sea posible, el material granular estabilizado con cemento se debe extender en el ancho completo de la vía. En caso contrario, el material se debe extender por franjas longitudinales cuyo ancho debe ser al menos el de un carril, comenzando por el borde inferior. El ancho de las franjas de extensión debe ser tal, que se realice el menor número posible de juntas y se consiga la mayor continuidad de la extensión, teniendo en cuenta el ancho de la sección, la necesidad de mantener un carril funcionando para tránsito vehicular (si aplica) y las características de los equipos de extensión y de producción de la mezcla.

Para el caso de mezcla en planta, si los documentos del proyecto así lo requieren, se debe usar una máquina extendidora para estas labores. Si no lo requieren, la mezcla se puede extender y conformar con motoniveladora.

En todo caso, la cantidad de material extendido y conformado debe ser tal, que el espesor

de la capa compactada no resulte inferior a ciento cincuenta milímetros (150 mm) ni superior a doscientos milímetros (200 mm). Si el espesor de la capa tratada con cemento, por construir, es superior a doscientos milímetros (200 mm), el material se debe colocar en dos o más capas, y se debe procurar que el espesor de cada una de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100 mm). En el caso de disponer de equipos de construcción que permitan la conformación de capas con espesores superiores a (200 mm), se debe garantizar que toda la capa cumpla los requerimientos establecidos en el numeral 350.5.

El material extendido y conformado debe mostrar una distribución granulométrica uniforme, sin segregaciones evidentes. El interventor no debe permitir la colocación de la capa siguiente, antes de verificar y aprobar la compactación de la precedente.

350.4.8 Prefisuración

Cuando los documentos del proyecto así lo indiquen, se debe efectuar una prefisuración de las capas de material granular tratado con cemento antes de iniciar su compactación. La necesidad de efectuar dicha prefisuración depende de factores tales como la posición de la capa dentro de la estructura, el tipo de rodadura, la resistencia del material granular tratado y el tipo de medidas que eventualmente contemplen los documentos del proyecto para evitar o controlar que el desarrollo de fisuras de contracción en la capa de material estabilizado con cemento deteriore la rodadura del pavimento. Uno de los criterios para decidir si se requiere la prefisuración puede ser que se superen las resistencias

máximas de la mezcla, mencionadas en la Tabla 350 — 6. En todo caso, la necesidad de prefisuración debe ser determinada en la fase de experimentación.

Esta actividad consiste en la ejecución de juntas transversales en fresco, es decir, del material extendido, pero sin compactar. El diseño debe establecer la distancia a la cual se deben realizar dichas juntas. En general, la separación entre ellas debe estar comprendida entre tres y cuatro metros (3 m – 4 m).

Para la ejecución de las juntas transversales en fresco, se deben utilizar equipos que realicen en cada pasada un surco recto que penetre al menos dos tercios (2/3) del espesor de la capa y que, al mismo tiempo, introduzcan en este un producto adecuado para impedir que la junta se cierre de nuevo. Dicho producto puede consistir en una emulsión bituminosa de rotura rápida, una cinta de plástico flexible, un perfil ondulado de plástico rígido u otros sistemas que, además de impedir que se cierre de nuevo la junta durante la compactación, permitan la transmisión de cargas entre los dos lados de esta.

Se debe emplear el equipo y el método de ejecución aprobados por el interventor, cuya eficacia haya sido comprobada después de la realización de la fase de experimentación.

350.4.9 Compactación

La compactación de la mezcla se debe realizar, de acuerdo con el plan propuesto por el constructor y aprobado por el interventor durante la fase de experimentación.

El proceso de compactación debe ser tal, que evite la formación de una costra o capa

superior delgada, débilmente adherida al resto de la capa de material granular tratado con cemento. En caso de que ella se produzca, debe ser eliminada hasta obtener una superficie uniforme y compacta.

La compactación se debe realizar de manera continua y sistemática. Si la extensión del material se realiza por franjas, al compactar una de ellas se debe ampliar la zona de compactación para que incluya, al menos, quince centímetros (15 cm) de la anterior. Los rodillos deben llevar su rueda motriz del lado más cercano al equipo de extensión, y los cambios de dirección y de sentido se deben realizar sobre material ya compactado y con suavidad. Los elementos de compactación deben estar siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos.

Los trabajos de compactación deben ser terminados en un lapso no mayor de dos horas (2 h) desde el inicio de la mezcla. En la fase de experimentación se puede definir un lapso menor o mayor, teniendo en cuenta las características propias del proyecto. Las zonas que por su reducida extensión o su proximidad a estructuras rígidas no permitan el empleo del equipo de mezcla y compactación aprobado durante la fase de experimentación, se deben compactar con los medios que resulten adecuados para el caso, de manera que la mezcla resulte homogénea y la densidad alcanzada no sea inferior a la exigida por la presente especificación. Una vez terminada la compactación, la superficie se debe mantener húmeda hasta que se aplique el riego de curado.

Cuando la capa estructural tratada con cemento se deba construir en varias capas, las operaciones se deben adelantar de tal

forma que se pueda completar el espesor total de la misma en un tiempo no mayor de dos horas (2 h). Si se usan aditivos retardadores, este tiempo se puede extender según se defina en la fase de experimentación. Alternativamente, la superficie de la capa inferior de la capa estructural tratada con cemento se debe mantener húmeda en forma permanente, mediante riego por aspersión, hasta la colocación de la capa superior, la cual debe ser extendida y compactada en un lapso no mayor de siete días (7 d) después de terminada la capa inferior.

350.4.10 Juntas de trabajo

Las juntas entre trabajos realizados en días sucesivos se deben cuidar para proteger la capa construida cuando se vaya a esparcir y compactar la adyacente. Para tal efecto, al término de la jornada de trabajo se debe formar una junta transversal perpendicular al eje de la calzada, haciendo un corte vertical en el material compactado. Se debe procurar localizarlas a no menos de cinco metros (5 m) de otras juntas transversales realizadas en cualquier capa inferior de la estructura.

Si la capa de material granular tratado con cemento no se construye en todo el ancho de la calzada sino por franjas, también, se deben disponer juntas longitudinales en corte vertical y paralelas al eje longitudinal de la calzada, mediante un procedimiento aceptado por el interventor.

El material recolectado de los cortes de juntas debe ser claramente identificado y almacenado, y no se debe permitir su uso en la construcción de las capas de la estructura.

350.4.11 Curado de la capa compactada

Terminada la compactación de la capa de material granular tratado con cemento, esta se debe proteger contra pérdidas de contenido de agua, por un período no menor de siete días (7 d), mediante la aplicación de una película bituminosa con emulsión de rotura rápida tipo CRR-60, conforme se establece en el artículo 422, Riego de curado.

Si la aplicación del riego de curado no se hace inmediatamente después de terminada la compactación, se debe mantener el contenido de agua de la superficie mediante riego frecuente de agua por aspersión.

Cuando la capa estructural tratada con cemento se deba construir en varias capas, no se debe aplicar el riego de curado sobre la superficie de la capa inferior de la capa estructural tratada con cemento, sino que esta se debe mantener húmeda en forma permanente, mediante riego por aspersión, hasta la colocación de la capa superior.

En el momento de aplicar el riego, que en ningún caso puede ser después de veinticuatro horas (24 h) de terminada la compactación, la superficie de la capa de material granular tratado con cemento debe presentar un aspecto denso y homogéneo, y tener el contenido de agua suficiente que permita el curado.

350.4.12 Apertura al tránsito

La capa de material granular tratado con cemento solo se puede abrir al tránsito público y al de los equipos de construcción a los siete días (7 d) de su compactación. Se permite el

tránsito vehicular en un tiempo inferior a siete días (7 d), únicamente en el caso de realizar las validaciones correspondientes en la fase de experimentación, por parte del constructor y con previa aprobación del interventor, asegurando que se cumplan los requerimientos de desempeño de la capa de material granular tratado con cemento, indicados en los documentos del proyecto. La velocidad de circulación se debe restringir a treinta kilómetros por hora (30 km/h) desde el momento de la apertura al tránsito y, como mínimo, hasta pasado los siete días (7 d) desde la compactación de la capa construida. La apertura debe ser inicialmente durante un tiempo corto que permita verificar el comportamiento de la capa compactada y localizar las áreas que deban ser objeto de corrección. Como resultado de lo observado en esta apertura parcial, el interventor debe definir el instante de apertura definitiva, de la capa compactada, al tránsito público.

350.4.13 Limitaciones en la ejecución

Las estabilizaciones con cemento solo se pueden llevar a cabo cuando la temperatura ambiente a la sombra sea superior a cinco grados Celsius (5 °C) y cuando no haya lluvia o temores fundados de que ella ocurra, o haya una capa de niebla intensa, o esté previsto un clima con temperatura inferior a uno coma cinco grados Celsius (1,5 °C) en las siguientes cuarenta y ocho horas (48 h) al trabajo. En caso de que la mezcla sin compactar sea afectada por agua lluvia, y como resultado de ello el contenido de agua de la mezcla supere la tolerancia mencionada en el numeral 350.4.5.3 de esta especificación, el constructor debe retirar la mezcla afectada y

reconstruir el sector deteriorado, hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio para el desarrollo del trabajo en condiciones seguras y que sea aprobado por el interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

350.4.14 Manejo ambiental

Rige todo lo que resulte aplicable del numeral 300.4.8 del artículo 300.

Algunos de los cuidados relevantes en relación con la protección ambiental se describen a continuación, sin perjuicio de los que exijan los documentos de cada proyecto, en particular o la legislación ambiental vigente:

- Se debe evitar el tránsito desordenado de equipos de construcción por fuera del área de los trabajos, con el fin de evitar perjuicios innecesarios a la flora y a la fauna, así como interferencias al drenaje natural.
- Los dispositivos de drenaje superficial y la pendiente transversal de la calzada se deben mantener correctamente durante la

ejecución de los trabajos, con el fin de prevenir erosiones y arrastres innecesarios de partículas sólidas.

- El manejo y aplicación del cemento se debe realizar con las precauciones que exijan las autoridades ambientales.

350.4.15 Conservación de la capa terminada

El constructor debe conservar la capa de material granular tratado con cemento en perfectas condiciones, hasta que se construya la capa superior prevista en los documentos del proyecto. Todo daño que se presente debe corregirlo hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

350.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

350.5.1 Controles

En adición a lo indicado en el numeral 300.5.1 del artículo 300, se deben efectuar ensayos de control de la mezcla y, una vez compactada, de densidad, espesor y planicidad de la capa terminada.

350.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

350.5.2.1 Calidad de los materiales

350.5.2.1.1 Calidad de suelos o agregados por estabilizar

Se deben tomar cuatro (4) muestras representativas de cada fuente de suelos y agregados por utilizar en la producción de la capa de material granular tratado con cemento, y por

cada dos mil metros cúbicos (2 000 m³) del material de un mismo tipo, y se deben ejecutar los ensayos que permitan verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el numeral 350.2.2.

Durante la etapa de producción, se deben examinar las descargas a los acopios y se debe ordenar el retiro de los suelos y agregados que, a simple vista, contengan tierra vege-

tal, presenten restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. Además, se deben efectuar las verificaciones periódicas indicadas en la Tabla 350 — 7.

El interventor puede adelantar las pruebas adicionales que le permitan tener certeza de la calidad del material por estabilizar, de acuerdo con las exigencias de la presente especificación.

Tabla 350 — 7. Verificaciones periódicas sobre el material por estabilizar

Característica	Norma de ensayo	Tipo de material	Frecuencia
Composición (F)			
Granulometría	INV E-123 e INV E-213	Todos	1 por jornada o 1 cada 3 000 m ² de superficie de material compactado (Nota)
Dureza (O)			
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	INV E-218	Clase-3 y Clase-4	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	INV E-238	Clase-3 y Clase-4	1 por mes
Limpieza (F)			
Límite líquido e Índice de Plasticidad	INV E-125 e INV E-126	Todos	1 por jornada
Equivalente de arena	INV E-133	Todos	1 por semana
Valor de azul de metileno (si aplica)	INV E-235	Todos	1 por semana
Contenido de materia orgánica	INV E-121/ UNE 103204	Todos	1 por semana
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable	INV E-211	Clase-3 y Clase-4	1 por semana
Geometría de las partículas (F)			
Índices de alargamiento y aplanamiento	INV E-230	Clase-3 y Clase-4	1 por semana
Caras fracturadas	INV E-227	Clase-3 y Clase-4	1 por jornada
Resistencia del material (F)			
CBR	INV E-148	Todos	1 por mes

Nota: se debe realizar el número de ensayos que resulte mayor al aplicar estos dos criterios.

El interventor puede reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 350 — 7, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

Cuando el interventor considere que las características del material explotado en una fuente han cambiado, se deben repetir todos los ensayos especificados en la Tabla 350 — 2 y adoptar los correctivos que sean necesarios. No se debe permitir el empleo de materiales que no satisfagan los requisitos de calidad indicados en el numeral 350.2.2.

En la eventualidad de que el resultado de alguna prueba no sea satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos deben ser satisfactorios, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización de este material.

Los resultados de los ensayos de verificación se deben reportar en un periodo no mayor de veinticuatro horas (24 h) luego de la toma de las muestras, o un periodo menor acordado previamente con el constructor.

350.5.2.1.2 Calidad del cemento

Por ningún motivo se debe permitir el empleo de cemento endurecido o cuya fecha de vencimiento haya sido superada.

El cemento se debe almacenar en contenedores a prueba de agua y con una estructura tal, que se garantice la inexistencia de zonas muertas de almacenamiento, definidas como

aquellas zonas en donde no se hace uso o movimiento del cemento. En caso de encontrar zonas muertas con material que no es reemplazado continuamente, toda la estructura de almacenamiento debe ser vaciada y limpiada cada tres (3) meses. En ningún caso se debe utilizar cemento que haya durado más de tres (3) meses almacenado en el sitio de trabajo.

Por cada suministro de cemento que llegue a la obra, el proveedor debe entregar un certificado de calidad donde se indiquen las propiedades del producto entregado, de acuerdo con el artículo 501 o la NTC 4050, con la finalidad de verificar la calidad del producto y establecer su aceptación o rechazo. Este certificado debe contener, como mínimo, la estadística semanal de la calidad del cemento entregado por el productor.

El cemento utilizado debe ser del tipo MCH (Moderado Calor de Hidratación) o del tipo BCH (Bajo Calor de Hidratación), según las normas NTC 121 o ASTM C1157/C1157M. También, se puede usar cemento tipo UG (Uso General), según las normas NTC 121 o ASTM C1157/C1157M, en el cual se garantice que el Calor de Hidratación no supere el valor de doscientos cincuenta kilojulios por kilogramo (250 kJ/kg [kcal/kg]) en siete días (7 d).

Las verificaciones se deben realizar conforme se establece en el numeral 501.5.2 del artículo 501.

En ambientes muy húmedos o en condiciones atmosféricas desfavorables o de obra anormales, el interventor puede reducir el plazo de tres (3) meses para la comprobación de las condiciones de almacenamiento del cemento.

Además de lo anteriormente establecido, cuando el interventor lo considere conveniente, se deben llevar a cabo ensayos adicionales para la comprobación de las características que estime necesarias.

La toma de muestra del cemento se debe realizar lo más rápido posible, para reducir al mínimo la absorción de humedad. Una vez recogida la muestra se debe guardar en un recipiente estanco y con cierre hermético hasta su análisis.

Como alternativa, se puede realizar un tramo de prueba que permita validar la calidad del cemento almacenado.

350.5.2.1.3 Calidad del agua

Siempre que tenga alguna sospecha sobre la calidad del agua empleada, se debe verificar su pH y su contenido de sulfatos.

350.5.2.1.4 Calidad de los aditivos y productos de curado

El constructor debe presentar certificaciones periódicas de los fabricantes o de los proveedores de estos productos, que brinden garantía en cuanto a la calidad y a la conveniencia de su utilización, para la revisión y eventual autorización de uso por parte del interventor.

350.5.2.2 Calidad de la mezcla

350.5.2.2.1 Contenido de cemento

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, definido como se indica en el numeral 350.5.2.3, se debe determinar el contenido de cemento

(INV E-617 o ASTM D5982). Cada muestra se debe tomar en un solo sitio de la capa extendida, abarcando todo su espesor, inmediatamente antes de iniciar la compactación.

El porcentaje de cemento promedio de las tres muestras que representan al lote (*CPL* %), debe tener una tolerancia de cero coma tres por ciento (0,3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (*CFT* %).

$$CFT \% - 0,3 \% \leq CPL \% \leq CFT \% + 0,3 \%$$

[350.1]

A su vez, el porcentaje de cemento de cada muestra individual (*CI* %), no debe diferir del valor promedio del lote (*CPL* %), en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$CPL \% - 0,5 \% \leq CI \% \leq CPL \% + 0,5 \%$$

[350.2]

Un porcentaje de cemento promedio (*CPL* %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites, implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso de cemento, el constructor demuestre que no hay problemas de comportamiento de la capa de material granular tratado con cemento.

Si el lote es rechazado, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material removido es de propiedad del constructor.

En ningún caso se debe aceptar el uso del material removido como material de construcción para alguna capa estructural estabilizada (entiéndase como cualquier capa de la

estructura, incluyendo la subrasante y/o afirmado) de otro lote del proyecto, a menos que se acuerde con el interventor llevar a cabo un tratamiento previo de disgregación y selección de material, que dé como resultado un material reciclado apropiado, aprobado por el interventor.

350.5.2.2.2 Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada en la obra, se deben moldear probetas (dos (2) por muestra) según lo especificado en la Tabla 350 — 5, para verificar en el laboratorio su resistencia a compresión simple luego de siete días (7 d) de curado, de conformidad con un procedimiento similar al realizado durante el diseño de la mezcla. Cada muestra se debe tomar en un solo sitio de la capa extendida y conformada, abarcando todo su espesor, inmediatamente antes de iniciar la compactación.

La resistencia media de las cuatro (4) o más probetas que representan al lote (R_m), debe ser igual o superior al noventa y dos por ciento (92 %) de la resistencia correspondiente al diseño presentado por el constructor (R_d) y aprobado por el interventor, conforme se describe en el numeral 350.4.1.

$$R_m \geq 0,92 * R_d \quad [350.3]$$

A su vez, la resistencia de cada probeta (R_i) debe ser igual o mayor al noventa por ciento (90 %) del valor medio (R_m).

$$R_i \geq 0,90 * R_m \quad [350.4]$$

Por otra parte, si la resistencia media de las probetas que representen al lote (R_m) es mayor a la resistencia máxima definida en la

Tabla 350 — 6, se deben realizar juntas de contracción por aserrado, con una separación entre juntas entre tres y cuatro metros (3 m y 4 m), y ubicadas a no menos de dos coma cinco metros (2,5 m) de posibles grietas de retracción que se hayan podido formar. La conformación de juntas por aserrado no es necesaria si se realizó prefisuración, de acuerdo con la sección 350.4.8 de este artículo, y si así lo autoriza el interventor.

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, se debe rechazar el lote al cual representan las muestras. Si el lote es rechazado, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material removido es de propiedad del constructor.

350.5.2.3 Calidad de la capa terminada

Para efectos del control, se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de capa de material granular tratado con cemento, medidos en la dirección del eje del trazado de vía.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de capa de material granular tratado con cemento.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.
- La obra ejecutada con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de trabajo.

La capa terminada debe presentar una superficie uniforme y debe estar ajustada a las rasantes y las pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde

de la capa que se está construyendo, excluyendo sus chaflanes, no puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto. La cota de cualquier punto de la capa compactada no debe variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, se deben realizar los siguientes controles:

350.5.2.3.1 Compactación

Los sitios para la determinación de la densidad de la capa se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de material granular tratado con cemento, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de compactación en el laboratorio, mediante la siguiente expresión:

$$GC_i = \frac{Y_{d,i}}{Y_{d,máx}} \star 100 \quad [350.5]$$

Donde:

GC_i , valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

$Y_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, sin efectuar corrección por presencia de

sobretamaños, de manera que corresponda a la muestra total.

$Y_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según los criterios establecidos en la Tabla 350 — 5, realizado sobre una muestra representativa del mismo.

Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, se deben aplicar los siguientes criterios para la aceptación del lote:

Para el caso de capas construidas inmediatamente debajo de la capa de rodadura:

$GC_i (90) \geq 98,0 \%$ se acepta el lote [350.6]

$GC_i (90) < 98,0 \%$ se rechaza el lote [350.7]

Para el caso de capas construidas bajo otra capa granular que no sirva como superficie de rodadura:

$GC_i (90) \geq 95,0 \%$ se acepta el lote [350.8]

$GC_i (90) < 95,0 \%$ se rechaza el lote [350.9]

Donde:

$GC_i (90)$, límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se calcula según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

Las verificaciones de compactación se deben efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

Si el lote es rechazado, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. La capa de reposición debe mantener las cotas del proyecto y garantizar las propiedades de capacidad y estabilidad equivalentes a las contempladas en los documentos del proyecto para la capa de material estabilizado. El material retirado es de propiedad del constructor.

350.5.2.3.2 Espesor

Sobre la base de los sitios escogidos para el control de la compactación, que en cualquier caso no puede ser un número menor a uno (1) por cada setenta y cinco metros (75 m) medidos en el sentido del eje del trazado, el interventor debe determinar el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad [350.10]$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, cuando menos, igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño (e_d), admitiéndose solo un valor por debajo de dicho límite, siempre y cuando este valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0,90 * e_d \quad [350.11]$$

Si se incumple alguno de estos requisitos, se debe rechazar el lote. En este caso, el constructor debe retirar la capa y reponerla hasta contar con la aprobación del interventor, sin

costo adicional para INVÍAS. El material retirado es de propiedad del constructor.

350.5.2.3.3 Planicidad

Inmediatamente después de la compactación, se debe comprobar la uniformidad de la superficie de la obra ejecutada mediante la regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793, en todos los sitios que el interventor lo considere conveniente. La regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, y no se deben admitir variaciones superiores a diez milímetros (10 mm) si la capa se ubica debajo de las capas superficiales, o de quince milímetros (15 mm) si la capa se ubica sobre la subrasante, para cualquier punto que no esté afectado por un cambio de pendiente.

Todas las áreas de la capa de material granular tratado con cemento donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, deben ser corregidas por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este, sin costo adicional para INVÍAS.

350.5.2.3.4 Regularidad superficial

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI), de acuerdo con las normas ASTM E1926 y ASTM E950, debe cumplir lo fijado en la Tabla 350 — 8, en función de la clase de material estabilizado y del espesor total (e_t) de las capas que se vayan a extender sobre este.

Tabla 350 — 8. Índice de Rugosidad Internacional (IRI) (m/km)

Porcentaje (%) de hectómetros	Material estabilizado			
	Clase-1	Clase-2, Clase-3 y Clase-4		
		$e_t \geq 20 \text{ cm}$	$10 \text{ cm} < e_t < 20 \text{ cm}$	$e_t \leq 10 \text{ cm}$
50	< 2,5	< 3,0	< 2,5	< 2,5
80	< 3,5	< 4,0	< 3,5	< 3,5
100	< 4,0	< 5,0	< 4,5	< 4,0

Si los resultados del IRI de la capa terminada exceden los límites establecidos, se debe proceder de la siguiente manera:

Se deben corregir los defectos de la capa mediante fresado y se debe volver a construir, cumpliendo los requisitos especificados en este artículo, por cuenta del constructor.

El IRI se debe comprobar de manera continua en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación del pavimento terminado, este artículo establece que la determinación del IRI se debe realizar, únicamente, con procedimientos de medida de precisión o con equipos de referencia inercial.

Las medidas de precisión se pueden adelantar con mira y nivel, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma de ensayo INV E-794, o con un perfilómetro pivotante de alta precisión, norma de ensayo INV E-814.

Si se opta por el equipo de referencia inercial, este se debe validar previamente con uno de precisión en un tramo de prueba de longitud no menor de doscientos (200 m). El equipo de referencia inercial se debe operar, de acuerdo con la norma ASTM E950.

350.6 Medida

El material granular tratado con cemento como capa estructural, se debe medir según lo descrito en el numeral 300.6.1 del artículo 300.

Si los documentos del proyecto indican que el suministro del cemento hidráulico se paga por aparte, la unidad de medida de este debe ser el kilogramo (kg), aproximado al kilogramo entero, incorporado en la mezcla, debidamente aceptada por el interventor. En este caso, para determinar la cantidad de cemento hidráulico efectivamente incorporado a la mezcla, se debe tomar el porcentaje de cemento promedio del lote (CPL %), determinado en los ensayos de contenido de cemento realizados a la mezcla como se indica en el numeral 350.5.2.2.1, se debe efectuar el cálculo correspondiente y se debe aproximar al kilogramo entero.

350.7 Forma de pago

El material granular tratado con cemento se debe pagar según lo establecido en el numeral 300.7 del artículo 300.

El precio unitario debe incluir, además, el costo de la ejecución de la prefisuración mencionada

en el numeral 350.4.8, incluyendo el suministro y la aplicación o instalación del producto que impida que las juntas se cierren de nuevo.

Si los documentos del proyecto especifican otro tipo de medidas para evitar o controlar el reflejo de fisuras, como instalación de geosintéticos o construcción de capas asfálticas de mezcla abierta, estas se deben pagar según el ítem correspondiente del contrato.

350.8 Ítem de pago

El precio unitario del material granular tratado con cemento (MGTC) no incluye el suministro del cemento.

Ítem	Descripción	Unidad
350.1	MGTC clase 1 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m³)
350.2	MGTC clase 2 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m³)
350.3	MGTC clase 3, gradación tipo MGTC-25 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m³)
350.4	MGTC clase 3, gradación tipo MGTC-38 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m³)
350.5	MGTC clase 3, gradación tipo MGTC-50 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m³)
350.6	MGTC clase 4, gradación tipo MGTC-25 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m³)
350.7	MGTC clase 4, gradación tipo MGTC-38 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m³)
350.8	MGTC clase 4, gradación tipo MGTC-50 (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m³)
350.9	Cemento hidráulico para capa tratada con cemento	Kilogramo (kg)