

Universidad del Valle de Guatemala  
Facultad de Ciencias y Humanidades  
Departamento de Ingeniería Civil

Métodos constructivos para obras de protección playera contra la erosión marina

Trabajo de investigación presentado por José Fernando Toruño Díaz para optar al grado académico de  
ingeniero civil.

Guatemala

2004



Métodos constructivos para obras de protección playera contra la erosión marina

Universidad del Valle de Guatemala  
Facultad de Ciencias y Humanidades  
Departamento de Ingeniería Civil

Métodos constructivos para obras de protección playera contra la erosión marina

Guatemala

2004

---

Firma Asesor. (Ing. Edgar Urrutia)

Tribunal

---

Firma Asesor. (Ing. Edgar Urrutia)

---

Firma Terna (Ing. Juan Andrés Palma)

---

Firma Terna (Ing. Flanklin Matzdorf)

Fecha de Aprobación. (Octubre, 2004)

## ÍNDICE

	Pág.
LISTA DE CUADROS Y GRÁFICO.....	i
RESUMEN.....	ii
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. ANTECEDENTES.....	4
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
IV. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
V. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS.....	12
VI. METODOLOGÍA.....	13
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	37
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	39
IX. APÉNDICE I, Glosario.....	40

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1 (Retroceso de la línea playera).....	5
Fotografía 2, (Sobre oleaje).....	6
Fotografía 3(sedimento depositado).....	6
Fotografía 4 (remoción de material) .....	7
Fotografía 6 (rompeolas).....	8
Fotografía 5 (presas y diques).....	8
Fotografía 8(destrucción de vegetación, por obras costeras).....	9
Fotografía 7 (bocabarras).....	9
Fotografía 9 (gavión típico).....	13
Fotografía 10 (gavión típico).....	14
Fotografía 11(canal construido con gaviones).....	15
Fotografía 12 (rompeolas construidos con gaviones).....	15
Fotografía 13 (rompeolas construido con geosacos).....	16
Fotografía 14(protección de canal con geosacos).....	16
Fotografía 15(geosaco clocado como base de muelle de carga).....	17
Fotografía 16 (bombeo de mezcla en un geosaco).....	17
Fotografía 17 (buzo inspecciona estructura de geosaco).....	18
Fotografía 18 (Protección de talud costero con tapete anti socavación).....	20
Fotografía 19 (construcción de canal por medio de tapete anti socavación).....	21
Fotografía 20 (malla estaca utilizada como barrera en canal).....	26
Fotografía 21 (tabla estaqueado en el océano pacifico, Guatemala).....	27
Fotografía 22 (tabla estaqueado como muro de retención).....	28
Fotografía 23 (tablestacas a utilizar en la cimentación del Fuerte de San Juan de Ulúa, México).....	29
Fotografía 24(enrocamiento utilizado como protección de playa ).....	30
Fotografía 25 (enrocamiento como protección de playa).....	31
Fotografía 26 (colocación de hexápodos de concreto en canal).....	32
Fotografía 27(llenado de saco contenedor de arena).....	32

## LISTADO DE TABLAS

Tabla No.1, Tipos y características generales de los revestimientos tipo tapete.....	23
--	----

## RESUMEN

Erosión es el proceso dinámico de naturaleza física y química que desgasta y destruye continuamente los suelos y rocas de la corteza terrestre por medio de la acción incesante del movimiento del agua. Con el fin de proteger las áreas erosionadas o en peligro de ser erosionadas el hombre ha diseñado e implementado elementos físicos en diferentes métodos constructivos para poder controlar la erosión. Cada método constructivo varía desde los materiales, maquinaria y tipo de mano de obra para poderlos ejecutar. La variedad de estos métodos constructivos nos permite la elección del más indicado para cada tipo de área erosionada o área en la que se pueda presentar el fenómeno y se quiera proteger.

## I. INTRODUCCIÓN

El planeta Tierra está formado por una tercera parte de tierra y dos terceras partes de agua. Al interactuar estos elementos entre sí, ocurren ciertos fenómenos naturales que tienen como resultado la erosión.

Desde los inicios de la humanidad el hombre ha tratado de controlar estos dos elementos naturales y los resultados provenientes de la interacción entre ambos. El agua es vital para todo ser viviente, pero cuando representa un problema en lugar de una necesidad, la construcción de obras de protección debe ser implementada. Toda obra civil acuática debe estar acorde al medio circundante, conjugando con los demás elementos naturales que la rodean para que ésta pueda ser una solución y no convertirse en un problema más serio del que se presentaba.

Los diseños de obras de protección contra la erosión varían dependiendo desde los materiales de construcción que se dispongan, de la factibilidad del uso de maquinaria especializada, hasta de la calidad de la mano de obra que se requiera para su ejecución. Por eso de la existencia de un número creciente de métodos constructivos para evitar la erosión, ya que un solo método no se puede moldear para cualquier tipo de problema a resolver. Estos métodos varían tomando en cuenta la ubicación del problema, tipo de cuerpo de agua a controlar, tamaño y geología del predio a proteger, además del material existente en el área y conciencia ecológica.

## II. ANTECEDENTES. LA EROSION

Erosión costera es el proceso dinámico de naturaleza física y química que desgasta y destruye continuamente las playas y rocas de la corteza terrestre por medio de la acción incesante del movimiento del agua. Existen dos tipos de erosión costera dependiendo de sus causas. La erosión geológica o natural y la erosión acelerada o inducida por el hombre. La primera es debida a la acción de agentes y procesos naturales que actúan a lo largo de millones de años; mientras que la erosión causada por el hombre es el resultado de la acción antrópica y sus efectos se dejan sentir en un periodo de tiempo mucho menor.

Aunque los incidentes más serios en lo que se refiere a erosión ocurren durante tormentas, hay muchas otras causas naturales e inducidas por el hombre que deben ser analizadas.

Las causas naturales que producen la erosión pueden ocurrir como respuesta de la playa o del medio circundante a efectos naturales, tales como: tormentas, sismos, maremotos, inundaciones y efectos eólicos. La erosión inducida por el hombre ocurre cuando se modifica artificialmente el sistema natural de la playa.

Muchas de las acciones inducidas por el hombre que llegan a producir erosión playera se deben a la falta de comprensión de las mismas, pudiéndose evitar con una buena administración de la playa. Sin embargo, en algunos casos la erosión costera puede ser producida a causa de proyectos que son económicamente importantes, estos proyectos deben llevar una conciencia costera teniendo en cuenta que el trabajo de los mismos afectará de una u otra manera al sistema playero circunvecino. La solución es buscar un diseño que trabaje acorde con las condiciones originales para que siempre esté en armonía con el sistema natural del área.

A la fecha, muchas y muy variadas han sido las experiencias y las investigaciones a este respecto, no sólo en la época contemporánea, sino desde los albores de la ingeniería como ciencia, y más intensivamente desde la llegada de la mecánica de los suelos. Pero aun así, día a día son incontables las pérdidas económicas ocasionadas por fallas de taludes, sean estos en cortes o terraplenes. Uno de los fenómenos que ocasiona la inestabilidad es la erosión, provocada ya sea por agentes de tipo hidráulico, eólico o mecánico.

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CAUSAS DE LA EROSION

#### A. CAUSAS NATURALES

-Elevación del nivel del mar. La elevación del mar por causas naturales como el calentamiento global da como resultado un lento retroceso de la línea playera, ocasionada parcialmente por la inundación directa y en parte como resultado de la adecuación del perfil de la playa con el nivel del mar. (Fotografía 1).



*Fotografía 1 (Retroceso de la línea playera)*

-Variabilidad en la cantidad de sedimento proporcionado a la zona litoral. Cambios en el clima mundial pueden producir una reducción en la cantidad de inundaciones en ríos lo que causa la falta de sedimentos en la línea playera.

-Oleaje de tormenta. Olas verticales causadas por una tormenta costera dan como resultado la transportación de arena fuera de la playa almacenándola temporalmente en barras. Con el pasar del tiempo el regreso de la arena a la playa se puede dar por medio del transporte natural en un periodo más largo al que tomó para retirarla. En la mayoría de los casos los materiales no son devueltos en su totalidad ya que éstos quedan perdidos permanentemente en profundidades mayores al nivel de la playa.

-Oleaje y sobre oleaje. El sobre oleaje es un fenómeno el cual ocurre en periodos de tormenta y bajo la acción severa de las olas. Las olas y el agua corren por la playa erosionándola, transportando y depositando material mar adentro, trabajando como un abanico de sedimento que se mueve en las orillas de la bahía. (Fotografía 2).



*Fotografía 2, (Sobre oleaje)*

-Viento. La remoción del material suelto en la playa por medio de la acción eólica puede ser una causa significativa para producir la erosión.

-Transporte de sedimento por la costa. La arena es transportada por la costa por medio del rompimiento de las olas a un ángulo de playa. Si el sedimento removido es mayor a la capacidad de estas corrientes costeras de suplir naturalmente a la playa de material dará como resultado la erosión de la misma. (Fotografía 3).



*Fotografía 3(sedimento depositado)*

-Baja cantidad del sedimento en la playa. La baja en cantidad del sedimento playero puede ser ocasionado por la acción de las olas redistribuyéndose a lo largo de la playa dependiendo de las propiedades hidráulicas y del perfil de la misma. Este mecanismo es particularmente importante en el diseño de protección playera ya que el método incluye la selección y pérdida del material fino en la región fuera de la costa, así como la retención del material pesado en la zona de reventazón requiriendo un llenado adicional en orden de balancear esta pérdida.

## B. CAUSAS INDUCIDAS POR EL HOMBRE

-La remoción de material natural del lugar en un lapso de tiempo reducido utilizando maquinaria pesada. La interrupción del transporte de material. Este factor es probablemente la causa más importante por la cual la erosión es producida por el hombre. A menudo el material se pierde permanentemente en lo bajo de la playa, ya sea por deposición o por movimiento del material hacia una zona activa del litoral o por la construcción de barras, socavaciones y la tendencia al movimiento de las playas. (Fotografía 4).



*Fotografía 4 (remoción de material)*

1. La reducción del sedimento en la zona litoral. En algunas áreas, el transporte de sedimento por la costa de ríos es disminuido por presas que reducen la altura de inundación de los mismos y por ende la cantidad de sedimento movido, ocasionando la erosión en la playa. (Fotografía 5).



*Fotografía 5 (presas y diques)*

-Concentración de la energía de oleaje en la playa. La construcción de estructuras costeras (como paredes verticales) ya sea en la zona activa de la playa o en la parte superior de ella, pueden incrementar la cantidad de energía dispersa por el oleaje en la playa confrontando la estructura, incrementando así la erosión en el área. (Fotografía 6).



*Fotografía 6 (rompeolas)*

-Variación del nivel del oleaje. La excavación e incremento del ancho de bocabarras naturales que permitan la navegación en esteros y lagunas costeras pueden afectar el rango de la marea y proporcionar olas de mayor tamaño entre la construcción marítima y las playas adyacentes. El incremento

del rango del oleaje también expondrá a las construcciones efectuadas a ser atacada por la acción de las olas. (Fotografía 7).



*Fotografía 7 (bocabarras)*

**Cambio de protecciones en la costa.** La destrucción de barras de arena aledañas puede cambiar el patrón de energía disipada en la playa. Si el cambio incrementa la energía de la ola que actúa en un sector de la playa, la erosión se mostrará fácilmente en la misma parte. En la playa, el cambio de nivel de dunas, la destrucción de vegetación playera, la fundición de perfiles playeros y la construcción de canales para barcos permitirán que la erosión se acelere en las playas aledañas. (Fotografía 8).



*Fotografía 8(destrucción de vegetación, por obras costeras)*

-La remoción de material de la playa. Excavación de material de la playa es algunas veces utilizado en minería para la extracción de los minerales que contiene o en otros casos es utilizado como agregado de construcción. Para cualquier propósito la pérdida directa de este material resultará en la acción inmediata de erosión en el área atacada.

## IV. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### A. OBJETIVOS GENERALES

- Conocer las diferentes causas por las que se puede producir la erosión en un medio.
- Determinar la diferencia entre distintos métodos para la protección contra la erosión y así poder establecer el más adecuado para cada situación.
- Visualizar el problema de erosión como un problema latente en toda construcción en la que se encuentre un medio acuático.
- Conocer diferentes métodos para la protección de playas y como sistemas acuáticos son atacados por algún tipo de erosión.

### B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el uso de sistemas constructivos para la protección marina contra la erosión.

- Conocer la variedad de métodos que pueden ser utilizados como sistema de protección contra la erosión.
- Poder determinar de varios métodos el más conveniente para resolver el problema de la erosión en un área específica.
- Conocer la variedad de métodos que existen para la protección de obras marinas y cómo estos pueden ser utilizados conjuntamente para resolver un mismo problema de erosión.

## V. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

Entendiendo y analizando las diferentes causas que puedan dar lugar a la erosión en un sistema establecido, la respuesta a este problema puede ser razonada con mayor facilidad y con un alto grado de éxito en su ejecución.

Existen diversos métodos constructivos para la protección de áreas en contra de la erosión, los cuales trabajan con distintos materiales, además de tener diferentes necesidades de mantenimiento y construcción.

La variedad de éstos nos permite la elección del más indicado para cada tipo de área erosionada o área en la que se pueda presentar el fenómeno y se quiera proteger. Aunque en algunos casos un método no es suficiente para la efectiva protección, la mayoría de diseños pueden ser combinados y así lograr un adecuado funcionamiento de protección y vida de los mismos.

Los métodos varían desde su funcionamiento hasta la maquinaria necesaria para su realización, ciertos métodos son más factibles de ejecutar en ciertas áreas que otros. Las razones varían desde tipo

económica o simplemente logística, además cada método está diseñado para controlar ciertos tipos de áreas erosionadas y pueden no servir para otros. Por esto el análisis de las causas de la erosión debe ser tan importante para la adecuación del método elegido a la protección del medio.

Desde el punto de vista económico, los múltiples y variados aspectos que intervienen plantean generalmente un verdadero reto, ya que la obra de protección debe conjugar con un costo razonable en su fase constructiva y tener un adecuado diseño para la protección efectiva del área y a su vez debe ser tal que en su fase operativa, el mantenimiento, resulte mínimo. Así mismo, dentro de la etapa de construcción, se fija como norma que el revestimiento utilizado en la construcción resulte eficiente y económico, a un ritmo de colocación adecuado.

Además, de las características múltiples, a veces imprescindibles, de los suelos por proteger complican aún más la labor del proyectista y de la empresa constructora, ya que no es posible estereotipar un revestimiento de tipo universal que cumpla infaliblemente con las distintas condiciones que estos presenten. Cada problema requiere de un análisis que permita llegar a una solución óptima.

A continuación se describen algunos de estos métodos constructivos para protección de áreas en contra de la erosión. Se analizará cada método y se ejemplificarán los usos más frecuentes de estos por individual en el campo de la obra civil de protección. Además se analizará un problema ejemplo en el que tres de los métodos descritos pueden llegar a ser utilizados en combinación para encontrar una misma solución al problema propuesto.

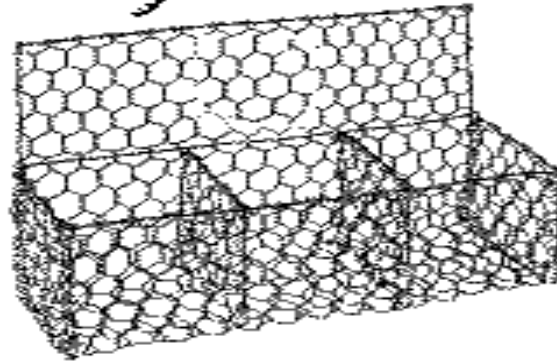
## VI. METODOLOGÍA

### A. METODOS CONSTRUCTIVOS CONTRA LA EROSIÓN

#### 1. El Gavión. (Fotografía 9,10)



*Gabione*



*Fotografía 9 (gavión típico)*

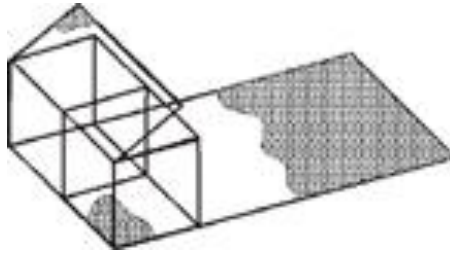
El problema de la erosión adquiere gran importancia en zonas donde los ríos y arroyos o áreas con pendientes hidráulicas muy pronunciadas de régimen torrencial requieren de obras de defensa para su control, las cuales pueden construirse utilizando los materiales y la mano de obra de la región con el sistema conocido como gavión.

El sistema se funda en la confinación de piedras extraídas de cantos rodados y boldos existentes en las cercanías de la obra las cuales son transportadas y acomodadas dentro de los gaviones por personal de la región. La piedra se acondiciona en el interior de cajas o huacales de alambre de acero galvanizado con un enrejado tipo triple torsión, este alambre puede estar recubierto de PVC o bien conformado con malla de polietileno extruido a alto impacto.

Las estructuras en gaviones, debido a su flexibilidad, pueden acompañar asentamientos o acomodamientos sin perder su eficiencia y función estructural, contrariamente a las estructuras rígidas o semirrígidas. Esta característica es especialmente importante en el caso de estructuras construidas sobre suelos de baja capacidad de soporte.

Los gaviones son altamente permeables y drenantes, permitiendo el flujo de las aguas, aliviando empujes hidrostáticos y optimizando las secciones de dichas estructuras.

El armado del gavión normalmente se realiza en forma de caja en el lugar donde quedará definitivamente, ésta es una gran ventaja ya que permite después de coser la tapa de la cajuela, unir entre sí con amarres de alambre los elementos circunvecinos constituyendo así estructuras semimonolíticas de peso importante, pero de gran flexibilidad.



*Fotografía 10 (gavión típico)*

El costo de las obras construidas con algún diseño de gavión es inferior en prácticamente todos los casos si se compara a los métodos convencionales. El costo es bajo básicamente por dos motivos

1. Se utiliza mano de obra no especializada, barata, que se puede contratar en las localidades cercanas a la obra.
2. Se utiliza material aledaño a cada lugar, disminuyendo sustancialmente los renglones de transporte y acarreo.

Utilizando apenas malla y piedra, permiten rapidez de ejecución y posibilidad de trabajo en locales de difícil acceso y condiciones climáticas adversas, el mismo en presencia de agua. Inmediatamente después de haber sido montados, rellenos y cerrados, los gaviones están listos para desarrollar su función. Permiten la construcción de la obra en etapas y eventuales ampliaciones y modificaciones. (Figura 11 y 12)

Cuando son comparadas a obras técnicas constructivas, las estructuras en gaviones presentan costos directos e indirectos más bajos. Otro factor económico importante es la posibilidad del aumento de la productividad utilizando equipos mecánicos en las operaciones de relleno.

Los rendimientos de llenado son variables pero una brigada en condiciones normales de 16 hombres deberá llenar en un turno de 8 horas, entre 8 y 12 gaviones roca de 3 x 1 x 1 m.

Los gaviones pueden surtirse en varias dimensiones ya listos para armarse o bien en rollos de diversas longitudes y ancho; debido a un proceso especial de galvanizado que, a pesar de los efectos de corrosión del metal, su duración debe exceder los 20 años, pero contando con el recubrimiento de cloruro de polivinilo la duración es todavía mayor y con el polietileno extruído el problema de corrosión desaparece totalmente.

En experiencias de otros países se ha observado que los huecos entre las piedras de relleno son ocupados por material de arrastre lográndose una conglomeración bastante sólida a pesar de que la malla llega a desaparecer.

Las estructuras en gaviones se adaptan a cualquier ecosistema, no constituyen obstáculos al paso de las aguas y están constituidas por materiales inertes que favorecen la recuperación rápida de la fauna y de la flora.

Sus aplicaciones son muy amplias; construcción de espigones de control, espolones, protecciones marginales, diques, muros vertedores, reforzamiento de canales y taludes, muros verticales de soporte, protección de pilas de puentes, bordos para control de erosión de suelos, dunas, etc.

Las estructuras en gaviones presentan también un aspecto social bastante relevante, dado que permiten la utilización de mano de obra local no especializada y pueden ser construidas en régimen comunitario.



*Figura 11 (canal construido con gaviones)*



*Figura 12 (rompeolas construido con gaviones)*

## 2. Geosaco de concreto

El Geosaco de concreto consiste en una bolsa de material geotextil, hecha especialmente para resistir la exposición al medio acuático, teniendo la función de contener mortero de cemento y arena hasta su endurecimiento. El mortero es colocado en sitio adentro del geosaco a través de una manguera que conduce desde la playa el mortero bombeado y fabricado con arena extraída del lugar.

El geosaco comprende un sistema mediante el cual se funden directamente en el lugar grandes bloques de concreto bajo el agua, en zonas de rompientes o de fuertes corrientes, utilizando grandes cadenas de geotextiles flexibles de material sintético impermeable. Los equipos requeridos de dosificación de mezclado y bombeo son relativamente económicos, ligeros y fácilmente transportables al lugar de la obra. El mezclado se puede realizar por medio de una mezcladora portátil o directamente del camión mezclador y el bombeo con una bomba convencional para bombear concreto o con una bomba para lanzar shotcrete.

Gracias a la envoltura protectora, la mezcla fresca nunca entra en contacto con el medio externo, evitando deslaves y contaminaciones propias de las fundiciones subacuáticas, lográndose bloques muy homogéneos y resistentes. Las dimensiones de los elementos se modulan de acuerdo a los requisitos de forma y peso de cada proyecto en particular. Dependiendo del tipo de proyecto y área a utilizar el geosaco, éste puede ser cosido antes de su llenado para igualar el área deseada a trabajar.

Existe la posibilidad de lograr diseños especiales, al interconectar los elementos de geosaco utilizando cables o barras, lográndose así un gran incremento en el factor de fricción entre ellos.

El geosaco es actualmente utilizado en la construcción, como geomembranas flexibles para la fundición de elementos de gran peso, que formen parte de rompeolas, diques de contención, protecciones costeras y muros de muelle; sirviendo también, –entre otras obras hidráulicas fluviales o marítimas- para cimentar o reparar estructuras socavadas o dañadas.

La construcción de rompeolas mediante el uso del sistema de geosaco por etapas ha sido la solución empleada con éxito en varios países. La utilización de este tipo de construcción ha significado una gran disminución de volúmenes de obra, tiempo y costo de este tipo de construcciones, constituyendo así un fuerte atractivo, especialmente para los países con serias restricciones presupuestarias. (Figura 13, 14 y 15)



*Fotografía 13 (rompeolas construido con geosacos)*



*Fotografía 14(protección de canal con geosacos)*



*Fotografía 15(geosaco clocado como base de muelle de carga)*

El procedimiento básico consiste en bombear hacia el interior de estos sacos textiles una mezcla fraguable, previamente mezclada. (Figura 16) La idea de ser llenadas directamente en el sitio constituye otro factor importante para así evitar las costosas maniobras de transporte y colocación, y con ello eliminar los pesados equipos de construcción que estos movimientos implican.



*Fotografía 16 (bombeo de mezcla en un geosaco)*

Cuando las operaciones se realizan bajo el agua, normalmente se requiere la intervención de trabajadores anfibios que van colocando en el lugar preciso, según un programa y orden preestablecido, los sacos vacíos, sosteniéndolos e interconectándolos con los elementos vecinos previamente colocados, hasta que tienen en su interior suficiente peso para no ser desplazadas por las corrientes o el oleaje.

En los últimos años han estado desarrollando una serie de métodos que eliminan la necesidad de utilizar buzos durante las fundiciones bajo el agua, limitando su participación a labores de inspección y supervisión. (Fotografía 17) Otros procedimientos simplificados permiten la fundición bajo el agua y la colocación de la mezcla directa cuando se presentan condiciones extremas, especialmente en emergencias e inundaciones.



*Fotografía 17 (buzo inspecciona estructura de geosaco)*

Ante la necesidad de obtener factores de diseño y cálculo que estén de acuerdo con las dimensiones de los elementos fundidos bajo el agua con sacos textiles reforzados, se realizaron una serie de estudios en laboratorios:

- En el instituto de ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- En Rio de Janeiro, el Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviarias (INPH), dependiente de la Empresa de Puertos de Brasil, PORTOBRAS, ha efectuado una serie de estudios muy completos en canal de olas y en tridimensional de fondo móvil para diversos proyectos, ratificando el excelente comportamiento de un tipo de geosaco de concreto ante olas de gran energía.
- Tetra Tech, Inc. de Pasadena, California, por cuenta de un grupo de empresas petroleras norteamericanas y la Alaska Oil & Gas Association, revisó cuidadosamente todos los estudios de laboratorio de cómo un tipo de geosaco de concreto trabaja con miras a su aplicación en el Mar de Baufort, en el norte de Alaska, para proteger islas artificiales.

Entre las conclusiones de los estudios, se ha encontrado que para la estabilidad, orientación, acomodo, orden de colocación, entrelazamiento, protección anti socavación al pie de las estructuras e interconexión con fuertes cables flexibles, es importante que por lo menos las tres capas superiores de

elementos de geosaco de concreto, el elemento de la corona, tengan mayores dimensiones y peso que los demás.

Los resultados reales ante condiciones oceánicas extremas, recopiladas durante 17 años, han sido ampliamente satisfactorios. El huracán Brenda entro a tierra en Tabasco (México), muy cerca de donde se construyeron dos rompeolas con un tipo de geosaco de concreto. Los daños fueron mínimos y limitados a los elementos recién fundidos. El ciclón Carmen pasó sobre los rompeolas en construcción de las obras de toma y descarga de la Termoeléctrica Campeche II (México), ocasionando escasos perjuicios. El ciclón del siglo Gilberto no dañó ningún de los 12 rompeolas de geosaco en la península yucateca (México).

Existen datos sobre el comportamiento de elementos del tipo del geosaco de concreto en otros lugares del mundo, también ante ciclones tropicales; esto corrobora que, si su colocación ha sido según diseño y evitando asentamientos, dichos elementos resisten de manera muy satisfactoria los oleajes de tormenta, que tienen gran energía por su altura y elevada longitud de onda.

Por ejemplo, existen protecciones marginales cercanas al Puerto de Santo Tomas de Castilla, en Guatemala; rompeolas en el litoral de Venezuela; protecciones marginales de la Terminal Marítima de la Refinería de la Hess Oil Virgin Islands Corporation, en Saint Croix; protección de tuberías en Curazao, Antillas Holandesas; protecciones marginales en la Costa de California en Goleta, cerca de Santa Barbara, entre otras muchas más, en Sudamérica, África y Medio Oriente.

Cabe señalar que originalmente la tecnología de mezclar mortero en obra bajo agua con sacos textiles reforzados se enfocaba hacia países en desarrollo, para crear empleos productivos entre los habitantes de las cercanías, los cuales se capacitaban en el mismo trabajo, aprovechando al máximo los recursos disponibles en el lugar y con la utilización de equipos pequeños y fácilmente transportables. De ahí que en algún momento se les haya denominado obras costeras de mano de obra por su alto sentido social y práctico, que asegura la permanencia en la región de más del 35% de la inversión.

Por el hecho de que cada elemento se funde exactamente en el sitio indicado por el diseño, es posible, en la mayoría de los casos, optimizar el proyecto, minimizando los volúmenes de obra, lo cual obviamente disminuye los tiempos de ejecución y especialmente los costos.

Por lo antes indicado, varios países desarrollados han aplicado esta tecnología con éxito, ajustándola a sus necesidades: los altos costos de la mano de obra determinan que se reduzca a sólo cuatro trabajadores y que el concreto se surta por medio de camiones premezcladores desde las plantas cercanas, sin que los costos finales dejen de ser atractivos.

La velocidad de avance queda establecida por la capacidad de suministro y bombeo del concreto, pues se pueden aumentar los turnos y los frentes de trabajo para cumplir con los plazos requeridos en los programas de obra, los cuales deben fijarse de acuerdo con las condiciones de marea y estado del mar, para lograr la máxima eficiencia.

El sistema permite perfeccionar los transportes, ya que los sacos textiles vacíos, que pesan pocas Libras, ayudan a construir enormes geosacos de concreto de varias toneladas en unos cuantos minutos.

En ciertos casos se ha reclamado tierra al mar, conteniendo los rellenos por medio de diques de sacos rellenos de mezcla que cuestan menos que el rebombeo del dragado a los lugares autorizados de descarga. Además, aparte del ahorro en tiempo, se logran zonas verdes y de recreo, como fue el caso del Paseo del Lago, en Maracaibo, donde se recuperaron 67 hectáreas con aproximadamente 2 km. De rompeolas. Un proyecto similar fue presentado por Brown & Root a las autoridades del puerto de Free Port en Texas, para profundizar el canal y recobrar un área junto al rompeolas oeste.

Por otro lado, se han utilizado en la reparación y protección de muelles, como en el caso de 700 m. de la terminal marítima de Santa Martha por cuenta del Compuertos (Puertos de Colombia.)

Además se han utilizado los geosacos de concreto para detener el efecto de erosión al pie de la hidroeléctrica Chixoy, Baja Verapaz en Guatemala.

En repetidas ocasiones, se han colocado tipos de geosaco de concreto como coraza de protección de contenedores textiles llenos hidráulicamente con arena para formar el cuerpo principal de la estructura. Ejemplo de esto es el acceso y rompeolas en el puerto de San Jorge en el Lago de Nicaragua, realizados por una empresa local por cuenta del departamento de navegación.

Vale la pena señalar que este método ha sido ejecutado con más facilidad en las costas del océano Atlántico que en las costas del océano Pacífico, ya que las fuertes rompientes del oleaje no permiten un fraguado homogéneo del mortero dentro de la bolsa, teniéndose que utilizar aditivos acelerantes del fraguado o bien metodologías alternas de construcción que puedan ser utilizadas en las zonas de rompiente.

### 3. Tapete Antisocavacion Lastrado en Sitio

En este sistema se inyecta el mortero al interior de un contenedor sintético, formado por dos capas de tela de alta resistencia para formar un revestimiento. La innovación consiste en refuerzos espaciados, continuos y entretejidos. Una vez llenos los interiores, se logran los espesores y características del proyecto.

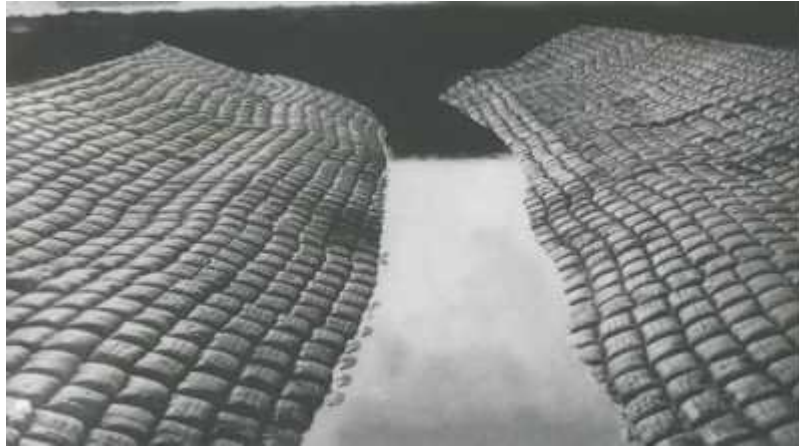


*Fotografía 18 (Protección de talud costero con tapete antisocavacion)*

El tapete es utilizado para la protección, impermeabilización y consolidación de taludes y causes de ríos, en la construcción de canales y defensas playeras, en el lastrado y en la protección de tuberías. (Fotografía 19)

El tapete comprende ciertas características que la identifican como el método mejor adaptado para la protección de taludes entre las cuales se incluyen:

- Se pueden llevar a cabo revestimientos rígidos o flexibles y a la vez pueden ser de tipo impermeable o permeable.
- Se puede colocar bajo el agua, lo cual permite se continúe con el servicio de llenado o drenaje y evita la construcción de obras de desvío.
- Ciertos tipos son adecuados para evitar el crecimiento de vegetación. A su vez, existen otros tipos que dan lugar a que la vegetación crezca a través de el, lo cual resulta recomendable para fines estéticos o ambientalistas.



*Fotografía 19 (construcción de canal por medio de tapete anti socavación)*

A la fecha se han desarrollado cinco tipos básicos, y de estos se discutirán únicamente los tres más utilizados.

a. TIPO ESTANDAR (E)

Este tipo, denominado así por su apariencia, resulta muy eficiente para protección de suelos estables no propensos a asentamientos. Su apariencia, una vez terminado, es de una serie de prominencias o de una colchoneta, siendo su textura exterior tal que presenta una superficie adecuada para escurrimiento del agua.

A su vez, pensando en la necesidad de cierto efecto de articulación y como ayuda para el efecto de alivio de supresión, los paneles individuales pueden unirse entre sí con tiras de material textil sintético, cosidas de tramo en tramo.

Este tipo de revestimiento ha sido diseñado para cubrir una amplia gama de necesidades, para lo cual se dispone de espesores que varían de 8 a 25 cm (Ver tabla 1).

Estos elementos se llenan en sitio, sobre la superficie por recubrir, utilizando bombas de concreto para inyectar mortero o concreto a través de tuberías que se insertan desde la parte superior, entre las dos capas de tela. Se hace notar que la característica de estos elementos es tal que pueden ser colocados y llenados bajo el agua, utilizando un equipo ligero y buzos con equipo adecuado. Por el solo hecho de poder colocar y llenar bajo el agua, resulta ideal para aquellos casos en que no es posible suspender un servicio de suministro o desagüe. Asimismo, esta facultad evita las costosas operaciones de desviación, que en sí constituye un problema. Por ser el material que lo constituye semipermeable, para algunos casos específicos, cuando el proyecto así lo requiriese, podría emplearse como elemento filtrante, ya que se le puede llenar con arena.

b. TIPO ARTICULADO (A)

Este revestimiento está formado por una serie de unidades en forma de cuadros, el cual funciona en grupo como una entidad flexible o articulada. Se utiliza para taludes en los cuales se

considera cederá el suelo de apoyo. El elemento articulador lo constituye una tira, también de material textil sintético, que a la vez actúa como filtro para alivio instantáneo de supresión.

Con objeto de ofrecer al ingeniero una amplia gama de posibilidades y poder contar con los elementos más adecuados para cada caso en particular, este tipo de tapete puede encontrarse con espesores que varían desde 10 a 30 ms. (Ver tabla, No.1). Ello da lugar a que exista bastante libertad para cubrir los requerimientos propios de cada proyecto, ya que por experiencia las condiciones básicas de cada proyecto no suelen ser parámetros fijos, sino que requieren de soluciones diferentes para cada caso.

El área de filtro de los tapetes es suficiente para que ocurra un trabajo eficiente de disipación instantánea de las fuerzas de subpresión. Lo mismo se puede comentar en lo que a efecto de asentamientos diferenciales se refiere.

La enorme ventaja de articulación permite que éstos actúen como los elementos antierosivos para proteger pies y talones de muros, estructuras fluviales y marinas, ya que se logra mantener alejado del pie de la erosión, al “seguir” este revestimiento los contornos sin que estos se rompan. Este proceso de acompañamiento da lugar a que los costos de mantenimiento se vean reducidos.

#### c. TIPO INTERCALADO (I)

Este tipo que solamente se llena en forma parcial con mortero presenta la apariencia de una malla gruesa, por lo cual se le conoce como tipo intercalado. Resulta especialmente recomendable y propio para aquellas superficies que no estarán muy frecuentemente en contacto con el agua, obteniéndose simultáneamente una protección adecuada y de bajo costo por el considerable ahorro que se obtiene en el volumen requerido de materiales de construcción.

Entre los cordones sólidos que forman la malla, permanece la cubierta cuadrada de material textil, misma que puede ser cortada una vez que ha fraguado el mortero, con lo cual da lugar a que en estos huecos crezca la vegetación en forma natural, o bien se implante en ellos vegetación especialmente seleccionada para fines ornamentales.

Este aspecto resulta especial y distintivo, ya que para protección de taludes en zonas urbanas o residenciales se rompe el aspecto gris de los recubrimientos usuales por uno agradable y efectivo, que además cumple ampliamente con los requisitos de tipo ambientalista.

Dependiendo de las condiciones climáticas y del suelo, en poco tiempo la vegetación empieza a crecer a través de los cuadros y puede llegar a cubrirlos completamente.

Debido a los motivos de economía antes enunciados, este tipo es de únicamente 10 cms. de espesor.

Una solución muy recomendable y practicada es combinar este tipo I con el anterior (tipo E), ya que para una sección expuesta a conducción hidráulica, resulta positivo el revestir la sección

de flujo permanentemente, con el tipo E, y aquellas secciones que ocasionalmente están sujetas a la acción hidrodinámica, con el tipo I.

## NOMENCLATURA

Con objeto de identificación se ha dotado a estos elementos de una nomenclatura, designando a los distintos tipos por letras mayúsculas que los identifican así:

A = Articulado

E= Estándar o de espesor uniforme

I= Intercalado

El sistema incluye asociar a cada letra anterior con un dígito, después de un guión, el cual indica automáticamente el espesor promedio en centímetros.

Así, cuando se indica tipo A-15, significa articulado de 15 cms. De espesor; I-10, intercalado de 10 cms, etc.

## TIPOS Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS REVESTIMIENTOS TIPO Tapete

<b>TIPO</b>	<b>ESPESOR</b>	<b>PESO APROX. (sobre el agua)</b>	<b>PESO APROX. (sumergido)</b>
<b>ARTICULADO "A"</b>	10 cm	187 kg/m <sup>2</sup>	102 kg/m <sup>2</sup>
	12 cm	224 kg/m <sup>2</sup>	122 kg/m <sup>2</sup>
	15 cm	281 kg/m <sup>2</sup>	153 kg/m <sup>2</sup>
	20 cm	374 kg/m <sup>2</sup>	204 kg/m <sup>2</sup>
	25 cm	468 kg/m <sup>2</sup>	256 kg/m <sup>2</sup>
	30 cm	561 kg/m <sup>2</sup>	306 kg/m <sup>2</sup>
<b>"E"</b>	8 cm	176 kg/m <sup>2</sup>	96 kg/m <sup>2</sup>
	10 cm	220 kg/m <sup>2</sup>	120 kg/m <sup>2</sup>
	12 cm	264 kg/m <sup>2</sup>	144 kg/m <sup>2</sup>
	15 cm	330 kg/m <sup>2</sup>	180 kg/m <sup>2</sup>
	20 cm	440 kg/m <sup>2</sup>	240 kg/m <sup>2</sup>
	25 cm	550 kg/m <sup>2</sup>	300 kg/m <sup>2</sup>
<b>"I"</b>	10 cm	132 kg/m <sup>2</sup>	72 kg/m <sup>2</sup>

(Tabla No.1)

Se han llevado a cabo diversos trabajos con un tipo de tapete antisocavacion lastrado en situ, en diferentes partes del mundo. Citándose a continuación algunos ejemplos de aplicación

- Como recubrimiento de taludes de presas con estos sistemas, se mencionará el caso de la presa El Cigarrón, en Venezuela, sitio donde no se disponía de material rocoso adecuado para recubrir los taludes. Después de estudiar diversas alternativas, las autoridades correspondientes optaron para recubrir la totalidad del talud de aguas arriba con un tipo de tapete antisocavacion estándar (E-15) y un articulado (A-15).

El revestimiento se remató en la cresta mediante una viga de concreto, fundida en obra en una zanja, que a la vez de anclar el revestimiento limita la cresta.

- Se citará el caso del muelle construido en Kuwait, en el Medio Oriente, para el hotel flotante Stella Polaris del consorcio Gulf International-Marriott, para la cual después de estudiar diferentes alternativas, una conocida firma consultora de Londres, Inglaterra, especificó que la obra, de 600 más. de longitud, se llevase a cabo utilizando un diseño que combinara un geosaco de concreto, un tapete anti socavación y un gavión roca.

El proyecto consistía en colocar primeramente un delantal constituido por un tapete anti socavación de tipo A-15 para proteger el pie del muelle y mantener alejada la erosión. Sobre este delantal se colocaron posteriormente elementos gavión roca (llenados con arena), los cuales se protegieron a su vez con un tipo de geosaco de concreto (llenado con mortero).

- El condado de Harris, en Texas, se distingue por su heterogeneidad de suelos, problemas de cadencias y gran número de drenes de agua fluviales. La zona se encuentra plena de desarrollos residenciales, por lo cual los requisitos de tipo ambientalista son bastante estrictos.

En mayo de 1977, las autoridades decidieron recubrir un tramo del arroyo de Ciprés Woods por medio de una solución combinada, para lo cual el fondo del canal y el tramo inferior de ambos taludes se recubrió con un tapete anti socavación de tipo Estándar (E-10) y las superficies superiores de los taludes se protegieron con el tipo Intercalado (I-10). Los resultados han sido satisfactorios, una inspección llevada a cabo un año después mostrando que el revestimiento se encuentra en perfecto estado y en las superficies revestidas con tipo intercalado (I-10) la vegetación se ha desarrollado de muy buena manera.

- En el canal de Suez las autoridades que administran tan importante vía fluvial se han preocupado desde su reapertura en 1975 por la constante erosión de los bordes, producto del oleaje provocado por el tráfico de embarcaciones. Los planes contemplan la ampliación de dicha vía así como la estabilización de taludes, que en primera etapa preveían incluso revestimientos del orden de 80 cm. a base de material rocoso, lo cual además de costoso, resultaría sumamente laborioso.

- En Guatemala, después de analizar las ventajas económicas, de operación y factibilidad de colocación, de diferentes recubrimientos, se seleccionó un tapete anti socavación lastrado in situ para la protección en ciertas partes del Canal de Chiquimulilla.

- Conjuntamente con elementos constituidos con geosacos de concreto, la utilización del sistema del tapete anti socavación, en la protección de drenes en puentes carreteros sobre vías fluviales ha demostrado ser una solución económica y efectiva, como es el caso de los puentes Pitahaya y José Colomo, en el Estado de Tabasco.

Ahora bien, la utilidad de los elementos para recubrimiento aquí descritos no se limita exclusivamente a protecciones de ríos, drenes, etc., sino que también pueden ser muy útiles para obras marítimas y protecciones marginales de tipo costero. Un caso concreto es el proyecto elaborado para proteger los taludes bajo la ampliación de un muelle de 250 m. de longitud en

Puerto Castilla, Honduras, en que el oleaje es relativamente reducido por estar dichas instalaciones debidamente protegidas.

Para este caso se protegieron dichos taludes mediante el empleo de geosacos de concreto con un peso de 6 ton. cada uno. En la parte baja se colocó un recubrimiento a base de tapetes antisocavación tipo articulado (A-30).

#### 4. Geo membranas

La erosión producida por efecto del viento puede tener efectos de graves consecuencias en suelos y arenas no consolidadas ya sea por condiciones naturales o por efecto de la acción humana; los fenómenos se agudizan en suelos blandos, muy finos y secos, cuando no existe ninguna vegetación que les ofrezca apoyo y cuando quedan expuestas al efecto eólico sobre superficies sin protección. Los sistemas de geo membranas pueden ofrecer la solución indicada para estos problemas de erosión.

El sistema se puede describir como cercas o pantallas de altura variable fabricada con fibras sintéticas en un diseño especial de tipo altamente permeable que permite el paso del aire, pero que detiene una parte de las partículas de arena o suelo puestas en movimiento por el efecto eólico, las que llegan a pasar pierden velocidad y caen detrás de la malla lográndose de esa manera el efecto protector deseado.

Uno de los aspectos importantes no consiste precisamente en el efecto que se obtiene utilizando las geo membranas ya que bardas con varas y otros materiales convencionales han probado su eficiencia sin el empleo de material sintético. Los rollos de geo membranas facilitan grandemente su instalación, lo cual se refleja en ahorro en los costos de mano de obra gracias a la rapidez y sencillez de las operaciones involucradas.

Los precios de la malla de fibras sintéticas varían con el diseño, el material empleado, la altura de la pantalla deseada, y el número de metros de que se requieran en el proyecto. Los postes de soporte pueden conseguirse directamente en el área de la obra. El personal que se necesita para montar no requiere de especialización.

El sistema de utilizar geo membranas con garantía de acción para controlar la erosión inducida por procesos eólicos; la cual esta ampliamente probada y se puede aplicar con grandes ventajas para controlar dunas en movimiento, protección en zonas costeras, terrenos, como defensa en zonas urbanas e industriales y poblados en regiones desérticas, etc.

## 5. Fibra Red

La erosión marginal y de fondo ocasionada por la energía dinámica del agua (oleajes) en que la corriente es un agente destructivo, puede ser un problema de gran trascendencia cuando afecta terrenos de relativo valor, una de las maneras más sencillas de resolverlo es utilizando el sistema fibra red.

El principio en que se basa es de oponer resistencia a la energía dinámica del agua por medio de una serie de barreras de filamentos flexibles de densidad inferior a la del líquido, disminuyendo la velocidad de choque amortiguando los efectos del movimiento y propiciando el depósito en esa zona de partículas de sedimento que se transportan en suspensión. Los grupos de filamentos se encuentran fijos a espaciamientos regulares de manera que al extenderse se traslapen entre sí todos los manojos uniéndose a un soporte mismo que está junto al fondo o al margen que se desea proteger.

El aspecto interesante del sistema consiste en que se puede modificar prácticamente a voluntad, el coeficiente de rugosidad de la zona del cauce donde se instale, actuando prácticamente como una trampa para captar sedimentos. Al colocar los soportes en forma paralela al área a proteger y con una longitud ligeramente inferior al área, estos ofrecerán un aspecto de sembrado con vegetación sintética actuando de manera conjunta en su efecto protector. Al ocurrir el caso más desfavorable de condiciones extremas (crecida máxima, oleaje de tormenta, etc.), su función no será la de captar sedimentos sino de proteger las partículas que se encuentran ya dentro, impidiendo su salida ya que las cubrirán como un tapete impidiendo notablemente la erosión del fondo o de la playa; al termino de las condiciones extremas volverá a funcionar como captador de sedimentos.

El aspecto costo es muy razonable si se compara con los métodos convencionales para tratar de controlar la erosión. Son de rápida y fácil instalación de los mechones de filamentos que pueden ir originalmente impregnados con un compuesto químico soluble en el agua para evitar que se enreden entre sí antes de su instalación definitiva.

Los precios son variables según el modelo de fibra red que sea necesario instalar, dependiendo de su longitud y número de filamentos así como tipo de material sintético a utilizar en los mechones y soportes. Además de ser variables tomando en cuenta los problemas de anclaje y fijación al fondo o en playas. Su durabilidad está en función del tipo de fibras que se empleen variando de uno a cinco años.

El procedimiento de operación tan simple ofrece enormes ventajas y su fácil aplicación lo hace ideal para protecciones contra la erosión playera donde la inversión deba limitarse. En zonas costeras donde se quiera provocar el depósito de sedimentos sometidos a fuertes condiciones de oleaje en control de socavación playera y local en canales y ríos como protección adicional a pilas de puentes marítimos,

hidráulicos y fluviales en las que se puedan presentar socavaciones de importancia y en todos los casos bajo el agua donde la erosión requiera ser controlada.

## 6. Malla Estaca

En la zona cercana a su desembocadura de los ríos al mar se tiene la tendencia a formar meandros, depositados en su cauce principal por lo que en algunos casos se considera conveniente encauzarlos, a base de rompeolas que pueden ser permeables o no. Los cuales al ocurrir averías de consideración son destruidos o pueden ocasionar serios problemas gracias a la disminución del área hidráulica que producen. Siendo ésta una solución práctica, que se logra con los sistemas malla estaca.

El sistema se basa en una serie de estructuras simples consistentes en un elemento tubular de soporte que se hinca hidráulicamente hundiéndose en la profundidad del río unido a un esqueleto que soporta una malla de material sintético que tiene como función deflactar la corriente. Todos los bastidores y sus respectivos paneles de cada espigón son orientados gracias a un vástago que los une. (Fotografía 20) Las partículas de agua son reflejadas en las mallas o pantallas de acuerdo con el ángulo de incidencia de la corriente.



*Fotografía 20 (malla estaca utilizada como barrera en canal)*

El aspecto original de los rompeolas de malla estaca es el de pantalla. Este puede variar a voluntad de su orientación con lo cual se puede controlar relativamente el efecto que producen en el régimen hidráulico, lo cual es prácticamente imposible con las estructuras construidas de materiales convencionales.

Los costos son reducidos, debido a la sencillez del diseño; la malla estaca se puede prefabricar, por medio de elementos tubulares y soportes. Cuando estos son de acero deben ser sometidos a un proceso especial de galvanizado que los proteja contra los efectos de la corrosión; ya que en el lugar se les acopla la malla propiamente dicha la cual, para evitar efectos galvánicos, se utilizan varios metales además de un tejido de fibras sintéticas o bien a base de placas de materiales plásticos; las malla estacas, una vez instaladas, se pueden ligar entre sí para dar mayor rigidez al conjunto.

El procedimiento para hincar el tramo tubular en la profundidad de la playa que sirve de soporte a la malla estaca, es muy rápido y simple con la ayuda de una bomba de agua inyectando agua a presión en el interior del tubo, el avance es muy rápido en fondos arenosos, granulares, limosos y arcillosos.

El aspecto costo está en función directa con las dimensiones de la malla estaca, la fibra sintética que se utiliza en las mallas y las condiciones prevalecientes en el lugar de la obra durante la época del año en que ejecuten los trabajos. En condiciones normales un equipo de 10 personas en un turno normal de ocho horas deben instalar entre 25 a 50 malla estacas (con pantalla 0.93 x 1.50 x 3.00).

Otra aplicación de este singular elemento de construcción es mediante unas pequeñas modificaciones al esqueleto de soporte en el que se pueden lograr traslapes de los extremos y al colocarlos en forma alterna, levantar muros verticales de soporte. Logrando así que trabajen como un verdadero malla estacado, pudiendo colocar tensores de soporte en el caso de ser requerido.

La sencillez del concepto de la malla estaca y su rapidez para instalarlo asegura un amplio campo de aplicación en pequeñas obras de hidráulica marítima. Rompeolas para fines de encauzamiento; muros marginales de protección, muelles, para retener el agua en excavaciones y paneles de separación en proyectos piscícolas de acuicultura, erección de estanques camaroneros, control de erosión en costas, etc.

## 7. Tablestaca

Las tablestacas ancladas son elementos de retención del suelo, generalmente en fronteras con agua.



*Fotografía 21 (tablaestaqueado en el oceano pacifico, Guatemala)*

Dependiendo de la profundidad de hincado para un tipo de suelo dado, se agrupan en tablestacas de apoyo libre y de apoyo fijo. De acuerdo con las características de su construcción, las tablestacas pueden ser de dragado o de relleno; la estructura se hinca en el terreno natural y después se draga su lado exterior, cediendo espacio a las aguas; en las segundas, por el contrario, se gana terreno al agua hincando la tablestaca de modo que una altura importante quede libre y rellenando posteriormente el lado interior.

Se supone que toda la superficie interior está sujeta a presión activa y que en la parte enterrada de la superficie exterior actúa una resistencia pasiva.

## Diseño de tablestacas ancladas

Los pasos a que debe ajustarse un método de diseño de tablestacas ancladas son los siguientes:

- A. Valuación de las fuerzas actuantes en la superficie interior.
- B. Determinación de la profundidad de penetración.
- C. Cálculo máximo momento flexionante.
- D. Valuación de la fuerza de tensión en el anclaje.
- E. Determinación de los esfuerzos admisibles en los distintos elementos de acuerdo con las incertidumbres que se hayan tenido en la valuación de las fuerzas actuantes.



*Fotografía 22 (tablaestaqueado como muro de retención)*

### Determinación de la profundidad de penetración.

La experiencia ha probado que existe una pequeña ventaja en hincar la tablestaca debajo de un nivel, que garantice que no se producirá una falla por movimiento hacia fuera de la parte enterrada y que garantice también un desplazamiento convenientemente pequeño del extremo inferior de la estructura.

La utilización de tablestaca en obras de protección es muy variada como por ejemplo en Veracruz (México), donde se inició formalmente los trabajos de protección a la cimentación del Fuerte de San Juan de Ulúa, con la colocación de tabla estacas metálicas, una especie de barrera exterior que servirá como muro de contención que evite el desplazamiento y frene el deterioro de las base de la construcción, sumergidos en el agua. (Fotografía 23)

Otro ejemplo de este tipo de protección son todos los muros interiores de la dársena del puerto Quetzal ya que están contruidos con tablestaca metálica con protección catódica para evitar la corrosión de las mismas. Existen también tablestaca fabricadas con material PVC utilizadas en proyectos recreacionales en el canal de Chiquimulilla.



*Fotografía 23 (tablestacas a utilizar en la cimentación del Fuerte de San Juan de Ulúa, México)*

Fueron usadas barreras de 18 metros de longitud por una pulgada de espesor y 70 centímetros de ancho.

## 8. Enrocamiento

Uno de los materiales más utilizados en la protección contra la erosión es la roca. La roca en si, presenta ciertos factores que favorece su utilización en la construcción, así como lo son, su disposición y precio. El material rocoso puede ser producto de la explotación de pedreras o de depósitos de roca. Dos ejemplos de cómo se podría utilizar la roca son:

A) En arrecifes artificiales

B) En la protección playera en forma de paredes verticales en la costa. (Fotografía 24)



*Fotografía 24(enrocamiento utilizado como protección de playa )*

Para toda construcción, la roca a utilizar debe ser examinada por su densidad, absorción, desgaste y resistencia al intemperismo, además debe ser graduada y clasificada así como lo requiera el diseño a

ejecutar. La piedra debe de resistir la constante erosión ocasionada por las corrientes de agua además de tener un peso y masa suficiente para no moverse sin modificar la forma de la estructura protectora.

En los enrocamientos no se debe permitir la utilización de ninguna clase de tierra, arena o polvo de roca en cantidades mayores al 5% en peso, de los materiales rocosos a utilizar. La roca más pesada debe de calificarse e instalarse en la parte más profunda de la estructura disminuyendo su peso mientras la estructura se eleva.

El asentamiento de las rocas tiene que ser en capas no menores de 1 metro de altura en dirección de la corriente. La instalación de las rocas debe llevarse a cabo por medio de métodos mecánicos que puedan mantener la estabilidad de la estructura mientras se construye sobre ella, es decir, que pueda mantener la forma diseñada según estudios previos. En estas operaciones efectuadas se debe tratar de disminuir el número de vacíos entre rocas para obtener un enrocamiento más compacto, con una mayor uniformidad y consolidación.

Previo a la colocación de la roca es recomendable la instalación de algún tipo geotextil que no permitan las pérdidas de los finos durante el tiempo que la estructura sea sometida a corrientes marinas. Este método fue utilizado en el lado este del Puerto Quetzal en la costa pacifica de Guatemala.



*Fotografía 25 (enrocamiento como protección de playa)*

## 9. Hexápodos de concreto

El sistema de hexápodos de concreto interconectados consiste en el ensamble de estas estructuras en una continua, pero flexible matriz (Fotografía 26). Las interconexiones de las unidades de concreto muestran siempre vacíos entre cada enlace, estos pueden ser llenados con material del lugar y pueden ser cubiertos con vegetación para mejorar la estabilidad del sistema. El sistema provee a las unidades estructurales de un diseño antirodaduras equilibrándose individualmente evitando así la deformidad del sistema y el daño por los flujos de agua en el área a proteger.

El sistema de hexápodos puede ser usado como pie de duna de estabilización, combinado con técnicas de relleno sobre la estructura y así formar la duna superior. Los hexápodos pueden ser utilizados también en la protección de bases de muelles, puentes, rompeolas, arrecifes artificiales, etc. minimizando el desgaste de estas estructuras por el continuo actuar de la erosión. La habilidad del sistema de hexápodos de concreto es la de disipar energía y resistir las fuerzas de erosión causadas por el continuo flujo de agua.

El sistema se presenta como una alternativa al método de enrocamiento, fundiciones de bloques de concreto, la armadura de gaviones y cualquier otro sistema de protección pesado que se requiera utilizar como método de protección marina.

El manejo de los hexápodos es similar con el manejo de rocas en obras de enrocamiento, con la particularidad de no necesitar el uso de explosivos o maquinaria pesada para la extracción del material como lo sería en el caso del enrocamiento. Con el sistema de hexápodos las estructuras a utilizar son hechas a la medida, sin tener que lidiar con la elección de material de un banco de roca, tomando en cuenta el tamaño o porosidad. Además la roca de mala calidad o porosa podría llegar quebrarse en pequeños pedazos y así cambiar o hasta romper la forma de la estructura, caso que no ocurriría con un sistema de hexápodos de concreto. La habilidad de fabricar los hexápodos a un tamaño definido y con una calidad constante permite que se mantenga una mejor interconexión entre los mismos.



*Fotografía 26 (colocación de hexápodos de concreto en canal)*

Los hexápodos son la versión actual de los ya conocidos tetrápodos, dolos, domos o akmons, stabits y otros. Los beneficios de los hexápodos en relación a los demás diseños se centran en la interconexión que las estructuras entre sí y el equilibrio que esto representa en todo el sistema.

## 10. Saco contenedor de arena

El Saco contenedor de arena es un sistema mediante el cual se confina hidráulicamente arena en el interior de grandes sacos contenedores permeables de material sintético (polímeros de alta resistencia) empleando motobombas para inyectar una emulsión de agua y arena, la que queda compactada una vez que el agua se fuga a través del textil. El material sintético del contenedor de arena resiste satisfactoriamente el efecto de inmersión en agua salada, el ataque de ácidos, hongos y bacterias, y la exposición a rayos ultravioleta.



Las dimensiones de estos elementos pueden llegar hasta los 30 m de largo. Ya que el saco contenedor de arena es llenado en situ, este ocupa ya su lugar previsto en la construcción ayudando a su compactación y traslape con los demás sacos proporcionándole características de una estructura monolítica. *(Fotografía 27)*

Con el sistema de sacos contenedores de arena los costos se minimizan gracias a que su estructura como saco no representa problema de almacenaje y transporte. Además, en el llenado se utiliza personal local capacitado y dirigido por solo unos cuantos técnicos calificados.

Las aplicaciones para el saco contenedor de arena son muy variadas y entre algunas se pueden citar, rompeolas, diques, defensa contra inundaciones, reparaciones de muelles, de rompeolas, además se pueden utilizar en lastrado de oleoductos, gasoductos y acueductos submarinos; recuperación de terrenos al mar, modificación o formación de playas para fines turísticos, etc.

Los métodos anteriormente descritos y estudiados, representan los procedimientos más usuales en la construcción de obras de protección contra la erosión alrededor del mundo. Estos métodos fueron descritos individualmente mostrando su versatilidad, así como sus ventajas; además habría que notar que los sacos pueden ser modificados, incorporando otro método para una mejor adecuación al sistema en el que se va a realizar la obra constructiva.

A continuación se presenta un ejemplo de cómo algunos de estos métodos se pueden combinar y trabajar para solucionar un mismo problema común como lo es la erosión marina.

## B. OBRA DE PROTECCIÓN MEDIANTE LA UTILIZACIÓN COMBINADA DE UN TIPO DE GEOSACO DE CONCRETO O SACO CONTENEDOR DE ARENA

La mecánica fluvial de operación de las desembocaduras de los ríos Achíguate y Maria Linda localizados al oeste y al este respectivamente de la población de San José, (Escuintla Guatemala), con una separación entre ellos de aproximadamente 20 km , es similar a la de todos los ríos que no tienen un caudal permanente que desemboca al mar, es decir, que en la temporada de lluvias se eleva el nivel de las aguas y rompe la barra, desfogando al mar junto con el torrente de agua, materiales por arrastre y en suspensión, parte del cual es distribuido a lo largo del litoral por la acción del oleaje incidente, manteniendo un equilibrio dinámico natural en la playa, realimentándola para suplir el material perdido por diversas causas.

Al terminar la temporada de lluvias se restringe el caudal de los ríos y predomina la acción del mar, tendiendo a cerrar la bocabarra por efecto del transporte playero, presentándose un cambio en la morfología de las playas, que se manifiesta mediante procesos de erosión y azolve alternados, según las circunstancias del oleaje.

Si las bocabarras de los ríos Achíguate y Maria Linda en el océano Pacífico Guatemalteco, fueran estables, ya sea porque admitieran un gran prisma de marea, o porque fueran encausados artificialmente, y si además no existiera el Puerto Quetzal, entre las citadas bocabarras se formaría un sistema independiente posiblemente en continuo equilibrio dinámico que mantendría ese tramo de playa casi inalterado.

Al construirse Puerto Quetzal, el equilibrio que existía entre las playas se rompió quedando sujeto a los procesos de erosión y azolve. Al detenerse el transporte litoral proveniente del oeste por la presencia de las obras exteriores del puerto, por eso, la misión francesa que realizó el proyecto portuario recomendó la alimentación periódica artificial de las playas a ambos lados del puerto, lo cual no ocurre obteniéndose así los resultados que actualmente se observan.

El retroceso de la playa en una distancia de 100 mt aproximadamente, frente a la zona urbanizada de Likin y el asolvamiento del Puerto Quetzal. Ante lo hecho, no queda más alternativa que realizar obras de protección y alimentar las playas, con la idea de recuperar en parte de la berma que se perdió y sobre todo preservar una población de servicios como lo es San José.

### 1. Análisis de condiciones

Para el diseño de las obras de protección y alimentación playera se toman en cuenta diversos factores que, por su influencia en el acarreo de material en el litoral, deben ser estudiados. Por ejemplo la temperatura ambiente, la presión atmosférica, los vientos que se representan en los oleajes, las corrientes superficiales, mareas, oleaje, etc.

## 2. Metodología

Con base al análisis de condiciones, se determina un sistema de protección que cumpliendo con todas las características necesarias para hacer posible la protección de la playa.

En este caso, el método sugerido para este caso es la construcción de rompeolas paralelos a la playa localizados mar adentro.

Los rompeolas tendrán un ancho de la corona será entre 4.5 y 7.0 m ya que el tipo de elemento a emplear por las condiciones propias de localidad y el grado de dificultad de la ejecución de la obra, favorece la utilización de elementos como geosaco de concreto, sacos contenedores de arena y un tapete antisocavacion, complementado con el geotextil antisocavacion.

## 3. Procedimiento de construcción

Resulta obvio que cada tipo de obra requiere de un procedimiento de construcción diferente, por ejemplo los rompeolas paralelos a la playa comprenden una metodología y materiales diferentes a los utilizados en rompeolas que arrancan desde la playa o costa, aunque se refieren a una obra genérica en ambos casos.

Los materiales pueden variar desde roca y elementos de concreto premezclados, enrocamiento en la base, malla estacados y relleno con diversos materiales, diversas pantallas a base de pilotes y corona de concreto, y otros elementos tradicionales.

Cada una de las soluciones mencionadas tienen, sus propios requerimientos constructivos, sus ventajas, desventajas y su costo de operación, además de su vida útil y estos son solamente unos cuantos puntos a mencionar como los más notables.

Para la construcción de rompeolas en mar adentro se recomendaría la utilización de

- Geosaco de concreto un producto fabricado para aguantar la exposición al medio teniendo la función de contener el mortero de cemento y arena desde su bombeo hasta su fraguado.
- Saco contenedor de arena el cual se rellena con arena bombeada y es sumergida mediante buzos asentándose en el sitio deseado.
- Tapete antisocavación.

El geosaco de concreto es afectado por la erosión al pie de la misma por las corrientes o por la acción del oleaje; el cual, cuando no es posible controlarlo, derrumba la sección, y de allí la necesidad de proporcionar en el desplante un tapete antisocavacion que evita en gran medida ese fenómeno. El saco es flexible y se acomoda a la erosión, pero tiene el inconveniente de que si la bolsa fue rellena con material muy fino, va perdiendo volumen por lavado, sobre todo en aquellos sitios expuestos al oleaje.

La construcción de los segmentos de rompeolas paralelos a la playa sería el siguiente:

- Se fija el segmento de rompeolas, mediante boyas, que se plantan como referencia y control terrestre, en número tal que definan el trazado en planta y que no sean arrastrados por las corrientes. Se emplean dos buzos y dos embarcaciones, una de auxilio y otra de suministro.
- Se sumerge un tramo de tapete antisocavacion en rollo y se fija su posición por los buzos, utilizando escuadras de varilla que se clavan en el fondo marino deteniendo el tapete antisocavacion de tal forma que pueda irse desenrollando para no presentar un área de empuje hidrostático del agua. Si el fondo fuera muy suave y las escuadras no se llegaran a clavar el tapete, también puede ser anclado por medio de pequeños pilotes al pie del mismo removiendo el material del fondo del pilote con un compresor de aire, así plantando el pilote en el lugar requerido.
- Sobre el tapete antisocavacion se inicia la construcción y la colocación de sacos contenedores de arena o geosaco de concreto tanto en el área de la obra propiamente dicha como en la zona lateral a la obra que sirve de apoyo y de fijación al tapete, procurando la formación del talud.
- El relleno del saco contenedor de arena se hace por lo general con una bomba sumergible eléctrica para aquellos elementos cercanos a la playa, bombeando una mezcla de agua y arena adentro de la bolsa, depositándose la arena y el agua sale por un dispositivo de expulsión al exterior. También se puede bombear desde la playa, succionando el material de la misma en profundidad de 1 m o menos, utilizando una bomba mecánica para bombear hasta la que el área inferior de la bolsa se encuentre totalmente en el fondo y sujeta en su sitio.
- El relleno del geosaco de concreto es un poco más complicado que el llenado del saco contenedor de arena ya que la mezcla es un mortero que incluye cemento arena y agua. La mezcla debe ser bombeada en el geosaco hasta que el área inferior del mismo quede totalmente en el fondo y detenida. Una de las ventajas como se mencionó antes es que este geosaco forma una estructura de concreto que nunca perderá los finos como lo hacen los sacos contenedores de arena.
- Al avanzar la altura de la obra se puede ir utilizando la parte construida como área de trabajo, siempre mediante el empleo de buzos. Las mayores dificultades se tendrán al llegar a la superficie del agua, por la acción de los oleajes fuertes, por lo que se deben esperar buenas condiciones para terminar la corona hasta el nivel de proyecto.

En este punto de la construcción se pueden dar como finalizados los trabajos de erección del rompeolas, quedando solamente trabajos de chequeo topográfico de la estructura, chequeo de calidad de trabajo y llenado de vacíos. Toda obra marítima necesita de un monitoreo continuo, ya que la estructura puede quedar intacta pero su medio circundante no. Es decir la estructura provocará ciertas reacciones en las playas cercanas las cuales deben de ser estudiadas constantemente y si fuera necesario se tendrá que modificar el diseño de la estructura como prevención de problemas futuros en el medio.

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- A. El análisis de las causas que ocasionan la erosión es imprescindible.
- B. No se debe de realizar ninguna construcción de protección contra la erosión sin antes saber las causas de la misma, y los efectos que esta pudiera producir en los alrededores.
- C. Los métodos constructivos de protección contra la erosión pueden ser efectivos por un determinado tiempo dependiendo del problema a solucionar, pero en la mayoría de casos es necesario la ejecución conjunta de varios métodos para un mejor resultado.
- D. La pendiente de la playa es la última línea de defensa contra la erosión, absorbiendo la mayoría de energía de la ola.
- E. En cambio, las dunas son la última defensa en absorber la energía de olas de tormenta que sobrepasan la berma, aunque las dunas se erosionan bajo tormentas severas, ellas son usualmente fuertes para completar la protección de tierra atrás de ella. Las dunas luego de ser erosionadas por tormentas pueden volver a formarse y proveer protección para el futuro.
- F. Cuando el sistema de protección natural falla durante grandes tormentas, la primera solución frecuentemente es escoger métodos casi naturales como el relleno de playas o la creación de dunas. Dichas soluciones son básicas para la protección de la playa pero deben de construirse en un periodo corto para evitar la erosión crónica del área por la falta de material sedimentado.
- G. Donde las playas y dunas protegen estructuras costeras, protección adicional por lo general no es necesaria. Sin embargo, cuando fuerzas naturales producen erosión, las olas de tormenta pueden pasar sobre la playa y dañar las estructuras costeras. Entonces construcciones de protección son necesarias en el lugar y dependiendo de los síntomas del problema estos pueden ser de dos tipos.
  - 1. Estructuras que previenen la llegada de olas a la playa o área elegida para la protección.
  - 2. Estructuras que retardan el transporte de sedimento en el litoral previniendo la falta del mismo.Ambos métodos pueden ser utilizados en una misma área para la prevención de la erosión playera.

H. Para la elección de un método constructivo para la protección contra la erosión marina se deben de tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Regímenes de mareas
2. Análisis del transporte paralelo y perpendicular de sedimentos a lo largo de la playa.
3. Dirección e intensidad del viento.
4. Características del oleaje en altura, dirección y frecuencia.
5. Topografía de la playa
6. Batimetría en detalle de por lo menos 2 km a la redonda del área elegida.
7. Características físicas del material de la playa
8. Análisis de los sedimentos arrojados al océano por ríos que desembocan en él.
9. Comportamiento de las playas ante el oleaje.
10. Análisis del comportamiento de estructuras ya construidas.
11. Análisis del destino y los efectos del empleo de los diferentes métodos de protección.
12. Materiales de construcción y su factibilidad de obtención.

I. Para cualquier obra de protección contra la erosión se debe tener conciencia en que toda construcción que se realice en un cuerpo de agua tendrá una repercusión y que la mejor manera de proteger la playa o litoral es conjugando la ingeniería con la ecología haciendo que ambas trabajen complementándose una a la otra preservando el sistema natural.

# I. INTRODUCCIÓN

El planeta Tierra está formado por una tercera parte de tierra y dos terceras partes de agua. Al interactuar estos elementos entre si, ocurren ciertos fenómenos naturales que tienen como resultado la erosión.

Desde los inicios de la humanidad el hombre ha tratado de controlar estos dos elementos naturales y los resultados provenientes de la interacción entre ambos. El agua es vital para todo ser viviente, pero cuando representa un problema en lugar de una necesidad, la construcción de obras de protección debe ser implementadas. Toda obra civil acuática debe estar acorde al medio circundante, conjugando con los demás elementos naturales que la rodean para que ésta pueda ser una solución y no convertirse en un problema más serio del que se presentaba.

Los diseños de obras de protección contra la erosión varían dependiendo desde los materiales de construcción que se dispongan, de la factibilidad del uso de maquinaria especializada, hasta de la calidad de la mano de obra que se requiera para su ejecución. Por eso de la existencia de un número creciente de métodos constructivos para evitar la erosión, ya que un solo método no se puede moldear para cualquier tipo de problema a resolver. Estos métodos varían tomando en cuenta la ubicación del problema, tipo de cuerpo de agua a controlar, tamaño y geología del predio a proteger, además del material existente en el área y conciencia ecológica.

## II. ANTECEDENTES, LA EROSIÓN

Erosión costera es el proceso dinámico de naturaleza física y química que desgasta y destruye continuamente las playas y rocas de la corteza terrestre por medio de la acción incesante del movimiento del agua. Existen dos tipos de erosión costera dependiendo de sus causas. La erosión geológica o natural y la erosión acelerada o inducida por el hombre. La primera es debida a la acción de agentes y procesos naturales que actúan a lo largo de millones de años; mientras que la erosión causada por el hombre es el resultado de la acción antrópica y sus efectos se dejan sentir en un periodo de tiempo mucho menor.

Aunque los incidentes más serios en lo que se refiere a erosión ocurren durante tormentas, hay muchas otras causas naturales e inducidas por el hombre que deben ser analizadas.

Las causas naturales que producen la erosión pueden ocurrir como respuesta de la playa o del medio circundante a efectos naturales, tales como: tormentas, sismos, maremotos, inundaciones y efectos eólicos. La erosión inducida por el hombre ocurre cuando se modifica artificialmente el sistema natural de la playa.

Muchas de las acciones inducidas por el hombre que llegan a producir erosión playera se deben a la falta de comprensión de las mismas, pudiéndose evitar con una buena administración de la playa. Sin embargo, en algunos casos la erosión costera puede ser producida a causa de proyectos que son económicamente importantes, estos proyectos deben llevar una conciencia costera teniendo en cuenta que el trabajo de los mismos afectará de una u otra manera al sistema playero circunvecino. La solución es buscar un diseño que trabaje acorde con las condiciones originales para que siempre esté en armonía con el sistema natural del área.

A la fecha, muchas y muy variadas han sido las experiencias y las investigaciones a este respecto, no sólo en la época contemporánea, sino desde los albores de la ingeniería como ciencia, y más intensivamente desde la llegada de la mecánica de los suelos. Pero aun así, día a día son incontables las pérdidas económicas ocasionadas por fallas de taludes, sean estos en cortes o terraplenes. Uno de los fenómenos que ocasiona la inestabilidad es la erosión, provocada ya sea por agentes de tipo hidráulico, eólico o mecánico.

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CAUSAS DE LA EROSIÓN

#### A. Causas naturales

1-Elevación del nivel del mar. La elevación del mar por causas naturales como el calentamiento global da como resultado un lento retroceso de la línea playera, ocasionada parcialmente por la inundación directa y en parte como resultado de la adecuación del perfil de la playa con el nivel del mar. (Fotografía 1).



Fotografía 1 (Retroceso de la línea playera)

2-Variabilidad en la cantidad de sedimento proporcionado a la zona litoral. Cambios en el clima mundial pueden producir una reducción en la cantidad de inundaciones en ríos lo que causa la falta de sedimentos en la línea playera.

3-Oleaje de tormenta. Olas verticales causadas por una tormenta costera dan como resultado la transportación de arena fuera de la playa almacenándola temporalmente en barras. Con el pasar del tiempo el regreso de la arena a la playa se puede dar por medio del transporte natural en un periodo más largo al que tomó para retirarla. En la mayoría de los casos los materiales no son devueltos en su totalidad ya que éstos quedan perdidos permanentemente en profundidades mayores al nivel de la playa.

4-Oleaje y sobreoleaje. El sobreoleaje es un fenómeno el cual ocurre en periodos de tormenta y bajo la acción severa de las olas. Las olas y el agua corren por la playa erosionándola, transportando y depositando material mar adentro, trabajando como un abanicó de sedimento que se mueve en las orillas de la bahía. (Fotografía 2).



Fotografía 2, (Sobreoleaje)

5-Viento. La remoción del material suelto en la playa por medio de la acción eólica puede ser una causa significativa para producir la erosión.

6-Transporte de sedimento por la costa. La arena es transportada por la costa por medio del rompimiento de las olas a un ángulo de playa. Si el sedimento removido es mayor a la capacidad de estas corrientes costeras de suplir naturalmente a la playa de material dará como resultado la erosión de la misma. (Fotografía 3).



Fotografía 3(sedimento depositado)

7-Baja cantidad del sedimento en la playa. La baja en cantidad del sedimento playero puede ser ocasionado por la acción de las olas redistribuyéndose a lo largo de la playa dependiendo de las propiedades hidráulicas y del perfil de la misma. Este mecanismo es particularmente importante en el diseño de protección playera ya que el método incluye la selección y pérdida del material fino en la región fuera de la costa, así como la retención del material pesado en la zona de reventazon requiriendo un llenado adicional en orden de balancear esta pérdida.

## B. Causas inducidas por el hombre.

1-La remoción de material natural del lugar en un lapso de tiempo reducido utilizando maquinaria pesada. La interrupción del transporte de material. Este factor es probablemente la causa más importante por la cual la erosión es producida por el hombre. A menudo el material se pierde permanentemente en lo bajo de la playa, ya sea por deposición o por movimiento del material hacia una zona activa del litoral o por la construcción de barras, socavaciones y la tendencia al movimiento de las playas. (Fotografía 4).



Fotografía 4 (remoción de material)

2-La reducción del sedimento en la zona litoral. En algunas áreas, el transporte de sedimento por la costa de ríos es disminuido por presas que reducen la altura de inundación de los mismos y por ende la cantidad de sedimento movido, ocasionando la erosión en la playa. (Fotografía 5).



Fotografía 5 (presas y diques)

3-Concentración de la energía de oleaje en la playa. La construcción de estructuras costeras (como paredes verticales) ya sea en la zona activa de la playa o en la parte superior de ella, pueden incrementar la cantidad de energía dispersa por el oleaje en la playa confrontando la estructura, incrementando así la erosión en el área. (Fotografía 6).



Fotografía 6 (rompeolas)

4-Variación del nivel del oleaje. La excavación e incremento del ancho de bocanarras naturales que permitan la navegación en esteros y lagunas costeras pueden afectar el rango de la marea y proporcionar olas de mayor tamaño entre la construcción marítima y las playas adyacentes. El incremento

del rango del oleaje también expondrá a las construcciones efectuadas a ser atacada por la acción de las olas. (Fotografía 7).



Fotografía 7 (bocabarras)

5-Cambio de protecciones en la costa. La destrucción de barras de arena aledañas puede cambiar el patrón de energía disipada en la playa. Si el cambio incrementa la energía de la ola que actúa en un sector de la playa, la erosión se mostrará fácilmente en la misma parte. En la playa, el cambio de nivel de dunas, la destrucción de vegetación playera, la fundición de perfiles playeros y la construcción de canales para barcos permitirán que la erosión se acelere en las playas aledañas. (Fotografía 8).



Fotografía 8(destrucción de vegetación, por obras costeras)

6-La remoción de material de la playa. Excavación de material de la playa es algunas veces utilizado en minería para la extracción de los minerales que contiene o en otros casos es utilizado como agregado de construcción. Para cualquier propósito la pérdida directa de este material resultará en la acción inmediata de erosión en el área atacada.

## IV. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### A. Objetivos generales

- 1-Conocer las diferentes causas por las que se puede producir la erosión en un medio.
- 2-Determinar la diferencia entre distintos métodos para la protección contra la erosión y así poder establecer el más adecuado para cada situación.
- 3-Visualizar el problema de erosión como un problema latente en toda construcción en la que se encuentre un medio acuático.
- 4-Conocer diferentes métodos para la protección de playas y como sistemas acuáticos son atacados por algún tipo de erosión.

### B. Objetivos específicos

- 1-Determinar el uso de sistemas constructivos para la protección marina contra la erosión.
- 2-Conocer la variedad de métodos que pueden ser utilizados como sistema de protección contra la erosión.
- 3-Poder determinar de varios métodos el más conveniente para resolver el problema de la erosión en un área específica.
- 4-Conocer la variedad de métodos que existen para la protección de obras marinas y cómo estos pueden ser utilizados conjuntamente para resolver un mismo problema de erosión.

## V. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

Entendiendo y analizando las diferentes causas que puedan dar lugar a la erosión en un sistema establecido, la respuesta a este problema puede ser razonada con mayor facilidad y con un alto grado de éxito en su ejecución.

Existen diversos métodos constructivos para la protección de áreas en contra de la erosión, los cuales trabajan con distintos materiales, además de tener diferentes necesidades de mantenimiento y construcción.

La variedad de éstos nos permite la elección del más indicado para cada tipo de área erosionada o área en la que se pueda presentar el fenómeno y se quiera proteger. Aunque en algunos casos un método no es suficiente para la efectiva protección, la mayoría de diseños pueden ser combinados y así lograr un adecuado funcionamiento de protección y vida de los mismos.

Los métodos varían desde su funcionamiento hasta la maquinaria necesaria para su realización, ciertos métodos son más factibles de ejecutar en ciertas áreas que otros. Las razones varían desde tipo económicas o simplemente logísticas, además cada método está diseñado para controlar ciertos tipos de áreas erosionadas y pueden no servir para otros. Por esto el análisis de las causas de la erosión debe ser tan importante para la adecuación del método elegido a la protección del medio.

Desde el punto de vista económico, los múltiples y variados aspectos que intervienen plantean generalmente un verdadero reto, ya que la obra de protección debe conjugar con un costo razonable en su fase constructiva y tener un adecuado diseño para la protección efectiva del área y a su vez debe ser tal que en su fase operativa, el mantenimiento, resulte mínimo. Así mismo, dentro de la etapa de construcción, se fija como norma que el revestimiento utilizado en la construcción resulte eficiente y económico, a un ritmo de colocación adecuado.

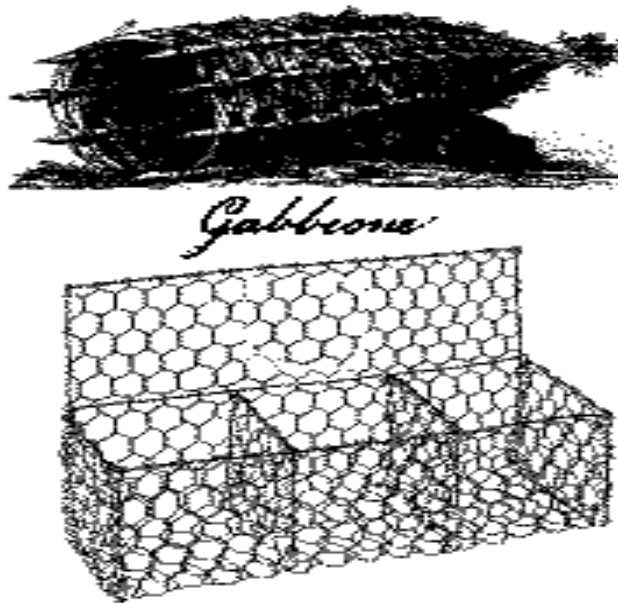
Además, de las características múltiples, a veces imprescindibles, de los suelos por proteger complican aun más la labor del proyectista y de la empresa constructora, ya que no es posible estereotipar un revestimiento de tipo universal que cumpla infaliblemente con las distintas condiciones que estos presenten. Cada problema requiere de un análisis que permita llegar a una solución óptima.

A continuación se describen algunos de estos métodos constructivos para protección de áreas en contra de la erosión. Se analizará cada método y se ejemplificarán los usos más frecuentes de estos por individual en el campo de la obra civil de protección. Además se analizará un problema ejemplo en el que tres de los métodos descritos pueden llegar a ser utilizados en combinación para encontrar una misma solución al problema propuesto.

## VI. METODOLOGÍA

### A. Métodos constructivos contra la erosión

1. El Gavión. El problema de la erosión adquiere gran importancia en zonas donde los ríos y arroyos o áreas con pendientes hidráulicas muy pronunciadas de régimen torrencial requieren de obras de defensa para su control, las cuales pueden construirse utilizando los materiales y la mano de obra de la región con el sistema conocido como gavión (Fotografía 9,10).



1.

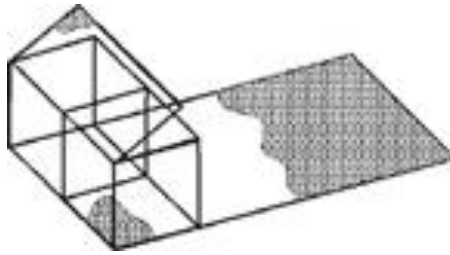
Fotografía 9 (gavión típico)

El sistema se funda en la confinación de piedras extraídas de cantos rodados y boldos existentes en las cercanías de la obra las cuales son transportadas y acomodadas dentro de los gaviones por personal de la región. La piedra se acondiciona en el interior de cajas o huacales de alambre de acero galvanizado con un enrejado tipo triple torsión, este alambre puede estar recubierto de PVC o bien conformado con malla de polietileno extruído a alto impacto.

Las estructuras en gaviones, debido a su flexibilidad, pueden acompañar asentamientos o acomodamientos sin perder su eficiencia y función estructural, contrariamente a las estructuras rígidas o semirígidas. Esta característica es especialmente importante en el caso de estructuras construidas sobre suelos de baja capacidad de soporte.

Los gaviones son altamente permeables y drenantes, permitiendo el flujo de las aguas, aliviando empujes hidrostáticos y optimizando las secciones de dichas estructuras.

entre sí con amarres de alambre los elementos circunvecinos constituyendo así estructuras semimonolíticas de peso importante, pero de gran flexibilidad.



Fotografía 10 (gavión típico)

El costo de las obras construidas con algún diseño de gavión es inferior en prácticamente todos los casos si se compara a los métodos convencionales. El costo es bajo básicamente por dos motivos

-Se utiliza mano de obra no especializada, barata, que se puede contratar en las localidades cercanas a la obra.

-Se utiliza material aledaño a cada lugar, disminuyendo sustancialmente los renglones de transporte y acarreo.

Utilizando apenas malla y piedra, permiten rapidez de ejecución y posibilidad de trabajo en locales de difícil acceso y condiciones climáticas adversas, el mismo en presencia de agua. Inmediatamente después de haber sido montados, rellenos y cerrados, los gaviones están listos para desarrollar su función. Permiten la construcción de la obra en etapas y eventuales ampliaciones y modificaciones. (Figura 11 y 12)

Cuando son comparadas a obras técnicas constructivas, las estructuras en gaviones presentan costos directos e indirectos más bajos. Otro factor económico importante es la posibilidad del aumento de la productividad utilizando equipos mecánicos en las operaciones de relleno.

Los rendimientos de llenado son variables pero una brigada en condiciones normales de 16 hombres deberá llenar en un turno de 8 horas, entre 8 y 12 gaviones roca de 3 x 1 x 1 m.

Los gaviones pueden surtirse en varias dimensiones ya listos para armarse o bien en rollos de diversas longitudes y ancho; debido a un proceso especial de galvanizado que, a pesar de los efectos de corrosión del metal, su duración debe exceder los 20 años, pero contando con el recubrimiento de cloruro de polivinilo la duración es todavía mayor y con el polietileno extruído el problema de corrosión desaparece totalmente.

En experiencias de otros países se ha observado que los huecos entre las piedras de relleno son ocupados por material de arrastre lográndose una conglomeración bastante sólida a pesar de que la malla llega a desaparecer.

Las estructuras en gaviones se adaptan a cualquier ecosistema, no constituyen obstáculos al paso de las aguas y están constituidas por materiales inertes que favorecen la recuperación rápida de la fauna y de la flora.

Sus aplicaciones son muy amplias; construcción de espigones de control, espolones, protecciones marginales, diques, muros vertedores, reforzamiento de canales y taludes, muros verticales de soporte, protección de pilas de puentes, bordos para control de erosión de suelos, dunas, etc.

Las estructuras en gaviones presentan también un aspecto social bastante relevante, dado que permiten la utilización de mano de obra local no especializada y pueden ser construidas en régimen comunitario.



Figura 11 (canal construido con gaviones)



Figura 12 (rompeolas construido con gaviones)

2. Geosaco de concreto El Geosaco de concreto consiste en una bolsa de material geotextil, hecha especialmente para resistir la exposición al medio acuático, teniendo la función de contener mortero de cemento y arena hasta su endurecimiento. El mortero es colocado en sitio adentro del geosaco a través de una manguera que conduce desde la playa el mortero bombeado y fabricado con arena extraída del lugar.

El geosaco comprende un sistema mediante el cual se funden directamente en el lugar grandes bloques de concreto bajo el agua, en zonas de rompientes o de fuertes corrientes, utilizando grandes cadenas de geotextiles flexibles de material sintético impermeable. Los equipos requeridos de dosificación de mezclado y bombeo son relativamente económicos, ligeros y fácilmente transportables al lugar de la obra. El mezclado se puede realizar por medio de una mezcladora portátil o directamente del camión mezclador y el bombeo con una bomba convencional para bombear concreto o con una bomba para lanzar shotcrete.

Gracias a la envoltura protectora, la mezcla fresca nunca entra en contacto con el medio externo, evitando deslaves y contaminaciones propias de las fundiciones subacuáticas, lográndose bloques muy homogéneos y resistentes. Las dimensiones de los elementos se modulan de acuerdo a los requisitos de forma y peso de cada proyecto en particular. Dependiendo del tipo de proyecto y área a utilizar el geosaco, éste puede ser cosido antes de su llenado para igualar el área deseada a trabajar.

Existe la posibilidad de lograr diseños especiales, al interconectar los elementos de geosaco utilizando cables o barras, lográndose así un gran incremento en el factor de fricción entre ellos.

El geosaco es actualmente utilizado en la construcción, como geomembranas flexibles para la fundición de elementos de gran peso, que formen parte de rompeolas, diques de contención, protecciones costeras y muros de muelle; sirviendo también, –entre otras obras hidráulicas fluviales o marítimas- para cimentar o reparar estructuras socavadas o dañadas.

La construcción de rompeolas mediante el uso del sistema de geosaco por etapas ha sido la solución empleada con éxito en varios países. La utilización de este tipo de construcción ha significado una gran disminución de volúmenes de obra, tiempo y costo de este tipo de construcciones, constituyendo así un fuerte atractivo, especialmente para los países con serias restricciones presupuestarias. (Figura 13, 14 y 15)



*Fotografía 13 (rompeolas construido con geosacos)*



Fotografía 14(protección de canal con geosacos)



Fotografía 15(geosaco clocado como base de muelle de carga)

El procedimiento básico consiste en bombear hacia el interior de estos sacos textiles una mezcla fraguable, previamente mezclada. (Figura 16) La idea de ser llenadas directamente en el sitio constituye otro factor importante para así evitar las costosas maniobras de transporte y colocación, y con ello eliminar los pesados equipos de construcción que estos movimientos implican.



Fotografía 16 (bombeo de mezcla en un geosaco)

Cuando las operaciones se realizan bajo el agua, normalmente se requiere la intervención de trabajadores anfibios que van colocando en el lugar preciso, según un programa y orden preestablecido, los sacos vacíos, sosteniéndolos e interconectándolos con los elementos vecinos previamente colocados, hasta que tienen en su interior suficiente peso para no ser desplazadas por las corrientes o el oleaje.

En los últimos años han estado desarrollando una serie de métodos que eliminan la necesidad de utilizar buzos durante las fundiciones bajo el agua, limitando su participación a labores de inspección y supervisión. (Fotografía 17) Otros procedimientos simplificados permiten la fundición bajo el agua y la colocación de la mezcla directa cuando se presentan condiciones extremas, especialmente en emergencias e inundaciones.



Fotografía 17 (buzo inspecciona estructura de geosaco)

Ante la necesidad de obtener factores de diseño y cálculo que estén de acuerdo con las dimensiones de los elementos fundidos bajo el agua con sacos textiles reforzados, se realizaron una serie de estudios en laboratorios:

-En el instituto de ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

-En Río de Janeiro, el Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviarias (INPH), dependiente de la Empresa de Puertos de Brasil, PORTOBRAS, ha efectuado una serie de estudios muy completos en canal de olas y en tridimensional de fondo móvil para diversos proyectos, ratificando el excelente comportamiento de un tipo de geosaco de concreto ante olas de gran energía.

-Tetra Tech, Inc. de Pasadena, California, por cuenta de un grupo de empresas petroleras norteamericanas y la Alaska Oil & Gas Association, revisó cuidadosamente todos los estudios de laboratorio de cómo un tipo de geosaco de concreto trabaja con miras a su aplicación en el Mar de Baufort, en el norte de Alaska, para proteger islas artificiales.

Entre las conclusiones de los estudios, se ha encontrado que para la estabilidad, orientación, acomodo, orden de colocación, entrelazamiento, protección antisocavacion al pie de las estructuras e interconexión con fuertes cables flexibles, es importante que por lo menos las tres capas superiores de elementos de geosaco de concreto, el elemento de la corona, tengan mayores dimensiones y peso que los demás.

Los resultados reales ante condiciones oceánicas extremas, recopiladas durante 17 años, han sido ampliamente satisfactorios. El huracán Brenda entro a tierra en Tabasco (México), muy cerca de donde se

construyeron dos rompeolas con un tipo de geosaco de concreto. Los daños fueron mínimos y limitados a los elementos recién fundidos. El ciclón Carmen pasó sobre los rompeolas en construcción de las obras de toma y descarga de la Termoeléctrica Campeche II (México), ocasionando escasos perjuicios. El ciclón del siglo Gilberto no dañó ningún de los 12 rompeolas de geosaco en la península yucateca (México).

Existen datos sobre el comportamiento de elementos del tipo del geosaco de concreto en otros lugares del mundo, también ante ciclones tropicales; esto corrobora que, si su colocación ha sido según diseño y evitando asentamientos, dichos elementos resisten de manera muy satisfactoria los oleajes de tormenta, que tienen gran energía por su altura y elevada longitud de onda.

Por ejemplo, existen protecciones marginales cercanas al Puerto de Santo Tomas de Castilla, en Guatemala; rompeolas en el litoral de Venezuela; protecciones marginales de la Terminal Marítima de la Refinería de la Hess Oil Virgin Islands Corporation, en Saint Croix; protección de tuberías en Curazao, Antillas Holandesas; protecciones marginales en la Costa de California en Goleta, cerca de Santa Barbara, entre otras muchas más, en Sudamérica, África y Medio Oriente.

Cabe señalar que originalmente la tecnología de mezclar mortero en obra bajo agua con sacos textiles reforzados se enfocaba hacia países en desarrollo, para crear empleos productivos entre los habitantes de las cercanías, los cuales se capacitaban en el mismo trabajo, aprovechando al máximo los recursos disponibles en el lugar y con la utilización de equipos pequeños y fácilmente transportables. De ahí que en algún momento se les haya denominado obras costeras de mano de obra por su alto sentido social y práctico, que asegura la permanencia en la región de más del 35% de la inversión.

Por el hecho de que cada elemento se funde exactamente en el sitio indicado por el diseño, es posible, en la mayoría de los casos, optimizar el proyecto, minimizando los volúmenes de obra, lo cual obviamente disminuye los tiempos de ejecución y especialmente los costos.

Por lo antes indicado, varios países desarrollados han aplicado esta tecnología con éxito, ajustándola a sus necesidades: los altos costos de la mano de obra determinan que se reduzca a sólo cuatro trabajadores y que el concreto se surta por medio de camiones premezcladores desde las plantas cercanas, sin que los costos finales dejen de ser atractivos.

La velocidad de avance queda establecida por la capacidad de suministro y bombeo del concreto, pues se pueden aumentar los turnos y los frentes de trabajo para cumplir con los plazos requeridos en los programas de obra, los cuales deben fijarse de acuerdo con las condiciones de marea y estado del mar, para lograr la máxima eficiencia.

El sistema permite perfeccionar los transportes, ya que los sacos textiles vacíos, que pesan pocas Libras, ayudan a construir enormes geosacos de concreto de varias toneladas en unos cuantos minutos.

En ciertos casos se ha reclamado tierra al mar, conteniendo los rellenos por medio de diques de sacos rellenos de mezcla que cuestan menos que el rebombeo del dragado a los lugares autorizados de descarga. Además, aparte del ahorro en tiempo, se logran zonas verdes y de recreo, como fue el caso del Paseo del Lago, en Maracaibo, donde se recuperaron 67 hectáreas con aproximadamente 2 km. De rompeolas. Un

proyecto similar fue presentado por Brown & Root a las autoridades del puerto de Free Port en Texas, para profundizar el canal y recobrar un área junto al rompeolas oeste.

Por otro lado, se han utilizado en la reparación y protección de muelles, como en el caso de 700 m. de la terminal marítima de Santa Martha por cuenta del Compuertos (Puertos de Colombia.)

Además se han utilizado los geosacos de concreto para detener el efecto de erosión al pie de la hidroeléctrica Chixoy, Baja Verapaz en Guatemala.

En repetidas ocasiones, se han colocado tipos de geosaco de concreto como coraza de protección de contenedores textiles llenos hidráulicamente con arena para formar el cuerpo principal de la estructura. Ejemplo de esto es el acceso y rompeolas en el puerto de San Jorge en el Lago de Nicaragua, realizados por una empresa local por cuenta del departamento de navegación.

Vale la pena señalar que este método ha sido ejecutado con más facilidad en las costas del océano Atlántico que en las costas del océano Pacífico, ya que las fuertes rompientes del oleaje no permiten un fraguado homogéneo del mortero dentro de la bolsa, teniéndose que utilizar aditivos acelerantes del fraguado o bien metodologías alternas de construcción que puedan ser utilizadas en las zonas de rompiente.

**3. Tapete antisocavacion lastrado en sitio.** En este sistema se inyecta el mortero al interior de un contenedor sintético, formado por dos capas de tela de alta resistencia para formar un revestimiento. La innovación consiste en refuerzos espaciados, continuos y entretejidos. Una vez llenos los interiores, se logran los espesores y características del proyecto.



Fotografía 18 (Protección de talud costero con tapete antisocavacion)

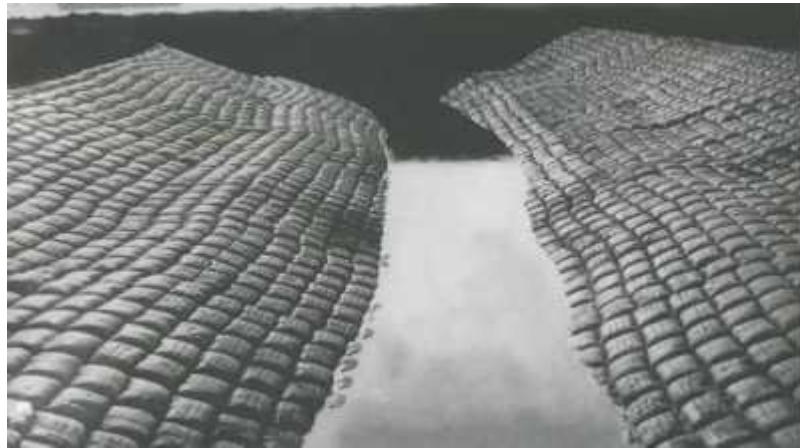
El tapete es utilizado para la protección, impermeabilización y consolidación de taludes y causes de ríos, en la construcción de canales y defensas playeras, en el lastrado y en la protección de tuberías. (Fotografía 19)

El tapete comprende ciertas características que la identifican como el método mejor adaptado para la protección de taludes entre las cuales se incluyen:

-Se pueden llevar a cabo revestimientos rígidos o flexibles y a la vez pueden ser de tipo impermeable o permeable.

-Se puede colocar bajo el agua, lo cual permite se continúe con el servicio de llenado o drenaje y evita la construcción de obras de desvío.

-Ciertos tipos son adecuados para evitar el crecimiento de vegetación. A su vez, existen otros tipos que dan lugar a que la vegetación crezca a través de el, lo cual resulta recomendable para fines estéticos o ambientalistas.



Fotografía 19 (construcción de canal por medio de tapete antisocavacion)

-A la fecha se han desarrollado cinco tipos básicos, y de estos se discutirán únicamente los tres mas utilizados.

a. Tipo estandar (E) Este tipo, denominado así por su apariencia, resulta muy eficiente para protección de suelos estables no propensos a asentamientos. Su apariencia, una vez terminado, es de una serie de prominencias o de una colchoneta, siendo su textura exterior tal que presenta una superficie adecuada para escurrimiento del agua.

A su vez, pensando en la necesidad de cierto efecto de articulación y como ayuda para el efecto de alivio de subpresión, los paneles individuales pueden unirse entre sí con tiras de material textil sintético, cosidas de tramo en tramo.

Este tipo de revestimiento ha sido diseñado para cubrir una amplia gama de necesidades, para lo cual se dispone de espesores que varían de 8 a 25 cm (Ver tabla 1).

Estos elementos se llenan en sitio, sobre la superficie por recubrir, utilizando bombas de concreto para inyectar mortero o concreto a través de tuberías que se insertan desde la parte superior, entre las dos capas de tela. Se hace notar que la característica de estos elementos es tal que pueden ser colocados y llenados bajo el agua, utilizando un equipo ligero y buzos con equipo adecuado. Por el solo hecho de poder colocar y llenar bajo el agua, resulta ideal para aquellos casos en que no es posible suspender un servicio de suministro o desagüe. Asimismo, esta facultad evita las costosas operaciones de desviación, que en sí constituye un problema. Por ser el material que lo constituye semipermeable, para algunos casos específicos, cuando el proyecto así lo requiriese, podría empleársele como elemento filtrante, ya que se le puede llenar con arena.

b. Tipo articulado (A) Este revestimiento está formado por una serie de unidades en forma de cuadros, el cual funciona en grupo como una entidad flexible o articulada. Se utiliza para taludes en los cuales se considera cederá el suelo de apoyo. El elemento articulador lo constituye una tira, también de material textil sintético, que a la vez actúa como filtro para alivio instantáneo de subpresión.

Con objeto de ofrecer al ingeniero una amplia gama de posibilidades y poder contar con los elementos más adecuados para cada caso en particular, este tipo de tapete puede encontrarse con espesores que varían desde 10 a 30 cms. (Ver tabla, No.1). Ello da lugar a que exista bastante libertad para cubrir los requerimientos propios de cada proyecto, ya que por experiencia las condiciones básicas de cada proyecto no suelen ser parámetros fijos, sino que requieren de soluciones diferentes para cada caso.

El área de filtro de los tapetes es suficiente para que ocurra un trabajo eficiente de disipación instantánea de las fuerzas de subpresión. Lo mismo se puede comentar en lo que a efecto de asentamientos diferenciales se refiere.

La enorme ventaja de articulación permite que éstos actúen como los elementos antierosivos para proteger pies y talones de muros, estructuras fluviales y marinas, ya que se logra mantener alejado del pie de la erosión, al “seguir” este revestimiento los contornos sin que estos se rompan. Este proceso de acompañamiento da lugar a que los costos de mantenimiento se vean reducidos.

c. Tipo intercalado (I) Este tipo que solamente se llena en forma parcial con mortero presenta la apariencia de una malla gruesa, por lo cual se le conoce como tipo intercalado. Resulta especialmente recomendable y propio para aquellas superficies que no estarán muy frecuentemente en contacto con el agua, obteniéndose simultáneamente una protección adecuada y de bajo costo por el considerable ahorro que se obtiene en el volumen requerido de materiales de construcción.

Entre los cordones sólidos que forman la malla, permanece la cubierta cuadrada de material textil, misma que puede ser cortada una vez que ha fraguado el mortero, con lo cual da lugar a que en estos huecos crezca la vegetación en forma natural, o bien se implante en ellos vegetación especialmente seleccionada para fines ornamentales.

Este aspecto resulta especial y distintivo, ya que para protección de taludes en zonas urbanas o residenciales se rompe el aspecto gris de los recubrimientos usuales por uno agradable y efectivo, que además cumple ampliamente con los requisitos de tipo ambientalista.

Dependiendo de las condiciones climáticas y del suelo, en poco tiempo la vegetación empieza a crecer através de los cuadros y puede llegar a cubrirlos completamente.

Debido a los motivos de economía antes enunciados, este tipo es de únicamente 10 cms. de espesor.

Una solución muy recomendable y practicada es combinar este tipo I con el anterior (tipo E), ya que para una sección expuesta a conducción hidráulica, resulta positivo el revestir la sección de flujo permanentemente, con el tipo E, y aquellas secciones que ocasionalmente están sujetas a la acción hidrodinámica, con el tipo I.

Con objeto de identificación se ha dotado a estos elementos de una nomenclatura, designando a los distintos tipos por letras mayúsculas que los identifican así:

A = Articulado

E= Estándar o de espesor uniforme

I= Intercalado

El sistema incluye asociar a cada letra anterior con un dígito, después de un guión, el cual indica automáticamente el espesor promedio en centímetros.

Así, cuando se indica tipo A-15, significa articulado de 15 cms. De espesor; I-10, intercalado de 10 cms, etc.

#### Tipos y características generales de los revestimiento tipo tapete

<b>TIPO</b>	<b>ESPESOR</b>	<b>PESO APROX. (sobre el agua)</b>	<b>PESO APROX. (sumergido)</b>
<b>ARTICULADO "A"</b>	10 cm	187 kg/m <sup>2</sup>	102 kg/m <sup>2</sup>
	12 cm	224 kg/m <sup>2</sup>	122 kg/m <sup>2</sup>
	15 cm	281 kg/m <sup>2</sup>	153 kg/m <sup>2</sup>
	20 cm	374 kg/m <sup>2</sup>	204 kg/m <sup>2</sup>
	25 cm	468 kg/m <sup>2</sup>	256 kg/m <sup>2</sup>
	30 cm	561 kg/m <sup>2</sup>	306 kg/m <sup>2</sup>
<b>"E"</b>	8 cm	176 kg/m <sup>2</sup>	96 kg/m <sup>2</sup>
	10 cm	220 kg/m <sup>2</sup>	120 kg/m <sup>2</sup>
	12 cm	264 kg/m <sup>2</sup>	144 kg/m <sup>2</sup>
	15 cm	330 kg/m <sup>2</sup>	180 kg/m <sup>2</sup>
	20 cm	440 kg/m <sup>2</sup>	240 kg/m <sup>2</sup>
	25 cm	550 kg/m <sup>2</sup>	300 kg/m <sup>2</sup>
<b>"I"</b>	10 cm	132 kg/m <sup>2</sup>	72 kg/m <sup>2</sup>

(Tabla No.1)

Se han llevado a cabo diversos trabajos con un tipo de tapete antisocavacion lastrado en situ, en diferentes partes del mundo. Citándose a continuación algunos ejemplos de aplicación

- Como recubrimiento de taludes de presas con estos sistemas, se mencionará el caso de la presa El Cigarrón, en Venezuela, sitio donde no se disponía de material rocoso adecuado para recubrir los taludes. Después de estudiar diversas alternativas, las autoridades correspondientes optaron para recubrir la totalidad del talud de aguas arriba con un tipo de tapete antisocavacion estándar (E-15) y un articulado (A-15).

El revestimiento se remató en la cresta mediante una viga de concreto, fundida en obra en una zanja, que a la vez de anclar el revestimiento limita la cresta.

- Se citará el caso del muelle construido en Kuwait, en el Medio Oriente, para el hotel flotante Stella Polaris del consorcio Gulf International-Marriott, para la cual después de estudiar diferentes alternativas, una conocida firma consultora de Londres, Inglaterra, especificó que la obra, de 600 mts. de longitud, se llevase a cabo utilizando un diseño que combinara un geosaco de concreto, un tapete antisocavacion y un gavión roca. El proyecto consistía en colocar primeramente un delantal constituido por un tapete antisocavacion de tipo A-15 para proteger el pie del muelle y mantener alejada la erosión. Sobre este delantal se colocaron posteriormente elementos gavión roca (llenados con arena), los cuales se protegieron a su vez con un tipo de geosaco de concreto (llenado con mortero).

- El condado de Harris, en Texas, se distingue por su heterogeneidad de suelos, problemas de cadencias y gran numero de drenes de agua fluviales. La zona se encuentra plena de desarrollos residenciales, por lo cual los requisitos de tipo ambientalista son bastante estrictos.

-En mayo de 1977, las autoridades decidieron recubrir un tramo del arroyo de Ciprés Woods por medio de una solución combinada, para lo cual el fondo del canal y el tramo inferior de ambos taludes se recubrió con un tapete antisocavacion de tipo Estándar (E-10) y las superficies superiores de los taludes se protegieron con el tipo Intercalado (I-10). Los resultados han sido satisfactorios, una inspección llevada a cabo un año después mostrando que el revestimiento se encuentra en perfecto estado y en las superficies revestidas con tipo intercalado (I-10) la vegetación se ha desarrollado de muy buena manera.

- En el canal de Suez las autoridades que administran tan importante vía fluvial se han preocupado desde su reapertura en 1975 por la constante erosión de los bordes, producto del oleaje provocado por él tráfico de embarcaciones. Los planes contemplan la ampliación de dicha vía así como la estabilización de taludes, que en primera etapa preveían incluso revestimientos del orden de 80 cm. a base de material rocoso, lo cual además de costoso, resultaría sumamente laborioso.

- En Guatemala, después de analizar las ventajas económicas, de operación y factibilidad de colocación, de diferentes recubrimientos, se seleccionó un tapete antisocavacion lastrado en situ para la protección en ciertas partes del Canal de Chiquimulilla.

- Conjuntamente con elementos constituidos con geosacos de concreto, la utilización del sistema del tapete antisocavacion, en la protección de drenes en puentes carreteros sobre vías fluviales ha demostrado ser una solución económica y efectiva, como es el caso de los puentes Pitahaya y José Colomo, en el Estado de Tabasco.

Ahora bien, la utilidad de los elementos para recubrimiento aquí descritos no se limita exclusivamente a protecciones de ríos, drenes, etc., sino que también pueden ser muy útiles para obras marítimas y protecciones marginales de tipo costero. Un caso concreto es el proyecto elaborado para proteger los taludes bajo la ampliación de un muelle de 250 m. de longitud en Puerto Castilla, Honduras, en que el oleaje es relativamente reducido por estar dichas instalaciones debidamente protegidas.

Para este caso se protegieron dichos taludes mediante el empleo de geosacos de concreto con un peso de 6 ton. cada uno. En la parte baja se colocó un recubrimiento a base de tapetes antisocavación tipo articulado (A-30).

**4. Geomembranas** La erosión producida por efecto del viento puede tener efectos de graves consecuencias en suelos y arenas no consolidadas ya sea por condiciones naturales o por efecto de la acción humana; los fenómenos se agudizan en suelos blandos, muy finos y secos, cuando no existe ninguna vegetación que les ofrezca apoyo y cuando quedan expuestas al efecto eólico sobre superficies sin protección. Los sistemas de geomembranas pueden ofrecer la solución indicada para estos problemas de erosión.

El sistema se puede describir como cercas o pantallas de altura variable fabricada con fibras sintéticas en un diseño especial de tipo altamente permeable que permite el paso del aire, pero que detiene una parte de las partículas de arena o suelo puestas en movimiento por el efecto eólico, las que llegan a pasar pierden velocidad y caen detrás de la malla lográndose de esa manera el efecto protector deseado.

Uno de los aspectos importantes no consiste precisamente en el efecto que se obtiene utilizando las geomembranas ya que bardas con varas y otros materiales convencionales han probado su eficiencia sin el empleo de material sintético. Los rollos de geomembranas facilitan grandemente su instalación, lo cual se refleja en ahorro en los costos de mano de obra gracias a la rapidez y sencillez de las operaciones involucradas.

Los precios de la malla de fibras sintéticas varían con el diseño, el material empleado, la altura de la pantalla deseada, y el número de metros de que se requieran en el proyecto. Los postes de soporte pueden conseguirse directamente en el área de la obra. El personal que se necesita para montar no requiere de especialización.

El sistema de utilizar geomembranas con garantía de acción para controlar la erosión inducida por procesos eólicos; la cual está ampliamente probada y se puede aplicar con grandes ventajas para controlar dunas en movimiento, protección en zonas costeras, terrenos, como defensa en zonas urbanas e industriales y poblados en regiones desérticas, etc.

5. **Fibra red.** La erosión marginal y de fondo ocasionada por la energía dinámica del agua (oleajes) en que la corriente es un agente destructivo, puede ser un problema de gran trascendencia cuando afecta terrenos de relativo valor, una de las maneras más sencillas de resolverlo es utilizando el sistema fibra red.

El principio en que se basa es de oponer resistencia a la energía dinámica del agua por medio de una serie de barreras de filamentos flexibles de densidad inferior a la del líquido, disminuyendo la velocidad de choque amortiguando los efectos del movimiento y propiciando el depósito en esa zona de partículas de sedimento que se transportan en suspensión. Los grupos de filamentos se encuentran fijos a espaciamientos regulares de manera que al extenderse se traslapan entre sí todos los manojos uniéndose a un soporte mismo que está junto al fondo o al margen que se desea proteger.

El aspecto interesante del sistema consiste en que se puede modificar prácticamente a voluntad, el coeficiente de rugosidad de la zona del cauce donde se instale, actuando prácticamente como una trampa para captar sedimentos. Al colocar los soportes en forma paralela al área a proteger y con una longitud ligeramente inferior al área, estos ofrecerán un aspecto de sembrado con vegetación sintética actuando de manera conjunta en su efecto protector. Al ocurrir el caso más desfavorable de condiciones extremas (crecida máxima, oleaje de tormenta, etc.), su función no será la de captar sedimentos sino de proteger las partículas que se encuentran ya dentro, impidiendo su salida ya que las cubrirán como un tapete impidiendo notablemente la erosión del fondo o de la playa; al término de las condiciones extremas volverá a funcionar como captador de sedimentos.

El aspecto costo es muy razonable si se compara con los métodos convencionales para tratar de controlar la erosión. Son de rápida y fácil instalación de los mechones de filamentos que pueden ir originalmente impregnados con un compuesto químico soluble en el agua para evitar que se enreden entre sí antes de su instalación definitiva.

Los precios son variables según el modelo de fibra red que sea necesario instalar, dependiendo de su longitud y número de filamentos así como tipo de material sintético a utilizar en los mechones y soportes. Además de ser variables tomando en cuenta los problemas de anclaje y fijación al fondo o en playas. Su durabilidad esta en función del tipo de fibras que se empleen variando de uno a cinco años.

El procedimiento de operación tan simple ofrece enormes ventajas y su fácil aplicación lo hace ideal para protecciones contra la erosión playera donde la inversión deba limitarse. En zonas costeras donde se quiera provocar el depósito de sedimentos sometidos a fuertes condiciones de oleaje en control de socavación playera y local en canales y ríos como protección adicional a pilas de puentes marítimos, hidráulicos y fluviales en las que se puedan presentar socavaciones de importancia y en todos los casos bajo el agua donde la erosión requiera ser controlada.

6. **Malla estaca.** En la zona cercana a su desembocadura de los ríos al mar se tiene la tendencia a formar meandros, depositados en su cauce principal por lo que en algunos casos se considera conveniente encauzarlos, a base de rompeolas que pueden ser permeables o no. Los cuales al ocurrir averías de

consideración son destruidos o pueden ocasionar serios problemas gracias a la disminución del área hidráulica que producen. Siendo ésta una solución práctica, que se logra con los sistemas malla estaca.

El sistema se basa en una serie de estructuras simples consistentes en un elemento tubular de soporte que se hinca hidráulicamente hundiéndose en la profundidad del río unido a un esqueleto que soporta una malla de material sintético que tiene como función deflectar la corriente. Todos los bastidores y sus respectivos paneles de cada espigón son orientados gracias a un vástago que los une. (Fotografía 20) Las partículas de agua son reflejadas en las mallas o pantallas de acuerdo con el ángulo de incidencia de la corriente.



Fotografía 20 (malla estaca utilizada como barrera en canal)

El aspecto original de los rompeolas de malla estaca es el de pantalla. Este puede variar a voluntad de su orientación con lo cual se puede controlar relativamente el efecto que producen en el régimen hidráulico, lo cual es prácticamente imposible con las estructuras construidas de materiales convencionales.

Los costos son reducidos, debido a la sencillez del diseño; la malla estaca se puede prefabricar, por medio de elementos tubulares y soportes. Cuando estos son de acero deben ser sometidos a un proceso especial de galvanizado que los proteja contra los efectos de la corrosión; ya que en el lugar se les acopla la malla propiamente dicha la cual, para evitar efectos galvánicos, se utilizan varios metales además de un tejido de fibras sintéticas o bien a base de placas de materiales plásticos; las malla estacas, una vez instaladas, se pueden ligar entre sí para dar mayor rigidez al conjunto.

El procedimiento para hincar el tramo tubular en la profundidad de la playa que sirve de soporte a la malla estaca, es muy rápido y simple con la ayuda de una bomba de agua inyectando agua a presión en el interior del tubo, el avance es muy rápido en fondos arenosos, granulares, limosos y arcillosos.

El aspecto costo está en función directa con las dimensiones de la malla estaca, la fibra sintética que se utiliza en las mallas y las condiciones prevalecientes en el lugar de la obra durante la época del año en que

ejecuten los trabajos. En condiciones normales un equipo de 10 personas en un turno normal de ocho horas deben instalar entre 25 a 50 malla estacas (con pantalla 0.93 x 1.50 x 3.00).

Otra aplicación de este singular elemento de construcción es mediante unas pequeñas modificaciones al esqueleto de soporte en el que se pueden lograr traslapes de los extremos y al colocarlos en forma alterna, levantar muros verticales de soporte. Logrando así que trabajen como un verdadero malla estacado, pudiendo colocar tensores de soporte en el caso de ser requerido.

La sencillez del concepto de la malla estaca y su rapidez para instalarlo asegura un amplio campo de aplicación en pequeñas obras de hidráulica marítima. Rompeolas para fines de encauzamiento; muros marginales de protección, muelles, para retener el agua en excavaciones y paneles de separación en proyectos piscícolas de acuicultura, erección de estanques camaroneros, control de erosión en costas, etc.

7. Tablestaca. Las tablestacas ancladas son elementos de retención del suelo, generalmente en fronteras con agua.



Fotografía 21 (tablaestaqueado en el océano pacifico, Guatemala)

Dependiendo de la profundidad de hincado para un tipo de suelo dado, se agrupan en tablestacas de apoyo libre y de apoyo fijo. De acuerdo con las características de su construcción, las tablestacas pueden ser de dragado o de relleno; la estructura se hincan en el terreno natural y después se draga su lado exterior, cediendo espacio a las aguas; en las segundas, por el contrario, se gana terreno al agua hincando la tablestaca de modo que una altura importante quede libre y rellenando posteriormente el lado interior.

Se supone que toda la superficie interior está sujeta a presión activa y que en la parte enterrada de la superficie exterior actúa una resistencia pasiva.

Para el diseño de tablestacas ancladas se deben seguir los siguientes pasos.

- Valuación de las fuerzas actuantes en la superficie interior.
- Determinación de la profundidad de penetración.
- Cálculo máximo momento flexionante.
- Valuación de la fuerza de tensión en el anclaje.
- Determinación de los esfuerzos admisibles en los distintos elementos de acuerdo con las incertidumbres que se hayan tenido en la valuación de las fuerzas actuantes.
- Determinación de la profundidad de penetración.



Fotografía 22 (tablaestaqueado como muro de retención)

La experiencia ha probado que existe una pequeña ventaja en hincar la tablestaca debajo de un nivel, que garantice que no se producirá una falla por movimiento hacia fuera de la parte enterrada y que garantice también un desplazamiento convenientemente pequeño del extremo inferior de la estructura.

La utilización de tablestaca en obras de protección es muy variada como por ejemplo en Veracruz (México), donde se inició formalmente los trabajos de protección a la cimentación del Fuerte de San Juan de Ulúa, con la colocación de tabla estacas metálicas, una especie de barrera exterior que servirá como muro de contención que evite el desplazamiento y frene el deterioro de las base de la construcción, sumergidos en el agua. (Fotografía 23)

Otro ejemplo de este tipo de protección son todos los muros interiores de la dársena del puerto Quetzal ya que están construidos con tablestaca metálica con protección catódica para evitar la corrosión de las

mismas. Existen también tablestaca fabricadas con material PVC utilizadas en proyectos recreacionales en el canal de Chiquimulilla.



Fotografía 23 (tablaestacas a utilizar en la cimentación del Fuerte de San Juan de Ulúa, México)

Fueron usadas barreras de 18 metros de longitud por una pulgada de espesor y 70 centímetros de ancho.

8. **Enrocamiento.** Uno de los materiales más utilizado en la protección contra la erosión es la roca. La roca en si, presenta ciertos factores que favorece su utilización en la construcción, así como lo son, su disposición y precio. El material rocoso puede ser producto de la explotación de pedreras o de depósitos de roca. Dos ejemplos de cómo se podría utilizar la roca son:

-En arrecifes artificiales

-En la protección playera en forma de paredes verticales en la costa. (Fotografía 24)



Fotografía 24(enrocamiento utilizado como protección de playa )

-Para toda construcción, la roca a utilizar debe ser examinada por su densidad, absorción, desgaste y resistencia al intemperismo, además debe ser graduada y clasificada así como lo requiera el diseño a ejecutar. La piedra debe de resistir la constante erosión ocasionada por las corrientes de agua además de tener un peso y masa suficiente para no moverse sin modificar la forma de la estructura protectora.

-En los enrocamientos no se debe permitir la utilización de ninguna clase de tierra, arena o polvo de roca en cantidades mayores al 5% en peso, de los materiales rocosos a utilizar. La roca más pesada debe de calificarse e instalarse en la parte más profunda de la estructura disminuyendo su peso mientras la estructura se eleva.

-El asentamiento de las rocas tiene que ser en capas no menores de 1 metro de altura en dirección de la corriente. La instalación de las rocas debe llevarse a cabo por medio de métodos mecánicos que puedan mantener la estabilidad de la estructura mientras se construye sobre ella, es decir, que pueda mantener la forma diseñada según estudios previos. En estas operaciones efectuadas se debe tratar de disminuir el número de vacíos entre rocas para obtener un enrocamiento más compacto, con una mayor uniformidad y consolidación.

-Previo a la colocación de la roca es recomendable la instalación de algún tipo geotextil que no permitan las pérdidas de los finos durante el tiempo que la estructura sea sometida a corrientes marinas. Este método fue utilizado en el lado este del Puerto Quetzal en la costa pacífica de Guatemala.



Fotografía 25 (enrocamiento como protección de playa)

9. **Hexápodos de concreto.** El sistema de hexápodos de concreto interconectados consiste en el ensamble de estas estructuras en una continua, pero flexible matriz (Fotografía 26). Las interconexiones de las unidades de concreto muestran siempre vacíos entre cada enlace, estos pueden ser llenados con material del lugar y pueden ser cubiertos con vegetación para mejorar la estabilidad del sistema. El sistema provee a las unidades estructurales de un diseño antiodaduras equilibrándose individualmente evitando así la deformidad del sistema y el daño por los flujos de agua en el área a proteger.

El sistema de hexápodos puede ser usado como pie de duna de estabilización, combinado con técnicas de relleno sobre la estructura y así formar la duna superior. Los hexápodos pueden ser utilizados también en la protección de bases de muelles, puentes, rompeolas, arrecifes artificiales, etc. minimizando el desgaste de estas estructuras por el continuo actuar de la erosión. La habilidad del sistema de hexápodos de concreto es la de disipar energía y resistir las fuerzas de erosión causadas por el continuo flujo de agua.

El sistema se presenta como una alternativa al método de enrocamiento, fundiciones de bloques de concreto, la armadura de gaviones y cualquier otro sistema de protección pesado que se requiera utilizar como método de protección marina.

El manejo de los hexápodos es similar con el manejo de rocas en obras de enrocamiento, con la particularidad de no necesitar el uso de explosivos o maquinaria pesada para la extracción del material como lo sería en el caso del enrocamiento. Con el sistema de hexápodos las estructuras a utilizar son hechas a la medida, sin tener que lidiar con la elección de material de un banco de roca, tomando en cuenta el tamaño o porosidad. Además la roca de mala calidad o porosa podría llegar a quebrarse en pequeños pedazos y así cambiar o hasta romper la forma de la estructura, caso que no ocurriría con un sistema de hexápodos de concreto. La habilidad de fabricar los hexápodos a un tamaño definido y con una calidad constante permite que se mantenga una mejor interconexión entre los mismos.



Fotografía 26 (colocación de hexápodos de concreto en canal)

Los hexápodos son la versión actual de los ya conocidos tetrápodos, dolos, domos o akmons, stabits y otros. Los beneficios de los hexápodos en relación a los demás diseños se centran en la interconexión que las estructuras entre sí y el equilibrio que esto representa en todo el sistema.

10. Saco contenedor de arena. El Saco contenedor de arena es un sistema mediante el cual se confina hidráulicamente arena en el interior de grandes sacos contenedores permeables de material sintético (polímetros de alta resistencia) empleando motobombas para inyectar una emulsión de agua y arena, la que queda compactada una vez que el agua se fuga a través del textil. El material sintético del contenedor de arena resiste satisfactoriamente el efecto de inmersión en agua salada, el ataque de ácidos, hongos y bacterias, y la exposición a rayos ultravioleta.



### Fotografía 27(Llenado de saco contenedor de arena)

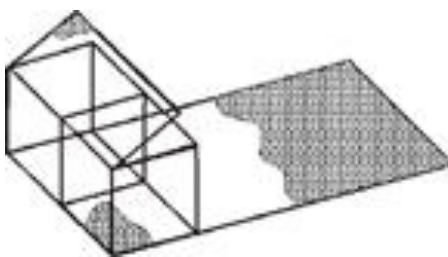
Las dimensiones de estos elementos pueden llegar hasta los 30 m de largo. Ya que el saco contenedor de arena es llenado en situ, este ocupa ya su lugar previsto en la construcción ayudando a su compactación y traslape con los demás sacos proporcionándole características de una estructura monolítica. (Fotografía 27)

Con el sistema de sacos contenedores de arena los costos se minimizan gracias a que su estructura como saco no representa problema de almacenaje y transporte. Además, en el llenado se utiliza personal local capacitado y dirigido por solo unos cuantos técnicos calificados.

Las aplicaciones para el saco contenedor de arena son muy variadas y entre algunas se pueden citar, rompeolas, diques, defensa contra inundaciones, reparaciones de muelles, de rompeolas, además se pueden utilizar en lastrado de oleoductos, gasoductos y acueductos submarinos; recuperación de terrenos al mar, modificación o formación de playas para fines turísticos, etc.

Los métodos anteriormente descritos y estudiados, representan los procedimientos más usuales en la construcción de obras de protección contra la erosión alrededor del mundo. Estos métodos fueron descritos individualmente mostrando su versatilidad, así como sus ventajas; además habría que notar que los sacos pueden ser modificados, incorporando otro método para una mejor adecuación al sistema en el que se va a realizar la obra constructiva.

A continuación se presenta un ejemplo de cómo algunos de estos métodos se pueden combinar y trabajar para solucionar un mismo problema si con amarres de alambre los elementos circunvecinos constituyendo así estructuras semimonolíticas de peso importante, pero de gran flexibilidad.



Fotografía 10 (gavión típico)

El costo de las obras construidas con algún diseño de gavión es inferior en prácticamente todos los casos si se compara a los métodos convencionales. El costo es bajo básicamente por dos motivos

-Se utiliza mano de obra no especializada, barata, que se puede contratar en las localidades cercanas a la obra.

-Se utiliza material aledaño a cada lugar, disminuyendo sustancialmente los renglones de transporte y acarreo.

Utilizando apenas malla y piedra, permiten rapidez de ejecución y posibilidad de trabajo en locales de difícil acceso y condiciones climáticas adversas, el mismo en presencia de agua. Inmediatamente después

de haber sido montados, rellenos y cerrados, los gaviones están listos para desarrollar su función. Permiten la construcción de la obra en etapas y eventuales ampliaciones y modificaciones. (Figura 11 y 12)

Cuando son comparadas a obras técnicas constructivas, las estructuras en gaviones presentan costos directos e indirectos más bajos. Otro factor económico importante es la posibilidad del aumento de la productividad utilizando equipos mecánicos en las operaciones de relleno.

Los rendimientos de llenado son variables pero una brigada en condiciones normales de 16 hombres deberá llenar en un turno de 8 horas, entre 8 y 12 gaviones roca de 3 x 1 x 1 m.

Los gaviones pueden surtirse en varias dimensiones ya listos para armarse o bien en rollos de diversas longitudes y ancho; debido a un proceso especial de galvanizado que, a pesar de los efectos de corrosión del metal, su duración debe exceder los 20 años, pero contando con el recubrimiento de cloruro de polivinilo la duración es todavía mayor y con el polietileno extruído el problema de corrosión desaparece totalmente.

En experiencias de otros países se ha observado que los huecos entre las piedras de relleno son ocupados por material de arrastre lográndose una conglomeración bastante sólida a pesar de que la malla llega a desaparecer.

Las estructuras en gaviones se adaptan a cualquier ecosistema, no constituyen obstáculos al paso de las aguas y están constituidas por materiales inertes que favorecen la recuperación rápida de la fauna y de la flora.

Sus aplicaciones son muy amplias; construcción de espigones de control, espolones, protecciones marginales, diques, muros vertedores, reforzamiento de canales y taludes, muros verticales de soporte, protección de pilas de puentes, bordos para control de erosión de suelos, dunas, etc.

Las estructuras en gaviones presentan también un aspecto social bastante relevante, dado que permiten la utilización de mano de obra local no especializada y pueden ser construidas en régimen comunitario.



Figura 11 (canal construido con gaviones)



Figura 12 (rompeolas construido con gaviones)

**2. Geosaco de concreto** El Geosaco de concreto consiste en una bolsa de material geotextil, hecha especialmente para resistir la exposición al medio acuático, teniendo la función de contener mortero de cemento y arena hasta su endurecimiento. El mortero es colocado en sitio adentro del geosaco a través de una manguera que conduce desde la playa el mortero bombeado y fabricado con arena extraída del lugar.

El geosaco comprende un sistema mediante el cual se funden directamente en el lugar grandes bloques de concreto bajo el agua, en zonas de rompientes o de fuertes corrientes, utilizando grandes cadenas de geotextiles flexibles de material sintético impermeable. Los equipos requeridos de dosificación de mezclado y bombeo son relativamente económicos, ligeros y fácilmente transportables al lugar de la obra. El mezclado se puede realizar por medio de una mezcladora portátil o directamente del camión mezclador y el bombeo con una bomba convencional para bombear concreto o con una bomba para lanzar shotcrete.

Gracias a la envoltura protectora, la mezcla fresca nunca entra en contacto con el medio externo, evitando deslaves y contaminaciones propias de las fundiciones subacuáticas, lográndose bloques muy homogéneos y resistentes. Las dimensiones de los elementos se modulan de acuerdo a los requisitos de forma y peso de cada proyecto en particular. Dependiendo del tipo de proyecto y área a utilizar el geosaco, éste puede ser cosido antes de su llenado para igualar el área deseada a trabajar.

Existe la posibilidad de lograr diseños especiales, al interconectar los elementos de geosaco utilizando cables o barras, lográndose así un gran incremento en el factor de fricción entre ellos.

El geosaco es actualmente utilizado en la construcción, como geomembranas flexibles para la fundición de elementos de gran peso, que formen parte de rompeolas, diques de contención, protecciones costeras y muros de muelle; sirviendo también, –entre otras obras hidráulicas fluviales o marítimas- para cimentar o reparar estructuras socavadas o dañadas.

La construcción de rompeolas mediante el uso del sistema de geosaco por etapas ha sido la solución empleada con éxito en varios países. La utilización de este tipo de construcción ha significado una gran disminución de volúmenes de obra, tiempo y costo de este tipo de construcciones, constituyendo así un fuerte atractivo, especialmente para los países con serias restricciones presupuestarias. (Figura 13, 14 y 15)



*Fotografía 13 (rompeolas construido con geosacos)*



Fotografía 14(protección de canal con geosacos)



Fotografía 15(geosaco clocado como base de muelle de carga)

El procedimiento básico consiste en bombear hacia el interior de estos sacos textiles una mezcla fraguable, previamente mezclada. (Figura 16) La idea de ser llenadas directamente en el sitio constituye otro factor importante para así evitar las costosas maniobras de transporte y colocación, y con ello eliminar los pesados equipos de construcción que estos movimientos implican.



Fotografía 16 (bombeo de mezcla en un geosaco)

Cuando las operaciones se realizan bajo el agua, normalmente se requiere la intervención de trabajadores anfibios que van colocando en el lugar preciso, según un programa y orden preestablecido, los sacos vacíos, sosteniéndolos e interconectándolos con los elementos vecinos previamente colocados, hasta que tienen en su interior suficiente peso para no ser desplazadas por las corrientes o el oleaje.

En los últimos años han estado desarrollando una serie de métodos que eliminan la necesidad de utilizar buzos durante las fundiciones bajo el agua, limitando su participación a labores de inspección y supervisión. (Fotografía 17) Otros procedimientos simplificados permiten la fundición bajo el agua y la colocación de la mezcla directa cuando se presentan condiciones extremas, especialmente en emergencias e inundaciones.



Fotografía 17 (buzo inspecciona estructura de geosaco)

Ante la necesidad de obtener factores de diseño y cálculo que estén de acuerdo con las dimensiones de los elementos fundidos bajo el agua con sacos textiles reforzados, se realizaron una serie de estudios en laboratorios:

-En el instituto de ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

-En Río de Janeiro, el Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviarias (INPH), dependiente de la Empresa de Puertos de Brasil, PORTOBRAS, ha efectuado una serie de estudios muy completos en canal de olas y en tridimensional de fondo móvil para diversos proyectos, ratificando el excelente comportamiento de un tipo de geosaco de concreto ante olas de gran energía.

-Tetra Tech, Inc. de Pasadena, California, por cuenta de un grupo de empresas petroleras norteamericanas y la Alaska Oil & Gas Association, revisó cuidadosamente todos los estudios de laboratorio de cómo un tipo de geosaco de concreto trabaja con miras a su aplicación en el Mar de Baufort, en el norte de Alaska, para proteger islas artificiales.

Entre las conclusiones de los estudios, se ha encontrado que para la estabilidad, orientación, acomodo, orden de colocación, entrelazamiento, protección antisocavacion al pie de las estructuras e interconexión con fuertes cables flexibles, es importante que por lo menos las tres capas superiores de elementos de geosaco de concreto, el elemento de la corona, tengan mayores dimensiones y peso que los demás.

Los resultados reales ante condiciones oceánicas extremas, recopiladas durante 17 años, han sido ampliamente satisfactorios. El huracán Brenda entro a tierra en Tabasco (México), muy cerca de donde se construyeron dos rompeolas con un tipo de geosaco de concreto. Los daños fueron mínimos y limitados a los elementos recién fundidos. El ciclón Carmen pasó sobre los rompeolas en construcción de las obras de toma y descarga de la Termoeléctrica Campeche II (México), ocasionando escasos perjuicios. El ciclón del siglo Gilberto no dañó ningún de los 12 rompeolas de geosaco en la península yucateca (México).

Existen datos sobre el comportamiento de elementos del tipo del geosaco de concreto en otros lugares del mundo, también ante ciclones tropicales; esto corrobora que, si su colocación ha sido según diseño y evitando asentamientos, dichos elementos resisten de manera muy satisfactoria los oleajes de tormenta, que tienen gran energía por su altura y elevada longitud de onda.

Por ejemplo, existen protecciones marginales cercanas al Puerto de Santo Tomas de Castilla, en Guatemala; rompeolas en el litoral de Venezuela; protecciones marginales de la Terminal Marítima de la Refinería de la Hess Oil Virgin Islands Corporation, en Saint Croix; protección de tuberías en Curazao, Antillas Holandesas; protecciones marginales en la Costa de California en Goleta, cerca de Santa Barbara, entre otras muchas más, en Sudamérica, África y Medio Oriente.

Cabe señalar que originalmente la tecnología de mezclar mortero en obra bajo agua con sacos textiles reforzados se enfocaba hacia países en desarrollo, para crear empleos productivos entre los habitantes de las cercanías, los cuales se capacitaban en el mismo trabajo, aprovechando al máximo los recursos disponibles en el lugar y con la utilización de equipos pequeños y fácilmente transportables. De ahí que en algún momento se les haya denominado obras costeras de mano de obra por su alto sentido social y práctico, que asegura la permanencia en la región de más del 35% de la inversión.

Por el hecho de que cada elemento se funde exactamente en el sitio indicado por el diseño, es posible, en la mayoría de los casos, optimizar el proyecto, minimizando los volúmenes de obra, lo cual obviamente disminuye los tiempos de ejecución y especialmente los costos.

Por lo antes indicado, varios países desarrollados han aplicado esta tecnología con éxito, ajustándola a sus necesidades: los altos costos de la mano de obra determinan que se reduzca a sólo cuatro trabajadores y que el concreto se surta por medio de camiones premezcladores desde las plantas cercanas, sin que los costos finales dejen de ser atractivos.

La velocidad de avance queda establecida por la capacidad de suministro y bombeo del concreto, pues se pueden aumentar los turnos y los frentes de trabajo para cumplir con los plazos requeridos en los programas de obra, los cuales deben fijarse de acuerdo con las condiciones de marea y estado del mar, para lograr la máxima eficiencia.

El sistema permite perfeccionar los transportes, ya que los sacos textiles vacíos, que pesan pocas Libras, ayudan a construir enormes geosacos de concreto de varias toneladas en unos cuantos minutos.

En ciertos casos se ha reclamado tierra al mar, conteniendo los rellenos por medio de diques de sacos rellenos de mezcla que cuestan menos que el rebombeo del dragado a los lugares autorizados de descarga. Además, aparte del ahorro en tiempo, se logran zonas verdes y de recreo, como fue el caso del Paseo del Lago, en Maracaibo, donde se recuperaron 67 hectáreas con aproximadamente 2 km. De rompeolas. Un proyecto similar fue presentado por Brown & Root a las autoridades del puerto de Free Port en Texas, para profundizar el canal y recobrar un área junto al rompeolas oeste.

Por otro lado, se han utilizado en la reparación y protección de muelles, como en el caso de 700 m. de la terminal marítima de Santa Martha por cuenta del Compuertos (Puertos de Colombia.)

Además se han utilizado los geosacos de concreto para detener el efecto de erosión al pie de la hidroeléctrica Chixoy, Baja Verapaz en Guatemala.

En repetidas ocasiones, se han colocado tipos de geosaco de concreto como coraza de protección de contenedores textiles llenos hidráulicamente con arena para formar el cuerpo principal de la estructura. Ejemplo de esto es el acceso y rompeolas en el puerto de San Jorge en el Lago de Nicaragua, realizados por una empresa local por cuenta del departamento de navegación.

Vale la pena señalar que este método ha sido ejecutado con más facilidad en las costas del océano Atlántico que en las costas del océano Pacífico, ya que las fuertes rompientes del oleaje no permiten un fraguado homogéneo del mortero dentro de la bolsa, teniéndose que utilizar aditivos acelerantes del fraguado o bien metodologías alternas de construcción que puedan ser utilizadas en las zonas de rompiente.

**3. Tapete antisocavacion lastrado en sitio.** En este sistema se inyecta el mortero al interior de un contenedor sintético, formado por dos capas de tela de alta resistencia para formar un revestimiento. La innovación consiste en refuerzos espaciados, continuos y entretejidos. Una vez llenos los interiores, se logran los espesores y características del proyecto.



Fotografía 18 (Protección de talud costero con tapete antisocavacion)

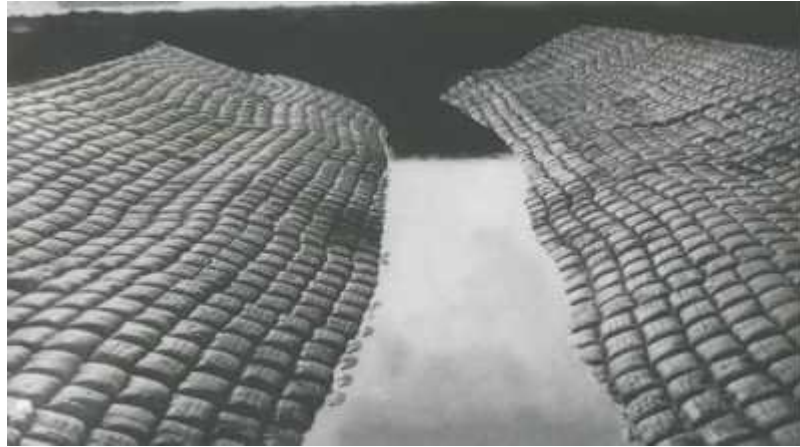
El tapete es utilizado para la protección, impermeabilización y consolidación de taludes y causes de ríos, en la construcción de canales y defensas playeras, en el lastrado y en la protección de tuberías. (Fotografía 19)

El tapete comprende ciertas características que la identifican como el método mejor adaptado para la protección de taludes entre las cuales se incluyen:

- Se pueden llevar a cabo revestimientos rígidos o flexibles y a la vez pueden ser de tipo impermeable o permeable.

- Se puede colocar bajo el agua, lo cual permite se continúe con el servicio de llenado o drenaje y evita la construcción de obras de desvío.

- Ciertos tipos son adecuados para evitar el crecimiento de vegetación. A su vez, existen otros tipos que dan lugar a que la vegetación crezca a través de el, lo cual resulta recomendable para fines estéticos o ambientalistas.



Fotografía 19 (construcción de canal por medio de tapete antisocavacion)

-A la fecha se han desarrollado cinco tipos básicos, y de estos se discutirán únicamente los tres mas utilizados.

a. Tipo estandar (E) Este tipo, denominado así por su apariencia, resulta muy eficiente para protección de suelos estables no propensos a asentamientos. Su apariencia, una vez terminado, es de una serie de prominencias o de una colchoneta, siendo su textura exterior tal que presenta una superficie adecuada para escurrimiento del agua.

A su vez, pensando en la necesidad de cierto efecto de articulación y como ayuda para el efecto de alivio de subpresión, los paneles individuales pueden unirse entre sí con tiras de material textil sintético, cosidas de tramo en tramo.

Este tipo de revestimiento ha sido diseñado para cubrir una amplia gama de necesidades, para lo cual se dispone de espesores que varían de 8 a 25 cm (Ver tabla 1).

Estos elementos se llenan en sitio, sobre la superficie por recubrir, utilizando bombas de concreto para inyectar mortero o concreto a través de tuberías que se insertan desde la parte superior, entre las dos capas de tela. Se hace notar que la característica de estos elementos es tal que pueden ser colocados y llenados bajo el agua, utilizando un equipo ligero y buzos con equipo adecuado. Por el solo hecho de poder colocar y llenar bajo el agua, resulta ideal para aquellos casos en que no es posible suspender un servicio de suministro o desagüe. Asimismo, esta facultad evita las costosas operaciones de desviación, que en sí constituye un problema. Por ser el material que lo constituye semipermeable, para algunos casos específicos, cuando el proyecto así lo requiriese, podría empleársele como elemento filtrante, ya que se le puede llenar con arena.

b. Tipo articulado (A) Este revestimiento está formado por una serie de unidades en forma de cuadros, el cual funciona en grupo como una entidad flexible o articulada. Se utiliza para taludes en los cuales se considera cederá el suelo de apoyo. El elemento articulador lo constituye una tira, también de material textil sintético, que a la vez actúa como filtro para alivio instantáneo de subpresión.

Con objeto de ofrecer al ingeniero una amplia gama de posibilidades y poder contar con los elementos más adecuados para cada caso en particular, este tipo de tapete puede encontrarse con espesores que varían desde 10 a 30 cms. (Ver tabla, No.1). Ello da lugar a que exista bastante libertad para cubrir los requerimientos propios de cada proyecto, ya que por experiencia las condiciones básicas de cada proyecto no suelen ser parámetros fijos, sino que requieren de soluciones diferentes para cada caso.

El área de filtro de los tapetes es suficiente para que ocurra un trabajo eficiente de disipación instantánea de las fuerzas de subpresión. Lo mismo se puede comentar en lo que a efecto de asentamientos diferenciales se refiere.

La enorme ventaja de articulación permite que éstos actúen como los elementos antierosivos para proteger pies y talones de muros, estructuras fluviales y marinas, ya que se logra mantener alejado del pie de la erosión, al “seguir” este revestimiento los contornos sin que estos se rompan. Este proceso de acompañamiento da lugar a que los costos de mantenimiento se vean reducidos.

c. Tipo intercalado (I) Este tipo que solamente se llena en forma parcial con mortero presenta la apariencia de una malla gruesa, por lo cual se le conoce como tipo intercalado. Resulta especialmente recomendable y propio para aquellas superficies que no estarán muy frecuentemente en contacto con el agua, obteniéndose simultáneamente una protección adecuada y de bajo costo por el considerable ahorro que se obtiene en el volumen requerido de materiales de construcción.

Entre los cordones sólidos que forman la malla, permanece la cubierta cuadrada de material textil, misma que puede ser cortada una vez que ha fraguado el mortero, con lo cual da lugar a que en estos huecos crezca la vegetación en forma natural, o bien se implante en ellos vegetación especialmente seleccionada para fines ornamentales.

Este aspecto resulta especial y distintivo, ya que para protección de taludes en zonas urbanas o residenciales se rompe el aspecto gris de los recubrimientos usuales por uno agradable y efectivo, que además cumple ampliamente con los requisitos de tipo ambientalista.

Dependiendo de las condiciones climáticas y del suelo, en poco tiempo la vegetación empieza a crecer através de los cuadros y puede llegar a cubrirlos completamente.

Debido a los motivos de economía antes enunciados, este tipo es de únicamente 10 cms. de espesor.

Una solución muy recomendable y practicada es combinar este tipo I con el anterior (tipo E), ya que para una sección expuesta a conducción hidráulica, resulta positivo el revestir la sección de flujo permanentemente, con el tipo E, y aquellas secciones que ocasionalmente están sujetas a la acción hidrodinámica, con el tipo I.

Con objeto de identificación se ha dotado a estos elementos de una nomenclatura, designando a los distintos tipos por letras mayúsculas que los identifican así:

A = Articulado

E= Estándar o de espesor uniforme

I= Intercalado

El sistema incluye asociar a cada letra anterior con un dígito, después de un guión, el cual indica automáticamente el espesor promedio en centímetros.

Así, cuando se indica tipo A-15, significa articulado de 15 cms. De espesor; I-10, intercalado de 10 cms, etc.

Tipos y características generales de los revestimiento tipo tapete

<b>TIPO</b>	<b>ESPESOR</b>	<b>PESO APROX. (sobre el agua)</b>	<b>PESO APROX. (sumergido)</b>
<b>ARTICULADO "A"</b>	10 cm	187 kg/m <sup>2</sup>	102 kg/m <sup>2</sup>
	12 cm	224 kg/m <sup>2</sup>	122 kg/m <sup>2</sup>
	15 cm	281 kg/m <sup>2</sup>	153 kg/m <sup>2</sup>
	20 cm	374 kg/m <sup>2</sup>	204 kg/m <sup>2</sup>
	25 cm	468 kg/m <sup>2</sup>	256 kg/m <sup>2</sup>
	30 cm	561 kg/m <sup>2</sup>	306 kg/m <sup>2</sup>
<b>"E"</b>	8 cm	176 kg/m <sup>2</sup>	96 kg/m <sup>2</sup>
	10 cm	220 kg/m <sup>2</sup>	120 kg/m <sup>2</sup>
	12 cm	264 kg/m <sup>2</sup>	144 kg/m <sup>2</sup>
	15 cm	330 kg/m <sup>2</sup>	180 kg/m <sup>2</sup>
	20 cm	440 kg/m <sup>2</sup>	240 kg/m <sup>2</sup>
	25 cm	550 kg/m <sup>2</sup>	300 kg/m <sup>2</sup>
<b>"I"</b>	10 cm	132 kg/m <sup>2</sup>	72 kg/m <sup>2</sup>

(Tabla No.1)

Se han llevado a cabo diversos trabajos con un tipo de tapete antisocavacion lastrado en situ, en diferentes partes del mundo. Citándose a continuación algunos ejemplos de aplicación

- Como recubrimiento de taludes de presas con estos sistemas, se mencionará el caso de la presa El Cigarrón, en Venezuela, sitio donde no se disponía de material rocoso adecuado para recubrir los taludes. Después de estudiar diversas alternativas, las autoridades correspondientes optaron para recubrir la totalidad del talud de aguas arriba con un tipo de tapete antisocavacion estándar (E-15) y un articulado (A-15).

El revestimiento se remató en la cresta mediante una viga de concreto, fundida en obra en una zanja, que a la vez de anclar el revestimiento limita la cresta.

- Se citará el caso del muelle construido en Kuwait, en el Medio Oriente, para el hotel flotante Stella Polaris del consorcio Gulf International-Marriott, para la cual después de estudiar diferentes alternativas, una conocida firma consultora de Londres, Inglaterra, especificó que la obra, de 600 mts. de longitud, se llevase a cabo utilizando un diseño que combinara un geosaco de concreto, un tapete antisocavacion y un gavión roca. El proyecto consistía en colocar primeramente un delantal constituido por un tapete antisocavacion de tipo A-15 para proteger el pie del muelle y mantener alejada la erosión. Sobre este delantal se colocaron posteriormente elementos gavión roca (llenados con arena), los cuales se protegieron a su vez con un tipo de geosaco de concreto (llenado con mortero).

- El condado de Harris, en Texas, se distingue por su heterogeneidad de suelos, problemas de cadencias y gran número de drenes de agua fluviales. La zona se encuentra plena de desarrollos residenciales, por lo cual los requisitos de tipo ambientalista son bastante estrictos.

-En mayo de 1977, las autoridades decidieron recubrir un tramo del arroyo de Ciprés Woods por medio de una solución combinada, para lo cual el fondo del canal y el tramo inferior de ambos taludes se recubrió con un tapete antisocavacion de tipo Estándar (E-10) y las superficies superiores de los taludes se protegieron con el tipo Intercalado (I-10). Los resultados han sido satisfactorios, una inspección llevada a cabo un año después mostrando que el revestimiento se encuentra en perfecto estado y en las superficies revestidas con tipo intercalado (I-10) la vegetación se ha desarrollado de muy buena manera.

- En el canal de Suez las autoridades que administran tan importante vía fluvial se han preocupado desde su reapertura en 1975 por la constante erosión de los bordes, producto del oleaje provocado por el tráfico de embarcaciones. Los planes contemplan la ampliación de dicha vía así como la estabilización de taludes, que en primera etapa preveían incluso revestimientos del orden de 80 cm. a base de material rocoso, lo cual además de costoso, resultaría sumamente laborioso.

- En Guatemala, después de analizar las ventajas económicas, de operación y factibilidad de colocación, de diferentes recubrimientos, se seleccionó un tapete antisocavacion lastrado en situ para la protección en ciertas partes del Canal de Chiquimulilla.

- Conjuntamente con elementos constituidos con geosacos de concreto, la utilización del sistema del tapete antisocavacion, en la protección de drenes en puentes carreteros sobre vías fluviales ha demostrado ser una solución económica y efectiva, como es el caso de los puentes Pitahaya y José Colomo, en el Estado de Tabasco.

Ahora bien, la utilidad de los elementos para recubrimiento aquí descritos no se limita exclusivamente a protecciones de ríos, drenes, etc., sino que también pueden ser muy útiles para obras marítimas y protecciones marginales de tipo costero. Un caso concreto es el proyecto elaborado para proteger los taludes bajo la ampliación de un muelle de 250 m. de longitud en Puerto Castilla, Honduras, en que el oleaje es relativamente reducido por estar dichas instalaciones debidamente protegidas.

Para este caso se protegieron dichos taludes mediante el empleo de geosacos de concreto con un peso de 6 ton. cada uno. En la parte baja se colocó un recubrimiento a base de tapetes antisocavacion tipo articulado (A-30).

**4. Geomembranas** La erosión producida por efecto del viento puede tener efectos de graves consecuencias en suelos y arenas no consolidadas ya sea por condiciones naturales o por efecto de la acción humana; los fenómenos se agudizan en suelos blandos, muy finos y secos, cuando no existe ninguna vegetación que les ofrezca apoyo y cuando quedan expuestas al efecto eólico sobre superficies sin protección. Los sistemas de geomembranas pueden ofrecer la solución indicada para estos problemas de erosión.

El sistema se puede describir como cercas o pantallas de altura variable fabricada con fibras sintéticas en un diseño especial de tipo altamente permeable que permite el paso del aire, pero que detiene una parte de las partículas de arena o suelo puestas en movimiento por el efecto eólico, las que llegan a pasar pierden velocidad y caen detrás de la malla lográndose de esa manera el efecto protector deseado.

Uno de los aspectos importantes no consiste precisamente en el efecto que se obtiene utilizando las geomembranas ya que bardas con varas y otros materiales convencionales han probado su eficiencia sin el empleo de material sintético. Los rollos de geomembranas facilitan grandemente su instalación, lo cual se refleja en ahorro en los costos de mano de obra gracias a la rapidez y sencillez de las operaciones involucradas.

Los precios de la malla de fibras sintéticas varían con el diseño, el material empleado, la altura de la pantalla deseada, y el número de metros de que se requieran en el proyecto. Los postes de soporte pueden conseguirse directamente en el área de la obra. El personal que se necesita para montar no requiere de especialización.

El sistema de utilizar geomembranas con garantía de acción para controlar la erosión inducida por procesos eólicos; la cual esta ampliamente probada y se puede aplicar con grandes ventajas para controlar dunas en movimiento, protección en zonas costeras, terrenos, como defensa en zonas urbanas e industriales y poblados en regiones desérticas, etc.

**5. Fibra red.** La erosión marginal y de fondo ocasionada por la energía dinámica del agua (oleajes) en que la corriente es un agente destructivo, puede ser un problema de gran trascendencia cuando afecta terrenos de relativo valor, una de las maneras más sencillas de resolverlo es utilizando el sistema fibra red.

El principio en que se basa es de oponer resistencia a la energía dinámica del agua por medio de una serie de barreras de filamentos flexibles de densidad inferior a la del liquido, disminuyendo la velocidad de choque amortiguando los efectos del movimiento y propiciando el deposito en esa zona de partículas de sedimento que se transportan en suspensión. Los grupos de filamentos se encuentran fijos a espaciamentos regulares de manera que al extenderse se traslapen entre sí todos los manojos uniéndose a un soporte mismo que está junto al fondo o al margen que se desea proteger.

El aspecto interesante del sistema consiste en que se puede modificar prácticamente a voluntad, el coeficiente de rugosidad de la zona del cauce donde se instale, actuando prácticamente como una trampa para captar sedimentos. Al colocar los soportes en forma paralela al área a proteger y con una longitud

ligeramente inferior al área, estos ofrecerán un aspecto de sembrado con vegetación sintética actuando de manera conjunta en su efecto protector. Al ocurrir el caso más desfavorable de condiciones extremas (crecida máxima, oleaje de tormenta, etc.), su función no será la de captar sedimentos sino de proteger las partículas que se encuentran ya dentro, impidiendo su salida ya que las cubrirán como un tapete impidiendo notablemente la erosión del fondo o de la playa; al término de las condiciones extremas volverá a funcionar como captador de sedimentos.

El aspecto costo es muy razonable si se compara con los métodos convencionales para tratar de controlar la erosión. Son de rápida y fácil instalación de los mechones de filamentos que pueden ir originalmente impregnados con un compuesto químico soluble en el agua para evitar que se enreden entre sí antes de su instalación definitiva.

Los precios son variables según el modelo de fibra red que sea necesario instalar, dependiendo de su longitud y número de filamentos así como tipo de material sintético a utilizar en los mechones y soportes. Además de ser variables tomando en cuenta los problemas de anclaje y fijación al fondo o en playas. Su durabilidad esta en función del tipo de fibras que se empleen variando de uno a cinco años.

El procedimiento de operación tan simple ofrece enormes ventajas y su fácil aplicación lo hace ideal para protecciones contra la erosión playera donde la inversión deba limitarse. En zonas costeras donde se quiera provocar el depósito de sedimentos sometidos a fuertes condiciones de oleaje en control de socavación playera y local en canales y ríos como protección adicional a pilas de puentes marítimos, hidráulicos y fluviales en las que se puedan presentar socavaciones de importancia y en todos los casos bajo el agua donde la erosión requiera ser controlada.

**6. Malla estaca.** En la zona cercana a su desembocadura de los ríos al mar se tiene la tendencia a formar meandros, depositados en su cauce principal por lo que en algunos casos se considera conveniente encauzarlos, a base de rompeolas que pueden ser permeables o no. Los cuales al ocurrir averías de consideración son destruidos o pueden ocasionar serios problemas gracias a la disminución del área hidráulica que producen. Siendo ésta una solución práctica, que se logra con los sistemas malla estaca.

El sistema se basa en una serie de estructuras simples consistentes en un elemento tubular de soporte que se hinca hidráulicamente hundiéndose en la profundidad del río unido a un esqueleto que soporta una malla de material sintético que tiene como función deflectar la corriente. Todos los bastidores y sus respectivos paneles de cada espigón son orientados gracias a un vástago que los une. (Fotografía 20) Las partículas de agua son reflejadas en las mallas o pantallas de acuerdo con el ángulo de incidencia de la corriente.



Fotografía 20 (malla estaca utilizada como barrera en canal)

El aspecto original de los rompeolas de malla estaca es el de pantalla. Este puede variar a voluntad de su orientación con lo cual se puede controlar relativamente el efecto que producen en el régimen hidráulico, lo cual es prácticamente imposible con las estructuras construidas de materiales convencionales.

Los costos son reducidos, debido a la sencillez del diseño; la malla estaca se puede prefabricar, por medio de elementos tubulares y soportes. Cuando estos son de acero deben ser sometidos a un proceso especial de galvanizado que los proteja contra los efectos de la corrosión; ya que en el lugar se les acopla la malla propiamente dicha la cual, para evitar efectos galvánicos, se utilizan varios metales además de un tejido de fibras sintéticas o bien a base de placas de materiales plásticos; las malla estacas, una vez instaladas, se pueden ligar entre sí para dar mayor rigidez al conjunto.

El procedimiento para hincar el tramo tubular en la profundidad de la playa que sirve de soporte a la malla estaca, es muy rápido y simple con la ayuda de una bomba de agua inyectando agua a presión en el interior del tubo, el avance es muy rápido en fondos arenosos, granulares, limosos y arcillosos.

El aspecto costo está en función directa con las dimensiones de la malla estaca, la fibra sintética que se utiliza en las mallas y las condiciones prevalecientes en el lugar de la obra durante la época del año en que ejecuten los trabajos. En condiciones normales un equipo de 10 personas en un turno normal de ocho horas deben instalar entre 25 a 50 malla estacas (con pantalla 0.93 x 1.50 x 3.00).

Otra aplicación de este singular elemento de construcción es mediante unas pequeñas modificaciones al esqueleto de soporte en el que se pueden lograr traslapes de los extremos y al colocarlos en forma alterna, levantar muros verticales de soporte. Logrando así que trabajen como un verdadero malla estacado, pudiendo colocar tensores de soporte en el caso de ser requerido.

La sencillez del concepto de la malla estaca y su rapidez para instalarlo asegura un amplio campo de aplicación en pequeñas obras de hidráulica marítima. Rompeolas para fines de encauzamiento; muros marginales de protección, muelles, para retener el agua en excavaciones y paneles de separación en proyectos piscícolas de acuicultura, erección de estanques camaroneros, control de erosión en costas, etc.

7. Tablestaca. Las tablestacas ancladas son elementos de retención del suelo, generalmente en fronteras con agua.



Fotografía 21 (tablaestaqueado en el océano pacifico, Guatemala)

Dependiendo de la profundidad de hincado para un tipo de suelo dado, se agrupan en tablestacas de apoyo libre y de apoyo fijo. De acuerdo con las características de su construcción, las tablestacas pueden ser de dragado o de relleno; la estructura se hincan en el terreno natural y después se draga su lado exterior, cediendo espacio a las aguas; en las segundas, por el contrario, se gana terreno al agua hincando la tablestaca de modo que una altura importante quede libre y rellenando posteriormente el lado interior.

Se supone que toda la superficie interior está sujeta a presión activa y que en la parte enterrada de la superficie exterior actúa una resistencia pasiva.

Para el diseño de tablestacas ancladas se deben seguir los siguientes pasos.

-Valuación de las fuerzas actuantes en la superficie interior.

-Determinación de la profundidad de penetración.

-Cálculo máximo momento flexionante.

-Valuación de la fuerza de tensión en el anclaje.

-Determinación de los esfuerzos admisibles en los distintos elementos de acuerdo con las incertidumbres que se hayan tenido en la valuación de las fuerzas actuantes.

-Determinación de la profundidad de penetración.



Fotografía 22 (tablaestaqueado como muro de retención)

La experiencia ha probado que existe una pequeña ventaja en hincar la tablestaca debajo de un nivel, que garantice que no se producirá una falla por movimiento hacia fuera de la parte enterrada y que garantice también un desplazamiento convenientemente pequeño del extremo inferior de la estructura.

La utilización de tablestaca en obras de protección es muy variada como por ejemplo en Veracruz (México), donde se inició formalmente los trabajos de protección a la cimentación del Fuerte de San Juan de Ulúa, con la colocación de tabla estacas metálicas, una especie de barrera exterior que servirá como muro de contención que evite el desplazamiento y frene el deterioro de las base de la construcción, sumergidos en el agua. (Fotografía 23)

Otro ejemplo de este tipo de protección son todos los muros interiores de la dársena del puerto Quetzal ya que están contruidos con tablestaca metálica con protección catódica para evitar la corrosión de las mismas. Existen también tablestaca fabricadas con material PVC utilizadas en proyectos recreacionales en el canal de Chiquimulilla.



Fotografía 23 (tablaestacas a utilizar en la cimentación del Fuerte de San Juan de Ulúa, México)

Fueron usadas barreras de 18 metros de longitud por una pulgada de espesor y 70 centímetros de ancho.

8. **Enrocamiento.** Uno de los materiales más utilizado en la protección contra la erosión es la roca. La roca en si, presenta ciertos factores que favorece su utilización en la construcción, así como lo son, su disposición y precio. El material rocoso puede ser producto de la explotación de pedreras o de depósitos de roca. Dos ejemplos de cómo se podría utilizar la roca son:

-En arrecifes artificiales

-En la protección playera en forma de paredes verticales en la costa. (Fotografía 24)



Fotografía 24(enrocamiento utilizado como protección de playa )

-Para toda construcción, la roca a utilizar debe ser examinada por su densidad, absorción, desgaste y resistencia al intemperismo, además debe ser graduada y clasificada así como lo requiera el diseño a ejecutar. La piedra debe de resistir la constante erosión ocasionada por las corrientes de agua además de tener un peso y masa suficiente para no moverse sin modificar la forma de la estructura protectora.

-En los enrocamientos no se debe permitir la utilización de ninguna clase de tierra, arena o polvo de roca en cantidades mayores al 5% en peso, de los materiales rocosos a utilizar. La roca más pesada debe de calificarse e instalarse en la parte más profunda de la estructura disminuyendo su peso mientras la estructura se eleva.

-El asentamiento de las rocas tiene que ser en capas no menores de 1 metro de altura en dirección de la corriente. La instalación de las rocas debe llevarse a cabo por medio de métodos mecánicos que puedan mantener la estabilidad de la estructura mientras se construye sobre ella, es decir, que pueda mantener la forma diseñada según estudios previos. En estas operaciones efectuadas se debe tratar de disminuir el número de vacíos entre rocas para obtener un enrocamiento más compacto, con una mayor uniformidad y consolidación.

-Previo a la colocación de la roca es recomendable la instalación de algún tipo geotextil que no permitan las pérdidas de los finos durante el tiempo que la estructura sea sometida a corrientes marinas. Este método fue utilizado en el lado este del Puerto Quetzal en la costa pacífica de Guatemala.



Fotografía 25 (enrocamiento como protección de playa)

9. **Hexápodos de concreto.** El sistema de hexápodos de concreto interconectados consiste en el ensamble de estas estructuras en una continua, pero flexible matriz (Fotografía 26). Las interconexiones de las unidades de concreto muestran siempre vacíos entre cada enlace, estos pueden ser llenados con material del lugar y pueden ser cubiertos con vegetación para mejorar la estabilidad del sistema. El sistema provee a las unidades estructurales de un diseño antiodaduras equilibrándose individualmente evitando así la deformidad del sistema y el daño por los flujos de agua en el área a proteger.

El sistema de hexápodos puede ser usado como pie de duna de estabilización, combinado con técnicas de relleno sobre la estructura y así formar la duna superior. Los hexápodos pueden ser utilizados también en la protección de bases de muelles, puentes, rompeolas, arrecifes artificiales, etc. minimizando el desgaste de estas estructuras por el continuo actuar de la erosión. La habilidad del sistema de hexápodos de concreto es la de disipar energía y resistir las fuerzas de erosión causadas por el continuo flujo de agua.

El sistema se presenta como una alternativa al método de enrocamiento, fundiciones de bloques de concreto, la armadura de gaviones y cualquier otro sistema de protección pesado que se requiera utilizar como método de protección marina.

El manejo de los hexápodos es similar con el manejo de rocas en obras de enrocamiento, con la particularidad de no necesitar el uso de explosivos o maquinaria pesada para la extracción del material como lo sería en el caso del enrocamiento. Con el sistema de hexápodos las estructuras a utilizar son hechas a la medida, sin tener que lidiar con la elección de material de un banco de roca, tomando en cuenta el tamaño o porosidad. Además la roca de mala calidad o porosa podría llegar a quebrarse en pequeños pedazos y así cambiar o hasta romper la forma de la estructura, caso que no ocurriría con un sistema de hexápodos de concreto. La habilidad de fabricar los hexápodos a un tamaño definido y con una calidad constante permite que se mantenga una mejor interconexión entre los mismos.



Fotografía 26 (colocación de hexápodos de concreto en canal)

Los hexápodos son la versión actual de los ya conocidos tetrápodos, dolos, domos o akmons, stabits y otros. Los beneficios de los hexápodos en relación a los demás diseños se centran en la interconexión que las estructuras entre sí y el equilibrio que esto representa en todo el sistema.

10. Saco contenedor de arena. El Saco contenedor de arena es un sistema mediante el cual se confina hidráulicamente arena en el interior de grandes sacos contenedores permeables de material sintético (polímetros de alta resistencia) empleando motobombas para inyectar una emulsión de agua y arena, la que queda compactada una vez que el agua se fuga a través del textil. El material sintético del contenedor de arena resiste satisfactoriamente el efecto de inmersión en agua salada, el ataque de ácidos, hongos y bacterias, y la exposición a rayos ultravioleta.



### Fotografía 27 (llenado de saco contenedor de arena)

Las dimensiones de estos elementos pueden llegar hasta los 30 m de largo. Ya que el saco contenedor de arena es llenado en situ, este ocupa ya su lugar previsto en la construcción ayudando a su compactación y traslape con los demás sacos proporcionándole características de una estructura monolítica. (Fotografía 27)

Con el sistema de sacos contenedores de arena los costos se minimizan gracias a que su estructura como saco no representa problema de almacenaje y transporte. Además, en el llenado se utiliza personal local capacitado y dirigido por solo unos cuantos técnicos calificados.

Las aplicaciones para el saco contenedor de arena son muy variadas y entre algunas se pueden citar, rompeolas, diques, defensa contra inundaciones, reparaciones de muelles, de rompeolas, además se pueden utilizar en lastrado de oleoductos, gasoductos y acueductos submarinos; recuperación de terrenos al mar, modificación o formación de playas para fines turísticos, etc.

Los métodos anteriormente descritos y estudiados, representan los procedimientos más usuales en la construcción de obras de protección contra la erosión alrededor del mundo. Estos métodos fueron descritos individualmente mostrando su versatilidad, así como sus ventajas; además habría que notar que los sacos pueden ser modificados, incorporando otro método para una mejor adecuación al sistema en el que se va a realizar la obra constructiva.

A continuación se presenta un ejemplo de cómo algunos de estos métodos se pueden combinar y trabajar común como lo es la erosión marina.

## B. Obra de protección mediante la utilización combinada de un tipo de geosaco de concreto o saco contenedor de arena.

La mecánica fluvial de operación de las desembocaduras de los ríos Achíguate y Maria Linda localizados al oeste y al este respectivamente de la población de San José, (Escuintla Guatemala), con una separación entre ellos de aproximadamente 20 km , es similar a la de todos los ríos que no tienen un caudal permanente que desemboca al mar, es decir, que en la temporada de lluvias se eleva el nivel de las aguas y rompe la barra, desfogando al mar junto con el torrente de agua, materiales por arrastre y en suspensión, parte del cual es distribuido a lo largo del litoral por la acción del oleaje incidente, manteniendo un equilibrio dinámico natural en la playa, realimentándola para suplir el material perdido por diversas causas.

Al terminar la temporada de lluvias se restringe el caudal de los ríos y predomina la acción del mar, tendiendo a cerrar la bocabarra por efecto del transporte playero, presentándose un cambio en la morfología de las playas, que se manifiesta mediante procesos de erosión y azolve alternados, según las circunstancias del oleaje.

Si las bocabarras de los ríos Achíguate y Maria Linda en el océano Pacífico Guatemalteco, fueran estables, ya sea porque admitieran un gran prisma de marea, o porque fueran encausados artificialmente, y si además no existiera el Puerto Quetzal, entre las citadas bocabarras se formaría un sistema independiente posiblemente en continuo equilibrio dinámico que mantendría ese tramo de playa casi inalterado.

Al construirse Puerto Quetzal, el equilibrio que existía entre las playas se rompió quedando sujeto a los procesos de erosión y azolve. Al detenerse el transporte litoral proveniente del oeste por la presencia de las obras exteriores del puerto, por eso, la misión francesa que realizó el proyecto portuario recomendó la alimentación periódica artificial de las playas a ambos lados del puerto, lo cual no ocurre obteniéndose así los resultados que actualmente se observan.

El retroceso de la playa en una distancia de 100 mt aproximadamente, frente a la zona urbanizada de Likin y el asolvamiento del Puerto Quetzal. Ante lo hecho, no queda más alternativa que realizar obras de protección y alimentar las playas, con la idea de recuperar en parte de la berma que se perdió y sobre todo preservar una población de servicios como lo es San José.

i. Análisis de condiciones. Para el diseño de las obras de protección y alimentación playera se toman en cuenta diversos factores que, por su influencia en el acarreo de material en el litoral, deben ser estudiados. Por ejemplo la temperatura ambiente, la presión atmosférica, los vientos que se representan en los oleajes, las corrientes superficiales, mareas, oleaje, etc.

ii. Metodología. Con base al análisis de condiciones, se determina un sistema de protección que cumpliendo con todas las características necesarias para hacer posible la protección de la playa. En este caso, el método sugerido para este caso es la construcción de rompeolas paralelos a la playa localizados mar adentro.

Los rompeolas tendrán un ancho de la corona será entre 4.5 y 7.0 m ya que el tipo de elemento a emplear por las condiciones propias de localidad y el grado de dificultad de la ejecución de la obra, favorece la utilización de elementos como geosaco de concreto, sacos contenedores de arena y un tapete antisocavacion, complementado con el geotextil antisocavacion.

iii. Procedimiento de construcción. Resulta obvio que cada tipo de obra requiere de un procedimiento de construcción diferente, por ejemplo los rompeolas paralelos a la playa comprenden una metodología y materiales diferentes a los utilizados en rompeolas que arrancan desde la playa o costa, aunque se refieren a una obra genérica en ambos casos.

Los materiales pueden variar desde roca y elementos de concreto premezclados, enrocamiento en la base, malla estacados y relleno con diversos materiales, diversas pantallas a base de pilotes y corona de concreto, y otros elementos tradicionales.

Cada una de las soluciones mencionadas tienen, sus propios requerimientos constructivos, sus ventajas, desventajas y su costo de operación, además de su vida útil y estos son solamente unos cuantos puntos a mencionar como los más notables.

Para la construcción de rompeolas en mar adentro se recomendaría la utilización de

-Geosaco de concreto un producto fabricado para aguantar la exposición al medio teniendo la función de contener el mortero de cemento y arena desde su bombeo hasta su fraguado.

-Saco contenedor de arena el cual se rellena con arena bombeada y es sumergida mediante buzos asentándose en el sitio deseado.

-Tapete antisocavación.

El geosaco de concreto es afectado por la erosión al pie de la misma por las corrientes o por la acción del oleaje; el cual, cuando no es posible controlarlo, derrumba la sección, y de allí la necesidad de proporcionar en el desplante un tapete antisocavacion que evita en gran medida ese fenómeno. El saco es flexible y se acomoda a la erosión, pero tiene el inconveniente de que si la bolsa fue rellena con material muy fino, va perdiendo volumen por lavado, sobre todo en aquellos sitios expuestos al oleaje.

La construcción de los segmentos de rompeolas paralelos a la playa sería el siguiente:

-Se fija el segmento de rompeolas, mediante boyas, que se plantan como referencia y control terrestre, en número tal que definan el trazado en planta y que no sean arrastrados por las corrientes. Se emplean dos buzos y dos embarcaciones, una de auxilio y otra de suministro.

-Se sumerge un tramo de tapete antisocavacion en rollo y se fija su posición por los buzos, utilizando escuadras de varilla que se clavan en el fondo marino deteniendo el tapete antisocavacion de tal forma que pueda irse desenrollando para no presentar un área de empuje hidrostático del agua. Si el fondo fuera muy suave y las escuadras no se llegaran a clavar el tapete, también puede ser anclado por medio de pequeños pilotes al pie del mismo removiendo el material del fondo del pilote con un compresor de aire, así plantando el pilote en el lugar requerido.

-Sobre el tapete antisocavacion se inicia la construcción y la colocación de sacos contenedores de arena o geosaco de concreto tanto en el área de la obra propiamente dicha como en la zona lateral a la obra que sirve de apoyo y de fijación al tapete, procurando la formación del talud.

-El relleno del saco contenedor de arena se hace por lo general con una bomba sumergible eléctrica para aquellos elementos cercanos a la playa, bombeando una mezcla de agua y arena adentro de la bolsa, depositándose la arena y el agua sale por un dispositivo de expulsión al exterior. También se puede bombear desde la playa, succionando el material de la misma en profundidad de 1 m o menos, utilizando una bomba mecánica para bombear hasta la que el área inferior de la bolsa se encuentre totalmente en el fondo y sujeta en su sitio.

-El relleno del geosaco de concreto es un poco más complicado que el llenado del saco contenedor de arena ya que la mezcla es un mortero que incluye cemento arena y agua. La mezcla debe ser bombeada en el geosaco hasta que el área inferior del mismo quede totalmente en el fondo y detenida. Una de las ventajas como se mencionó antes es que este geosaco forma una estructura de concreto que nunca perderá los finos como lo hacen los sacos contenedores de arena.

-Al avanzar la altura de la obra se puede ir utilizando la parte construida como área de trabajo, siempre mediante el empleo de buzos. Las mayores dificultades se tendrán al llegar a la superficie del agua, por la acción de los oleajes fuertes, por lo que se deben esperar buenas condiciones para terminar la corona hasta el nivel de proyecto.

En este punto de la construcción se pueden dar como finalizados los trabajos de erección del rompeolas, quedando solamente trabajos de chequeo topográfico de la estructura, chequeo de calidad de trabajo y llenado de vacíos. Toda obra marítima necesita de un monitoreo continuo, ya que la estructura puede quedar intacta pero su medio circundante no. Es decir la estructura provocará ciertas reacciones en las playas cercanas las cuales deben de ser estudiadas constantemente y si fuera necesario se tendrá que modificar el diseño de la estructura como prevención de problemas futuros en el medio.

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. El análisis de las causas que ocasionan la erosión es imprescindible.

B. No se debe de realizar ninguna construcción de protección contra la erosión sin antes saber las causas de la misma, y los efectos que esta pudiera producir en los alrededores.

C. Los métodos constructivos de protección contra la erosión pueden ser efectivos por un determinado tiempo dependiendo del problema a solucionar, pero en la mayoría de casos es necesario la ejecución conjunta de varios métodos para un mejor resultado.

I D. La pendiente de la playa es la última línea de defensa contra la erosión, absorbiendo la mayoría de energía de la ola.

E. En cambio, las dunas son la última defensa en absorber la energía de olas de tormenta que sobrepasan la berma, aunque las dunas se erosionan bajo tormentas severas, ellas son usualmente fuertes para completar la protección de tierra atrás de ella. Las dunas luego de ser erosionadas por tormentas pueden volver a formarse y proveer protección para el futuro.

F. Cuando el sistema de protección natural falla durante grandes tormentas, la primera solución frecuentemente es escoger métodos casi naturales como el relleno de playas o la creación de dunas. Dichas soluciones son básicas para la protección de la playa pero deben de construirse en un periodo corto para evitar la erosión crónica del área por la falta de material sedimentado.

G. Donde las playas y dunas protegen estructuras costeras, protección adicional por lo general no es necesaria. Sin embargo, cuando fuerzas naturales producen erosión, las olas de tormenta pueden pasar sobre la playa y dañar las estructuras costeras. Entonces construcciones de protección son necesarias en el lugar y dependiendo de los síntomas del problema estos pueden ser de dos tipos.

H. Estructuras que previenen la llegada de olas a la playa o área elegida para la protección.

I. Estructuras que retardan el transporte de sedimento en el litoral previniendo la falta del mismo.

J. Ambos métodos pueden ser utilizados en una misma área para la prevención de la erosión playera.

K. Para la elección de un método constructivo para la protección contra la erosión marina se deben de tener en cuenta los siguientes puntos:

- Regímenes de mareas
- Análisis del transporte paralelo y perpendicular de sedimentos a lo largo de la playa.
- Dirección e intensidad del viento.
- Características del oleaje en altura, dirección y frecuencia.
- Topografía de la playa
- Batimetría en detalle de por lo menos 2 km a la redonda del área elegida.
- Características físicas del material de la playa
- Análisis de los sedimentos arrojados al océano por ríos que desembocan en él.
- Comportamiento de las playas ante el oleaje.
- Análisis del comportamiento de estructuras ya construidas.
- Análisis del destino y los efectos del empleo de los diferentes métodos de protección.
- Materiales de construcción y su factibilidad de obtención.

L. Para cualquier obra de protección contra la erosión se debe tener conciencia en que toda construcción que se realice en un cuerpo de agua tendrá una repercusión y que la mejor manera de proteger la playa o litoral es conjugando la ingeniería con la ecología haciendo que ambas trabajen complementándose una a la otra preservando el sistema natural.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

Ing. Porras, Mauricio; Ing. Maza, José Antonio e Ing. Medina, Ricardo. 1978. *Sistema de revestimiento a base de cimbras textiles, colchacreto*. Control de Erosión, S.A. De CV. México DF. 54 págs.

Gutenberg, Henry .1977., *Diversos dispositivos para controlar la erosión*. Dirección cablegráfica, org. Sub. México DF. 25 págs.

Ing. Porras, Mauricio. 1979. *Operational designs systems, technology of the developing countries*. Control de Erosión, S.A. De C.V. México DF. 37 págs.

Dean, R.G. and Perlin, M. 1977. *Coastal engineering study of ocean city inlet, Maryland*. American society of civil engineers. U.S.A. 22 págs.

Ocean industry review . 1982. *New concepts in erosion control*. American society of civil engineers. U.S.A. 10 págs.

Merritt, F.S. 1984. *Shore protection manual volume I*. Department of the army, waterways experiment station, corps of engineers, coastal engineering research center, Washington, D.C. U.S.A. 20 págs.

CYCOMSA, ADCONSA .1989. *Protección playera, Puerto Quetzal-Iztapa, Guatemala*, C.A. 35 págs.

U.S. Army, corps of engineers. 1954. *Shore protection, planning and design*, TR-4, Beach Erosion Board, Washing, D.C. U.S.A. 44 págs.

## IX. APÉNDICE I. Glosario

-Escolleras: Obra hecha de piedras arrojadas al fondo del agua, para formar un dique o para resguardar el pie de otra obra de la acción de las olas o las corrientes.

-Litoral: relativo a la costa del mar.

-Avenida: creciente impetuosa de un río o arroyo.

-Chiflón: (panel estaca), canal por donde sale el agua con fuerza.

-Vástago: (panel estaca), pieza en forma de vara que sirve para articular o sostener otras piezas.

-Lastrado: peso puesto en una embarcación para que ésta se sumerja hasta que donde convenga.

-Sedimento: detrito rocoso resultante de la erosión, que es depositado cuando disminuye la energía del fluido que lo transporta.

-Talud: inclinación de un terreno o del parámetro de un muro.

-Morros: extremo de un malecón.

-Atracadero: paraje donde pueden atracar las embarcaciones menores.

-Médano: banco de arena casi a flor de agua.

-Rompeolas: barrera natural o artificial que se interpone entre el mar o un lago y la costa e interrumpe la fuerza de las olas para proporcionar aguas tranquilas a un puerto.

-Dique: barrera que se utiliza para controlar o contener agua.

-Muelle: (espigón). En la mayoría de los puertos marinos donde las diferencias entre las mareas bajas y altas son lo bastante pequeñas se utilizan muelles de marea o también llamados espigones, que consisten en una serie de espacios de agua rectangulares entre los embarcaderos.

-Batimetría: medición topográfica del fondo del océano.

