

## **GEOSINTETICOS PARA EL CONTROL DE EROSION Y SEDIMENTACION.**

Ing. Ernesto A. Parra P., Proambiental Ingeniería, Colombia.

Ing. Camilo Alarcón B., Proambiental Ingeniería, Colombia.

Biol. Marc S. Theisen, Synthetic Industries, Chattanooga, Tennessee, USA.

### **RESUMEN**

Hasta la fecha, la forma de resolver el problema del transporte de sedimentos, erosión, protección de suelos y revegetación, ha sido variada y en algunos casos infructuosa. La mayoría de las soluciones empleadas, están basadas en materiales orgánicos o de fibras naturales con presencias limitadas por la corta durabilidad de estos materiales. Por lo tanto se requieren propiedades específicas que deben satisfacer los materiales a utilizar, como también deberán exigirse diseños que evalúen los requerimientos mediante especificaciones que provengan de estudios claros, sencillos y que obedezcan al estado del arte. Así se permite la evolución del conocimiento a partir de la experiencia exitosa y debidamente documentada, bien sea local o foránea.

El uso de Geosintéticos permite satisfacer las necesidades requeridas para soluciones temporales o permanentes. Estos materiales para el control de la erosión y de sedimentos, han evolucionado y continúan su expansión a una gran velocidad. En la actualidad representan la espina dorsal de la industria para el control de estos fenómenos naturales, transformadores del paisaje, que en algunos casos son provocados por el hombre.

Los componentes geosintéticos son parte integral de los materiales usados y van desde productos temporales, como geofibras que desarrollan coberturas colocadas vía hidráulica, mallas y redes plásticas para el control de erosión, mantos para el control de erosión y barreras contra sedimentos; hasta productos permanentes como, mantos reforzados tridimensionales, sistemas de confinamiento geocelular, geotextiles, encofrados flexibles para enrocados artificiales y sistemas de bloques articulados de concreto prefabricado.

Este documento revisa los materiales descritos y como se pueden desarrollar diseños para su utilización, y responder a las necesidades establecidas, favoreciendo el conocimiento y forjando una ingeniería que responda a las necesidades de los variados ambientes, desde la alta cordillera con climas muy fríos, hasta las ardientes llanuras en la geografía de la cordillera de los Andes, sin olvidar dos de nuestros mas importantes recursos y muy castigados; El bosque alto andino y la selva pluvial tropical, especialmente el primero como pilar de nuestra riqueza del recurso hídrico superficial en Colombia.

### **INTRODUCCION**

Hoy hemos ingresado a una era donde la responsabilidad ambiental es un compromiso ineludible, comprendemos cada vez más que no existe lugar por remoto, que no esté influenciado por los cambios ambientales producidos o exacerbados por las actividades de carácter antrópico. Ahora, cuando comenzamos a entender este descalabro, que no solo nos amenaza sino que se hace extensiva a toda la vida sobre el planeta, nos encaminamos a la protección de nuestros recursos naturales. Esta protección no debe reñir con una correcta administración de entorno, debe favorecer al mejoramiento de la sociedad en todos sus aspectos, no solo para el beneficio directo del género humano, sino de todos los seres que conforman un espacio vital que lo hemos denominado: La biosfera.

Como resultado de evaluar los signos vitales de esta "Madre Tierra", donde toda modelación ambiental debe incluir aspectos como el efecto invernadero, la pérdida de la capa de ozono, el incremento de los niveles medios del mar, la deforestación, y como resultado la erosión acelerada, y la consecuente sobre carga de sedimentos en los cuerpos de agua, las especies en vías de extinción y por supuesto como aspecto esencial en ésta evaluación, el como asegurar la supervivencia humana con una adecuada calidad de vida.

Debemos entonces como en otros lugares del mundo, donde se ha pagado un alto costo por el deterioro ambiental, alentar a las comunidades a desarrollar sentimientos como el pensar globalmente y actuar localmente, o adoptar una posición en la que se considere que, siempre alguien vive río abajo, mediante el desarrollo de comunidades vigilantes a las fuentes de contaminación, observando y denunciando a las personas o actividades que aportan grandes cantidades de sedimentos en forma no natural si es el aporte de sedimentos lo que se está controlando por ejemplo, entonces se podrá dar inicio a tareas que luego pueden ser complementadas con observaciones vía satélite y demás recursos científicos, así como diagnósticos y formulaciones empíricas pero que no se llegue como ha sucedido en algunos casos que no pasan de ser elucubraciones del mas alto rigor científico pero que no plantean acciones concretas realizables. Dependerá de nuestra actitud, de la actitud de las comunidades, lograr la recuperación de una conciencia ambiental global, entendiendo al problema erosivo incontrolado y magnificado, como uno de los problemas críticos dentro de la administración global, ya que la sedimentación y transporte de suelos en forma incontrolada o no natural, uno de los factores que producen pobreza y desolación.

Como resultado de las investigaciones realizadas, el más prevalente de los agentes contaminantes presentes en los cursos y cuerpos de agua en el mundo, son los sedimentos. La cantidad de sedimentos presentes en nuestros ríos crece vertiginosamente. La tasa anual de erosión del globo, originada en los campos de cultivo se calcula en 27.500 millones de toneladas de suelos perdidos (Brown y Wolf, 1984). En los Estado Unidos, la erosión como problema ambiental está caracterizado por los siguientes segmentos: la agricultura, que aporta el 60% de la erosión total, las zonas urbanas y construcción de infraestructura contribuyen con un 15% aproximadamente, y las Industrias forestal y minera aportan hasta el 10% del total. Pero en los países en vías de desarrollo estas participaciones se modifican, adicionando dramáticamente los efectos derivados de la devastación incontrolada de las selvas y bosques a razón de Hectáreas de bosque por minuto.

Los costos de esta sedimentación y erosión, tanto económicos como sociales son enormes, incluyendo la pérdida de suelos cultivables y el esfuerzo para hacerlos productivos, la disminución de la producción de maderas, los aspectos relacionados con las pesquerías, diversidad de las especies, inundaciones, proyectos hidroeléctricos, canales y vías navegables. Estos costos, incluso pueden superar a los ocasionados por agentes contaminantes derivados de la industria. Lo que es peor aun, en la medida que nos acercuéis a las costas o se viaja corriente abajo; el problema se acrecienta cada vez más.

Recientemente en países desarrollados se han implantado leyes que tienden a combatir la excesiva erosión, leyes que se cumplen ya no como una imposición, sino por una convicción estricta de los ciudadanos de esos Estados. Estas leyes establecen responsabilidades y obligan a acciones inmediatas mediante la implementación de tecnologías que están basadas en geosintéticos en una amplia mayoría de casos, por su demostrada versatilidad, bien por su comportamiento a largo y corto plazo, o por su impacto en el costo del proyecto y que corresponden al desarrollo de una bioingeniería que hecha mano de los recursos mas eficientes para satisfacer la necesidad expresa en la ley: Controlar la erosión.

¿Entonces como podemos comprender el Control de Erosión?

Esta definición podrá enmarcarse en la siguiente idea: Controlar la erosión es frenar o restringir, no detener completamente, el movimiento de los suelos bien sea en forma súbita o lenta. Todos hemos visto ejemplos de estos movimientos, algunos extremos cuando las cárcavas y barrancos en las laderas arrastran los suelos, e inclusive cuando los ríos se convierten en turbiones de lodos y materiales que arrasados, van corriente abajo modificando intensamente el paisaje de estas riveras, sujetas a su vez a fuertes procesos erosivos, la erosión también ocurre lenta y calladamente en lugares planos o de pendiente suave. La pérdida del suelo es un proceso natural y continuo que se da en todos los ecosistemas, sin el que nuestro paisaje resultaría muy aburrido, negando el constante cambio del planeta. El objetivo de cualquier proyecto de control de erosión o revegetación deberá ser el de estabilizar los suelos y administrar la erosión de una manera económica, (Theisen, 1988).

En estos tiempos de presupuestos escasos, la toma de decisiones gira en torno a disminuir los costos para la recuperación del suelo. Para un lugar específico con taludes o pendientes definidas, clima, precipitación, perfil edafológico y por su puesto el uso y vocación de ese suelo; el diseñador, deberá seleccionar con confianza, las o la técnica que se ajuste a las expectativas de bajos costos pero igualmente que permita obtener resultados satisfactorios en cuanto a su desempeño como es la disminución del efecto erosivo. Desde los últimos 25 años la industria para el control de la erosión ha presentado un rápido crecimiento y alto grado de sofisticación. Cada día los materiales para el control de la erosión y sedimentos se multiplican vertiginosamente, la implementación de métodos de diseño y guías de instalación están llevando a estos productos a un estado de mayor sofisticación y aplicaciones mas baratas.

La industria del control de erosión ha evolucionado desde las sembradoras mecánicas de semillas, pasando por los sopladores para instalar paja y llegando a las máquinas modernas de hidrosiembra para lanzado de semillas o estolones, usando también viruta de madera, yute, revestimientos en concreto de canales, enrocados o rip- rap. Algunas de estas técnicas se iniciaron en los años sesenta y setenta, hoy en día, obedeciendo a un estado del conocimiento mayor desarrollado en muchos países, existe una tendencia a combinar las técnicas mencionadas, bien con nuevos materiales para elaborarlas o usando la sinergia de las mismas para obtener resultados más baratos y eficientes. Es fácil ver como cada mes por lo menos un nuevo producto asociado a su propia tecnología, es introducido para trabajar en la solución de diferentes problemas relacionados con el control de la erosión o sedimentación. Así inclusive, muchos productos desaparecen dando paso a otros por perfeccionamiento de estos o debido a precios más competitivos.

## **REVISION HISTORICA**

La ASTM definió a los geosintéticos como, materiales sintéticos que en contacto con el suelo, rocas, u otro material relacionado con la ingeniería geotécnica, hacen parte de una estructura o sistema. Los beneficios de estos geosintéticos son el refuerzo de suelos, estabilización de los mismos, incluyendo la separación, drenaje, filtración, impermeabilización y el control de la erosión. Estos materiales pueden adoptar nombres tales como, geotextiles, geomallas, georredes, geomembranas, geofibras, geocoberturas, geotubos, geocompuestos e inclusive "geoalgos" , nombre con el que cubren a los nuevos geosintéticos que se encuentran en proceso de desarrollo.

Muchos pueden percibir a los geosintéticos como un nuevo horizonte en los aspectos relacionados con el control de la erosión y sedimentos, pero aun así, estos materiales han estado presentes desde mas de 30 años en esta industria, particularmente como materiales prefabricados que se presentan como productos que se instalan a partir de desenrollarse sobre la superficie a proteger. En 1,958 un componente geosintético fue incorporado como elemento dentro de las estrategias para el control de erosión que cambió definitivamente la manera de proteger taludes, canales y terraplenes. Este textil plástico fue usado para reemplazar filtros granulares y prevenir que la arena fuera lavada detrás de

los revestimientos de bloques de concreto, usados para la protección costera (Hexápodos). (Richardson y Koerner, 1990). Se alcanzaron importantes ahorros cuando textiles con espesores desde 0.5 de milímetro aproximadamente, reemplazaron un metro de material granular, cautivando el interés del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Como resultado de las exitosas aplicaciones de estos textiles tejidos, se continuaron desarrollando protecciones costeras y dieron nacimiento a la industria de los geotextiles tal como se presenta actualmente. Miles de millones de metros cuadrados de geotextiles han sido usados en el mundo entero, como geotextiles tejidos o no tejidos y una parte de estos bajo sistemas rígidos de protección costera, considerándolos como un componente primordial en su construcción.

Un nuevo aporte significativo, fue iniciado hacia finales de los años sesentas, ya que hasta mediados de esta década solo un tipo de material se utilizaba como cobertura o manto para el control de la erosión, este material era el mismo que cubría los fardos de algodón que se fabricaban en el sur de Estados Unidos y desde tiempo atrás, y que se usaba para mantener el suelo en su lugar. Este material tejido estaba elaborado con Yute proveniente de Asia, básicamente era una tela tejida abierta que cuando se colocaba sobre el suelo desnudo, proveía cientos de pequeñas presas muy pandas que colaboraban en retener el suelo en esos espacios y así evitaban el movimiento de grandes volúmenes de suelo. Estos mantos de Yute, le permitían a la vegetación crecer y establecerse en taludes y en cunetas con flujos temporales e intermitentes de agua, mucho mejor que con las coberturas tradicionales que hasta la fecha habían evolucionado como mantillos de solo fibras sueltas.

Aun así el Yute presentaba algunas desventajas. Su estructura tan abierta, dejaba al descubierto un área considerable de suelo en estos espacios. El material orgánico con el que se elaboraban estos mantos tendía a contraerse e hincharse bajo cambios de su contenido de humedad y era extremadamente inflamable. Para mejorar sus resultados se podía colocar paja o fibras sueltas bajo estos mantos.

Así continuó el desarrollo de nuevos materiales, un primer intento utilizó viruta de madera de álamo para formar mantas que se podían enrollar, pero este nuevo material era muy denso y no permitía el desarrollo de la vegetación. En un nuevo desarrollo, se utilizó una fina malla de papel entorchado, colocado sobre una delgada capa de virutas de álamo. El desarrollo de la vegetación fue adecuado, pero el desempeño de la malla fue muy variable, rompiéndose antes de desarrollar una cobertura vegetal competente, o por acción del empuje del volumen foliar que crecía bajo ella. Así, se lavaba el suelo y nuevamente el proceso erosivo se reactivaba con más energía al concentrarse el agua. Por lo tanto era requerido un material menos sensible a la humedad, más fuerte y durable; Así fue como el Polipropileno fue introducido ya que cumplía con estas necesidades.

La combinación de una estopa de viruta de álamo junto con la red plástica, permitió el primer éxito en la aplicación de estos materiales "enrollables". Se ensayaron entonces diferentes patrones de virutas, aglomerantes, tipos de mallas, longitud de la viruta, etc., logrando productos que en esencia son parecidos a los que hoy en día vemos aplicados en algunos proyectos. El elemento esencial para un aceptable desempeño, indudablemente fue la red plástica del producto.

## **MATERIALES MODERNOS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN**

### **REDES ORIENTADAS BIAXIALMENTE**

Los procesos para obtener redes orientadas biaxialmente (Biaxially oriented process, BOP), incluyen normalmente polímeros como polipropileno o de polietileno. Las redes BOP, son muy versátiles y variadas en su composición, resistencias, tamaños de aberturas, colores y su resistencia a los rayos ultravioleta ajustada para diferentes condiciones y lugares. Como los materiales de los que están elaboradas estas BOP, no absorben humedad, no cambian de volumen como si les sucede a los

materiales elaborados a partir de papel Kraft o mantos de Yute, y otras fibras naturales. Estas redes BOP, se pueden adaptar para crear nuevos productos y mas complejos o pueden usarse para anclar o fijar la paja, virutas de madera o fibras que anteriormente se han colocado el lugar en donde se realiza la protección. Normalmente se fabrica en anchos de 3 a 4. 5 metros, con pesos muy bajos. A veces un solo rollo alcanza para cubrir hasta media Hectárea.

## **TEJIDOS PARA EL CONTROL DE EROSION**

Un avance sobre las redes, lo constituyen los geotextiles tejidos abiertos, que son elaborados a partir de polipropileno normalmente. Este tipo de geotextiles usan fibras entorchadas y son comparables en su desempeño a los mantos naturales para control de erosión. Son elementos fotodegradables, que a través de sus aberturas puede desarrollarse la masa foliar. Esta fotodegradación está dirigida o controlada y parte el material sufre esta acción y el resto continua trabajando como un refuerzo a la nueva cobertura vegetal, que se ve estimulada por las condiciones de microclima reinante bajo estos geotextiles especializados. Estos materiales con apariencia natural, protegen el suelo del agua y el viento. Normalmente hasta 3.80 metros de ancho y de peso muy liviano que pueden ser usados en canales con flujos pequeños y esporádicos, como también en taludes donde existe un suelo orgánico que proteger, desempeñando una función clave en el desarrollo de proyectos de bioingeniería. Incluso protegiendo mantillos que lanzados vía hidráulica (hidrosiembra), soportan semillas que han germinado anteriormente y se encuentran en proceso de enraizamiento de especies rastreras o de comportamiento decumbente, en condiciones topográficas que superen la capacidad que estos mantillos poseen para asumir esfuerzos producidos por la escorrentía.

## **MANTOS PARA EL CONTROL DE EROSION, ( Erosion Control Blankets, ECB )**

Las redes "BOP " y geotextiles tejidos abiertos de diferentes características pueden ser colocados en uno o dos lados de mantos tridimensionales o estopas para el control de la erosión, los que son cuidadosamente calibrados y elaborados, para anticipar las condiciones de trabajo en donde serán instalados. Normalmente tienen entre 1 y 2 metros de ancho. La fibra biodegradable usada, puede ser de paja, viruta de madera, fibras de coco, fibras de fique o cabuya, polipropileno o mezclas de las anteriores. Las mallas o tejidos pueden ser resistentes a los rayos ultravioleta o no, modificando inclusive la velocidad de fotodegradación en forma acelerada. También poseen diferentes colores dependiendo de un determinado efecto visual durante la restauración de la capa vegetal. De igual forma, la variada manera de asegurar el material entre las mallas, incluyen agujeteados con hilos de algodón, polipropileno, y otras poliolefinas, hasta los unidos por adhesivos, siendo estos los menos eficientes para condiciones severas.

Los campos de aplicación de estos mantos incluyen la protección de taludes y en canales con flujos intermitentes moderados a medios de agua constante, llegando a soportar en promedio caudales hasta 3 m<sup>3</sup>/s. Algunos de estos materiales, obedecen a los más altos niveles de refinamiento en la industria textil y relacionada con los plásticos, con textiles elaborados con monofilamentos que producen estructuras tridimensionales llegando a resistir caudales de hasta 7 m<sup>3</sup>/seg. Durante un tiempo prolongado, reemplazando así bajo ciertas condiciones los revestimientos en concreto que son ampliamente utilizados en nuestro medio y que ya están siendo desplazados intensamente en otras partes del mundo.

Finalmente y como un aspecto ambiental importante, la fotodegradabilidad de alguno de estos elementos, los convierte en biodegradables. Como el proceso de la degradación es constante, las cadenas poliméricas se parten en fracciones cada vez mas pequeñas, formando una arena de origen plástico, incorporándose a la estructura de suelo natural. Muchos de estos pequeñísimos trozos comienzan a ser atacados por los micro organismos presentes en el suelo y por su estructura molecular basada en carbono e hidrogeno son convertidos en dióxido de carbono y agua por la

acción de estos microorganismos. (Guillet, 1974). Muchas veces los sentimientos mundiales hacia los plásticos, recaen como estigmas recaen sobre los polímeros, inclusive sobre los que por su composición pueden transformarse bajo el proceso aquí descrito. Estos prejuicios nos hacen inclusive rechazar estos materiales o cuestionarlos y utilizar soluciones más costosas, con un mayor impacto ambiental, bien sea por el uso de fibras exóticas con poca documentación técnica, que normalmente conllevan un alto costo o de bajos valores de las propiedades índice mecánicas, o revestimientos rígidos elaborados a partir de concretos hidráulicos o productos asfálticos.

## **TEMPORALES Vs. PERMANENTES, " TERMS Vs. PERMS "**

Es importante diferenciar los materiales usados para el control de erosión y sedimentos en virtud de su permanencia como elementos activos que desempeñan una función específica, dividiéndolos entonces en elementos de tipo permanente o temporal. En algunos casos una cobertura vegetal será competente y podrá proveer una protección de tipo permanente que es el caso natural y que además está presente en casi todos los ecosistemas de la Tierra. Pero para que esta masa vegetal se desarrolle y prospere, es necesario implementar técnicas, con materiales de naturaleza temporal que permitan el adecuado desarrollo y establecimiento de una cobertura vegetal, para luego desaparecer por su propia degradación. De su nombre en inglés se deriva el nombre "TERM " Temporary Erosion and Revegetation Materials.

Los TERM o materiales temporales, están elaborados con productos naturales degradables o componentes sintéticos, o de la unión de estos dos. Ofrecen un control de erosión temporal y ayudan al desarrollo de la masa vegetal. Bajo solo algunos casos, los materiales TERM son completamente orgánicos, es importante recordar que los componentes geosintéticos como adhesivos, costuras y tejidos juegan un papel crucial. Estos materiales permiten que la vegetación se enfrente con resistencias bajas a medias al flujo del agua que produciría la erosión y el movimiento de sedimentos.

La siguiente lista incluye varias técnicas temporales o materiales TERMS.

- \* Paja, heno
- \* Adhesivos o estabilizadores de suelos
- \* fibras lanzadas bajo un sistema de hidrosiembra
- \* Virutas o redes para el control de erosión ( ECMN )
- \* Mantos para el control de erosión ( ECB )
- \* Sistemas de fibras lanzadas ( FRS )

Cuando las condiciones del lugar requieren un mejor desempeño del que la vegetación por si misma puede ofrecer y al necesitar un mayor resistencia al corte por la acción de las aguas en flujos intermitentes o constantes, entonces serán necesarios materiales que no solamente favorezcan el desarrollo de la vegetación o controlen la erosión por corto periodo de tiempo, sino que se mantengan y formen parte de la solución a largo plazo o indefinido reforzando permanentemente la cobertura vegetal . Estos materiales reciben el nombre de PERMS, o materiales permanentes para revegetación o control de la erosión.

Los materiales PERMS o permanentes se pueden subdividir en; compuestos Biotécnicos cuando refuerzan la vegetación, o recubrimientos rígidos cuando se usan materiales no vegetales.

Los compuestos biotécnicos están elaborados con materiales no degradables que desarrollan una protección temporal, posteriormente estimulan el crecimiento vegetal y finalmente interaccionan con las plantas establecidas para desarrollar en conjunto un manto reforzado, que presenta un mejor comportamiento del que la vegetación por si misma posee. Este refuerzo ofrece una cobertura con resistencias a flujos medios y altos. Como interrelación directa, la cobertura vegetal provee simultáneamente un sombrío que protege los materiales sensibles, como también el suelo fijado y

asegurado dentro de estos materiales geosintéticos.

Algunos de los materiales denominados compuestos biotecnológicos, se listan a continuación:

- \* Fibras lanzadas estabilizadas a los rayos Ultravioleta (FRS).
- \* Mantos reforzados para el control de erosión (ECRM).
- \* Mantos tridimensionales reforzados (TRM).
- \* Geofibras para coberturas de suelos y campos gramados.
- \* Sistemas con geoceldas revegetadas. (GCS).
- \* Bloques de concreto revegetados o con posibilidad para albergar vegetación.

Los sistemas rígidos pueden emplearse cuando las condiciones del flujo se dan bajo condiciones de alto caudal y los efectos, como el esfuerzo de corte ejercido sobre la superficie, sobrepasa la resistencia que puede ofrecer el sistema de vegetación reforzada. Algunos de estos materiales rígidos se listan, teniendo en cuenta que se usan en sectores donde se presentan flujos muy grandes o ataques severos de olas.

- \* Revestimientos de morteros vaciados en geoceldas (GCS).
- \* Revestimientos fundidos In Situ.
- \* Bloques de concreto (CBS), prefabricados o fundidos In Situ.
- \* Gaviones.
- \* Rip - Rap.
- \* Geocontenedores
- \* Compuestos híbridos.

### **SISTEMAS DE FIBRAS O CINTAS LANZADAS, (FSR).**

Este es otro concepto para control de erosión y sedimentación para requerimientos medios de protección. Esta estrategia fue desarrollada durante los años sesenta, estas fibras son aplicadas como un filamento continuo para la protección de cunetas y taludes.

Las FSR de polipropileno están formados por cintas continuas fibriladas en patrones especiales, enrolladas en conos de tal forma que luego puedan ser desenrolladas con facilidad. Básicamente podemos asimilar estos materiales como serpentinas, que para ser instalados requieren de una corriente fuerte de viento que permita impulsarlas para poder ser colocadas o proyectadas al suelo que se desea proteger. En alguna época se usó fibra de vidrio, pero por su potencial carcinogénico, fue reemplazado por productos más amigables bajo el punto de vista ambiental y para esto el polipropileno cumplió con todas las necesidades.

Esta técnica es única por su flexibilidad de aplicación, puede cubrir cualquier ancho o cualquier longitud e inclusive el espesor es controlable a voluntad (Agnew, 1991). Todos los materiales o productos enrollables, tienen anchos, espesores y largos determinados por su proceso de fabricación. Estos sistemas de fibras o cintas lanzadas, son concebidas como productos para elaborar In - Situ, con una reducida mano de obra y materiales, en comparación con otros mantos para el control de erosión, además que no presentan traslajos o desperdicios.

La cinta es aplicada con una pistola o cañón neumático, usando aire comprimido, sobre la superficie de suelo debidamente preparada con semillas, o estolones. Luego de colocar la cinta, se liga mediante la aspersión de una emulsión asfáltica u otro material sintético o natural que proporcione una correcta adhesión. Este sistema de cintas de polipropileno pueden ser usadas como sistemas temporales "TERMS", o pueden ser de carácter permanente "PERMS", cuando en las cintas se adicionan protectores contra los daños provocados por los rayos ultravioleta. Mas aun, se puede manejar color, cuando por razones de paisajismo se requiera dar una apariencia determinada.

El uso de estas técnicas han sido bien aceptadas y además crecen con rapidez las cantidades de estos productos para ser utilizados en autopistas, estabilidad de taludes, minas a cielo abierto, rellenos sanitarios, etc.. Cada vez mas son mas atractivas estas alternativas por su adecuada relación costo - beneficio como material no desenrolladle.

### **COBERTURAS TRIDIMENSIONALES REFORZADAS (ECRM) Vs. MANTOS (TRM)**

Las coberturas tridimensionales reforzadas son materiales que mejoran o incrementan la habilidad natural de las plantas para proteger el suelo de la erosión a través del uso de materiales geosintéticos. Esta matriz tridimensional, retiene el suelo y las semillas, estimulando la germinación de estas, acelerando el desarrollo de la cobertura vegetal, proporcionando un refuerzo a las raíces y tallos. Estos materiales bajo condiciones de laboratorio, han llegado a soportar adecuadamente, velocidades de flujos de hasta más de 4 m/s. y con duración del flujo de mas de 2 días. Ofreciendo así el doble de resistencia que lo que la vegetación no reforzada pude soportar generalmente, (Caroll, Rodencal, Theisen, 1991). Como resultado de su buen desempeño estas coberturas tridimensionales, han reemplazado alternativas como concreto, enrocados y otros sistemas de recubrimientos rígidos para; canales, zanjas de drenaje y taludes inclinados entre otros.

Estas coberturas o mantos geosintéticos de carácter permanente, denominados TRM, están construidas a partir de materiales sintéticos muy durables, estabilizados a los rayos ultravioleta e inertes ante agentes químicos que normalmente se encuentran en condiciones naturales en los suelos. Estos mantos están constituidos por una viruta esponjosa, que se han unido mecánicamente o mediante adhesivos, a los que se les se une a una o dos mallas en su superficie y les confieren una consistencia resistente, permitiéndoles desarrollar en forma adecuada el refuerzo solicitado por la cobertura vegetal, desarrollado por un esfuerzo de corte producido sobre la superficie de las paredes y fondo del canales o zanjas de drenaje. Estos materiales geosintéticos pueden usar Polipropileno, Polietileno, Nylon, o PVC flexible, como materia prima.

Los mantos geosintéticos pueden agruparse en dos grandes subgrupos, inicialmente los TRM que poseen una alta resistencia a la tensión, poseen o desarrollan un espesor o volumen de vacíos suficiente para que el suelo pueda ser alojado y retenido para favorecer así desarrollo de la vegetación dentro del manto. Mientras que un segundo grupo denominados ECRM por su nombre en ingles, Erosion Control Reinforced Mat , son materiales de un perfil o espesor mucho menor que los anteriores, que se instalan una vez colocadas las semillas, o lanzados los estolones en un suelo existente, así estos ECRM protegen el suelo o sustrato preparado de la erosión eólica o pluvial. Debido a la naturaleza de la forma de instalarse y la manera de cómo se desempeñan, los TRM proveen un excelente desempeño a largo plazo con respecto a los ECRM, aun así a corto plazo, algunos de estos últimos al ser mas densos proveen una mayor protección.

Los mantos geosintéticos ocupan uno de los nichos de mercado de mayor crecimiento dentro de la industria del control de la erosión y sedimentación.

### **SISTEMAS DE CONFINAMIENTO GEOCELULAR**

La forma como este geosintético trabaja , se debe a la forma como esta construido a partir de celdas tridimensionales que unidas entre si dan la apariencia de un panal. La altura de estas celdas son de 20 cms. aproximadamente, estas celdas se rellenan con gravas, arena o inclusive concreto, dependiendo de su aplicación. Cuando se desea revegetar, el suelo que se aloja en cada celda es fertilizado y se adicionan semillas. El suelo no puede escapar y luego podrá cubrirse con mantos que usan técnicas temporales o permanentes. Así como se puede requerir una cobertura de la superficie expuesta de suelo, la vegetación no se puede desarrollar con un volumen radicular extenso, porque las paredes de cada celda impiden el crecimiento.

Los sistemas de geoceldas tienen un límite en la velocidad del agua a pasar sobre ella de 2 a 3 m/seg., a mayores velocidades tiende a lavarse el material o inclusive bajo condiciones de mayor esfuerzo cortante en la superficie del revestimiento, (Chen y Anderson, 1986).

Cuando los esfuerzos son importantes, entonces las celdas se pueden rellenar con mortero o concreto, así no se verá afectado por las fuerzas de corte y altas velocidades del agua. Para evitar problemas en la fundación del sistema, usualmente se coloca un geotextil que cumpla adecuadamente su función de filtro.

### **BLOQUES PREFABRICADOS EN CONCRETO, (CBS).**

Este sistema consiste en paneles, bloques o mampuestos, de varias geometrías que pueden ser vinculados entre sí por cordeles o cables elaborados a partir de materiales sintéticos como Kevlar, o incluso utilizar metal. Estos son colocados sobre geotextiles usados filtrar que normalmente son del tipo tejido monofilamento, también podrán trabajar simultáneamente como elementos de refuerzo en la fundación del sistema para la protección contra la erosión. Esto si las condiciones del suelo de la fundación lo requieren. Estos bloques de concreto pueden ser divididos en dos grupos: bloques unidos por articulaciones o entramamientos, mediante geometrías definidas y bloques unidos por cables, (Hewlitt, Boorman y Bramley, 1987).

La forma de instalación de estos materiales, puede ser en manera manual ( solo para bloques articulados o trabados), o mecánicamente mediante el uso de grúas que permiten colocar segmentos completamente armados inclusive desde un planta de armado y transportados así hasta el lugar de la obra. Una vez que esté preparada la superficie, se instala un geotextil que cumpla una función de filtración. Estos sistemas articulados o "amarrados", ofrecen fácil acceso vehicular a los canales o playas revestidas de esta forma, favoreciendo el flujo dentro del canal y permitiendo el crecimiento de la vegetación vacíos que se producen entre los bloques. (Koutsourais y Sprague, 1992).

### **REVESTIMIENTOS FUNDIDOS IN SITU, "Bolsacretos y Colchacretos"**

Estos revestimientos pueden verse como grandes bolsas rellenas de concreto que pueden llegar a contener entre 1 y 2 metros cúbicos, normalmente se elaboran a partir de geotextiles tejidos de cinta plana, que permiten ser llenadas bien sea con morteros o concretos, adquiriendo el nombre de BOLSACRETOS y desarrollan un rip - rap artificial.

También puede elaborarse como una formaleta o encofrado plano de pocos centímetros de espesor, para lograr esto se cosen en fábrica dos capas de geotextiles (generalmente tejidos multifilamento), para luego inyectar el mortero o concreto en el lugar de su emplazamiento final. Las dos capas de geotextiles que se han unido en algunos lugares, permitirán el paso del agua aliviando la presión que se pueda generar por alguno de los lados del revestimiento, formando así un encofrado de forma planar, que hemos denominado localmente COLCHACRETRO. Esta formaleta flexible, permite su acomodamiento a las irregularidades del terreno antes de que fragüe el material cementado usualmente con cemento Portland, que usualmente es colocado mediante bombas. Para el caso de los BOLSACRETOS, una vez sufre un proceso de fotodegradación, dejará expuesto el material debidamente endurecido para soportar los efectos de flujos constantes o intermitentes, pero de gran intensidad y con el arrastre de grandes bloques soportando el impacto producido por estos objetos transportados por la corriente. Estos productos de carácter temporal han tenido un gran interés y su demanda crece constantemente.

Cuando se usan los COLCHACRETOS, el revestimiento textil forma parte integral de la estructura lograda y su carácter es permanente, eso quiere decir que siempre el textil forma parte integral de la solución. Por esta razón los materiales con los que se elaboran son de alta resistencia y deben soportar adecuadamente los efectos de producidos por los agentes intempéricos y la acción de luz solar directa.

Estas formaletas o encofrados flexibles, han sido ampliamente utilizados para la protección de playas, costas y en planes de contingencia en inundaciones y otras catástrofes provocadas por el incremento de los niveles de ríos y mares. Se puede mencionar que el uso de pequeñas bolsas es posible pero su uso es limitado y sus resultados son muy cuestionados, especialmente si se rellenan con mezclas de suelo cemento, ya que no se puede hacer un control de calidad en el llenado, no se asegura una homogenización de la mezcla, como tampoco su correcta humectación. Funcionando por un tiempo, pero luego su contenido se derrama una vez que el material se fotodegrade.

Bajo todas estas estructuras se debe colocar para optimizar el desempeño, un geotextil que funcione como filtro y prevenga de la erosión bajo la estructura.

La metodología para la colocación de estos materiales es la siguiente:

1. Preparación del lugar.
2. Colocación del geotextil para filtración, Colocación del panel o formaleta / armado In Situ.
3. Bombeo del mortero, mortero u hormigón.
4. Inspección de juntas, cremalleras o costuras.

### **ENROCADOS (Rip - Rap)**

El enrocado consiste en rocas que varían en tamaño y colocadas sobre una capa de filtro, el que puede ser un geotextil, el que nuevamente deberá ser del tipo no tejido o tejido monofilamento dependiendo de las condiciones de insolación y trabajo. Estas condiciones deben ser claramente establecidas por el diseñador para a su vez realizar la selección correcta de las propiedades tanto mecánicas como hidráulicas.

Cuando se usa como filtro una capa de material granular, se debe trabajar muy bien el talud a proteger para evitar la presencia de vacíos. El uso de Rip-Rap ofrece una protección fuerte, densa, durable en su superficie. Igualmente muy resistente al ataque del agua y al intemperismo cuando se selecciona adecuadamente según su composición mineralógica.

### **GAVIONES**

Los gaviones son contenedores rectangulares elaborados con mallas eslabonadas en forma hexagonal para ser rellenas con piedras de mano. Estos contenedores se hacen bajo un proceso industrial, en el que se puede adicionar un revestimiento de PVC o de otro material plástico para proteger el metal de los ambientes corrosivos o durante la elaboración del alambre se puede recurrir a aleaciones que poseen características mas resistentes a la oxidación que algunos de los recubrimientos galvánicos tradicionalmente usados. De igual forma pueden tener diafragmas y tensores para aumentar su resistencia y mantener la forma durante el proceso de llenado o cuando soportan las cargas para las cuales fueron diseñadas las estructuras.

Las ventajas del gavión incluyen su flexibilidad, duración, permeabilidad y economía según sea el lugar del proyecto frente a estructuras rígidas. El desarrollo de plantas puede ser beneficiado en la medida que el gavión favorezca el deposito de sedimentos en los vacíos del gavión. Un alto porcentaje de gaviones posee en su contacto con el suelo, un geotextil que sirve como elemento filtrante, excepto los Tejido de cintas planas. Las funciones principales de estos geotextiles son las de servir como elemento de filtro y permitir así reducir las presiones hidrostáticas, evitar el lavado de finos por movimientos del agua, evitando simultáneamente el lavado de los suelos.

## RENDIMIENTO DE LOS MATERIALES PARA EL CONTROL DE LA EROSION

Muchos ensayos se han llevado a cabo y muchos mas se han propuesto para cuantificar el rendimiento o desempeño de los materiales para el control de la erosión y sedimentación, El objetivo "inicial" de estos productos, es el de proveer una protección temporal al suelo antes y durante la colocación de las semillas o estolones. El rendimiento de estos materiales es medido como la reducción de la pérdida de suelo cuando se presente un flujo de agua o bajo la acción de la precipitación directa. La protección temporal es importante, pero el resultado esperado a largo plazo de cualquier proyecto que involucre mantos para el control de erosión, es ofrecer esta protección mediante el desarrollo de la vegetación en conjunto o no con el sistema radicular de las plantas que representan el refuerzo bien del suelo o el anclaje de la protección. En la medida que se desarrolle mas rápidamente una cobertura vegetal, mas rápidamente se reduce la pérdida de suelo, pero si esta cobertura vegetal es reforzada mas allá de lo que el anclaje ofrecido por el sistema radicular pueda ofrecer, entonces se podrá obtener un mayor factor de seguridad por la acción del geosintético que ancla e incrementa la resistencia de la cobertura obtenida.

Tal vez el parámetro más importante bajo el punto de vista de diseño de ingeniería, es la resistencia al efecto del flujo, durante y después de haber logrado que la vegetación se establezca. Algunos materiales para el control de erosión, pueden ser arrastrados antes que la vegetación se establezca, mientras que otros perduran luego de haberse logrado el crecimiento del volumen vegetal. Los materiales de tipo temporal, pueden incluso mostrar excelentes características hasta cuando se fotodegraden y se pierda su efectividad completamente. Los diseñadores deben tener en cuenta los puntos anteriores, para poder así establecer la resistencia a mediano y largo plazo al efecto de la corriente cuando se diseñen taludes y canales de drenaje.

$$V = .49R^{2/3}S^{1/2} \frac{1}{n}$$

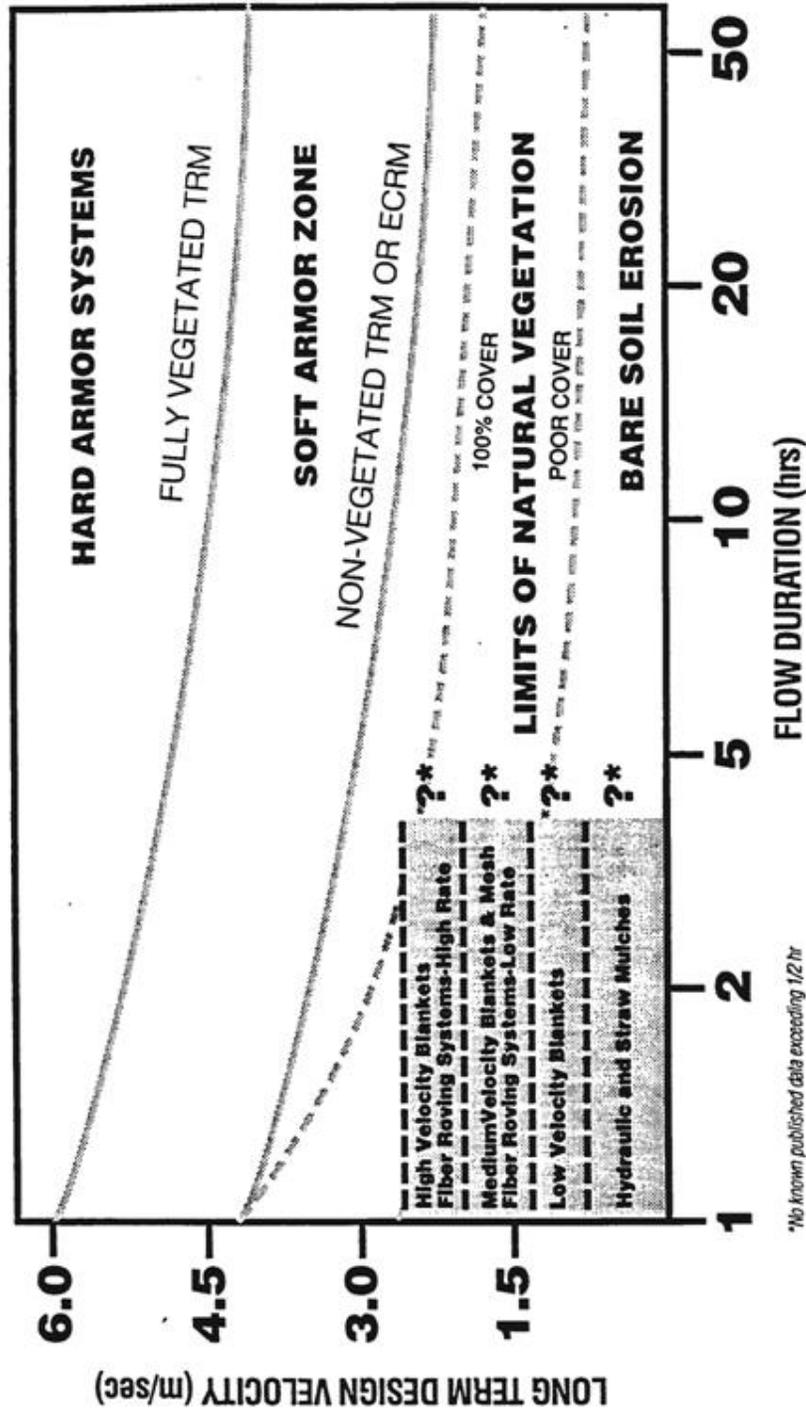
Se pueden establecer dos conceptos básicos de diseño para evaluar y definir la configuración de un canal dentro de los límites de estabilidad de la obra. Estos métodos definen bien una velocidad admisible, o una fuerza de corte tolerable según el recubrimiento o elemento que estará en contacto con el flujo. Bajo el punto de vista de la velocidad admisible, se entiende que la geometría del canal es estable, a una velocidad máxima que corresponde a la velocidad planteada como de diseño. Si el análisis se hace desde la otra aproximación, es decir mediante el cálculo de una fuerza de corte en la superficie del fondo y paredes del canal, todo el cálculo entonces se centra en estimar este valor y de como se distribuirá sobre los bordes que conforman el revestimiento tanto de paredes como del fondo del canal, (Chen y Cotton, 1988).

La aproximación al cálculo de los parámetros geométricos del canal mediante la estimación de una velocidad límite, se establece mediante la ecuación de Darcy, donde para una profundidad del flujo D, la velocidad promedio se puede calcular como:

- Donde: V = velocidad promedio.  
n= Coeficiente de rugosidad de Manning.  
R = radio hidráulico (Área/ perímetro mojado).  
S = pendiente del fondo del canal.

La otra aproximación mencionada es mediante la fuerza de corte que puede ser puede ser estimada si se usa un análisis simplificado del esfuerzo de corte sobre fondo y paredes de un canal:

# LONG TERM PERFORMANCE GUIDELINES



??????DS

Donde: ??= Fuerza de corte.

??= Peso unitario del agua.

D = Máxima profundidad del flujo.

S = Pendiente del fondo del canal.

Fig. 1

Los criterios de diseño basados en la velocidad del flujo pueden estar limitados por una velocidad que varía con la longitud del canal (L), la forma (R) y de la rugosidad (n). Realmente es una fuerza desarrollada por el flujo y no por la velocidad del flujo en sí misma, ésta fuerza es la que el geosintético debe absorber como elemento de refuerzo. El flujo del agua crea unas fuerzas de cizalladura sobre la superficie del terreno donde se mueve, desarrollando así un corte, el que se puede estimar como un parámetro de diseño independiente de la forma y rugosidad del canal. Mas aún, los altos esfuerzos producidos por cambios en el alineamiento del canal u otro tipo de cambios en la geometría, pueden ser cuantificados por el simple cálculo de la fuerza de corte provocada por el flujo, ofreciendo así un mayor factor de seguridad y precisión en el diseño, que de otra forma sería imposible alcanzar, (Chen y Cotton, 1988).

El cálculo del esfuerzo al corte crítico es una variable inmejorable por ahora, para ser usada con las ecuaciones de cálculo para determinar las velocidades máximas o admisibles y definir los recubrimientos de los canales. La ecuación de Manning sigue siendo básica como herramienta de diseño e investigación, pero como se puede establecer de la práctica diaria, se prefiere usar un criterio simplificado como lo es el máximo esfuerzo de corte, para completar y asegurar el correcto diseño del revestimiento contra la erosión en un canal. (Theisen, 1992). La figura 1 presenta el resumen de investigaciones anteriores para diferentes materiales o productos usados para el revestimiento de canales y controlar la erosión producida dentro de estos canales.

En la figura 1 se presentan las máximas velocidades admisibles según diferentes estrategias de revegetación, y si estas presentan o no capas vegetales ya establecidas o no. Por lo tanto el diseñador podrá contar con una guía de diseño para hacer su aproximación al diseño y especialmente del comportamiento desde cuando el material se instala hasta cuando se encuentra completamente revegetado. El lector deberá ser cauteloso, ya que la velocidad y la fuerza de corte no son directamente proporcionales. Bajo ciertas condiciones una disminución en la velocidad puede incrementar la altura del tirante de flujo y por ende aumentar la fuerza de corte, tal como se ha definido anteriormente.

## **DURACION DEL FLUJO**

Un elemento con alto grado de importancia dentro de la selección de un material para el control de la erosión, es la duración del flujo. Muchos valores de resistencia debidos a un flujo por encima de una hora, pocas veces es tenido en cuenta. El proceso erosivo no es desarrollado en forma instantánea, por lo tanto toda consideración deberá incluir como será el comportamiento a duraciones mayores a una hora del flujo. La mayoría de los fabricantes de productos tanto orgánicos como sintéticos, no tienen en cuenta estos valores y los diseñadores toman estos valores. Normalmente los efectos de caudales medios durante tiempos prolongados, provocan efectos devastadores con respecto a flujos altos pero de corta duración. Irónicamente, casi todos los diseñadores no consideran la duración del flujo cuando están evaluando y seleccionando las medidas de control de la erosión. (Theisen y Carroll, 1990). Los mayores eventos de precipitación pluvial, producen caudales con valores significativos, con duraciones de horas y hasta días, mas no de minutos.

Se debe seleccionar en canales revestidos con vegetación un tiempo de diseño estimado para un evento con dos días de duración del flujo, los eventos de velocidades altas típicamente no sobrepasan los dos días, para luego sobrevenir el drenaje del subsuelo y la recuperación del recubrimiento vegetal, (Hewlett, Boorman y Bramley, 1982).

Los valores correspondientes a los productos para el control de la erosión como mantos, matrices y fibras se encuentran en un "área gris", ya que no se han reportado los resultados de pruebas con flujos de larga duración. El desempeño de estos materiales a largo plazo puede aumentar o disminuir a medida que crece la vegetación. El desempeño a corto plazo de superficies completamente vegetadas es sorprendente a velocidades cercanas a los cuatro metros por segundo. Sin embargo, a medida que aumenta la duración del flujo, el desempeño del material disminuye hasta 2 metros por

segundo si hay una cobertura del 100% por vegetación y sólo resiste un metro por segundo si tiene la cobertura vegetal es pobre.

La zona correspondiente a los revestimientos flexibles empieza justo por encima del límite de la vegetación natural. Los datos para el desempeño de mantos reforzados van desde los TRM's y ECRM's no vegetados (son más resistentes que la vegetación natural) hasta la curva superior que delimita las velocidades máximas recomendadas para el diseño. Estos últimos datos se obtuvieron a partir de pruebas de TRM's vegetados en campo y en laboratorio (Carroll, Rodencal y Theisen, 1991, Hewlett, Boorman y Bramley, 1987, Theisen y Carroll, 1990, Western Canada Hydraulic Laboratories, 1979, Hoffmany Adamsky, 1982, Theisen, 1992). Al estar completamente vegetados, los mantos geosintéticos pueden soportar flujos de corta duración (1/2 horas) con velocidades de hasta 6 m/s y flujos mayores a 4 m/s con duraciones de hasta dos días.

La parte superior de la gráfica está compuesta por las características de los materiales utilizados en revestimientos rígidos. La gráfica no pretende establecer los límites de desempeño para estos materiales, sino definir el límite superior para los materiales flexibles (vegetación reforzada). El desempeño de los materiales rígidos es mucho mayor y se sale del alcance de este artículo.

## **CONTROL DE SEDIMENTOS**

De la mano de un plan contra la erosión, es necesario y especialmente en las zonas tropicales del planeta, por su sensibilidad ambiental y necesidad global, implementar planes y actividades para reducir y atrapar los sedimentos, que una vez desarrollado el efecto erosivo, podemos controlar al retener o minimizar el volumen de sedimentos en las corrientes de agua, que generalmente son mas eficientes y baratos estos planes si se realizan en corrientes intermitentes o pequeños cauces constantes. Las actividades para el control de la erosión corresponden a la primera línea de ataque, dentro de una estrategia ambiental, pero como grueso frente para enfrentar al sedimento, son todas las actividades y construcciones que para tal efecto de desarrollen. Hay algo que no se puede perder de vista, que la vegetación es el mejor producto contra el acarreo de sedimentos.

Las barreras geosintéticas contra sedimentos se han convertido en un practica generalizada dentro de los estados Unidos de Norteamérica, reemplazando la paja , pacas o fardos de heno, empalizadas y pequeñas presa de enrocados para la retención de sedimentos. Estas barreras contra sedimentos generalmente colocadas al inicio de la construcción, usualmente están elaboradas a partir de geotextiles tejidos de cinta plana especializados y montados en postes bajos, algunos ya prefabricados y listos para instalarse.

Un buen diseño de estas barreras, debe contemplar la retención inicial de partículas con diámetros correspondientes a las arenas y limos del suelo que se desplazan con la escorrentía superficial. Así se podrá favorecer el desarrollo de un filtro natural con el suelo retenido y entonces el flujo se disminuye a través de la barrera. Esto permite la creación de una poza, aguas arriba de la barrera, que sirve de cuenco sedimentador y retener el suelo suspendido en el flujo y rebajando la turbidez provocada por los limos. Para satisfacer estos requerimientos, el tamaño de las aberturas del geotextil, deberán ser previamente calculadas para permitir el desarrollo del filtro natural de suelo y la capacidad de almacenamiento de la barrera durante el evento pluvial de diseño, para albergar el agua y el sedimento atrapado, sin que llegue al riesgo de rotura bien sea por tensión o deformación de la barrera, (Richardson y Koerner, 1990).

Las estructuras de control porosas, representan una de las últimas innovaciones que los geosintéticos ofrecen para el control de los sedimentos. Volúmenes tridimensionales moldeables de fibras de polipropileno ensortijadas y unidas entre sí por mallas o redes, pueden ser colocadas en barrancos o depresiones para ofrecer un control contra sedimentos de tipo pasivo. Colocados manualmente y con dimensiones determinadas por el diseñador o por el instalados en pequeñas corrientes a manera de cortacorrientes, reconstrucción de barrancas, trampas de sedimentos o

bermas de perímetro. Estas presas de sedimentos prefabricadas son fáciles de instalar durante nuevas construcciones, canteras a cielo abierto, e inclusive dentro de planes ambientales regionales para ser utilizadas por las comunidades en campos de siembra arables que por su pendiente contribuyan al porte de sedimentos de lagos, ríos y quebradas. Algunas de las técnicas usadas en control de erosión son las siguientes:

- \* Vegetación.
- \* Paja o fardos de Heno.
- \* Capas de ramas y troncos.
- \* Barreras contra sedimentos
- \* Estructuras porosas para control de sedimentos (PSCS)
- \* Presas de enrocados
- \* Trampas para sedimentos, piscinas o cuencas de retención.

Los Materiales geosintéticos representan la mas avanzada técnica contra los problemas ocasionados por la erosión o sedimentos, que los ingenieros encargados del control y protección ambiental puedan encontrar. La necesidad de legislar, no solo manifestando la necesidad de la protección del entorno, sino describir lo que debe colocarse como mínimo, describir la función, obligar a que a través de universidades e institutos donde se forman ingenieros y demás profesionales que serán administradores ambientales, o que por sus actividades tengan que ver con estos aspectos; a conocer procedimientos de diseño que representen el estado del arte y que además tengan muy claro el dinámico cambio que estas tecnologías poseen. Se necesita acometer con prontitud, una revisión de las estrategias para minimizar los efectos de estos desordenes ambientales que atentan contra la integridad del ser humano y la vida en general. En nuestros países del tercer mundo, donde los fenómenos erosivos cobran una fuerte cuota a la economía, debemos acceder a estas técnicas que han demostrado ser muy eficientes y que sobrepasan, lo que en algunas ocasiones de manera artesanal y con el deseo muchas veces de descubrir lo que otros con mayores recursos han encontrado, pero con buenos resultados en la tarea del control de erosión y de la sedimentación.

### **Importancia de los Materiales Geosintéticos**

A pesar de que es difícil establecer las cantidades exactas, las ventas y servicios de productos para el control de la erosión se estiman en US \$ 500 - US \$ 750 millones al año (Northcutt, 1992). La Asociación Internacional de Tejidos Industriales (Industrial Fabrics Association International, IFAI) estima que durante 1992 los materiales "orgánicos" para el control de la erosión (incluyendo mantos, matrices, adhesivos y emulsiones) tendrán una participación del 55% al 65% en la industria de productos para el control de la erosión. Los mantos sintéticos componen el 35 % a 45 % restante del mercado total de 65 millones de metros cuadrados (Jagielski, 1992).

Si se asume una composición del mercado del 40 %, las ventas totales derivadas de los mantos sintéticos serían de US\$ 156 millones al año, suponiendo un precio de US \$ 6.00 por metro cuadrado. Si se considera que los mantos orgánicos componen el 60% restante, y que se venden a un precio promedio de US\$ 0.60 por metro cuadrado, sólo se generaría US\$ 23 millones al año. Al sumar las cifras anuales por concepto de ventas de geotextiles para el control de la erosión, sistemas de fibras lanzadas, revestimientos de geotextiles, etc., la diferencia se hace aun más grande.

Si se tiene en cuenta que sólo algunos de los mantos degradables no utilizan compuestos geosintéticos, sólo el 10 % del mercado "orgánico" es realmente orgánico. La evaluación acertada de los materiales geosintéticos utilizados para control de erosión y sedimentación se convierte en una tarea complicada. Algunos creen que la composición del mercado de los mantos sintéticos está sobre-estimada. El punto no es elaborar números, sino identificar la expansión del papel de los geosintéticos en el control de la erosión y de los sedimentos. Sin la cantidad de "geo" materiales

disponibles, la industria alrededor del control de erosión y sedimentación para los Estados Unidos de Norteamérica y el Canada no sería tan promisorio.

Es necesario que existan más investigaciones sobre la eficiencia de la gran cantidad de materiales existentes para el control de la erosión y los sedimentos. Todavía quedan por responder preguntas acerca de la duración extendida de los caudales y sobre el desempeño a largo plazo de todos los materiales. Además, se deben desarrollar sistemas para estandarizar la descripción de los productos, para unificar los procedimientos de prueba y es necesario crear un mercado para asegurar la aceptación de la industria alrededor del control de erosión y sedimentos, Organizaciones como IECA (International Erosion Control Association), Asociación Internacional para el Control de la Erosión; ECTC (Erosion Control Technology Council), Consejo de Tecnologías para el Control de la Erosión; ASTM (American Society for Testing of Materials); IFAI, (Industrial Fabrics Association International), Asociación Internacional de Tejidos Industriales; y GRI, (Geosynthetic Research Institute) Instituto para la Investigación sobre Geosintéticos, deben ser las encargadas de abrir el camino, junto con las Universidades y sus institutos de investigaciones, Ministerios de Transportes o de obras Públicas y incluyendo a las autoridades ambientales representadas desde Ministerios hasta corporaciones regionales. Otra de las preocupaciones existentes, dependiendo del punto de vista que se tenga, es la utilización de materiales biodegradables para aplicaciones a corto plazo. Esta es un área importante de investigación, ya que se debe educar tanto a los representantes de la industria, como al público en general. Las ventajas de las fibras sintéticas sobre las naturales en cuanto al desempeño son ampliamente conocidas en diferentes sectores de la industria textil.

## REFERENCIAS

Agnew, w. Erosion CONTROL product selection. GEOTECHNICAL FABRICS REPORT, Vol. 9 , No. 3 pp 24 -273, St. Paul MN, USA, 1991.

Austin, D. Theisen M. , Stabilization of Dredged Material Containment Levees Using a Three-Dimensional Woven Geotextile. PROCEEDINGS OF THE XXVII ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION , Seattle WA, USA.1996.

Brown, L.R. and Wof, E.C. Soil Erosion: Quiet Crisis in the World Economy. Worldwatch Paper#60. Worldwatch Institute , Washington, D.C.,US.1984.

Carroll, Jr. Robert G., Rodencal J. and Theisen M. Evaluation of Turf Reinforcement Mats and Erosion Control and Revegetation Mats under High Velocity Flows. PROCEEDINGS OF THE XXII ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION. Orlando , FL. USA. 1991.

Chen, Y.H. Cotton G.K. Design of Roadside Channels with Flexible Linings. Federal Highway Administration report HEC-15/FHWA1P-1P-87-7, McLean, VA. USA, 1988.

Guillet, J Plastics, Energy and Ecology - Aharmonious Triad. PLASTICS ENGINEERING, Vol. 30, No. 8 , pp 48- 56, 1974.

Hewlett, H.W.M., Boorman L.A. and Bramley. Design of reinforced Grass Waterways, Construction Industry Research and Information Association , Report 116, London , England, 1987.

Koutsourais, M. Sparague J., An Inside Look at Articulating Concrete Block Revetments. PROCEEDING OF THE XXIII ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION , Reno NV., USA, 1992.

Richardson , G. Koerner ,R. . De. A DISIGN PRIMER: GEOTEXTILES AND RELATED METERIALS. Uindustrial fabrics Association Intrenational, St. Paul ,MN.USA, 1990.

Theisen, M. Cost-Effective Techniques for Successful Erosion Control . PROCEEDINGS: HIGH ALTITUDE REVEGETATION WORKSHOP No. 8 Ft. Collins CO., USA. 1988.

Theisen, M. Carroll R. .Turf Reinforcement - The Soft Armor Alternative. PROCEEDINGS OF THE XII ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION , Washington , DC. USA. 1990.

Theisen , M. . Evaluation of Biotechnical Composites Under High Velocity and Shear Conditions, POCEEDINGS OF THE XXIII ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION , Reno NV. USA., 1992.

Theisen M. ,Hageman M., Austin D., Camouflaged Channels Corral Runoff At the Horse Ranch, PROCEEDINGS OF THE XXVI ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION , ATLANTA , GA, USA,1995.