

Pautas para el uso de productos en rollo para control de erosión

Las pautas de rendimiento y diseño desarrolladas por el ECTC¹ facilitan la elección del producto más apropiado y rentable para aplicar en el control de la erosión.

Por **Deron N. Austin y Lynn E. Ward**

El uso de productos en rollo para el control de la erosión se ha incrementado significativamente en la última década. A raíz de esto, ingenieros y diseñadores han impulsado a funcionarios del gobierno, investigadores de la universidad y fabricantes, a desarrollar métodos confiables para determinar la efectividad de estos productos en la protección de pendientes, rehabilitación de áreas costeras y revestimiento de canales. Como consecuencia de estos pedidos, varias organizaciones han comenzado a enfocar su trabajo en el desarrollo de estándares de rendimiento y desarrollo de materiales para el control de la erosión.

Una de estas organizaciones es el ECTC, el cual está integrado por 13 fabricantes de productos en rollo para el control de la erosión (Niemeier y Rodencal, 1994). La Asociación Internacional para el Control de la Erosión (IECA) y la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) también están trabajando en la creación de estándares. Estas organizaciones cuentan con el apoyo de ingenieros, investigadores y fabricantes para establecer las pautas a seguir por la industria en las prácticas de control de erosión.

Existen dos tipos básicos de productos en rollo para el control de la erosión:

- ♦ los degradables (temporarios) y
 - ♦ los no degradables (de largo plazo).
1. Los productos degradables (temporarios) se utilizan para proteger áreas sembradas recientemente de factores ambientales como, por ejemplo, el viento, la lluvia y el intenso calor, y para reforzar el crecimiento de la vegetación. Una vez arraigada, esta podrá resistir por sí misma las fuerzas erosivas, ya que los productos temporarios se degradarán.
 2. Los productos no degradables (de largo plazo), fabricados con materiales sintéticos estabilizados a la acción de los rayos ultravioletas, también protegen a la semilla y evitan la erosión antes de la germinación. Adicionalmente, estos productos suministran un constante refuerzo a la vegetación que, de este modo, puede soportar mucha mayor velocidad del agua y un mayor esfuerzo cortante que los que podría soportar por sí sola (Lancaster y Austin, 1994). Los diseñadores utilizan documentación relativa a rendimientos anteriores del producto, pruebas exhaustivas de laboratorio, estándares industriales, programas de diseño y experiencias de campo para elegir el producto apropiado para cada caso.

¹ Consejo Tecnológico para el Control de la Erosión de Estados Unidos

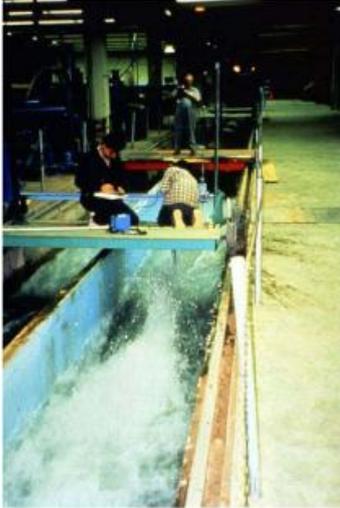


Figura 1. El Instituto de Transporte de Texas (TTI) ha realizado un trabajo de campo a gran escala para probar la eficacia de los Productos en rollo para Control de Erosión (RECP), utilizados en terrenos con pendiente, y en canales.

Evaluación de desempeño

Casos históricos

El método de selección de RECP (Productos en Rollo para Control de Erosión) más antiguo y ampliamente aceptado es el de ejemplos de proyectos anteriores. La primera pregunta que se hace el diseñador a menudo es “¿Dónde se ha utilizado el producto en mi área de trabajo con resultado satisfactorio y en condiciones similares?”. Nada otorga mayor credibilidad a un producto utilizado en ingeniería civil que los buenos resultados obtenidos en una aplicación similar. Los fabricantes y distribuidores de RECP cuentan con listas completas, informes de trabajos y estudios de casos de proyectos anteriores, en distintos lugares, que están a disposición de los profesionales para su consulta.

Pruebas a escala real

El trabajo de campo bien documentado suministra información muy valiosa para diseñar y elegir el RECP adecuado en proyectos de control de erosión. La Asociación de Investigación e Información de la Industria de la Construcción del Reino Unido (CIRIA) realizó un estudio de dos años de duración para determinar la resistencia a la erosión del pasto común y reforzado con RECPs, expuesto a caudales de agua canalizada. CIRIA pudo estipular recomendaciones para el uso de RECP utilizando la velocidad media del agua como criterio limitante. Las velocidades máximas para pastos maduros no reforzados fueron de 4,5 m/s (14,7 pies/s) para períodos cortos de flujo (0,5 h), y 2 m/s (6,5 pies/s) en flujos de mayor duración (50 h). Los típicos productos no degradables de largo plazo, con una buena cobertura de vegetación, han mostrado resistir elevadas velocidades máximas, de 6 m/s (19,6 pies/s) en períodos cortos, y 4,4 m/s (14,4 pies/s) en períodos más largos, de 50 h (Hewlett y otros, 1987). Con el tiempo, estas recomendaciones han probado ser altamente confiables en cursos de agua con mucha vegetación.

El Instituto de Transporte de Texas, Estados Unidos (Texas Transportation Institute, TTI) ha realizado pruebas similares sobre la efectividad de RECPs utilizados en taludes y canales (**Figura 1**). Durante la vigencia del contrato con el Departamento de Transporte de Texas (Texas Department of Transportation, TX DOT), el TTI realizó una serie de pruebas en taludes de arena y de arcilla 2H:1V y 3H:1V, y en varias canaletas de tierra con pendientes de 3 y 7%. Los fabricantes de RECP enviaron al TTI material para su evaluación y comparación. Los Productos para el Control de la Erosión que aprobaron el criterio de evaluación establecido por el TX DOT se agregaron a la lista de materiales aprobados (Northcutt, 1993). La Administración Federal de Rutas (Federal Highway Administration, FHWA) y otras dependencias estatales han realizado recientemente evaluaciones de RECPs en pequeña escala.



Figura 2. Se han realizado pruebas exhaustivas en canaletas de laboratorio para determinar los límites de rendimiento de RECPs.

Pruebas de Laboratorio

Tanto laboratorios independientes como universitarios han utilizado canaletas hidráulicas cubiertas y simuladores de lluvia para medir la capacidad de los RECPs para proteger el suelo y la vegetación arraigada cuando se la somete a diferentes flujos de corriente de agua y a episodios de lluvia. Los

estudios exhaustivos realizados por la Universidad de Colorado y el Laboratorio de Investigación del Agua de la Universidad del Estado de Utah han determinado la velocidad y la resistencia cortante de RECPs utilizados en el revestimiento de canales.

Tabla 1. Rango típico de máximo esfuerzo cortante para diferentes RECPs

Máximo esfuerzo cortante característico con flujos cortos

Categoría de RECP	Tipo de Producto	Lb/ft ²	N/m ²
Degradable, con baja velocidad	ECN	0,1-0,2	4,5-9,5
	ECM	0,4-3,0	20-140
	ECB-red simple	1,4-2,0	70-95
Degradable, con alta velocidad	ECB-red doble	2,0-3,0	95-140
No-degradable a largo plazo	TRM-sin vegetación	3,0-6,0	140-280
	TRM-con vegetación	5,0-8,0	240-380

ECN: erosion control net (red para el control de erosión)

ECM: erosion control mat (malla para el control de erosión)

ECB: erosion control blanket (manta para el control de erosión)

TRM: turf reinforcement mat (malla para el refuerzo de la vegetación)

Nota: Adaptado de Chen y Cotton, 1988; Gray, 1995; Northcutt, 1995.

Las canaletas de prueba en laboratorios miden generalmente de 0,6 a 1,2 m (2 a 4 pies) de ancho, de 0,6 a 1,2 m (2 a 4 pies) de profundidad, y de hasta 15,2 m (50 pies) de largo. Tienen forma rectangular o trapezoidal; algunas se construyen con planos inclinados ajustables. Generalmente, una sección lisa precede a la canaleta, para permitir que las corrientes turbulentas se estabilicen antes de entrar al área de prueba instrumentada (**Figura 2**).

El tamaño de la muestra de prueba se relaciona con las dimensiones de la canaleta y los resultados buscados. Las canaletas más grandes se usan generalmente para evaluar el rendimiento de RECPs instalando muestras de prueba de 14,6 m (48 pies) de largo en una explanada. Las muestras más grandes pueden evaluarse en superficies con o sin vegetación.

Las canaletas más pequeñas se utilizan para evaluar la resistencia al esfuerzo cortante colocando una muestra larga de 1,5 m (5 pies) sobre un suelo rígido. El producto que se quiere evaluar se sujeta al fondo de la canaleta con grapas. Un producto se prueba generalmente por un período de hasta 50 horas para que se produzca una falla en el material (o hasta que se alcance la capacidad máxima de la canaleta). Aunque los resultados de estas evaluaciones se pueden obtener de los fabricantes, se han informado velocidades a corto plazo de 6 m/s (19,6 pies/s) y un esfuerzo cortante de hasta 384N/m² (8 psf) en condiciones estándar, con vegetación.

En todas partes del mundo se han utilizado simuladores de lluvia durante muchos años para medir el residuo líquido, los parámetros de infiltración y erosión de distintos suelos en declive tanto en condiciones protegidas como al descubierto. El Instituto de Investigación de Geosintéticos de la Universidad de Drexel en Estados Unidos (GRI) y el Laboratorio de Investigación del Agua de la Universidad del Estado de Utah en el mismo país, han construido un equipo de prueba para evaluar RECPs.

Los mecanismos de prueba consisten en una unidad de producción de lluvia, una rampa de prueba ajustable, y un sistema de medición y recolección de datos. La lluvia artificial impacta sobre la superficie en declive, y permite a los investigadores medir la efectividad del producto. Los resultados de un estudio realizado en GRI indican que todos los RECPs probados reducen la producción de sedimentos como mínimo en un 60%, comparado con las pruebas en condiciones no protegidas. (Rustom y Weggel, 1993).

Criterio para el diseño de revestimiento de canales

Las características hidráulicas de una amplia variedad de materiales para el revestimiento de canales han estado disponibles en el mercado durante años, como lo muestra la investigación similar a la mencionada anteriormente. La introducción de RECPs para el revestimiento de canales simplemente requirió modificar las canaletas existentes y desarrollar condiciones hidráulicas limitantes. Los resultados de las pruebas mencionadas anteriormente permiten a los ingenieros evaluar con confianza el rendimiento de los cauces de agua con vegetación reforzada.

Pautas Federales

La circular Numero 15 de Ingeniería Hidráulica (HEC-15) publicada por la Administración Federal de Rutas de Estados Unidos (Federal Highway Administration, FHWA) en 1988, apoya la utilización de materiales flexibles para revestimientos y brinda información detallada sobre los procedimientos de diseño de los mismos (Chen y Cotton, 1988). El documento propone valores límite de esfuerzo cortante para suelos sin ningún revestimiento, con enrocado, con vegetación, con sistemas de hilo de fibra de vidrio y una gran variedad de productos en rollo para el control de la erosión, incluyendo mallas, revestimientos y mantas sintéticas permanentes. La FHWA también desarrolló un software de computación titulado "Flexlin".

Sin embargo, docenas de investigaciones de laboratorio bien documentadas y estudios de campo a gran escala demuestran que los límites de rendimiento de la vegetación fortalecida exceden en mucho las pautas establecidas en HEC-15 (Carroll y otros, 1991; Dodson, 1990; Hewlett y otros, 1987; Hoffman y Adamsky, 1982; Keller y Middlebrooks, 1988; Theisen, 1992). En realidad, los revestimientos de canales en superficies estabilizadas con vegetación reforzada han resistido velocidades por encima de 4,3 m/s (14,1 pies/s) y esfuerzos cortantes superiores a 384 N/m² (8 psf) en períodos de hasta 50 h (Carroll y otros, 1991, Hewlett y otros, 1987; Theisen, 1991; Theisen, 1992). Las pautas de diseño que se detallan en la **Tabla 1** muestran el resultado de estas conclusiones. Utilizando clasificaciones de productos previamente definidos por ECTC, la tabla muestra un rango de valores para las redes de control de erosión (ECN), mallas para el control de erosión (ECM), mantas para el control de erosión (ECB) y mallas para el refuerzo de la vegetación (TRM) (Lancaster y Austin, 1994)

Guía de los fabricantes

La mayoría de los fabricantes de RECPs han estipulado velocidades máximas admisibles y valores de esfuerzo cortante para utilizar en el diseño de revestimientos de canales. Estos valores son tradicionalmente conservadores y ya incluyen factores de seguridad. Existen dos programas de software que también ayudan a los ingenieros a diseñar cursos de agua con vegetación reforzada. Generalmente el fabricante o representante local vende estos productos a bajo costo y puede desarrollar análisis de canales simples o complejos. El software puede determinar las velocidades de flujo y el esfuerzo cortante en el fondo del canal y en cada lateral a partir de la información brindada sobre la geometría del mismo, su condición hidráulica y el tipo de vegetación. El resultado se compara con los valores críticos para el RECP propuesto dividiendo las velocidades y el esfuerzo cortante del diseño programado por la velocidad y el esfuerzo permitido del material de revestimiento propuesto. Si este valor es mayor a 1.0, el RECP es adecuado como material para el revestimiento del canal.

Cálculos de diseño

Sin tener en cuenta las pautas o herramientas que se utilicen, los cálculos son básicamente los mismos. Las condiciones de flujo de un canal abierto son función de la geometría, la descarga, la rugosidad (aspereza), y la pendiente del canal (French, 1985).

La velocidad en el canal se computa de la siguiente manera:

$$V_{media} = \frac{Q}{n} \times R^{2/3} \times S_f^{1/2}$$

Donde:

V_{media} = velocidad media (promedio) en la sección transversal (cruzada) en m/s (pie/s)

- ϕ = sistema de unidades de corrección de factor utilizada ($\phi = 1,49$ para unidades británicas y $\phi = 1,0$ para unidades SI)
- n = coeficiente de rugosidad (aspereza) de Manning
- R = radio hidráulico, igual al área de la sección transversal (A), dividida por el perímetro mojado (P)
- S_f = pendiente de la superficie libre (aproximada de fricción del canal por el plano inclinado promedio), en condiciones uniformes de flujo

El esfuerzo cortante o fuerza de tracción se calcula de la siguiente manera:

$$\tau_{ave} = \phi R S_f$$

- τ = promedio del esfuerzo cortante en sección transversal (cruzada), kg/m^2 (psf)
- Δ = unidad de peso del agua, $9,8kN/m^3$ (62,4 libras/ft³)
- R = radio hidráulico, equivalente al área de la sección transversal (A), dividida por el perímetro húmedo (P); también puede ser equivalente a la máxima profundidad de flujo (d_{max}), cuando se considera al canal "hidráulicamente ancho" (por ej., el ancho del canal es mayor a 5 veces la d_{max})
- S_f = pendiente de la superficie libre (aproximada de fricción del canal por el plano inclinado promedio) (en condiciones uniformes de flujo)

Criterio para el diseño de protección de pendientes

La elección de un RECP apropiado para proteger pendientes de suelos alterados depende de muchos factores, incluyendo la expectativa de vida del proyecto, la longitud de la pendiente, el tipo de suelo, el tipo de vegetación, las condiciones climáticas locales, el ángulo de la pendiente, la orientación de la pendiente, los patrones de drenaje y la experiencia personal.

Pautas de los fabricantes

Debido a que muchos RECPs muestran suficiente resistencia a la tensión como para reducir la erosión en la superficie del suelo y promover el crecimiento de la vegetación en una variedad de pendientes de suelo estables, los fabricantes agrupan sus productos de acuerdo a ángulos de pendiente específicos y longitudes máximas de pendiente. La **Tabla 2** ilustra las recomendaciones generales de materiales para pendientes arenosas estables.

Tabla 2. Rango típico de pendientes de suelo arenoso en que se usan RECPs para protección de la superficie

Categoría	Tipo de Producto	Inclinación [H:V]
Degradable, con flujo de baja velocidad	ECM	hasta 3:1
	ECM	hasta 2:1
	ECB-red simple	hasta 1,5:1
Degradable, con flujo de alta velocidad	ECB-red doble	hasta 1,5:1
No degradable, de largo	TRM	hasta 0,5:1

plazo		
-------	--	--

ECN: erosion control net (red para el control de erosión)

ECM: erosion control mat (malla para el control de erosión)

ECB: erosion control blanket (manta para el control de erosión)

TRM: turf reinforcement mat (malla para el refuerzo de la vegetación)

Cálculos de diseño

Si bien la elección inicial de un RECP se basa en una combinación de factores de algún modo arbitrarios, la determinación de la pérdida anual de suelo en una pendiente alterada se puede predecir usando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Universal Soil Loss Equation- USLE). Al comparar el monto de erosión anual estimado en un talud sin vegetación, con el monto estimado del talud protegido con un RECP, se puede calcular la cantidad de erosión que se evitó, utilizando la siguiente ecuación:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Donde:

A= pérdida de suelo computada por unidad de superficie, por año, en toneladas métricas por hectárea (t/acre)

R = lluvia caída y residuo líquido

K = factor de erosión de suelo

L = factor de longitud de pendiente

S = factor de inclinación de la pendiente

C = factor de cobertura y gestión (condiciones protegidas y desprotegidas)

P = factor de práctica de sostén

Algunas de las pruebas de campo a escala real, y algunos de los estudios con simuladores de lluvia previamente descritos, han determinado el valor de factores C computados para taludes protegidos con RECPs. Aunque estos valores son únicos para las condiciones específicas y los productos probados, algunos fabricantes han aplicado los factores C a productos individuales. Este valor puede ayudar a describir el grado de protección que ofrece un RECP específico. Al calcular condiciones protegidas y no protegidas con un determinado RECP, se puede predecir la cantidad de suelo que se evitará perder.

Conclusiones

La proliferación de los productos en rollo para el control de la erosión complementa el creciente interés en reducir la escorrentía de agua superficial, de controlar la acumulación de sedimentos y de eliminar las pérdidas de suelo de los sitios en construcción. Los investigadores, los profesionales y los fabricantes avanzan al mismo ritmo que los diseñadores en el desarrollo de estándares de rendimiento y diseño de pautas para determinar la efectividad de los RECPs en la protección de pendientes, la rehabilitación de márgenes de cursos de agua y las aplicaciones en el revestimiento de canales. Con una comprensión minuciosa y la elección de la vegetación adecuada, estas pautas se pueden utilizar para elegir los productos de control de erosión más rentables y apropiados.

Los RECPs son técnicamente superiores a los revestimientos orgánicos de protección que se rocían y a las matrices de fibra aglomerada, y más económicos que los sistemas armados y rígidos. Ud. puede ponerse en contacto con los miembros del ECTC si necesita ayuda adicional para elegir el RECP apropiado en el caso de una situación especialmente difícil de control de erosión. La mayoría de los fabricantes pueden suministrar casos de estudio exhaustivos, información de pruebas de laboratorio y de campo, y software de diseño para facilitar su trabajo, ahorrar dinero a sus clientes y ayudar a preservar el ambiente. Esta es una propuesta conveniente desde todo punto de vista. Para mayor información, contactar a ECTC, PO.Box 9485, Moscow, Idaho, 83843.

Referencias

Ver lista en el original

Traducción a español del documento "ECTC Provides Guidelines for Rolled Erosion-Control Products". Deron Austin and Lynn Ward, Geotechnical Fabrics Report, January/February 1996" realizada por Ing. Laura Martínez Quijano, Oficina Técnica – Coripa S.A. Buenos Aires, Argentina.

El texto original en inglés puede encontrarse en http://www.ectc.org/source_docs/2005site/ectcguidelinesarticle.pdf