

03.

Refuerzo de suelos

“La naturaleza es nuestra inspiración, la ingeniería es nuestra herramienta”

©2023



www.paramassi.es



PARAMASSI
SISTEMAS DE INGENIERÍA VERDE

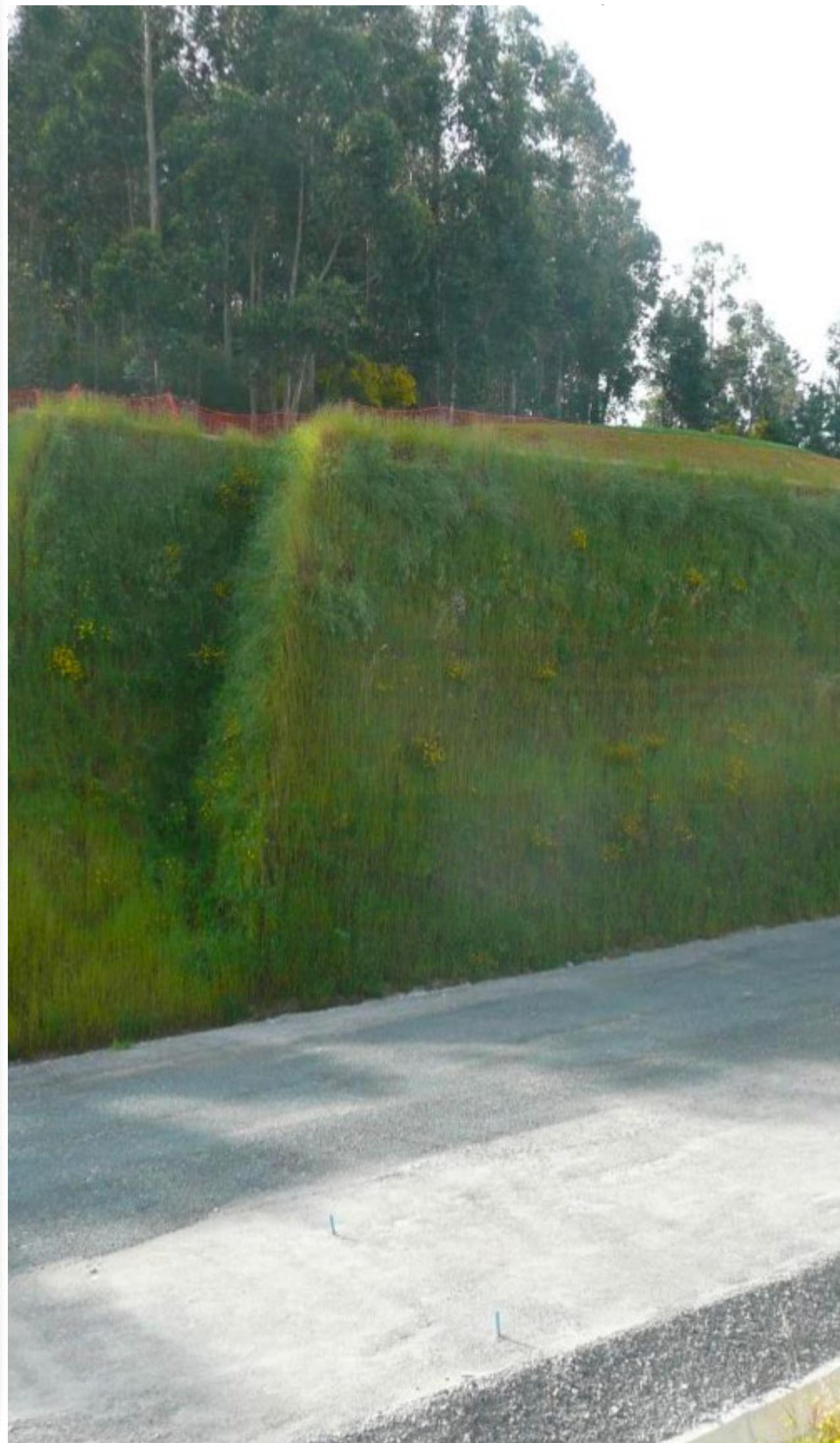
Muro **Active**

Índice

Refuerzo de
suelos

Sistema: MuroActive

1.	1. Introducción	1.1. Descripción
2.	2. Comparativa muros verdes y muros de hormigón y terraplenes	2.1. Terraplén natural 2.2. Muro de hormigón
3.	3. Principios fundamentales en el refuerzo de suelos	3.1. Material granular reforzado 3.2. Fenómeno de la interacción
4.	4. Diseño, dimensionamiento y cálculo estructural	4.1. Datos de partida 4.2. Coeficientes de Seguridad 4.3. Vida útil de la Estructura
5.	5. Procedimiento de ejecución	5.1. Preparación de la base 5.2. Drenaje 5.3. Encofrado 5.4. Geomalla de refuerzo 5.5. Control de la erosión de la cara vista del muro 5.6. Tierra vegetal 5.7. Material de relleno 5.8. Nueva tongada 5.9. Acabado vegetal
6.	6. Ejemplos de obras	





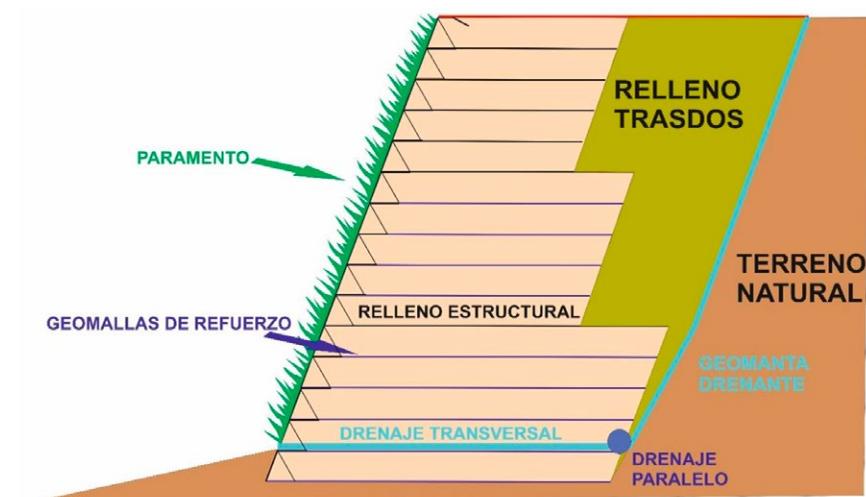
1. Introducción

Muro Active

Refuerzo de suelos

El diseño y cálculo permite la aplicación no solo como muros de contención, sino que también como barreras acústica y protección contra desprendimientos rocosos.

Impermeabilización superior:



1.1. Descripción:

Un muro verde es una estructura de suelo reforzado con geomallas, normalmente de poliéster de alto módulo elástico.

El muro verde conforma un paramento ejecutado con geomallas intercaladas entre capas de material de relleno, cuya apariencia final es un talud vegetado con un alto grado de verticalidad.

Muro de contención del vertedero de Ribeira, A Coruña



Protección contra desprendimientos Cave di Pietra, Ginosa (Italia)

2. Comparativa Muros verdes Vs. Muros de hormigón y terraplenes

2.1. Terraplén natural

MuroActive permite:

01. Diseñar pendientes con altos ángulos (hasta 90°).
02. Soportar cargas más altas en la parte superior.
03. Minimizar los movimientos de tierra en los terraplenes
04. Minimizar la carga económica de expropiaciones.
05. Aumentar la capacidad de almacenamiento de materiales.
06. Soportar terraplenes.

2.2. Muro de hormigón

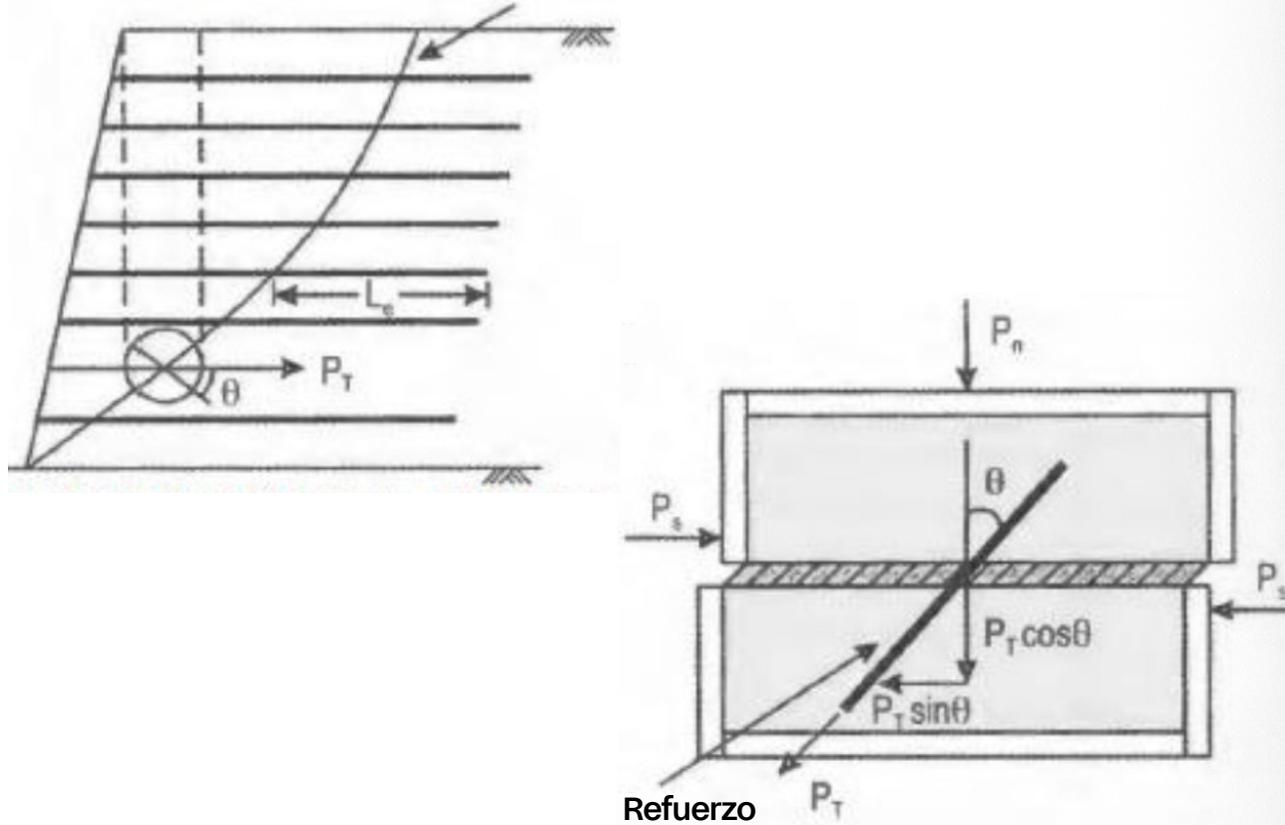
MuroActive permite:

01. Precios más bajos
02. Mayor deformabilidad, entonces mejor adaptación a los asentos y mejor respuesta sísmica.
03. Menor impacto ambiental:
 - Paisaje (menor impacto visual)
 - Hidrológica (mayor permeabilidad)
 - Vegetación (se pueden utilizar especies locales)

3. Principios fundamentales en el refuerzo de suelos

3.1. Material granular reforzado

Superficie de rotura



La colocación de un refuerzo en el terreno modifica el equilibrio de las fuerzas que actúan en su interior.

El refuerzo interactúa con el terreno y, si está adecuadamente orientado (θ), se opone a la deformación por tracción provocando la aparición de una fuerza (P_r) que se suma a la fuerza resistente movilizada por el terreno:

$$P_{r \text{ tot}} = P_n \tan \varphi' + P_T (\cos \theta \tan \varphi' + \sin \theta).$$

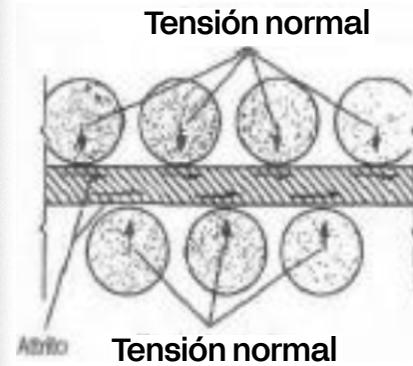
El equilibrio de una superficie de deslizamiento potencial se alcanza cuando:

$$\begin{aligned} &\text{Resistencia mov. Terreno} + \\ &\text{Resistencia mov. Refuerzo} \\ &= \\ &\text{Resultante de los esfuerzos de} \\ &\text{corte aplicados} \end{aligned}$$

3.2. Fenómeno de la interacción

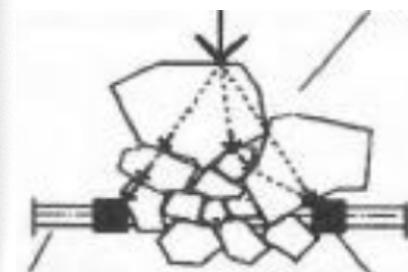
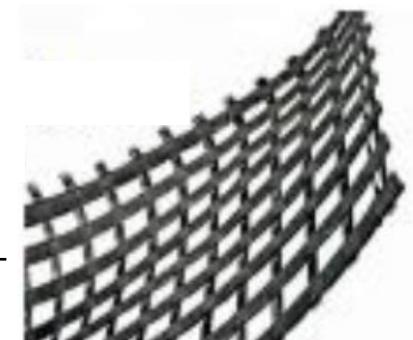
Está ligado principalmente a la estructura del refuerzo y a las características de los gránulos que constituyen el terreno.

Interacción ligada únicamente a la fricción de la interfaz (menos efectiva).



Interacción ligada también a la resistencia pasiva por interpenetración entre elementos (más eficaz).

GGR PAVIROCK



4. Diseño, dimensionamiento y cálculo estructural

4.1. Datos de partida

- H_{máx} = Altura máxima (m)
- α = Ángulo de inclinación (°)
- q = Sobrecarga (KN/m²)
- v = Espesor de tongada (m)
- γ = Peso específico (KN/m³)
- φ = Ángulo de rozamiento interno (°)
- c = Cohesión (KN/m²)
- N.F. = Altura nivel freático
- Sismo = Kh (componente horizontal de aceleración sísmica)

* Presencia de agua en el relleno: Condiciones secas.

4.2. Coeficientes de Seguridad

El proyecto debe cumplir los siguientes coeficientes de seguridad, totalmente justificados.

Método de las tensiones admisibles (ASD)

Normativas:

- Manual para el proyecto y ejecución de estructuras de suelos reforzado (MOPU 1989)
- Guía de Cimentaciones en obras de Carretera

Método de estados límite de diseño (LSD) FS>1

Normativas:

- BS 8006-1:2010 FS>1
- NF P94-270 Combinación A1+M1+R2 FS>1 Eurocódigo 7;
- FS>1

En todos los casos se verificará:

- Estabilidad Global
- Estabilidad interna
- Estabilidad como muro

4.3. Vida útil de la Estructura → 120 años

Refuerzo: Diseño de la resistencia a la tracción

El diseño de Tierra Armadas requiere que la resistencia a la tracción de los materiales de refuerzo sea estimada al final de la vida útil de la obra (a largo plazo).

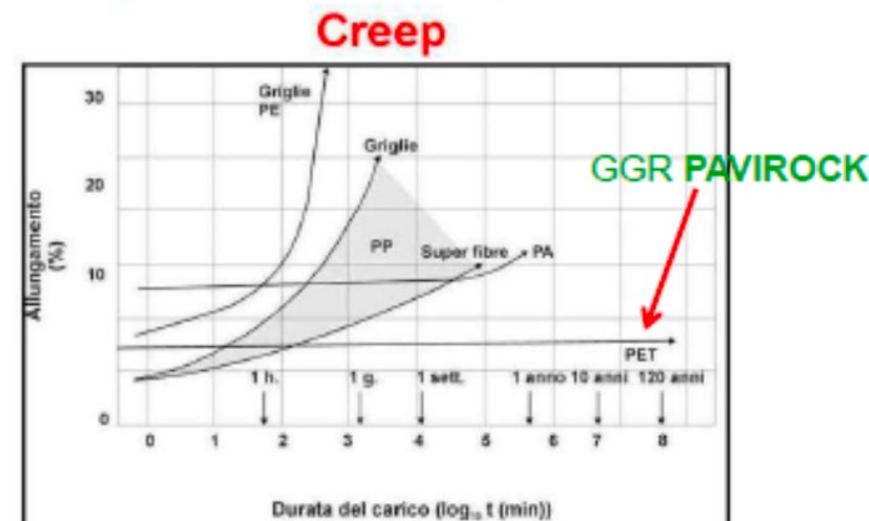
La resistencia a la tracción utilizada en el diseño para dimensionar las geomallas se obtiene en acuerdo con los métodos presentados en la literatura, como por ejemplo FHWA GRI (USA).

$$T_{ALL} = \frac{T_{ULT}}{RF_C \cdot RF_{ID} \cdot RF_D}$$

$$T_D = \frac{T_{ALL}}{FS_D}$$

- T_{ALL} = Resistencia a la tracción admisible a largo plazo [kN/m]
- T_{ULT} = Resistencia nominal última a la tracción [kN/m]
- T_D = Resistencia a la tracción de diseño [kN/m]
- RF_C = Factor de reducción para CREEP
- RF_{ID} = Factor de reducción por daño mecánico
- RF_D = Factor de reducción para la durabilidad

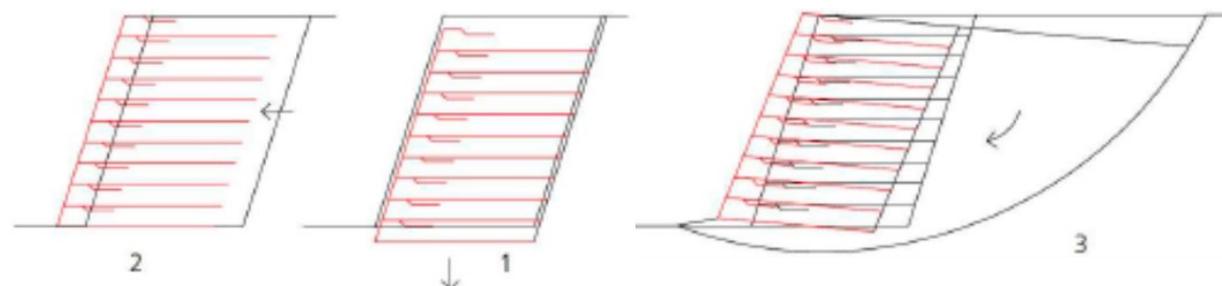
GGR PAVIROCK



Diseño: Mecanismos de ruptura

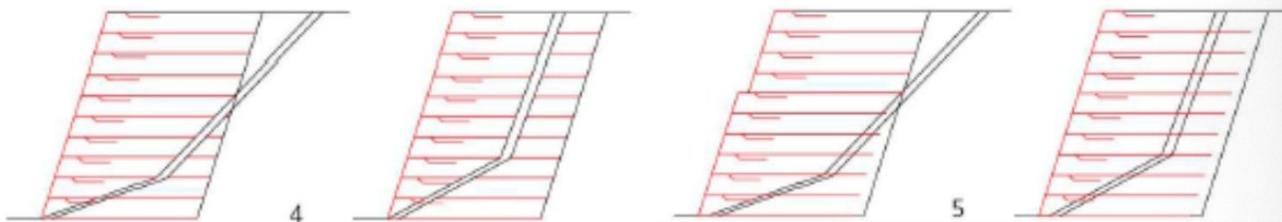
Verificación estabilidad externas

- Verificación de la capacidad portante del sustrato (1)
- Deslizamiento traslacional del bloque reforzado (Direct sliding) (2)
- Deslizamiento rotacional alrededor del volumen reforzado (Estabilidad global) (3)
- Volcamiento (fachada > 70°)



Verificación estabilidad internas/ Compound

- Ruptura por tracción del solo refuerzo (4)
- Retiro del solo refuerzo (Pullout) (5)
- Deslizamiento traslacional interno (Direct sliding) (5)
- Verificación de la estabilidad de la fachada



5. Procedimiento de ejecución

Fase 01

La capa de base debe estar bien nivelada de acuerdo con las cotas de cimentación del muro.

El terreno de cimentación debe regularizarse, eliminando blandones, zonas encharcadas, protuberancias rocosas, turbas o arcillas blandas de la base, etc.

5.1. Preparación de la base

Fase 02

La cuenca de excavación realizada se debe drenar adecuadamente. Se debe evitar la llegada de aguas horizontales a la zona del relleno reforzado.

Es muy conveniente colocar un drenaje vertical en la unión muro terreno natural. El sistema de evacuación planteado debe recoger las aguas y sacarlas por la zona inferior del muro.



5.2. Drenaje



5.3. Encofrado

Fase 03

Existen dos posibilidades de realizar este trabajo, con encofrados recuperables o con encofrados perdidos de mallazo metálico, siendo esta última opción la más habitual.



El mallazo se suministra con las dimensiones y ángulos adecuados para cada obra según las características del muro y deben alinearse adecuadamente.

El solape entre dos mallazos será de mínimo 10 cm. y conviene unir los dos contiguos con alambre de atar ferralla. Asimismo, los mallazos se deben atirantar para evitar abombamientos y se tienen que fijar convenientemente al suelo con piquetas/ grapas metálicas.

Este mallazo, que queda como encofrado perdido, cumple una función protectora de la cara vista frente a fuego y vandalismo, una vez que el muro esté finalizado, pero no tiene una función estructural.

Fase 04

5.4. Geomalla de refuerzo

Después, se extiende la geomalla de refuerzo con un solape lateral de 20 cm entre cada tirada.

La longitud de anclaje de cada geomalla y la resistencia de la misma viene dada por el cálculo estructural previamente definido.



La geomalla de refuerzo debe extenderse “estirada y sin arrugas” y se fijará al suelo utilizando grapas de fijación.

Fase 05

5.5. Control de la erosión de la cara vista del muro

Por la parte interior del mallazo y “cubriendo” la futura cara vista del muro, se debe colocar un material para control de la erosión que, además, permita el crecimiento de la vegetación.

Suele tratarse de mantas orgánicas biodegradables, pero también es habitual el uso de geomallas de control de erosión bidimensionales o, incluso, tridimensionales de poco espesor.



Fase 06

5.6. Tierra vegetal

En el lado de la “cara vista” y en una anchura de 50 cm aproximadamente, se extiende y se compacta con medios ligeros la tierra vegetal.

Esta operación es determinante para que el aspecto estético final de la cara vista del muro sea satisfactorio y para que la vegetación colonice la superficie vista del muro de forma satisfactoria.

La tierra vegetal no debe estar excesivamente húmeda en el momento de su puesta en obra.



Fase 07

Se extiende y se compacta el trasdós del muro con el material de relleno hasta que el espesor de la tongada sea el predeterminado y el grado de compactación esté por encima del 95% del Proctor Modificado.



La tongada debe tener una pendiente transversal hacia el trasdós de aproximadamente un 4% para que las aguas superficiales en caso de lluvia sobre una tongada en ejecución, se canalicen hacia el drenaje del trasdós.

La maquinaria de extensión y compactación del material de relleno no debe circular directamente sobre la geomalla de refuerzo. Este tipo de maquinaria pesada debe circular siempre sobre material de relleno previamente descargado y extendido.

Finalmente, se envuelve la tongada recién compactada con la geomalla de refuerzo y la malla antierosión, que deben quedar bien estiradas.

5.7. Material de relleno

El material de relleno debe cumplir las hipótesis de partida recogidas en el cálculo del muro.

Fase 08

5.8. Nueva tongada

Se extenderá y nivelará adecuadamente la superficie sobre la que se volverá a fijar el nuevo mallazo de la tongada siguiente, y de esta forma se repite el proceso descrito hasta llegar a la cota deseada.

Fase 09

5.9. Acabado vegetal

El acabado vegetal se consigue realizando una hidrosiembra sobre el paramento con una composición de semillas de especies adaptadas a la zona, acompañada por mulch, estabilizantes y fertilizantes.

La siembra se debe realizar durante la época adecuada, en primavera y otoño, aunque en casos de condiciones climáticas frescas y húmedas se puede llevar a cabo fuera de estos períodos.



La dosificación debe ser convenientemente estudiada para cada caso.

Resulta de extrema importancia realizar adecuadamente la hidrosiembra ya que es una protección inicial contra la erosión y de que, evidentemente, de ella depende el aspecto final del muro.



6. Ejemplos de obras



Tren de alta velocidad
Vigo-A Coruña.

Muro reforzado en sustitución de un muro de hormigón que crearía un tremendo impacto visual. Para el cálculo estructural del muro reforzado se tuvo en cuenta, fundamentalmente, la altura (26 m) y la sobrecarga que supone la existencia de una vivienda y el acceso a ella en vehículo.





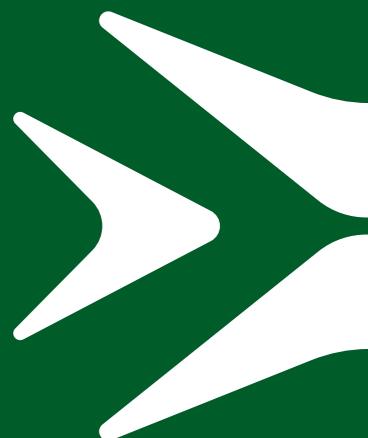
**Autovía del Cantábrico A8,
tramo Reinante-Ribadeo.**

Muros verdes para la contención de la autovía a su paso por Ribadeo con la intención de minimizar el impacto paisajístico de la infraestructura, así como facilitar la circulación natural del agua.



Parque Tecnológico de Vigo.

El cálculo y construcción de este Muro verde supuso un importante reto ya que debía dimensionarse para la contención de una nave industrial y un vial para vehículos pesados que se encuentran en la coronación del muro.



PARAMASSI
SISTEMAS DE INGENIERÍA VERDE