



**CONAMA10**  
CONGRESO NACIONAL  
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

## **Muro biológico para restauración de márgenes de ríos**

Autor: Jesús Benito Fernández

Institución: TECONMA, S.A.

e-mail: [jbf@teconma.es](mailto:jbf@teconma.es)

## RESUMEN

El muro biológico para restauración de márgenes de ríos, es una técnica de Bioingeniería que consiste en un muro de gravedad construido mediante el empleo de materiales vivos, muertos e inertes, con una estructura celular de troncos de madera, cuyo interior viene relleno de tierra, reforzada mediante materiales geosintéticos, en el que se insertan en cada piso del muro plantas vivas tipo *Salix sp*, con gran capacidad de enraizamiento profundo y adecuadas propiedades vegetativo-mecánicas. Como consecuencia de la experiencia e investigación hemos desarrollado una técnica que consiste en la inclusión de los geosintéticos garantizando desde el montaje la estabilidad interna del muro, evitando problemas derivados de fallos en la estructura de troncos por ruptura de los mismos, o por un fallo en el establecimiento de la vegetación. El coste de los geosintéticos es mínimo comparado con el coste del propio muro y con el costo que supondría que el muro no tuviese garantizada la estabilidad por los problemas señalados anteriormente. Esta estructura soporta velocidades del agua entre 4-6 m/s y tracciones hasta 50 kg/m<sup>2</sup>. Su aplicación es óptima en sustitución de soluciones duras con el medioambiente, como muros de hormigón o escolleras. El resultado obtenido con esta técnica es sostenible, natural, integrado en el paisaje y en el medio. La base sobre la que se asienta el muro está formado por geocolchones flexibles de drenaje, similares a los gaviones tradicionales, pero la estructura es flexible al estar formada por geosintéticos y cuyas características confieren una durabilidad muchísimo mayor (hasta 120 años garantizada) frente una malla de triple torsión, (armadura de un gavión tradicional). Este geocolchón está diseñado para funcionar bajo condiciones exigentes de erosión y de fundaciones sumergidas. La eficacia del sistema se debe a su estructura monolítica y con alta porosidad, flexibilidad y estabilidad hidráulica, durabilidad, alta resistencia a la tracción a largo plazo de las geomallas, disipador de energía etc. Gracias a los geosintéticos se pueden diseñar en distintos tamaños, formas y espesores adaptándose a los requisitos de cada proyecto. Igualmente pueden vegetarse quedando perfectamente integrados en el paisaje. Las ventajas frente sistemas como la escollera o los gaviones tradicionales son la facilidad fabricación y montaje, durabilidad, resistencia etc. Un ejemplo del sistema lo podemos encontrar en el río Tajuña a su paso por la población de Archilla, pedanía de Brihuega (Guadalajara).

**Palabras Clave:** bioingeniería; estabilización; ríos

## **DEFINICION**

El muro biológico para restauración de márgenes de ríos, es una técnica de Bioingeniería utilizada para la estabilización de márgenes con problemas de erosión y estabilidad, como consecuencia de la acción erosiva del agua.

Se entiende por Bioingeniería una disciplina técnica que utiliza los elementos vegetales vivos, en combinación o no con materiales inertes (troncos, piedras, geomallas, mallas metálicas, etc), para el control de la erosión, la consolidación y renaturalización de zonas afectadas por la acción de diferentes agentes naturales, en cursos de aguas, riberas, y taludes, y en muchas ocasiones derivada de actuaciones antrópicas.

De una forma sucinta podemos definir el muro biológico para restauración de márgenes de ríos como un muro de gravedad construido mediante el empleo de materiales vivos, muertos e inertes, con una estructura celular de troncos de madera, cuyo interior viene relleno de tierra, reforzada mediante geomallas uniaxiales, en la que se insertan en cada piso del muro plantas vivas con las siguientes características:

- ▶ resistencia a inmersión
- ▶ capacidad de emisión de raíces adventicias
- ▶ capacidad de reproducción vía vegetativa
- ▶ gran capacidad de enraizamiento profundo
- ▶ adecuadas propiedades vegetativo-mecánicas.

La base sobre la que se asienta el muro consiste en geocolchones flexibles, similar a un gavión tradicional pero donde la estructura está formada por geomallas en sustitución de las mallas de triple torsión habitualmente utilizados en los gaviones.

## **JUSTIFICACION DE LA TÉCNICA**

El muro biológico es una derivación del muro Krainer tradicional al que se le han incluido las geomallas y en el que la base en lugar de estar formada por gaviones o escollera hormigonada, está formada por geocolchones flexibles.

La inclusión de las geomallas en el sistema garantiza desde el montaje la estabilidad interna del muro, evitando problemas derivados de fallos en la estructura de troncos por ruptura de los mismos (hongos, ataque de insectos xilófagos, mala ejecución), o por un fallo en el establecimiento de la vegetación. El coste de las geomallas es mínimo comparado con el coste del propio muro y con el costo que supondría que el muro no tuviese garantizada la estabilidad por los problemas señalados anteriormente.

Así mismo la estructura puede calcularse como un suelo reforzado y a diferencia del muro Krainer tradicional no tiene limitaciones en altura.

Esta estructura soporta velocidades del agua entre 4-6 m/s y tracciones hasta 50 kg/m<sup>2</sup>.

El geocolchón está diseñado para funcionar bajo condiciones exigentes de erosión y de fundaciones sumergidas. La eficacia del sistema se debe a sus características claves, esto es, estructura monolítica y con alta porosidad, flexibilidad y estabilidad hidráulica, durabilidad, alta resistencia a la tracción a largo plazo de las geomallas, disipador de energía etc. Gracias a las geomallas, se pueden diseñar en distintos tamaños, formas y espesores para adaptarse a los requisitos de cada proyecto. Igualmente pueden vegetarse quedando perfectamente integrados en el paisaje. Las geomallas pueden ser biaxiales o monoaxiales dependiendo del tamaño de los bolos que forman el geocolchón. Las ventajas frente sistemas como la escollera o los gaviones tradicionales son la facilidad fabricación y montaje, durabilidad, resistencia etc.

Su aplicación es óptima en sustitución de soluciones duras con el medioambiente, como muros de hormigón o escolleras hormigonadas, Las ventajas que el muro biológico tiene sobre las soluciones duras son:

- ✓ Económicas. A medio plazo todo el sistema queda sustituido por vegetación, que funciona como elemento estabilizador del terreno, con lo que no es necesario volver a construir un sistema de contención sustitutivo al vencer la vida útil del hormigón. Así mismo, los costes se ven reducidos notablemente cuando el material podemos obtenerlo del entorno de la obra.
- ✓ Estéticas. La técnica es sostenible, natural, deja un sistema totalmente integrado en el paisaje y en el medio. Así mismo existe un aumento del efecto emocional suscitado por el paisaje mediante la creación de nuevas estructuras.
- ✓ Ecológicas. El sistema al estar basado en la acción de elementos vegetales vivos, producen una compensación de la humedad y Temperaturas extremas en el estrato aéreo cercano al terreno, creando condiciones favorables para el desarrollo vegetal. Además mejora del balance hídrico del terreno y facilita la mejora del terreno y la formación de humus.
- ✓ Técnicas. Aumento de la estabilidad mediante la cohesión del terreno con las raíces.

## **MATERIALES CONSTRUCTIVOS.**

Para la construcción del muro biológico se utilizan los siguientes materiales cuyas propiedades se reflejan a continuación:

### *TRONCOS DE MADERA*

Troncos de especies con madera duradera (coníferas, castaño, falsa acacia,) de 10 a 30 cm de diámetro, preferiblemente entorno a los 20 cm de diámetro mínimo. La longitud de estos elementos varía dependiendo del tamaño que se quiera dar a la estructura. Se recomienda el uso de troncos no descortezados. En el caso de que pudiera ser posible, se recomienda la corta de árboles in situ y su empleo en las labores de construcción de la estructura.

## PLANTAS VIVAS

Material vivo consistente en estacas vivas, de especies de ribera que enraícen fácilmente, y gran número de ramas laterales. Generalmente se utilizan ramas de sauce entre 10-50 mm. de diámetro, y lo suficientemente largas para alcanzar el fondo de la estructura

La multiplicación del material biológico de construcción se hace por reproducción vegetativa, con partes de plantas leñosas que tienen capacidad de crecimiento y enraizamiento, es decir capacidad de propagación asexual mediante la emisión de raíces adventicias.

La época más favorable para la recogida de estaquillas con capacidad para propagarse vegetativamente es la del estado de parada vegetativa, es decir el periodo que existe entre la caída de la hoja y la nueva brotación. De forma genérica podríamos decir que entre Octubre-Abril, si bien variará según la zona en que nos encontremos.

El material vegetal "cosechado" será tal que la supervivencia debe de ser máxima. Todos los cortes serán lisos y el corte de la superficie será pequeño. El material de planta con daño excesivo o cortes oblicuos, o con daño excesivo en la corteza, no será aceptable. La superficie de corte será lisa y relativamente pequeña.

Las ramas cortadas serán transportadas a la obra en toda su longitud, protegiéndose del desecamiento, y cortándose en la medida necesaria en la zona de tajo. En principio deberán ser colocadas como máximo 8h tras el corte para evitar su desecación.

En el caso de que no pueda ser utilizada en el momento del corte, y deban ser almacenadas, este almacenamiento se producirá de 3 formas distintas:

- ✓ Inmersión en agua fría <math><15^{\circ}\text{C}</math>, corriente y rica en  $\text{O}_2$
- ✓ Almacenamiento en frigorífico en sacos de PVC con  $\text{HR}>95\%$  y  $T^{\text{a}}$  entre  $0-1^{\circ}\text{C}$
- ✓ Colocación bajo nieve o tierra, a la sombra y protegida mediante hojas de PVC.

Como se ha comentado con anterioridad, la época más favorable para la recolección de ramas y estacas es durante el estado de parada vegetativa.

En el caso de que no pueda obtenerse material vegetal del entorno, se traerán las plantas de vivero acreditado en contenedor forestal.

## PIEDRAS.

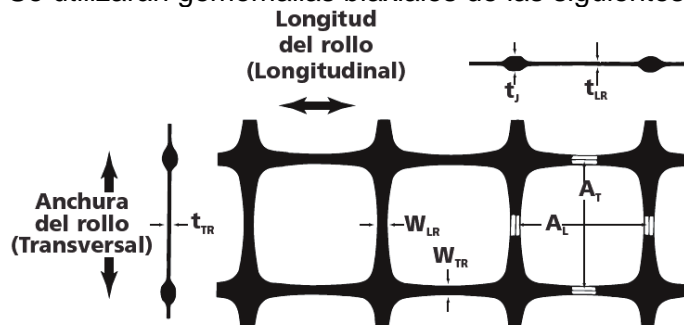
Material granular para relleno de los geocolchones flexibles.

## GEOMALLAS

Diferenciaremos las geomallas que conforman los geocolchones flexibles de las que se incluyen en cada piso del muro para garantizar su estabilidad interna.

### Geomallas para los Geocolchones flexibles.

Se utilizarán geomallas biaxiales de las siguientes especificaciones mínimas:



Propiedad	Unidades	Total
Polímero (1)		PP
Negro de humo mínimo (2)	%	2
Anchura del rollo	m	4
Longitud del rollo	m	50
Peso unitario	kg/m <sup>2</sup>	0,2
<b>Dimensiones</b>		
<b>AL</b>	mm	39
<b>AT</b>	mm	39
<b>WLR</b>	mm	2,2
<b>WTR</b>	mm	2,4
<b>t<sub>J</sub></b>	mm	4,1
<b>t<sub>LR</sub></b>	mm	1,1
<b>t<sub>TR</sub></b>	mm	0,8
<b>Forma de la nervadura</b>	<b>Rectangular con bordes cuadrados</b>	
<b>Resistencia (transversal) para control de calidad</b>		
<b>Tult (3)</b>	kN/m	20
Carga para alargamiento del 2% (3) (3)	kN/m	7
Carga para alargamiento del 5% (3) (3)	kN/m	14
<b>Resistencia (longitudinal) para control de calidad</b>		
<b>Tult (3)</b>	kN/m	20
Carga para alargamiento del 2% (3)	kN/m	7
Carga para alargamiento del 5% (3)	kN/m	14
<b>Resistencia de la unión como % de la resistencia para control de calidad (4)</b>		
Resistencia mínima de la unión	%	95

(1)	PP indica polipropileno.
(2)	Determinado de acuerdo con BS 2782: Parte 4: Método 452B: 1993.
(3)	Determinado de acuerdo con ISO 10319 y como límite de confianza inferior del 95% de acuerdo con ISO 2602 (BS 2846: Parte 2: 1981).
(4)	Determinado de acuerdo con GRI GG2-87 y expuesto como porcentaje de la resistencia para control de calidad.

### Geomallas para el muro

Se utilizarán geomallas monoaxiales de las siguientes especificaciones mínimas:

PROPIEDADES	UNIDADES	TOTAL
Polymer		PEAD
Minimum carbon black (1)	%	2
Roll width	m	1,3
Roll length	m	75
Unit weight	kg/m <sup>2</sup>	0,29
Roll weight	kg	29,5
<b>Junction strength (2)</b>	%	100
<b>Long term strength (3)</b>		
ULS Pc or TCR for 10° C (4)	kN/m	20,73
<b>Partial factors of safety to calculate safe ultimate limit state (ULS) design strength (Pdes) (6)</b>		
Manufacturing, extrapolation and database	fm = 1,0	
Installation damage max particle size 6mm	fd= 1,00	fd= 1,00
Installation damage max particle size 37.5mm	fd= 1,10	fd= 1,07
Installation damage max particle size 75mm	fd= 1,30	fd= 1,25
Installation damage max particle size 125mm	fd= 1,60	fd= 1,48
Environmental effects (pH = 2 to pH = 12.5)	fe= 1,0	

(1) Carbon black inhibits attack by UV light. Determined in accordance with BS 2782:Part 4:Method 452B:1993. Any section of grid fully exposed to sunlight can be expected to retain 90% of its quality control strength for periods in excess of 40 years in temperate climates and 20 years in tropical climates.

(2) Determined in accordance with GRI Test Method GG2-87, and expressed as a % of the quality control strength.

(3) ULS determined as a lower bound using standard extrapolation techniques to creep rupture data obtained following the test procedure in BS EN ISO 13431:1999 for 120 year design life.

(4) In-soil temperature.

(5) Tensar RE500 geogrids are inert to all chemicals naturally found in soils and have no solvents at ambient temperature. They are not susceptible to hydrolysis and are resistant to aqueous solutions of salts, acids and alkalis (pH 2.0 to 12.5) and are nonbiodegradable.

(6) Partial factors are used to derive the ULS safe design strength which is given in the form:  $P_{des} = P_c / (f_m \times f_d \times f_e \times LF)$

(7) Tensar RE500 geogrids are stiff monolithic geogrids with integral junctions and are manufactured in accordance with Quality and Environmental Management Systems which comply with the requirements of BS EN ISO 9001:2000 and BS EN ISO 14001:1996 respectively.

(8) All quoted dimensions and values are typical unless stated otherwise.

## OTROS

Clavos de acero con adherencia mejorada de 12-14 mm de diámetro, piquetas y grapas de acero, para las fijaciones

## **CONSTRUCCION DEL MURO**

La instalación del muro comienza con el saneo previo del talud excavando su superficie hasta sobrepasar el plano de deslizamiento y retirando todo el material suelto, que en caso de que sea válido quedará acopiado para su posterior uso en el relleno.

Posteriormente se realiza el cajeo para el asiento del muro, que como se ha comentado anteriormente vendrá constituido por geocolchones flexibles de altura y longitud variable atendiendo a las dimensiones del muro.

Se procede entonces a la construcción y montaje de los geocolchones, mediante armadura de redondo de aceros y estructura compuesta por geomallas. La estructura modular se hace solidaria mediante unión de cada módulo con el adyacente en todas las direcciones mediante hilo de polietileno.

Una vez se ha montado todo el sistema de apoyo se procede a cubrir con un geotextil para evita el paso de finos y al tapado del miso.

El fondo de la excavación debe de tener una contrapendiente de entre 10 y 15 °.

Se colocan entonces los primeros troncos de madera de forma paralela a la superficie del talud y separados entre uno y dos metros de distancia. Los troncos se unen entre sí tras practicar un corte en forma de "L" en el extremo de los mismos,. Para fijar la unión entre ellos y al suelo, se atraviesan con un redondo de acero corrugado, perforando completamente los dos troncos que se van a unir. Para ello se usa un taladro con broca de madera y de longitud la broca igual al doble del diámetro de los troncos.

Esta actuación requiere de mucho cuidado para evitar roturas del tronco en la propia ejecución o a futuros por un mal ensamblaje y mala perforación.

Bajo estos largueros, unidos a los mismos se insertan las geomallas uniaxiales. Posteriormente y tras estirar las geomallas, se colocan los otros troncos longitudinales situados al fondo de la estructura. Sobre estos troncos, situados paralelos entre sí, y paralelos al río, se colocan de forma perpendicular a los mismos y a la pendiente, travesaños cuyos extremos sobresalgan entre 7,5 y 15 cm de su superficie de apoyo con los primeros y con una separación entre los travesaños de 1m.



Después de haber realizado un plano completo de troncos, se procede al relleno de la estructura celular con material inerte y a la colocación de estacas vivas y/o plantas enraizadas. El terreno vertido en el espacio entre los troncos va oportunamente compactado. Entonces se procede a la colocación de las estacas o de las plantas enraizadas (en contenedor) en oposición horizontal y perpendicular a la cara del talud. Las plantas se dispondrán con las raíces al fondo de la estructura y la parte apical saliendo del muro.

Las estacas vivas o plantas enraizadas deberán tener una longitud similar a la profundidad de la estructura (1.5-3.0 m) para conseguir un enraizamiento profundo. Es suficiente que emerjan fuera de la tierra unos 10-30 cm.

Las estacas o ramas vivas y las plantas enraizadas se colocan en razón de una cada 10-15 cm de frente para cada orden de troncos longitudinales, es decir, cerca de 20-30 estacas/plantas por cada metro cuadrado de paramento externo del entramado vivo

Para realizar los planos sucesivos se sigue con el esquema descrito.

### **EJEMPLO PRÁCTICO**

A continuación se muestra mediante reportaje fotográfico la construcción de un muro biológico construido para la estabilización de un talud situado en la margen izquierda del río Tajuña a su paso por la población de Archilla.



Margen del río descalzado por la acción erosiva del agua. Peligra la construcción existente en coronación



Inicio de los trabajos de apeos y cajado para asiento del muro.



Cajeadado esperando la construcción de los geocolchones flexibles como asiento del muro.



Construcción de geocolchones y montaje.



Relleno de los geocolchones



Cosido de los geocolchones con hilo de polietileno.



Base de geocolchones prácticamente finalizadas.



Geotextil sobre los geocolchones para evitar paso de finos



Tapado del geotextil para recibir primera línea de troncos y geomallas.



Acopio de troncos de coníferas esperando ser seleccionados y marcados por tamaño



Primeras líneas de troncos longitudinales, con las geomallas uniaxiales.





Detalle de unión de los trocos



Acopio de los Salix





Evolución en el montaje del muro.



Muro en ejecución; 4 pisos construidos.



Detalle del muro; se observa el geocolchón, los salix, y troncos en el paramento.



Estado final del muro. Marzo 2010.



Estado final del muro. Junio 2010.



Estado final del muro. Septiembre 2010



Estado final del muro. Junio 2010



Estado final del muro. Septiembre 2010