

Muros en suelo reforzado

Artículo 687 - 22

687.1 Descripción

El termino de suelo reforzado se refiere a la aplicación de refuerzos resistentes a tracción con dimensiones definidas en los documentos del proyecto y aprobados por el interventor. Deben diseñarse para la estabilidad externa del sistema de muro como también para la estabilidad interna de la masa de suelo reforzado detrás de la fachada.

El sistema está formado por tres elementos principales: suelo, elementos de refuerzo (inclusiones) y elementos de fachada (paramento). Esta técnica considera la inclusión de elementos metálicos y/o geosintéticos.

La inclusión de elementos metálicos o geosintéticos en la matriz de suelo, ofrece a los muros en suelo reforzado las condiciones de resistencia interna y estabilidad general requerida.

El presente documento presenta características de sistemas constructivos generalmente usados en muros de suelo reforzado.

687.1.1 Generalidades

Los elementos de refuerzo pueden ser de tipo metálico, como mallas soldadas o tejidas y barras, o de tipo geosintético, como geotextiles y geomallas.

Se pueden utilizar otros tipos de elementos de refuerzo, siempre y cuando presenten un comportamiento homólogo en cuanto a propiedades mecánicas y de vida útil compatibles con los requisitos de diseño señalados en los documentos del proyecto y aprobados por el interventor.

El diseño debe especificar las características mínimas requeridas por el refuerzo, de acuerdo con las hipótesis de cálculo. Durante la ejecución del proyecto debe verificar el cumplimiento de estas propiedades con base en la certificación del fabricante o mediante ensayos de control de calidad de acuerdo con el tipo de material. Los ensayos de control deben ser especificados por el diseñador del proyecto.

Para los refuerzos metálicos con barras, se debe especificar en el proyecto lo siguiente:

- El tipo de refuerzo metálico;
- La sección transversal;
- El tipo de acero con el límite elástico característico;
- Tratamiento superficial contra la corrosión;
- Geometría del elemento de refuerzo;
- Otras propiedades a criterio del diseñador.

Para refuerzos metálicos en malla, se debe especificar en proyecto lo siguiente:

- El tipo de malla metálica de refuerzo;
- Resistencia máxima a la tracción;
- Resistencia diseño a la tracción;
- Medida de protección contra la corrosión;
- El(los) factor(es) de reducción considerado(s) y las condiciones de diseño para

este(os) factor(es), de acuerdo el numeral 687.3.3.

- El factor de interacción considerado entre el suelo y el refuerzo;
- Otras propiedades a criterio del diseñador.

Para los refuerzos geosintéticos, se deben especificar en los proyectos:

- El(los) tipo(s) de geosintético(s) de refuerzo;
- Resistencia máxima a la tracción;
- Resistencia diseño a la tracción;
- El(los) factor(es) de reducción considerado(s) y las condiciones de diseño para este(s) factor(es), de acuerdo con el numeral 687.3.3;
- El factor de interacción considerado entre el suelo y el refuerzo;
- Otras propiedades a criterio del diseñador.

El proyecto debe contar con planes de exploración del terreno en la zona de localización de la estructura, basados en el capítulo H.3 del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Constituido por métodos de exploración directa, y que comprenda las capas de suelo y/o rocas.

La ocurrencia de suelos blandos, colapsables, expansivos, dispersivos o kársticos debe ser evaluada en la fase de diseño y confirmada en la fase de ejecución.

El diseñador debe identificar las interferencias físicas que puedan llegar a afectar la ejecución del proyecto.

El proyecto debe contener la memoria de cálculo y los respectivos planos ejecutivos, con

la información técnica necesaria para la comprensión y ejecución de la obra.

687.1.2 Características de los sistemas constructivos habituales de los muros de suelo reforzado

A continuación, se presenta una descripción general de las configuraciones usualmente utilizadas en la construcción de muros de suelo reforzado.

Sistemas de muros en suelos reforzados con fachada frontal de gavión

Los sistemas de muros en suelo reforzado con fachada frontal de gavión son estructuras de suelo reforzados que utilizan mallas metálicas tejidas o mallas metálicas soldadas para la constitución del paramento frontal o cara del muro, contienen material de relleno compuesto por agregado. Este tipo de estructuras presentan inclinación del paramento entre treinta y noventa grados (30° y 90°), siendo ejecutadas a través de la compactación de capas de suelo, entre las cuales son colocados elementos de refuerzo, siendo simultáneamente conformado el paramento frontal. (ver Figura 687-1 y Figura 687-2).

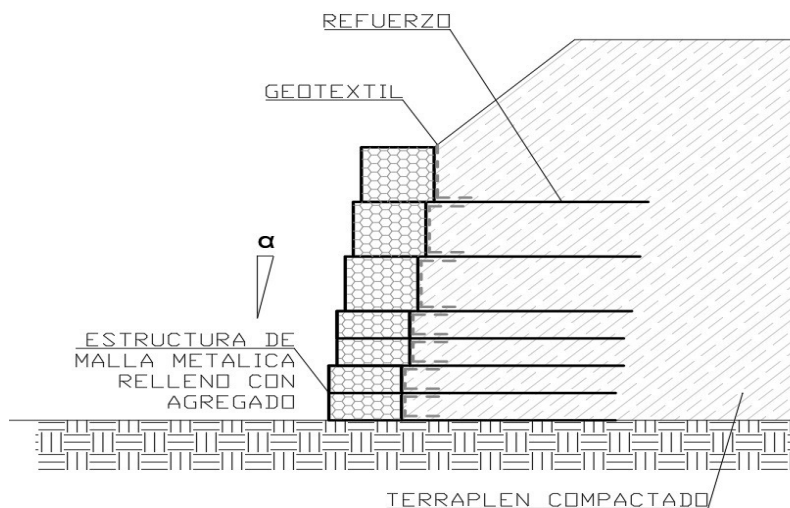


Figura 687-1 Sistema muro reforzado con paramento frontal de malla metálica tejida

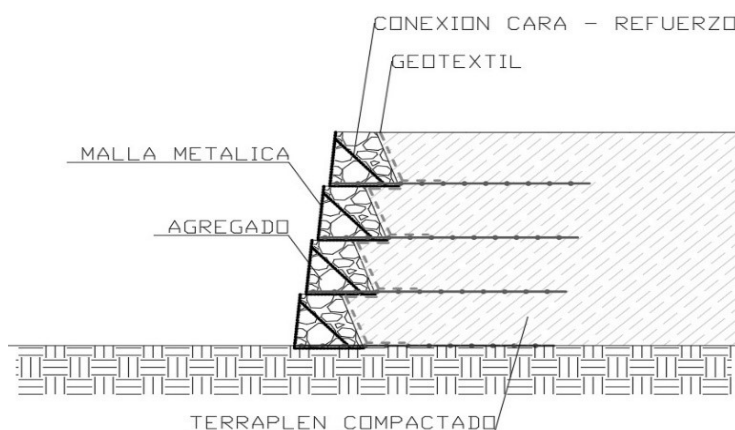


Figura 687-2 Sistema muro reforzado con paramento frontal de malla metálica soldada

En este tipo de sistema son utilizados refuerzos metálicos y geosintéticos en forma de geotextiles tejidos y/o polipropileno (PP), polietileno de alta densidad (HDPE), poliéster (PET) o alcohol polivinílico (PVA), que tengan propiedades mecánicas adecuadas para asegurar la estabilidad de la estructura del suelo reforzado, en niveles compatibles con el propósito de la estructura.

Los efectos de la corrosión sobre los elementos metálicos utilizados como refuerzo deben ser considerado en el dimensionamiento frente a la vida útil del proyecto.

La fachada está compuesta por elementos, que pueden ser rellenados de manera manual o mecánica. Estos elementos sirven de forma permanente, para permitir la colocación y compactación del material de relleno a su espalda y como anclaje para el refuerzo del paramento. Los efectos de la corrosión sobre los elementos metálicos utilizados como paramentos deben ser considerados por el diseñador en el dimensionamiento de la estructura en relación con la vida útil del proyecto.

Sistemas de muros en suelos reforzados con fachada con cobertura vegetal

Los geotextiles o geomallas se doblan alrededor de la fachada para contener el suelo. En el caso de geotextiles la misma tela de refuerzo principal se utiliza como fachada y en el caso de refuerzo principal con geomallas se coloca en la fachada un geosintético más flexible. Sobre los geosintéticos se pueden colocar mantos de control de erosión y vegetación. El sistema de la fachada puede ser configurada a partir de módulos de malla metálica.

En este tipo de sistema son utilizados refuerzos metálicos y geosintéticos en forma de geotextiles tejidos y/o polipropileno (PP), polietileno de alta densidad (HDPE), poliéster (PET) o alcohol polivinílico (PVA), que tengan propiedades mecánicas adecuadas para asegurar la estabilidad de la estructura del suelo reforzado, en niveles compatibles con el propósito de la estructura.

Los efectos de la corrosión sobre los elementos metálicos utilizados como refuerzo deben ser considerado en el dimensionamiento frente a la vida útil del proyecto.

Los muros en suelo reforzado con fachada con cobertura vegetal son estructuras con

una inclinación del paramento entre treinta y noventa grados (30° y 90°). Existen dos configuraciones usualmente empleadas en la construcción de este tipo de muros, las cuales son:

- Está compuesto por elementos irrecuperables, prefabricados o ensamblados in situ (ver Figura 687-3), que sirven de encofrado para el confinamiento del suelo en la cara frontal de las estructuras, permitiendo su envolvimiento con el material de refuerzo. Estos elementos permiten el lanzamiento y posterior compactación del suelo en la zona del paramento de los muros. Usualmente se utilizan encofrados perdidos frontales de malla metálica, protegidas contra la corrosión, y se pueden asociar otros geosintéticos para auxiliar en el confinamiento del suelo. En este caso, las geomallas se doblan alrededor de la fachada. Adicionalmente, se coloca un manto de control de erosión. La primera capa de este tipo de estructura está constituida por material filtrante. El resto de las capas compactadas debe cumplir con los requerimientos enunciados en el numeral 687.3.4. Las geomallas empleadas como refuerzo deben ser especificadas por el diseñador conforme establecido y calculado en proyecto.

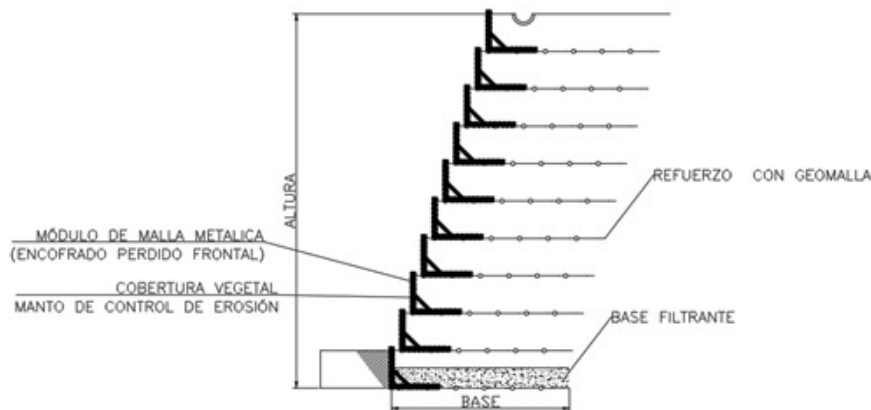


Figura 687-3 Muro reforzado con encofrado perdido frontal

- La malla metálica de refuerzo se dobla alrededor de la fachada para contener y reforzar el suelo. Adicionalmente, se instala un elemento de retención de material que puede ser un manto de control de erosión o un geotextil. El sistema de la fachada puede ser configurada a partir de módulos de triángulos de soporte, estos elementos en conjunto sirven para dar un soporte al

paramento frontal, anclar la malla al suelo compactado, y también dan la potestad de proporcionar una fachada verde con vegetación. En este tipo de estructura el paramento y la armadura son continuos, constituyendo una sola pieza, como se muestra en la Figura 687-4. En estos casos se prescinde del análisis de la unión entre el paramento y la armadura.

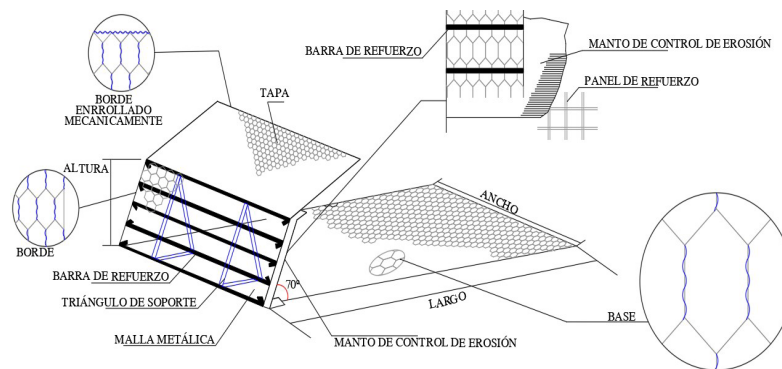


Figura 687-4 Muro reforzado con paramento inclinado y refuerzo metálico continuo.

687.2 Materiales

A continuación, son relacionados los materiales empleados en la construcción de muros de suelo reforzado. Estos pueden ser reemplazados y/o substituidos por otros tipos de elementos, siempre y cuando presenten un comportamiento homólogo en cuanto a propiedades mecánicas y de vida útil compatibles con los requisitos de diseño señalados en los documentos del proyecto y aprobados por el interventor.

687.2.1 Metálicos

Barra metálica

Elementos utilizados como refuerzo lineal, con resistencia y sección transversal definida por el diseñador. Con o sin protección galvanizada, según la vida útil esperada para el trabajo. Si se proporciona, la galvanización debe cumplir con la ASTM A123/A123M. La resistencia

a la tracción indicada por el proveedor debe tener un nivel de confianza mínimo de 95%.

Malla metálica soldada

La malla metálica soldada consiste en un refuerzo lineal o plano en forma de rejilla hecho de barras de sección circular, con o sin prote-

cción galvanizada, según la vida útil esperada para el trabajo. Si se proporciona, la galvanización debe cumplir con la ASTM A123/A123M. La rejilla se forma por barras longitudinales y barras transversales soldadas. Los valores mínimos requeridos en el diseño muros reforzados debe cumplir los valores establecidos en la Tabla 687-1. La resistencia a la tracción indicada por el proveedor debe tener un nivel de confianza mínimo de 95%.

Malla metálica tejida

La malla metálica tejida consiste en un refuerzo plano, ensayado de acuerdo con la norma

tiva EN 10223-3, compuesto por alambres de acero o alambres en forma de malla hexagonal o romboidal, galvanizados, revestidos o no con material polimérico. Las mallas metálicas deben tener una resistencia y una protección contra la corrosión acordes con los requisitos de diseño y la vida útil. Deben cumplir con los requisitos de materiales y de fabricación establecidos en la NTC 5333 (ASTM A975). Las mallas son clasificadas en función de su

recubrimiento conforme la Tabla 681-1 del artículo 681, Gaviones y colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado. Los valores mínimos requeridos en el diseño muros reforzados debe cumplir los valores establecidos en la Tabla 687-1. La resistencia a la tracción indicada por el proveedor debe tener un nivel de confianza mínimo de 95%.

Tabla 687-1 Requerimientos mínimos para mallas metálicas aplicadas en muros de suelo reforzado

Propiedad	Normas de referencia	Unidad	Requisito
Resistencia a la tracción de la malla metálica	EN 10223-3	kN/m	≥50
Resistencia de conexión en el borde de la malla metálica	EN 10223-3	kN/m	≥34
Resistencia a la corrosión (exposición al dióxido de azufre SO ₂ 0,2dm ³ para 2dm ³ de agua) y al envejecimiento	EN ISO 6988	Menos de 5% de la oxidación del acero después de 56 ciclos	
Resistencia del revestimiento de la malla a la niebla salina	EN ISO 9227	Menos de 5% de oxidación del acero después de 2000 horas de ensayo	

687.2.2 Geosintéticos

Geotextil

El geotextil consiste en un producto textil polimérico bidimensional permeable, compuesto por fibras cortadas, filamentos continuos, monofilamentos, laminados o alambres, que forman estructuras tejidas y no tejido, cuyas propiedades mecánicas e hidráulicas le permiten realizar diversas funciones en una obra geotécnica. El geotextil está formado por elementos resistentes a la tracción, siendo considerado unidireccional cuando presenta mayor resistencia a la tracción en un sentido y bidireccional cuando presenta igual resistencia a la tracción en las dos direcciones principales.

En general, se pueden emplear geotextiles tejidos elaborados a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos de un porcentaje mínimo del noventa y cinco por ciento

(95 %) en masa de poliolefinas o poliéster. Las fibras del geotextil deben conformar una red estable que mantenga la estabilidad dimensional entre ellas, incluyendo los bordes. El geotextil debe permitir el libre paso del agua en todo momento.

El geotextil debe ser fabricado con al menos un noventa y cinco por ciento (95%) de resina virgen, complementando con un máximo de cinco por ciento (5 %) de material remolido en planta. La resina de poliéster debe tener una masa molecular mínima de veinticinco mil gramos por mol (25 000 g/mol) (norma ASTM D4603) y un número de grupo carboxilo final máximo de treinta (30) (norma ASTM D7409); los productos de polietileno y polipropileno deben estabilizarse con antioxidantes de largo plazo.

Los tipos y las propiedades requeridas de los geotextiles deben ser establecidas en los documentos del proyecto; por ello, las propieda-

des relacionadas con los requisitos de diseño, empalmes, control de calidad de producción, suministro y manejo, deben ser, como mínimo, las indicadas en los numerales 683.2.1 del artículo 683, Muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos.

Geomalla

La geomalla consiste en un producto polimérico con estructura reticular, con función de refuerzo, cuyas aberturas permiten la interacción del medio en el que están confinados, constituido por elementos resistentes a la tracción, considerándose unidireccional cuando presenta mayor resistencia a la tracción en una dirección y bidireccional cuando presenta igual resistencia a la tracción en las dos direcciones principales. Según el proceso de fabricación, las geomallas pueden ser extruidas, soldadas o tejidas.

La geomalla debe ser fabricada con por lo menos un noventa y cinco por ciento (95 %) en masa de resina virgen consistente en cadenas largas de polietileno, polipropileno o poliéster, complementada con un máximo de cinco por ciento (5 %) de material remolido en planta. La resina de poliéster debe tener una masa molecular mínima de veinticinco mil gramos por mol (25 000 g/mol) (norma ASTM D4603) y un número de grupo carboxilo final máximo de treinta (30) (norma ASTM D7409). Los productos de polietileno y polipropileno deben ser estabilizados con antioxidantes de largo plazo.

El fabricante debe documentar la supervivencia de las uniones a la instalación, mediante pruebas a escala real, según la NTC 5015 (ASTM D5818), que demuestren su integridad bajo las condiciones del proyecto (suelo de apoyo, espesor de capas, materiales de relleno, equipo de construcción).

La geomalla se debe cubrir con una capa de

material de relleno de quince centímetros (15 cm) de espesor mínimo y se debe someter al paso repetido de una volqueta cargada hasta producir un ahuellamiento de diez centímetros (10 cm). El informe de las pruebas debe 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.

El diseñador debe ajustar su diseño siguiendo los requerimientos mínimos para uso de geomallas definido en el artículo 233, Estabilización de suelos de subrasante y refuerzo de capas granulares con geomallas del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), específicamente en el numeral 233.2.1.

Los tipos y las propiedades requeridas de las geomallas deben ser establecidas en los documentos del proyecto; para ello, las propiedades relacionadas con los requisitos de diseño deben ser, como mínimo, las indicadas en el numeral 233.2.1 del artículo 233, Estabilización de suelos de subrasante y refuerzo de capas granulares con geomallas. Además de considerar los requisitos de diseño, empalmes, control de calidad de producción, suministro y manejo, deben ser, como mínimo, las indicadas en los numerales 683.2.1 del artículo 683, Muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos.

Manto de control de erosión

Utilizados para reducir la erosión del suelo y ayudar al desarrollo de la vegetación. También cumplen función de amarre en la estructura de suelo reforzado. Este material debe ser de uso permanente y debe cumplir con las propiedades, características y requerimientos correspondientes a productos enrollados permanentes para control de erosión - Mantos para refuerzo de la vegetación (MRV), establecidos en artículo 811, Protección de taludes con productos enrollados para control de erosión.

687.2.3 Resistencia a largo plazo de mallas metálicas y geosintéticos

Los valores de resistencia a largo plazo de los elementos de refuerzo deben cumplir con las recomendaciones presentadas en el numeral 683.2.1.1 del artículo 683, Muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos.

El diseñador puede, a su criterio (debidamente justificado), incorporar al cálculo otros factores de reducción, si se prevén situaciones específicas adicionales que puedan afectar la resistencia del refuerzo, tales como efectos de exposición a la intemperie (radiación UV), cargas cíclicas, empalmes y otros.

El diseñador puede solicitar ensayos para evaluar los factores de reducción de los elementos de refuerzo a condiciones específicas del proyecto o utilizar los resultados de ensayos realizados en laboratorios idóneos y certificados, puestos a disposición por el proveedor.

Los refuerzos de malla metálica no están sujetos al proceso de fluencia. En este caso, RFCR (factor de reducción de resistencia para prevenir la rotura del refuerzo a largo plazo por fluencia - creep) debe ser igual a uno coma cero (1,0). Sin embargo, las mallas metálicas deben estar protegidas contra la corrosión, asegurando un adecuado desempeño durante la vida útil, incluso en ambientes químicamente agresivos a los metales.

687.2.4 Material de relleno

Los muros en suelo reforzado necesitan rellenos con materiales de gran durabilidad, buen drenaje y facilidad de construcción, así como de buena interacción de resistencia con el refuerzo, la fricción del material es la característica más importante requerida.

Los documentos del proyecto deben definir los requisitos que debe cumplir el material de

relleno, el cual puede ser: material granular tipo SBG (artículo 610, Relleno para estructuras, numeral 610.2.3), material granular tipo BG (artículo 610, numeral 610.2.3) o un material alternativo que cumpla con los requisitos del numeral 683.2.3 del artículo 683, Muros de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos.

No se debe permitir el uso de residuos de construcción y demolición o cualquier otro material reciclado. El pH del material del relleno, determinado según la norma de ensayo AASHTO T289, debe estar entre cinco y nueve (5 y 9). El contenido de materia orgánica debe ser determinado según la norma de ensayo INV E-121 o alternativamente la norma UNE 103204 para la porción de material que pasa el tamiz de dos milímetros (2 mm) o número 10 (nro.10) y no puede ser mayor que uno por ciento (1%).

687.2.5 Material de fachada

La construcción de muros en suelo reforzado permite el uso de diferentes sistemas de fachadas. A continuación, se indican las usualmente utilizadas:

- Fachada con gaviones: las canastas de gaviones rellenas de agregado pueden utilizarse como fachadas con refuerzo principales en malla metálica o geomalla. En el caso de utilizar sistemas de protección en la fachada compuestas por estructuras de gavión, el material de relleno debe cumplir con las recomendaciones especificadas en el numeral 681.2.2 del artículo 681, Gaviones y colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado.
- En el caso de usar fachadas en geosintéticos con vegetación: Los geotextiles o geomallas se doblan alrededor de la fachada para contener el suelo. En el caso de geotextiles la misma tela de refuerzo principal se utiliza como fachada y en el caso de

refuerzo principal con geomallas se coloca en la fachada un geosintético más flexible. Sobre los geosintéticos se pueden colocar mantos de control de erosión y vegetación. El sistema de la fachada puede ser configurada a partir de módulos de malla metálica.

687.2.6 Material de accesorios

Los materiales accesorios, tales como grapas, arandelas, elementos de fijación y demás elementos necesarios para la instalación de estructuras y su conexión, deben cumplir con los requisitos establecidos por la ficha técnica del producto suministrada por el fabricante.

687.2.7 Amarres de los elementos

El alambre para amarre y atirantamiento se proveerá en cantidad suficiente para asegurar la correcta vinculación entre los elementos. La cantidad en relación con el peso de los elementos debe ser de dos por ciento (2%).

687.3 Equipo

Se debe disponer de los equipos necesarios para instalar los refuerzos geosintéticos y la malla metálica correctamente, así como de elementos de corte y costura, 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 y/o malla metálica debe ser acorde con el tipo elemento utilizado, espesor de capa y las características de los materiales de apoyo y relleno.

Equipos y/o herramientas especiales que estén relacionadas con la construcción y/o control de calidad de los materiales y elementos utilizados en la construcción de la

estructura, deben ser especificados por el diseñador y el proveedor del material.

Finalmente, el constructor debe proponer, para consideración del interventor, los equipos más adecuados para la construcción de los sistemas constructivos contemplados en esta especificación.

687.4 Ejecución de los trabajos

687.4.1 Generalidades

Durante el transporte y el almacenamiento, los elementos reforzados en malla metálica deben ir en fardos o bultos dependiendo la cantidad necesaria para el proyecto, los geosintéticos utilizados deben 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 debe presentar al interventor para su aprobación, los planos detallados de disposición, los elementos, secuencias y procedimientos constructivos, con los detalles de los empalmes (traslapes, empalmes mecánicos, etc), con anticipación no menor a siete días (7 d) con respecto a la iniciación de los trabajos.

Los trabajos se deben efectuar con una adecuada coordinación entre las actividades de colocación del elemento reforzado, la colocación, conformación y compactación del material de relleno.

687.4.2 Preparación del terreno

Antes de iniciar la construcción de los muros en suelo reforzado, el terreno de apoyo debe ser preparado como se indica en el numeral 220.4.2 del artículo 220, Terraplenes.

La superficie debe quedar nivelada y debe ser firme. La firmeza se comprueba por medio

del paso de una volqueta completamente cargada.

Toda zona débil debe ser excavada y reemplazada con un suelo adecuado y compactado.

La superficie preparada del terreno debe ser inspeccionada y aprobada por el interventor. La superficie del terreno de apoyo preparado debe estar libre de rocas, piedras grandes u otros elementos que puedan deteriorar los elementos de refuerzo.

Además, se deben adelantar las labores adicionales de preparación del terreno que indiquen los documentos del proyecto.

687.4.3 Preparación de la fundación

El diseño debe especificar la capacidad admisible requerida y el nivel definitivo de la fundación, basado en el capítulo H.4 del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Inspección y liberación del terreno de cimentación debe ser realizado por un profesional calificado con competencia en Ingeniería Geotécnica.

La elección del sistema constructivo más adecuado debe considerar los asentamientos estimados de la cimentación, ya que cada sistema es capaz de absorber diferentes niveles de esfuerzos.

Si el suelo de cimentación no presenta las características adecuadas para el apoyo directo, debe adoptarse medidas complementarias mejorar el desempeño de la fundación tales, como reemplazo o mejoramiento de suelos, cimentaciones profundas, entre otros.

La fundación de la estructura debe tener un ancho mínimo igual a la longitud de la cola de refuerzo, más cincuenta centímetros (50 cm) o como indique el diseñador.

687.4.4 Colocación de los elementos de refuerzo

El refuerzo planar se debe instalar de acuerdo con las recomendaciones consignadas en la ficha del producto suministrada por el fabricante. Se debe colocar entre las capas de relleno compactado, según lo indicado en los documentos del proyecto, con los ajustes y modificaciones que apruebe el interventor.

Los rollos se deben 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 deben permitir empalmes en la dirección del refuerzo, a no ser que estos se muestren en los documentos del proyecto o en las especificaciones del fabricante.

Los refuerzos se deben instalar según las cotas de los documentos del proyecto, sin que difieran de estas en más de cincuenta milímetros (50 mm) y en una longitud nunca menor que la señalada en ellos.

El refuerzo se debe 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 debe hacer según las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto.

Los rollos adyacentes se deben colocar con o sin traslapes entre ellos o con conexiones mecánicas entre ellos, según lo indiquen los documentos del proyecto. En ausencia de información, se debe adoptar la recomendación del fabricante.

Las conexiones del refuerzo al paramento y traslapes deben utilizar los materiales especificados en el documento del proyecto y siguiendo las recomendaciones consignadas en la ficha técnica del producto.

No se debe permitir que los elementos utilizados como refuerzos queden expuestos, sin cubrir, por un lapso mayor a tres días (3 d).

En ninguna circunstancia se debe permitir la circulación de equipos sobre los elementos de refuerzo antes de que estos estén cubiertos con una capa de relleno de por lo menos quince centímetros (15 cm) de espesor. Se debe evitar el frenado brusco o los giros cerrados que ocasionen algún desplazamiento del material de relleno.

687.4.5 Empalmes

No se deben permitir los empalmes en la dirección principal del refuerzo, a no ser que su uso se encuentre expresamente indicado en los documentos del proyecto.

Si los documentos del proyecto contemplan la ejecución de empalmes en la dirección del refuerzo, las resistencias última y a largo plazo a la tensión, de esos empalmes, en la dirección perpendicular al empalme, deben cumplir con los valores especificados en los documentos del proyecto o la ficha técnica del fabricante. La medición de la resistencia última y el cálculo de la resistencia a largo plazo de los empalmes se deben realizar con los mismos procedimientos de ensayo y análisis que se emplean para determinar las resistencias de los refuerzos.

687.4.6 Colocación del material de relleno

El relleno se debe colocar por capas horizontales bajo control topográfico. La operación de extensión del material de relleno sobre el refuerzo se debe realizar cuidadosamente, empleando un método que no dé lugar a daños en el mismo.

No se debe permitir el tránsito de maquinaria sobre el refuerzo hasta que se conforme y se

compacte adecuadamente la primera capa de relleno sobre el mismo.

El espesor de la primera capa compactada de material de cobertura sobre el refuerzo debe estar definido en los documentos del proyecto, en función de la granulometría del material, de las características del refuerzo y del equipo de compactación. 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 debe 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 debe ser de quince centímetros como mínimo (≥ 15 cm).

El material de relleno se debe compactar con el equipo adecuado, hasta lograr el grado de compactación especificado por el diseñador, antes de comenzar las labores de colocación de la siguiente capa. El relleno se debe llevar a cabo hasta la cota indicada en los documentos del proyecto.

En la cercanía de la cara del muro a una distancia de uno o uno coma cinco metros (1 m o 1,5 m), se debe utilizar equipos manuales con el fin de no dañar los elementos de la fachada. Para garantizar la adecuada compactación de esta zona; en este caso, se debe reducir el espesor de capas para que los equipos manuales permitan alcanzar el grado de compactación especificado.

687.4.7 Construcción de la fachada del muro

En los documentos del proyecto se debe indicar el sistema de fachada del muro en suelo reforzado.

687.4.7.1 Cobertura vegetal

Cuando el proyecto requiera que la fachada sea revegetada, debe realizarse la implementación de procedimientos adecuados como son plantación, siembra directa, hidrosiembra y otras técnicas sobre la fachada. Es importante seleccionar especies que no afecten la eficiencia e integridad de los elementos que componen el paramento frontal.

La cobertura vegetal debe cumplir los requisitos establecidos en el artículo 810, Protección vegetal de taludes, numeral 810.2.1, y se deben instalar, regar y conservar según lo indicado en el numeral 810.4 del mismo artículo.

687.4.7.2 Fachada en gaviones de malla metálica tejida

Si los documentos del proyecto especifican que la fachada se debe construir con gaviones de malla de alambre de acero entrelazado, los materiales y el trabajo correspondiente deben atender lo especificado en el artículo 681, Gaviones y colchogaviones de malla de alambre de acero entrelazado. La conexión entre los geosintéticos de refuerzo y los gaviones debe ser por la fricción que se desarrolla en la longitud de geosintético que se coloque entre gaviones verticales adyacentes, según los detalles de los documentos del proyecto.

687.4.7.3 Fachada con encofrado perdido frontal

La fachada está compuesta por elementos irre recuperables, prefabricados o ensamblados in situ, los cuales sirven de encofrado para el confinamiento del suelo en la cara frontal de las estructuras, permitiendo su envolvimiento con el material de refuerzo. El módulo de encofrado perdido frontal con malla soldada debe ser colocado directamente sobre el terreno nivelado o última capa inmediatamente

compactada, siguiendo las especificaciones del documento del proyecto. El manto de control de erosión es ubicado directamente junto a la malla metálica.

687.4.8 Sistemas de drenaje

El drenaje es fundamental para el buen funcionamiento de una estructura de contención en suelo reforzado y se compone de dispositivos internos y externos. Se debe detallar el sistema de drenaje interno en el diseño del sistema de suelo reforzado, calculado por el diseñador. El diseño del sistema de drenaje externo también debe constar en los documentos del proyecto.

Las estructuras de contención que no contemplen drenaje interno deben ser dimensionadas considerando los esfuerzos debidos a las acciones del agua (hidrostáticos y otros). La ausencia del sistema de drenaje interno debe ser justificado por el diseñador en el proyecto.

La propuesta de drenaje debe incluir los diseños de las estructuras y/o adecuaciones necesarias, que permitan garantizar la entrega de las aguas procedentes del muro a otro sistema de conducción de aguas de origen pluvial o a un efluente natural cercano.

687.4.8.1 Sistema de drenaje interno

La función del sistema de drenaje interno prevé la captación y conducción de aguas que puedan interceptar la estructura de suelo reforzado. Este sistema de drenaje en ningún momento debe permitir la captación de aguas superficiales. El sistema de drenaje interno puede estar constituido por los siguientes elementos: colchón drenante en la base y dren sobre el trasdós del muro.

En el caso en que se opte por el uso de un sistema de drenaje con material granular, su

diseño y proceso constructivo deben cumplir con lo establecido en el artículo 673, Subdrenes con geotextil y material granular.

687.4.8.2 Sistema de drenaje externo

La función del sistema de drenaje externo es la captación y conducción de aguas superficiales, minimizando la acumulación y la infiltración de agua en el suelo.

Los muros en suelo reforzado son estructuras flexibles, por este motivo, las tuberías de drenaje usadas deben ser especificadas por el proyectista considerando sus desplazamientos y estanqueidad. La tubería de drenaje a utilizar debe cumplir las especificaciones contenidas en la normatividad capítulo 6, artículo 663, Tubería de plástico.

687.4.9 Control del tránsito

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

687.4.10 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir 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 de construcción se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (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 sea aprobado por este. 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.

687.4.11 Manejo ambiental

Adicional a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, así como también todos los aspectos relativos a la construcción de estructuras de suelo reforzado, se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios y evaluaciones ambientales del proyecto, además, se deben considerar las normas y disposiciones vigentes sobre conservación del ambiente, los recursos naturales y la protección a la comunidad.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades deben incluirse en los costos del proyecto; por tanto, no son objeto de reconocimiento directo en el contrato.

687.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

687.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles:

- Constatar el cumplimiento de las disposiciones existentes en el artículo 102, Aspectos generales de seguridad y salud.
- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Confirmar que los diferentes niveles de refuerzo sean colocados con las separaciones definidas en los documentos del proyecto, de acuerdo con los procedimientos aceptados por el interventor.
- Efectuar ensayos de control sobre el material de relleno.
- Comprobar la compactación de las capas de relleno.
- El interventor debe medir, para efectos de pago, el trabajo correctamente ejecutado.
- Verificar que los materiales de refuerzo utilizados tengan en forma clara la información del fabricante, el número del lote y la referencia del producto, así como la composición química del mismo.
- Verificar que la malla metálica se encuentre bien instalada sin daños en sus elementos y conexiones.
- Verificar que todos los elementos y materiales utilizados en la construcción de la estructura de suelo reforzado corresponda a los enunciados en el documento del proyecto y de conformidad con esta especificación.

- Comprobar que, durante el transporte y el almacenamiento, todos los elementos utilizados en el proyecto tengan los empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.

En caso de deficiencias en los materiales o en la ejecución de la obra, el constructor debe acometer, bajo su cuenta y riesgo exclusivos, sin costo adicional alguno para INVÍAS, las correcciones necesarias hasta conseguir la aprobación por parte del interventor.

687.6 Medida

687.6.1 Material de relleno

La unidad de medida del relleno debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado al entero, de material suministrado, colocado, compactado y terminado de acuerdo con los documentos del proyecto y debidamente aceptado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823. No se deben medir cantidades en exceso de las indicadas en los documentos del proyecto.

687.6.2 Material de fachada

El agregado usado como relleno de fachada debe ser cuantificado de manera separada al material de relleno de la estructura.

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado al entero, de material suministrado, colocado, compactado y terminado de acuerdo con los documentos del proyecto y debidamente aceptado por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823. No

se deben medir cantidades en exceso de las indicadas en los documentos del proyecto.

687.6.3 Geosintéticos de refuerzo

La unidad de medida de los geosintéticos debe ser 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 debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E- 823.

No se debe medir ningún área por fuera de tales límites, ni se consideran, para efecto del pago, los traslajos.

687.6.4 Mantos de control de erosión

La unidad de medida de los mantos de control de erosión debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de manto colocado a satisfacción del interventor, de acuerdo con lo exigido por la presente especificación. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E- 823.

No se debe medir ningún área por fuera de tales límites, ni se consideran, para efecto del pago, los traslajos.

687.6.5 Malla metálica para fachada

La unidad de medida de la malla metálica para fachada debe ser el metro cuadrado (m^2) aproximado al entero, de malla colocada para conformación de la cara frontal de la estructura de suelo reforzado. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E- 823.

687.6.6 Malla metálica para refuerzo

La unidad de medida de la malla metálica para refuerzo debe ser el metro cuadrado (m^2) aproximado al entero, de malla colocada para conformación de la estructura de suelo reforzado. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E- 823.

687.7 Forma de pago

687.7.1 Material de fachada

El pago del agregado usado como relleno de fachada debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por metro cúbico (m^3) para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor. El precio unitario debe 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 de fachada; 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 los documentos del proyecto y lo aprobado por el 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, debe incluir los costos por concepto de desperdicios.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del

constructor.

687.7.2 Geosintéticos de refuerzo

El pago de los geosintéticos de refuerzo se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por metro cuadrado (m^2), para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe incluir el suministro, almacenamiento y transporte del geosintético y los elementos accesorios. la colocación del geosintético con sus uniones y elementos de fijación entre geosintéticos y con los elementos de fachada; los traslapes y costuras; los desperdicios; 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 lo aprobado por el interventor; así como toda labor, mano de obra, equipo o material necesario para la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe comprender, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

687.7.3 Mantos de control de erosión

El pago de los mantos de control de erosión debe ser el metro cuadrado (m^2), para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe abarcar todos los costos de preparación de la superficie existente, salvo que dicha labor forme parte de otra partida de trabajo del mismo contrato; el suministro en el lugar y la colocación de todos los materiales requeridos para la protección, incluidos los anclajes; la compactación o escarificación de la superficie tratada, cuando corresponda; la excavación y el relleno de las zanjas requeridas para asegurar los mantos para control de erosión.

Este ítem se debe pagar de acuerdo a lo establecido en el artículo 811, Protección de taludes con productos enrollados para control de erosión.

El precio unitario debe comprender, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

687.7.4 Malla metálica para fachada

El pago de la malla metálica para fachada es el metro cuadrado (m^2) de malla colocada para conformación de la cara frontal de la estructura de suelo reforzado, para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe incluir, también, los costos por concepto del suministro e instalación de elementos accesorios o cualquier otro elemento utilizado para colocación de la malla para conformación de la cara frontal de la estructura de suelo reforzado.

El precio unitario debe comprender, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

687.7.5 Malla metálica para refuerzo

El pago de la malla metálica para refuerzo es el metro cuadrado (m^2) de malla metálica para refuerzo, para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe incluir, también, los costos por concepto del suministro e instalación de elementos accesorios o cualquier otro elemento utilizado para colocación de la malla para refuerzo.

El precio unitario debe incluir los triángulos de soporte y las varillas de refuerzo.

El precio unitario debe comprender, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Se deben pagar por aparte las excavaciones, rellenos requeridos para la preparación de la fundación y los elementos que hacen parte del sistema de drenaje del muro de suelo reforzado, de acuerdo con los siguientes artículos:

- Excavaciones: artículo 600, Excavaciones varias.
- Rellenos: artículo 610, Rellenos para estructuras.
- El elemento de drenaje a emplearse se debe pagar con la partida Capítulo 6: artículo 673, Subdrenes con geotextil y material granular.
- La tubería HDPE para drenaje a emplearse se debe pagar con la partida Capítulo 6: artículo 663, Tubería de plástico.

Los precios unitarios de cada una de las actividades deben comprender, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

687.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
687.1	Geosintéticos de refuerzo	Metro cuadrado (m ²)
687.2	Malla metálica para fachada	Metro cuadrado (m ²)
687.3	Malla metálica para refuerzo	Metro cuadrado (m ²)
687.4	Mantos de control de erosión	Metro cuadrado (m ²)

Nota: Se debe establecer un ítem de pago para cada tipo de geosintéticos, malla metálica y para cada tipo de relleno que se especifique en el contrato.