

SUELO-CEMENTO

ARTÍCULO 350 – 13

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, alineamientos y secciones indicados en los documentos del proyecto o determinados por el Interventor.

350.2 MATERIALES

350.2.1 Clases de suelo-cemento

Se definen 2 clases de suelo-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 suelo - cemento

CLASE DE SUELO-CEMENTO	SC-D	SC-R
Criterios de diseño de la mezcla Numeral 350.4.1.1	Durabilidad	Durabilidad y Resistencia

Los documentos del proyecto definirán la clase de suelo-cemento por utilizar en el proyecto; además, definirán el tipo de gradación, dentro de las opciones mencionadas en la Tabla 350 - 3. En el caso de las mezclas tipo SC-R, los documentos del proyecto pueden, además, especificar una resistencia mínima superior a la establecida en el numeral 350.4.1.1.

350.2.2 Suelos o agregados por estabilizar

El material por estabilizar con cemento hidráulico podrá 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, deberá estar libre de materia orgánica u otra sustancia que pueda perjudicar el correcto fraguado del cemento. Deberá, además, cumplir los requisitos generales que se indican en la Tabla 350 - 2, y se deberá ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se muestran en la Tabla 350 - 3.

Tabla 350 - 2. Requisitos de los materiales para la construcción de suelo-cemento

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	GRADACIÓN TIPO A	GRADACIÓN TIPO B
Composición (F)			
- Granulometría del material pulverizado, listo para estabilizar.	E-123	Tabla 350 - 3	
- Tamaño máximo, fracción máxima del espesor de la capa compactada		1/2	
Limpieza (F)			
Límite líquido, % máximo	E-125	30	35 (Nota 1)
Índice de plasticidad, % máximo	E-125 y E-126	12	15 (Nota 1)
Contenido de materia orgánica, % máximo	E-121	1.0	
Características químicas (O)			
Proporción de sulfatos del material combinado, expresado como $SO_4^{=}$, % máximo	E-233	0.5	
Reactividad álcali - agregado: Concentración SiO_2 y reducción de alcalinidad R	E-234	$SiO_2 \leq R$ cuando $R \geq 70$ $SiO_2 \leq 35 + 0.5R$ cuando $R < 70$	

Nota1 .Si los documentos del proyecto lo permiten, estos límites se pueden exceder siempre y cuando el Constructor demuestre al Interventor que el equipo de construcción tiene una capacidad de disgregación suficiente para conseguir una mezcla íntima y homogénea de un suelo más plástico con el cemento.

Tabla 350 - 3. Requisitos granulométricos del material para la construcción de suelo-cemento

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
	50.0	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	
% PASA										
Tipo A	A-50	100	70-100	60-100	50-90	40-80	30-70	20-55	10-40	2-20
	A-25	-	-	100	70-100	60-100	50-85	40-70	20-45	2-25
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)		0 %	7 %				6 %			3 %
Tipo B	B-50-1	100	-	-	-	-	40-80	-	-	2-35
	B-50-2	100	-	-	-	-	60-100	-	-	0-50
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)		0 %	-				8 %			5 %

350.2.3 Cemento

El cemento para la estabilización deberá ser cemento hidráulico de uso general, el cual deberá cumplir lo especificado en el Artículo 501, “Suministro de cemento hidráulico”.

No se permitirá el empleo de cemento que haya fraguado parcialmente o que contenga terrones del producto endurecido. Tampoco se permitirá el empleo de cemento extraído de bolsas usadas en jornadas anteriores.

350.2.4 Agua

El agua que se requiera para la estabilización deberá ser limpia y libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias perjudiciales. Puede ser agua potable; si no lo es, deberá cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 350 - 4.

Tabla 350 - 4. Requisitos del agua no potable para la construcción de suelo-cemento

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO ASTM	REQUISITO
pH	D 1293	5.5 - 8.0
Contenido de sulfatos, expresado como SO_4^- , g/l máximo	D 516	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.

Así mismo, el Constructor puede poner a consideración del Interventor el empleo de aditivos con los mismos propósitos; en particular, el empleo de retardadores de fraguado para extender el tiempo de trabajo de las mezclas.

En todos los casos, los aditivos que se empleen deberán cumplir los requerimientos de la especificación ASTM C 494; además, el Constructor deberá realizar los ensayos que demuestren que los aditivos cumplen su función prevista con los materiales y dosificaciones previstos en la fórmula de trabajo.

350.3 EQUIPO

Básicamente, el equipo estará constituido 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, equipos de transporte y herramientas menores.

350.3.1 Equipo para la elaboración de la mezcla de suelo-cemento

Los documentos del proyecto definirán el tipo de equipo para elaborar la mezcla de suelo-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 dará por definido el uso de una máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio de paso sencillo. Sólo se permitirá el uso de motoniveladora para la mezcla cuando los documentos técnicos del proyecto lo señalen taxativamente.

Si los documentos del proyecto exigen la preparación de la mezcla en una planta, deberán establecer en detalle las características de la planta y el procedimiento para la ejecución de los trabajos; si no lo establecen, se aplicarán 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 deberá 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 caso de que la estabilización incluya materiales transportados, el equipo deberá incluir, también, elementos para su explotación, cargues, transportes, eventual trituración y clasificación.

350.3.3 Equipos para escarificación

Si está prevista la utilización de los materiales existentes en la vía, se deberá 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 Diseño de la mezcla

La mezcla de suelo-cemento se diseñará mediante los criterios de durabilidad y resistencia indicados en la Tabla 350 - 5. El contenido mínimo de cemento será aquel que permita cumplir con los parámetros definidos en la tabla citada, pero en ningún caso será inferior a tres por ciento (3 %) de la masa seca del material por estabilizar.

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 - 5. Criterios de diseño para la mezcla de suelo-cemento

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INV	SC-D	SC-R
Durabilidad			
Máxima pérdida de masa de la mezcla compactada en prueba de humedecimiento y secado, %	E-612		
- Suelos A-1; A-2-4; A-2-5; A-3		14	
- Suelos A-2-6; A-2-7; A-4; A-5		10	
- Suelos A-6; A-7		7	
Resistencia			
Comportamiento de la resistencia con:	E-614	Crece	
- Incremento en el contenido de cemento - Incremento en la edad		Crece	
Resistencia a la compresión a 7 días, MPa	E-614	(Nota 1)	2.1
- Mínima		4.5	(Nota 2) 4.5
- Máxima			

Nota 1. La resistencia mínima será la que se obtenga en la mezcla de diseño que cumpla con el criterio de durabilidad.

Nota 2. Los documentos del proyecto pueden establecer un valor mayor de resistencia a la compresión a 7 días.

350.4.1.2 Fórmula de trabajo

Dentro de la franja granulométrica elegida, el Constructor propondrá al Interventor una "Fórmula de Trabajo" a la cual se deberá 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 deberá 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 a los 7 días (R_d)
- Los porcentajes óptimos de agua para mezcla y compactación

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se podrá ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación; la fórmula ajustada deberá cumplir con 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 requerirá el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

350.4.2 Fase de experimentación

Al comienzo de los trabajos, el Constructor elaborará secciones de ensayo de longitud, ancho y espesor definidos de acuerdo con el Interventor,

donde se probará el equipo y se determinará 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 suelo-cemento, el Interventor evaluará su conformidad en relación con las condiciones especificadas sobre disgregación, humedad, espesor de la capa, proporción de cemento y demás requisitos exigidos.

En caso que los ensayos indicasen que el suelo-cemento no se ajusta a dichas condiciones, éste deberá ser removido y reemplazado por el Constructor a satisfacción del Interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías; antes de efectuar el reemplazo, el Constructor deberá hacer las modificaciones necesarias a los equipos y procedimientos de construcción y, si fuese preciso, deberá modificar el diseño.

El proceso se repetirá cuantas veces sea necesario hasta que las secciones de ensayo resulten satisfactorias para el Interventor.

350.4.3 Preparación de la superficie existente

Si el material por estabilizar es totalmente de aporte, antes de construir la capa de suelo-cemento se comprobará que la superficie que va a servir de apoyo tenga la densidad y la planicidad apropiadas, así como las cotas indicadas en los planos o definidas por el Interventor. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias establecidas en la especificación respectiva, se deberán corregir de acuerdo con lo indicado en ella, a plena satisfacción del Interventor.

En caso de que la construcción se vaya a realizar únicamente con el material existente en la calzada, éste se deberá 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 planos o indicado por el Interventor.

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

En todos los casos en que el proceso involucre el material del lugar, parcial o totalmente, se deberá 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 ordenará las modificaciones previas que considere necesarias.

En todos los casos deberá estar concluida la construcción de los dispositivos necesarios para el drenaje de la calzada que requieran ser construidos, previamente a la construcción de la capa de suelo-cemento.

350.4.4 Transporte y almacenamiento de suelos y agregados

Cuando la construcción del suelo-cemento incluya suelos o agregados de aporte, éstos se transportarán en vehículos apropiados protegidos con lonas u otros cobertores adecuados, asegurándolos a la carrocería de manera de impedir que parte del material caiga sobre las vías por las cuales transitan los vehículos.

Cuando se requiera almacenar los suelos o agregados, se deberá tener en cuenta lo indicado en el numeral 300.4.3 del Artículo 300.

350.4.5 Mezcla en vía

350.4.5.1 Disgregación del material

Antes de aplicar el cemento, si el material por tratar, sea que haya sido escarificado en el lugar o transportado desde los sitios de origen aprobados por el Interventor, o una mezcla de ambos, presenta grumos o aglomeraciones de partículas, se disgregará 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 planos u ordenada por el Interventor.

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

Una vez disgregado el material, éste se deberá conformar a la sección transversal de la calzada, con el empleo de motoniveladora.

350.4.5.2 Aplicación del cemento

El cemento se podrá aplicar en bolsas o a granel. En cualquier caso, se esparcirá 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, la humedad del material no podrá ser superior a la definida durante el proceso de diseño como adecuada para lograr una mezcla íntima y uniforme del material con el cemento. Sobre el cemento esparcido sólo se permitirá 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 efectuará la mezcla, empleando el equipo aprobado. El número de pasadas dependerá del equipo utilizado y será el necesario para garantizar la obtención de una mezcla homogénea, según se haya definido en la fase previa de experimentación. En caso de que se requiera, se añadirá el agua faltante y se continuará mezclando hasta que la masa resultante presente completa homogeneidad. La humedad de la mezcla deberá ser la establecida en la fórmula de trabajo, con una tolerancia de más o menos uno por ciento (+/- 1 %).

350.4.6 Mezcla en planta

La mezcla elaborada en la planta aprobada luego de la fase de experimentación, se transportará 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 del Artículo 500.

350.4.7 Extensión y conformación

La mezcla elaborada sobre la vía se extenderá en todo el ancho previsto en una capa de espesor 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 conformará a la sección transversal de la calzada.

Para el caso de mezcla en planta, si los documentos del contrato así lo requieren, se usará una máquina extendidora para estas labores; si no lo requieren, la mezcla se podrá extender y conformar con motoniveladora.

En todo caso, la cantidad de material extendido y conformado deberá ser tal, que el espesor de la capa compactada no resulte inferior a cien milímetros (100 mm) ni superior a doscientos milímetros (200 mm). Si el espesor de suelo-cemento por construir es superior a doscientos milímetros (200 mm), el material se deberá colocar en dos o más capas, procurándose que el espesor de cada una de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100 mm).

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

350.4.8 Prefisuración

Cuando los documentos técnicos del proyecto así lo indiquen, se efectuará una prefisuración de las capas de suelo-cemento antes de iniciar su compactación. La necesidad de efectuar la prefisuración dependerá de factores tales como la posición de la capa dentro de la estructura, el tipo de rodadura, la resistencia del material de suelo-cemento y el tipo de medidas que eventualmente contemple el proyecto para evitar o controlar que el desarrollo de fisuras de contracción en la capa de suelo-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 - 5.

La prefisuración consistirá en la ejecución de juntas transversales en fresco, es decir, del material extendido pero sin compactar. El diseño establecerá la distancia a la cual se deben realizar las juntas transversales en fresco; en general, la separación entre juntas estará comprendida entre tres y cuatro metros (3 a 4 m).

Para la ejecución de las juntas transversales en fresco, se utilizarán equipos que efectúen 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 él un producto adecuado para impedir que la junta se cierre de nuevo. Este producto podrá 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 la junta.

Se emplearán 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 realizará de acuerdo con el plan propuesto por el Constructor y aprobado por el Interventor durante la fase previa de experimentación.

El proceso de compactación deberá ser tal, que evite la formación de una costra o capa superior delgada, débilmente adherida al resto de la capa de suelo-cemento. En caso de que ella se produzca, deberá ser eliminada hasta obtener una superficie uniforme y compacta.

Los trabajos de compactación deberán ser terminados en un lapso no mayor de dos (2) horas desde el inicio de la mezcla. 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 compactarán 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 deberá mantener húmeda hasta que se aplique el riego de curado.

350.4.10 Juntas de trabajo

Las juntas entre trabajos realizados en días sucesivos se deberán cuidar para proteger la capa construida cuando se vaya a esparcir y compactar la adyacente. Al efecto, al término de la jornada de trabajo se formará una junta transversal perpendicular al eje de la calzada, haciendo un corte vertical en el material compactado.

Si la capa de suelo-cemento no se construye en todo el ancho de la calzada sino por franjas, se deberán disponer también, mediante un

procedimiento aceptable para el Interventor, juntas longitudinales en corte vertical y paralelas al eje longitudinal de la calzada.

350.4.11 Curado de la capa compactada

Terminada la compactación de la capa de suelo-cemento, ésta se deberá proteger contra pérdidas de humedad por un período no menor de siete (7) días, mediante la aplicación de una película bituminosa con emulsión de rotura rápida tipo CRR-1, 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, deberá mantenerse la humedad de la superficie mediante riego frecuente de agua por aspersion.

En el momento de aplicar el riego, que en ningún caso puede ser después de veinticuatro (24) horas después de terminada la compactación, la superficie de la capa de suelo-cemento deberá presentar un aspecto denso y homogéneo y contener la humedad suficiente que permita el curado.

350.4.12 Apertura al tránsito

La capa de suelo-cemento sólo se podrá abrir al tránsito público y al de los equipos de construcción a los siete (7) días de su compactación. La apertura será 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 definirá el instante de apertura definitiva de la capa compactada, al tránsito público.

350.4.13 Limitaciones en la ejecución

Las estabilizaciones con cemento sólo se podrán 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 se produzca. En caso de que la mezcla sin compactar sea afectada por agua lluvia y como resultado de ello la humedad de la mezcla supere la tolerancia mencionada en el numeral 350.4.5.3 de esta especificación, el Constructor deberá retirar la mezcla afectada y reconstruir el sector deteriorado a satisfacción del Interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías.

Los trabajos se deberán realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el Interventor podrá 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 aquel. Si el Constructor no ofrece esta garantía, no se le permitirá el trabajo nocturno y deberá 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

Se aplicará lo pertinente del numeral 300.4.8 del Artículo 300, “Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, sub-bases granulares y bases granulares y estabilizadas”.

350.4.15 Conservación de la capa terminada

El Constructor deberá conservar la capa suelo-cemento en perfectas condiciones, hasta que se construya la capa superior prevista en los documentos del proyecto. Todo daño que se presente deberá corregirlo a plena satisfacción del Interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías.

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 deberán 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

De cada fuente de suelos y agregados por utilizar en la producción de la capa de suelo-cemento y para cualquier volumen previsto, se tomarán cuatro (4)

muestras y se ejecutarán los ensayos que permitan verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el numeral 350.2.2.

Durante la etapa de producción, se examinarán las descargas a los acopios y se ordenará el retiro de los suelos y agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. Además, se efectuarán las verificaciones periódicas indicadas en la Tabla 350 - 6.

El Interventor podrá 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 - 6. Verificaciones periódicas sobre el material por estabilizar

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
Composición (F)		
Granulometría	E-123	1 por jornada
Limpieza (F)		
Límite líquido	E-125	1 por jornada
Índice de plasticidad	E-125 y E-126	1 por jornada
Contenido de materia orgánica	E-121	1 a la semana

El Interventor podrá reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 350 - 6, 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 que está siendo explotado en una fuente han cambiado, se deberán repetir todos los ensayos especificados en la Tabla 350 - 2 y adoptar los correctivos que sean necesarios. No se permitirá 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 sea insatisfactorio, se tomarán dos (2) muestras adicionales del material y se repetirá la prueba. Los resultados de ambos ensayos deberán ser satisfactorios o, de lo contrario, el Interventor no autorizará la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

350.5.2.1.2 Calidad del cemento

Cada vez que el Interventor lo considere necesario, se efectuarán los ensayos de control que permitan verificar la calidad del cemento.

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

350.5.2.1.3 Calidad del agua

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

350.5.2.1.4 Calidad de los aditivos y productos de curado

El Constructor deberá 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 determinará el

contenido de cemento (norma de ensayo INV E-617). Cada muestra se tomará 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 %), tendrá una tolerancia de tres por mil (0.3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (CFT %).

$$\text{CFT \%} - 0.3 \% \leq \text{CPL \%} \leq \text{CFT \%} + 0.3 \% \quad [350.1]$$

A su vez, el porcentaje de cemento de cada muestra individual (CI %), no podrá diferir del valor promedio del lote (CPL %), en más de medio por ciento (0.5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$\text{CPL \%} - 0.5 \% \leq \text{CI \%} \leq \text{CPL \%} + 0.5 \% \quad [350.2]$$

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 habrá problemas de comportamiento de la capa de suelo-cemento.

Si el lote es rechazado, el Constructor deberá levantar la capa y reponerla a satisfacción plena del Interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías. El material removido será de propiedad del Constructor.

350.5.2.2.2 Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada en la obra se moldearán probetas (dos por muestra) según la norma de ensayo INV E-611, para verificar en el laboratorio su resistencia a

compresión simple luego de siete (7) días de curado, de conformidad con un procedimiento similar al realizado durante el diseño de la mezcla. Cada muestra se tomará en un solo sitio de la capa extendida y conformada inmediatamente antes de iniciar la compactación, abarcando todo su espesor.

La resistencia media de las cuatro (4) o más probetas que representan al lote (R_m), deberá 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) deberá ser igual o mayor al noventa por ciento (90 %) del valor medio, (R_m).

$$R_i \geq 0.90 R_d \quad [350.4]$$

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, se rechazará el lote al cual representan las muestras. Si el lote es rechazado, el Constructor deberá levantar la capa y reponerla a satisfacción plena del Interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías. El material removido será de propiedad del Constructor.

350.5.2.3 Calidad de la capa terminada

Para efectos del control, se considerará como "lote" que se aceptará o rechazará en bloque, la menor área construida que resulte de los siguientes criterios:

- Quinientos metros lineales (500 m) de capa de suelo-cemento.

- Tres mil quinientos metros cuadrados (3500 m²) de capa de suelo-cemento.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

La capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y deberá estar ajustada a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se está construyendo, excluyendo sus chaflanes, no podrá ser menor que la señalada en los planos o la determinada por el Interventor. La cota de cualquier punto de la capa compactada, no deberá variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, se deberán realizar los siguientes controles:

350.5.2.3.1 Compactación

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

Para el control de la compactación de una capa de suelo-cemento, se deberá 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:

$$GC_i = \frac{\gamma_{d,i}}{\gamma_{d,m\acute{a}x}} \times 100 \quad [350.5]$$

Siendo:

GC_i: Valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

γ_{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 de ella por presencia de sobretamaños, de manera que corresponda a la muestra total;

$V_{d,m\acute{a}x}$: Valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-611 “Relaciones humedad-densidad de mezclas de suelo-cemento”, realizado sobre una muestra representativa del mismo.

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

$GC_i(90) \geq 98.0\%$	se acepta el lote	[350.6]
$GC_i(90) < 98.0\%$	se rechaza el lote	[350.7]

Siendo:

$GC_i(90)$: Límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del 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 deberán efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando.

Si el lote es rechazado, el Constructor deberá remover la capa y reponerla a satisfacción plena del

Interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías. El material removido será de propiedad del Constructor.

350.5.2.3.2 Espesor

Sobre la base de los sitios escogidos para el control de la compactación, el Interventor determinará el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no podrá ser inferior al de diseño (e_d).

$e_m \geq e_d$	[350.8]
----------------	---------

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (e_i) deberá ser, cuando menos, igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño (e_d), admitiéndose sólo 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.

$e_i \geq 0.90 e_d$	[350.9]
---------------------	---------

Si se incumple alguno de estos requisitos, se rechazará el lote, En este caso, el Constructor deberá remover la capa y reponerla a satisfacción plena del Interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías. El material removido será de propiedad del Constructor.

350.5.2.3.3 Planicidad

La superficie acabada no podrá presentar, en ningún punto, zonas de acumulación de agua ni irregularidades mayores de quince milímetros (15 mm), cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793; la regla se colocará tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que

escoja el Interventor, los cuales no podrán estar afectados por cambios de pendiente.

Todas las áreas de la capa de suelo-cemento donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, deberán ser corregidas por el Constructor de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a plena satisfacción de éste, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías.

350.6 MEDIDA

El suelo-cemento se medirá según lo descrito en el numeral 300.6.1 del Artículo 300.

Si los documentos del proyecto indican que suministro del cemento hidráulico se paga por aparte, la unidad de medida de éste será el kilogramo (kg), aproximado al kilogramo completo, 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 tomará 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 efectuará el cálculo correspondiente y se aproximará al kilogramo completo.

350.7 FORMA DE PAGO

El suelo-cemento se pagará 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, éstas se pagarán según el ítem correspondiente del contrato.

350.8 ÍTEM DE PAGO

Alternativa I: el precio unitario del suelo-cemento incluye el suministro del cemento

350.1 Suelo-cemento clase SC-D, gradación tipo A (incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m ³)
350.2 Suelo-cemento clase SC-D, gradación tipo B (incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m ³)
350.3 Suelo-cemento clase SC-R, gradación tipo A (incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m ³)
350.4 Suelo-cemento clase SC-R, gradación tipo B (incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m ³)

Alternativa II: el precio unitario del suelo-cemento no incluye el suministro del cemento

350.10 Suelo-cemento clase SC-D, gradación tipo A (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m ³)
350.11 Suelo-cemento clase SC-D, gradación tipo B (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m ³)
350.12 Suelo-cemento clase SC-R, gradación tipo A (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m ³)
350.13 Suelo-cemento clase SC-R, gradación tipo B (no incluye suministro del cemento)	Metro cúbico (m ³)
350.14 Cemento hidráulico para suelo-cemento	Kilogramo (kg)