

Febrero 2011

TÍTULO

Ejecución de trabajos geotécnicos especiales

Relleno reforzado

Execution of special geotechnical Works. Reinforced fill.

Exécution de travaux géotechniques spéciaux. Remblais renforcés.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de las Normas Europeas EN 14475:2006 y EN 14475:2006/AC:2006.

OBSERVACIONES

Esta norma sustituye a la Norma EN 14475:2006 (ratificada por AENOR).

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 103 *Geotecnia* cuya Secretaría desempeña AENOR.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 5174:2011

© AENOR 2011
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28004 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032

53 Páginas

Grupo 32

AENOR

NORMA EUROPEA
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN 14475

Enero 2006

+AC

Septiembre 2006

ICS 93.020

Versión en español

Ejecución de trabajos geotécnicos especiales Relleno reforzado

**Execution of special geotechnical Works.
Reinforced fill.**

**Exécution de travaux géotechniques
spéciaux. Remblais renforcés.**

**Ausführung von besonderen
geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau).
Bewehrte Schüttkörper.**

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2005-11-10.

Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional. Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
CENTRO DE GESTIÓN: Avenue Marnix, 17-1000 Bruxelles

© 2006 CEN. Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

ÍNDICE

	Página
PRÓLOGO	5
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	6
2 NORMAS PARA CONSULTA.....	7
3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES	9
4 INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS	10
5 INVESTIGACIONES GEOTECNICAS	11
6 MATERIALES Y PRODUCTOS	12
7 CONSIDERACIONES RELACIONADAS CON EL DISEÑO	17
8 EJECUCIÓN	21
9 SUPERVISIÓN, ENSAYO Y SEGUIMIENTO	27
10 REGISTROS.....	27
11 REQUERIMIENTOS ESPECIALES.....	28
ANEXO A (Informativo) USO TÍPICO DE LOS TIPOS DE RELLENO DEPENDIENDO DE LA APLICACIÓN, REFUERZO Y REVESTIMIENTO	29
ANEXO B (Informativo)	30
ANEXO C (Informativo) UNIDADES Y SISTEMAS DE REVESTIMIENTO	32
ANEXO D (Informativo) ALGUNAS FORMAS DE REFUERZO TÍPICAS	48
ANEXO E (Informativo) REFUERZO DE ACERO.....	50
ANEXO F (Informativo) RECOMENDACIONES PARA LAS UNIDADES DE REVESTIMIENTO.....	52
BIBLIOGRAFÍA.....	53

PRÓLOGO

Esta Norma EN 14475:2006 ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 288 *Ejecución de trabajos geotécnicos especiales*, cuya Secretaría desempeña AFNOR.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a ella o mediante ratificación antes de finales de julio de 2006, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de julio de 2006.

El cálculo de estructuras de relleno reforzado actualmente se realiza utilizando normas nacionales tales como la Norma BS 8006 (1995), la Norma NF P 94-220 (1998) y otras. De hecho la Norma EN 1997-1, Eurocódigo 7 (Proyecto geotécnico) actualmente no cubre el cálculo detallado de estructuras de relleno reforzado. Los valores de factores parciales y de carga indicados en la Norma 1997-1 no se han validado para las estructuras de relleno reforzado.

Mientras que existen muchas características comunes entre los métodos de cálculo que se han desarrollado y adoptado en los diferentes países miembros de CEN, hay también diferencias que reflejan la diversidad de métodos de trabajo, así como de geología y clima.

En vista de estas diferencias, y del tiempo necesario para desarrollar un método de cálculo común que refleje todos los aspectos identificados en los métodos nacionales particulares, para el desarrollo de normas para el relleno reforzado se ha adoptado un enfoque de dos etapas.

De acuerdo con este enfoque de dos etapas, el Grupo de Trabajo 9 recibió como mandato del TC 288 elaborar primero una norma europea que diese orientación sobre la ejecución de relleno reforzado, antes de trabajar hacia un método común de cálculo. Esta norma representa la implementación de la primera parte del mandato.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

1.1 Esta norma europea establece los principios generales para la ejecución de obras de relleno reforzado.

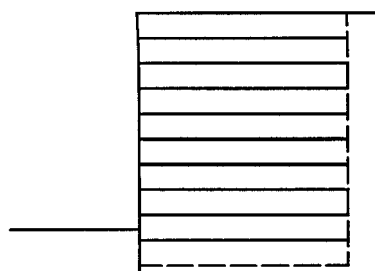
1.2 Esta norma europea ampara los rellenos técnicos que se refuerzan mediante la inclusión de refuerzos horizontales o subhorizontales colocados entre capas de relleno durante su construcción.

1.3 El campo de aplicación de los rellenos reforzados considerados en esta norma europea comprende (figura 1):

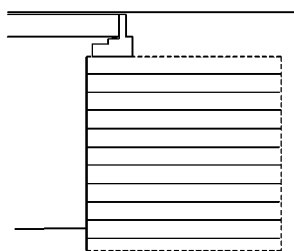
- estructuras de contención de tierras (muros verticales, oblicuos o inclinados, estribos de puentes, instalaciones de almacenamiento a granel), con un revestimiento para contener el relleno situado entre las capas de refuerzo;
- refuerzo de taludes grandes con revestimiento, tanto empotrada o añadida como cruzada, refuerzo de taludes pequeños sin revestimiento, pero cubiertos con algún tipo de protección contra la erosión, restitución de taludes con deslizamientos;
- terraplenes con refuerzos elementales y terraplenes con refuerzos en la parte superior contra los levantamientos producidos por las heladas.

Los principios para la ejecución de otros trabajos geotécnicos especiales como el uso de anclajes, pilotes perforados, pilotes de desplazamiento, micropilotes, muros de pilotes, muros pantalla, inyecciones o *jet grouting* se establecen en otras normas europeas.

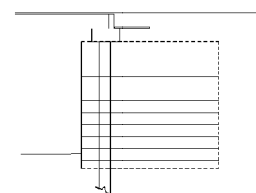
Esta norma no cubre los refuerzos de pavimentos de carretera.



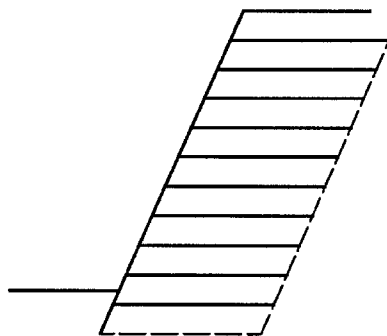
a) Muros



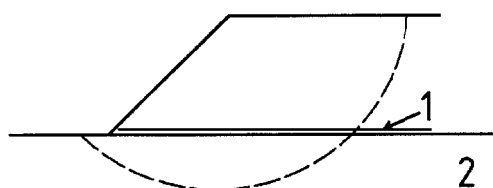
b) Estribos



c) Estribos mixtos



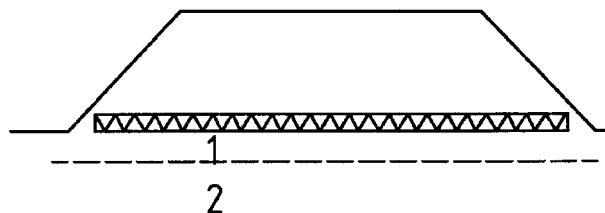
d) Taludes reforzados



e) Refuerzo elemental

Leyenda

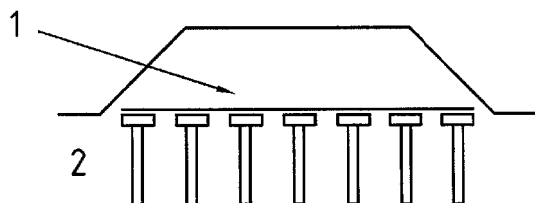
- 1 Refuerzo
2 Depósito blando



f) Colchón elemental

Leyenda

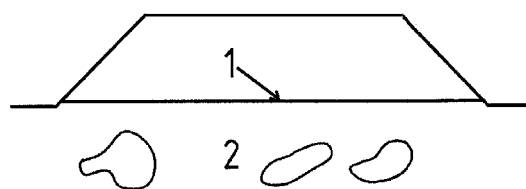
- 1 Capa blanda delgada
2 Capa firme



g) Terraplenes pilotados con refuerzo elemental

Leyenda

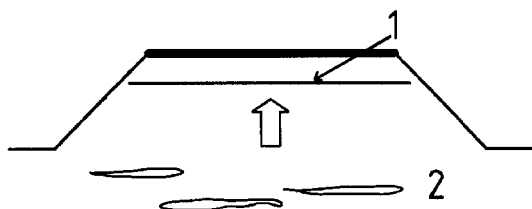
- 1 Refuerzo
2 Pilotes



h) Refuerzos en áreas propensas a subsidencias

Leyenda

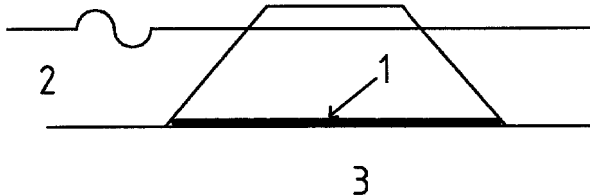
- 1 Refuerzo
2 Zonas potencialmente débiles o huecos



i) Refuerzos en áreas propensas a levantamientos por heladas

Leyenda

- 1 Refuerzo
2 Lentejones de hielo



j) Refuerzo elemental marino

Leyenda

- 1 Refuerzo
2 Lago o mar
3 Fondo marino blando

Figura 1 – Algunas aplicaciones de relleno reforzado

2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

EN 206-1 *Hormigón. Parte 1: Especificaciones, prestaciones, producción y conformidad.*

EN 1990 *Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras.*

EN 1991 *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras.*

EN 1992-1-1 *Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.*

EN 1997-1 *Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico. Parte 1: Reglas generales.*

EN 10025-2 *Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 4: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales soldables de grano fino laminados termomecánicamente.*

EN 10025-4 *Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 4: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales soldables de grano fino laminados termomecánicamente.*

EN 10079 *Definición de los productos de acero.*

EN 10080 *Acero para el armado del hormigón. Acero soldable para armaduras de hormigón armado. Generalidades.*

EN 10218-1 *Alambres y productos trefilados en acero. Generalidades. Parte 1: métodos de ensayo.*

EN 10218-2 *Alambres y productos trefilados en acero. Generalidades. Parte 2: Medidas y tolerancias.*

EN 10223-3 *Alambres de acero y productos de alambre para cerramientos. Parte 3: Malla hexagonal de acero para aplicaciones industriales.*

EN 10223-4 *Alambre de acero y productos de alambre para cerramientos. Parte 4: Malla electrosoldada.*

EN 10244-1 *Alambre de acero y productos de alambre. Recubrimientos metálicos no ferrosos sobre alambre de acero. Parte 1: Principios generales.*

EN 10244-2 *Alambre de acero y productos de alambre. Recubrimientos metálicos no ferrosos sobre alambre de acero. Parte 2: Recubrimientos de cinc o de aleaciones de cinc.*

EN 10245-1 *Alambres de acero y productos de alambre. Recubrimientos orgánicos del alambre. Parte 1: Reglas generales.*

EN 10245-2 *Alambres de acero y productos de alambre. Recubrimientos orgánicos del alambre. Parte 2: Recubrimiento de PVC en alambres.*

EN 10245-3 *Alambres de acero y productos de alambre. Recubrimientos orgánicos del alambre. Parte 3: Recubrimiento de PE en alambres.*

EN 10326 *Chapas y bandas de acero estructural revestidas en continuo por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro.*

EN 12224 *Chapas y bandas de acero estructural revestidas en continuo por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro.*

EN 12225 *Geotextiles y productos relacionados. Método para determinar la resistencia microbiológica mediante un ensayo de enterramiento en el suelo.*

EN 13251 *Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para su uso en movimientos de tierras, cimentaciones y estructuras de contención.*

EN ISO 898-1 *Características mecánicas de los elementos de fijación de acero al carbono y acero aleado. Parte 1: Pernos, tornillos y bulones. (ISO 898-1:1999).*

EN ISO 1461 *Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo. (ISO 1461:1999).*

EN ISO 2063 *Proyección térmica. Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos inorgánicos. Cinc, aluminio y sus aleaciones. (ISO 2063:2005).*

EN ISO 10320 *Geotextiles y productos relacionados con geotextiles. Identificación in situ. (ISO 10320:1999).*

ENV ISO 10722-1 *Geotextiles y productos relacionados con geotextiles. Procedimiento para simular el deterioro durante la instalación. Parte 1: Instalación en materiales granulares. (ISO 10722-1:1998).*

EN ISO 12957-1 *Geosintéticos. Determinación de las características de fricción. Parte 1: Ensayo de cizallamiento directo. (ISO 12957-1:2005).*

EN ISO 13431 *Geotextiles y productos relacionados. Determinación del comportamiento a la fluencia en tracción y a la rotura a la fluencia en tracción. (ISO 13431:1999).*

3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma europea, se aplican los siguientes términos y definiciones.

3.1 relleno:

Material natural o artificial compuesto por partículas sólidas, incluyendo ciertas rocas, que se usa para construir rellenos técnicos.

3.2 refuerzo:

Término genérico de las inclusiones de refuerzo colocadas dentro del relleno.

3.3 relleno técnico:

relleno que se coloca y compacta bajo unas condiciones controladas.

3.4 relleno reforzado:

relleno técnico que incorpora capas sucesivas de refuerzo del suelo, generalmente colocadas horizontalmente, las cuales se disponen entre capas sucesivas de relleno durante su ejecución.

3.5 refuerzo del relleno:

refuerzo que mejora la estabilidad de la masa de relleno reforzado por la movilización de la resistencia a la tracción axial del refuerzo del relleno por interacción con el relleno en toda su longitud.

NOTA Típicamente tiene la forma de una tira, lámina, cuadrícula o malla y normalmente se coloca en capas sucesivas.

3.6 geosintéticos:

En el contexto de esta norma europea “geosintético” significa “geotextiles y productos relacionados”.

3.7 revestimiento:

Cubierta de la cara expuesta de una estructura de relleno reforzado que retiene el relleno entre las capas de refuerzo y lo protege de la erosión.

3.8 cimiento:

El cimiento de una estructura de relleno reforzado es el área total de la superficie sobre la que se coloca la capa inferior del refuerzo.

3.9 unidad de revestimiento discreta:

Unidad de paramento de altura parcial que se usa para construir incrementalmente una estructura de relleno reforzado.

3.10 unidad de revestimiento de altura total:

Unidad de revestimiento igual a la altura de la cara expuesta de la estructura.

3.11 unidad de revestimiento rígida:

Panel o bloque habitualmente de hormigón prefabricado con una baja compresibilidad vertical y una alta rigidez a flexión intrínsecas. (Véase C.2.1 para orientación).

3.12 unidad de revestimiento deformable:

Panel de malla de acero preformada, sección maciza de acero preformada o gavión relleno de roca con una alta compresibilidad vertical y una baja rigidez a flexión intrínsecas. (Véase C.2.2 para orientación).

3.13 unidad de revestimiento blanda:

Relleno de suelo encapsulado en un revestimiento de geomalla o geotextil y sin rigidez a flexión. (Véase C.2.3 para orientación).

3.14 sistema de revestimiento:

Montaje de las unidades de revestimiento que se usan para ejecutar una estructura de relleno reforzado acabada.

3.15 sistema de revestimiento rígido:

Sistema de revestimiento sin capacidad para adaptarse a los asientos diferenciales verticales entre el relleno y el revestimiento. (Véase el anexo C para orientación).

3.16 sistema de revestimiento semi-flexible:

Sistema de revestimiento con algo de capacidad para acomodarse a los asientos diferenciales verticales entre el relleno y el revestimiento.

3.17 sistema de revestimiento flexible:

Sistema de revestimiento elástico y articulado con capacidad para acomodarse a los asientos verticales diferenciales entre el relleno y el revestimiento.

3.18 revestimiento verde:

Cubierta vegetal o relleno que se usa sin unidades de revestimiento o como un complemento de las estructuras de relleno reforzado construidas con unidades de paramento.

3.19 recubrimiento:

Falso revestimiento que se añade delante del revestimiento para mejorar estéticamente una estructura de relleno reforzado acabada.

3.20 vida útil:

Vida de servicio, en años, requerida por el proyecto.

3.21 estructuras temporales:

Estructuras con una vida útil de uno a cinco años (Clase 1).

3.22 estructuras permanentes:

Estructuras con una vida útil mayor de cinco años (Clases 2 a 5).

4 INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

4.1 Antes del comienzo de cualquier obra se debe suministrar toda la información necesaria para la ejecución de los trabajos conforme al proyecto y así como los documentos contractuales.

4.2 La información debe incluir la definición de los procedimientos de información para tratar con circunstancias imprevistas, o con cualquier circunstancia que aparezca o se considere durante la ejecución que parezca más desfavorable que las hipótesis de proyecto.

4.3 La información debe incluir la definición de los procedimientos de información si se adopta algún método observacional de diseño o si se requiere seguimiento.

4.4 Se debe notificar cualquier restricción tal como la planificación en etapas de la ejecución requerida por el proyecto, el acceso a la obra, de carácter ambiental o normativo.

4.5 Para las obras a ejecutar en niveles especificados, en los planos o especificaciones se deben mostrar las coordenadas y tolerancias, junto con las posiciones, niveles y coordenadas de puntos de referencia fijos en el lugar de los trabajos o cerca de él.

4.6 Se debe suministrar un programa de procedimientos de ensayos y procedimientos de aceptación de los materiales incorporados en la obra cuando sea pertinente.

4.7 Cuando se instalen muestras de refuerzos para la evaluación de su degradación a largo plazo o su capacidad de arranque, se deben suministrar instrucciones detalladas con respecto a su situación, identificación e instalación.

4.8 Para evitar dañar los servicios existentes o propuestos, se debe comprobar la situación exacta de todos los servicios tales como electricidad, teléfono, agua, gas, drenaje y alcantarillado.

4.9 Si el emplazamiento está sujeto a regímenes de marea o inundaciones, condiciones de clima frío o restricciones afines, se deben dar detalles de dichas restricciones.

5 INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS

5.1 El alcance de cualquier investigación del emplazamiento debe ser lo suficiente como para permitir la determinación de las condiciones de terreno en el emplazamiento de acuerdo con los requisitos de la Norma EN 1997-1 y para posibilitar la ejecución de los trabajos de acuerdo con los documentos contractuales y de proyecto.

5.2 Se debería suministrar la información geotécnica, hidrogeológica e hidrológica para permitir al constructor diseñar cualquier trabajo temporal o accesos necesarios para la ejecución (por ejemplo movimientos de tierra, terraplenes, estabilización de excavaciones o cortes cerca de la estructura, ejecución de diques.)

5.3 Se debe realizar una investigación geotécnica adecuada para determinar las propiedades del material del relleno relativas a:

- la trabajabilidad, de acuerdo con el apartado 6.2.2;
- la agresividad contra los refuerzos o el revestimiento, de acuerdo con el apartado 6.2.8;
- el ángulo de rozamiento interno y la cohesión, de acuerdo con el apartado 6.2.10.

5.4 Se debe realizar una investigación geotécnica, cuando sea pertinente, de acuerdo con los apartados 6.2.8.1 al 6.2.8.3, para determinar la agresividad de:

- el material de cimentación que puede estar en contacto con el refuerzo o revestimiento;
- el agua freática que puede empapar el relleno seleccionado y afectar a su propia agresividad.

6 MATERIALES Y PRODUCTOS

6.1 Generalidades

6.1.1 La ejecución de rellenos reforzados implica el uso de los componentes principales siguientes:

- material de relleno;
- refuerzo del relleno, y si se requiere;
- sistema de revestimiento.

Todos los materiales y productos deben cumplir las especificaciones de proyecto y los requerimientos técnicos de los proveedores si se usan sistemas patentados. Todos los materiales utilizados deben ser compatibles entre sí.

6.1.2 Debe documentarse la fuente de suministro de todos los materiales, relleno, refuerzos, revestimientos, etc. No se debe cambiar la fuente de suministro de los materiales sin previo aviso.

6.2 Materiales de relleno

6.2.1 Generalidades

6.2.1.1 El relleno utilizado dentro de la zona reforzada se debe seleccionar para cumplir con las propiedades requeridas en la especificación de diseño y proyecto.

6.2.1.2 La idoneidad de un material de relleno reforzado depende de varios factores que se deben considerar cuando se elige el material:

- trabajabilidad del relleno;
- función y entorno de la estructura y su comportamiento a largo plazo;
- espesor de las capas de relleno y tamaño máximo de partículas;
- tecnología del revestimiento;
- vegetación;
- propiedades de drenaje;
- agresividad del relleno;
- interacción entre el relleno y el refuerzo;
- ángulo de rozamiento interno y cohesión del relleno;
- sensibilidad a las heladas.

6.2.2 Trabajabilidad del relleno

6.2.2.1 La trabajabilidad del relleno debe ser tal que éste se pueda colocar y compactar para que tenga las propiedades requeridas por el proyecto.

6.2.2.2 La elección del relleno debe tener en cuenta las condiciones climáticas bajo las cuales el relleno se va a colocar, la maquinaria de compactación, y las prácticas y experiencia locales. Véase el anexo A para orientación.

6.2.2.3 Cualquier experiencia local pertinente en la ejecución de terraplenes sin reforzar se debe considerar en la elección del relleno para estructuras de relleno reforzado.

6.2.2.4 Se debe considerar cualquier aditivo utilizado para mejorar la trabajabilidad de algunos materiales de relleno por ejemplo cal, cemento, con respecto a las limitaciones de ejecución, es decir, la presencia de capas de refuerzo dentro del relleno y su durabilidad química.

6.2.2.5 El material de relleno no debe tener nieve o hielo. Los materiales sensibles a las heladas no se deben colocar en condiciones bajo cero.

6.2.3 Función y entorno de la estructura y su comportamiento a largo plazo

6.2.3.1 Algunos tipos de estructuras tienen una función crítica cuando el asiento postconstructivo es muy importante, por ejemplo, los estribos de puentes, muros de contención de vías ferroviarias y edificios, o estructuras altas de contención de tierras, etc. En estos casos se debe seleccionar un material de relleno que sea fácil de compactar y que posteriormente tenga baja compresibilidad. (Véase el anexo A para orientación).

6.2.3.2 Se deben comprobar las propiedades de drenaje del relleno respecto a su compatibilidad con las hipótesis de cálculo cuando una estructura esté expuesta a inundaciones y posterior descenso rápido de las aguas.

6.2.3.3 Se debe considerar el comportamiento de algunos suelos granulares finos con respecto a la vida útil, el comportamiento a largo plazo y la función de la estructura de relleno reforzado. No se deben utilizar materiales de relleno degradables ni suelos disgregables a menos que se hagan estudios específicos para validar su uso. En particular, las propiedades de los materiales susceptibles de descomponerse se deben evaluar con ensayos de prueba, o con ensayos realizados en el material después de su compactación.

6.2.4 Espesor de las capas de relleno y tamaño máximo de partículas

6.2.4.1 El tamaño máximo de las partículas debería permitir la ejecución de una superficie aceptablemente uniforme y compatible con el espesor de capa compactada. El tamaño máximo de partículas puede ser también una función del espacio de las capas del refuerzo y, cuando sea pertinente, del tamaño de las unidades de revestimiento.

6.2.4.2 El tamaño máximo de las partículas también se determinará según la elección del refuerzo para mantener los daños de la ejecución dentro de los límites de diseño especificados. Véase el apartado 6.2.8.4.

6.2.4.3 Generalmente se requiere que el equipo de compactación utilizado cerca del revestimiento de la estructura sea más ligero que el utilizado dentro del cuerpo del relleno (a menos que se especifique de otra manera por el sistema de refuerzo del suelo). Esto puede dar capas compactadas más finas para poder alcanzar la densidad de relleno requerida.

6.2.4.4 No se deben utilizar rellenos inadecuados tales como suelos orgánicos, materiales solubles y materiales altamente expansibles.

6.2.5 Tecnología del paramento

6.2.5.1 Se debe considerar la compatibilidad del asiento inducido por compactación y el asiento postconstructivo con el sistema de paramento a la hora de seleccionar el relleno. Véanse los anexos A y C para orientación.

6.2.6 Vegetación

6.2.6.1 Cuando se proyecta una cubierta vegetal en el revestimiento (superficie vegetal), el material de relleno colocado cerca del frente de la construcción debe cumplir los requisitos específicos de la cubierta vegetal.

6.2.7 Propiedades de drenaje

6.2.7.1 Cuando se utilicen geosintéticos de drenaje, las propiedades de drenaje y filtración del geosintético deben ser compatibles con el relleno seleccionado.

6.2.8 Agresividad del relleno

6.2.8.1 Se debe considerar la agresividad electroquímica, química y biológica de los materiales de relleno para asegurarse que estas propiedades no producen ningún efecto negativo en el comportamiento del refuerzo o del revestimiento.

6.2.8.2 La evaluación de la idoneidad electroquímica, química o biológica del relleno seleccionado con respecto de los refuerzos se debe basar en experiencias previas pertinentes, por ejemplo, la correlación establecida entre las características del suelo y la pérdida de resistencia de los refuerzos a largo plazo.

6.2.8.3 Se debe considerar la agresividad mecánica de los materiales de relleno con respecto al refuerzo o al revestimiento para evaluar la compatibilidad con las hipótesis de cálculo.

6.2.8.4 La evaluación del deterioro mecánico de los refuerzos, o de sus protecciones, causado por el relleno seleccionado durante la ejecución se debe basar en la experiencia previa pertinente cuando esté disponible, o en ensayos *in situ* específicos cuando sea necesario. Esto es particularmente importante cuando se use relleno machacado y anguloso.

6.2.9 Interacción entre el relleno y el refuerzo

6.2.9.1 Se debe considerar la interacción entre el relleno y el refuerzo para evaluar la compatibilidad con las hipótesis de cálculo.

6.2.9.2 La evaluación de la interacción entre el relleno y el refuerzo se debería basar en ensayos con caja de corte o arrancamiento, y/o en la experiencia previa pertinente cuando se disponga de ella.

6.2.10 Ángulo de rozamiento interno y cohesión del relleno

6.2.10.1 Se debe considerar la compatibilidad del ángulo de rozamiento interno y la cohesión del relleno con las hipótesis de cálculo.

6.2.10.2 La evaluación del ángulo de rozamiento interno y la cohesión del relleno debe ser representativa de las condiciones en las cuales se usan (por ejemplo, densidad, contenido de humedad, nivel de tensión).

6.2.10.3 La evaluación de las propiedades de rozamiento de los materiales de drenaje o de rellenos granulares (definidos en el anexo A para orientación) pueden basarse en la experiencia previa pertinente y estar relacionadas con la distribución del tamaño de partículas del material.

6.2.11 Sensibilidad a las heladas

6.2.11.1 Cuando sea pertinente, se debe usar material no sensible a las heladas hasta un espesor igual a la profundidad de penetración del hielo de cualquier superficie expuesta a temperaturas bajo cero, a menos que se use una capa aislante.

6.2.12 Orientación

En el anexo A se consideran algunas combinaciones típicas de relleno, refuerzo y unidades de revestimiento. En el anexo B se consideran las propiedades electroquímicas de los rellenos utilizados con refuerzos metálicos.

6.3 Productos de refuerzo

6.3.1 Generalidades

6.3.1.1 Los refuerzos del relleno pueden estar hechos de metales, generalmente acero, o materiales poliméricos. Véanse algunos ejemplos en el anexo D.

NOTA De forma experimental se han usado refuerzos de fibra de vidrio y carbón y en estructuras temporales se han usado fibras naturales.

6.3.1.2 Los refuerzos se deben usar solamente si su idoneidad, incluyendo durabilidad, se ha verificado mediante pruebas o la experiencia, y por ensayos homologados realizados sobre el producto o sobre un producto similar de la misma clase de material y cuyas propiedades se conoce son equivalentes, para verificar que las propiedades requeridas del refuerzo probablemente estén disponibles al final de la vida útil en las condiciones de servicio del proyecto.

6.3.1.3 Todos los productos de refuerzo deben cumplir la especificación para la obra tal y como se requiere en el proyecto.

6.3.2 Refuerzo de relleno de acero

6.3.2.1 Los refuerzos de acero (figura D.1) pueden adoptar la forma de bandas, barras y varillas según las Normas EN 10025-4, EN 10025-2 o EN 10080, escalas, mallas de alambres soldados (también conocidas como rejillas o emparrillados) según la Norma EN 10080 o mallas de alambres tejidos según las Normas EN 10218 y EN 10223. Generalmente deberían tener un extremo conectado al revestimiento con el espaciado recomendado en el proyecto. El refuerzo de acero se puede suministrar con una capa protectora para mitigar los efectos de la corrosión electroquímica. En el anexo E se dan algunos ejemplos típicos de refuerzo de acero ampliamente utilizados.

6.3.2.2 Las bandas de acero, varillas, barras, escalas o las mallas de alambre soldado se pueden suministrar con una protección galvánica. El galvanizado debe cumplir la Norma ISO 1461 con un espesor de revestimiento local de 70 µm. Las bandas finas se pueden galvanizar de acuerdo con la Norma EN 10326, con un espesor de revestimiento local de 35 µm. Se debe aplicar una tolerancia a la corrosión al metal base adecuada a la vida útil.

6.3.2.3 Las mallas de alambres tejidos se pueden suministrar con una capa de aleación de zinc-aluminio (Zn95Al5), con un espesor mínimo de 30 µm y además protegidas con una capa de 0,5 mm de espesor de PVC o PE. La capa de zinc-aluminio debe cumplir la Norma 10244-2.

6.3.2.4 No se debería usar acero inoxidable o aleaciones de aluminio en el refuerzo de tierras de estructuras permanentes excepto en casos particulares basados en estudios específicos.

6.3.3 Refuerzo polimérico

6.3.3.1 Un refuerzo polimérico puede adoptar muchas formas, (figura D.2), tales como bandas, rejillas o chapas las cuales pueden no estar conectadas al revestimiento. Al igual que las bandas de acero, las bandas poliméricas se deben instalar con un espaciado predeterminado tanto vertical como horizontal requerido por el proyecto. Por el contrario, solamente se debe especificar el espaciado vertical para las rejillas o chapas colocadas en toda la anchura del refuerzo. Los polímeros más utilizados son el poliéster y las poliolefinas, aunque se puedan usar otros materiales geosintéticos.

6.3.3.2 Todos los refuerzos de relleno geosintéticos deben cumplir los requisitos de la Norma 13251, en la medida que ensayos y procedimientos de ensayo sean aplicables con respecto a la forma particular del refuerzo.

6.3.3.3 Como se requiere en el proyecto, el refuerzo de relleno polimérico en forma de bandas, rejillas o chapas, se debe proporcionar con valores certificados de resistencias de cálculo pertenecientes a la vida útil especificada y a la temperatura de servicio de la estructura de relleno reforzado y, debe basarse en las características de rotura de fluencia a tracción y en las curvas carga-deformación isócronas de la Norma EN ISO 13431.

6.3.3.4 A menos que se basen en la experiencia previa y/o en ensayos específicos como los indicados en los apartados 6.2.8.2, 6.2.8.4 ó 6.2.9.2, los valores certificados de las resistencias de cálculo de los refuerzos de relleno poliméricos deben basarse en los daños inducidos en la construcción según la Norma Experimental ENV ISO 10722-1, la interacción entre el relleno y el refuerzo según la Norma EN ISO 12957-1, y la durabilidad según el anexo B de la Norma EN 13251, incluyendo la consideración de la resistencia a la meteorización según la Norma EN 12224 y posiblemente de los ataques microbiológicos según la Norma EN 12225.

6.4 Revestimientos

6.4.1 Generalidades

6.4.1.1 Los revestimientos se pueden fabricar con diversos materiales y configuraciones, con diversas conexiones entre el revestimiento y el refuerzo, y con diversos dispositivos de relleno de juntas y de apoyo.

6.4.1.2 Todos los sistemas y unidades de revestimiento, incluyendo las uniones entre los revestimientos y los refuerzos y juntas, cuando sean necesarios, deben cumplir con la especificación para la obra y tener las propiedades a largo plazo requeridas en el proyecto.

6.4.1.3 El sistema de revestimiento debe permitir la ejecución dentro de las tolerancias especificadas de alineación vertical y horizontal, y debería funcionar dentro de dichas tolerancias a lo largo de su vida útil.

6.4.1.4 El sistema de revestimiento debería ser capaz de soportar los asientos diferenciales requeridos por el proyecto sin causar daño estructural al revestimiento.

6.4.1.5 Cuando se use vegetación, el recubrimiento debe proporcionar un medio adecuado para el establecimiento y crecimiento continuo de la vegetación.

6.4.1.6 Se necesitan considerar varios aspectos interrelacionados en un recubrimiento vegetal, incluyendo el clima, la localización de la obra, el aspecto, la altitud, la cantidad y frecuencia de precipitaciones, la exposición, la forma del revestimiento y la capacidad de resistencia a la erosión.

6.4.1.7 Cualquier junta abierta entre las unidades de revestimiento se debe rellenar con un relleno continuo o un cubrejuntas, o proteger de cualquier otro modo para evitar cualquier fuga de finos del material de relleno al intradós del revestimiento. El material de unión debe ser permeable a menos que se requiera de otra forma en la especificación de la obra.

6.4.1.8 Guía.

En el anexo C se describen ejemplos de los sistemas de revestimiento.

6.4.2 Unidades de hormigón prefabricado (Paneles de hormigón, bloques de hormigón)

6.4.2.1 Se debe tener cuidado con la elección de los materiales usados en la producción de las unidades de revestimiento y la precisión con que se fabrican, pues afectan a la calidad de esas unidades en términos de tolerancias de construcción alcanzables y durabilidad.

6.4.2.2 En ninguna unidad debe haber fisuras o defectos que interfieran en su adecuada colocación o que perjudiquen de forma significativa a la resistencia o el comportamiento de la estructura. Los paneles de hormigón, si están basados en ensayos, deben cumplir la Norma EN 1992 o la sección 5 de la Norma EN 1990.

6.4.2.3 La compresibilidad del material de relleno de las juntas o de los bloques de apoyo debería corresponder con la compresibilidad del relleno.

6.4.2.4 Guía.

En el anexo F, como orientación, se indican las especificaciones de ejemplos típicos de unidades de paramento de hormigón ampliamente utilizadas.

6.4.3 Unidades de revestimiento de acero (revestimiento de malla de acero soldada, revestimiento de malla de acero tejida y gaviones, revestimiento de acero semielíptico)

6.4.3.1 Guía.

En el anexo E, como orientación, se indican las especificaciones de ejemplos típicos de unidades de revestimiento de acero ampliamente utilizadas.

6.4.4 Unidades de revestimiento geosintéticas

6.4.4.1 Todos los geosintéticos que se usen para la construcción de unidades de revestimiento envueltas o en sacos, o en cestas de gaviones deben cumplir la Norma EN 13251.

6.4.5 Propiedades de los sistemas de revestimiento

Los sistemas de revestimiento deben cumplir las normas especificadas en la tabla 1.

Tabla 1 – Normas pertinentes para los requisitos de las unidades de revestimiento

REQUISITOS	SISTEMAS DE REVESTIMIENTO					
	Panel de hormigón	Bloques de hormigón	Malla de acero soldado	Malla de acero tejido y gaviones	Acero semielíptico	Envuelto
Calidad del hormigón	EN 206	EN 771-3				
Refuerzo de acero (en el panel)	EN 10080/ EN 1992-1-1					
Tolerancias dimensionales	^a	^a				
Resistencia a la compresión en la instalación	^a	^a				
Calidad superficial	^a	^a				^a
Calidad del acero			EN 10079/ EN 10080	EN 10218-1 y 2 EN 10223-3	EN 10025-2	^a
Calidad del galvanizado			EN ISO 1461	EN 10244-1 y 2	EN ISO 1461	
Calidad de la protección orgánica				EN 10245-1, 2 y 3		
^a Requisitos necesarios pero no existe norma aplicable.						

7 CONSIDERACIONES RELACIONADAS CON EL DISEÑO

7.1 Generalidades

7.1.1 El diseño se debe traducir en documentos contractuales que permitan ejecutar las obras cumpliendo los requisitos especificados con respecto a la seguridad, servicio, economía y durabilidad, teniendo en cuenta la vida de servicio esperada.

7.1.2 El diseño de estructuras de relleno reforzado debe basarse en las Normas EN 1990 y EN 1991. Como la Norma EN 1997-1 actualmente no cubre el diseño detallado de las estructuras de relleno reforzado, el diseño de estas estructuras debe realizarse según las normas nacionales. Véanse los antecedentes para más comentarios.

7.1.3 La tecnología de relleno reforzado debe ser compatible con el método de ejecución y se debe elegir en la etapa de diseño.

7.1.4 El proyecto debe permitir que la construcción a realizar esté dentro de tolerancias realistas. Generalmente, las estructuras de relleno reforzado como tales son flexibles y se pueden deformar durante y después de la ejecución. El diseño debería, por tanto, tener en cuenta tolerancias de ejecución razonables con respecto a las alineaciones verticales y horizontales, niveles y replanteo. Se debería prestar especial consideración para permitir las deformaciones necesarias cuando las estructuras de relleno reforzado se combinan o se ubican cerca de estructuras rígidas.

7.1.5 Se debe preparar un resumen del proyecto que detalle los trabajos a ejecutar, el objeto del trabajo a realizado en el proyecto, la vida útil requerida y cualquier peligro asociado a la ejecución de los trabajos.

7.1.6 Cuando se deja alguna libertad en la elección de los materiales o sistemas a usar, el resumen del proyecto debería enfatizar los requisitos particulares del proyecto que deben tenerse en cuenta en la decisión de elección final.

7.1.7 Se deben tener en cuenta en la etapa de diseño, de acuerdo con las categorías indicadas en la Norma EN 1997-1, las posibles consecuencias de fallo, en términos de riesgo a la vida, pérdidas económicas potenciales e inconvenientes incluyendo la interrupción de servicios.

7.2 Consideraciones de diseño adicionales

7.2.1 Para estructuras de relleno reforzado, tanto permanentes como temporales, se deben tener en cuenta las condiciones de carga, incluyendo cargas accidentales y cargas transitorias durante la construcción, los efectos climáticos y las condiciones hidráulicas. Esto también incluye las cargas sísmicas en áreas sísmicas.

7.2.2 Se deben tener en cuenta los efectos de las estructuras de relleno reforzado permanentes y temporales en cualquier estructura adyacente.

7.2.3 Las condiciones hidráulicas deben incluir los efectos de carga hidráulica y los efectos de durabilidad surgidos de cualquier contacto con agua o contaminantes.

7.2.4 Se debe considerar la capacidad de la estructura de relleno reforzado de tolerar magnitudes previstas de asientos totales y diferenciales, levantamiento por heladas, deformaciones y movimientos. Cuando sea necesario, se debe hacer un seguimiento de estos asientos, deformaciones y movimientos de las estructuras de relleno reforzado según avance la ejecución, para compararlos con las previsiones (véase 7.4.5).

7.2.5 Cuando se deba dar una consideración especial al drenaje durante la fase de ejecución.

7.2.6 Se deben considerar cualquier restricción en la ejecución, tal como condiciones ambientales, incluyendo ruido y vibraciones, trabajos en régimen de marea, condiciones climáticas y fases de ejecución.

7.2.7 Cuando el origen y las propiedades de los materiales de relleno a utilizar no se conozcan en la fase de proyecto, se deben declarar las hipótesis de cálculo en los documentos de proyecto.

7.2.8 Para estructuras de relleno reforzado con un recubrimiento vegetal en el revestimiento, se deberían considerar las orientaciones especiales de ejecución del suministrador del sistema de paramento, a fin de asegurar la permanencia de la vegetación.

7.3 Modificaciones del proyecto

7.3.1 Se pueden requerir modificaciones a causa de condiciones imprevistas o modificaciones planificadas que surjan fuera del uso de un método observacional.

7.3.2 De acuerdo con los apartados 4.2 y 4.3, se debe informar inmediatamente de las modificaciones requeridas por circunstancias imprevistas, tales como los cambios en las condiciones del terreno o las condiciones hidráulicas.

7.3.3 Si el desarrollo de los trabajos requiere variar la estructura definida en los documentos de proyecto, esto solamente se debe realizar después de que el proyecto haya sido comprobado y modificado en consecuencia.

7.4 Observaciones durante la construcción

7.4.1 Las observaciones durante la construcción deben ser conformes al apartado 2.7 de la Norma EN 1997-1.

7.4.2 Cuando se requiera, se debe informar rápidamente de toda información que surja de las observaciones durante la ejecución.

7.4.3 Se debe informar de la posición exacta del afloramiento de la roca en el lugar cuando se coloque una estructura de relleno reforzado en un talud o un suelo con roca subyacente, para permitir el proyecto final de la excavación, del revestimiento (cuando sea pertinente), y de las longitudes y del espaciado entre los refuerzos.

7.4.4 Se debe informar de la posición exacta de los anclajes o bulones en el lugar cuando se coloque una estructura de relleno reforzado encima de una estructura anclada o clavada, para permitir el proyecto final de excavación, del revestimiento (cuando sea pertinente), y de las longitudes y de los espaciados entre refuerzos.

7.4.5 La estructura de relleno reforzado puede tener que construirse en más de una fase cuando se espere una consolidación y un asiento del suelo de cimentación. Los movimientos (y, cuando sea aplicable, la presión intersticial) se deben controlar según avanza la ejecución y se debe informar sobre ellos como se especifique, a fin de compararlos con las previsiones. El cálculo de los asientos finales previstos, así como el cálculo de las partes superiores de la estructura, deben terminarse tan pronto como exista información suficiente.

7.4.6 Cuando se esperen asientos, la construcción de una estructura superpuesta, incluyendo los remates, puede retrasarse hasta que los asientos previstos futuros estén dentro de las tolerancias de asiento de la estructura superpuesta. La estructura de relleno reforzado se puede sobrecargar hasta el nivel de carga futuro cuando las estructuras superpuestas produzcan cargas adicionales significativas.

7.5 Documentos constitutivos del proyecto

Los documentos que constituyen el proyecto deben contener la geometría requerida de la estructura a construir, las especificaciones relevantes de los materiales o productos asumidos en el proyecto junto con cualquier detalle posterior tal como la división de los trabajos en fases. La tabla 2 muestra los posibles aspectos del proyecto.

Tabla 2 – Algunos posibles aspectos de los documentos constitutivos del proyecto

DETALLES	ESPECIFICACIONES
Generales	<p>Geometría incluyendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> vista en planta <input type="checkbox"/> secciones típicas <input type="checkbox"/> alzado con replanteo <p>Drenaje Fases constructivas Seguimiento Nivel de control Tolerancias constructivas Condiciones climáticas</p>
Relleno a contener	<p>Propiedades físicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> – peso unitario; – distribución del tamaño de partículas ($D_{\text{máx.}}$, Coeficiente de uniformidad); – ángulo de rozamiento interno y cohesión en niveles de tensión de cálculo; – contenido de agua; – agua y susceptibilidad a las heladas, cuando aplique.
Relleno seleccionado	<p>Propiedades físicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> – peso unitario máximo y mínimo, densidad Proctor; – distribución del tamaño de partículas y/o ángulo de rozamiento interno y cohesión a niveles de tensión de cálculo. Propiedades electroquímicas, químicas y biológicas: – resistividad mínima del suelo; – pH mínimo y máximo; – contenido máximo de cloruros y sulfatos; – contenido máximo en materia orgánica y sulfuros. Susceptibilidad a las heladas, cuando aplique; <p>Requisitos de colocación:</p> <ul style="list-style-type: none"> – densidad seca máxima; – contenido de humedad; – espesor de las capas; – método de instalación.
Refuerzo	<p>Todos los tipos de refuerzos:</p> <ul style="list-style-type: none"> – tipo y configuración, dirección de colocación, juntas y uniones; – resistencia de cálculo a corto plazo; – resistencia de cálculo a largo plazo; – interacción relleno/refuerzo; – daños mecánicos debidos al tamaño de las partículas de relleno y su angulosidad; – replanteo estructural; – instalación de muestras de ensayo. <p>Refuerzo de acero:</p> <ul style="list-style-type: none"> – tipo de acero; – tipo de protección. <p>Refuerzo geosintético:</p> <ul style="list-style-type: none"> – comportamiento de fluencia de acuerdo a la Norma EN ISO 13431
Revestimiento y uniones	<p>Tipo y formas Requisitos estéticos Nivel de comportamiento del revestimiento Nivel de comportamiento de la unión refuerzo/revestimiento Velocidad máxima del viento para el izado de paneles grandes</p>
Tierra vegetal para recubrimientos vegetales	<p>Propiedades físicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> – distribución del tamaño de partículas; – contenido de materia orgánica. <p>Propiedades químicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> – pH mínimo y máximo. <p>Propiedades hidráulicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> – capacidad de retención de agua.

8 EJECUCIÓN

8.1 Recepción y control de calidad de los materiales

8.1.1 Todas las unidades de paramento prefabricadas o palés de bloques modulares, y todos los lotes o rollos de refuerzo se deben identificar con marcas o etiquetas inequívocas, de acuerdo con las denominaciones usadas en los planos. Los materiales geosintéticos deben cumplir la Norma ISO 10320.

8.1.2 Se deben comprobar los detalles de cada rollo o lote de refuerzo entregado en la obra con las especificaciones de los materiales y los números de serie se deben registrar y archivar.

8.2 Manipulación y almacenamiento

8.2.1 Se debe preparar un área adecuada de dimensiones suficientes para permitir la descarga, carga, almacenamiento y el movimiento sin ningún daño de todas las unidades de refuerzo y de revestimiento, y de los accesorios entregados en la obra.

8.2.2 La manipulación y almacenamiento de las unidades de refuerzo y de revestimiento se debe realizar con cuidado y de acuerdo con las especificaciones de proyecto. Se deberían también tener en cuenta las recomendaciones aplicables del fabricante o suministrador.

8.2.3 Se deberían apilar por separado las unidades que tengan diferentes tamaños o características físicas.

8.2.4 Los productos de refuerzo y de revestimiento tienen formas muy diferentes. En el caso en que los requisitos antes mencionados no se apliquen a un producto particular, se puede buscar consejo en un organismo de control técnico, el suministrador o el fabricante.

8.3 Preparación del emplazamiento y la cimentación

8.3.1 Generalidades

8.3.1.1 La cimentación se debe construir a los niveles y disposiciones de acuerdo con los requisitos del proyecto.

8.3.1.2 La preparación se debe realizar de acuerdo con el proyecto y el entorno específico de la estructura, e incluye, si se requiere, el acceso a la obra de los materiales y de la maquinaria, la excavación requerida para limpiar el área y, la limpieza, nivelación y tratamiento de la cimentación.

8.3.1.3 Se debe informar inmediatamente si los suelos que se encuentren durante la preparación de los trabajos no se corresponden con los de proyecto.

8.3.1.4 Cuando se tengan que colocar drenes verticales debajo de cualquier tipo de estructura de relleno reforzado, desde algún nivel intermedio de relleno, se debe tener cuidado de asegurar que el grosor del relleno colocado es el adecuado para soportar con seguridad las cargas transmitidas durante la construcción. Adicionalmente, la instalación de drenes verticales no debe producir mayores daños en los refuerzos subyacentes de los ya permitidos por el proyecto..

8.3.1.5 Cuando el refuerzo de cualquier estructura de relleno reforzado se coloque sobre pilotes, a menos que se especifique lo contrario, se debería considerar biselar los bordes de las cabezas y/o cubrirlas con una capa de relleno para evitar dañar los refuerzos.

8.3.2 Estructuras de contención de tierras y taludes reforzados

8.3.2.1 Los materiales inadecuados se deben quitar del área a ocupar por la estructura de relleno reforzado. Se deben quitar del área de cimentación los elementos que podrían dañar los refuerzos. Se deberían quitar, dependiendo del caso, toda la materia orgánica, vegetación, escombros y otros materiales inestables, y se debería compactar la subbase antes de colocar cualquier material de relleno. Los puntos blandos se deberían sustituir con relleno bien graduado y compactado.

8.3.2.2 En el caso de estructuras de contención de tierras con unidades de revestimiento duros, se debería realizar en el nivel de cimentación la excavación de una zanja, escalonada como la plataforma de cimentación, para realizar una solera de nivelación debajo del revestimiento. Esta solera de nivelación no es una cimentación estructural sino un trabajo temporal para ayudar a la alineación y facilitar el izado de las unidades de paramento. Debería hacerse *in situ* con hormigón en masa y de poco espesor.

NOTA Debajo de revestimientos gruesos tales como bloques modulares, paneles inclinados o macetas, se puede sustituir el hormigón en masa por grava. Para unidades de revestimiento blandas o flexibles no suelen requerirse tales soleras de nivelación.

8.3.3 Terraplenes con un refuerzo en la base

8.3.3.1 En zonas con vegetación, se debe cortar hasta el nivel natural del terreno sólo la vegetación importante tal como arbustos o árboles. Los escombros que puedan provocar punzonamientos y otros daños mecánicos a los refuerzos se deberían quitar de las áreas donde se colocan los refuerzos. Se pueden dejar en el lugar raíces de árboles caídos o arbustos y vegetación que proporcionen cobertura al terreno. La materia orgánica se descompondrá y si se deja en el emplazamiento, se debería tener en cuenta sus efectos a largo plazo.

8.3.3.2 En los lugares conocidos por tener una costra seca, se debe tener cuidado de no romper esta costra durante la preparación del emplazamiento y el relleno inicial, a menos que se especifique de otra manera en el proyecto.

8.3.3.3 Antes de comenzar la colocación de los refuerzos, se debe nivelar cualquier tipo de cambio abrupto en el perfil del terreno colocando y compactando una capa de regularización de relleno adecuado. El relleno de la capa de regularización y cualquier separador geosintético entre el terreno y el relleno no debe afectar a la disipación de la presión intersticial del suelo de cimentación.

8.4 Drenaje

8.4.1 Drenaje de estructuras de contención de tierras

8.4.1.1 Si la cimentación de la estructura no drena libremente, se debe colocar en la base de la estructura una zanja de drenaje longitudinal, o una tubería de drenaje porosa o de juntas abiertas de tamaño adecuado, o un drenaje geocompuesto para recoger el agua y llevarlo al sistema de drenaje del lugar. Cualquier revestimiento debe permitir al agua pasar a través de este drenaje si se coloca delante del revestimiento. No rellenar las juntas verticales de la parte enterrada de los paneles de revestimiento normalmente permite al agua pasar a través del revestimiento sin necesidad de realizar agujeros de drenaje en el mismo.

8.4.1.2 Cuando se espere flujo de agua del suelo retenido, se deben colocar zanjas de drenaje o drenes geocompuestos en intervalos a lo largo del muro.

8.4.1.3 En los casos en que el flujo de agua sea significativo, se debe construir una manta drenante de espesor suficiente o un geocompuesto bajo el muro de relleno reforzado y descargarlo más allá del pie. Si es preciso, esta manta puede continuarse a lo largo del revestimiento de la excavación temporal.

8.4.1.4 Cualquier material de drenaje se debe diseñar para evitar la pérdida de relleno reforzado o suelo adyacente dentro del dren.

8.4.1.5 Se deben aplicar consideraciones especiales de drenaje a estructuras de relleno reforzado parcialmente o temporalmente sumergidas.

8.4.2 Drenaje de taludes reforzados

8.4.2.1 Las consideraciones de drenaje de los taludes reforzados deben seguir los procedimientos detallados en el apartado 8.4.1. Además, puede que sea necesario asegurar que la lluvia que caiga en la cara del talud no lo va a lavar.

8.5 Construcción de estructuras de contención de tierras y taludes reforzados

8.5.1 Generalidades

8.5.1.1 El proceso constructivo de todas las estructuras de contención de tierras y taludes reforzados debe cumplir con los requisitos que son comunes para todos los tipos de estructuras de relleno reforzado, tal y como se detalla en esta sección.

8.5.1.2 Además, el procedimiento constructivo debería cumplir con las recomendaciones que son específicas al tipo de estructura de relleno reforzado, tal como se describen en las instrucciones proporcionadas por el suministrador del sistema de refuerzo y de revestimiento, si son aplicables. En el anexo C se dan ejemplos al respecto.

8.5.1.3 La construcción de todas las estructuras de relleno reforzado debe ejecutarse por capas y por fases, cuando la colocación y la fijación de los elementos de revestimiento, si hay, y el refuerzo se alterna con la disposición, extendido, nivelación y compactación del material de relleno.

8.5.1.4 Si la estructura de relleno reforzado tiene diferentes niveles de cimentación, se debería comenzar la construcción en el nivel más bajo de cimentación.

8.5.2 Colocación del revestimiento

8.5.2.1 Para todos los sistemas de revestimiento se deben usar disposiciones constructivas especiales, sistemas de apuntalamiento temporales adecuados tales como puntales, cuñas, abrazaderas, ángulos de hierro, etc. o encofrados. En cada etapa de la ejecución, se debe asegurar que cualquier nueva hilada de revestimiento es estable mientras se colocan capas adicionales de relleno y se compactan detrás o sobre ella, antes de que los refuerzos puedan contenerlo con eficiencia.

8.5.2.2 Todos los sistemas temporales de apuntalamiento o encofrados, a excepción de los encofrados perdidos, se deben quitar tan pronto como éstos no sean necesarios.

8.5.2.3 Se deben usar disposiciones constructivas especiales en cada fase de la ejecución para asegurar que la geometría final es como la requerida en el proyecto y que está dentro de las tolerancias especificadas. Tales disposiciones pueden comprender el ajuste de las unidades de revestimiento a un alineamiento horizontal y vertical requerido, o a una pendiente para compensar la deformación gradual prevista de la propia estructura de relleno reforzado pero no los asientos o movimientos de la cimentación.

8.5.2.4 Durante el progreso en la ejecución, se debe comprobar y ajustar en caso de ser necesario el espaciamiento horizontal con respecto del solape, la alineación o nivel, y la alineación vertical o pendiente de cualquier nueva hilera de unidades de revestimiento o encofrado.

8.5.2.5 Se debe prestar especial atención al espaciamiento horizontal con respecto del solapamiento, alineación o nivel, al igual que la alineación vertical o pendiente de la hilera inicial, pues la precisión en esta fase ayuda a asegurar una ejecución rápida y bien alineada de toda la estructura.

8.5.2.6 Si en el proyecto se requieren materiales de juntas o de apoyo, estos se deben instalar al colocar y asegurar cada nueva hilera de unidades de revestimiento.

8.5.3 Colocación de los refuerzos

8.5.3.1 Los refuerzos se deben colocar en una superficie nivelada y se deben conectar al revestimiento, si corresponde, usando el método de conexión particular al sistema de revestimiento tal como se especifica en el proyecto.

8.5.3.2 Se debe asegurar que el refuerzo no rígido está tensado y que cualquier zona floja se ha retirado a fin de minimizar cualquier deformación durante la movilización de las fuerzas de tracción del refuerzo. Esto se puede conseguir estirando del refuerzo y manteniéndolo en esta posición mientras se cubre con el relleno.

8.5.3.3 El refuerzo se debería colocar lo más perpendicular posible al revestimiento o a la cara inclinada a menos que se especifique de otro modo en el proyecto. Se puede utilizar un solape transversal en las juntas de piezas adyacentes de refuerzo tipo chapa si se especifica en el proyecto.

8.5.3.4 En presencia de obstáculos tales como tuberías, columnas, pilotes, pozos de registro, etc. puede ser necesario torcer o cambiar un refuerzo de su ubicación asignada tanto en la dirección vertical como en la horizontal. Para refuerzos tipo chapa puede ser necesario cortar un agujero en el refuerzo. A menos que el proyecto permita tales alteraciones, el proyectista debe ratificarlas.

8.5.3.5 Los refuerzos con curvas verticales e deberían colocar en un montículo de relleno preformado. Se deben evitar los bordes afilados que afecten a la resistencia del refuerzo a menos que el proyecto lo permita.

8.5.3.6 Los refuerzos deberían extenderse en una pieza continua en la dirección principal de la carga. Cuando las juntas en esa dirección sean inevitables, el proyecto debe especificar un método de juntas adecuado en obra. Las juntas se pueden formar usando métodos como el atornillado, la soldadura, el cosido de geotextiles, grapado de juntas, etc. o solapes proyectados.

8.5.3.7 Los refuerzos poliméricos pueden ser propensos a degradarse cuando se exponen a la luz del día y por lo tanto deberían cubrirse con el relleno dentro de un tiempo especificado de colocación. Cuando ese tiempo no se especifique, el refuerzo expuesto se debería cubrir dentro de las 24 h siguientes a su colocación.

8.5.3.8 En general, la colocación de material laminar puede verse afectada por el viento. Cuando esto pueda ocurrir, el material debería ser lastrado localmente.

8.5.4 Colocación y compactación del relleno

8.5.4.1 La colocación y compactación del relleno se debe ejecutar con gran cuidado pues en el comportamiento de una estructura de relleno reforzado influye principalmente la naturaleza del relleno y el modo en que éste se coloca y compacta.

8.5.4.2 Antes del comienzo de la ejecución, se debe establecer un método de compactación de relleno el cual, si se especifica, debe incluir pruebas de campo.

8.5.4.3 Se debe suministrar el equipo compatible con el método propuesto para alcanzar los requisitos de compactación del proyecto.

8.5.4.4 Se debe comprobar periódicamente la gradación y el contenido de humedad del material de relleno durante la ejecución para asegurar la conformidad con las especificaciones de proyecto, especialmente cuando la apariencia o el comportamiento del material cambien significativamente.

8.5.4.5 La disposición, extendido, nivelación y compactación del relleno se debería llevar a cabo generalmente en una dirección paralela al revestimiento o a la cara del talud.

8.5.4.6 Se debe tener cuidado de asegurar que los elementos de refuerzo y revestimiento, si los hubiera, no se dañan durante la disposición, extendido, nivelación y compactación del relleno. Ninguna máquina ni vehículo debe circular directamente sobre los refuerzos.

8.5.4.7 Todos los vehículos y todos los equipos de obra que pesen más de 1 500 kg se deben mantener al menos a 1 m del revestimiento o la cara de los taludes sin revestimiento.

8.5.4.8 El espesor de las capas del relleno debe estar dentro de los límites especificados por el proyecto y de manera que ello permita la compactación hasta la densidad requerida. Debería ser un sub-múltiplo de o igual al espaciamiento vertical del refuerzo.

8.5.4.9 Se debe tener un cuidado específico para la compactación del relleno cerca del revestimiento, si lo hubiera, para así evitar cualquier daño a los elementos de revestimiento y a los refuerzos conectados, y para minimizar las deformaciones. Se debe prestar especial atención a los espacios confinados, tales como las esquinas de una estructura.

8.5.4.10 El relleno dentro de 1 m desde la cara se puede compactar usando un equipo de compactación adecuado y ligero. Cuando se use un equipo pequeño de compactación, el espesor de las capas se debe ajustar según se necesite para obtener los requisitos de compactación.

8.5.4.11 Al final de cada día de trabajo, la superficie del relleno compactado se debería dejar con una pequeña inclinación (2% - 4%) desde el revestimiento o la cara inclinada, y se debería sellar con un compactador suave para asegurar que cualquier agua superficial se lleve a una salida adecuada.

8.5.4.12 La parte de atrás de la estructura se debería rellenar por fases para asegurar la disposición simultánea del material de relleno contenido.

8.5.4.13 En el proyecto se puede especificar la secuencia de la colocación del relleno sobre suelo blando o muy blando. Si no, se debería tener cuidado para asegurar que la secuencia de relleno, incluyendo cualquier tránsito de maquinaria, no exceda en ningún momento la capacidad portante del suelo subyacente.

8.5.5 Cubierta vegetal de la cara (superficie vegetalizada)

8.5.5.1 Se deben cumplir estrictamente las especificaciones pertinentes del proyecto en estructuras de relleno reforzado permanentes diseñadas para tener una cubierta vegetal permanente en el revestimiento. Por otra parte, se debería prestar una atención cuidadosa a cualquier pauta de construcción especial indicada por el suministrador del sistema.

8.5.5.2 Si las características del material de relleno no son adecuadas para sostener vegetación, se puede poner una capa superior de suelo adecuado en la cara frontal separada del relleno, si es necesario, por un geotextil adecuado.

8.5.5.3 Se deben tener en cuenta las condiciones climáticas y locales (como la localización del emplazamiento, los puntos cardinales, el aspecto, la altitud, cantidad y frecuencia de precipitaciones), junto con el ángulo de inclinación, pues pueden influir en la elección de un adecuado:

- tipo de suelo en el área de la cara;
- variedad de semillas o plantas;
- método de plantación (hidrosiembra, siembra con geosintéticos, plantas, etc.) o la necesidad de irrigación artificial.

8.6 Construcción de terraplenes reforzados

8.6.1 Generalidades

8.6.1.1 El procedimiento constructivo de todos los terraplenes con refuerzo en su base y terraplenes con refuerzo contra el levantamiento por heladas en la parte superior debe cumplir con los requisitos que son comunes a todos los tipos de terraplenes reforzados, tal como se detalla en este apartado.

8.6.1.2 Además, el procedimiento constructivo debe cumplir con las recomendaciones específicas del tipo de terraplén reforzado, tal como se exponen en las instrucciones proporcionadas por el suministrador del refuerzo.

8.6.2 Terraplenes sobre suelos flojos

8.6.2.1 Los terraplenes reforzados con refuerzo de la base pueden incluir terraplenes contruidos sobre suelos flojos. El suelo flojo puede tomar la forma de los depósitos que se producen naturalmente de suelos predominantemente cohesivos o suelos que se han debilitado por huecos hechos por el hombre, tales como los trabajos mineros, o huecos subterráneos que se producen naturalmente como pozos.

8.6.2.2 Se pueden usar varias técnicas de refuerzo diferentes para construir terraplenes reforzados sobre suelos flojos. El método constructivo preciso puede depender de la técnica particular empleada.

8.6.3 Colocación del refuerzo

8.6.3.1 El refuerzo en forma de rejillas o láminas geosintéticas, o de rejillas, mallas o chapas metálicas, las cuales pueden tener resistencias a tracción diferentes y rigidez a tracción en diferentes direcciones, se debe colocar en la dirección especificada.

8.6.3.2 El refuerzo se debería seleccionar para proveer el ángulo requerido de aguante al daño inducido por la ejecución en la fase de diseño, y no debería exponerse al tráfico directo de la maquinaria.

8.6.3.3 Se debe asegurar que el refuerzo no rígido está tensado y que cualquier zona floja se ha retirado a fin de minimizar cualquier deformación durante la movilización de las fuerzas de tracción en el refuerzo. Esto se puede conseguir estirando del refuerzo y manteniéndolo en esta posición mientras se cubre con el relleno.

8.6.3.4 Los refuerzos geosintéticos pueden ser propensos a degradarse cuando se exponen a la luz del día y por lo tanto deberían cubrirse con el relleno dentro de un tiempo especificado de colocación. Cuando ese tiempo no se especifique, el refuerzo expuesto se debería cubrir dentro de las 24 h siguientes a su colocación.

8.6.3.5 Los productos de refuerzo geosintéticos se suministran en tiras o rollos de una anchura y longitud limitados. Cuando las dimensiones del área a reforzar sean mayores que las dimensiones de los rollos, se deben requerir juntas o solapes especificados.

8.6.3.6 Cuando se hayan especificado juntas, éstas se pueden realizar *in situ* o prefabricadas antes de la colocación final. Además, para alcanzar las resistencias especificadas en el proyecto, las resistencias de las juntas deben ser lo suficiente como para resistir las cargas inducidas por las técnicas de manejo enérgicas tales como los tirones de cuerdas.

8.6.3.7 La colocación del refuerzo a través de agua superficial requerirá el lastrado del material polimérico con una gravedad específica menor de la unidad. La colocación a través de agua más profunda puede requerir el uso de plataformas superficiales o embarcaciones que usen la técnica del tirar de cuerdas.

8.6.3.8 En general, la colocación de material laminar puede verse afectada por el viento. Cuando esto pueda ocurrir, el material debería ser lastrado localmente.

8.6.4 Colocación y compactación del relleno

8.6.4.1 La colocación y compactación del relleno debería seguir generalmente los procedimientos adoptados por las estructuras de contención de tierras y taludes reforzados, excepto en los casos en que el relleno se coloque sobre depósitos de suelos blandos o muy blandos.

8.6.4.2 Se debe especificar en el proyecto la secuencia de la colocación del relleno sobre suelo blando o muy blando. Si no, se debería tener cuidado para asegurar que la secuencia de relleno, incluyendo cualquier tránsito de la maquinaria, no exceda en ningún momento la capacidad portante del suelo subyacente.

8.6.4.3 Cuando el relleno se deposite en un extremo se debería tener cuidado para asegurar que cualquier ondulación formada en el terreno subyacente no desplace o rompa al refuerzo.

8.6.4.4 Cuando la colocación del relleno esté avanzada en la dirección del eje longitudinal de un terraplén, se puede reducir el desarrollo de ondulaciones no deseadas avanzando la sección central del relleno a lo largo del pie del terraplén.

8.6.4.5 El desarrollo de ondulaciones puede reducirse más adelante limitando la profundidad de las primeras capas de relleno hasta el mínimo requerido para el tránsito de maquinaria que transmitan cargas ligeras.

8.6.4.6 Para terraplenes anchos, se puede considerar colocar primero el relleno a lo largo de los dos pies del terraplén para formar diques desde los cuales el relleno posterior pueda continuar hacia el centro del terraplén.

9 SUPERVISIÓN, ENSAYO Y SEGUIMIENTO

9.1 Supervisión – Una persona adecuadamente cualificada y experimentada debe ser la responsable de comprobar que la construcción cumple con el proyecto y todos los demás documentos contractuales.

9.2 Seguimiento – El seguimiento de todos los trabajos asociados a la ejecución de varias fases de la construcción del relleno reforzado debe realizarse de acuerdo con el procedimiento constructivo realizado para cumplir con las especificaciones de diseño y proyecto.

9.3 Ensayo – El ensayo de las estructuras de relleno reforzado debe estar de acuerdo con la Norma EN 1997-1 o con las especificaciones de proyecto. Los registros de cualquier ensayo deben proporcionar el método de ensayo y el procedimiento, los resultados del ensayo, y las conclusiones y relevancia para la estructura de relleno reforzado.

9.4 El nivel de supervisión, seguimiento y ensayos debe estar de acuerdo con las especificaciones de proyecto, véase el apartado 4.6.

9.5 El tipo, alcance y precisión de los requisitos de seguimiento y ensayo en el emplazamiento y fuera de él se deberían mostrar claramente en la especificación y se deberían organizar antes del comienzo de los trabajos en el emplazamiento.

9.6 A menos que se especifique en el proyecto, la supervisión debería ser relativa a:

- a) la preparación del emplazamiento: topografía, datos geotécnicos, implantación, geometría de las excavaciones, solera de cimentación (si se aplica);
- b) los rellenos: conformidad con el diseño, características, colocación y compactación, seguimiento y ensayos cuando sea necesario;
- c) los refuerzos: conformidad con el diseño, recepción, manipulación, almacenamiento, colocación, daños durante la instalación, pretensado del refuerzo (si se aplica), seguimiento y ensayos cuando sea necesario;
- d) los materiales del revestimiento: conformidad con el diseño, instalación de elementos de revestimiento, alineaciones y desplazamientos, acabados, seguimiento y ensayos cuando sea necesario;
- e) el drenaje: base / cimentación, talud trasero, capa de drenaje durante la instalación, otros sistemas de drenaje necesarios.

10 REGISTROS

10.1 Registros durante la construcción

10.1.1 Si se requieren, los registros se deben hacer de aspectos relevantes de la construcción incluyendo: las condiciones climáticas, el progreso de los trabajos, supervisión, ensayos y observaciones especificados en el capítulo 9.

10.2 Registros a la finalización de los trabajos

Si se requieren, se deben realizar registros de los trabajos terminados incluyendo:

- registros como los del apartado 10.1.1 anterior;
- información mostrando los trabajos de relleno reforzado terminados con todo detalle especialmente cualquier cambio de los planos y especificaciones iniciales;
- detalles de los materiales usados;

- la posición de todo el alcantarillado, vallado, cables subterráneos, tuberías o similares;
- detalles de los suelos de cimentación y condiciones y otras condiciones geotécnicas relevantes;
- cualquier restricción con respecto a las sobrecargas que la construcción puede aguantar;
- detalles y localización de cualquier muestra de durabilidad instalada junto a las recomendaciones para el método y tiempos de la extracción y posterior ensayo;
- cualquier recomendación particular para la inspección y mantenimiento.

Los registros deberían guardarse después del final de las obras durante el periodo de tiempo establecido en las especificaciones de proyecto.

11 REQUERIMIENTOS ESPECIALES

11.1 Generalidades

11.1.1 Se deben considerar normas, especificaciones o requisitos legales relevantes con respecto a:

- la seguridad del emplazamiento;
- la seguridad del procedimiento de trabajo y;
- la seguridad operacional de la maquinaria de compactación, aparatos de elevación y otras máquinas auxiliares, equipos y herramientas.

11.1.2 Se debe prestar especial cuidado a todos los procesos que requieran personal trabajando cerca de maquinaria y herramientas pesadas. Los principales riesgos a considerar incluyen:

- movimiento de maquinaria, principalmente camionetas, excavadoras/cargadoras, máquinas de compactación y máquinas de perforación;
- caídas del extremo sin proteger del muro o de fuertes pendientes durante la ejecución;
- levantamiento y colocación de paneles de revestimiento.

11.1.3 Se debe tener cuidado en garantizar que personas no autorizadas no puedan acceder a la obra.

11.2 Protección del medio ambiente

11.2.1 Se deben tomar medidas para limitar o evitar efectos adversos en el medio ambiente.

NOTA Se llama la atención sobre las normas nacionales y requisitos reglamentarios con respecto a la protección del medio ambiente.

11.2.2 Se deben considerar los siguientes riesgos al medio ambiente:

- movimientos inducidos en el terreno o en estructuras adyacentes;
- polución de la superficie del agua y agua freática;
- cambios inaceptables en el flujo de agua;
- polución del aire;
- ruido.

ANEXO A (Informativo)

USO TÍPICO DE LOS TIPOS DE RELLENO DEPENDIENDO DE LA APLICACIÓN, REFUERZO Y REVESTIMIENTO

Tabla A.1 – Combinaciones típicas de los rellenos, refuerzos y revestimientos

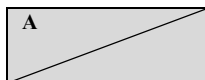
TIPO DE RELLENO			TIPO 1	TIPO 2		TIPO 3		TIPO 4
			Drenante	Granular		Intermedio		Fino
	Características geomecánicas	% en peso menor de 80 micrones	< 5%	< 12%	12 a 35%	12 a 35%	> 35%	Otros
		% en peso menor de 20 micrones	n.a.	n.a.	< 10%	> 10%	< 40%	
		Índice de plasticidad	n.a.	n.a.	n.a.	< 25	< 25	
APLICACIÓN								
	Partes de la estructura expuestas a inundaciones y/o descenso rápido del nivel de agua		A	B	B	D	D	D
	Estructuras sujetando estribos de puentes, vías ferroviarias, edificios		A	A	B	C (a)	D	D
	Muros altos de relleno reforzado		A	A	B	B	D	D
	Taludes altos de relleno reforzado		A	A	B	B	C (b)	C (b)
	Muros comunes y taludes		A	A	A	B	C (c)	C (c)
REFUERZOS								
	Bandas o barras suaves (metálicas o poliméricas)		A	A		C (d)		D
	Bandas o barras estriadas, escalas (metálicas o poliméricas)		A	A		B	C (d)	D
	Emparrillados, escalas, mallas, rejillas, láminas (metálicas o poliméricas)		A	A		B	C (d)	D
	Geosintéticos drenantes (permeabilidad en el plano)		B	A		A		C (b)
REVESTIMIENTO								
	Rígido		A	A		D (a)		D
	Semiflexible		A	A		C (e)		D
	Flexible		A	A		A	B	C (e)
Leyenda:						A = Usado frecuentemente B = Usado a veces C = Sujeto a un estudio específico D = No recomendable		
NOTAS								
Generalidades Las combinaciones típicas anteriores se indican solamente como un orientación general y no tratan de ser una especificación cuando varios rellenos o componentes se pueden usar. Las breves descripciones de los rellenos anteriores son solamente algunas de las características principales y no describen un relleno en su totalidad. Los documentos de diseño o un proyecto deberían especificar los rellenos y componentes que se deberían usar. El relleno fino demasiado húmedo es difícil de compactar y causarían al revestimiento, si se usa, su desalineación durante la compactación. El relleno fino colocado y compactado bajo condiciones climatológicas adversas puede ser problemático. Se debería comprobar la susceptibilidad a las heladas si se aplica en climas fríos.								
Específicas								
a Si no se alcanza una compactación adecuada entonces pueden producirse asientos diferenciales entre el revestimiento y el refuerzo que puede sobrecargar la unión.								
b Se debería evaluar el efecto de las propiedades de drenaje en las características del relleno.								
c Se debería prestar especial atención a: ángulo de rozamiento interno, procedimiento de compactación con respecto del contenido de humedad y las condiciones climáticas, necesidad de capas drenantes.								
d La interacción entre el relleno y el refuerzo se debería evaluar a largo plazo y durante las condiciones de ejecución.								
e Se debería prestar especial atención al control de la alineación de las unidades de revestimiento (si las hubiera) durante la ejecución.								

ANEXO B (Informativo)

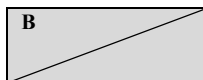
Tabla B.1 – Propiedades electroquímicas de los rellenos utilizados con refuerzos metálicos

REFUERZOS DE ACERO				Bandas				Mallas soldadas, escalas, barras		Mallas de alambres tejidos		
Criterio basado en la corrosión				Acero “negro” sin revestimiento	Galvanizado en continuo por inmersión en caliente (35 µm)	Galvanizado por inmersión en caliente (70 µm)	Revestimiento de zinc/aluminio (Zn85Al15, revestido con spray térmico 70 µm)	Acero “negro” sin revestimiento	Galvanizado por inmersión en caliente (70 µm)	Revestimiento de zinc/aluminio (Zn95Al5, revestido por inmersión en caliente 35 µm)	Revestimiento de zinc/aluminio (Zn85Al5, revestido por inmersión en caliente 35 µm) + protección de polímero (PVC/U o PE 0,5 mm)	
Notas												
Tamaños usados normalmente				3 mm a 6 mm de espesor	3 mm de espesor	4 mm a 6 mm de espesor		barras ø 8 mm a 12 mm		Alambres ø 2 mm a 3 mm		
Campo de aplicación usual – Clase de estructura (relacionado con la vida útil)			(1)	Clase 3 ó 4	Clase 4	Clase 4 ó 5	Clase 4 ó 5	Clase 4	Clase 4 ó 5	Clase 1	Clase 4 para taludes muy inclinados hasta 70°	
Características electroquímicas compatibles con el diseño rutinario			(2)									
AMBIENTE	Sobre tierra, fuera del agua	pH		(3)	5 a 10	5 a 10	5 a 10	A (9)	5 a 10	5 a 10	5 a 10	3 a 10
		Resistividad	Ω cm	(4)	> 1 000	> 1 000	> 1 000		> 1 000	> 1 000	> 1 000	B (7)
		Cloruros Cl	ppm	(5)	< 200	< 200	< 200		< 200	< 200	< 200	
		Sulfatos SO ₄	ppm	(6)	< 1 000	< 1 000	< 1 000		< 1000	< 1000	< 1000	
	En agua dulce (8)	pH		(3)	5 a 10	5 a 10	5 a 10	A (9)	5 a 10	5 a 10	5 a 10	3 a 10
		Resistividad	Ω cm	(4)	> 3 000	> 3 000	> 3 000		> 3000	> 3 000	> 3 000	B (7)
		Cloruros Cl	ppm	(5)	< 100	< 100	< 100		< 100	< 100	< 100	
		Sulfatos SO ₄	ppm	(6)	< 500	< 500	< 500		< 500	< 500	< 500	
No rutinario, diseño inusual												
AMBIENTE	Ambiente marino o relleno de origen marino			Estudio específico requerido. Generalmente se necesitan bandas más gruesas o barras mas grandes		pH de 5 a 10. No se necesita ningún otro requisito		Estudio específico requerido. Generalmente se necesitan barras más grandes		C	Estudio específico requerido	
	Rellenos de desechos industriales y ambientes de alta agresividad			Estudio específico requerido				Estudio específico requerido		Estudio específico requerido		

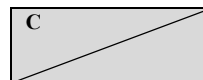
Leyenda



Material normalmente no utilizado



Ensayo no relevante



Material normalmente no aplicable

- NOTA 1 Véase el apartado 2.4 de la Norma EN 1991-1. Las clases mostradas aquí son las normalmente más utilizadas pero no pretenden ser restrictivas.
- NOTA 2 Diseño rutinario, aplicaciones comunes en ambientes de agresividad normal.
- NOTA 3 La medición del pH se debería realizar en todos los casos de acuerdo con el anexo C de la Norma NF A05-252 y en la Norma NF T01-013, con el ensayo 9 de la Norma BS1377, parte 3, 1990, o en una norma nacional equivalente.
- NOTA 4 La medición de la resistividad de una muestra saturada se debería realizar en todos los casos de acuerdo con el anexo B de la Norma NF A05-252, con el ensayo 10.4 de la Norma BS1377, parte 3, 1990, o en una norma nacional equivalente.
- NOTA 5 La medición de los cloruros solubles en agua solamente se requiere si la resistividad es menor de 5 000 ohm.cm. Si es así, los métodos adecuados se detallan en el anexo C de la Norma NF A05-252 y en la Norma NF T90-009, y en el ensayo 7.2 de la Norma BS1377, parte 3, 1990, o en una norma nacional equivalente.
- NOTA 6
- i) La medición de sulfatos solubles en agua SO_4 solamente se requiere si la resistividad es menor de 5 000 ohm.cm. Si es así, los métodos adecuados se detallan en el anexo C de la Norma NF A05-252 y en la Norma NF T90-014, y en el ensayo 5 de la Norma BS1377, parte 3, 1990 con el resultado expresado como SO_3 multiplicado por 1.2, o en una norma nacional equivalente.
 - ii) El contenido de sulfato debería incorporar tres veces el posible contenido de sulfuro S-. La medición del S- se debería realizar si el origen del relleno muestra la posibilidad de su presencia. Se debería llevar a cabo por un laboratorio competente que utilice un método tal como se describe en la Enciclopedia de Análisis Químico Industrial.
 - iii) El límite para el contenido de sulfatos asume que no hay cloruros. Igualmente el límite de cloratos asume que no hay sulfatos. Para los casos donde ambas sales coexistan entonces los límites se pueden derivar de la ecuación $(\text{Cl})^{0,86} + 13 (\text{SO}_4)^{0,32} = k$ con Cl y SO_4 en ppm, $(\text{Cl}) \geq 1$, $(\text{SO}_4) \geq 5$ y $k = 120$ para condiciones “fuera del agua”, $k = 95$ para las partes de la estructura en agua dulce.
- NOTA 7 Se refiere a requisitos importantes para materiales poliméricos.
- NOTA 8 En agua dulce o regularmente sumergido, por ejemplo, las partes bajas de los muros en los ríos por debajo de los niveles frecuentes de inundación.
- NOTA 9 No se usan normalmente usados en ambientes de agresividad normal pero si se usan con $5 < \text{pH} < 10$. Otros ensayos no son relevantes.

ANEXO C (Informativo)**UNIDADES Y SISTEMAS DE REVESTIMIENTO****C.1 Generalidades**

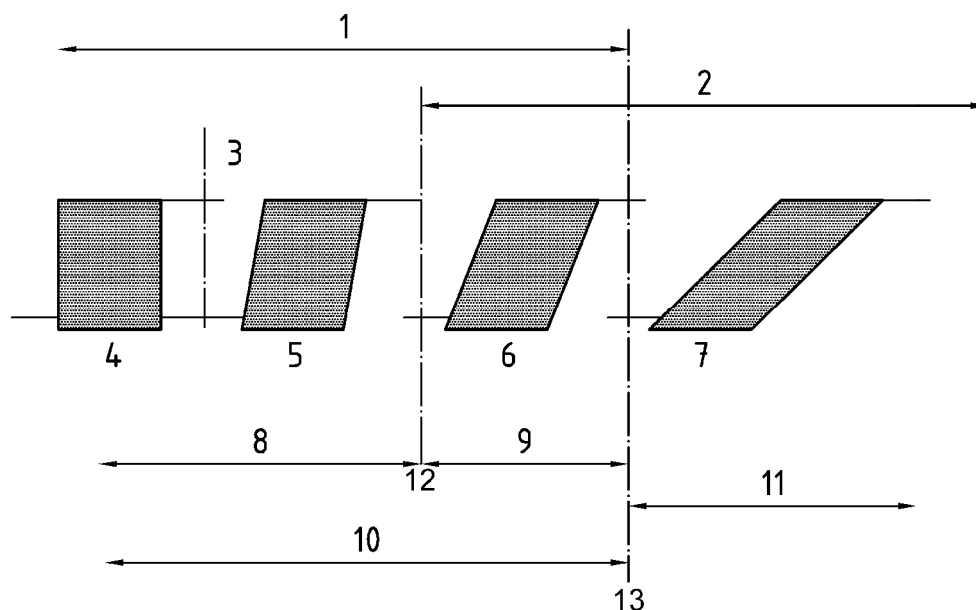
C.1.1 Los rellenos reforzados se construyen en sucesivas capas de relleno seleccionado compactado, incorporando capas interpuestas horizontales o subhorizontales de relleno reforzado colocado con el espaciado requerido por el proyecto.

C.1.2 Las estructuras de relleno reforzado de contención de tierras, con caras verticales oblicuas o inclinadas (véase la figura C.1), requieren un revestimiento para retener el relleno entre las capas de refuerzo. Dependiendo del sistema particular, algunas capas de refuerzo del relleno sin embargo pueden no estar conectadas con el revestimiento.

C.1.3 Generalmente no es necesario el revestimiento en taludes reforzados bajos. Normalmente tales taludes se protegen con vegetación con / sin materiales de control de la erosión.

C.1.4 El revestimiento puede estar constituido tanto por unidades duras (normalmente de hormigón), unidades deformables (normalmente de metal, mallas o rejillas de acero o cestas de gaviones) o unidades blandas (normalmente mallas o láminas geosintéticas o mallas de alambres tejidos).

C.1.5 Cuando se usen unidades de revestimiento duras o deformables, éstas sirven como encofrados contra los que el relleno seleccionado se coloca y compacta. Cuando se utilicen unidades de revestimiento blandas, generalmente es necesario emplear encofrados temporales para mantener la alineación de la cara durante la construcción de los muros o taludes pronunciados.



Leyenda

- | | |
|--|---|
| 1 Estructuras de contención de tierras | 8 Algunos tipos específicos de paramentos: paneles, bloques, unidades metálicas semielípticas, gaviones |
| 2 Taludes reforzados | 9 Tipos específicos de paneles inclinados, por ejemplo para almacenamiento a granel |
| 3 Vertical | 10 Algunos tipos comunes de revestimientos: macetas, mallas de alambres, envoltorios |
| 4 Muro vertical | 11 Sin paramento, puede que se necesite protección frente a la erosión |
| 5 Muro oblicuo | 12 Línea de talud 4:1 |
| 6 Muro muy inclinado | 13 Línea de talud 1:1 |
| 7 Talud bajo | |

Figura C.1

C.2 Unidades de revestimiento

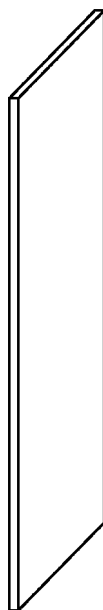
C.2.1 Unidades de revestimiento duros

C.2.1.1 Las unidades de revestimiento duros se fabrican normalmente en hormigón prefabricado, tanto reforzado como sin reforzar (véase la figura C.1).

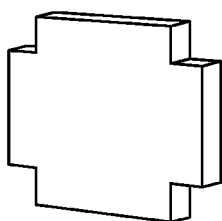
C.2.1.2 Las unidades de revestimiento de hormigón pueden ser paneles de altura total, paneles de altura parcial, paneles inclinados, maceteros o bloques. Muchos tipos de unidades de revestimiento de hormigón están patentados y forman parte de sistemas patentados.

C.2.1.3 Los refuerzos se conectan a las unidades por medio de dispositivos embebidos en ellos o insertados en las unidades de hormigón, o simplemente se sujetan entre las unidades.

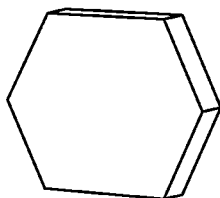
C.2.1.4 Paneles de altura total: como su nombre indica, los paneles de altura total (véase la figura C.2a) se prefabrican para que cubran toda la altura requerida del muro de relleno reforzado a construir. Normalmente, la anchura de estos paneles está en el rango de 1 m a 3 m y su espesor es de 100 mm a 200 mm.

**Figura C.2 – Paneles de altura total**

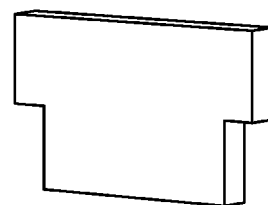
C.2.1.5 Paneles de altura parcial: los paneles de altura parcial (véase la figura C.3) son los más comunes y normalmente su altura está comprendida entre 1 m y 2 m y un espesor de 100 mm a 200 mm. Las formas distintivas corresponden a formas específicas de acoplar los paneles y a procedimientos de construcción particulares. También son válidas las formas rectangulares simples. Los paneles se acoplan mediante dispositivos conectores embebidos en la cara posterior. Normalmente, los bordes tienen puntas y huecos, lengüetas y ranuras.



a)



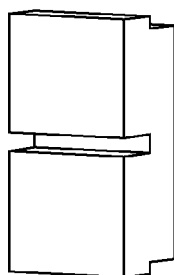
b)



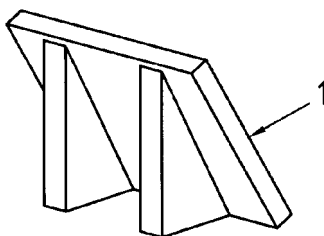
c)

Figura C.3 – Paneles de altura parcial

C.2.1.6 También se pueden utilizar paneles verticales con líneas de rotura predefinidas (véase la figura C.4).

**Figura C.4 – Paneles con líneas de ruptura predefinidas**

C.2.1.7 Paneles inclinados: Unidades de hormigón prefabricado inclinadas (véase la figura C.5), equipadas con contrafuertes interiores apoyados en el relleno compactado. La longitud es normalmente del orden de 3 m y la altura, medida a lo largo del talud, es del orden de 1,5 m. La inclinación suele estar comprendida entre 50° y 65° con respecto de la horizontal. Las unidades están equipadas con dispositivos conectores embebidos en los contrafuertes.



Leyenda

1 Cara frontal

Figura C.5 – Paneles inclinados

C.2.1.8 Maceteros: Hormigón prefabricado generalmente hechos con una losa inclinada (véase la figura C.6) sujetos por contrafuertes exteriores o alas laterales apoyadas (parcialmente o totalmente) en el relleno compactado. La longitud es normalmente del orden de 2 m y la altura nominal entre 0,5 m y 1 m. Las unidades vienen con dispositivos conectores embebidos en la parte trasera.



Leyenda

1 Cara frontal

Figura C.6 – Maceteros

C.2.1.9 Bloques: Unidades de revestimiento en forma de bloques de hormigón prefabricados sin reforzar (véase la figura C.7) normalmente denominadas como bloques modulares o celulares. Las unidades se pueden fabricar sólidas o con huecos. La masa de estas unidades oscila normalmente entre 20 kg a 50 kg. La altura típica de las unidades oscila de 150 mm a 250 mm, y la longitud de la cara expuesta varía de 200 mm a 500 mm. Dependiendo del tipo de refuerzo, los bloques pueden tener accesorios conectores (pernos, rastrillos). Si no, los refuerzos se abrazan entre las filas sucesivas de bloques.

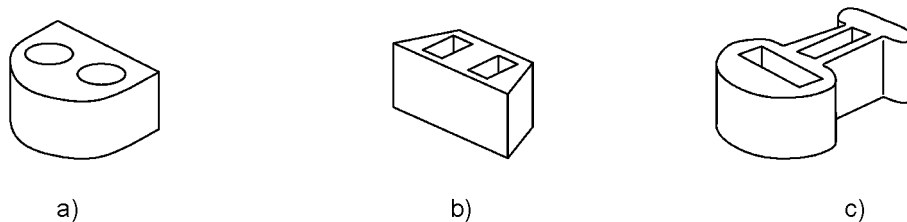


Figura C.7 – Bloques

C.2.1.10 Postes y placas de hormigón: Placas horizontales de hormigón deslizadas entre postes (véase la figura C.8). El refuerzo se suele conectar a una barra que se desliza en las pestañas traseras de los postes o se abrazan entre las placas de hormigón con un enganche en la cara exterior.

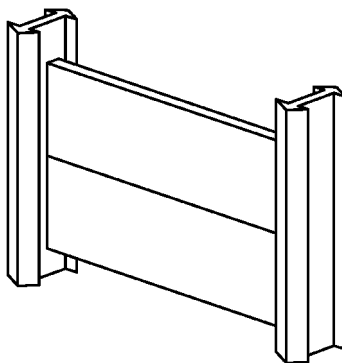


Figura C.8 – Postes y placas de hormigón

C.2.2 Unidades de revestimiento deformables

C.2.2.1 Unidades de acero semielípticas: elementos de revestimiento de láminas de acero (véase la figura C.9) con forma de semicilindros elípticos o de U. Tales unidades, colocadas horizontalmente, suelen tener normalmente un espesor de 2 mm a 4 mm, 250 mm a 400 mm de altura y varios metros de longitud. Se ajustan con huecos a lo largo de los bordes horizontales donde se conectan los refuerzos.

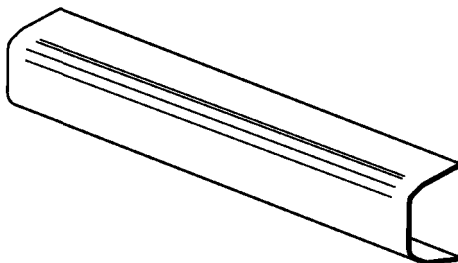


Figura C.9 – Unidades de acero semielípticas

C.2.2.2 Malla de alambre de acero soldado: unidades de revestimiento que pueden estar formadas por paneles malla de alambre soldado (véase la figura C.10), tanto planos como curvados hasta el ángulo de inclinación requerido. Estas unidades sirven como encofrado durante la construcción. Cuando se usan para caras inclinadas, tales unidades se pueden vegetalizar para prevenir la erosión a largo plazo de la cara. Cuando se usan para caras verticales u oblicuas, tales unidades pueden tener una capa interior de piedra o roca machacada, o se pueden reforzar con una funda geosintética, especialmente para aplicaciones temporales. En algunos casos, tales unidades se pueden rociar en última estancia con hormigón proyectado o cubrirse con hormigón fabricado *in situ*. Estas unidades se pueden conectar, o no, al refuerzo. Algunos tipos de estas unidades están patentados y forman parte de un sistema.

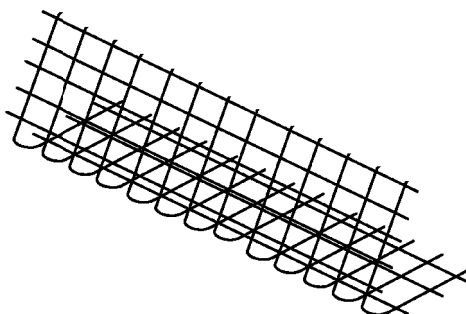


Figura C.10 – Malla de alambre de acero soldado

C.2.2.3 Gaviones: Las unidades de paramento pueden estar también formadas por geomallas poliméricas o alambres de acero tejidos, galvanizados o plastificados, o por cestas de gaviones de malla de alambre de acero galvanizado (véase la figura C.11) que se rellenan de piedra o roca machacada. El tamaño de tales cestas de gaviones es normalmente del rango de 0,5 m a 1,0 m de altura, 2 m a 3 m de longitud y 0,5 m a 1,0 m de profundidad. Las cestas de gaviones pueden estar provistas de una cola que forma una conexión de rozamiento con el refuerzo principal.

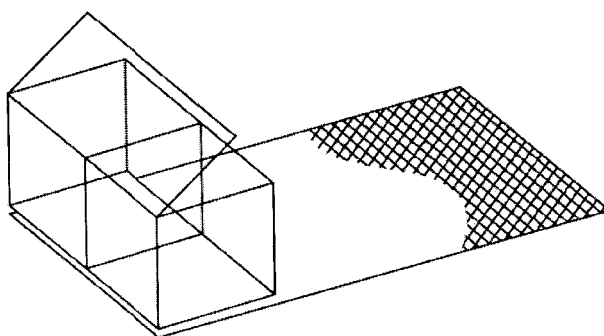


Figura C.11 – Cestas de gaviones

C.2.2.4 Neumáticos: Las unidades de revestimiento también pueden estar formadas por neumáticos. Estos neumáticos son parecidos en tamaño entre sí y generalmente se amontonan en una disposición escalonada para formar el revestimiento.

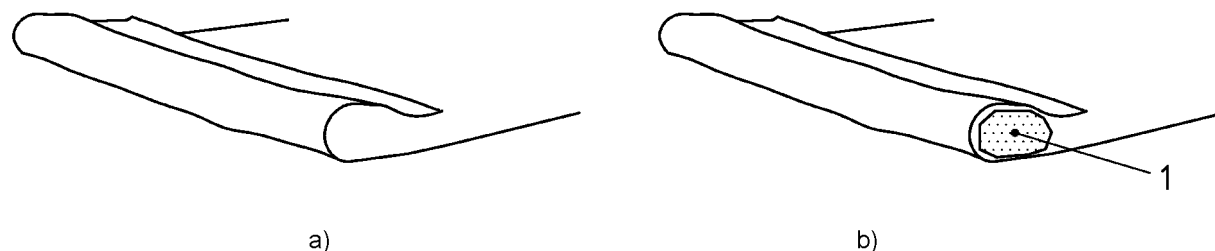
C.2.3 Unidades de revestimiento blandas

C.2.3.1 Las unidades de revestimiento blandas más usadas son las llamadas revestimientos envueltos (véase la figura C.12) en los cuales toda la anchura del refuerzo, tales como mallas poliméricas o geotextiles, o mallas de alambre tejido, se extienden delante del relleno reforzado para envolver la cara de cada capa de relleno interviniente. Cuando se usen mallas poliméricas o de alambres tejidos, éstas se pueden revestir o reforzar con un geotextil adecuado para protegerlas de la erosión de la cara.

C.2.3.2 Para construir tales taludes hasta una alineación aceptable se suelen usar encofrados temporales.

C.2.3.3 De manera alternativa, las unidades de revestimiento se pueden fabricar como contenedores de tela rellenos de tierra. Para estas unidades de paramento denominadas “en sacos” es preferible encapsular la unidad de revestimiento dentro de del refuerzo principal tal y como se hace para los revestimientos envueltos simples.

C.2.3.4 En la mayoría de los casos, las unidades de revestimiento blandas se rocían o se siembran para producir una cubierta vegetal, o rara vez se rocían con hormigón proyectado.



Leyenda

1 Bolsas

Figura C.12 – Unidades de revestimiento blando

C.3 Sistemas de revestimiento

C.3.1 Especificaciones generales para los sistemas de revestimiento

C.3.3.1 La magnitud de las deformaciones del revestimiento durante la ejecución y las deformaciones posteriores a la ejecución, variarán de un sistema a otro. Por tanto, se debería tener cuidado al elegir un sistema concreto para asegurar que la construcción prevista y las deformaciones de la vida útil estarán dentro de las tolerancias especificadas. Muchos sistemas están patentados y para alcanzar las tolerancias de construcción requeridas es importante que la construcción siga las recomendaciones del fabricante.

C.3.2 Asientos diferenciales entre el relleno y el revestimiento

C.3.2.1 En todos los sistemas de revestimiento hay una compresión del relleno durante, y a veces después de la ejecución que puede producir asientos diferenciales entre la masa de relleno reforzado y el revestimiento. Si el relleno reforzado está conectado estructuralmente a las unidades de revestimiento y no se permite ninguna tolerancia para tal movimiento diferencial potencial, entonces se pueden imponer cargas adicionales en el relleno reforzado. Tales deformaciones y movimientos diferenciales pueden estar afectados principalmente por la calidad del relleno seleccionado y el modo en que se compacte.

C.3.2.2 Se deberían aplicar especificaciones más estrictas a los materiales de relleno usados con sistemas de revestimiento menos flexibles. El sistema de revestimiento debería ser más flexible si el relleno seleccionado es propenso a asentarse o no compacta fácilmente.

C.3.2.3 En sistemas flexibles de unidades blandas, estas unidades se deforman verticalmente solidariamente con el asiento del relleno retenido. Por tanto hay poca preocupación con los movimientos diferenciales.

C.3.2.4 Para sistemas semiflexibles de paneles de revestimiento de altura parcial o sistemas de postes con refuerzos conectados a las unidades de hormigón, los asientos diferenciales moderados se acomodan por el uso de apoyos de compresión colocados en las juntas horizontales de los paneles.

C.3.2.5 Para otros sistemas semiflexibles hechos de unidades de revestimiento deformables, la baja rigidez y la compresibilidad vertical permiten deformarse verticalmente a las unidades de revestimiento y acompañar los asientos moderados del relleno retenido.

C.3.2.6 En el caso de paneles de altura total, los desplazamientos relativos entre el relleno, incluyendo el refuerzo del relleno embebido, y el revestimiento se pueden acomodar permitiendo a los refuerzos moverse solidariamente con los paneles de revestimiento, formando así el sistema semiflexible. Se han considerado varios métodos incluyendo el uso de ranuras, postes verticales y asas compresibles. Una conexión de deslizamiento efectiva debería permitir al refuerzo transmitir la carga horizontal y deslizarse hacia abajo según se construye el relleno sin que gane carga.

C.3.2.7 Para los sistemas de revestimiento rígido tales como paneles de altura total sin tales conexiones móviles, y para bloques colocados sin relleno compresible, el refuerzo del relleno es habitualmente fijado en los paneles de revestimiento o en los bloques. Con esta disposición, el área de las conexiones en la cara puede deformarse. Las cargas adicionales impuestas en las conexiones y refuerzos de relleno deberían mitigarse por una selección, colocación y compactación adecuadas del material de relleno.

C.3.3 Asientos diferenciales longitudinales

C.3.3.1 Como la altura de las estructuras de contención de tierras puede variar a lo largo de su longitud, y la compresibilidad del suelo de cimentación subyacente también puede variar, pueden producirse asientos diferenciales a lo largo de la longitud del muro o del talud.

C.3.3.2 Generalmente los sistemas de revestimiento semiflexibles y flexibles presentan de alta a muy alta tolerancia a los asientos diferenciales longitudinales.

C.3.3.3 La flexibilidad longitudinal de los sistemas de revestimiento semiflexibles contruidos usando unidades duras depende de las proporciones de las unidades de revestimiento individuales y el grado de articulación entre las unidades de revestimiento ofrecido por las juntas y su relleno.

C.3.3.4 Los paneles de hormigón prefabricados con una proporción de casi la unidad, es decir que tienen una altura y una anchura nominal de los paneles básicos similares, ofrecen un alto grado de articulación y por tanto una alta tolerancia a los asientos diferenciales longitudinales, siempre que estén provistos de juntas adecuadas y apoyos de compresión en las juntas horizontales.

C.3.3.5 Los paneles de hormigón de altura total, los cuales son mucho más altos que anchos, y las placas de hormigón prefabricado horizontales, que son mucho más anchos que altos, ofrecen una tolerancia baja a los asientos diferenciales longitudinales.

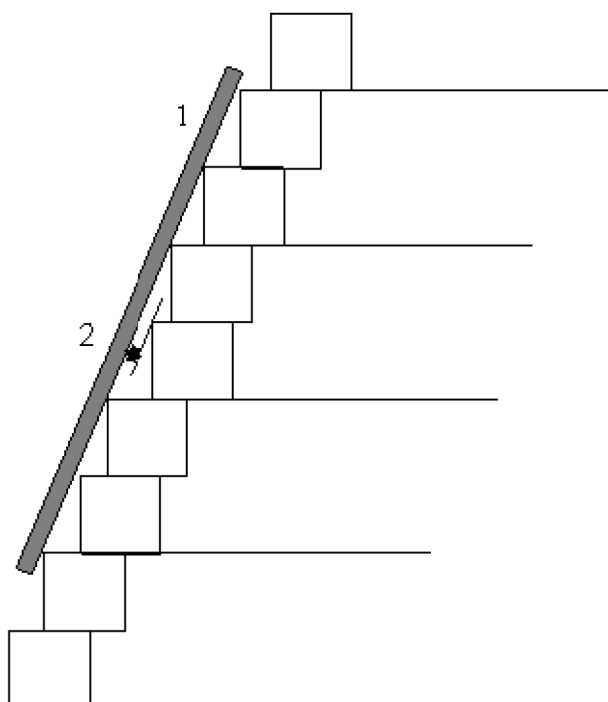
C.3.3.6 Los sistemas de bloques no suelen estar provistos de material de relleno compresible en las juntas horizontales, ni tampoco con juntas verticales antideslizantes y poco espaciadas. Por tanto, la resistencia de los sistemas de bloques a los asientos diferenciales longitudinales es normalmente limitada, pues ésta solo se puede obtener del pequeño tamaño de las unidades y de su potencial desplazamiento relativo entre ellas.

C.3.4 Revisión de los sistemas principales

C.3.4.1 Las siguientes tablas (tablas C.1 – C.12) contienen información resumida sobre la tecnología, aplicaciones comunes, desempeño y tolerancias de los sistemas frecuentes.

C.3.4.2 Los valores de las tablas son indicativos de las tolerancias de construcción que normalmente se alcanzan, o de las deformaciones que se soportan sin ningún daño estructural significativo o cualquier efecto en la estabilidad de la estructura. Se deberían entender como sigue:

- alineación: variación local en comparación con una regla de 4 m colocada en el plano exterior de la cara del muro



Leyenda

- 1 Borde recto
- 2 Variación local

Figura C.13 – Sección transversal de un muro

– asiento diferencial longitudinal: relación $\Delta S/\Delta L$

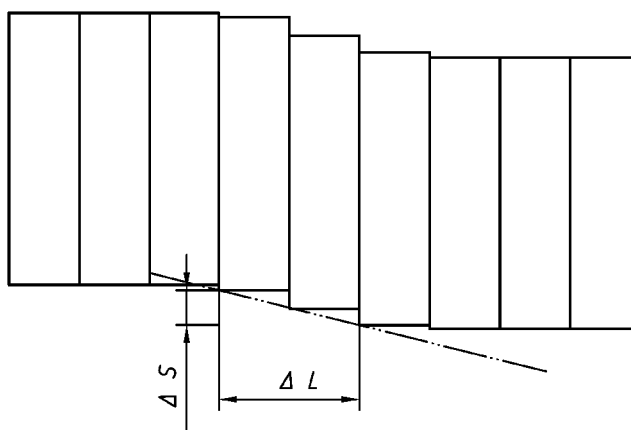


Figura C.14 – Vista frontal de un muro

- compresibilidad: relación $\Delta H/H$

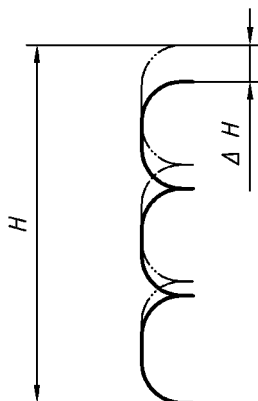


Figura C.15 – Sección transversal de un muro

Tabla C.1 – Paneles de revestimiento de altura parcial

		REFUERZO	APLICACIONES PRINCIPALES
		<p>Normalmente se usan con bandas de acero o poliméricas, o mallas de alambres de acero soldados.</p> <p>También con escalas, bandas, barras de acero o geomallas.</p>	<p>Normalmente se usan en muros verticales, rectos o curvos, posiblemente escalonados y en estribos de puentes.</p> <p>Se pueden construir muros ligeramente oblicuos, si el muro es más o menos recto.</p>
TECNOLOGÍA	FLEXIBILIDAD LONGITUDINAL	FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL	MATERIAL DE RELLENO
<p>Normalmente se construyen filas verticales y con una disposición escalonada que no necesita puntales.</p> <p>En todas las juntas horizontales hay dispositivos de apoyo compresibles.</p>	<p>La proporción del panel, combinado con los dispositivos de apoyo compresibles dan una buena articulación al sistema.</p> <p>De ahí su importante tolerancia a los asientos diferenciales longitudinales, especialmente cuando la proporción del panel es cercana a la unidad.</p>	<p>Los dispositivos de apoyo compresibles hacen al sistema semiflexible.</p>	<p>Se usan normalmente con material de relleno granular.</p> <p>Se pueden también usar materiales de relleno intermedios para algunas aplicaciones (véase el anexo A para orientación).</p>
TOLERANCIAS			OTROS COMENTARIOS
<u>Alineación</u> $\pm 25 \text{ mm}$	<u>Asiento diferencial</u> $\sim 1\%$ con paneles con proporción ≈ 1 a $\sim 0,5\%$ con proporciones mayores.	<u>Compresibilidad</u> $\sim 1\%$	

Tabla C.2 – Paneles de revestimiento de altura total

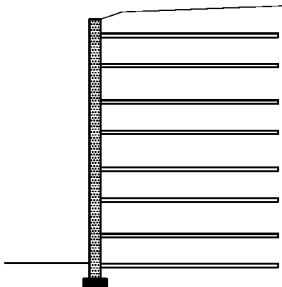
		REFUERZO	APLICACIONES PRINCIPALES
		<p>Normalmente se usan con geomallas, bandas de acero o mallas de alambres de acero soldados.</p> <p>También se pueden usar bandas poliméricas, escalas o barras de acero.</p>	<p>Normalmente se usan en muros verticales de pocos metros de altura rectos o curvos, y en estribos de puentes menores.</p> <p>Se pueden construir muros ligeramente oblicuos si el muro es recto.</p>
TECNOLOGÍA	FLEXIBILIDAD LONGITUDINAL	FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL	MATERIAL DE RELLENO
Se necesitan puntales durante la ejecución.	La relación altura/anchura alta del panel da tolerancias a los asientos diferenciales longitudinales bajas.	Sistema de revestimiento rígido (a menos que la tolerancia se haga para el movimiento diferencial potencial entre la masa de relleno reforzado y el revestimiento, por medio de conexiones móviles).	Material de relleno granular bien compactado (a menos que se usen conexiones móviles y el sistema se convierta en semiflexible).
TOLERANCIAS			OTROS COMENTARIOS
<u>Alineación</u> $\pm 25 \text{ mm}$	<u>Asiento diferencial</u> $\leq 0,5\%$	<u>Compresibilidad</u> $\sim 0\%$ (a menos que se utilicen conexiones móviles).	Los paneles con “líneas de rotura” horizontales que tengan un grado de fragilidad controlado, se construyen con el fin de dar algo de flexibilidad transversal que facilita la movilización de la interacción suelo/refuerzo.

Tabla C.3 – Paneles inclinados

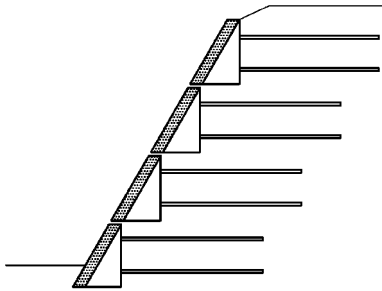
		REFUERZO	APLICACIONES PRINCIPALES
		Normalmente se usan con bandas de acero.	Muros inclinados rectos para infraestructuras de almacenaje a granel. Normalmente la inclinación está comprendida entre 50° y 65°.
TECNOLOGÍA	FLEXIBILIDAD LONGITUDINAL	FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL	MATERIAL DE RELLENO
<p>Normalmente se construyen en hileras horizontales en una disposición de albañilería.</p> <p>Contrafuertes apoyados en rellenos compactados. En las juntas horizontales se colocan apoyos compresibles.</p>	La tolerancia a los asientos diferenciales longitudinales está limitada como resultado de la disposición de albañilería y por eso solo afecta a la planicidad de la cara.	Los apoyos compresibles combinados con el apoyo directo del relleno compactado hace a los sistemas semiflexibles.	Se recomienda relleno granular de buena calidad especialmente en muros altos que sujeten superestructuras (tejados).
TOLERANCIAS			OTROS COMENTARIOS
<u>Alineación</u> $\pm 25 \text{ mm}$	<u>Asiento diferencial</u> $\sim 0,5\%$	<u>Compresibilidad</u> $\sim 1\%$	La colocación y compactación del relleno entre contrafuertes y bajo losas inclinadas requiere especial cuidado.

Tabla C.4 – Maceteros

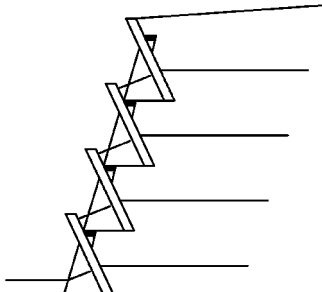
		REFUERZO	APLICACIONES PRINCIPALES
		Normalmente se usan con bandas de acero.	Muros vegetalizados verticales, oblicuos o inclinados
TECNOLOGÍA	FLEXIBILIDAD LONGITUDINAL	FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL	MATERIAL DE RELLENO
Las unidades se instalan en hiladas horizontales y filas verticales. Contrafuertes apoyados parcialmente (muros verticales u oblicuos) en el relleno compactado. Se colocan apoyos compresibles cuando las unidades se colocan unas encima de las otras (verticales u oblicuas).	Las unidades independientes que se colocan en filas verticales, posiblemente combinadas con apoyos compresibles dan un buen sistema de articulación. Por tanto, tienen buena tolerancia a los asientos diferenciales longitudinales.	Los apoyos compresibles (cuando aplique) combinados con el apoyo directo del relleno compactado hace a los sistemas semiflexibles.	Se usan principalmente con material de relleno granular. Se puede también usar rellenos intermedios para algunas aplicaciones (véase el anexo A para orientación).
TOLERANCIAS			OTROS COMENTARIOS
<u>Alineación</u> ± 50 mm	<u>Asiento diferencial</u> ~ 1%	<u>Compresibilidad</u> ~ 1% si se usan apoyos. Mayor cuando las unidades se sujetan totalmente por el relleno compactado (muros inclinados).	La disposición de los muros oblicuos debería ser recta o poligonal. Para diseños curvos se necesita realizar un ajuste (modificación de la longitud de las unidades de revestimiento dentro del nivel).

Tabla C.5 – BLOQUES DE HORMIGÓN

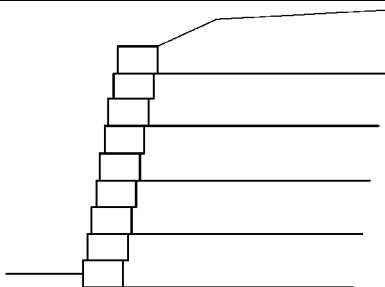
		REFUERZO	APLICACIONES PRINCIPALES
		<p>Principalmente se usan con geomallas, escalas de acero o mallas.</p> <p>También se pueden usar otros tipos de refuerzo (bandas de acero o poliméricas).</p>	Comúnmente utilizados para muros verticales, escalonados u oblicuos y en estribos de puentes menores.
TECNOLOGÍA	FLEXIBILIDAD LONGITUDINAL	FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL	MATERIAL DE RELLENO
<p>Los bloques se disponen en hileras horizontales y en una disposición de albañilería, normalmente sin material de relleno compresible en las juntas horizontales.</p> <p>Normalmente el relleno reforzado se sostiene o entre las hileras de bloques o unidos a dispositivos conectores en su interfaz.</p>	La resistencia de los bloques a los asientos diferenciales longitudinales es limitada, pues solo puede resultar del tamaño pequeño de las unidades y de los movimientos relativos entre cada una.	La falta de tolerancia a los movimientos diferenciales entre el revestimiento y el refuerzo hacen al sistema rígido.	Se recomienda material de relleno granular de buena calidad para mitigar las consecuencias de los asientos diferenciales potenciales entre el revestimiento y el refuerzo.
TOLERANCIAS			OTROS COMENTARIOS
<u>Alineación</u> ± 50 mm	<u>Asiento diferencial</u> $\sim 0,5\%$	<u>Compresibilidad</u> $\sim 0\%$	

Tabla C.6 – SISTEMAS DE POSTES

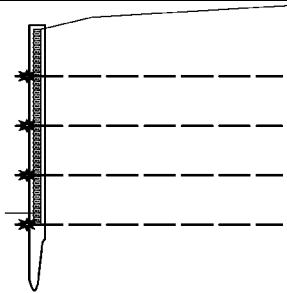
		REFUERZO	APLICACIONES PRINCIPALES
		<p>Principalmente se usan con geomallas poliméricas.</p> <p>Normalmente el refuerzo se conecta a una barra que se desliza en los raíles traseros de los postes o se abrazan con un cierre en la cara exterior entre las placas de hormigón.</p>	Solamente se usan para muros verticales
TECNOLOGÍA	FLEXIBILIDAD LONGITUDINAL	FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL	MATERIAL DE RELLENO
<p>Las placas prefabricadas horizontales de hormigón se deslizan entre los postes verticales de acero.</p> <p>Normalmente se colocan apoyos compresibles en las juntas horizontales.</p>	Los paneles cuya relación altura/anchura sea grande tienen poca facilidad de articularse longitudinalmente y una tolerancia a los asientos diferenciales longitudinales limitada.	El sistema es semiflexible cuando se usan apoyos compresibles entre las placas de hormigón.	Material de relleno granular o intermedio.
TOLERANCIAS			OTROS COMENTARIOS
<u>Alineación</u> ± 25 mm	<u>Asiento diferencial</u> $\sim 0,5\%$	<u>Compresibilidad</u> $\sim 1\%$	El refuerzo se puede colocar directamente a los postes de acero. En este caso, el sistema se convierte rígido a menos que se usen conexiones deslizantes.

Tabla C.7 – REVESTIMIENTO SEMIELÍPTICO DE ACERO

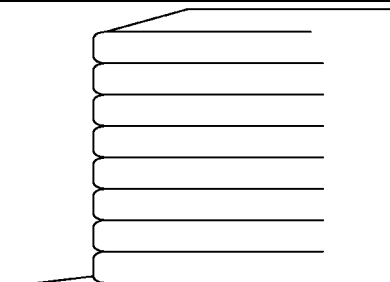
		REFUERZO	APLICACIONES PRINCIPALES
		Bandas o escalas de acero atornilladas a las unidades de revestimiento de acero.	Muros verticales (por ejemplo para aplicaciones industriales) y estribos de puentes. Se aplican en diseños rectos o poligonales.
TECNOLOGÍA	FLEXIBILIDAD LONGITUDINAL	FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL	MATERIAL DE RELLENO
Elementos de revestimiento de chapas de acero moldeadas en semicilindros semielípticos o con forma de “U”.	La gran deformabilidad de las unidades confiere al sistema una alta resistencia a los asientos diferenciales longitudinales.	La alta compresibilidad vertical de las unidades de acero hace al sistema pasar de semiflexible a totalmente flexible.	Normalmente se usa con material de relleno granular. Se pueden usar materiales intermedios para algunas aplicaciones (véase el anexo A para orientación).
TOLERANCIAS			OTROS COMENTARIOS
<u>Alineación</u> ± 50 mm	<u>Asiento diferencial</u> ~ 2%	<u>Compresibilidad</u> ~ 10%	

Tabla C.8 – MALLA DE ALAMBRES DE ACERO

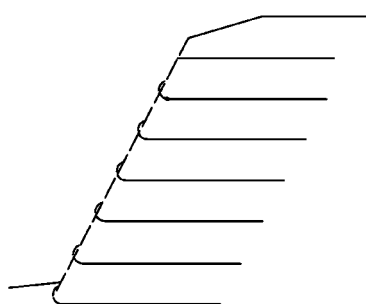
		REFUERZO	APLICACIONES PRINCIPALES
		Principalmente se usan con geomallas poliméricas, bandas de acero, escalas o mallas.	Estructuras de contención de tierras verticales, oblicuas o inclinadas, posiblemente escalonadas. Habitualmente las caras inclinadas se siembran para dar un recubrimiento vegetal. Habitualmente las caras verticales u oblicuas se refuerzan con un geotextil (particularmente en aplicaciones temporales) o con una capa de piedra o roca machacada.
TECNOLOGÍA	FLEXIBILIDAD LONGITUDINAL	FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL	MATERIAL DE RELLENO
Rejilla de acero reforzada y abierta o paneles de malla de acero, plana o curva según el ángulo de inclinación requerido.	Generalmente tienen alta resistencia a los asientos diferenciales longitudinales.	Sistema semiflexible: su baja rigidez a flexión y su compresibilidad vertical permite al revestimiento deformarse verticalmente y acompañar asientos moderados del relleno contenido.	Normalmente se usa con material de relleno granular. Se pueden usar materiales intermedios para algunas aplicaciones (véase el anexo A para orientación).
TOLERANCIAS			OTROS COMENTARIOS
<u>Alineación</u> ± 100mm	<u>Asiento diferencial</u> ~ 2%	<u>Compresibilidad</u> ~ 5%	Si se utiliza en el revestimiento, puede ser necesario un filtro entre el relleno y la roca machacada.

Tabla C.9 – CESTAS DE GAVIONES

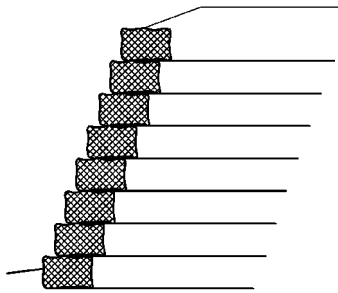
		REFUERZO Principalmente se usan con capas de mallas metálicas, geomallas poliméricas y geotextiles (tejidos, o no tejidos o tejidos compuestos especiales). El refuerzo se conecta a la base de las cestas de gaviones o es continuo con ella	APLICACIONES PRINCIPALES Principalmente se usan para muros verticales u oblicuos, posiblemente escalonados.
TECNOLOGÍA	FLEXIBILIDAD LONGITUDINAL	FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL	MATERIAL DE RELLENO
Las cestas de gaviones pueden ser de mallas de alambre de acero soldado o tejido, o de geomallas poliméricas. Las cestas de gaviones se rellenan de piedras o rocas machacadas.	Generalmente tienen alta resistencia a los asientos diferenciales longitudinales.	La compresibilidad de las cestas de gaviones se controla por la naturaleza y la colocación del material usado para rellenar las cestas. Generalmente esto hace al sistema semiflexible.	Normalmente se usa con material de relleno granular. Se pueden usar materiales intermedios para algunas aplicaciones (véase el anexo A para orientación).
TOLERANCIAS			OTROS COMENTARIOS
<u>Alineación</u> ± 100 mm	<u>Asiento diferencial</u> ~ 2%	<u>Compresibilidad</u> ~ 5%	Normalmente se necesita un filtro entre el relleno y las cestas de gaviones.

Tabla C.10 – ENVUELTO (SIN ENCOFRADO)

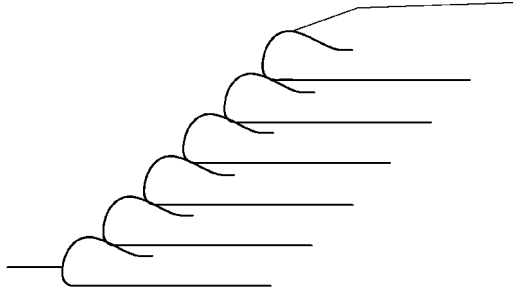
		REFUERZO Geomallas, geotextiles o mallas de alambre tejidas.	APLICACIONES PRINCIPALES Taludes pequeños, alrededor de 1/1. En la mayoría de los casos los taludes se rocían con semillas para producir una cubierta vegetal.
TECNOLOGÍA	FLEXIBILIDAD LONGITUDINAL	FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL	MATERIAL DE RELLENO
Revestimiento hecho de mallas poliméricas, geotextiles o mallas de alambres tejidas. Construidos en hileras horizontales. Cuando se usan las mallas poliméricas o mallas de alambres tejidos, se pueden reforzar con un geotextil adecuado para proteger de la erosión.	Tienen alta tolerancia a los asientos diferenciales longitudinales.	Sistema flexible.	Puede incluir material fino cuando se usen geotextiles drenantes.
TOLERANCIAS			OTROS COMENTARIOS
<u>Alineación</u> ± 200 mm Las tolerancias de construcción disminuyen con el aumento de la altura y la disminución de la calidad del relleno.	<u>Asiento diferencial</u> ~ 5%	<u>Compresibilidad</u> ≥ 10%	Se reduce el riesgo de vandalismo y fuego si se usa un recubrimiento vegetal o de hormigón proyectado.

Tabla C.11 – ENVUELTO (CON ENCOFRADO) O CON SACOS

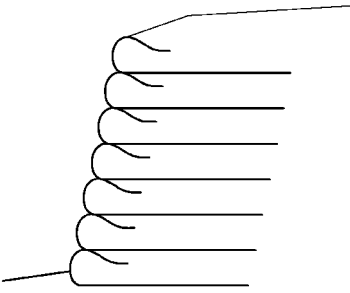
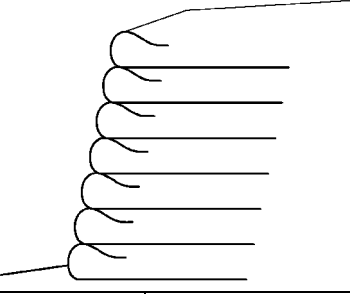
		REFUERZO	APLICACIONES PRINCIPALES
		Geomallas, geotextiles o malla de alambre tejida.	Muros inclinados u oblicuos. Estos taludes a menudo se siembran para producir un recubrimiento vegetal o se revisten con hormigón proyectado. También se usan en muros verticales con un revestimiento independiente de hormigón en su frente.
TECNOLOGÍA	FLEXIBILIDAD LONGITUDINAL	FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL	MATERIAL DE RELLENO
Revestimiento hecho de mallas poliméricas, geotextiles o mallas de alambres tejidas. Construidos en hileras horizontales. Para construir tales taludes con una alineación aceptable, normalmente se usan encofrados temporales.	Tienen alta tolerancia a los asientos diferenciales longitudinales (excepto cuando se recubren con hormigón proyectado).	Sistema flexible.	Puede incluir material fino cuando se usen geotextiles drenantes.
TOLERANCIAS			OTROS COMENTARIOS
<u>Alineación</u> ± 100 mm Se consiguen tolerancias de construcción adecuadas construyendo con cuidado y con rellenos de mejor calidad.	<u>Asiento diferencial</u> ~ 5%	<u>Compresibilidad</u> ≥ 10%	Se reduce el riesgo de vandalismo y fuego si se usa un recubrimiento vegetal o de hormigón proyectado.

Tabla C.12 – REVESTIMIENTO DE HORMIGÓN *IN SITU*

		REFUERZO	APLICACIONES PRINCIPALES
		Véanse los comentarios de los revestimientos de mallas de alambres de acero y envueltos.	Muros inclinados u oblicuos.
TECNOLOGÍA	FLEXIBILIDAD LONGITUDINAL	FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL	MATERIAL DE RELLENO
Ocasionalmente se usa como complemento de los revestimientos de mallas de alambres de acero y envueltos.	Una vez que el hormigón del revestimiento ha fraguado, tiene casi tolerancia cero a los asientos diferenciales longitudinales.	Una vez que el hormigón del revestimiento ha fraguado, tiene casi tolerancia cero a los asientos diferenciales longitudinales.	Véanse los comentarios de los revestimientos de mallas de alambres de acero y envueltos.
TOLERANCIAS			OTROS COMENTARIOS
<u>Alineación</u> ± 50 mm	<u>Asiento diferencial</u> ~ 0%	<u>Compresibilidad</u> ~ 0%	

ANEXO D (Informativo)
ALGUNAS FORMAS DE REFUERZO TÍPICAS

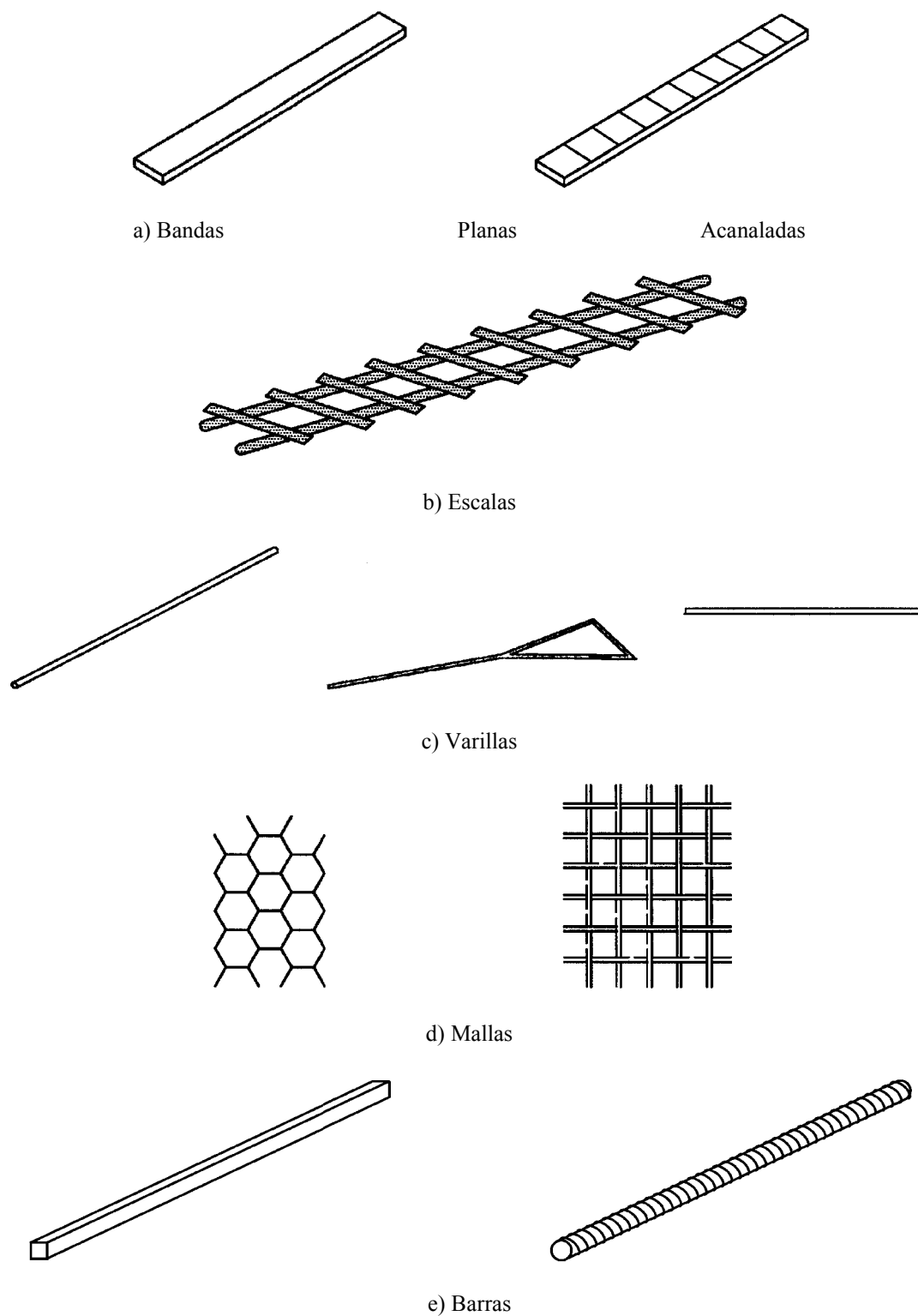
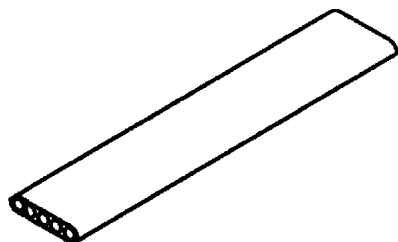
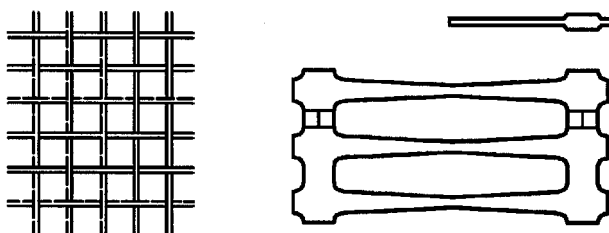


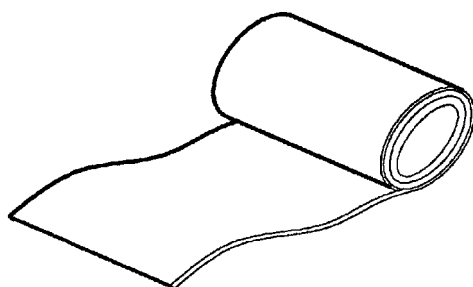
Figura D.1 – Refuerzos de acero



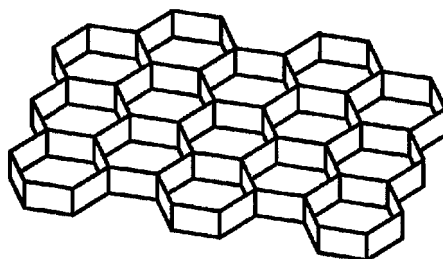
a) Bandas



b) Rejillas



c) Chapas



d) Celdas

Figura D.2 – Refuerzos poliméricos

ANEXO E (Informativo)**REFUERZO DE ACERO****E.1 Generalidades**

E.1.1 En los siguientes apartados se describen ejemplos de los tipos de refuerzos de acero más usados. Las especificaciones recomendadas se basan en la extensa experiencia y ensayos, o se justifican por una certificación de una tercera parte, y se dan como orientación para las aplicaciones pertinentes identificadas en el anexo B.

E.1.2 Los tipos de acero recomendados son especialmente importantes con respecto a la durabilidad, puesto que ellos aseguran un modo de corrosión relativamente uniforme y superficial, a una velocidad predecible, en ambientes moderadamente agresivos, tal como se define en el anexo B.

E.2 Bandas de acero

E.2.1 El refuerzo de un relleno con bandas de acero debería hacerse con acero de acuerdo con la Norma EN 10025-2 (Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales no aleados), o la Norma EN 10025-4 (Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 4: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales soldables de grano fino laminados termomecánicamente). El acero debería ser del tipo S235, S275, S355, S420 o S460 y adecuados para galvanizar, cuando se usen.

E.3 Mallas de alambres soldados, escalas o varillas

E.3.1 Las mallas de alambres soldados, rejillas o escalas que se usen como refuerzo del relleno deberían fabricarse de alambre de acero estirado en frío o laminado en caliente de acuerdo de acuerdo con la Norma EN 10080 y después formarse en el producto de refuerzo acabado.

Las varillas y barras que se usen como refuerzo del relleno deberían fabricarse de alambre acero estirado en frío o laminado en caliente.

E.4 Tirantes, tuercas y tornillos

E.4.1 Las normas de materiales que se usan para el refuerzo de suelos se aplicarán también a los tirantes.

E.4.2 Si las tuercas y los tornillos se usan para unir los tirantes y los refuerzos de acero, deberían cumplir con la Norma ISO 898-1.

E.5 Galvanización

E.5.1 Las bandas, varillas, barras, escalas o las mallas de alambre de acero soldado pueden estar galvanizadas. El galvanizado debe cumplir la Norma EN ISO 1461 con un espesor de revestimiento local de 70 µm. Las bandas delgadas se pueden galvanizar de acuerdo con la Norma EN 10326 con un espesor de revestimiento local de 35 µm.

E.5.2 A los tirantes de bandas de acero galvanizados por inmersión en caliente según la Norma EN ISO 1461 se les debería dar forma antes del galvanizado.

E.5.3 La galvanización por inmersión en caliente de los tornillos y tuercas debería hacerse según la norma correspondiente.

E.6 Recubrimientos de spray de zinc-aluminio

E.6.1 Los recubrimientos de spray térmico de zinc- aluminio que se aplican a las bandas de refuerzo de acero para usar en ambientes agresivos específicos deberían cumplir con los requisitos de la Norma EN ISO 2063 y ser del tipo (Zn85Al15)70 con un espesor de revestimiento local de 70 µm.

E.7 Mallas de alambre tejido

E.7.1 Las mallas de alambre tejido que se usan como refuerzo del relleno deberían ser de acero estirado en frío de acuerdo con la Norma EN 10218 y deberían tejerse formando el producto de refuerzo final de acuerdo con la Norma EN 10223-3.

E.7.2 Los revestimientos de galvanizado por inmersión en caliente de los alambres para las mallas tejidas deberían cumplir la Norma EN 10244 y el revestimiento orgánico extrusionado debería cumplir la Norma EN 10245.

ANEXO F (Informativo)**RECOMENDACIONES PARA LAS UNIDADES DE REVESTIMIENTO****F.1 Paneles de hormigón**

F.1.1 Los paneles prefabricados de hormigón deberían hacerse de hormigón vibrado de acuerdo con los requisitos de la Norma EN 206-1. El diseño de los paneles se puede basar en la Norma EN 1992 o, alternativamente, en el capítulo 5 de la Norma EN 1990, si se valida sobre todo por experimentación y ensayos. Debido a su relativo tamaño pequeño, muchos paneles no se suelen reforzar. Si se refuerzan, las unidades deberían reforzarse con barras de refuerzo de acero de acuerdo con la Norma EN 10080.

F.1.2 Para facilitar tolerancias de construcción admisibles, las unidades prefabricadas de hormigón se deberían hacer dentro las siguientes tolerancias: el espesor de los paneles dentro de -5 mm +10 mm, las dimensiones y cuadratura del panel, determinada como la diferencia entre dos diagonales, dentro del 0,5%, los defectos superficiales medidos con una plantilla de 1 m de longitud dentro de 5 mm en las superficies hechas.

F.1.3 Las unidades prefabricadas de hormigón no deberían transportarse a la obra o colocarse hasta que el hormigón haya alcanzado una resistencia a compresión de al menos un 60% de su resistencia a compresión característica.

F.2 Bloques de hormigón

F.2.1 A menos que se especifique lo contrario, el hormigón para bloques macizos o huecos que se vayan a utilizar en la construcción de muros de relleno reforzado debería cumplir la Norma EN 771-3.

F.3 Mallas de alambres de acero soldados

F.3.1 Las mallas de alambres de acero soldados o las escalas que se usen para unidades de revestimiento deberían hacerse de alambres de acero estirado en frío o laminado en caliente de acuerdo con la Norma EN 10080 y después formarse en el producto de refuerzo final de acuerdo con la Norma EN 10223-4.

F.3.2 Si las unidades de revestimiento de mallas de alambres de acero soldados están galvanizadas, el galvanizado por inmersión en caliente debería ser conforme a la Norma EN ISO 1461.

F.4 Mallas de alambres de acero tejidos

F.4.1 Las mallas de alambres de acero tejidos que se usan como unidades de revestimiento y gaviones deberían hacerse de alambres de acero estirados en frío de acuerdo con la Norma EN 10218 y el producto final se debería tejer de acuerdo con la Norma EN 10223-3. Cualquier revestimiento de zinc/aluminio debería cumplir con la Norma EN ISO 10244 y cualquier revestimiento polimérico debería estar de acuerdo con la Norma EN 10245.

F.5 Unidades de acero semielípticas

F.5.1 Las unidades de revestimiento de acero semielípticas deberían prensarse de chapas de acero planas de acuerdo con la Norma EN 10025-2, y deberían construirse con acero de tipo S235J, S275 y S355.

F.5.2 Si las unidades de acero semielípticas están galvanizadas, el galvanizado por inmersión en caliente debería cumplir con la Norma EN ISO 1461 con un espesor de revestimiento local de 70 µm.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BS1377, *Methods of test for soils for civil engineering purposes*
- [2] BS8006, *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*
- [3] NF P 94-220, *Reinforcement des sols – Ouvrages en sols rapportés renforcés par armatures ou nappes peu extensibles et souples – Partie 0 : Justification du dimensionnement*
- [4] NF A 05-252, *Corrosion par les sols – Aciers galvanisés ou non mis au contact de matériaux naturels de remblai (sols)*
- [5] NF T 01-013, *PH-métrie – Mesure électrométrique du pH au moyen d’une électrode de verre – Vocabulaire et méthode de mesure*
- [6] NF T 90-009, *Essais des eaux – Dosage des ions sulfate – Méthode gravimétrique*
- [7] *Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis, Snell and Hilton. (Wiley Interscience Publishing, 1974)*
- [8] EN 771-3, *Specification for masonry units – Part 3 : Aggregate concrete masonry units (Dense and lightweight aggregates).*
- [9] ISO 9297, *Water quality – Determination of chloride - Silver nitrate titration with chromate indicator (Mohr’s method).*
- [10] EN ISO 10318, *Geosynthetics – Terms and definitions (ISO 10318: 2005)*
- [11] EN 12447, *Geotextiles and geotextile-related products – Screening test method for determining the resistance to hydrolysis in water.*

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28004 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032