

TERRAPLENES REFORZADOS CON GEOSINTÉTICOS

ARTÍCULO 223 – 13

223.1 DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la construcción de terraplenes reforzados con geosintéticos, en los sitios y con las dimensiones señalados en los planos del proyecto o indicados por el Interventor.

El sistema de terraplenes reforzados con geosintéticos aplica para taludes con inclinación máxima de 70°.

223.2 MATERIALES

223.2.1 Geosintéticos

Los geosintéticos para el refuerzo de terraplenes podrán ser geotextiles o geomallas fabricados para aplicaciones de refuerzo. El tipo y las propiedades requeridas del geosintético serán los establecidos en los documentos del proyecto; las propiedades de los geosintéticos relacionadas con los requisitos de diseño serán, como mínimo, las indicadas en la Tabla 223-1.

Las propiedades de los geosintéticos se expresan en general en términos de valores mínimos promedio por rollo (VMPR). El valor mínimo promedio por rollo (VMPR) es una herramienta de control de calidad que le permite a los fabricantes establecer los valores en sus certificados de manera que el comprador tenga un nivel de confianza del 97.7 % de que las propiedades, medidas sobre el producto que compra, cumplen con los valores certificados. Para datos que tengan una distribución normal, el valor VMPR se calcula como el valor típico menos dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores mínimos, o más dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores máximos.

Los valores promedio de los resultados de los ensayos practicados a cualquier rollo deberán satisfacer los requisitos establecidos en este Artículo.

Tabla 223 - 1. Propiedades de los geosintéticos relacionadas con los requisitos de diseño

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO ASTM	REQUISITO
Resistencia a la tensión última en la dirección del refuerzo, mínimo (kN/m): - Geotextiles - Geomallas	D 4595 D 6637	Según lo establecido en los documentos del proyecto
Resistencia a la tensión a largo plazo del geosintético en la dirección del refuerzo, mínimo (kN/m):	Numeral 223.2.1.1	Según lo establecido en los documentos del proyecto
Resistencia de las uniones o nodos de las geomallas	GRI GG2	Según lo establecido en los documentos del proyecto
Coefficiente de interacción geosintético/suelo por extracción para el tipo de relleno contemplado en el proyecto, mínimo	D 6706	0.85
Coefficientes de deslizamiento pico y residual en la interfaz geosintético/suelo, para el tipo de relleno contemplado en el proyecto, mínimo	D 5321	Según lo establecido en los documentos del proyecto
Estabilidad ultravioleta: resistencia retenida después de 500 horas de exposición, valor mínimo (%)	D 4355	70

Nota 1: GRI método de ensayo del Geosynthetic Research Institute

223.2.1.1 Resistencia a largo plazo

Los valores de resistencia a largo plazo de los geosintéticos deberán cumplir los requisitos establecidos en los documentos del proyecto; estos valores se deberán determinar a partir de la resistencia última, aplicando los factores de reducción (ecuación 223.1) determinados mediante ensayos o establecidos como valores por defecto, según las recomendaciones de las siguientes guías del *Geosynthetic Research Institute* (Instituto de Investigaciones sobre Geosintéticos):

- GRI GG4(a) *Determination of the Long-Term Design Strength of Stiff Geogrids* (Determinación de la resistencia a largo plazo de geomallas rígidas);
- GRI GG4(b) *Determination of the Long-Term Design Strength of Flexible Geogrids* (Determinación de la resistencia a largo plazo de geomallas flexibles);
- GRI GT7 *Determination of Long-Term Design Strength of Geotextiles* (Determinación de la resistencia a largo plazo de geotextiles).

$$RF = RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_D \quad [223.1]$$

Siendo:

RF = Factor de reducción de resistencia combinado, que tiene en cuenta el potencial de degradación a largo plazo debido a daños de instalación, fluencia y degradación química y biológica.

RF_{ID} = Factor de reducción de resistencia para tener en cuenta los daños de instalación.

RF_{CR} = Factor de reducción de resistencia para prevenir la rotura del refuerzo a largo plazo por fluencia (creep).

RF_D = Factor de reducción de resistencia para prevenir la rotura del refuerzo por degradación química y biológica.

Así mismo, se deberán tener en cuenta los criterios indicados en las siguientes publicaciones de la AASHTO y la FHWA:

- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Customary U.S. Units.
- FHWA-NHI-00-043, *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Design & Construction Guidelines* (Guías de diseño y construcción de muros de

tierra mecánicamente estabilizada y taludes de suelo reforzado).

- FHWA-NHI-10-024, *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I* (Diseño y construcción de muros de tierra mecánicamente estabilizada y taludes de suelo reforzado - volumen I).
- FHWA-NHI-10-025, *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume II* (Diseño y construcción de muros de tierra mecánicamente estabilizada y taludes de suelo reforzado - volumen II)

El Constructor deberá entregar las certificaciones de los ensayos efectuados para determinar los factores de reducción específicos para las condiciones del proyecto, suministradas por el proveedor del geosintético; en ausencia de estos ensayos, se deberán emplear los valores por defecto mencionados en las guías del *Geosinthetic Research Institute* y de la FHWA.

Para la determinación de los factores de reducción se deberán tener en cuenta, además, las consecuencias que pueda tener la falla o el comportamiento deficiente del geosintético, según los criterios establecidos en los documentos de la AASHTO y la FHWA citados anteriormente.

Algunas de las pautas que se deberán tener en cuenta para la selección de los factores de reducción son las siguientes:

- Para geosintéticos que cuenten con todos los ensayos y pruebas específicas para el producto, relacionados con daños durante la instalación, fluencia (creep) y degradación (química y biológica), el valor de reducción de resistencia combinado, RF, deberá estar típicamente entre 3 y 6. En ningún caso, el valor de RF podrá ser menor que 2.0.

- Para geosintéticos que no cuenten con todos los ensayos y pruebas específicas para el producto, como soporte para la determinación de los factores de reducción, y sea necesario emplear valores por defecto, el valor de reducción de resistencia combinado, RF, no deberá ser menor que 7.0.
- El período de diseño para la selección de los factores de reducción será el definido en los documentos del proyecto, pero no será menor de 100 años para obras permanentes.
- El factor de reducción por daños durante la instalación, RF_{ID} , se deberá escoger en función del tipo de material de relleno por emplear.
- En cualquier caso, los valores de RF_{ID} y RF_D no podrán ser menores a 1.1.

223.2.1.2 Empalmes en la dirección del refuerzo

Si los documentos del proyecto contemplan la ejecución de empalmes en la dirección del refuerzo (costuras de geotextiles o empalmes mecánicos de geomallas), las resistencias última y a largo plazo a la tensión de esos empalmes, en la dirección perpendicular al empalme, deberán cumplir con los valores especificados en la Tabla 223 – 1; la medición de la resistencia última y el cálculo de la resistencia a largo plazo de los empalmes se realizarán con los mismos procedimientos de ensayo y análisis que se utilizan para determinar las resistencias del geosintético.

223.2.1.3 Documentación de soporte de la resistencia a largo plazo

Para la aprobación de los geosintéticos de refuerzo, el fabricante o proveedor deberá suministrar la información que se menciona en la Tabla 233 – 2, relacionada con la resistencia a largo plazo para diseño.

Tabla 223 - 2. Información de soporte para la determinación de la resistencia a largo plazo de los geosintéticos

PROPIEDAD	MÉTODO o NORMA DE ENSAYO
Comportamiento en fluencia para un rango de niveles de carga, para una duración mínima de 10,000 horas	ASTM D 5262
Resultados de ensayos de laboratorio y metodología para la extrapolación de los datos de fluencia para 75 y 100 años	FHWA-NHI-10-025 Vol II Apéndice D
Resistencia última a la tensión: - Geotextiles - Geomallas Los ensayos se ejecutarán a una tasa de deformación de 10 % por minuto	ASTM D 4595 ASTM D 6637
Resultados de ensayos de laboratorio y técnicas de extrapolación que documenten las siguientes características para todos los componentes del geosintético: - Resistencia a la hidrólisis del poliéster (PET) - Resistencia a la oxidación del polipropileno (PP) y polietileno de alta densidad (HDPE) - Resistencia al agrietamiento por esfuerzos del polietileno de alta densidad (HDPE) - Factores de seguridad parciales por degradación por envejecimiento para 75 y 100 años.	Métodos recomendados en el documento FHWA RD 97-144
Resultados de ensayos de campo y laboratorio, así como criterios utilizados de la literatura especializada, que soporten los factores de reducción por deterioro en la instalación en función de la gradación del material de relleno	Guías del documento FHWA-NHI-10-025 Vol II
Resultados de ensayos de laboratorio y metodología para la extrapolación que documenten la resistencia a la degradación biológica de todos los materiales que componen el geosintético y los valores de reducción correspondientes <i>(Nota 1)</i>	Guías del documento FHWA-NHI-10-025 Vol II
Resistencia de las uniones o nodos de las geomallas	GRI GG2
Coeficientes de interacción geosintético/suelo por extracción para varios tipos de suelo	ASTM D 6706
Coeficientes de deslizamiento en las interfaces geosintético/suelo, para varios tipos de suelo, y	ASTM D 5321

PROPIEDAD	MÉTODO o NORMA DE ENSAYO
geosintético/geosintético	
Información sobre la resina primaria usada en la fabricación del geosintético: <ul style="list-style-type: none"> - Resina tipo HDPE (polietileno de alta densidad): identificación de tipo, clase, grado y categoría - Resina tipo PP (polipropileno): identificación de grupo, clase y grado - Resina tipo PET (poliéster): <ul style="list-style-type: none"> - viscosidad intrínseca mínima - grupo carboxilo final máximo 	ASTM D 1248 ASTM D 4101 ASTM D 4603 ASTM D 2455
Estabilidad ultravioleta mínima	ASTM D 4355

Nota 1: Para proyectos con riesgo de que se presente degradación biológica.

223.2.1.4 Control de calidad de la producción

El fabricante de los geosintéticos deberá contar con un proceso de producción que cuente con un sistema de gestión de la calidad certificado bajo la norma ISO 9001. El laboratorio, propio o externo, que se use para realizar los ensayos de control de la calidad de la producción, deberá estar acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025 o contar con una acreditación GAI-LAP del Instituto de Acreditación de Geosintéticos, GAI.

El fabricante o proveedor deberá suministrar el programa de control de calidad y los datos de soporte, donde se indiquen los requisitos de ensayos, los métodos de ensayo, la frecuencia de los ensayos, los criterios de aceptación en la fabricación y el tamaño del lote para evaluación de cada producto; los criterios de aceptación contemplados en el programa de control de calidad del fabricante deberán incluir, como mínimo, las propiedades indicadas en la Tabla 223 – 3, evaluadas bajo las normas de ensayo allí citadas.

Tabla 223 - 3. Criterios mínimos de aceptación que debe contemplar el programa de control de calidad del fabricante

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO ASTM
Resistencia a la tensión: - Geotextiles: resistencia en tira ancha - Geomallas: resistencia individual de las costillas	D 4595 D 6637
Resistencia de las uniones o nodos de las geomallas	GRI GG2
Productos de polietileno de alta densidad (HDPE): - Gravedad específica - Índice de fluidez	D 1505 D 1238
Productos de polipropileno (PP): - Índice de fluidez	D 1238
Resina de poliéster (PET): - Viscosidad intrínseca - Grupo carboxilo final	D 4603 D 2455

223.2.1.5 Geotextiles

En general, se podrán emplear geotextiles tejidos elaborados a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos de un porcentaje mínimo del 95 % en masa de poliolefinas o poliéster; las fibras del geotextil deberán conformar una red estable que mantenga la estabilidad dimensional entre ellas, incluyendo los bordes. El geotextil deberá permitir el libre paso del agua en todo momento.

El geotextil deberá ser fabricado con un 100 % de resina virgen, con un máximo de 5 % de material re-molido en planta. La resina de poliéster deberá tener un peso molecular mínimo de 20,000 (métodos de ensayo GRI-GG6 y ASTM D 4603) y un grupo carboxilo final máximo de 50 (método de ensayo GRI-GG7); los productos de polietileno y polipropileno deberán ser estabilizados con antioxidantes de largo plazo.

Las propiedades mecánicas por supervivencia y las propiedades hidráulicas serán las establecidas en los documentos del proyecto; en este numeral se indican las propiedades mínimas que deberá tener el geotextil.

223.2.1.5.1 Propiedades mecánicas por supervivencia a la instalación

Las propiedades mecánicas para condiciones normales de instalación se especifican en la Tabla 223 - 4, en términos de Valores Mínimos Promedio por Rollo (VMPR).

Tabla 223 - 4. Propiedades mecánicas del geotextil por supervivencia en términos de VMPR (Medidas en el sentido más débil del geotextil)

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO ASTM	REQUISITO
Elongación, valor máximo	D 4632	50 %
Peso por unidad de área, mínimo (g/m ²)	D 5261	270
Resistencia a la tensión Grab, valor mínimo (N)	D 4632	1400
Resistencia de la costura a tensión Grab, valor mínimo (N)	D 4632	1260
Resistencia a la penetración con pistón de 50 mm de diámetro, valor mínimo (N)	D 6241	2750
Resistencia al rasgado trapezoidal, valor mínimo (N) (Nota 1)	D 4533	500

Nota 1: El VMPR para la resistencia al rasgado trapezoidal de los geotextiles tejidos monofilamento deberá ser de 250 N.

223.2.1.5.2 Propiedades hidráulicas

El geotextil de refuerzo deberá ser permeable; deberá permitir el flujo libre del agua dentro del relleno, sin atraparla ni generar empozamientos. Salvo que los documentos del proyecto indiquen

otra cosa, las propiedades hidráulicas que deberá cumplir el geotextil se indican en la Tabla 223 - 5, en términos de Valores Mínimos Promedio por Rollo (VMPR).

Tabla 223 - 5. Propiedades hidráulicas del geotextil en términos de VMPR

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO ASTM	REQUISITO
Permitividad, valor mínimo (s^{-1})	D 4491	0.5
Permeabilidad, valor mínimo (cm/s)	D 4491	Según lo establecido en los documentos del proyecto. Debe ser mayor que la permeabilidad del suelo.

223.2.1.6 Geomallas

La geomalla deberá tener una geometría regular de elementos resistentes a la tensión interconectados, con apertura suficiente para permitir una adecuada trabazón mecánica con los materiales de relleno; deberá ser capaz de mantener su estabilidad dimensional durante su instalación y el tráfico normal de construcción que circule sobre la capa de relleno que se coloque sobre ella. Debe resistir el daño durante construcción, la degradación ultravioleta y debe tener resistencia a largo plazo a la degradación química y biológica.

La geomalla de refuerzo deberá ser, preferiblemente, uniaxial.

La geomalla deberá ser fabricada con un 100 % de resina virgen consistente en polietileno, polipropileno o poliéster, con un máximo de 5 % de material re-molido en planta. La resina de poliéster deberá tener un peso molecular mínimo de 25,000 (métodos de ensayo GRI-GG6 y ASTM D 4603) y un grupo carboxilo final máximo de 30 (método de ensayo GRI-GG7); los productos de polietileno y polipropileno deberán ser estabilizados con antioxidantes de largo plazo.

El fabricante deberá documentar la supervivencia de las uniones a la instalación mediante pruebas a escala real, según la norma ASTM D 5818, que demuestren la integridad de las mismas bajo las condiciones del proyecto (suelo de apoyo, espesor de capas, materiales de relleno, equipo de construcción). La geomalla se cubrirá con una capa de material de relleno de 15 cm de espesor mínimo y será sometida al paso repetido de una volqueta cargada hasta producir un ahuellamiento de 10 cm; el informe de las pruebas deberá incluir un registro fotográfico de la geomalla recuperada, que muestre claramente que las uniones no se han desplazado ni sufrido deterioro alguno durante el proceso de instalación.

223.2.1.7 Suministro y manejo de los geosintéticos

El geosintético que se suministre deberá estar debidamente empacado; la identificación, el almacenamiento y el manejo de los rollos de geosintético se deberán hacer atendiendo lo dispuesto en la norma ASTM D 4873.

Los rollos de geosintético se deberán almacenar, preferiblemente, en sitios cubiertos y protegidos de la luz solar. Si el almacenamiento se hace a la intemperie, el empaque deberá ser opaco e impermeable y los rollos de geosintético se deberán colocar elevados sobre soportes o estantes y no sobre el piso.

Los rollos de geosintéticos no podrán ser arrastrados, izados por un extremo, levantados por medio de cables o cadenas o lanzados al piso.

223.2.2 Material de relleno

Los documentos del proyecto definirán los requisitos que deberá cumplir el material de relleno, el cual podrá ser: recebo (Artículo 610, numeral 610.2.2), material granular tipo SBG (Artículo 610, numeral 610.2.3), material granular tipo BG (Artículo 610, numeral 610.2.3), o un material de características diferentes, definidas en los documentos del proyecto. El tamaño máximo del agregado deberá ser de 19 mm (3/4”).

El pH del material de relleno, determinado según la norma de ensayo AASHTO T 289, deberá estar entre 5.0 y 9.0. El contenido de materia orgánica, determinado según la norma de ensayo INV E-121 para la porción de material que pasa el tamiz de 2 mm (No. 10), no podrá ser mayor que 1 %.

223.2.3 Materiales accesorios

Los materiales accesorios, tales como grapas, arandelas, elementos de fijación y demás elementos necesarios para la instalación del geosintético, deberán cumplir con los requisitos establecidos por el fabricante del mismo.

223.3 EQUIPO

Se deberá disponer de los equipos necesarios para instalar los geosintéticos correctamente, así como de elementos de corte y costura y, además, de todos aquellos que se requieran para explotar, procesar, cargar, transportar, extender y compactar el material de relleno, de conformidad con esta especificación y los planos del proyecto o las instrucciones del Interventor.

El equipo que se use para compactar las capas de relleno sobre el geosintético deberá ser acorde con la clase del geosintético, el espesor de capa y las características de los materiales de apoyo y de relleno.

223.4 EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

223.4.1 Generalidades

Durante el transporte y el almacenamiento, los geosintéticos deberán tener empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo, y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.

El Constructor deberá presentar al Interventor, para su aprobación, los planos detallados de disposición de los geosintéticos, secuencias y procedimientos constructivos, con los detalles de los empalmes (traslapos, empalmes mecánicos, etc), con anticipación no menor a 7 días con respecto a la iniciación de la instalación del geosintético.

La colocación del geosintético y la colocación, conformación y compactación del material de cobertura se deben realizar de manera que el geosintético quede expuesto el menor tiempo posible.

223.4.2 Preparación del terreno

Antes de iniciar la construcción de los terraplenes reforzados con geosintéticos, el terreno de apoyo deberá ser preparado como se indica en el numeral 220.4.2 del Artículo 220, "Terraplenes".

La superficie deberá quedar nivelada y deberá ser firme. La firmeza se comprobará por medio del paso de una volqueta completamente cargada; toda zona débil deberá ser excavada y reemplazada con un suelo adecuado y compactado. La superficie preparada del terreno deberá ser inspeccionada y aprobada por el Interventor.

La superficie del terreno de apoyo preparado deberá estar libre de rocas, piedras grandes u otros elementos que puedan deteriorar el geosintético.

223.4.3 Colocación de los geosintéticos

223.4.3.1 Extensión

El geosintético de refuerzo se deberá instalar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante; se colocará entre las capas de relleno compactado, según lo indicado en los planos y demás documentos del proyecto, con los ajustes y modificaciones que apruebe el Interventor.

Los rollos se deberán extender en la dirección del refuerzo principal, perpendiculares al talud (vista en planta), sobre la superficie compactada y aceptada del terreno de apoyo o de la capa subyacente de relleno, sin arrugas o dobleces. No se permitirán empalmes en la dirección del refuerzo, a no ser que éstos se muestren en los planos. Los geosintéticos se deberán instalar según las cotas de los planos, sin que difieran de éstas en más de 75mm, y en una longitud nunca menor que la señalada en ellos.

El geosintético se deberá templar manualmente y asegurar a la superficie para mantener la tensión y prevenir movimientos durante la colocación del relleno; la sujeción a

la superficie se deberá hacer según las recomendaciones del fabricante, por medio de grapas o elementos similares.

Los rollos adyacentes se colocarán sin traslapo entre ellos, a no ser que los documentos del proyecto indiquen otra cosa; estos podrán indicar, también, que se deje una separación entre rollos, sin que ésta sea mayor que 1.0 m. El traslapo (mínimo de 15 cm) o conexión mecánica entre rollos adyacentes es indispensable cuando los planos del proyecto indiquen que el geosintético debe envolver la superficie del talud; las conexiones mecánicas (costuras de geotextiles o ganchos en geomallas, etc) se deberán hacer usando los materiales y siguiendo las recomendaciones del fabricante del geosintético.

No se permitirá que el geosintético quede expuesto, sin cubrir, por un lapso mayor a tres (3) días.

Bajo ninguna circunstancia se permitirá la circulación de equipos sobre el geosintético antes de que esté cubierto con una capa de relleno de por lo menos 15 cm de espesor. Se debe evitar el frenado brusco o los giros cerrados que ocasionen algún desplazamiento del material de relleno.

223.4.3.2 Empalmes

No se permiten los empalmes de geosintéticos en la dirección del refuerzo, a no ser que su uso esté expresamente indicado en los planos del proyecto.

En caso de que estén contemplados en los documentos del proyecto, los empalmes (costuras de geotextiles o empalmes mecánicos de geomallas) se deberán realizar según las recomendaciones del fabricante del geosintético y deberán cumplir los requisitos de capacidad última y a largo plazo establecidos en el numeral 223.2.1.2.

223.4.3.3 Construcción de la cara del talud

Si los documentos del proyecto muestran que los geosintéticos no envuelven la superficie del talud, lo cual puede ser factible para taludes con inclinación no mayor a

1H:1V contruidos con una separación pequeña entre niveles de geosintético (cada capa o cada dos capas de relleno, pero no mayor que 40 cm), el geosintético se deberá extender hasta la cara del talud.

Si los documentos del proyecto indican que la superficie del talud debe ser envuelta por los geosintéticos, las tiras de geosintético de refuerzo deberán dar vuelta y regresar al terraplén en una longitud no menor de 1.25 m, o la mostrada en los planos del proyecto, debajo del siguiente nivel de refuerzo, cubriendo completamente la cara del talud; la longitud de retorno del geosintético de envoltura que servirá de anclaje deberá enterrarse dentro del relleno para que no quede en contacto directo con el geosintético del siguiente nivel. Para taludes con fuerte pendiente, se requiere de una formaleta para soportar la cara durante su construcción.

En el caso de refuerzo con geomallas, los planos podrán indicar la colocación de un geotextil detrás de la geomalla que envuelve la cara del talud para retener el material de relleno.

223.4.4 Colocación del material de relleno

El relleno se efectuará por capas sensiblemente horizontales; la operación de extensión del material de relleno sobre el geosintético se deberá realizar cuidadosamente, empleando un método que no dé lugar a daños en el mismo. No se permitirá el tránsito de maquinaria sobre el geosintético hasta que se conforme y compacte adecuadamente la primera capa de relleno sobre el mismo. En el caso de geotextiles, no se permitirá el giro de maquinaria sobre la primera capa de relleno sobre él.

El espesor de la primera capa compactada de material de cobertura sobre el geosintético deberá estar definido en los documentos del proyecto, en función de la granulometría del material, de las características del geosintético y del equipo de construcción. En general, para materiales pétreos de tamaño máximo igual o mayor a treinta milímetros (≥ 30 mm), el espesor de la primera capa compactada de material de cobertura deberá ser de veinte centímetros como mínimo (≥ 20 cm); para materiales pétreos de tamaño máximo menor de treinta milímetros (< 30 mm), el espesor de la primera capa compactada deberá ser de quince centímetros como mínimo (≥ 15 cm).

El material de relleno se deberá compactar con el equipo adecuado, hasta lograr el grado de compactación definido en el numeral 223.5.2.3.2, antes de comenzar las labores de colocación de la siguiente capa. El relleno se llevará a cabo hasta la cota indicada en los planos o la ordenada por el Interventor.

En la cercanía la talud (1 o 1.5m), se deberán utilizar equipos manuales para garantizar la adecuada compactación de esta zona; en este caso, el espesor de capas deberá reducirse para que los equipos manuales permitan alcanzar el grado de compactación especificado.

223.4.5 Protección de la cara del talud

Los documentos del proyecto podrán indicar algún sistema de protección de la cara del talud. En ningún caso, los geosintéticos que envuelven la cara del talud deben quedar expuestos a la luz solar, para evitar su deterioro con el tiempo.

223.4.5.1 Empradización de la cara del talud con bloques de césped

Los documentos del proyecto pueden requerir que la fachada sea empradizada mediante la instalación de bloques de césped contra los geosintéticos de fachada, que en este caso deberán ser geomallas para que permitan que el césped atraviese sus espacios libres.

Los bloques de césped deberán cumplir los requisitos establecidos en el Artículo 810, numeral 810.2.1, y se deberán instalar, regar y conservar según lo indicado en los numerales 810.4.3 y 810.4.7 del mismo Artículo.

223.4.5.2 Protección de la cara del talud con productos enrollados para control de erosión

Si los documentos del proyecto indican que la cara del talud se debe proteger con algún tipo de producto enrollado para control de erosión, el trabajo correspondiente se deberá ejecutar según el Artículo 811.

223.4.5.3 Protección de la cara del talud con malla y mortero

Si los documentos del proyecto indican que la cara del talud se debe proteger con malla de alambre de acero y mortero de cemento hidráulico, el trabajo correspondiente se deberá ejecutar según el Artículo 812.

223.4.5.4 Otros tipos de protección de la cara del talud

La construcción de otros tipos de protección de la cara del talud que se especifiquen en los documentos del proyecto se realizará de acuerdo con la especificación particular correspondiente.

223.4.6 Protección de la superficie superior del terraplén

Si la superficie final del terraplén reforzado con geosintéticos no va a ser la superficie definitiva, aquella no deberá quedar expuesta a las condiciones atmosféricas; por lo tanto, la capa superior proyectada se deberá construir en forma inmediata una vez terminada la compactación y el acabado final de aquella. Será responsabilidad del Constructor la reparación de cualquier daño que ocurra en el terraplén por la demora en la construcción de la capa siguiente.

223.4.7 Control del tránsito

El Constructor deberá instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, los cuales deberán garantizar la seguridad permanente, tanto del personal y de los equipos de construcción, como de usuarios y transeúntes.

223.4.8 Limitaciones en la ejecución

No se permitirá adelantar los trabajos objeto del presente Artículo cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a dos grados Celsius (2° C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

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, 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.

223.4.9 Manejo ambiental

Al respecto, rige en un todo lo especificado en el Artículo 106, "Aspectos ambientales".

223.4.10 Reparaciones

Todos los defectos que se presenten en la extensión, en los traslajos, en las costuras, en los cortes o en los dobleces del geosintético; en la extensión y compactación del material de relleno; así como los que se deriven de un incorrecto control del tránsito recién terminados los trabajos, deberán ser corregidos por el Constructor, de acuerdo con las instrucciones del Interventor, sin costo alguno para el Instituto Nacional de Vías.

223.5 CONDICIONES PARA EL RECIBO DE LOS TRABAJOS

223.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se adelantarán los siguientes controles:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Verificar que cada rollo de geosintético tenga en forma clara la información del fabricante, el número del lote y la referencia del producto, así como la composición química del mismo.
- Comprobar que durante el transporte y el almacenamiento, los geosintéticos tengan los empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo, y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.
- Verificar que el sistema de almacenamiento garantice la protección de los geosintéticos contra cualquier tipo de deterioro.

- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado en cuanto a la colocación del geosintético y la construcción de las capas de relleno.
- Verificar que los diferentes niveles de geosintéticos para la construcción del terraplén reforzado sean colocados con las separaciones definidas en los documentos del proyecto, con los ajustes que haga el Interventor.
- Efectuar ensayos de control sobre el geosintético en un laboratorio independiente al del fabricante o del proveedor, y los ensayos pertinentes al material de cobertura.
- Efectuar ensayos de control de calidad sobre el material de relleno.
- Comprobar la compactación de las capas de relleno.

El Interventor medirá, para efectos de pago, el trabajo correctamente ejecutado.

223.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

223.5.2.1 Calidad del geosintético

Por cada lote de rollos que llegue a la obra, el Constructor deberá entregar al Interventor una certificación expedida por el fabricante del geosintético, donde se establezca el nombre del producto, la composición química y toda la información que lo describa, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deberán satisfacer todas las condiciones establecidas en los documentos del proyecto o en las Tablas 223 - 1, 223 - 4 y 223 - 5, según los que prevalezcan. El Interventor se abstendrá de aceptar el empleo de suministros de geosintéticos que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Dicha constancia no evitará, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación por parte del Interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega.

Además, el Interventor deberá escoger al azar un número de rollos equivalente a la raíz cúbica del número total de rollos

que conformen el lote. Se evaluarán rollos estándar con un área entre cuatrocientos y seiscientos metros cuadrados (400 y 600 m²) cada uno. En el caso de rollos con áreas diferentes, el total de metros cuadrados se deberá convertir a unidades de rollos equivalentes de quinientos metros cuadrados (500 m²).

De cada rollo se deberán descartar las dos primeras vueltas de geosintético para el muestreo. Posteriormente, se deberá tomar una muestra, como mínimo de un metro lineal (1 m) por el ancho correspondiente al rollo, verificando que esté totalmente seca y limpia.

Para la evaluación de las costuras en los geotextiles, se deberán tomar muestras de juntas cosidas cuyo largo sea al menos dos metros (2 m) en el sentido de la costura, y cuyo ancho sea al menos uno punto cinco metros (1.5 m).

El número de especímenes para ensayo y la conformidad con las especificaciones se determinará según las normas de ensayo ASTM D 4354 y ASTM D 4759. Los especímenes, debidamente identificados (número de lote, referencia del producto, etc.), se deberán empacar y enviar a un laboratorio distinto al del fabricante, para la realización de las pruebas especificadas en los documentos del proyecto o las Tablas 223 - 6 y 223 - 7, según corresponda.

Tabla 223 - 6. Pruebas de verificación de la calidad del geotextil

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO ASTM
Propiedades de refuerzo	
Resistencia última a la tensión en prueba de tira ancha (kN/M)	D 4595
Resistencia última a la tensión de las costuras, medida perpendicularmente al empalme (kN/m)	D 4884
Área abierta, como % del área total	Medido
Tamaño de abertura, mm	Medido
Propiedades de supervivencia	
Elongación (%)	D 4632

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO ASTM
Peso por unidad de área (g/m ²)	D 5261
Resistencia a la tensión Grab (N)	D 4632
Resistencia de la costura a tensión Grab (N)	D 4632
Resistencia a la penetración con pistón de 50 mm de diámetro (N)	D 6241
Resistencia al rasgado trapezoidal (N)	D 4533
Estabilidad ultravioleta: resistencia retenida después de 500 horas de exposición (%)	D 4355
Propiedades hidráulicas	
Permitividad (s ⁻¹)	D 4491
Permeabilidad (cm/s)	D 4491

Tabla 223 - 7. Pruebas de verificación de la calidad de la geomalla

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO
Propiedades de refuerzo	
Resistencia última a la tensión del geosintético en prueba con costillas múltiples (kN/m)	ASTM D 6637
Resistencia última a la tensión de los empalmes mecánicos, medida perpendicularmente al empalme (kN/m)	ASTM D 6637
Área abierta, como % del área total	Medido
Tamaño de abertura, mm	Medido
Propiedades de supervivencia	
Resistencia de las uniones o nodos (N)	GRI GG2
Estabilidad ultravioleta: resistencia retenida después de 500 horas de exposición (%)	D 4355

En relación con los resultados de las pruebas, no se admitirá ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en la Tablas 223 - 1, 223 - 4 y 223 - 5, o los se establezcan en los documentos técnicos del proyecto, según los que prevalezcan. No se aceptarán geosintéticos rasgados o usados; en el caso de los geotextiles, no se aceptará la presencia de agujeros en ellos.

223.5.2.2 Calidad del material de relleno

La calidad del material de relleno se evaluará en función de las características del mismo y de los requisitos aplicables de las presentes especificaciones, según sea el tipo de material por utilizar, de acuerdo con lo señalado en el numeral 223.2.2.

223.5.2.3 Calidad del producto terminado**223.5.2.3.1 Acabado**

El geosintético instalado deberá tener las dimensiones establecidas y deberá estar libre de dobleces y arrugas; deberá estar templado y sujeto a la superficie de apoyo, según lo indicado en el numeral 223.4.3. Los empalmes deberán tener las características y dimensiones definidas para el proyecto, según se establece en el numeral 223.4.3.2.

Cada capa terminada de relleno deberá presentar una superficie uniforme, ajustada a la rasante y a las pendientes establecidas.

Los taludes terminados no deberán acusar irregularidades a la vista.

La distancia entre el eje del proyecto y el borde del relleno no será menor que la distancia señalada en los planos o modificada por el Interventor.

La cota de cualquier punto de la capa final del relleno, conformada y compactada, no deberá variar en más de treinta milímetros (30 mm) de la cota proyectada, medida verticalmente hacia abajo; si la capa final del relleno corresponde a la subrasante del pavimento, en ningún caso la cota de subrasante podrá superar la cota del proyecto o la autorizada por el Interventor.

No se aceptará la presencia de irregularidades que impidan el normal escurrimiento de las aguas en las obras concluidas.

Todas las irregularidades que excedan las tolerancias de la presente especificación deberán ser corregidas por el Constructor, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a plena satisfacción de éste.

223.5.2.3.2 Compactación del relleno

Para efectos de la verificación de la compactación de cada una de las capas del relleno, se define como “lote”, que se aceptará o rechazará en conjunto, el menor volumen que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros lineales (500 m) de capa compactada en el ancho total del relleno;
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3500 m²);
- El volumen de relleno colocado y compactado en una jornada de trabajo.

Los sitios para la determinación de la densidad seca de cada capa en el terreno 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 (1) prueba por hectómetro. Se deberán efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de relleno, se deberá calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de relaciones humedad-peso unitario (ensayo modificado de compactación), mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

- Material sin sobretamaños:

$$GC_i = \frac{Y_{d,i}}{Y_{d,m\acute{a}x}} \times 100 \quad [223.2]$$

- Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{Y_{d,i}}{C_{Y_{d,m\acute{a}x}}} \times 100 \quad [223.3]$$

Siendo:

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 de ella por presencia de sobretamaños, de manera que corresponda a la muestra total.

$Y_{d,m\acute{a}x}$: Valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 (ensayo modificado de compactación) sobre una muestra representativa del mismo.

$C_{Y_{d,m\acute{a}x}}$: Valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 sobre una muestra representativa del mismo, y corregido por sobretamaños según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total;

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}): Porción de la muestra total retenida en el tamiz de

control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (norma INV E-142).

El peso unitario seco máximo corregido del material ($C_{y_{d,máx}}$) que se use para calcular el grado de compactación individual GC_i se obtendrá, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños, P_{FG} , presente en ese sitio.

Para la aceptación del lote se aplicarán los siguientes criterios:

$GC_i (90) \geq 95.0 \%$	se acepta el lote	[223.4]
--------------------------	-------------------	---------

$GC_i (90) < 95.0 \%$	se rechaza el lote	[223.5]
-----------------------	--------------------	---------

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.

Los terraplenes de los lotes que no alcancen las condiciones mínimas de compactación deberán ser escarificados, homogenizados, llevados a la humedad adecuada y compactados nuevamente hasta obtener el valor de la densidad seca especificada. Este procedimiento deberá ser adelantado por el Constructor de manera que no se

afecte el geosintético subyacente; si el geosintético sufre algún deterioro, se deberá remover la capa de terraplén correspondiente al lote rechazado, se deberá reemplazar el geosintético por uno nuevo y se procederá a colocar de nuevo la capa de terraplén hasta lograr el grado de compactación especificado.

223.6 MEDIDA

223.6.1 Geosintéticos

La unidad de medida de los geosintéticos será el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de geosintético colocado a satisfacción del Interventor, de acuerdo con lo exigido por la presente especificación. El resultado de la medida se deberá reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se medirá ningún área por fuera de tales límites, ni se considerarán, para efecto del pago, los traslapos.

223.6.2 Relleno

La unidad de medida del relleno será el metro cúbico (m^3), aproximado al metro cúbico completo, de material suministrado, colocado, compactado y terminado de acuerdo con los planos y debidamente aceptado por el Interventor. El resultado de la medida se deberá reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No se medirán cantidades en exceso de las indicadas en los documentos del proyecto u ordenadas por el Interventor.

223.7 FORMA DE PAGO

223.7.1 Geosintéticos

El pago de los geosintéticos se hará al respectivo precio unitario del contrato, por metro cuadrado (m²), para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación y aceptada a satisfacción por el Interventor.

El precio unitario deberá incluir el suministro, almacenamiento, transporte y colocación del geosintético; la ejecución de los traslapes, costuras, empalmes mecánicos y sujeciones, incluyendo el suministro de todos los elementos para tales labores; todo equipo y mano de obra requeridos para ejecutar esta labor y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado. Además, deberá cubrir los costos por concepto de desperdicios.

El precio unitario deberá incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del Constructor.

223.7.2 Relleno

El precio unitario deberá cubrir los costos de extracción, preparación y suministro de los materiales en el sitio de la obra; la obtención de los permisos y derechos de explotación, la construcción o adecuación de las vías de acceso a las zonas de préstamo; la adecuación de dichas zonas una vez extraído el material, para recuperar las características hidrológicas superficiales; los cargues, transportes, compactación y conformación del relleno; los costos de los desvíos que fuese necesario construir con motivo de la ejecución de las obras; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período posterior en que se deba impedir o controlar, de acuerdo con las instrucciones del Interventor; todo equipo y mano de obra requeridos para ejecutar esta labor y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado. Además, deberá cubrir los costos por concepto de desperdicios.

El precio unitario deberá incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del Constructor.

Se pagarán por aparte las excavaciones y rellenos requeridos para la preparación de la fundación y los elementos de fachada diferentes a los geosintéticos, de acuerdo con los siguientes Artículos:

- Excavaciones: Artículo 600, "Excavaciones varias"
- Rellenos: Artículo 610, "Rellenos para estructuras"
- Protección de la fachada del muro con malla y mortero: Artículo 812, "Recubrimiento de taludes con malla y mortero".
- Empradización de la fachada con bloques de césped: Artículo 810, "Protección vegetal de taludes".

223.8 ÍTEM DE PAGO

223.1	Geotextil de refuerzo tipo ____ para terraplenes reforzados con geosintéticos	Metro cuadrado (m ²)
223.2	Geomalla de refuerzo tipo ____ para terraplenes reforzados con geosintéticos	Metro cuadrado (m ²)
223.3	Relleno tipo _____ para terraplenes reforzados con geosintéticos	Metro cúbico (m ³)

Nota: se deberá establecer un ítem de pago para cada tipo de geosintético y cada tipo de relleno que se especifique en el contrato