

XVII Seminario Venezolano de Geotecnia

Del Estado del Arte a la Práctica

**INGENIERIA BIOTECNICA Y BIOINGENIERIA.
NUEVAS TENDENCIAS DE LA GEOTECNIA
PARA LAS OBRAS DE TIERRA, LA ESTABILIZACION DE TALUDES
Y EL CONTROL DE LA EROSION.**

Ing. Francisco Antonio Centeno Pulido

Ingeniero Civil. Universidad Metropolitana. Caracas Venezuela 1985.

Centeno-Rodríguez y Asociados
Ingenieros Consultores Caracas – Venezuela
e-mail: francntenop@telcel.net.ve

RESUMEN

En el presente trabajo se exponen algunas experiencias obtenidas en el campo de la ingeniería geotécnica, desarrolladas en Venezuela durante los últimos años para la ejecución de obras de tierra, la estabilización de taludes y el control de la erosión progresiva generada por las aguas de lluvia y por el viento. Se hace especial énfasis en las modernas aplicaciones de la ingeniería biotécnica y de la bioingeniería.

La estabilización biotécnica y la bioingeniería de suelos tienen en común el uso de materia viva (vegetación), sin embargo, la ingeniería de estabilización biotécnica emplea además de la vegetación, algunos elementos estructurales prefabricados de tipo mecánico que se acoplan entre sí para lograr la estabilización definitiva de un talud o un cuerpo de tierra. Los nuevos sistemas de ingeniería empleados para la estabilización biotécnica frecuentemente se combinan con elementos biológicos (plantas) para lograr una sinergia entre ellos que ayude a prevenir la erosión y los deslizamientos en taludes y obras de tierra.

Para la estabilización de taludes actualmente se emplean materiales como el concreto, el acero, la madera, el hierro galvanizado, los geosintéticos de Polietileno de alta densidad (HDPE) o de Polipropileno, fabricados con diversas maquinarias industriales especializadas. Con estos sistemas, el hombre ha podido ir desarrollando y mejorando progresivamente en el tiempo varias técnicas que le permiten obtener proyectos y obras con mayor exactitud geométrica y con diferentes factores de seguridad ante las condiciones de esfuerzo y de deformación que le imponen la hidráulica y la geotecnia.

Con estas aplicaciones se avanza hacia soluciones de ingeniería cada vez más seguras, económicas y duraderas, que tienden a proteger el medio ambiente donde convivimos y a lograr una armonía del paisaje que nos rodea.

En el presente artículo, debido a la limitación de espacio acordada por los organizadores del seminario, solamente presentaremos tres soluciones técnicas de estabilización empleadas para cuerpos de tierra y para taludes. Estas aplicaciones han sido construidas desde hace varios años y están dando muy buenos resultados. Han permitido a los propietarios de estas obras poder generar con seguridad el espacio requerido para el desarrollo de las mismas, la protección contra la erosión superficial, y conservar en el tiempo el buen aspecto del paisaje.

Se presentan tres ejemplos de nuevos sistemas de ingeniería desarrollados para estabilizar macizos de tierra (MSE) y taludes reforzados con geomallas de polietileno de alta densidad (uniaxiales) y de polipropileno de alta densidad (biaxiales), monolíticas y predeformadas, producidas en fábrica con maquinarias industriales especializadas de la empresa Tensar® Earth Technologies y de la empresa Presto®.

Se indican algunas características y experiencias prácticas de varios de los nuevos sistemas de ingeniería geotécnica existentes en el mercado. No se profundiza en detalle sobre los aspectos técnicos de cada uno de los sistemas por limitaciones de espacio en el artículo. El autor del trabajo refiere en la bibliografía la literatura empleada, donde el lector podrá investigar con más profundidad sobre el tema.

1.- BIOINGENIERIA DE SUELOS

La bioingeniería de suelos emplea solamente la vegetación viva como elemento estructural de prevención contra la erosión en taludes, canales y obras de tierra; por lo que puede considerarse como una parte especializada de la estabilización biotécnica. Es importante destacar que la bioingeniería de suelos ha sido empleada exitosamente por el hombre en diferentes partes del mundo desde hace muchos siglos con el fin de resolver los problemas de erosión típicos en taludes y en las márgenes de los ríos. Utiliza las raíces y las hojas de las plantas como mecanismos de control de la erosión.

La bioingeniería de suelos ha venido combinándose gradualmente cada vez más con la biotécnica después de la Revolución Industrial, por lo que hoy en día es cada vez más frecuente observar estabilizaciones de taludes, terraplenes y canales, con vegetación, mantos de control de erosión y nuevos sistemas de ingeniería geotécnica en combinación con estos sistemas.

1.1 Erodibilidad de un suelo

La susceptibilidad que tiene un suelo a erosionarse se conoce como erodibilidad. Los suelos dependiendo de su clasificación serán más propensos o menos a generar la erosión.

A continuación se clasifican los diferentes tipos de suelo en base a su susceptibilidad de generar erosión. Se agruparon de más propensos a menos propensos. (según Gray y Sotir, 1996).

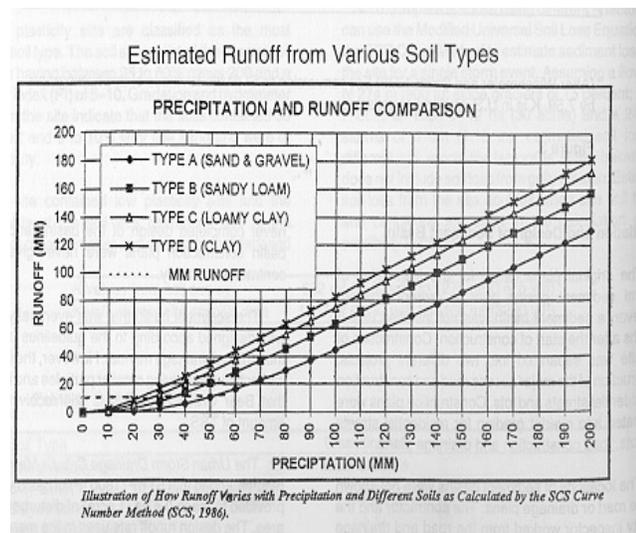
ML>SM>SC>MH>OL>>CL>CH>GM>SW>GP>GW

La erodibilidad de un suelo depende de su granulometría y de los índices de plasticidad.

Según Wischmeir et all (1971) la erodibilidad en los suelos varía de la siguiente manera:

- es baja en Gravas bien gradadas.
- es alta en limos uniformes y arenas finas.
- decrece a medida que crecen los porcentajes de arcilla y contenidos orgánicos.
- decrece en suelos con baja relación de vacíos y alto contenido de humedad.
- se incrementa con incrementos del contenido de sodio (Na) en los suelos y decrece con el intercambio iónico del agua.

Los ensayos de clasificación y de suelos dispersivos son muy útiles para observar este fenómeno. El ensayo de Pin-Hole es muy recomendado para evaluar este fenómeno y para despistar si un suelo es o no dispersivo. La siguiente gráfica indica el desplazamiento del agua de escorrentía vs la precipitación (mm) para diferentes tipos de suelos. A menor desplazamiento más agua se queda en sitio para infiltrarse y generar erosión.



Tomada del trabajo de Karen A. Berry . Pag 216 Proceeding 32 IECA Las Vegas USA

Las nuevas tecnologías existentes en el mercado nacional para controlar la erosión en obras de tierra y taludes están orientadas a trabajar en conjunto con la bioingeniería como criterio principal para el diseño. Existen gran cantidad de metodologías y debe tenerse mucho cuidado a la hora de escoger cada una de ellas. Los ingenieros deben familiarizarse con las tecnologías existentes, las cuales son parte integral de bioingeniería. Se recomienda ampliamente consultar con la bibliografía especializada para profundizar en el tema. Existe la Asociación Internacional para el Control de la Erosión, con sede en Estados Unidos de Norteamérica (I.E.C.A.). Se pueden consultar en Internet las siguientes páginas web: www.ieca.org y www.erosioncontrol.com.

Con el tiempo los taludes muy altos y empinados están propensos al fenómeno de la erosión. Si no se controlan oportunamente, se pueden producir deslizamientos progresivos que van desde superficiales hasta profundos, dependiendo de la erodibilidad en los suelos que lo integran.



Como ejemplo de un importante proceso erosivo, se presenta la imagen de una cárcava que se ha venido generando con el tiempo sobre un terraplén de la urbanización la Limonera, en el Municipio Baruta del Estado Miranda. Debido a la gran altura del terraplén de relleno, a su elevada pendiente (mayor o igual a 1:1), al abandono de la construcción, la ausencia de refuerzos internos en los diferentes terraplenes, como por ejemplo geomallas de alta resistencia en HDPE o mallas de metal galvanizado, la falta de sistemas de control de erosión y al mal funcionamiento de los sistemas de recolección para drenaje de las aguas de lluvia, se han ido produciendo daños importantes en el cuerpo del terraplén.

1.2.- Especificaciones para la construcción de obras de bioingeniería de suelos

En el último Simposio Latinoamericano de Control de Erosión llevado a cabo en Bucaramanga, Colombia, el profesor Jaime Suárez Díaz (Marzo de 2002), presentó *“La Bioingeniería en el control de erosión en ambientes tropicales”*. En dicho trabajo se presentan en forma muy ordenada varios criterios que son necesarios e importantes para la construcción de obras de bioingeniería de suelos.

“La construcción de obras de bioingeniería de suelos requiere de una serie de cuidados con el objeto de garantizar la germinación y establecimiento de las especies vegetales y la eficiencia del control de erosión. Tanto el terreno como las plantas deben cuidarse para que no sean alterados. McCullah (2001) recomienda tener en cuenta entre otros los siguientes criterios”:

a. Temporada de siembra

Las especies vegetales deben ser cortadas y plantadas antes de la época de lluvias. Generalmente, los meses de Febrero y Marzo son los más indicados en la zona de los Andes tropicales. Se recomienda analizar los datos de días lluviosos, de las estaciones pluviométricas más cercanas. En todos los casos se requiere riego por lo menos durante el primer mes, con el objeto de garantizar la germinación de las especies vegetales.

b. Escogencia de las plantas

Deben seleccionarse materiales de plantas que se adapten fácilmente a las condiciones del sitio y que además se establezcan fácilmente por estaca. Las especies nativas deben preferirse sobre las plantas exóticas. Se sugiere consultar con los habitantes de la región sobre las especies que fácilmente pueden establecerse utilizando estacas o ramas.

Más del 50 % de las ramas deben encontrarse vivas, aunque se permiten algunas ramas muertas.

c. Tamaño de las ramas

Para la mayoría de los casos las ramas deben tener 1.2 a 2.5 metros de longitud y un diámetro entre 20 y 50 milímetros. Para las fajinas los manojos deben tener de 2 a 10 metros de longitud y diámetros de 150 a 300 milímetros.

d. Preparación de las ramas

Se recomienda presumergir o poner en remojo (en agua) las ramas por un mínimo de 24 horas antes de colocarlas. En el caso de fajinas, estas deben empacarse en manojos apretados. Las ramas deben mantenerse siempre en la sombra hasta el momento de la siembra.

e. Preparación de la superficie del terreno

La pendiente del talud debe ser lo suficientemente suave para impedir la erosión durante el periodo de germinación de las ramas. Generalmente se recomiendan taludes con pendientes inferiores a 2H : 1V. La superficie de la grada o zanja sobre la cual se van a colocar las ramas de vegetación debe tener una pendiente hacia dentro para facilitar la infiltración de humedad y al mismo tiempo garantizar la estabilidad del sistema.

f. Colocación de las ramas

Las ramas deben colocarse inmediatamente después de que se realicen las excavaciones para impedir la desecación del terreno. Coloque las ramas en espesores de aproximadamente 100 mm. en una configuración entrecruzada en tal forma que las ramas se traslapien las unas con las otras. Las puntas de las ramas deben sobresalir entre 150 y 300 mm de la superficie del terreno. Cubra las capas de vegetación con aproximadamente 150 mm de suelo orgánico de relleno o suelo fertilizado. Compacte el suelo utilizando un pisón manual liviano.

En el caso de fajinas la profundidad de la zanja debe ser aproximadamente la mitad del diámetro de la fajina. Inmediatamente sature el suelo utilizando un sistema de riego. No debe permitirse el paso de equipos de movimiento de tierras sobre los enramados.

Si se especifica la colocación de estacas estas deben colocarse por debajo de las capas de ramas o fajinas. Las estacas deben tener mínimo 20 milímetros de diámetro.

g. Colocación de las capas de suelo

Coloque las capas de suelo de relleno en espesores de 200 milímetros y compáctelas con equipo mecánico liviano. Coloque la nueva capa de ramas a la altura especificada en el diseño y repita el procedimiento.

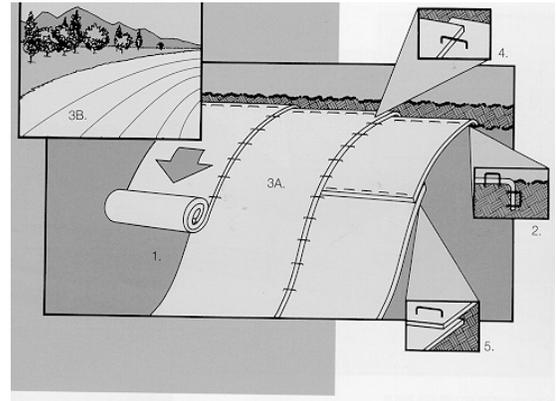
h. Protección de la superficie

Coloque sobre la superficie del terreno semillas y “mulching”, en tal forma que se genere una capa protectora de la superficie del talud. Esta capa ayuda a germinar muy bien las semillas por su efecto invernadero. Es recomendable para taludes.

Las obras de bioingeniería requieren de una inspección y mantenimiento muy estrictos, especialmente durante el primer año. Si se llegare a presentar un problema de erosión, este debe corregirse inmediatamente.

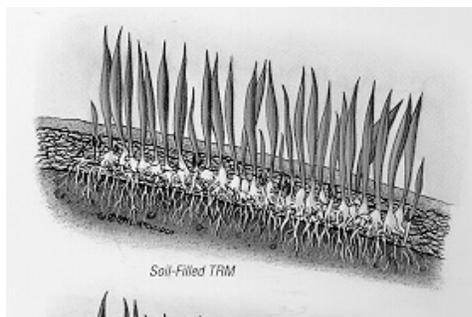
1.3.- Nuevas tecnologías para el control de la erosión en taludes y obras de tierra

Para minimizar los daños que puede causar el fenómeno de la erosión, hoy en día se dispone de varias tecnologías sencillas que permiten lograr a corto plazo una cobertura vegetal o una piel para proteger de las lluvias y el viento a los cuerpos de tierra. Esta cobertura se realiza por medio de hidrosiembra y posteriormente con una protección de la zona proyectada o sembrada con la ayuda de mantos de fibra naturales y de tipo sintético (TRM). En la imagen aparece un equipo hidrobombeador de la mezcla acuosa (slurry) con semillas, fertilizantes, gel hidratador, y agente fijador que se utiliza para llegar a alturas importantes. Se utiliza generalmente un colorante artificial verde que permite a los operadores poder saber donde colocaron la hidrosiembra y tener referencias para no gastar más material de lo necesario.



1.3.1.- Mantos de fibra Naturales y/o artificiales (sintéticos)

Los mantos de fibra natural conocidos en el mercado internacional como TRM se usan provisionalmente para proteger la Hidrosiembra realizada con semillas y con fertilizantes mientras se produce la germinación. Generalmente este proceso puede durar de 3 semanas a un mes para observar a simple vista los resultados. Este proceso requiere de riego diario para lograr su germinación. Normalmente se debe aplicar en época de lluvia para reducir costos por cisternas y/o sistemas de riego.



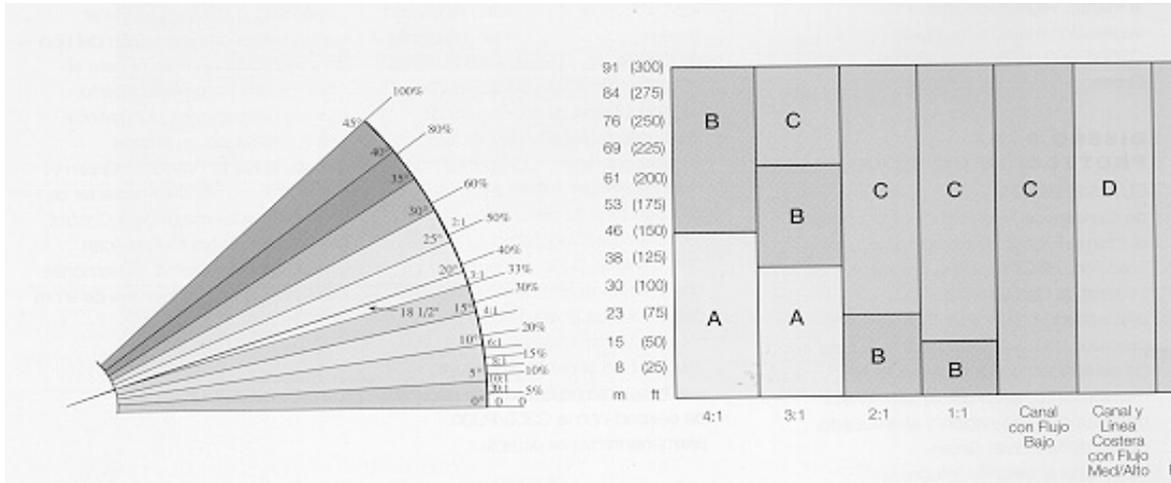
Detalle de cómo la semilla germina y posteriormente atraviesa la cubierta del manto (TRM) para salir a la superficie.

Los mantos de control de erosión ayudan a prevenir la erodibilidad del suelo en taludes y en canales de drenaje para las aguas de lluvia. La erosión tiende a producir sedimentos que obstruyen las zonas por donde circula el agua. Las zonas de taludes altos sin vegetación son blancos claves para la generación de arrastre de sedimento y para la acumulación de los mismos aguas abajo.

Existen diferentes mantos para el control de la erosión. Ellos se clasifican como:

- Mantos temporales fotodegradables (Paja agrícola)
- Mantos temporales de protección a largo plazo (Paja Agrícola y Fibra de Coco)
- Mantos Entrelazados de fibra natural biodegradables 100% (Paja Agrícola y Fibra de Coco en una capa)
- Mantos entrelazados de fibra natural biodegradables 100% (Paja Agrícola y Fibra de Coco en dos capas).
- Mantos con semilla incorporada (normalmente son difíciles de conseguir pues las condiciones de importación son severas por las regulaciones que imponen los diferentes países en la entrada de semillas y fumigación). No han tenido éxito.
- Mantos o esterillas permanentes de refuerzo de la grama para el control de la erosión (Estructura de fibra de coco con malla de polímero).
- Mantos o esterillas permanentes de refuerzo de la grama para el control de la erosión (Estructura de Polipropileno estabilizado contra los rayos ultravioleta) Generalmente vienen en color verde para hacer más agradable el contraste con la naturaleza.

Los mantos de control de erosión deben ser fijados con mucho cuidado en la superficie inclinada del talud para evitar su corrimiento. Generalmente se colocan con un patrón de engrapado que dependerá de la inclinación del talud. Se anexa una gráfica con las tendencias de fijación (engrapado) según la inclinación.



Engrapados recomendados

Tipo A: 0.8 Grapas/m²
 Tipo B: 1.4 Grapas/m²
 Tipo C: 2.1 Grapas/m²

Tipo D: 4.2 Grapas/m²
 Tipo E: 4.5 Grapas/m²
 Tipo E: Canal y Línea Costera con Flujo alto.

1.3.2.-Guía para la instalación de los mantos de control de erosión

Preparación del sitio

- Se prepara y compacta el área de instalación
- Se prepara la zona donde se sembraran las semillas aflojando unos 50 a 75 mm del área preparada.
- Se incorporan fertilizantes y estabilizantes del pH del suelo en caso de ser necesarios
- Remover todas las rocas, raíces, vegetación o cualquier tipo de obstáculo que evite el contacto directo de los mantos con el suelo

Siembra de semillas

- Colocar las semillas seleccionadas con la ayuda de máquina de hidrosiembra para taludes extensos y altos o en forma manual para el caso de taludes pequeños.
- Antes de instalar el manto TRM se deben sembrar también las trincheras de anclaje.
- Verificar con un especialista en botánica el tipo de semilla a emplear para evitar que la misma se adapte al sitio donde efectuará la hidrosiembra.

Colocación del Manto TRM en Taludes y/o Canales

- Excavar una trinchera de 30 cm x 15 cm en la cresta del talud a proteger retirándose a unos 60 cm a 90 cm del borde superior (hacia adentro).

- b. Colocar el manto dentro de la trinchera, fijar con las estacas o “U” de cabilla.
- c. Rellenar y compactar con tierra.
- d. Desenrollar el manto desde arriba hacia abajo como una alfombra. Los mantos se colocan sin estirar para dejar el contacto lo más íntimo posible con el suelo.
- e. Los empalmes entre los mantos deben ser de 75 mm (3 pulgadas) como mínimo. Se engrapan cada 45 cm de arriba hacia abajo.

1.3.3.- Cobertura con la técnica Hidromulch BFM (Bonded Fiber Matrix)

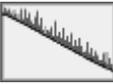
Las coberturas naturales tipo BFM consisten en hebras largas de fibra de madera suave triturada, de tipo residual, producidas por un proceso de desfibrilización termo mecánica a partir de hojuelas de madera que posteriormente son unidas a alta presión con adhesivos no tóxicos. (Ejemplo es el producto Bonded Fiber Matrix – EcoAegis® de la empresa canadiense Canfor®).

Normalmente este tipo de cobertura se aplica hidráulicamente con la ayuda de equipos de hidrosiembra al suelo. Se presentan como una mezcla viscosa combinando la fibra, agua y un agente o emulsión pegante que permite lanzar la mezcla unida, creando una continua capa tridimensional que se adhiere a la superficie del suelo donde se aplica. Luego de secarse in situ se genera una capa o piel de alta resistencia, porosa y resistente a la erosión, que permite junto a las semillas proyectadas con ella, la germinación y el crecimiento de las mismas debajo de la capa. Puede ser rehumedecida cuantas veces sea necesario para lograr una adecuada germinación de las plantas.

Las coberturas BFM son 100% biodegradables con el tiempo y no son tóxicas para la fauna salvaje y los peces cercanos al área a tratar, pues no contienen fibras sintéticas.

Las coberturas BFM deben ser mezcladas con la cantidad de semillas y aplicadas de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Normalmente el producto BFM Eco-Aegis® se aplica típicamente en una relación de 3.850 Kg a 4.510 kg por 1 Hectárea; o lo que es lo mismo, entre 385 gramos a 450 gramos de producto por metro cuadrado. Con esta dosificación se logra cubrir toda la superficie a tratar con un espesor de 3 milímetros. El fabricante indica que con esta dosificación es posible que ocasionalmente pueda ocurrir algún vacío del producto mal proyectado, por lo que la capa de protección puede quedar solamente de 1 milímetro de espesor en algún sitio errático del terreno a tratar.

Se recomienda alternar las direcciones de proyección durante la hidrosiembra para garantizar una buena cubierta del área a proteger. Las coberturas BFM se recomiendan en taludes rocosos sin capa vegetal, o con suelo residual, cuya pendiente sea 1.5H: 1V o más empinados. También se aplican en cortes o rellenos con alturas superiores a los 6 metros. El producto se debe aplicar preferiblemente cuando la superficie a tratar esté seca y por lo menos 12 horas antes de una fuerte lluvia pronosticada, para evitar que se lave el producto antes de secarse en la superficie. Una vez seco, el mismo no se cae o resbala sobre la superficie donde ha sido colocado. El tiempo de secado es de 12 horas aproximadamente.

APLICACIONES GENERALES EN BIOINGENIERIA DE SUELOS					
VENTAJAS (.) DEVENTAJAS ()	Hidrosiembra con semillas (en suelo) ó HidroMulch (en roca)	Barreras de vegetación con potes y matas	Barreras Vivas con Estacas	Contornos linderos Wattling	Fajinas
Control de erosión por lluvia: El follaje intercepta las gotas y protege la superficie de la pérdida de partículas de suelo.	•	•	•	•	•
Control de erosión contra surcos: Las raíces amarran la superficie de partículas de suelo.	•	•	•	•	•
Control de erosión por escurrimiento del agua: Las plantas se encargan de detener el arrastre de las partículas de suelo contra la escorrentía.	•			•	•
Control de erosión por viento: La vegetación con plantas reduce la exposición del suelo al viento y por ende su transporte con el viento.	•	•	•	•	•
Control de erosión por congelamiento: Las raíces restringen el movimiento del suelo.	•	•	•	•	•
Control Inmediato de la erosión y estabilidad de taludes y terraplenes o cuerpos de tierra.	•				
Estabilización de taludes: Suelo reforzado vs. Resistencia a deslizamientos poco profundos.		•	•	•	•
Estabilización de taludes: Las plantas ayudan a controlar el efecto del descongelamiento en suelos al final de la estación de invierno.		•	•	•	•
Estabilización de taludes: Resistencia a los deslizamientos profundos en laderas.					
Bajo costo inicial de mantenimiento	•				
Bajo costo de mantenimiento a largo plazo	•	•	•	•	•
Impacto generado por la construcción del sistema biotécnico	•	•	•	•	
Costo de construcción relativamente bajo	•	•	•	•	•
Capacidad de combinación con otros sistemas de bioingeniería.	•	•	•	•	•
Estética / Beneficio para vida animal salvaje		•	•	•	•
Prevención de la erosión y protección en líneas costeras contra la inestabilidad por el efecto generado por las olas.					

2.- NUEVAS TENDENCIAS DE LA INGENIERIA GEOTECNICA PARA LAS OBRAS DE TIERRA Y LA ESTABILIZACION DE TALUDES

Algunos de los sistemas más importantes disponibles actualmente en Venezuela son:

2.1.-MUROS DE RETENCION

Los macizos de tierra reforzada (MSE) con geomallas uniaxiales y bloques prefabricados de concreto precomprimido tienen sus comienzos en la década de los 80. Las aplicaciones surgieron por la necesidad de lograr espacios planos en parcelas destinadas a centros comerciales, edificaciones industriales y edificios de oficina. Posteriormente y debido al éxito registrado en muchas zonas de los Estados Unidos de Norteamérica y de Europa, se aplicaron como soluciones de ingeniería para estribos de puentes, para terrazas planas ubicadas a lo largo de paradores turísticos y áreas de descanso. Estos sistemas se han venido extendiendo a partir de los años 90 por casi todos los continentes. Hoy en día es posible observar este tipo de sistemas en varias autopistas concesionadas debido a la rapidez de su ejecución y a su bajo costo con respecto a los sistemas tradicionales como los muros de concreto armado y de tierra armada.

Los diseñadores de macizos reforzados (MSE) normalmente se preguntan, ante este tipo de soluciones, las siguientes interrogantes:

1. Que tipo de fundación se debe usar para apoyar estos tipos de muros (MSE)?.

Debido al poco peso del paramento solo es necesario una solera, tira o “pad” de nivelación para distribuir uniformemente la carga y mantener el conjunto nivelado. La tira no tiene por que ser armada. Solo necesita de que el suelo de apoyo sea firme y muy bien compactado. En algunas ocasiones se suele mejorar con la colocación de geomallas biaxiales para mejorar su módulo de balasto. En la mayoría de los casos la tira tiene dimensiones de 60 centímetros de ancho por 15 centímetros de espesor y con una longitud equivalente a la trayectoria y desarrollo (lineal o curvo) del macizo a construir. Si existen desniveles se usan tiras apoyadas en los distintos niveles repartidos en desniveles de 50 cm entre sí.

2. Cual de los tipos de refuerzo se debe emplear para reforzar el suelo en el trasdós del macizo de tierra reforzada? Geomallas y/o geotextiles?

Normalmente se usan geomallas uniaxiales de alta resistencia, preferiblemente monolíticas y predeformadas de alto módulo de torsión y con sus nodos íntegros sin soldadura por calor. Las geomallas de este tipo arman el suelo por intertrabazón, a través de sus agujeros o canales y trabajan por corte. Es importante seleccionar la geomalla requerida dependiendo de la altura del macizo y condiciones del subsuelo (pueden ser biaxiales o uniaxiales) Existen varios procedimientos de cálculo para estimar la longitud necesaria de geomalla, la cantidad y posición de las mismas dentro del macizo a reforzar.

También se pueden utilizar los geotextiles tejidos de diferentes módulos dependiendo de las alturas requeridas y condiciones del subsuelo. Los geotextiles siempre trabajarán por fricción. Debe evitarse el uso de geotextiles y/o geomallas de poliéster pues las mismas se degradan y deterioran en el tiempo al estar en contacto con piezas prefabricadas de concreto. Este proceso de degradación se denomina hidrólisis.

3. Cual debe ser la longitud de las geomallas y su empotramiento dentro del macizo?

Esto dependerá de que tipo de material constituya la base de apoyo, de las sobrecargas impuestas en la parte superior del macizo, de la presencia del nivel de agua subterránea, del tipo de geomalla o geotextil tejido a emplear y de la calidad del material de relleno a utilizar para construir el macizo de tierra reforzada. Es muy importante conocer todas las propiedades de las geomallas y/o de los geotextiles tejidos antes de seleccionar el mismo como refuerzo de un macizo de tierra. Los programas de cálculo permiten seleccionar todas estas propiedades, y en base las variables mencionadas anteriormente, evaluar capa por capa los esfuerzos y estimar las deformaciones que se producirán. La selección de la longitud debe satisfacer la estabilidad interna y externa del conjunto.

Para efectos de prediseño se recomienda utilizar una longitud equivalente a un 70% de la altura del macizo. En algunos casos la longitud puede llegar al 100% de la altura. El empotramiento normalmente está entre un 10% a un 15% de la altura.

4. Cual debe ser el espaciamiento en los diferentes planos de refuerzo?

Normalmente en muros de bloques prefabricados el espaciamiento se hace cada 60 centímetros, o lo que es lo mismo, cada 3 bloques, asumiendo que los mismos son de 20 centímetros de altura. En casos donde los muros son más altos a 5 metros se suele espaciar las geomallas cada 40 centímetros en la zona del empotramiento y cada 60 centímetros hacia arriba después de la zona de empotramiento.

5. Como estirar y ajustar el refuerzo de las geomallas con respecto a la cara de bloques?

Con la ayuda de los separadores de HDPE y con una barra con cabeza de tenedor en la punta para permitir estirar la misma y colocar la tierra encima. Otra forma es fijando la malla al suelo con grapas en forma de “U”. de 20 centímetros de largo cada una y a cada 2 metros.

6. Que tipo de relleno se debe emplear para rellenar y compactar sobre las geomallas?

El material de relleno seleccionado debe satisfacer la siguiente especificación.

Materiales granulares preferiblemente y evitar el uso de gravas, pues las mismas dañan las geomallas y los geotextiles tejidos durante la instalación. Las arenas pueden tener contenido máximo de finos de 25%.

En general por la FHWA (Federal Highway Administration) se aceptan los siguientes parámetros: Pasante Tamiz 6”(100%), Pasante tamiz 3”(75% al 100%). Pasante No.200 (0% a 25%).

7. Como compactar y a que densidad y humedad óptima?

La energía de compactación necesaria es la del Proctor estándar AASHTO T-99 (muros) y/o AASHTO T180 (muros y estribos para vialidad) con densidad máxima seca y humedad óptima. El uso de equipo pesado como patas de cabra o rodillos lisos vibratorios permite colocar capas de 20 centímetros de espesor. No debe compactarse nunca con equipo pesado cerca del paramento para evitar su deformación. Se recomienda dejar una franja de 1 metro entre el paramento y el equipo pesado. Esa franja se va compactando progresivamente con una rana vibratoria en capas de 10 centímetros.

8. Como dar las curvas y rematar las esquinas?

Los bloques o elementos prefabricados traen piezas especiales diseñadas para estas condiciones.

9. Que se debe hacer para evitar que la cara frontal del muro se ensucie con tierra proveniente de filtraciones ocurridas en el trasdós durante una fuerte época de lluvias?

Usar geotextil no tejido para cubrir la tierra y evitar el contacto con la cara.

10. Como inclinar la cara o dejarla vertical?

Normalmente los sistemas disponen de conectores reversibles que permiten inclinación en un sentido o verticalidad en el otro.

Los macizos (MSE) son sistemas estabilizados mecánicamente con tierra y con otros materiales tales como geomallas uniaxiales o biaxiales, flejes, mallas metálicas galvanizadas y conectores o anclajes especiales (MSE). Una característica importante de los muros reforzados (MSE) es que proporcionan diversidad de paramentos prefabricados adicionalmente al refuerzo de la tierra. Entre ellos destacan los siguientes sistemas:

2.1.1.- Muros de Tierra Armada® TAI (Tierra Armada Internacional®)

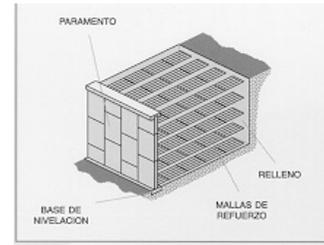
Son sistemas constituidos por escamas o paneles prefabricados en concreto, con forma de cruz y fijadas con flejes de hierro dulce galvanizado, de longitud variable. La altura de cada pieza es de 1.50 metros y su espesor es variable entre 14 cm y 26 cm. El sistema permite construir macizos de tierra armada con muchos tipos de formas y hasta 18 metros de altura, sin bermas entre sí. Se usan generalmente para ganar espacios planos en áreas de taludes y para generar plataformas a cotas superiores entre otros. Los flejes o armaduras vienen en segmentos de 50 mm de ancho por 4 mm de espesor y longitud variable de 4 a 6 metros. Se unen entre sí con tornillos y conectores. Trabajan por fricción al estar en contacto con el suelo. La longitud de desarrollo viene dada por fórmulas que toman en cuenta el tipo de suelo, la presencia de superficies de falla, sobrecargas, la posición del nivel de agua. La tecnología fue descubierta en 1963 por el Ingeniero francés Henri Vidal. En Venezuela tienen 25 años generando soluciones para urbanismos, estribos de puentes, protecciones de obras petroleras y arcos triarticulados (TechSpan). Los muros van apoyados en tiras de fundación (Paramento de escamas) y cajuela (tierra armada).



Imágenes de dos macizos de tierra armada mostrando las escamas o paneles prefabricados en concreto y los flejes de hierro dulce galvanizado con los cuales se arma el suelo ubicado detrás del paramento. (Estribos).

2.1.2.- Muros de Tierra Reforzada VSL® de VSL Internacional Ltd (Suiza)

Son muros estabilizados mecánicamente con un paramento de concreto prefabricado, con forma de escamas rectangulares y con mallas metálicas galvanizadas superpuestas en capas para constituir el macizo de suelo reforzado. Igualmente al sistema Tierra Armada, los paneles van apoyados sobre una tira o “pad de nivelación” ubicado por debajo del paramento.



Imágenes del proceso constructivo de los muros VSL con las geomallas metálicas galvanizadas biaxiales. Macizo de tierra reforzada con talud 2:1.

2.1.3.- Muros de Tierra Reforzada ARES® de Tensar®

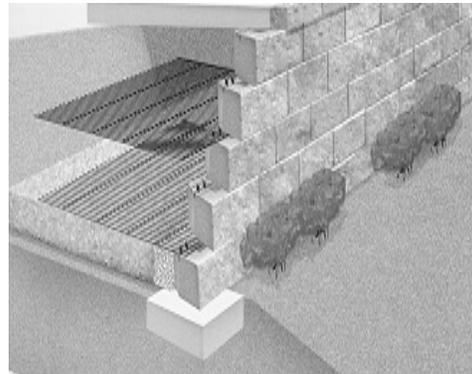
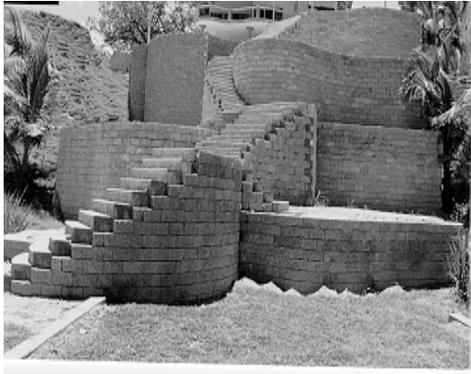
Similar al sistema de tierra armada pero reforzado con geomallas HDPE y con conectores especiales para unir la geomalla al panel. Permite construir macizos de tierra reforzada con muchos tipos de formas y hasta 18 metros de altura sin bermas entre sí. Se usa generalmente para ganar espacios planos en áreas de taludes y para construir estribos para puentes. Los muros van apoyados en tiras de fundación (Paramento de escamas) y cajuela (tierra armada).



Imágenes de los paneles rectangulares del sistema de tierra reforzada ARES® con geomallas Tensar® HDPE. Se observa la modulación variable en tamaños de las escamas o paneles de concreto prefabricado.

2.1.4.- Muros MESA® de Tierra Reforzada con geomallas Tensar®

El sistema emplea bloques huecos de 20 cm de altura por 40 cm de ancho y 28 cm de profundidad, en concreto precomprimido, con forma rectangular y con resistencia de 250 Kg/cm² a 280 Kg/cm². Se alinean entre sí en forma trabada y se unen con las geomallas mediante la ayuda de conectores HDPE. Pueden alcanzar hasta 12 metros de altura. Requieren capas de geomalla normalmente cada 60 centímetros (3 bloques) para alturas inferiores a 6 metros y variables en alturas superiores. Su cálculo se realiza satisfaciendo dos condiciones: Estabilidad interna del macizo (volcamiento, deslizamiento, hundimiento, tracción y fluencia de las geomallas) y Estabilidad Externa del macizo (círculos de falla de la masa de suelo o de las cuñas del macizo rocoso). Inclinationes de 4.5 grados hacia adentro o vertical a 90 grados pueden ser usadas en el paramento de este sistema.



Sistema MESA® con bloques prefabricados MESA®, conectores y geomallas uniaxiales HDPE Tensar®. Se observa la facilidad para adaptarse a las curvas. Al igual que otros sistemas MSE se apoya en una tira de fundación sin armar sobre el terreno firme bien compactado.

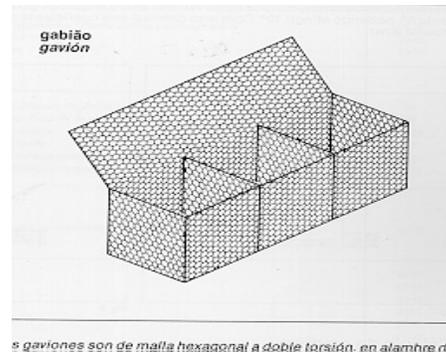
2.1.5.- Geomuros o muros criba (cribwalls)

Se construyen con piezas modulares de concreto prefabricado con forma de hueso de perro (dog-bone) o guitarra, las cuales se traban entre sí ortogonalmente. Su cálculo se realiza satisfaciendo dos condiciones: Estabilidad interna del macizo (volcamiento, deslizamiento, y hundimiento) y Estabilidad Externa del macizo (círculos de falla de la masa de suelo o de las cuñas del macizo rocoso). Inclinações de 1H: 6V. Se rellena con suelo seleccionado y se compacta para lograr la estabilización. Requieren cajuelas de ancho variable según la altura para realizar su construcción. Se siembran internamente las cajas para ocultarlo.



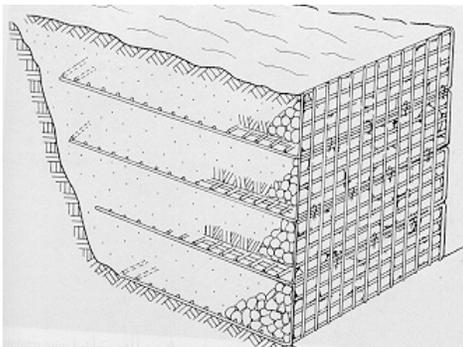
2.1.6.- Gaviones Macafferri®

Los muros de gaviones con cestas de alambre industrializado, tipo diafragma con protección anticorrosiva GALMAC®, se construyen normalmente con cestas prefabricadas de alambre especial de 2.7 mm de diámetro en cubos y paralelepípedos con dimensiones múltiples entre sí para lograr alturas hasta 8 metros sin bermas. Luego las cestas se rellenan con piedras duras poco abrasivas y en tamaños de 10 a 30 cm de diámetro o largo. También se realizan in situ con alambre tejido. Sin embargo la tendencia hoy en día es a comprar la cesta ya prefabricada con dimensiones estandarizadas. Inclinações de 1H: 6V tienden a usarse.



2.1.7.- Muros de contención con mallas electro soldadas y con geomallas Tensar®.

Estos muros se caracterizan por no tener un paramento prefabricado de bloques. Internamente se refuerzan con geomallas uniaxiales de alta resistencia Tensar. Serie UX HS. Se usan como macizos reforzados con una cara constituida por material de filtro en base a piedra picada No.1 envuelto en geotextil no tejido contra la malla electro soldada. Posteriormente se cubren con vegetación. Su uso esta comenzando a ser frecuente debido a su bajo costo y a su facilidad constructiva. Foto cedida gentilmente por Ing. Manuel Sadovnik de Muroblock®.



Sección Ilustrativa del macizo de tierra reforzada con paramento de malla electro soldada. En la cara o paramento, entre el suelo y la malla se coloca un geotextil no tejido de 200 grs./m² para evitar la salida del suelo o finos y evitar manchas en la fachada. Posteriormente se le coloca la vegetación para ocultar el paramento.

2.1.8.- Muros de bloques articulados tipo Loeffl.

Funcionan más bien como una piel estructural y se tienden a inclinar para reducir las fuerzas de empuje lateral. Los bloques no llevan refuerzo con geomallas pues no tienen diseñado un conector especial para garantizar la tracción entre el sistema bloque-geomalla. Su altura es limitada a coberturas no mayores a 3.5 metros sin bermas entre sí. Los bloques o bandejas se llenan de suelo para lograr la estabilidad del conjunto articulado.



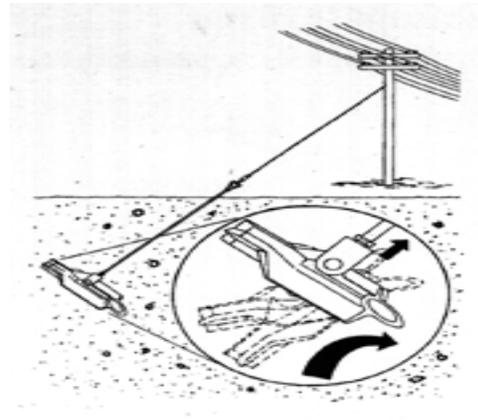
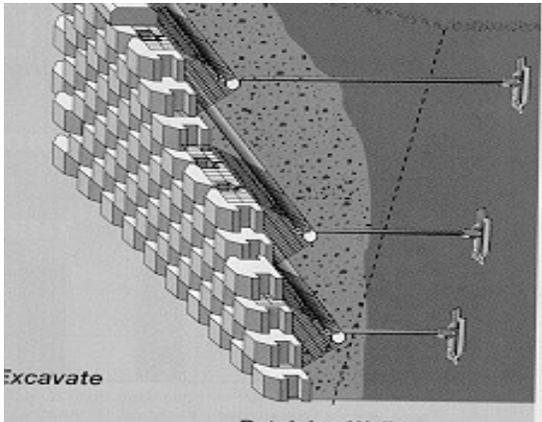
En la imagen se aprecian los bloques articulados LOEFL® con vegetación intercalada saliendo entre los mismos. Aplicación de biotécnica en el pie de un talud combinada con una solución de bioingeniería en base a fajas del talud superior.

Los bloques LOEFL® son de concreto prefabricado y se traban entre sí para luego ser rellenos con tierra y ser sembrados posteriormente con vegetación. No llevan ningún refuerzo interno con geomallas pues no disponen de conexión como los otros sistemas. Su altura es limitada y genera como una piel contra la erosión superficial del talud o terraplén.

2.1.9.- Sistema de anclajes Manta Raya® con muros de bloques y geomallas

Consiste en sistemas de tierra reforzada mixtos con anclajes de acero inoxidable tipo Manta Raya®, geomallas uniaxiales Tensar® y bloques prefabricados de concreto con sus conectores. Se usan muy a menudo en las islas del caribe y en Estados Unidos. Los elementos de micro anclaje están constituidos por piezas prefabricadas en hierro galvanizado, con forma de Manta Raya y/o Calamar. Vienen con diferentes geometrías y capacidades de carga a tracción (menores a 15 Toneladas). Originalmente los anclajes eran empleados como elementos para sujetar las guayas de los postes de servicios públicos y posteriormente para los sistemas de vientos de las torres de transmisión y para puentes militares del ejército americano. Por su facilidad constructiva hoy en día se combinan con los sistemas de muros de bloques de concreto precomprimido prefabricados y con las geomallas HDPE. La unión geomalla-anclaje se realiza con una barra especial de acero inoxidable.

Esta solución nace como consecuencia de la necesidad de construir macizos en sitios donde no es posible realizar la cajuela completa para la extensión de las geomallas. Un ejemplo son las fallas de borde en carreteras y zonas con perfil mixto entresuelo y roca meteorizada cuyo costo al retirarla haría inviable el macizo..



MR-88



MR-SR

En la imagen se presentan varios de los modelos de las cabezas de los anclajes tipo Manta-Ray®. Los que tienen forma de Calamar se colocan en suelos duros con la ayuda de taladros neumáticos y barras de guiado. Los que tienen forma de Manta Raya se usan en suelos blandos y se introducen también con barras de guiado. Posteriormente al tensarlos con un gato hidráulico toman la posición de agarre dentro del terreno. Las capacidades van en función del tamaño. Para mayores detalles técnicos consultar la página web: www.earthanchor.com

Los sistemas tradicionales de muros de retención constituidos por muros en cantiliver de concreto armado y pantallas atirantadas con shotcrete y anclajes, cortinas de pilotes con vigas de arriostramiento no se mencionan en este artículo.

2.2.-TALUDES REFORZADOS

En la actualidad existen en el mercado otras alternativas de Macizos de tierra reforzada o estabilizada mecánicamente (MSE). Estos sistemas tienen en común que refuerzan los taludes y los cuerpos de tierra con los mismos materiales de los MSE pero sin cubierta o paramentos prefabricados de concreto o acero.

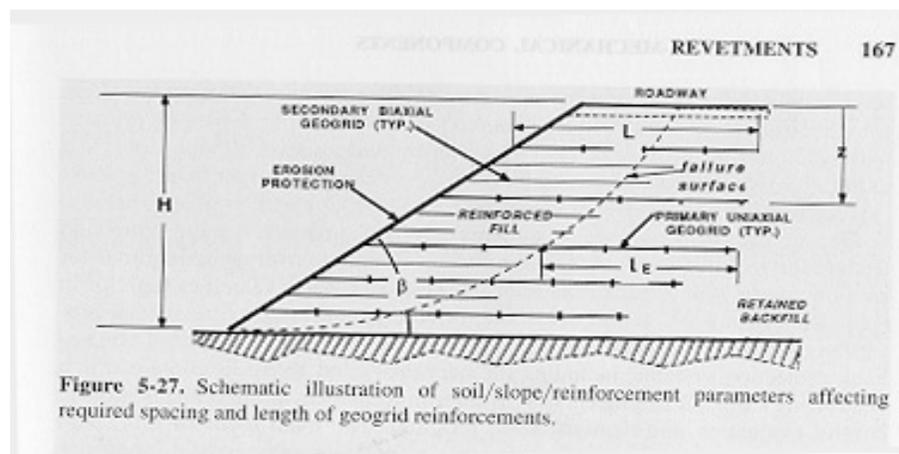
Normalmente estos sistemas se utilizan en obras de urbanismo y vialidad. Representan soluciones muy interesantes para ambientes con topografía irregular y montañosa típica a la existente en Venezuela. Cada día son más utilizados estos sistemas en vista de que son requeridos para ganar el mayor espacio posible sin comprometer la estabilidad de los sitios donde son realizados.

Todos los sistemas MSE existentes en el mercado deben ser calculados e inspeccionados oportunamente durante sus diferentes etapas constructivas. Estos sistemas siempre se diseñan satisfaciendo estas dos condiciones básicas.

- 1.- Estabilidad Interna del sistema Dependen de sus diferentes componentes y de las capacidades de esfuerzo-deformación de cada uno de ellos.
- 2.- Estabilidad Externa del sistema. Depende de la capacidad de deformación del sitio donde se vaya a construir y apoyar el cuerpo de tierra reforzada. Se deben analizar geotécnicamente con los métodos existentes en la materia con el fin de evaluar la seguridad que ofrece la zona de apoyo. Con ello se logra evitar que se produzcan superficies de deslizamiento o cuñas de deslizamiento en las zonas de apoyo del macizo.

2.2.1.- Sistema SIERRA® de Tensar Earth Technologies

Este sistema nace en la década de los años 80 como una necesidad de presentar a los proyectistas y a las Agencias de Transporte en los Estados Unidos de Norteamérica, soluciones de ingeniería que garantizaran la estabilidad de un sistema de tierra reforzada (MSE) sin paramento y más económico de construir que los sistemas tradicionales MSE.. Tiene una gran cantidad de aplicaciones en terraplenes y en taludes reforzados para vialidad y para urbanismos.



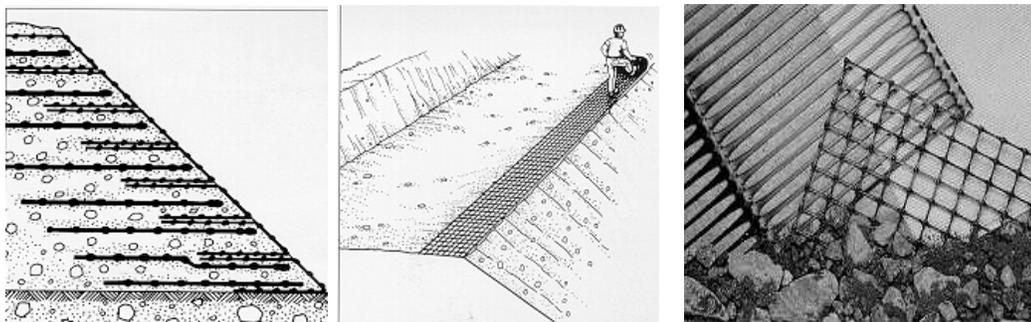
Los taludes reforzados con la ayuda de geomallas uniaxiales y biaxiales Tensar® permiten armar el suelo y obtener pendientes mayores a (1:1) y menores a 3 horizontal: 8 vertical

La longitud de empotramiento de las geomallas, por detrás de la superficie de falla en los taludes reforzados, viene dada por la siguiente ecuación:

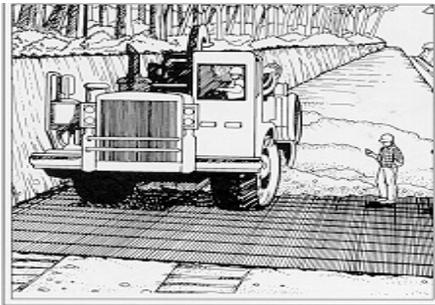
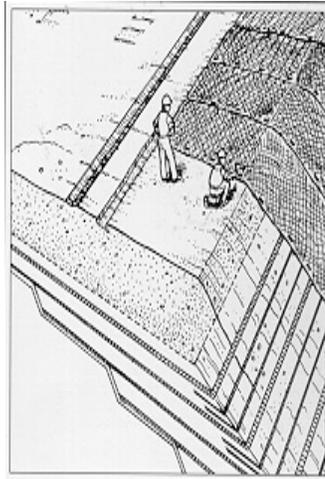
$$L_E = \frac{(FS) * T_{admisible}}{2((\gamma * z) + q) * \mu * \tan \phi}$$

- Donde:
- FS:** Es el factor de seguridad deseado en el diseño
 - T_{admisible}:** Tracción admisible en capacidad de carga de la geomalla uniaxial o biaxial (KN/m). **Valor muy importante que depende de la calidad de la geomalla.**
 - γ:** Peso Unitario del relleno (KN/m³)
 - μ:** Fricción entre la interfase entre el suelo y la geomalla. Se usa 1 para las geomallas Tensar®
 - φ:** ángulo de fricción material de relleno a emplear
 - z:** Profundidad entre la superficie y la posición de la geomalla (m)
 - q:** Sobrecarga vertical uniforme ubicada en la cresta del talud (KN/m²)

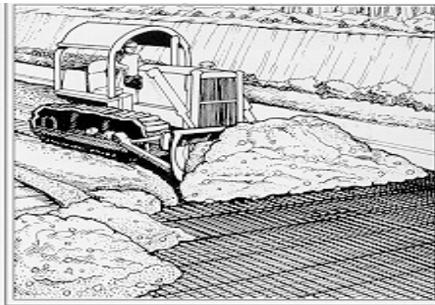
Normalmente se usa un espaciamiento (z) para el refuerzo principal con capas a cada 1 metro de geomallas uniaxiales con el largo determinado en el cálculo y capas a cada 33 centímetros de espesor y con largo de 2 metros para las geomallas biaxiales. Las geomallas principales uniaxiales se usan para reforzar el cuerpo del talud y las biaxiales para controlar la erosión en la caras superficiales (por ello solamente se requiere de 2 metros). Posteriormente se combina el sistema de capas de geomallas con mantos de control de erosión.



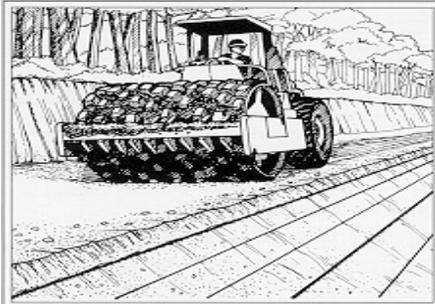
En la imagen un tipo de refuerzo en base a geomallas uniaxiales de polietileno de alta densidad (forma elíptica) resistentes a la deformación (creep) para el refuerzo primario (largas) y las geomallas biaxiales de resinas selectas de polipropileno (forma rectangular) para refuerzo secundario (cortas para el control de erosión).



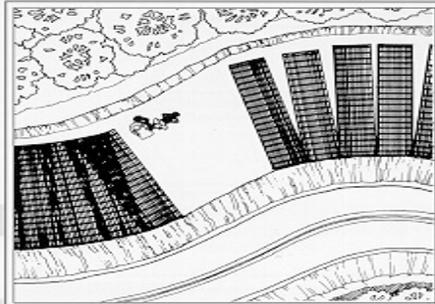
▲ FIGURE 7: Placing Fill



▲ FIGURE 8: Spreading and Levelling



▲ FIGURE 9: Compaction of Fill

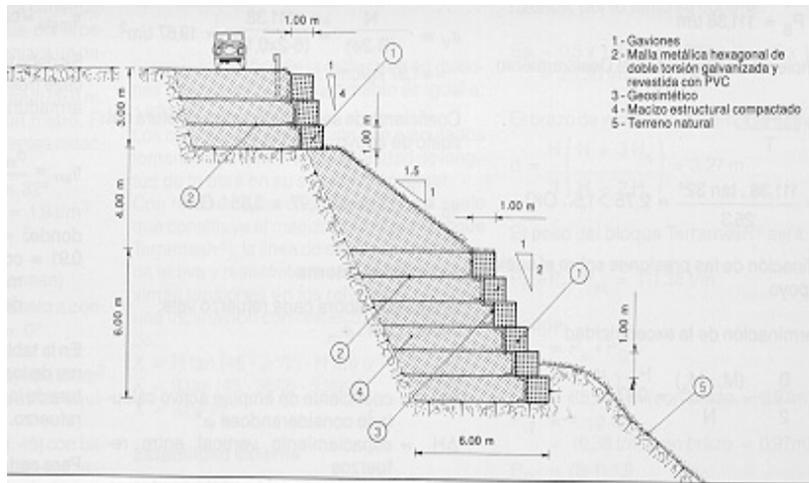


▲ FIGURE 10: Placing Geogrids on Curves

Proceso constructivo de un talud reforzado con la ayuda de geomallas Tensar®. Colocación y compactación con equipo pesado.

2.2.2.- Sistema Terramesh® de Maccaferri® (MSE con cara de gavión o sin ella)

Representa una técnica combinada de un talud reforzado con la ayuda de mallas de metal galvanizado con la tecnología GALMAC® (aleación eutéctica que combina la máxima mezcla de microcristales de Zn5%/Al), y con paramentos de gaviones logrados con las cestas prefabricadas. Normalmente los taludes entre los cuerpos reforzados no llevan mallas adicionales. En las siguientes figuras se presentan esquemas indicativos del sistema mencionado. En algunos casos y dependiendo de la altura conviene también reforzar los taludes intermedios.



2.2.3.- Sistema celulares de confinamiento con geoceldas Presto®.

Consisten en celdas tridimensionales de 20 cm de profundidad en que vienen en tiras de material polimérico (polietileno de alta densidad) y que al estirarlas producen la forma de un panel de abejas con arreglo de matriz. Pueden venir con huecos laterales para mejorar el drenaje y sin huecos. Tienen muchas aplicaciones entre ellas confinar las caras de los taludes y protegerlas de la erosión. Se pueden llenar con tierra negra después de fijarlas con los hilos especiales de PEAD-Nylon y las barras de anclaje. Las tiras normalmente vienen comprimidas de 3.0 metros de largo x 20 cm de alto x 15 cm de ancho (comprimidas). Al estirarlas como se aprecia en la imagen llegan a generar un panel de 2.5 metros de ancho x 6.0 metros de largo y 20 cm de altura. Cada celda o célula tiene 20 cm de ancho x 20 cm de altura x 20 cm de largo.



3.- EJEMPLOS SOBRE NUEVAS TECNOLOGIAS APLICADAS EN OBRAS DE TIERRA, ESTABILIZACION DE TALUDES Y CONTROL DE EROSION REALIZADAS RECIENTEMENTE EN VENEZUELA

3.1.- CASO 1: Macizo estabilizado mecánicamente (MSE) con la tecnología MUROS MESA® de Tensar® para un urbanismo de viviendas unifamiliares. Control de erosión con mantos de fibra natural, artificial e hidrosiembra.

Consiste en un macizo de tierra reforzada con geomallas de alta resistencia Tensar® HDPE uniaxiales y bloques segmentados prefabricados de concreto precomprimido. Presenta alturas variables entre 5 y 9 metros con un talud reforzado en la parte superior del muro. Sistema propuesto para lograr una terraza destinada a un urbanismo de 12 viviendas unifamiliares, en área de taludes de corte y con espacio limitado. Se presentan los sistemas de muro reforzado con geomallas conocido como MESA® y de taludes reforzados con geomallas conocido como sistema SIERRA® de Tensar® Earth Technologies. Longitud del muro 320 metros lineales. Area de la cara de bloques MESA® en sistema MSE: 2.500 m². Tiempo de ejecución: 7 meses.

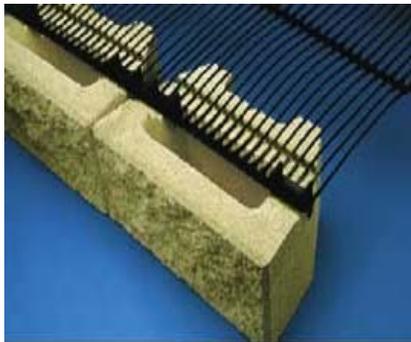


PHOTO: TENSAR

Bloque Estándar de 20 cm altura



Compactación con equipos pesado y liviano



Protección de taludes y base del muro con mantos de control de erosión sintéticos y naturales

En este proyecto fueron chequeados los siguientes aspectos durante la construcción del macizo Muro MESA® de Tensar®.

Evaluación geotécnica y geológica: Perforaciones con recuperación continua de muestras a percusión y rotación hasta de 25 m. Inventario de procesos y discontinuidades en el macizo rocoso. Ensayos de corte directo en muestras de roca tomadas en la base de apoyo de sectores representativos a lo largo de todo el muro.

Estabilidad interna: Verificación de la extracción (pullout) de las geomallas, sobreesfuerzo tensional y verificación local en los bloques del paramento mayores a 5 metros de altura. $F'c= 280 \text{ Kg/cm}^2$ en base de 0m a 5 m y $F'c= 250 \text{ Kg/cm}^2$ 5m a 9 m. Excentricidad del paramento.

Estabilidad externa: Verificación de factor de seguridad al deslizamiento, volcamiento y capacidad soporte del subsuelo de apoyo.

Estabilidad Global: Verificación con programa GSLOPE de la ladera evaluada en 15 secciones transversales. Factores de seguridad mínimos: entre 1.41 y 1.48. Evaluación de estabilidad bajo sismo empleado: 0.15g.

Capacidad de carga de las geomallas empleadas

Módulo de tracción real inicial en UXMESA3 = 1.105,0 Kn/m y UXMESA5 = 2.110,0 Kn/m.

Capacidad de carga admisible empleada en geomallas uniaxiales UXMESA3 = 27,4 KN/m.

Capacidad de carga admisible empleada en geomallas uniaxiales UXMESA5 = 55,0 KN/m.

Capacidad de tracción en juntas: UXMESA3 = 59.8 KN/m. y UXMESA5 = 129.3 Kn/m.

Rigidez Flexural: UXMESA3 = 670.000 mg-cm y UXMESA5: 6.000.000 mg-cm

Empotramientos: en roca meteorizada > 12% de la altura en todos los casos.

Control de compactación: durante toda la construcción. Verificación con Troxler 3440.

Alineamiento de los bloques: en sentido vertical, longitudinal y transversal.

Hidrosiembra: con sistemas de bombas y cañón de alcance a 30 metros de distancia. Control de vegetación en la cara expuesta del talud NAG C-125 con vegetación gramínea y en el pie del muro con manto de erosión NAGC350 y vegetación alta y espesa.

3.2.- CASO 2: Estabilización de un Talud con refuerzo de geomallas uniaxiales y biaxiales Tensar®.

Se presentan varias imágenes sobre un problema de erosión muy importante ocurrido con los años en el Tejero, estado Monagas. Se resolvió con la ayuda de la tecnología del sistema SIERRA® de Tensar® Earth Technologies. Esta solución fue propuesta para estabilizar un talud de 100 metros de longitud aproximadamente con 16 metros de altura, en suelos altamente erosionables, con cárcavas en avanzado estado de erosión y comprometiendo la seguridad funcional de una torre de transmisión eléctrica destinada para una empresa petrolera local.

Se presentan varias imágenes antes de realizar la estabilización del talud para mostrar la magnitud del problema.

Se realizaron dos perforaciones para establecer el perfil litológico en una sección entre la zona de apoyo de la antena y el pie del talud (carretera de acceso al Tejero). Los estratos muestreados indican la presencia de un perfil alternado de estratos granulares con suelos cohesivos.

Debajo de la torre y hasta -2.00 metros se muestrearon vetas arena arcillosas. (SC).

Por debajo de -2.00 metros y hasta -4.00 metros se encontraron arenas limpias (SP).

Entre -4.00 y -9.00 se muestrearon estratos de arcilla poco arenosa color morado claro (CL-CH). con intervalos de plasticidad baja a alta. Este estrato se encontraba apoyado sobre un estrato de arena limpia color marrón (SP). Finalmente se encontraron en la base del talud estratos de arcilla arenosa de baja a alta plasticidad, color morado claro.



Vista en Planta del sector afectado



Erosión progresiva del talud debajo antena



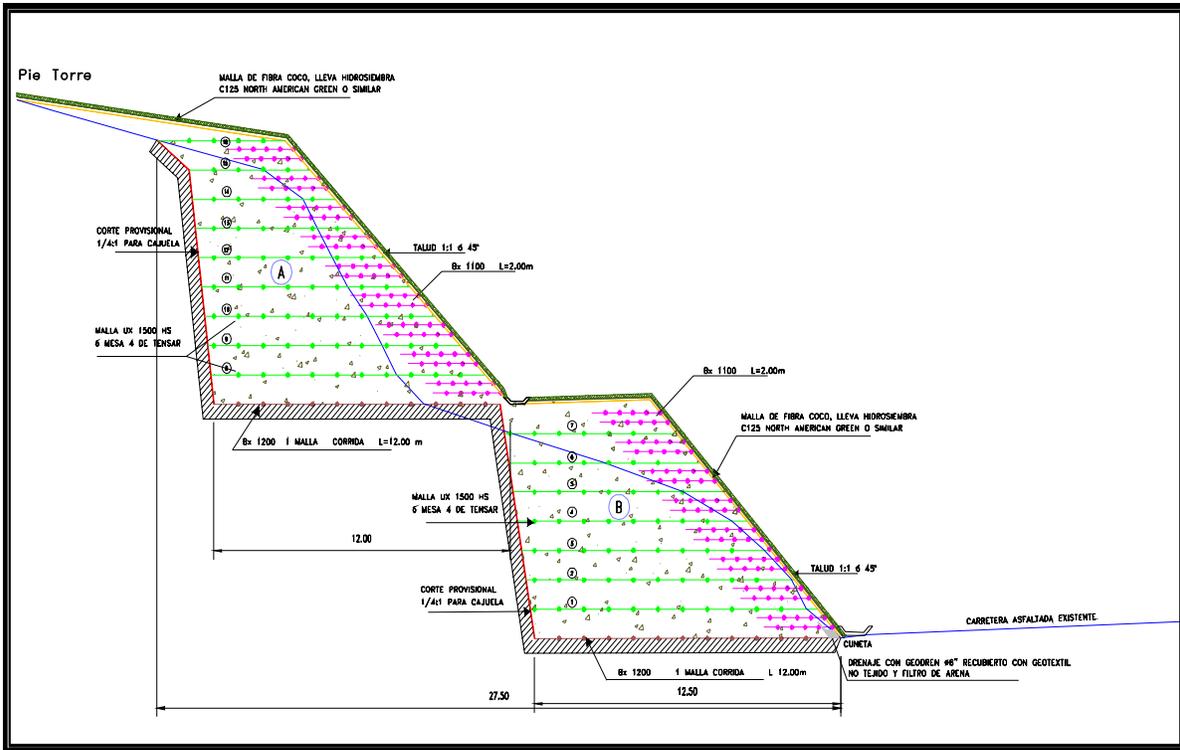
Estratos de suelos arenosos y arcillosos



Colocación de refuerzo secundario Bx1200



Protección de las obras de tierra con barreras vivas y mantos de control de erosión



Se evaluó esta sección para la reparación del talud afectado por la erosión eólica e hidráulica. Se diseñó el proyecto de reparación con un macizo reformado con geomallas principales y secundarias con una berma intermedia. La sección muestra una berma de 8 metros de largo y dos taludes de 8 metros cada uno de ellos.

Se realizaron los análisis de estabilidad de taludes con el programa GSLOPE, incluyendo (sismo) con una fuerza de 0.20 g debido a que la zona se encuentra en el oriente del país. Zona sísmica de importancia de acuerdo a la clasificación de Funvisis.

Se tomaron los siguientes parámetros para el diseño: ángulo de fricción interna del suelo promedio en los diferentes estratos: 30 grados. Peso unitario húmedo: 1.85 Ton/m³ y cohesión variable entre 0.2 Ton/m² y 2 Ton/m². Pendiente del talud máxima: 45 grados (1V:1H). Después del análisis de estabilidad se obtuvo con la sección de refuerzo propuesta los siguientes factores de seguridad mínimos: Estático: >1.42 < 1.50 y dinámico (sismo) > 1.10 y < 1.12.

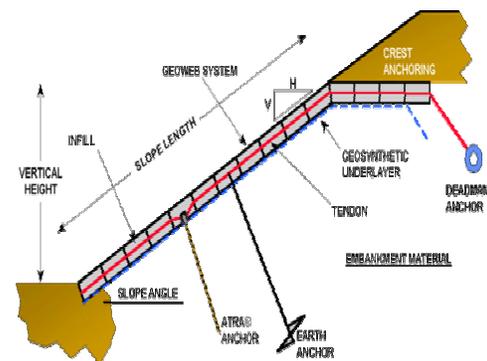
Espaciamiento de geomallas principales: a Cada metro. Cobertura: 100% Longitud= 12 metros desde la cara del talud.

Geomallas secundarias: BX 1200 cada 33 centímetros (2 por cada capa de 1 metro). Longitud igual a 2 metros a partir de la cara superficial del talud.

Control de erosión con mantos de fibra de coco natural NAG C-125. Cobertura 100% 1 capa. Hidrosiembra aplicada con hidrobomba y semillas gramíneas con pasto. En época de lluvia fuerte. Mayo-Junio. Construcción de barreras vivas para controlar el flujo de sedimentos.

3.3.- CASO 3: Protección contra la erosión de terraplenes en la Embajada Americana de Caracas con la técnica de geoceldas Presto® y mallas de control de erosión North American Green®.

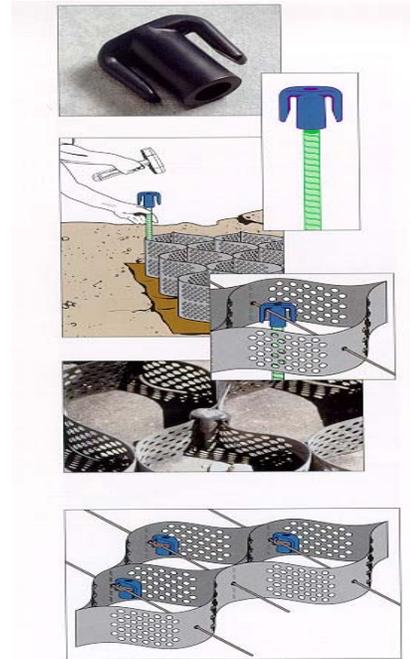
En estas imágenes se presenta una aplicación de dos sistemas. Ellos son los mantos de control de erosión de fibra de coco C-125 de North American Green® y las Geoceldas Presto®. Información cedida gentilmente por uno de los ingenieros agrónomos contratados por la embajada americana. Esta tecnología fue aplicada con éxito hace más de 10 años.



Detalle del uso de las células de confinamiento (geoceldas Presto®) para el control de erosión superficial en taludes de la embajada de USA. Cubierta vegetal actual de los terraplenes de relleno existentes en la Embajada Norteamericana. Protección previa con colocación de geoceldas e hidrosiembra para confinar el suelo donde se sembraron las diferentes especies.



Sistema de células de confinamiento Presto® empleado en la reforestación y el control de erosión del terraplén de relleno Embajada USA en Caracas.



REFERENCIAS

- Abramson L. W., (1996), "Slope Stabilization methods". Slope stability and stabilization methods. John Wiley & Sons, Inc. New York, pp 441-582.
- Berry, Karen A. CPESC. Colorado Geological Survey, Denver CO. Spence, Edward M. Natural Resources Conservation Service. Lakewood, CO, USA. "The cookbook doesn't work: Erosion and sediment control on steep slopes with highly erodible soils". Proceedings of Conference 32, February 5-9-2001. Las Vegas Nevada USA. International Erosion Control Association. Pages 211-221.
- Braja M. Das, "Principles of Foundation Engineering" Fifth Edition. (1999), PWS Publishing Company.
- Broda, Karel M. Environmental Engineer. Oregon, USA. "Stabilization of steep slope with micro soil nails". Proceedings of Conference 32, February 5-9-2001. Las Vegas Nevada USA. International Erosion Control Association. Pages 225-228.
- Bowles, Joseph E. "Foundation Analysis and Design" Fourth Edition, (1988), Mc Graw Hill.
- Covenin, Ministerio del Desarrollo Urbano, Funvisis, "Norma Covenin 1756-98". Edificaciones Sismoresistentes, Caracas, 16 de Diciembre (1998).
- Geosynthetics Conference 2001, Portland, Oregon, USA "Economics, Performance & Constructibility", February 12-14, 2001.
- Gray D. H., Sotir R.B. (1996) "Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization". John Wiley . P.378.

- HITEC (Highway Innovative Technology Evaluation Center). Civil Engineering Research Foundation (CERF), Report 40358 April 2000."Evaluation of the Tensar MESA® Retaining wall System.
- Hunt, Roy E. "*Geotechnical Engineering Techniques and Practices*", Mc Graw Hill, (1996).Geotechnical Engineering analysis and evaluation.
- Ingeosolum. "Estudio *Geotécnico de estabilidad de talud en el Tejero, Estado Monagas*". Perforaciones y ensayos de laboratorio. Ing. Jorge Martínez Ferrero. 20-10-99. Palmaven.
- Macafferri Meeting Solutions. Caracas 27 de Marzo de 2001. Hotel Tamanaco. Bibliografía de artículos y catálogos de productos.
- McCullah J. (2001). "*Biotechnical Soil Stabilization for Slopes and Streambanks*". IECA Professional Development Course. Training Manual. Las Vegas. 177p.
- North American Green® Company. Evansville, Indiana, USA. "Erosion control materials design software 4.11 for Windows® 98. <http://www.nagreen.com>
- Salcedo Daniel, Profesor Asociado UCV y USB "*Estructuras de contención como técnica de Estabilización*" XV Seminario Venezolano de Geotecnia 40 Aniversario. Caracas 4 al 6 de Noviembre de (1999).
- Suárez Díaz, Jaime, Profesor de la Universidad Industrial de Santander "*Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*", Bucaramanga, Colombia. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, (1998).
- Suárez Díaz, Jaime, Profesor de la Universidad Industrial de Santander, Simposio Latinoamericano de Control de Erosión, Bucaramanga, Colombia. Marzo 18 al 22 de 2002. "*La Bioingeniería en el control de erosión en ambientes tropicales*". Especificaciones para la construcción de obras de bioingeniería.
- Suárez Díaz, Jaime, Universidad Industrial de Santander, Colombia. "*Control de erosión en suelos tropicales*". Capítulos 6, 9 y 19. Libro de 545 páginas. Edición Año 2001.
- Tensar® Earth Technologies, Inc, Atlanta GA 30328. "*Slope Reinforcement system SIERRA® and Retaining wall system MESA®* .Catálogos de geomallas uniaxiales (HDPE) y Biaxiales (HDPP). Webpage: <http://www.tensarcorp.com>. Archivos pdf.
- Tensar® Earth Technologies, Inc, Atlanta GA 30328. Technical Note TTN:SR1 "*Slope Reinforcement with Tensar® Geogrids. Design and Construction Guideline*, 1997.
- Tensar® Advanced Design Techniques using Tensar Geogrids in Civil Applications. Bibliografía curso especializado realizado en Charleston, Carolina del Sur. Sep 7-11, 1999.
- Tensar® MSE Applications and Design Methodologies utilizing Tensar® Structural Geogrids. Bibliografía curso especializado realizado en Panamá,. May 21-25, 1999.
- Tensar® Soluciones de Ingeniería para obras de infraestructura y urbanizaciones. Bibliografía del curso especializado realizado en Caracas por la SVDG,. Nov 3-4 de 1999.
- Tensar® Aplicaciones de nuevas tecnologías para obras de infraestructura, urbanizaciones y protección del medio ambiente Bibliografía del curso especializado realizado en Caracas,. Junio 20-21 de 2001.
- Zencotech y GYGSA. Ing. Ernesto Herrera Martínez. Base de datos de trabajos Hidrosiembra.