



FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y GEODESICA

"OBRAS HIDRAULICAS A BASE DE
GAVIONES"

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A N:

JOSE RAMON BLAS MENDEZ

ALFREDO PEREZ MEDINA

DIRECTOR DE TESIS
M.I. ARTURO NAVA MASTACHE

MEXICO, D. F.

2001





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A Dios:

*Por haberme ayudado a
llegar hasta aquí y por darme
tantas bendiciones que, sin
merecerlo, han hecho que
mi vida sea plena y llena
de satisfacciones.*

Gracias.

A mis Padres:

*Rufina Méndez Delgado
Agustín Blas Osorio
Con amor y respeto,
porque juntos logramos
alcanzar ésta meta tan
valiosa para mí.*

A mis hermanos:

*Reyna, Mari, Soco y
Agustín Blas Méndez*

Fraternamente

*A la Universidad Nacional
Autónoma de México y en
especial a la Facultad
de Ingeniería.*

*A mis maestros, compañeros
y amigos, por sus enseñanzas
y ayuda incondicional.*

*Al M.I. Arturo Nava Mastache
por su desinteresada y valiosa
colaboración en la realización
de éste trabajo*

*Al Ing. Jesús Goyéa Rodríguez
por la ayuda y apoyo que nos brindó*

*Y a todas aquellas personas
de quienes recibimos afecto
y comprensión.*

Gracias

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1	
“ANTECEDENTES”	
1.1 Generalidades	5
1.2 Obras Hidráulicas	7
1.2.1 Presas	7
1.2.2 Escolleras	12
1.2.3 Canales	17
1.2.4 Espigones	23
1.2.5 Diques Marginales	24
1.2.6 Ataguías	26
CAPITULO 2	
“GAVIONES”	
2.1 Definición	32
2.2 Características	33
2.2.1 Flexibilidad	33
2.2.2 Permeabilidad	33
2.2.3 Durabilidad	33
2.2.4 Simplicidad y rapidez de colocación	33
2.3 Especificaciones	34
2.3.1 Descripción general	34
2.3.2 Alambre	34
2.3.3 Estramiento y galvanización del alambre	34
2.3.4 Red	35
2.3.5 Refuerzo de los bordes	35
2.3.6 Alambre de amarre y estramiento	35
2.3.7 Dimensiones estandar de los gaviones	35
2.3.8 Tolerancias	35
2.4 Aplicaciones	36
2.4.1 Control de la erosión fluvial	36
2.4.2 Obras de canalización	36
2.4.3 Protección de puentes y alcantarillas	36
2.4.4 Estructuras de contención	37
2.5 Proceso constructivo del gavión	38
2.6 Colocación y relleno	43
2.6.1 Colocación	43
2.6.2 Relleno	43
2.6.3 Requerimiento de personal	46
2.6.3 Requerimiento de herramienta	46
CAPITULO 3	
“NORMATIVIDAD”	
3.1 Objetivo	40
3.2 Definiciones	49
3.2.1 Gavión	49

3.2.2	Colchones para revestimiento	49
3.3	Clasificación	51
3.4	Malla y alambre de refuerzo	52
3.5	Especificaciones	53
3.5.1	Materiales y fabricación	53
3.5.2	Propiedades mecánicas	54
3.5.3	Propiedades físicas	55
3.6	Ejecución del trabajo, muestreo y número de pruebas	61
3.7	Métodos de prueba	62
3.8	Marcado y embalaje	65

CAPITULO 4 "OBRAS DE CONTENCIÓN"

4.1	Muros con contrafuertes	70
4.2	Muros de gravedad	72
4.3	Muros en L	73
4.4	Recomendaciones para la construcción de muros con gaviones	75
4.5	Investigaciones experimentales	81

CAPITULO 5 "OBRAS DE PROTECCIÓN"

5.1	Espigones	92
5.1.1	Datos necesarios para el diseño de espigones	93
5.1.2	Aspectos más importantes a tener en cuenta en una protección con espigones	93
5.2	Tipos de espigones	108
5.3	Características	114
5.4	Revestimiento marginal en ríos y canales	115
5.5	Diques marginales	122

CAPITULO 6 "OBRAS DE DERIVACION"

6.1	Presas de derivación	127
6.1.1	Formas y componentes de una presa derivadora	132
6.1.2	Geometría de las presas derivadoras	135
6.1.3	Consideraciones generales	138
6.2	Ataguías	142
6.2.1	Finalidad de las ataguías	142

CAPITULO 7 "REVESTIMIENTO DE CANALES"

7.1	Procedimiento de cálculo para el revestimiento de un canal	147
7.2	Ejemplo de diseño de revestimiento de un canal, usando el programa MAC.R.A. 1	154
7.2.1	Problemática	154

CAPITULO 8

“VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE GAVIONES EN OBRAS HIDRÁULICAS”

8.1	Ventajas	164
8.2	Desventajas	165
8.3	Medidas preventivas para reducir las desventajas	168

CAPITULO 9

“APLICACIÓN DE GAVIONES EN OBRAS HIDRÁULICAS MEXICANAS”

9.1	Ejemplos	180
-----	----------	-----

CAPITULO 10

“CONCLUSIONES”

10	Conclusiones	190
----	--------------	-----

	REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA	193
--	--------------------------	-----

INTRODUCCIÓN

Finalmente en el capítulo diez se dan las conclusiones relativas al uso de gaviones en obras hidráulicas, tratadas en este trabajo

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Generalidades

Con el paso del tiempo, la erosión transforma lentamente, pero en forma continua, la corteza terrestre; este proceso es el resultado de la acción combinada de diversos factores, principalmente: el agua, el viento y la temperatura. La rapidez con que se efectúa este fenómeno depende de las características geológicas y climáticas de cada región y en casos particulares de la alteración del medio ambiente causada por el hombre.

La presencia de cárcavas (zanjas u hoyos), en un terreno indica un grado avanzado de erosión, ya que, por lo general, éstas se inician después de que una gran parte del suelo superficial ha sido arrastrado a causa de una fuerte erosión. Al iniciarse el proceso de la formación de cárcavas, se presenta el estado de zanjeado, o sea aquel en que la cárcava empieza a notarse sobre el suelo de terreno, debido a que el agua que escurre tiende a concentrarse para formar pequeñas corrientes que poco a poco convergen entre sí para dar paso a otras de mayor anchura y profundidad.

El control de las cárcavas, en su etapa incipiente es sencillo, pues generalmente, basta pasar el arado o la rastra a través de las pequeñas corrientes o canalillas para que ellas desaparezcan e impedir así su crecimiento posterior y, por lo tanto, la dificultad de su control. En su etapa desarrollada, para disminuir la velocidad del escurrimiento y por tanto su poder erosivo y evitando en esta forma su crecimiento en profundidad y anchura, el control de cárcavas se hace mediante la construcción de presas como son, por ejemplo, las hechas con gaviones, las que permiten reducir en parte estos problemas. Para resolverlos en su totalidad, es necesario un tratamiento adecuado del área total drenada, debido a que si se atiende exclusivamente a las cárcavas existentes, se omite atacar las causas que lo originan (Ref 2 1-2)

En los ríos que drenan los escurrimientos de la cuenca, en sus curvas se produce el fenómeno de erosión y depósito, por la fuerza centrífuga que se genera en ellas. Por ello, en las curvas, las secciones transversales tienen mayores profundidades cerca de la orilla exterior, las que disminuyen hacia el interior. Durante el proceso erosivo, el flujo remueve y arrastra principalmente las partículas del pie y de la zona baja del talud de la orilla, con lo que esta tiende a hacerse vertical. Cuando la margen está formada principalmente por material no cohesivo como son, arenas y gravas, el talud falla al tender a hacerse vertical. Dicha falla se produce ya sea por deslizamiento o por fracturamiento, hasta que el material cae dentro de la corriente. Si la margen está construida por material cohesivo se pueden llegar a formar cavidades al pie del talud antes de que se produzca el colapso y falla de un tramo de la orilla. Después de la falla, la pendiente del talud disminuye y se mantiene así mientras la corriente arrastra todo el material fallado y el ciclo erosivo vuelve a repetirse.

Entre las medidas más comunes para proteger las márgenes de los ríos, sobre todo los exteriores de las curvas, están los espigones, los revestimientos marginales y los diques marginales, cuyo propósito principal consiste en evitar el contacto directo entre el flujo con alta velocidad y el material que forma la orilla, esas estructuras pueden ser construidas con una gran variedad de materiales, por solo citar algunos, están los enrocamientos o los poco conocidos gaviones. (Ref 15-9)

El control del nivel del agua y la regulación de descargas son necesarios para propósitos de irrigación, energía hidroeléctrica, conservación del agua, prevención y control de avenidas, navegación interior, etc , según Sotelo. (Ref 23 1) Para ello se dispone de una gran variedad y tipo de obras hidráulicas, por solo mencionar algunas, se tienen las siguientes: canales, espigones, escoileras, diques marginales, presas y ataguías.

1.2 OBRAS HIDRÁULICAS

1.2.1 Presas

Clasificación de las presas

Las presas se clasifican en base al tipo y material de construcción como: de gravedad, de arco, de machones, de tierra y / o enrocamiento. Los tres primeros tipos, generalmente se construyen de concreto.

Una presa de gravedad depende de su propio peso para la estabilidad y usualmente es recta en planta, aunque algunas veces es ligeramente curvada. Las presas de gravedad son de concreto o de mampostería. En la Fig. 1.1 se muestran las fuerzas que actúan en una presa de gravedad típica. (Ref 21-130)

La fuerza más grande suele ser la fuerza hidrostática F_1 del agua. Su distribución es triangular y varía desde cero en la superficie hasta la fuerza hidrostática total en el fondo. La fuerza F_2 representa la presión de los sedimentos, a causa de la acumulación de sedimentos en la base de la cortina. Esta presión de sedimentos puede calcularse con la teoría de Rankine para la presión de la tierra, utilizando el peso volumétrico sumergido de los sedimentos.

La fuerza F_3 representa la presión del hielo contra la cara de la presa. En los climas muy fríos, el hielo que se forma en la superficie del embalse o vaso se expande cuando aumenta la temperatura y ejerce una fuerza sobre la parte superior de la presa. En el pasado, se han utilizado presiones de hielo hasta de 245000 Kg / m², en el diseño de las presas en regiones muy frías; en la actualidad se ha encontrado que esos valores son demasiado altos. Un método para calcular estas fuerzas, da valores que van de 10,000 a 49,000 Kg / m², según la rapidez de aumento de temperatura y las condiciones de restricciones en los bordes del embalse. El efecto de aceleración sobre la presa, debido a sismo, se representa con las fuerzas F_4 y F_5 . La fuerza F_6 representa la fuerza de inercia del agua contra la cara de la presa.

Von Karman desarrolló una aproximación muy cercana a la fuerza, dada por la ecuación

$$F_6 = 0.248 a w h^3$$

donde w = peso del agua, en Kg / m³
 a = aceleración debida al sismo, en m / s²
 h = profundidad del agua detrás de la presa en m

La fuerza F_6 actúa en un punto a $0.425h$ encima de la base. La fuerza F_7 se debe al peso del agua sobre una cara inclinada. Las presas de gravedad suelen tener una cara inclinada aguas arriba para facilitar la construcción.

La fuerza F_8 representa una fuerza ascendente que actúa sobre la superficie inferior de cualquier sección tomada a través de la presa o debajo de la base de la misma. Esta subpresión la ocasiona la filtración del agua por los poros o imperfecciones en la cimentación o por juntas de construcción de ligado imperfecto en el concreto o la mampostería. (Ref 21 131-132)

Un proceso para reducir las subpresiones, requiere lechadear a lo largo del talón y el uso de drenes detrás de la lechada. Cuando la base no tiene drenes, se supone que la subpresión varía en forma lineal. (Ref 3: 11)

La fuerza F_9 representa el peso de la presa. Actúa como el centroide del área de la sección transversal de la presa.

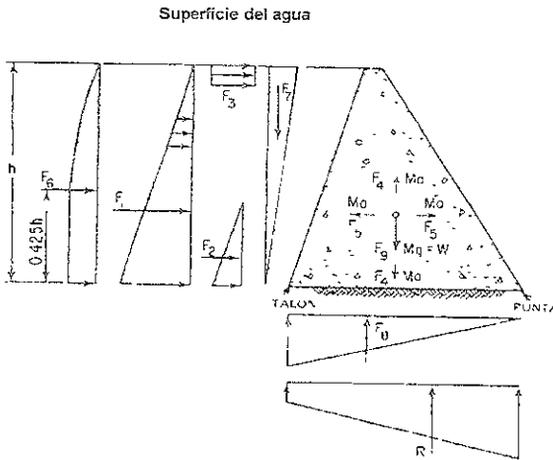


Fig 11 Fuerzas que actúan en una presa de gravedad de concreto

La suma de las fuerzas verticales y de los momentos en torno a cualquier punto indica la presión sobre la cimentación. La presión sobre la cimentación en el talón de la presa debe ser de compresión. Por lo tanto, la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre la presa debe quedar dentro del tercio medio de la base de la misma.

Los posibles modos básicos de falla de una presa de gravedad son por desplazamiento a lo largo de un plano de horizontal, volcadura por girar en torno a la línea de base aguas abajo o por falla del material de la cimentación. Los primeros dos dependen en forma principal de la forma seccional de la presa, mientras que el tercero tanto de la forma seccional como de la calidad de los materiales empleados en la cimentación.

Las presas de gravedad pueden construirse sobre cimentaciones de tierra, pero su altura, en este caso, ha estado limitada a 20 m. La razón principal por la cual se utilizan las presas de gravedad es que pueden dejar pasar grandes caudales, de crecidas o avenidas, sobre la cresta sin causar daños.

Las presas de arco son hechas con concreto y soportan la fuerza del agua por la acción del arco. La fuerza está dividida entre dos elementos: una serie de arcos horizontales que abarcan entre los estribos y una serie de voladizos verticales que están fijados en la cimentación. La distribución de carga entre los arcos y los voladizos se determina por el método de carga por tanteos. Primero, se supone una división de la carga y se calculan las deflexiones de los arcos y los voladizos. La deflexión de un arco en cualquier punto debe ser igual que la deflexión del voladizo en el mismo punto. Si las deflexiones no son iguales, se supone una nueva división de carga y se vuelven a calcular las deflexiones. Se continúa este proceso hasta que se obtienen deflexiones iguales.

Las fuerzas externas que debe resistir una presa de arco son básicamente las mismas que en una presa de gravedad; no obstante, su importancia relativa es muy diferente. En las presas de arco, la subpresión no es muy importante.

Las presas de arco requieren menos concreto que las presas de gravedad y suelen tener un costo inicial más bajo. El tipo de presas de arco no son adecuadas para la mayoría de los sitios, porque se deben ubicar en una garganta un tanto estrecha, soportadas con buenos estribos en la roca.

Las presas de machones constan de una membrana impermeable soportada por una serie de machones en ángulos rectos con el eje de la presa. Aunque hay muchos tipos de presas de machones, las de mayor uso son las de losa plana y de arco múltiple. Difieren en que la membrana de retención del agua para el tipo de losa plana es una losa continua de concreto que abarca los machones, mientras que en la de arco múltiple, la membrana es una serie de arcos de concreto. El arco múltiple requiere menos acero para refuerzo y puede abarcar distancias más largas entre machones, pero las cimbras son mucho más costosas. La cara de aguas arriba de una presa de machones suele tener una inclinación de 45°. El peso del agua sobre la cara es necesario para aumentar la resistencia de la presa al deslizamiento y a la volcadura.

Las fuerzas que actúan contra una presa de machones son exactamente las mismas que actúan en una presa de gravedad. Pero la carga vertical del agua es mucho mayor en una presa de machones y las subpresiones son menores. Los modos de falla también son los mismos, pero el diseño estructural es mucho más crítico.

Aunque las presas de machones requieren menos de la mitad de volumen de concreto que las de gravedad, no por necesidad son menos costosas, debido a la mayor cantidad de cimbra y acero de refuerzo requerida.

Las presas de tierra son para aprovechar los materiales disponibles en el sitio y han sido construidas exitosamente con grava, arena, limo, polvo de roca y arcilla. Si está disponible una cantidad de material permeable, como arena y grava, y hay que importar materiales arcillosos, la presa tendría un corazón o núcleo pequeño de arcilla impermeable y el material local constituiría el grueso de la presa. Si no está disponible el material permeable, la presa puede construirse de materiales arcillosos con drenes inferiores de arena o grava importados debajo de la línea de base de aguas abajo, para recolectar las filtraciones y reducir la presión en los poros.

Las pendientes de una presa de tierra rara vez son mayores de 2 horizontal por 1 vertical y suelen ser de alrededor de 3 a 1. El criterio usual es la estabilidad de las pendientes en contra de una falla por deslizamiento. Otro factor que determina lo pronunciado de la pendiente es la cantidad de filtraciones que puede permitirse.

Si la presa está sobre una cimentación permeable, puede ser necesario aumentar el ancho de la base para reducir la filtración, ésta también puede reducirse si se coloca un dentellón en la cimentación, como una tablaestaca o una zanja llena con arcilla.

Las presas de tierra pueden construirse casi a cualquier altura y sobre cimentaciones que no son tan reforzadas como para presas de concreto. Las mejoras en el equipo para movimiento de tierras han reducido el costo de las presas de tierra, mientras que lo crecientes costos de mano de obra han aumentado los de las presas de concreto.

Las presas de enrocamiento suelen consistir en un relleno de roca, una capa de cojín de piedra más chica tendida en la cara de aguas arriba, que se liga en la roca descargada y un revestimiento impermeable aguas arriba, que apoya sobre el cojín de piedra, con un dentellón que se extiende dentro de la cimentación. El relleno puede ser con rocas que varían en tamaño desde fragmentos pequeños hasta rocas que pesen 25 ton, éstas suelen compactarse al dejar caer las rocas, a veces de 50 m de altura, hacia el relleno.

También se utiliza la inundación para el arrastre y lavado del relleno con mangueras de alta presión para arrastrar los finos de entre los puntos de contacto entre las rocas y reducir el asentamiento.

El cojín de piedra chica consta de piedras colocadas individualmente para reducir los huecos y servir de apoyo para el revestimiento impermeable. El revestimiento es de concreto, aunque en ocasiones se ha utilizado acero. El dentellón o guarda es de concreto.

Las presas de enrocamiento de poca altura pueden tener una cara de aguas arriba con una pendiente hasta de $\frac{1}{2}$ horizontal en 1 vertical. La cara de aguas abajo, generalmente, es de 1.3 en 1, que es el ángulo natural de reposo de la roca.

Para presas de más de 60 m de altura, las caras de aguas arriba y aguas abajo tiene una pendiente de 1.3 a 1

El principal problema que tienen las presas de enrocamiento son los grandes asentamientos que ocurren cuando se llena por primera vez el embalse. Han ocurrido asentamientos verticales y desplazamientos horizontales superiores al 5% de la altura de la presa, por tanto, el revestimiento impermeable debe ser muy flexible u ocurrirán daños durante el asentamiento. Una solución a este problema ha sido colocar un forro temporal en la presa y reemplazarlo con un revestimiento permanente después que ha ocurrido el asentamiento, dichos forros son de madera.

Las presas de enrocamiento se construyen mucho en lugares lejanos en donde el cemento es muy costoso y no están disponibles los materiales para una presa de tierra. Su costo se compara favorablemente con el de las presas de concreto.

Se deben esperar fugas, pero las presas de enrocamiento son muy estables y han sufrido derrames por encima de ella sin daños graves (Ref 3: 1-2)

1 2.2 Escolleras

Según la Comisión Internacional del Oleaje, la función esencial de una obra de protección, escollera o rompeolas de un puerto, es proteger los accesos, las zonas de maniobras y las obras interiores contra la acción de los oleajes procedentes de aguas profundas. A su vez, otras funciones que se dan paralelamente con la construcción de las escolleras y rompeolas son: encauzamiento de corrientes, interrupción de transporte litoral, ganancia de terrenos al mar, etc. (Ref 19 21-27)

Cualquiera que sea la función que se requiera que cumpla una escollera o rompeolas, estructuralmente deberá ser capaz de resistir las diferentes acciones o fuerzas a las que estará sujeto, siendo la principal de ellas la correspondiente al oleaje.

En la Fig. 1.2 se esquematiza la sección transversal de una escollera o de un rompeolas, que generalmente está formada de

Coraza (Capa primaria) Es la parte exterior de la estructura y está formada por una o dos capas de roca o elementos prefabricados; los que deben resistir la acción directa del oleaje.

Capa secundaria Sirve para soportar los elementos de la coraza (roca o prefabricados) y además como filtro para evitar estos salgan de la capa en que se apoya. Puede haber una o más capas secundarias, cada una con dos capas de roca

Núcleo. Sirve como soporte y relleno a la estructura y es de tipo masivo

Delantales. Su objetivo es proteger la escollera contra la socavación al pie de la misma; se recomienda que su espesor "e" sea mayor de 50 cm y su longitud L mayor de 5 00 m en el lado expuesto al oleaje y entre 1 50 a 2 00 m en el lado protegido. En muchas ocasiones se construyen utilizando los mismos elementos del núcleo y nunca debe evitarse su construcción, ya que es la parte de la escollera que mayor seguridad le da a la obra

Filtro y apoyo Se utiliza para evitar el hundimiento de las rocas o prefabricados durante la construcción, debido a las corrientes y el oleaje. También evita que la arena del fondo sea succionada y extraída de entre los huecos dejados por las rocas, cuando se presentan grandes tormentas

El filtro puede evitarse en ocasiones, ya que los *delantales* pueden funcionar como protección que evite la extracción y movimiento de la arena sobre la que se apoya la obra (Ref 4 159 160)

Conforme a éstas características, el proceso constructivo se inicia propiamente con la explotación del banco de roca, su clasificación según los tamaños requeridos y su transporte al sitio de la obra.

A partir de su explotación y clasificación en los bancos de roca, el material pétreo deberá cargarse preferentemente en cajas metálicas que se transportan en plataformas de camión o de ferrocarril, también se pueden utilizar vehículos de volteo o chalanés; ello depende fundamentalmente de la localización del banco de material con relación al sitio de la obra.

Para la colocación propiamente dicha, el proceso constructivo más frecuente es avanzar de tierra hacia el mar, empezando por el núcleo o parte interior, la cual generalmente se deposita por camiones de volteo, variando del mayor al menor peso de adentro hacia fuera. Los vehículos empleados utilizan la corona del núcleo para transitar, depositar el material y regresar a cargar; por esta razón deberá, de tramo en tramo, formar retornos para facilitar sus maniobras.

En virtud de la poca resistencia que tiene el material de núcleo para resistir la acción del oleaje, deberá establecerse en cada caso la longitud máxima de núcleo que puede construirse antes de ser protegido por la capa secundaria, colocando sus elementos con grúa equipada con aditamentos apropiados como: estrobos, garras, almejas, redes, charolas y otros. A su vez, la capa secundaria se irá protegiendo con piedra de coraza o elementos artificiales, si ese fuera el caso, a medida que se avanza hacia el mar y de acuerdo con lo especificado en el proyecto según las condiciones particulares de cada lugar. Para colocar la coraza se emplea una grúa que acomode de manera individual cada elemento natural o artificial. En ocasiones, cuando la distancia de colocación se dificulta en razón de posibles problemas de volteamiento de la grúa, podrá requerirse el empleo de grúas montadas sobre chalanés.

Aunque se señaló que el procedimiento constructivo normal es avanzar de tierra hacia el mar, utilizando las partes construidas como apoyo para las subsecuentes, cuando por el volumen de material a colocar es muy considerable y en consecuencia se plantea el problema logístico por el número de camiones requeridos y el ciclo de cada uno o bien, por el hecho de que el transporte del material pétreo del banco al sitio de la obra se hiciese por agua, puede requerirse el empleo de barcazas que se abren por el fondo para depositar el material de núcleo. Esta operación se realiza hasta que la obra alcance una altura sobre el fondo que permita operar las compuertas de los chalanés, generalmente alrededor de 2 00 a 4 00 m de profundidad como máximo. A partir de este momento se seguirá con la construcción por procedimientos convencionales atacando desde tierra. En estos casos, para la colocación del material de capa secundaria y coraza, se tiene que recurrir al uso de chalanés de fondo plano con una grúa y equipo ligero para abastecer la grúa. La colocación por sistema fluyente de los elementos de capa secundaria y coraza tienen la misma limitante en cuanto a profundidad que la que se señaló para el caso del núcleo, debiendo terminarse con el método terrestre.

Por otra parte, en el cálculo del precio unitario para el suministro y colocación de piedra natural para núcleo, capa secundaria y coraza, deberá incluir las erogaciones por concepto de: explotación, selección, acopio, carga, acarreo a primer kilómetro y subsecuentes, abundamiento y desperdicios (Ref 9: 334-336)

En la Fig. 1.3, se aprecia el depósito de material por volteo, avanzando desde tierra.

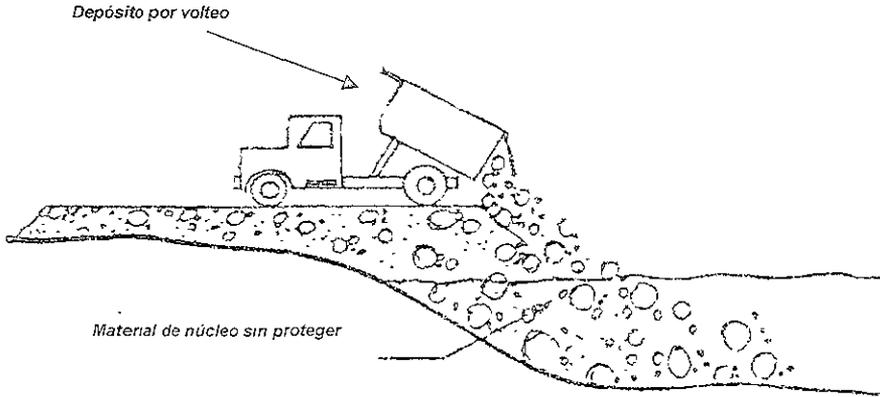


Fig 1.3 Colocación de material por volteo con avance desde tierra

En la Fig. 1.4, se aprecia el depósito de material, por medio de un chalán, avanzando de mar a tierra.

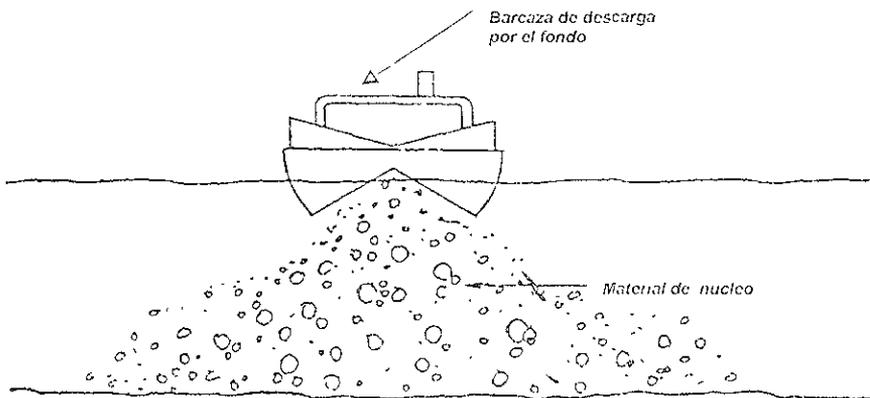


Fig 1.4 Colocación con barcaza avanzando desde mar

En la Fig. 1.5., se observa la colocación de elementos de coraza con una grúa —
— draga.

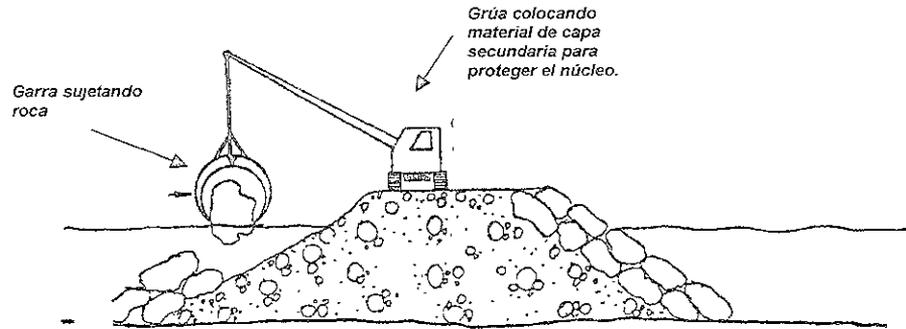


Fig 1 5. Colocación de elementos de coraza con grúa en sistema de avance desde tierra

1.2.3 Canales

1.2.3.1 Definición.

Un canal abierto es un conducto que conduce un líquido (generalmente es agua) que se caracteriza por presentar una superficie libre, es decir una de las fronteras está expuesta a la atmósfera.

De acuerdo con su origen los canales se clasifican en:

Naturales. los proporciona la naturaleza y generalmente se llaman cauces de agua

- ríos
- riachuelos
- arroyos

Artificiales: son construidos por el hombre

- canales de navegación
- canales de riego
- canales de excedencia
- cunetas

1.2.3.2 Geometría del canal

Un canal prismático es aquél que es construido con una sección transversal invariable y una pendiente de fondo constante. Un canal no prismático es aquél que no cumple con lo anterior.

La *sección transversal* de un canal es tomada en forma perpendicular a la dirección del flujo, por tanto, medida perpendicular a la plantilla. Una sección vertical del canal, es la sección vertical que pasa a través del punto más bajo de la sección del canal. Para canales horizontales, por consiguiente, la sección del canal es siempre una sección vertical de canal.

Las secciones de canales naturales son, por lo general, muy irregulares y a menudo varían desde aproximadamente una sección parabólica hasta aproximadamente una sección trapecial. Los canales artificiales a menudo se diseñan con secciones de figuras geométricas regulares.

La Tabla 1.1 relaciona 7 formas geométricas utilizadas comúnmente, en el diseño de canales.

El trapecio es la forma más común para canales con banquetas en tierra sin recubrimiento, debido a que proveen las pendientes necesarias para estabilidad. El rectángulo y el triángulo son casos especiales del trapecio. Debido a que el rectángulo tiene lados verticales, por lo general se utiliza para canales construidos

con materiales estables, como mampostería, roca, metal, madera o gaviones. La sección triangular sólo se utiliza para pequeños canales, cunetas a lo largo de carreteras y trabajos de laboratorio. El círculo es la sección más común para alcantarillas de tamaños pequeño y mediano. La parábola se utiliza como una aproximación a secciones de canales naturales de tamaños pequeño y mediano. El rectángulo con esquinas redondeadas es una modificación del rectángulo. El triángulo con fondo redondeado es una aproximación de la parábola; esta es la forma creada a menudo con la utilización de excavadoras.

Secciones geométricas cerradas, diferentes del círculo, se utilizan con frecuencia en alcantarillados de aguas negras, de manera particular para alcantarillas suficientemente grandes que permiten la entrada de un hombre. Estas secciones reciben diferentes nombres de acuerdo con su forma, pueden ser en forma ovoide, semiéptica, en forma de "U", catenaria, herradura, etc.

Los rectángulos y cuadrados completos, también son comunes en alcantarillados grandes.

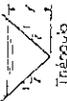
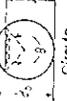
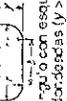
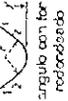
1.2.3.3 *Elementos geométricos de una sección de canal*

Los elementos geométricos son propiedades de una sección de canal que pueden ser definidos por completo con la geometría de la sección y la profundidad del flujo. Estos elementos son muy importantes y se utilizan con amplitud en el cálculo de flujo. Para secciones de canal rectangulares y simples, los elementos geométricos pueden expresarse matemáticamente en términos de la profundidad de flujo y de otras dimensiones de la sección. Para secciones complicadas y secciones de corrientes naturales, sin embargo, no se puede escribir una ecuación simple para expresar estos elementos, pero pueden prepararse curvas que representen la relación entre estos elementos y la profundidad de flujo para uso en cálculos hidráulicos, ver Tabla 1.1.

La profundidad de flujo, " y ", es la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre. Por lo general este término se intercambia con la profundidad de flujo de la sección, " d ".

En efecto, la profundidad de flujo de la sección es la profundidad de flujo perpendicular a la dirección de éste o a la altura de la sección del canal que contiene el agua. Para un canal con un ángulo de pendiente longitudinal (θ), puede verse que la profundidad del flujo es igual a la profundidad de sección de flujo dividida por coseno (θ). En el caso de canales inclinados, por consiguiente, los dos términos deben utilizarse de manera discriminada.

El *nivel* es la elevación o distancia vertical desde un nivel de referencia hasta la superficie libre. Si el punto más bajo de la sección de canal se escoge como el nivel de referencia, el nivel es idéntico a la profundidad de flujo.

Sección	Área A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Ancho superficial T	Profundidad hidráulica D	Factor de esoción Z
 Rectángulo	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y	$by^{1.48}$
 Trapecio	$(b + by)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + by)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + by)y}{b + 2zy}$	$\frac{(b + by)^{1.48}}{\sqrt{b + 2zy}}$
 Triángulo	by	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{by}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	zy	$\frac{\sqrt{2}}{2} zy^{1.48}$
 Círculo	$\frac{1}{2}d^2(\theta - \sin\theta)$	$\frac{1}{2}d\theta$	$\frac{1}{4} \left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right) d$	$\frac{(\sin\theta/2)d}{2\sqrt{1/2(d - y)}}$ OR $2\sqrt{1/2(d - y)}}$	$\frac{1}{2}d \left(\frac{\theta - \sin\theta}{\sin\theta/2}\right)$	$\frac{\sqrt{2}(\theta - \sin\theta)^{1.48}}{32(\sin\theta/2)^{0.48} d^{0.48}}$
 Parábola	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T^2 + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{2}{3}y\sqrt{8Ty^{1.48}}$
 Semi-círculo con escurres (radio r y $y > r$)	$\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)r^2 + (b + 2y)y$	$(\pi - 2)r + b + 2y$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y}{(\pi - 2)r + b + 2y}$	$b + 2r$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2}{b + 2r} + y$	$\frac{((\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r))^{1.48}}{\sqrt{b + 2r}}$
 Triángulo con fondo rectoángulo	$\frac{T^2}{2} - \frac{r^2}{2} (1 - r \cot^{-1} z)$	$\frac{T}{z}\sqrt{1 + z^2} - \frac{2r}{2} (1 - r \cot^{-1} z)$	$\frac{A}{P}$	$2z(y - r) + r\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{T}}$

* Aproximación satisfactoria para el intervalo $0 < x \leq 1$, donde $x = 4y/T$. Cuando $x > 1$, utilice la expresión exacta $P = (\pi/2) [\sqrt{1 + x^2} + 1/x \ln(x + \sqrt{1 + x^2})]$.

El *ancho superficial* T es el ancho de la sección del canal en la superficie libre.

El *área hidráulica* A es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección de flujo.

El *perímetro mojado* P es la longitud de la línea de intersección de la superficie de canal mojada y de un plano transversal perpendicular a la dirección de flujo.

El *radio hidráulico* R_H es la relación del área hidráulica con respecto de su perímetro mojado, o

$$R_H = \frac{A}{P}$$

El *Tirante hidráulico* Y es la relación entre el área hidráulica y el ancho de la superficie, o

$$Y = \frac{A}{T}$$

1.2.3.4 Distribución de velocidades en una sección de canal

Debido a la presencia de la superficie libre y a la fricción a lo largo de las paredes del canal, las velocidades en un canal no están uniformemente distribuidas en su sección

La máxima velocidad medida en canales normales a menudo ocurre por debajo de la superficie libre a una distancia de 0.05 a 0.25 de la profundidad

La Fig. 1.6 ilustra el modelo general de la distribución de velocidades para varias secciones horizontales y verticales en un canal con sección rectangular y las curvas de igual velocidad de la sección transversal.

Los modelos generales para la distribución de velocidades en diferentes secciones del canal con otras formas se ilustran en la Fig. 1.7

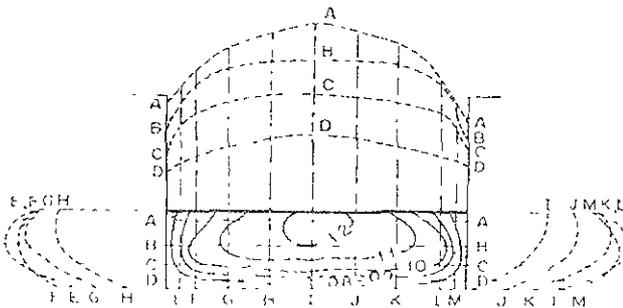


Fig. 1.6 Distribución de las velocidades en un canal rectangular (Ref. 5.24)

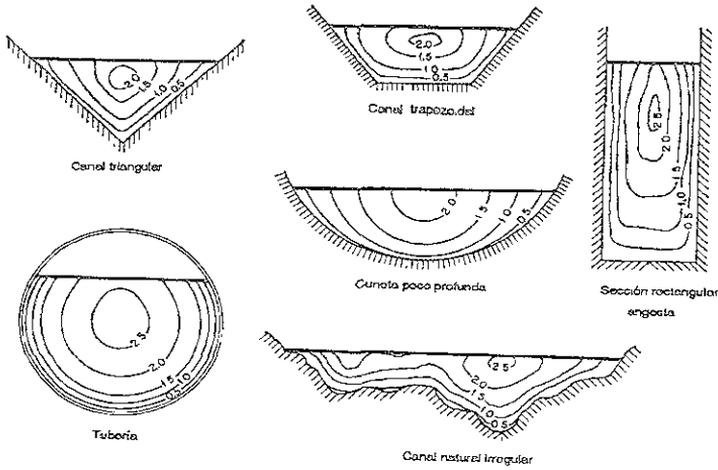


Fig 17 Curvas comunes de igual velocidad en diferentes secciones de canal (Ref 5 25)

La distribución de velocidades en una sección de canal depende también de otros factores, como una forma inusual de la sección, la rugosidad del canal y la presencia de curvas. En una corriente ancha, rápida y poco profunda o en un canal muy liso, la velocidad máxima por lo general se encuentra en la superficie libre. En una curva, la velocidad se incrementa de manera sustancial en el lado convexo, debido a la acción centrífuga del flujo. Contrario a la creencia usual, el viento en la superficie tiene muy poco efecto en la distribución de velocidades.

1 2 3 5 Coeficientes de distribución de velocidad

Como resultado de la distribución no uniforme de velocidades en una sección de canal la altura de velocidad de un flujo en canales abiertos, es por lo general mayor que el valor calculado de acuerdo con la expresión $V^2/2g$, donde V es la velocidad media. Cuando se utiliza el principio de energía en cálculos, la altura de velocidad real puede expresarse como $\alpha V^2/2g$, donde α se conoce como *coeficiente de energía* o *coeficiente de Coriolis*. Datos experimentales indican que el valor de α varía desde 1.03 hasta 1.36 para canales prismáticos aproximadamente rectos. Por lo general el valor es alto para canales pequeños y bajo para corrientes grandes con profundidad considerable.

A partir del principio de mecánica el *momentum* de un fluido que pasa a través de una sección de canal por unidad de tiempo se expresa por $\beta wQV/g$ donde β es conocido como *coeficiente de momentum* o *coeficiente de Boussinesq*, w es el peso unitario del agua, Q es el caudal y V es la velocidad media.

Se ha encontrado que el valor de β para canales prismáticos aproximadamente rectos, varía desde 1.01 hasta 1.12.

Los dos coeficientes de distribución de velocidades son siempre un poco mayores que el valor de la unidad, para el cual la distribución de velocidades es estrictamente uniforme a través de la sección del canal. Para canales de sección transversal regular y alineamiento más o menos recto, el efecto de la distribución no uniforme de velocidades en el cálculo de la altura de velocidad y el *momentum* es pequeño, especialmente en comparación con otras incertidumbres involucradas en el cálculo. Por consiguiente, a menudo los coeficientes se suponen iguales a la unidad. En canales con secciones transversales complejas, los coeficientes para energía y *momentum* con facilidad pueden ser tan altos como 1.6 y 1.2 respectivamente y pueden variar con rapidez de una sección a otra en el caso de alineamientos irregulares.

Para propósitos prácticos, se propusieron los valores mostrados en la Tabla 1.2 para los coeficientes de distribución de velocidad

Canales	valor de α			valor de β		
	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx
Canales regulares, canaletas y vertederos	1.10	1.15	1.20	1.03	1.05	1.07
Corrientes naturales y torrentes	1.15	1.30	1.50	1.05	1.10	1.17
Ríos bajo cubiertas de hielo	1.20	1.50	2.00	1.07	1.17	1.33
Valles de ríos, inundados	1.50	1.75	2.00	1.17	1.25	1.33

Tabla 1.2 Valores de α y β (Ref 5 28)

1.2.4 Espigones

Un espigón es una estructura, normalmente de roca, que se extiende hacia fuera a partir de la costa o perpendicular a la orilla de un río, Fig. 1 8. Los taludes laterales del espigón están protegidos por rocas de coraza puestas en desorden. La superficie superior del relleno se hace lo suficientemente ancha y nivelada para dar alojamiento a las instalaciones necesarias para atender el muelle, como un camino pavimentado, banquetas, equipos diversos, tuberías, etc.

Los espigones deben construirse con taludes estables, protegidas con rocas de coraza de un tamaño que depende del tamaño de exposición. El relleno interior o corazón, no sea deslavado por la acción de las olas y las marejadas antes que se le proteja convenientemente. En general, los requisitos de diseño se parecen a los de rompeolas.

Hay que notar que debido a que el material del corazón puede tener que soportar caminos pavimentados o vías de ferrocarril, no debe llegar a erosionarse o a sufrir asentamientos futuros.

Muchos muelles abiertos se localizan a distancia considerable mar adentro. Esto se hace para lograr que el agua del lado del extremo del muelle cercano a la playa sea lo suficientemente profunda para dar alojamiento al calado de carga de la nave más grande que use el muelle, o donde ya no sea económico agrandar el dragado hacia la playa. En tales casos, el acceso desde tierra firme al extremo de playa del muelle abierto se logra por medio de un espigón.

Los espigones se clasifican en permeables e impermeables. Pueden consistir de una pantalla de madera, acero o concreto, o bien ser una barrera formada de piedra, elementos prefabricados de concreto u otros materiales. (Ref 4 179-181)

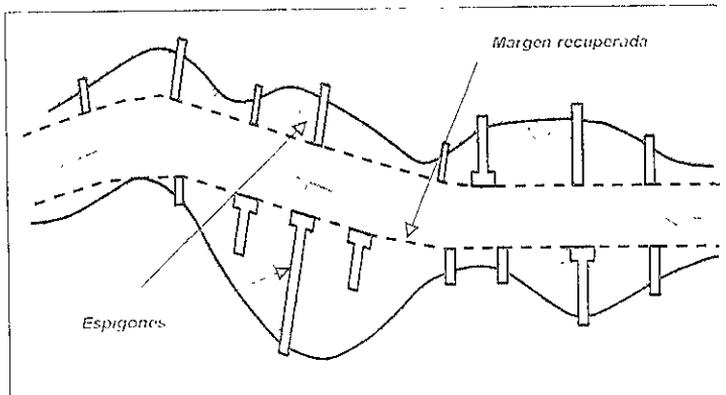


Fig. 1 8. Serie de espigones para el acceso a la boca de un río

1.2.5 Diques Marginales

Los diques marginales son estructuras construidas dentro de los cauces, que tienen por objeto dirigir y encauzar convenientemente el flujo de un río para proteger sus márgenes o rectificar su cauce, Fig 1.9.

Cuando la obra está terminada, la corriente fluye paralela a estas estructuras. Su uso principal es en aquellas zonas en que los cauces tienen islas, son divagantes, las márgenes son irregulares o cuando se requiere formar una nueva orilla separada de la actual.

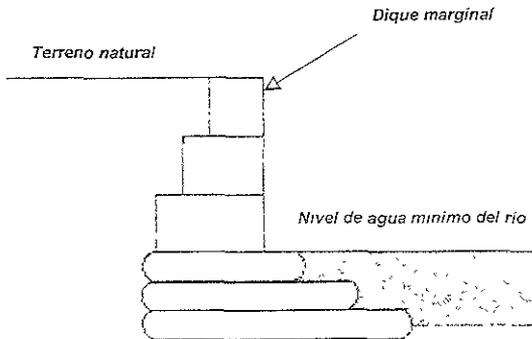


Fig 1.9 Dique marginal a la orilla de un río para el encauzamiento del mismo

En los ríos de planicie, en que el agua escurre por un solo cauce, se utilizan cuando las márgenes, sobre todo en las curvas, son muy irregulares y en vez de utilizar espigones estos requerirán diques en toda la margen del río. Los diques se colocan paralelos al eje del río con lo que encauzan a la corriente y esta escurre paralela a ellos. Se construyen de forma semejante a los espigones en cuanto que son estructuras dentro del cauce y que deben resistir la velocidad de la corriente, tanto a lo largo de su vida útil, como durante su construcción, si el río lleva agua todo el año.

Si el dique se construye de enrocamiento, la roca que forma el cuerpo del dique puede ser de cualquier tamaño, mientras no sea arrastrada por la corriente durante la etapa constructiva. Sobre el talud exterior, en contacto con el flujo, se coloca una coraza resistente como si fuera un recubrimiento pero sin necesidad de usar filtros. Los filtros se requieren cuando, por no haber bancos de roca abundantes y cercanos se forma el cuerpo del dique con arena.

La cara anterior del dique no requiere protección especial, ya que esta en contacto con agua cuyas velocidades son muy lentas. Lo anterior es aplicable cuando el cuerpo del dique se forma con entrocamiento no así cuando esta formado con

arena o grava, en cuyo caso el talud se debe recubrir con roca que lo preteja de la acción de la lluvia o de los escurrimientos que se lleguen a presentar durante las avenidas, sobre todo si el agua llega a pasar sobre la corona del dique.

La altura de la corona de los diques generalmente es la misma que la de la margen cercana o la correspondiente a la elevación del agua asociada al gasto, sin embargo, puede ser menor cuando se desea que el propio río rellene con sedimentos las zonas muertas que quedan entre los diques y la margen actual. Esa acción de sedimentación y relleno se logra en las épocas de avenidas, cuando el agua con sedimentos en suspensión pasa sobre la cresta de los diques. Las partículas transportadas en suspensión, se depositan al llegar a la zona muerta, en donde normalmente las velocidades del escurrimiento son bajas.

Los depósitos que llegan a aflorar durante la época de estiaje, se cubren de vegetación, la que contribuye a reducir las velocidades de la corriente en las siguientes avenidas y con ello facilitar aún más la sedimentación de las partículas transportadas en suspensión.

En diques con sección transversal trapecial, como los formados con enrocamiento o gaviones, la línea que indica el pie del talud podrá sufrir reajustes posteriores cuando se dimensione la sección transversal del dique, se hayan seleccionado sus taludes, elevación de desplante, elevación y ancho de la corona y tamaño de sus elementos. Ténganse en mente que esos tamaños dependen de la velocidad máxima de la corriente, del talud de la cara exterior del dique y del peso específico de la roca

1.2.6 Ataguías

Son muros provisionales o tápiales que sirven para proteger una excavación o un área de futura construcción. Generalmente, una de sus más importantes funciones es permitir que la obra se lleve a cabo en un lugar casi seco.

Las ataguías se deben diseñar para que puedan desmantelarse fácilmente para usarse de nuevo. Ya que solo son provisionales, los factores de seguridad pueden ser pequeños, de 1.25 a 1.5, tomando en cuenta todas las cargas probables en el diseño. Pero los coeficientes de trabajo se deben de mantener bajos, ya que son inciertos los esfuerzos, la presión unitaria y las reacciones de apuntalamiento.

En el proyecto se deben tomar en cuenta las cargas de construcción y la posibilidad de daños de la maquinaria de construcción.

Cuando las ataguías están en agua, en el diseño se debe tomar en cuenta el efecto dinámico de las corrientes y el impacto de las olas. La altura de la ataguía debe ser adecuada para evitar las inundaciones que ocurren con frecuencia.

1.2.6.1 Tipos de ataguías

- *Bordos de tierra*

Generalmente son de un tipo más económico de ataguías para evitar que entre agua en una excavación. Si no es fácil obtener material impermeable, puede ser necesario hincar una pared de corte de tablestacas de acero a lo largo del bordo, para permitir que las bombas evacúen las filtraciones. Teniendo un corazón impermeable en el bordo, las coladeras, y las bombas de pozo profundo pueden utilizarse para mantener seca la excavación.

- *Entramados de madera*

También forman ataguías relativamente económicas, construidos en tierra, pueden llevarse flotando hasta el sitio y luego hundirse mediante relleno de piedra. El lado del agua puede cubrirse con tabloncillos para hacerla impermeable.

Para tener mayor impermeabilidad, pueden utilizarse dos filas de entramados para apoyar dos caras de recubrimiento de madera dentro de los cuales se apisona arcilla para formar un muro de lodo (Ref 20 51-57)

El diseño de los entramados de madera debe proporcionar amplia seguridad contra volteo y deslizamiento Fig 1 10

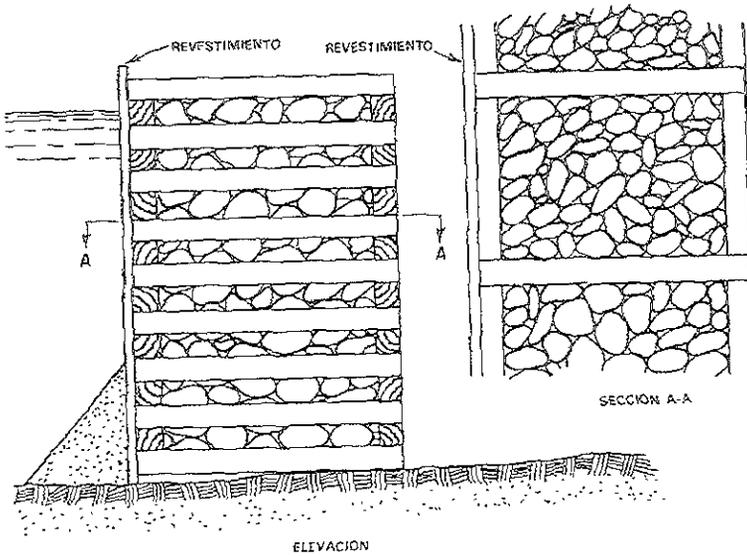


Fig 1 10 Entramados de madera rellenos con piedra

• *Ataguías de doble pared.*

Constan de dos filas de tablestacas atriantadas entre sí y el espacio interior se llena con arena. Cuando las tablestacas se hincan en roca irregular, en grava o en bocas-bola, la parte inferior del espacio entre las paredes puede rellenarse con una gruesa capa de concreto para llenar los huecos debajo de las puntas de las tablestacas. Las ataguías de doble pared probablemente son más impermeables que las de una sola pared y pueden utilizarse a mayores profundidades.

Puede colocarse un espaldón contra la cara exterior de una ataguía para darle estabilidad. Se le debe dar protección contra la erosión. Con este fin, pueden utilizarse desperdicios de tierra o cojinetas tejidas.

Si la ataguía descansa sobre una roca, el espaldón puede colocarse del lado interior solamente si es necesario para evitar el deslizamiento, el volteo o los esfuerzos cortantes.

Sobre arena, se debe proporcionar un espaldón amplio para que el agua tenga largas líneas de corriente antes de entrar a la ataguía. De otra manera, la cara interior de la ataguía puede asentarse y puede voltearse la ataguía conforme el agua se filtra por abajo y causa un fondo de excavación rápido o hirviente.

En lugar de utilizar un espaldón ancho, pueden espaciarse más las paredes de la ataguía. Esto es más costoso, pero tiene la ventaja de que la pared superior del relleno puede utilizarse para la instalación de la edificación y el equipo de construcción, Fig. 1.11.

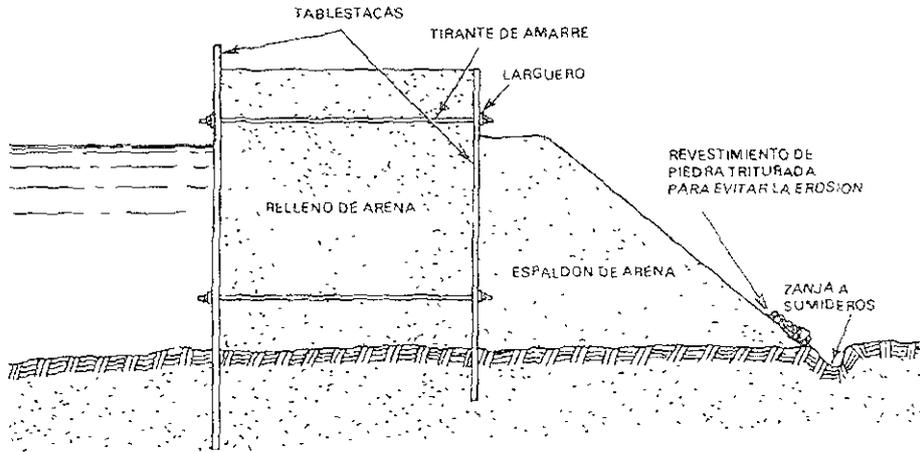


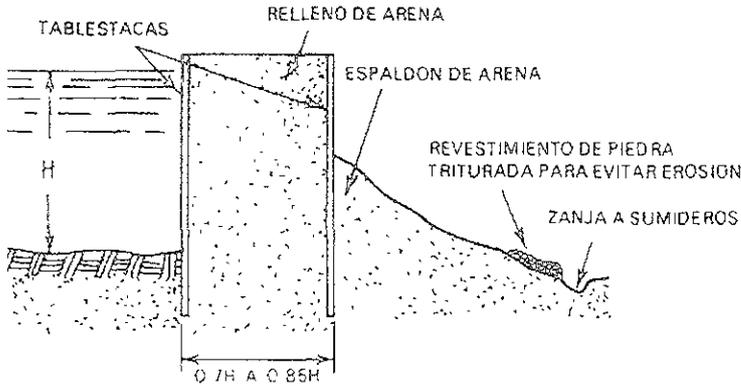
Fig 1 11 Ataguía de doble pared

• Ataguías celulares

Usadas en la construcción de presas, muelles y pilas de puentes, son adecuadas para encerrar grandes áreas en aguas profundas. Estos encerramientos constan de unidades relativamente anchas, el ancho promedio de una ataguía celular sobre roca debe ser de 0.7 a 0.85 veces la altura del exterior. Igual que con las ataguías de doble pared, cuando están construidas sobre arena, las ataguías celulares deben tener un amplio espaldón en el interior, para evitar que el fondo de excavación se vuelva rápida.

Las celdas se forman con tablestacas de acero unidas y se rellenan con arena, la resistencia al corte interno de la arena contribuye sustancialmente en la resistencia de la ataguía. Por esta razón, no es prudente llenar una ataguía con arcilla o limo.

Los aliviaderos para drenaje en el interior de las tablestacas drenan el relleno con lo cual abaten la presión hidrostática sobre estas hojas y aumenta la resistencia al corte de relleno. Fig. 1.12



(d) SECCION VERTICAL

Fig 1 12 Ataguía celular de tablaestacas

- *Ataguías de pared sencilla*

Forman un encerramiento con una sola fila de tablaestacas. Si hay problemas de agua, se construyen con pilotes en hilera (cantiliver verticales) con tiras de madera horizontal. Cuando se encuentra agua, la ataguía puede construirse de tablaestacas. Aun cuando requieren de material por unidad que las ataguías celulares o de doble pared, las de pared sencilla generalmente requieren arriostamiento por el interior, a menos que el pie se hincque en una capa gruesa impermeable, pueden tener filtraciones excesivas por el fondo. También puede haber fugas en las uniones, originando peligro de inundación y colapso debido a las fuerzas hidrostáticas cuando a estas ataguías se les saca el agua.

En aplicaciones marinas, es necesario excavar, hincar los pilotes y colocar con un sello de concreto antes de sacar el agua a las ataguías de tablaestacas de pared sencilla. Otras veces, es aconsejable pre-drenar el área antes de construir la ataguía, para facilitar el colocado del arriostamiento y para eliminar los obstáculos al hincar los pilotes. Si es necesario dinamitar, podría debilitarse severamente el revestimiento y arriostamiento que se hace después de instalado.

Los pequeños movimientos y pérdida consecuente de tierra en general se deben evitar para no dañar las estructuras, las calles y los servicios públicos adyacentes.

Por lo tanto, las ataguías deben arriostarse ampliamente. Esto puede ser con anillos horizontales, apuntalamientos horizontales o largueros a lo largo de las paredes laterales y los extremos pueden acoplarse para que sirvan como puntales, en caso de ataguías mayores se recomienda emplear apuntalamiento en

diagonal o apuntalamiento en cruz, Fig. 1.13

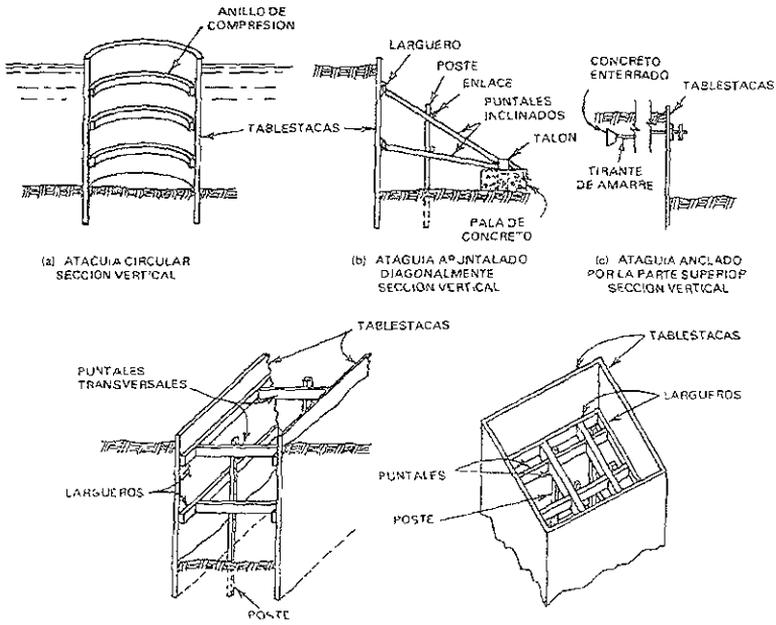


Fig 1.13 Tipos de arriostramiento para ataguías

Capítulo 2

GAVIONES

2.1 Definición

Los gaviones son contenedores de diversas formas (paralelepípedos, modulares, sacos), fabricados con red en malla hexagonal a doble torsión de alambre fuertemente galvanizado, reforzados en los bordes con alambre mas grueso, divididos en celdas mediante diafragmas y rellenos con piedra en el lugar de la obra, Fig. 2.1.

Todos los modelos se fabrican también con alambre fuertemente galvanizado revestido con PVC.



Fig 2.1 Gavion

2.2 Características

2.2.1 Flexibilidad

Las obras en gaviones caja y gaviones tipo colchón pueden, por su flexibilidad, absorber asentamientos sin perder su eficiencia, permaneciendo estructuralmente seguras, al contrario de las rígidas o semi-rígidas que pueden ser destruidas aún por pequeños movimientos o socavaciones del terreno de apoyo.

2.2.2 Permeabilidad

Los gaviones caja y gaviones tipo colchón son altamente permeables y actúan como drenes permitiendo el escurrimiento de las aguas de filtración, eliminando de este modo los efectos de la presión hidrostática.

2.2.3 Durabilidad

Las obras en gaviones por su peso propio y su carácter monolítico son capaces de resistir los empujes del terreno. Los revestimientos en gaviones, por ser estructuras continuas, logran absorber acentuadas erosiones protegiendo los terrenos que recubren. La fuerte galvanización asegura la protección del alambre por muchos años en condiciones ambientales normales.

El recubrimiento con PVC del alambre fuertemente galvanizado ofrece a su vez una protección efectiva aún en ambientes altamente contaminados o agresivos. Ambos tipos de obras se ven favorecidos por la sedimentación que llena sus vacíos, y por el enraizamiento de la vegetación en los mismos, aumentando su eficiencia con el paso del tiempo.

2.2.4 Simplicidad y rapidez de colocación

Los gaviones son estructuras de fácil y simple ejecución, no requieren de mano de obra calificada para su armado y relleno. Al utilizar solo red y piedras permiten rapidez de ejecución y posibilidad de trabajo aún en condiciones climáticas adversas o en presencia de pequeños tirantes de agua.

2.3 Especificaciones

2.3.1 Descripción general

El gavión debe ser flexible en red de alambre a fuerte galvanización en los tipos y dimensiones abajo indicados

El mismo es fabricado con red de alambre cuyo tipo de malla, medidas y bordes reforzados mecánicamente son especificados en los siguientes párrafos, cada gavión puede ser dividido por diafragmas en celdas cuya largura no deberá ser superior a una vez y media el ancho del gavión.

2.3.2 Alambre

Todo alambre usado en la fabricación de los gaviones y para las operaciones de amarre y atirantamiento durante la colocación en obra, debe ser de acero dulce recocido y de acuerdo con las especificaciones BS (British Standard) 1052/1980 "Mild Steel Wire", o sea, el alambre deberá tener carga de ruptura media de 38 a 50 Kg / mm²

2.3.3 Estiramiento y galvanización del alambre

Se deben realizar ensayos de estiramiento, sobre el alambre, antes de la fabricación de la red, sobre una muestra de 30 cm de largo. El estiramiento no deberá ser inferior al 12%.

El alambre del gavión, de amarre y atirantamiento debe ser galvanizado de acuerdo con las especificaciones BS 443/1982 "Zinc Coating ON Steel Wire", es decir, el peso mínimo del revestimiento de zinc debe obedecer a las especificaciones señaladas en la Tabla 2.1

Diametro nominal del alambre (mm)	Minimo peso del revestimiento de PVC (g/m ²)
2.20	240
2.40	260
2.70	260
3.00	275
3.40	275

Tabla 2.1 Especificaciones del alambre de amarre (Ref 13-13)

La adherencia del revestimiento de zinc al alambre deberá ser tal que, después de haber envuelto el alambre 6 veces alrededor de una barra de acero, que tenga diametro igual a 4 veces del alambre, el revestimiento de zinc no tendra que escamarse o cuartearse de manera que pueda ser quitado rascando con las ungas

2.3.4 Red

La red debe ser de malla hexagonal a doble torsión, las torsiones serán obtenidas entrecruzando dos hilos por tres medios giros.

Las dimensiones de la malla deberán estar de acuerdo con las especificaciones de fabricación. El diámetro del alambre usado en la fabricación de la malla debe ser de 2.7 mm y de 3.4 mm para los bordes laterales.

2.3.5 Refuerzo de los bordes

Todos los bordes libres del gavión, inclusive el lado superior de los diafragmas, deben ser reforzados de manera tal que no se deshile la red y para que adquiera mayor resistencia. El alambre utilizado en los bordes reforzados mecánicamente debe tener un diámetro mayor que el usado en la fabricación de la malla, o sea de 3.4 mm.

2.3.6 Alambre de amarre y estiramiento

Se tendrá que proveer, junto con los gaviones, una cantidad suficiente de alambre de amarre y airtamiento para la construcción de la obra. La cantidad estimada de alambre es de 8% para los gaviones de 1.00 m de altura, y de 6% para los de 0.50 m en relación al peso de los gaviones suministrados. El diámetro del alambre de amarre debe ser de 2.2 mm.

2.3.7 Dimensiones estándar de los gaviones

Dimensiones estándar de gaviones con diafragma (m)				
Largo	1.50	2.00	3.00	4.00
Ancho	1.00	1.00	1.00	1.00
Alto	0.50	1.00	1.00	1.00

Tabla 2.2 Dimensiones estándar de los gaviones (Ref 13-14)

2.3.8 Tolerancias

Se admite una tolerancia en el diámetro del alambre galvanizado de $\pm 2.5\%$

Se admite una tolerancia en el largo del gavión de $\pm 3\%$ y en el ancho y alto de $\pm 2.5\%$. Los pesos están sujetos a una tolerancia de $\pm 5\%$ (que corresponde a una tolerancia menor que la de $\pm 2.5\%$ admitida para el diámetro del alambre).

(Ref 13-15)

2.4 Aplicaciones

De acuerdo con las características antes mencionadas, permiten múltiples aplicaciones en obras de Ingeniería Civil, a continuación se mencionan algunas.

2.4.1 Control de la erosión fluvial

Las estructuras en gaviones ofrecen muchas veces la mejor solución técnica y económica para la corrección y sistematización de ríos. En la sistematización de ríos pueden ser utilizadas para el control de erosión, tanto en protecciones longitudinales de márgenes, como en obras de protección tales como espigones y diques.

En obras de derivación pueden ser utilizadas en pequeñas presas para irrigación o abastecimiento y consumo industrial, así como en obras auxiliares como revestimiento de vertedores, ataguías, escolleras, etc.

2.4.2 Obras de canalización

Las canalizaciones con gaviones forman protecciones monolíticas extremadamente flexibles, las cuales pueden resistir la erosión del agua de filtración eliminando así la presión hidrostática. A menudo una protección del pie del muro con un revestimiento en gavión tipo colchón evita la construcción de costosas cimentaciones y absorbe eventuales erosiones del fondo.

Los revestimientos de canales y ríos en gaviones tipo colchón sustituyen con eficacia y economía al tradicional enrocamiento (rip-rap). Permiten una sensible reducción del espesor con respecto a éste y usar piedras de mayor tamaño. El revestimiento resultante, a diferencia del rip-rap, es una estructura continua, homogénea, de menor rugosidad, que requiere poco o ningún mantenimiento y que suma a la solidez de la piedra la resistencia de la malla.

Los revestimientos de gavión tipo colchón y gavión caja, ofrecen una segura y confiable protección contra la erosión provocada por el oleaje que se pueda presentar. Permiten sensibles reducciones del tamaño de las piedras y del espesor del revestimiento en comparación al tradicional revestimiento en material suelto. Son principalmente usados como protección del paramento aguas arriba de las presas en material suelto, playas y orillas de canales o ríos navegables.

2.4.3 Protección de puentes y alcantarillas

Los gaviones son usados para la ejecución de alas y estribos de puentes y para la protección de los mismos, aún los construidos con otros materiales, tanto en carreteras como en áreas urbanas o rurales.

Proporcionan también una efectiva protección para las alcantarillas de las carreteras y ferrocarriles. La rugosidad y flexibilidad de la estructura le permite

disipar la fuerza del flujo de agua y proteger la salida de la alcantarilla contra la erosión. El revestimiento de PVC garantiza la integridad de las estructuras al aislar al alambre de las aguas salinas o contaminadas que lo puedan atacar.

2.4.4 Las estructuras de contención

Combinan eficazmente las funciones de sostenimiento y de drenaje. Por ser armadas son de rápida construcción y permeables; además son flexibles tolerando asentamientos sin fracturas.

Las excavaciones para cimentaciones, costosas y muchas veces peligrosas, son innecesarias, siendo suficiente en general la regularización del terreno. Así mismo la red es usada muchas veces para prevenir que piedras y fragmentos caigan en carreteras, ferrocarriles o centros habitados. Esta solución puede también ayudar a fijar y favorecer el enraizamiento de la vegetación sobre el talud.

Gracias a la doble torsión de la malla, la red puede soportar la sollicitación causada por el desprendimiento accidental de las piedras y tiene la propiedad de no destejarse aún en caso de que se rompa alguno de sus alambres.

La atractiva apariencia natural de las obras en gaviones combina con cualquier lugar y paisaje, pueden ser usados en nuevos proyectos o como complemento junto con otros tipos de estructuras ya existentes.

2.5 Proceso constructivo del gavión

De acuerdo a los requerimientos del cliente se solicita al proveedor el total de gaviones que se emplearan para empezar el proyecto.

- Lo primero que hay que hacer es desempacar y desplegar cada una de las mallas, en una superficie firme y plana, eliminando cualquier curvatura del terreno, como se muestra en las fotografías 2.1 y 2.2 respectivamente.

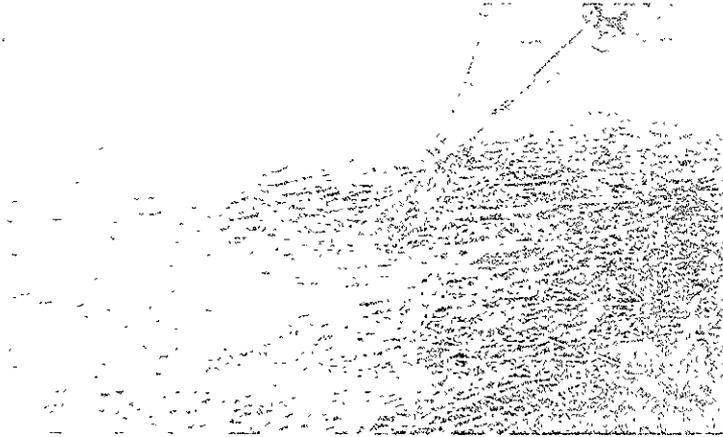


Foto 2.1. Desempaque de la malla

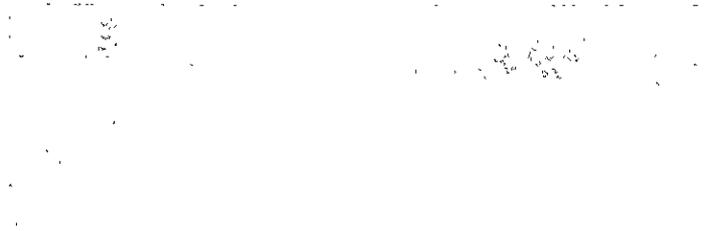


Foto 2.2. Despliegue de la malla para el gavión.

Se realiza el corte del alambre de amarre en tamaños aproximados a la mitad del rollo tal y como llegan en el embarque, y se doblan los paneles de los extremos y lados de la malla para formar una caja como se muestra en las fotografías 2.3 y 2.4 respectivamente.



Foto 2.3 Corte del alambre

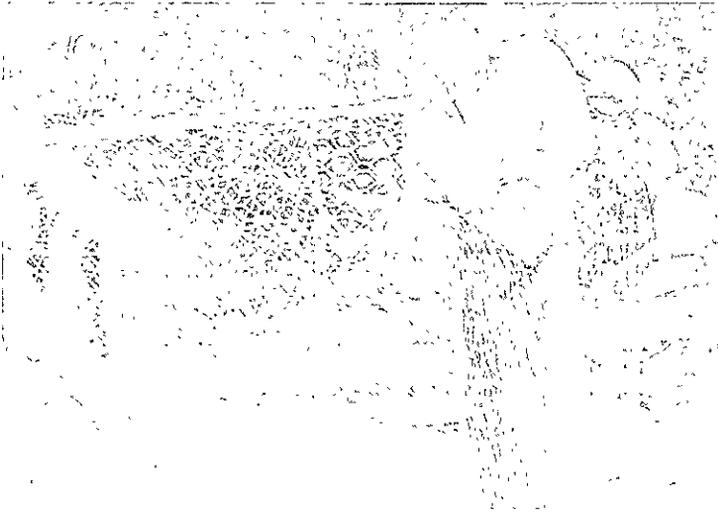


Foto 2.4 Formación de caja

En las fotografías 2.5, 2.6 y 2.7 se indica cómo coser las aristas; para esto utilizamos alambre galvanizado clase III 13.5. La forma de coser es haciendo un hilván sencillo, y a cada 10 o 15 cm hacer un doble, con una vuelta ahorcando el alambre. Este tipo de alambre se utiliza en las cuatro esquinas del gavión, para unir los diafragmas al cuerpo de la malla se usa un amarre sencillo, solamente fijando el diafragma al cuerpo del gavión.



Foto 2.5 Cosido de aristas con alambre galvanizado

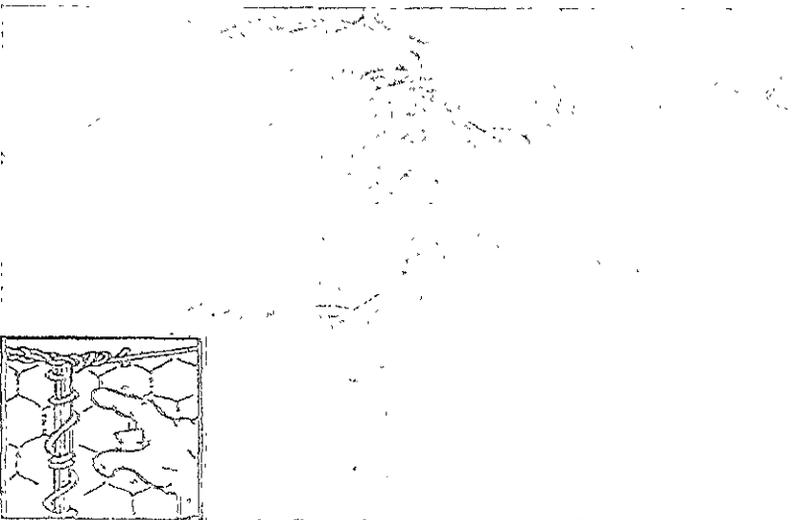


Foto 2.6 Hilván sencillo y doble a cada 10 y 15 cm

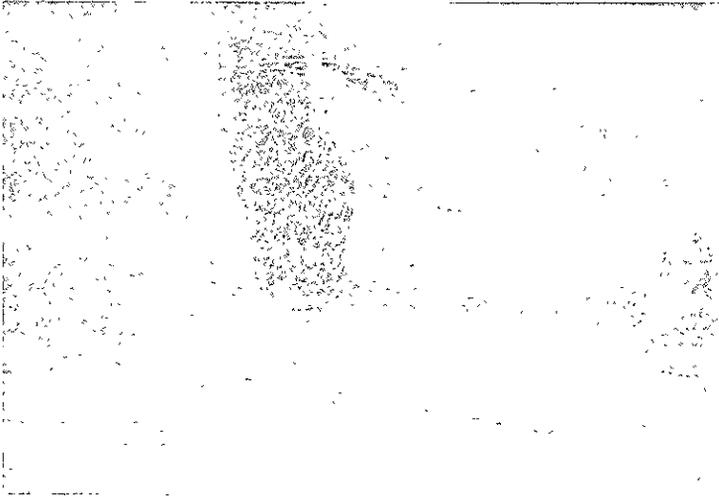


Foto 2.7. Unión de diafragmas al cuerpo de la malla.

Una vez que tenemos el gavión armado en vacío, procedemos a colocarlo en sitio, se recomienda hacer tendidos de los gaviones que se calculen llenar en el jornal, como se muestra en las fotografías 2.8 y 2.9 respectivamente.



Foto 2.8 Gavión armado en vacío

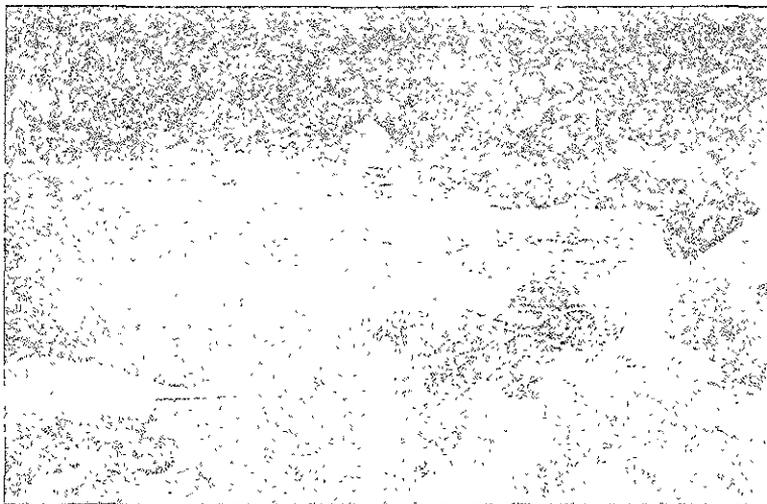


Foto 2.9 Colocación de gaviones, estimados a llenar, en el sitio de la obra.

2.6 Colocación y relleno

2.6.1 Colocación

Primero se tiene que nivelar y compactar la base donde los gaviones serán colocados con el fin de obtener un terreno regular y una pendiente prevista o como lo indiquen las recomendaciones del proyecto.

En este momento se unen todos entre sí, primero con puntos de amarre como los utilizados para amarrar acero de refuerzo en la construcción, y posteriormente se efectúa un cosido igual al de las aristas, esto es muy importante, ya que de esta manera se tiene la unión requerida para hacer una obra monolítica. Para obtener un mejor resultado los gaviones pueden ser tensados antes del relleno, con una cimbra de madera como alternativa. La fotografía 2.10 esquematiza dicho proceso.

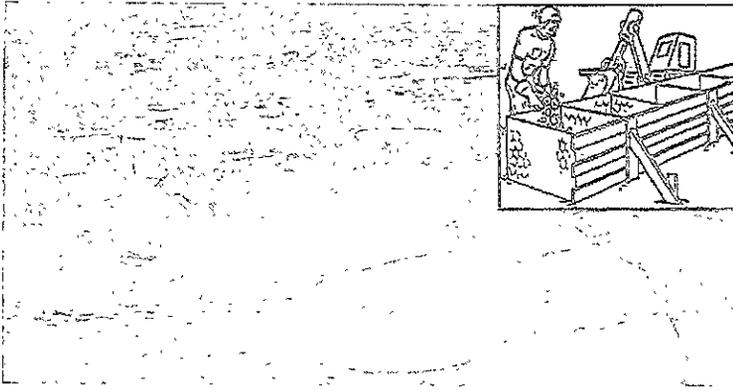


Foto 2.10 Colocación de cimbra de madera para obtener mejores resultados

2.6.2 Relleno

Las fotografías 2.11 y 2.12 muestran el llenado del gavión, utilizando para ello piedra caliza o braza, sana, no intemperizable con una granulometría recomendable de 4" a 8" de diámetro y un peso específico de 2300 a 2500 kg / m³. La piedra debe de ir acomodada de tal forma que se evite al máximo el número de huecos, para dar el mayor peso específico a la obra en cuestión.

Se recomienda respetar la capacidad del gavión, ya que una de las fallas habituales consiste en sobre llenar los gaviones, motivando la mal formación de los mismos y además utilizando de más (desperdiciando) material de relleno. El llenado de los gaviones puede ser efectuado manualmente (se asegura el máximo de peso y máxima deformabilidad) o con medios mecánicos (deja un porcentaje representativo de vacíos en el gavión) El material más usado de relleno es piedra de canto redado o piedra de canchales.

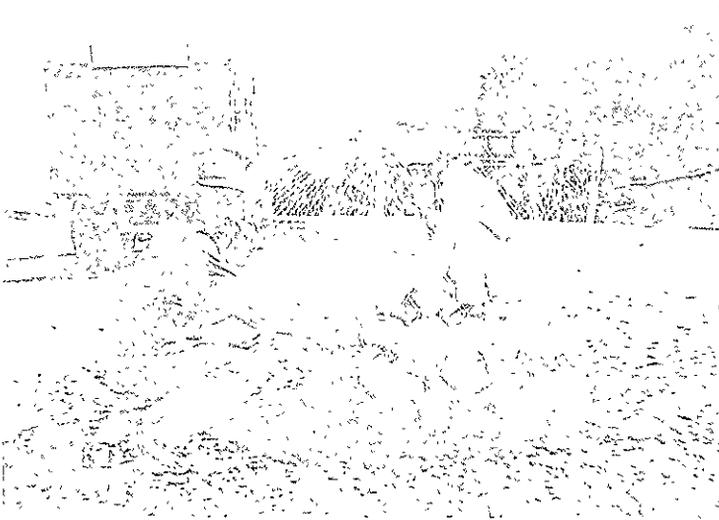


Foto 2.11. Relleno en gavión con piedra de canto rodado.

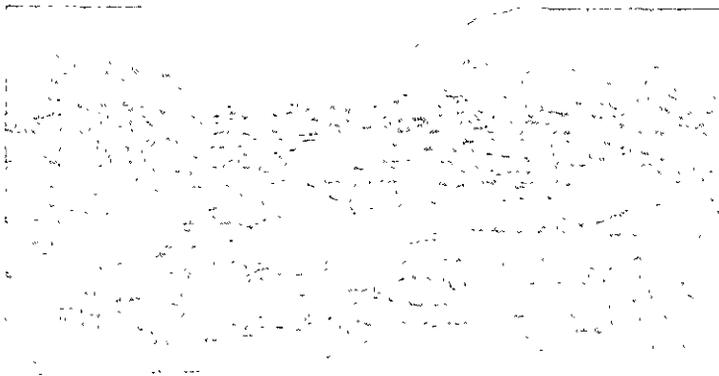


Foto 2.12 Relleno en gavión con piedra de cantera

En los gaviones de un metro de sección se recomienda el uso de tensores que se hacen con el mismo alambre que se utiliza en el cosido. Se colocan dos tensores por metro lineal, pasando el alambre de una cara del gavión a la opuesta, cuidando que el tensor pase por lo menos por dos hexágonos de la malla. Se requieren dos capas de tensores, una a un tercio del llenado y la otra a dos tercios como se muestra en las fotografías 2.13 y 2.14.

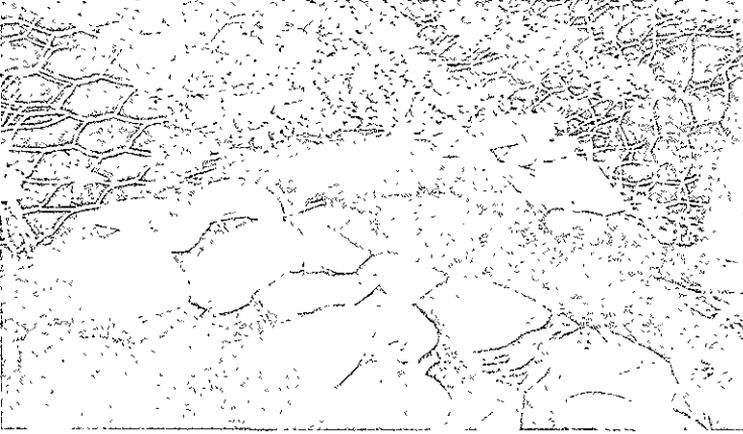


Foto 2.13. Colocación de 2 tendones por metro lineal.



Foto 2.14 Tendon que pasa por dos hexágonos de la malla primero a 1/3 y posteriormente a 2/3 del gavión

Para cerrar las tapas se auxilia con una barra de línea para hacer palanca y que la tapa llegue a la cara del gavión, se hacen puntos de amarre a cada 30 cm aproximadamente y enseguida se cose a todo lo largo del gavión, para los diafragmas solo se utilizan los puntos de amarre, para fijar la tapa, sin hacer el cosido continuo. Los siguientes niveles del gavión se unen al anterior cosiéndose con el alambre que se utiliza en los pasos anteriores

2.6.3 *Requerimiento de personal*

Una cuadrilla para la instalación del gavión se compone habitualmente de doce peones, distribuida de la siguiente forma:

- 2 peones en desempaque y armado
- 2 peones colocando el gavión en sitio y cosiéndolos
- 6 peones llenando los gaviones y colocando tensores
- 2 peones cerrando las tapas

Con esta cuadrilla, terreno afinado y materiales a pie de obra, podemos obtener un rendimiento aproximado de 25 m³ por jornal.

2.6.4 *Requerimiento de herramienta*

- 1 pico
- 1 pala cuadrada
- 6 pinzas de corte del número 9 (de electricista)
- 2 ganchos de fierro
- 1 barra de línea de 60 cm
- 1 marro de bola
- 1 marro de cuña

Capítulo 3

NORMATIVIDAD

No obstante la importancia del uso de gaviones en obras hidráulicas, no fue sino hasta el año de 1988 que se establecieron dos normas mexicanas para regular dicho uso.

Tales normas son:

MMX-B-172	Métodos de prueba mecánicos para productos de acero. Declaratoria de vigencia 11 de julio de 1988
MMX-H-014	Método de prueba para determinar la masa del recubrimiento de zinc en artículos de hierro o acero galvanizado Declaratoria de vigencia 19 de febrero de 1991

Sin embargo, éstas disposiciones no especifican en su totalidad los requisitos que deben cumplirse. Por tal motivo es que en el año 2000, la empresa Maccaferri de México, S.A. de C.V. inicia un proyecto de norma conocido como MMX-B-085-SCFI-2000, el cual describe ampliamente las características y pruebas que deben seguirse en la fabricación y aplicación. Cabe mencionar que éste proyecto no tiene aún carácter de obligatoriedad, puesto que no ha sido publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF). Por lo que continúan aplicándose las dos normas mexicanas vigentes apoyadas en las normas extranjeras enlistadas al final del capítulo (Apéndice A1).

3.1 Objetivo

El proyecto de Norma Mexicana MMX-B-085-SCFI-2000 (Ref 26), establece los requisitos que deben cumplir los gaviones, colchones y mallas fabricados a partir de malla hexagonal de alambre, con recubrimiento metálico o con recubrimiento metálico revestido de cloruro de polivinilo (PVC) torcida, así como los alambres, con recubrimiento metálico o con recubrimiento metálico revestido de PVC, para los amarres, atiesadores y sujetadores para traslape empleados para la fabricación, ensamble e instalación del producto.

3.2 Definiciones

3.2.1 Gavión

Contenedor de malla, de alambre, hexagonal de diferentes tamaños y formas, reforzado en todas sus aristas con un calibre mayor al utilizado en la fabricación de la malla, con celdas internas uniformemente repartidas e interconectadas con otras unidades similares y que se llenan con piedra en el lugar de la obra, para formar así una estructura flexible, permeable y monolítica como es el caso de: muros de contención, revestimiento de canales y vertederos en proyectos para control de erosión, Figs 3 1, 3 2 y 3 3



Fig 3 1 Gavión

3.2.2 Colchones para revestimiento

Contenedor de malla hexagonal de alambre, con celdas internas uniformemente repartidas y de altura relativamente pequeña en relación a las otras dimensiones, con aberturas de malla menores a las usadas en los gaviones, los colchones, generalmente se usan para revestimiento de canales y proyecciones marginales Fig 3 2

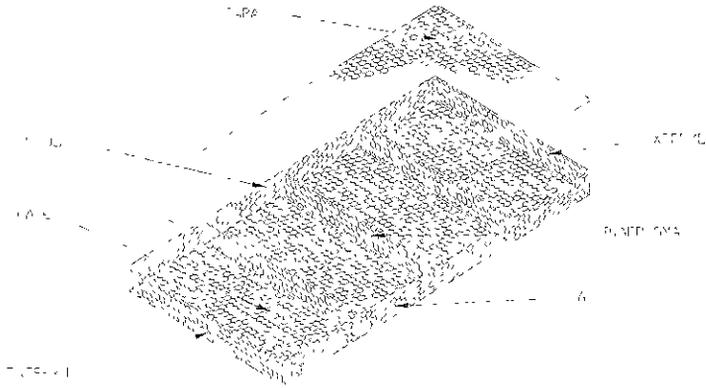


Fig 3.2 Colchones para revestimiento



Fig 3.3 Gabion fabricado mecánicamente

3.3 Clasificación

Los gaviones y colchones para revestimiento fabricados con malla de alambre hexagonal torcida, se clasifican en base a su recubrimiento como se indica a continuación:

3.3.1 *Tipo 1.*- Consiste de malla hexagonal de alambre con un recubrimiento de zinc, el cual se aplica antes de hacer la torsión. Los sujetadores, el alambre para amarre y los atiesadores, se fabrican de alambre con recubrimiento de zinc.

3.3.2 *Tipo 2.*- Consiste de malla hexagonal de alambre, con un recubrimiento de Zn-5Al-MM (aleación de zinc con 5 % de aluminio) el cual se aplica antes de hacer la torsión.

Los sujetadores para traslape, el alambre para amarre y los atiesadores, se fabrican de alambre con recubrimiento de Zn-5Al-MM.

3.3.3 *Tipo 3.*- Consiste de malla hexagonal de alambre para amarre y de atiesadores como el tipo 1 y tiene un recubrimiento de PVC. Los sujetadores deben ser de alambre de acero inoxidable.

3.3.4 *Tipo 4.*- Consiste de malla hexagonal, con un recubrimiento de aluminio, el cual se aplica antes de hacer la torsión. Los sujetadores, el alambre para amarre y los atiesadores, se fabrican de alambre con recubrimiento de aluminio.

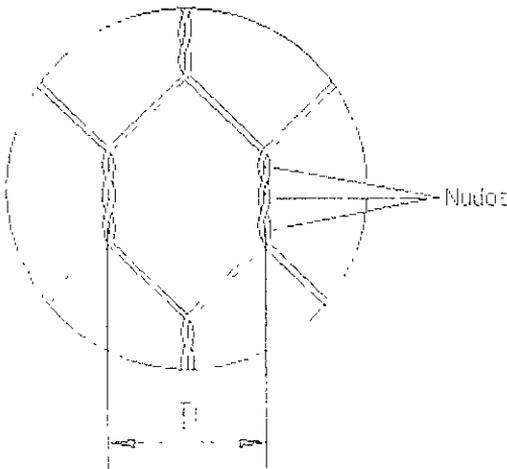


Fig. 3.1 Malla hexagonal

3.4. Malla y alambre de refuerzo

3.4.1 *Malla hexagonal de alambre*

Malla que no se deshilvana, hecha a base de girar continuamente pares de alambre para dar tres torsiones y dar forma a las aberturas hexagonales, las cuales después se interconectan a alambres adyacentes, dando origen a las aberturas hexagonales.

3.4.2 *Alambre para refuerzo de aristas*

Alambre de terminación, usado para bordar la malla de alambre perpendicular a la torsión, envolviendo los alambres de la malla mecánicamente alrededor de éste, por lo menos 2,5 veces o insertando el mismo a través de las torsiones y doblando una sola abertura de malla.

3.4.3 *Alambre para aristas*

Alambre de terminación, usado para bordar la malla de alambre paralela a la torsión, tejiéndolo continuamente hacia la malla de alambre.

3.4.6 *Alambre de amarre, para gaviones y colchones para revestimiento*

Alambre de acero con recubrimiento metálico o un alambre de acero con recubrimiento metálico revestido de PVC, que se usa para armar e interconectar unidades vacías, cerrar y asegurar unidades llenas de piedras y para atiesadores

3.4.7 *Sujetadores para traslape, para gaviones*

Es una alternativa al método de amarre con alambre, usada en operaciones de ligamiento para gaviones y colchones para revestimiento

3.4.8 *Atiesadores, para gaviones*

Alambre de acero con recubrimiento metálico o alambre de acero con recubrimiento metálico revestido de PVC, que se usa para mantener el frente lo más recto posible, conectando el panel de la cara frontal con el panel de la cara trasera de un gavión (el atiesador debe formarse en el sitio de la obra, con alambre del mismo diámetro que el usado para amarres, Tabla 3.1)

3.5 Especificaciones

3.5.1 Materiales y fabricación

El alambre usado para la fabricación de malla hexagonal torcida, para usarse en gaviones y colchones para revestimiento, deben cumplir con lo especificado en los siguientes incisos, (3.5.1.1 a 3.5.1.4) lo que sea apropiado para el tipo ordenado, excepto que la resistencia a la tensión debe ser conforme a lo indicado en 3.5.2.1

3.5.1.1 El tipo 1, malla hexagonal torcida, debe de fabricarse de alambre de acero con recubrimiento de zinc, conforme a lo especificado en la norma extranjera que se consigna en el apéndice A1.1, para el recubrimiento Clase 3 en condición de revenido.

3.5.1.2 El tipo 2, malla hexagonal torcida, debe fabricarse de alambre de acero con recubrimiento de Zn-5Al-MiM, conforme a lo especificado en la norma extranjera que se consigna en el apéndice A1.2, para el recubrimiento Clase 80 en condición de revenido.

3.5.1.3 El tipo 3, malla hexagonal torcida, debe fabricarse, del mismo tipo de alambre de acero con recubrimiento metálico (tipo 1), con un recubrimiento adicional de PVC extruído sobre el alambre de acero con recubrimiento metálico. El recubrimiento de PVC debe cumplir con las propiedades especificadas en 3.5.3.2.

3.5.1.3.1 Se permiten los polímeros termoplásticos o modificados así como sus métodos de aplicación, como sustitutos al recubrimientos de PVC, siempre y cuando su funcionamiento sea equivalente a los requisitos de funcionamiento del recubrimiento de PVC

3.5.1.4 El tipo 4, malla hexagonal torcida, debe fabricarse de alambre de acero con recubrimiento de aluminio conforme a lo especificado en la norma extranjera que se indica en el apéndice A1.3, en la condición de revenido

3.5.1.5 El alambre de amarre y los aúesadores deben fabricarse de alambre de acero que tenga el mismo material de recubrimiento al de la malla de alambre (hexagonal torcida), suministrada en el pedido y conforme a lo especificado en las normas que se indican en los apéndices A1.1, A1.2 ó A1.3, con una resistencia a la tensión conforme a lo especificado en 3.5.2.1

3.5.1.6 Los sujetadores para traslape fabricados de alambre de acero con recubrimiento de zinc y de alambre de acero con recubrimiento de aleación zinc-5% aluminio, deben ser conforme a lo especificado en la norma extranjera que se indica en el apéndice A1.4, para los tipos A, B, o C, de la Clase 3 y con una resistencia a la tensión especificada en 3.5.2.1. Los sujetadores fabricados de acero inoxidable deben ser conforme a lo especificado en la norma extranjera que

se indica en el apéndice A1.5, para el tipo 302 y con una resistencia a la tensión especificada en 3.5.2.1

3.5.1.7 Los gaviones y colchones para revestimiento deben fabricarse con todos sus componentes conectados mecánicamente en las instalaciones del fabricante, con excepción de las tapas de los colchones, las cuales se producen por separado de la base, Figs. 3.1, 3.2 y 3.3. Los gaviones y los colchones para revestimiento deben suministrarse en forma plegada, ya sea doblados en pacas o en rollos para poder embarcarse.

3.5.2 *Propiedades Mecánicas*

3.5.2.1 *Resistencia a la tensión*

La resistencia a la tensión de: la malla hexagonal torcida, el alambre para amarre y los atiesadores, debe ser conforme a lo especificado en las normas extranjeras que se indican en los apéndices A1.1, A1.2, y A1.3 para alambre en la condición de revenido, cuando se pruebe conforme a lo especificado en la norma mexicana NMX-B-172.

3.5.2.2 *Sujetadores para traslape.*

La resistencia a la tensión de: el alambre de acero con recubrimiento de zinc, el alambre de acero con recubrimiento de zinc-5% aluminio y el alambre de acero con recubrimiento de aluminio para sujetadores, debe ser conforme lo especificado en la norma extranjera que se indica en el apéndice A1.4

La resistencia a la tensión del alambre de acero inoxidable, usado para sujetadores, debe ser conforme a lo especificado en la norma extranjera que se indica en el apéndice A1.5, Tabla 3.2

Cualquier sistema de sujeción, debe proporcionar el número de sujetadores para traslape requeridos para cumplir con lo indicado en la tabla 2, conforme a la prueba de resistencia al desprendimiento (ver 3.9.1.2).

El fabricante debe establecer el número de sujetadores para traslape requeridos para todas las conexiones verticales y horizontales, para las uniones de una sola canasta o canastas múltiples, y debe incluir las instrucciones adecuadas de como instalar los sujetadores para traslape incluyendo dibujos o fotografías

3.5.2.3 *Resistencia en la unión de malla y panel con panel*

La resistencia mínima de la malla, el alambre para aristas en conexiones de malla, las conexiones panel con panel y la prueba de punzonamiento, cuando se prueben conforme a lo especificado en 9.1 debe ser lo especificado en la Tabla 3.2

3.5.3 Propiedades físicas

3.5.3.1 Recubrimiento metálico

La masa del recubrimiento debe cumplir con lo especificado en la norma extranjera que se indica en el apéndice A1.1, Clase 80, para el recubrimiento de zinc o con la norma extranjera que se indica en el apéndice A1.2, Clase 80, para el recubrimiento de Zn-5Al-MM o con la norma extranjera que se indica en el apéndice A1.3, para el recubrimiento de aluminio.

3.5.3.2 Recubrimiento de PVC.

Las propiedades iniciales del recubrimiento de PVC deben cumplir los siguientes requisitos:

3.5.3.3 Resistencia a la tensión.- Debe ser igual o mayor de 20,6 MPa [(2 Kgf/mm²) (2985psi)], cuando se pruebe conforme a lo especificado en la norma extranjera que se indica en el apéndice A1.7.

3.5.3.4 Módulo de elasticidad.- Debe ser igual o mayor de 18,6 MPa [(2 Kgf/mm²) (2700 psi)], cuando se pruebe conforme a lo especificado en la norma extranjera que se indica en el apéndice A1.7.

CARACTERÍSTICAS	GAVION CAJA		GAVION TIPO COLCHON			
	3 x 10		6 x 8		5 x 7	
	METALICO	P V C	METALICO	P V C	METALICO	P V C
ABERTURA DE LA MALLA	83 x 114	84 x 114	64 x 83	64 x 83	63 x 74	63 x 74
ALAMBRE DE LA MALLA	2.7	2.7	2.2	2.2	2.2	2.2
ALAMBRE PARA ARISTAS DE REFUERZO	3.4	3.4	2.7	2.7	2.7	2.7
ALAMBRE PARA AMARRAR	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
SUJETADORES PARA TRASLAPE	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
ATISADORES	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO DE PVC						
NORMAL	N.A	0.50	N.A	0.50	N.A	0.50
MINIMO	N.A	0.30	N.A	0.30	N.A	0.30

Notas:

Todas las dimensiones y diámetros de alambre, son valores nominales mínimos y están en mm.

N/A: No Aplica

Los sujetadores para traslape debe ser del mismo material empleado del gavión o colchón o de acero inoxidable conforme a las características que se especifican en la norma extranjera que se indican en el apéndice A1.5

Descripción de la prueba	Gaviones con recubrimiento metálico y P V C. kN/m (libras / pie)	Gavión tipo Colchón para revestimiento con recubrimiento metálico y P V C kN/m (libras/pie)
Paralelo a la torsión	42 30 (2900)	33 60 (2300)
Perpendicular a la torsión	20 40 (1400)	13 10 (900)
Conexión a las aristas	17 50 (1200)	10 20 (700)
Conexión panel con panel, usando alambre para amarre o sujetadores para traslape	17 50 (1200)	10 20 (700)
Prueba de punzonamiento KN (libras fuerza)	23 60 (5300)	17 80 (4000)

Tabla 3 2 Resistencia mínima a la tensión del alambre de la malla y conexiones

3 5.3.5 Dureza.- Debe tener una dureza de 50 a 60, cuando se pruebe conforme a lo especificado en la norma extranjera que se indica en el apéndice A1 8

3 5.3.6 Temperaturas de fragilización - Debe ser igual o menor de 264 K (-9°C), o una temperaturas más baja cuando lo especifique el comprador, cuando se pruebe conforme a lo especificado en la norma extranjera que se indica en el apéndice A1 9.

Nota: La temperatura máxima de fragilización debe ser de por lo menos 281 K (8°C), por abajo de la temperatura mínima en la cual deben llenarse los gaviones.

3 5.3.7 Resistencia a la abrasión - El porcentaje de pérdida de masa debe ser menor de 12%, cuando se pruebe conforme a lo especificado en la norma extranjera que se indica en el apéndice A1 10

3 5.3.8 Exposición en cámara de niebla salina y exposición a la luz ultravioleta

3.5.3.9 El PVC no debe mostrar efectos de exposición después de 3000 horas en la cámara de niebla salina, cuando se pruebe conforme a lo especificado en la norma extranjera que se indica en el apéndice A1.11

3.5.3.10 El PVC no debe mostrar efectos de exposición a la luz ultravioleta después de 3000 horas, cuando se use el aparato tipo E y 336 K (63°C), cuando se pruebe conforme a lo especificado en las normas extranjeras que se indica en los apéndices A1.12 y A1.13.

3.5.3.11 Evaluación del recubrimiento después de la cámara de niebla salina y de exposición a la luz ultravioleta

Después de la prueba de cámara de niebla salina y de la exposición a la luz ultravioleta, como se especifica en 3.5.3.9 y 3.5.3.10, el recubrimiento de PVC no debe mostrar grietas ni cambio notable de color, burbujas o desgarres. Además gravedad específica, resistencia a la tensión, dureza y resistencia a la abrasión, no deben tener cambios mayores de 6%, 25%, 10%, y 10% respectivamente de sus valores iniciales.

3.5.3.12 El recubrimiento de PVC no debe mostrar grietas o fracturas después de que los alambres se hayan torcido para la fabricación de la malla.

3.5.3.13 *Resistencia a la niebla salina, para sujetadores*

Después de la prueba conforme a lo especificado en 3.9.1.3 1 1, los sujetadores para traslape, las aristas reforzadas o el alambre de la malla confinada por los sujetadores para traslape, éstos no deben mostrar puntos de oxidación en ninguna de sus partes de la superficie, excluyendo los extremos cortados.

3.5.4 Dimensiones y tolerancias

3.5.4.1 El diámetro del alambre con recubrimiento metálico debe cumplir con lo especificado en la tabla 1 y con las tolerancias especificadas en las normas extranjeras que se indican en los apéndices A1.1, A1.2, y A1.3, la que sea aplicable.

3.5.4.2 El diámetro de un alambre con recubrimiento metálico y el de un alambre de acero inoxidable, usado para la fabricación de sujetadores, deben cumplir con lo especificado en la tabla 1 con las tolerancias especificadas en la norma extranjera que se indica en el apéndice A1.4

3.5.4.3 El espesor mínimo y el nominal del recubrimiento de PVC uniformemente aplicado deben ser los que se indican en la Tabla 3.1

3.5.4.4 Los gaviones deben fabricarse con malla tipo 8 por 10, teniendo la malla una abertura nominal de 83 por 114 mm (3.25 por 4.5 pulgadas). Las dimensiones se obtienen tomando las medidas en ángulos rectos hacia el eje central de la

abertura de la malla ($D = 83$ mm), paralelos a la torsión y a lo largo del mismo eje, Fig. 3.4.

3.5.4.5 Los colchones para revestimiento deben fabricarse con malla tipo 5 por 7 ó malla tipo 6 por 8, teniendo la malla una abertura nominal de 53 por 74 mm ó 64 por 83 mm (2.1 por 2.91 ó 2.5 por 3.25 pulgadas). Las dimensiones se obtienen tomando las medidas en ángulos rectos hacia el eje central de la abertura de la malla ($D = 53$ ó 64 mm), paralelos a la torsión y a lo largo del mismo eje, Fig. 3.4.

3.5.4.6 El ancho y la longitud de un gavión, en la condición de tal y como se fabricó, no deben diferir más del $\pm 5\%$ del tamaño ordenado antes de ser llenado. Los tamaños típicos de los gaviones se muestran en la Tabla 3.3.

3.5.4.7 El ancho y la longitud de un colchón para revestimiento en la condición de tal y como se fabricó, no debe diferir más del $\pm 5\%$, y la altura no debe diferir más de $\pm 10\%$ del tamaño ordenado antes de su llenado. (Los tamaños típicos de los colchones para revestimiento se muestran en las Tabla 3.4).

3.5.4.8 Tolerancias en las aberturas de la malla

Las tolerancias en las aberturas de la malla hexagonal torcida, no deben exceder más de $\pm 10\%$ de la dimensión nominal "D" que se muestra a continuación, ver Fig. 3.4.

Tipo de malla	Dimensión nominal para valores de "D" mm (pulg)
5 x 7	53 (2.09)
6 x 8	64 (2.50)
8 x 10	83 (3.25)

Tabla 3.3 Tipos de malla



Figura 3.4 - Dimensión nominal D de la abertura de la malla de alambre
NMX 1005 SC1-1999

Longitud (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Número de celdas, por pieza	Volumen (m ³)
1.50	1.00	1.00	---	1.50
2.00	1.00	1.00	2	2.00
3.00	1.00	1.00	3	3.00
4.00	1.00	1.00	4	4.00
1.50	1.00	0.50	---	0.75
2.00	1.00	0.50	2	1.00
3.0000	1.00	0.50	3	1.50
4.00	1.00	0.50	4	2.00
1.50	1.00	0.30	---	0.45
2.00	1.00	0.30	2	0.60
3.00	1.00	0.30	3	0.90
4.00	1.00	0.30	4	1.20

Tabla 3 4 Medidas típicas del gavión.

Longitud (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Número de celdas por pieza	Volumen (m ³)
4.00	2.00	0.17	4.00	1.36
5.00	---	---	2.00	0.17
6.00	---	---	2.00	0.17
4.00	2.00	0.23	4.00	1.84
5.00	2.00	0.23	5.00	2.30
6.00	2.00	0.23	6.00	2.76
4.00	2.00	0.30	4.00	2.40
5.00	2.00	0.30	5.00	3.00
6.00	2.00	0.30	6.00	3.60

Tabla 3 5 Medidas típicas del gavion colchon para revestimiento.

3 5.5 Inspección

A menos que se indique otra cosa en la orden de compra, el fabricante es el responsable de realizar la inspección y pruebas especificadas en esta norma

A opción del fabricante, este debe usar sus propias o cualquier otra instalación para efectuar las pruebas e inspección a menos que el comprador no lo apruebe en la orden de compra. El comprador, bajo su propio costo puede realizar cualquier inspección y pruebas especificadas en esta norma, cuando lo considere necesario para asegurarse que el material cumple lo especificado

3.5.6 *Certificado*

Quando se señale en la orden de compra, el fabricante debe proporcionarle al comprador un certificado por escrito de que el material cumple con lo especificado en esta norma.

3.6 Ejecución del trabajo, muestreo y número de pruebas.

Cuando se fabrique alambre del grado y calidad apropiada, como se especifica en esta norma, debe dar como resultado un producto fuerte y utilizable para el tipo de malla, la cual debe tener aberturas substancialmente uniformes. Deben fabricarse tener un buen acabado conforme a una buena práctica de fabricación, esto se determina mediante inspección visual, y deben cumplir con lo especificado en esta norma.

Las muestras para determinar las propiedades físicas y mecánicas del alambre de acero con recubrimiento empleado para: la malla, alambre para amarre y atiesadores, deben de seleccionarse al azar de los rollos de alambre usados para su fabricación.

Deben realizarse un mínimo de tres pruebas para cada una de las siguientes propiedades: resistencia de la malla de alambre de acero con recubrimiento metálico paralela a la torsión, perpendicular a la torsión, conexión de la malla de alambre de acero a las aristas, y la prueba de punzonamiento. Se requiere de una repetición de prueba para la resistencia y para la prueba en las conexiones, anteriormente mencionadas, cuando ocurran cambios en las características físicas de los productos de malla. Para alambre de acero con recubrimiento metálico y con recubrimiento de PVC, se aplican los mismos requisitos de la malla de alambre de acero con recubrimiento metálico. Los resultados de las tres pruebas deben cumplir con lo especificado en la Tabla 3.2.

La resistencia a la tensión, la masa del recubrimiento metálico y el espesor del recubrimiento de PVC, en el alambre de acero con recubrimiento metálico usado en la fabricación de: la malla, alambre para amarre, atiesadores y sujetadores, deben de certificarse por los fabricantes del alambre de acero para dar cumplimiento a lo especificado en las secciones 3.5.1 y 3.5.2 y Tabla 3.1, para cada uno de los lotes por embarcarse a las instalaciones de los fabricantes de gaviones.

3.7 Métodos de prueba

3.7.1.- Propiedades mecánicas

3.7.1.1 *Resistencia a la Tensión.*- Las probetas de la malla de alambre, deben ser representativas de las utilizadas en el campo de construcción, así como de los materiales, geometría de la malla y procedimiento constructivo y deben ser lo suficientemente grandes, como sea práctico para minimizar los efectos de variación. El ancho de la probeta no debe ser menor de siete veces la abertura de la malla, ni la longitud debe ser menor de catorce veces la abertura de la malla. Las pruebas deben efectuarse con la carga aplicada paralela a los ejes de la torsión y repetirse por separado en una probeta con la carga aplicada perpendicularmente al eje de la torsión.

3.7.1.1.1.- El aparato debe sujetar al alambre, de tal manera que permita que la falla ocurra por lo menos a una distancia igual a una abertura de malla de los puntos de sujeción. Si una falla ocurre en un alambre, y ésta conduce directamente al punto de sujeción, debe descartarse esa probeta y no debe incluirse en el informe de pruebas.

3.7.1.1.2.- Insertar el alambre en las mordazas de la máquina de prueba; el sistema de sujeción debe ser ajustable y libre de deslizamientos axiales de tal manera que los alambres sujetos mantengan la geometría de la malla, similar a la que se usa en campo, los alambres deben fijarse de tal manera que se eliminen las fallas en las mordazas. Las mordazas pueden dejarse sueltas hasta que se aplique la precarga, para permitir que los alambres que se ajusten. Luego debe aplicarse la carga a una velocidad uniforme que no exceda el 50% de ésta ni el 3% de la resistencia última por segundo de la malla (ver tabla 3 2). La carga debe tomarse inicialmente como una precarga del 20% de la resistencia mínima especificada y debe pararse el viaje del cabezal de la máquina. Las dimensiones de la malla deben anotarse en ese momento y tomarse como las dimensiones iniciales de la probeta, cuando tales dimensiones son requeridas. Después debe continuarse con la aplicación de la carga de manera uniforme, con incrementos del 10% de la resistencia mínima especificada hasta que ocurra la primera fractura o un alambre en el sistema se suelte. Puede pararse el viaje del cabezal de la máquina, en cada incremento de carga o cuando ocurra un incidente de la falla del alambre, con el fin de anotar la información pertinente tal como: carga, tipo de fractura, geometría resultante de la malla y alargamiento, así como la reducción en el diámetro del alambre.

La distorsión de la malla o cambios en longitud deben medirse con exactitud y redondearse al 0.5% más cercano en el porcentaje de alargamiento. Los resultados de las pruebas deben ser de acuerdo con los requisitos mostrados en la Tabla 3 2.

3 7 1 2 *Prueba al desprendimiento* -

Deben montarse un juego de paneles unidos, los cuales se preparan por el mismo método que se especifica para la prueba de cámara salina pero sin someterlo a la exposición de 48 horas en la cámara salina, a una máquina de tensión con mordazas que sujeten firmemente a los paneles a todo lo ancho. Las mordazas deben diseñarse para que únicamente transmitan fuerzas de tensión. La carga debe aplicarse a una velocidad uniforme que no exceda 220 N/s [(50 libras/s) ó 22 kg/s], hasta que ocurra la falla. Esta ocurre cuando se alcanza la carga máxima y se observa una caída en la resistencia con las subsecuentes cargas, o cuando la abertura entre los dos alambres de las aristas más cercanos, para un sujetador confinando a dos o a cuatro alambres para aristas, sea mayor de 50 mm (2 pulgadas) en cualquier punto a lo largo del ancho del panel. La resistencia de los paneles unidos al momento de la falla debe ser la que se indica en la tabla 3.2.

3.7.1.3 Prueba de cámara de niebla salina

3.7.1.3.1 Deben unirse entre si dos paneles iguales para gavión, cada uno con un ancho de 10.5 veces la abertura de la malla a lo largo del alambre para arista, con la instalación adecuada de sujetadores para traslape de alambre a lo largo de las dos aristas, para que así cada uno de los sujetadores para traslape confinen dos de las aristas y dos alambres de malla. Un sujetador adecuadamente instalado debe reunir los siguientes requisitos:

3.7.1.3.1.1 Cada sujetador de tipo traslape, debe estar cerrado y los extremos libres del sujetador, deben traslaparse como mínimo 25,4 mm, (1 pulgada). El par de paneles unidos, debe someterse a la prueba de cámara niebla salina, conforme a la norma extranjera que se indica en el apéndice A1.11, por un periodo no menor de 48 horas \pm 1 hora duración del ciclo.

3.7.1.4 Prueba de punzonamiento

Una sección sin cortes de 1.82 m (6 pies) de longitud (sin refuerzo en las aristas) y no menor de 0.91 m (3 pies) de ancho (con aristas reforzadas), incluyendo todas las conexiones en las aristas reforzadas, deben tener los extremos firmemente sujetos 0.91 m (3 pies) a lo largo del ancho de la muestra. Cuando el ancho de la sección a probarse excede de 0.91 m (3 pies), las mordazas deben centrarse a lo largo del ancho, permitiendo así que el ancho excedente caiga libremente en ambos lados de la sección sujeta.

La muestra debe someterse a una fuerza de tensión lo suficiente para causar el 10% de alargamiento de la sección de la muestra que está entre las mordazas. Después del alargamiento y durante la sujeción de la muestra, como se describió anteriormente (o de otra manera sin soporte), la sección debe someterse a una carga aplicada a un área de 900 cm² (1 pie²), la cual debe estar aproximadamente al centro de la sección de la muestra, entre las mordazas y perpendicular a la dirección de la fuerza de tensión.

La muestra debe soportar, sin rupturas en cualquiera de sus alambres o de aberturas en cualquiera de los sujetadores de la malla, una carga real aplicada mediante un marfínete circular a una velocidad como la indicada en 3.9.1.2, igualando o excediendo los valores que se indican en la Tabla 3.2.

La cabeza del marfínete utilizada en la prueba debe ser circular, con un diámetro de 305 mm (12 pulgadas) y debe tener las orillas biseladas o redondeadas para prevenir cortes en los alambres.

3.7.2 *Masa del recubrimiento metálico*

La masa del recubrimiento debe determinarse conforme a lo especificado en la norma mexicana NMX-H-014 o conforme a la norma extranjera que se indica en el apéndice A1.14 ó A1.15

3.7.3 *Espesor del recubrimiento de PVC*

3.7.3.1 El espesor del recubrimiento de PVC debe determinarse en una pieza, de un alambre removido de una malla, seleccionada al azar.

3.7.3.1.2 Debe medirse con un micrómetro el diámetro del alambre de acero con recubrimiento metálico y con recubrimiento de PVC. Se determina el espesor del recubrimiento de PVC desprendiendo el recubrimiento de PVC del alambre y medir el diámetro resultante con un micrómetro.

El espesor del recubrimiento es la diferencia entre el diámetro del alambre de acero con recubrimiento metálico y con recubrimiento de PVC y el diámetro medido del alambre con recubrimiento metálico, dividido entre dos

Este valor debe ser el indicado en la Tabla 3.1. Cuando se desprenda el recubrimiento de PVC, debe tenerse cuidado de no desprender superficie metálica.

3.8. Marcado y Embalaje

3.8.1 Marcado

Para identificar las medidas y tipos de gaviones así como de colchones para revestimiento, éstos, previo acuerdo entre fabricante y comprador, pueden marcarse con franjas en diferentes colores con el fin de facilitar su rápida identificación

3.8.2 Embalaje

Para facilitar las maniobras, carga y transporte, los gaviones y colchones para revestimiento se suministran doblados y agrupados en pacas, ver las Tablas 3.6 y 3.7.

Medidas			Volumen m ³	Diafragmas numero
Longitud (m)	Ancho (m)	Altura (m)		
1.50	1.00	1.00	1.50	----
2.00	1.00	1.00	2.00	1
3.00	1.00	1.00	3.00	2
4.00	1.00	1.00	4.00	3
1.50	1.00	0.50	0.75	----
2.00	1.00	0.50	1.00	1
3.00	1.00	0.50	1.50	2
4.00	1.00	0.50	2.00	3
1.50	1.00	0.30	0.45	----
2.00	1.00	0.30	0.60	1
3.00	1.00	0.30	0.90	2
4.00	1.00	0.30	1.20	3

Tabla 3.6 Medidas típicas de los gaviones con diafragmas

Medidas			Área m ²	Diafragmas Número
Longitud (m)	Ancho (m)	Altura (m)		
4.00	2.00	0.17	8.00	3
5.00	2.00	0.17	10.00	4
6.00	2.00	0.17	12.00	5
4.00	2.00	0.23	8.00	3
5.00	2.00	0.23	10.00	4
6.00	2.00	0.23	12.00	5
4.00	2.00	0.30	8.00	3
5.00	2.00	0.30	10.00	4
6.00	2.00	0.30	12.00	5

Tabla 3.7 Medidas típicas de los gaviones tipo colchón

Appendix A1

A1.1 ASTM A 641	Specification for zinc-coated (galvanized) carbon steel wire
A1.2 ASTM A 856/A 856M	Specification for zinc-5% aluminum mischmetal alloy-coated carbon steel wire
A1.3 ASTM A 809	Specification for aluminum-coated (aluminized) carbon steel wire.
A1.4 ASTM A 764	Specification for metallic coated carbon steel wire, coated at size and draw to size for mechanical springs.
A1.5 ASTM A 313	Specification for chromium-nickel stainless and heat-resisting steel spring wire
A1.6 ASTM D 792	Test methods for specific gravity (relative density) and density of plastics by displacement.
A1.7 ASTM D 412	Test methods for vulcanized rubber and thermoplastic rubbers and thermoplastic elastomers-tension.
A1.8 ASTM D 2240	Test method for rubber property-durometer hardness.
A1.9 ASTM D 746	Test method for brittleness temperature of plastics and elastomers by impact
A1.10 ASTM D 1242	Test methods for resistance of plastic materials to abrasion.
A1.11 ASTM B 117	Test method of salt spray (fog) testing
A1.12 ASTM D 1499	Practice for operating light-and water-exposure apparatus (carbon-arc type) for exposure of plastics
A1.13 ASTM G 23	Practice for operating light-exposure apparatus (carbon-arc type) with and without water for exposure of nonmetallic materials
A1.14 ASTM A 90/ A 90M	- Test method for weight (mass) of coating on iron and steel articles with zinc or zinc-alloy coating.
A1.15 ASTM A 428	Test method for weight of coating on aluminum-coated iron or steel articles.

Capítulo 4

OBRAS DE CONTENCIÓN

Los muros de contención se emplean comúnmente en los carreteros así como en otras propiedades públicas y privadas con los fines siguientes: resolver problemas de derecho de vía, proyectos de separación de niveles y ampliación de caminos, estabilización de taludes muy inclinados en corte o en terraplen, evitar erosión de las margenes de los ríos, etc. En las obras de contención, los gaviones constituyen una solución adecuada para la realización de estas en cualquier ambiente y clima.

Una estructura de contención hecha con gaviones, en su conjunto, tiene las siguientes características:

- a) Monolítica y continua
apta para resistir cualquier sollicitación
- b) Flexible
se adaptan a los movimientos y asentamientos diferenciales del terreno
no requieren de cimentaciones profundas
no colapsan sin previo aviso.
- c) Permeable
abate el empuje hidrostático.
sanean el terreno limítrofe
permiten el flujo de agua
- d) Ecológica.
restablece y se integra rápidamente en el ambiente natural. El llenado de piedras y la capa de vegetación que recubre la estructura aumentan su duración.
- e) Facilidad de construcción
módulos de pequeño volumen
no requieren mano de obra calificada, pero sí de una buena supervisión.
- f) Versatilidad
permiten construcción manual o mecanizada
son de rápida instalación y de inmediato funcionamiento
permiten la construcción por etapas.
pueden instalarse en presencia de agua y en condiciones climáticas adversas.
pueden ser construidas en sitios de difícil acceso.
- g) Impacto social.
utilizan mano de obra del lugar.
pueden absorber gran cantidad de mano de obra (Ref 14 4-5)

Los muros de gaviones se construyen en capas, como se hace con la mampostería, por ello, se puede decir que se parecen a un ladrillo de tamaño grande y flexible.

El muro puede ser de pared lisa o escalonada. La selección de una u otra de estas dos formas, depende del criterio del proyectista. De la práctica se ha encontrado que el escalonado es más fácil de construir cuando la altura del muro sea mayor de los 3 m.

4.1 Muros con contrafuertes

Los contrafuertes son amarres entre el tallo vertical de un muro y su base. Se colocan en el lado de tierra del tallo y son, en esencia, voladizos cuneiformes (en forma de cuna)

Los muros de contrafuertes son economicos para alturas para las cuales los muros de gravedad y en voladizo no son adecuados

La cara vertical resiste la presión lateral de la tierra como una losa continua apoyada o soportada por los contrafuertes, también esta soportada por la base

El talón del muro se proyecta como losa continua soportada por los contrafuertes y a su vez, los contrafuertes están sometidos a presión lateral de la tierra en la cara en pendiente y a la tensión del tallo y de la base. Los contrafuertes, que resisten la presión lateral de la tierra en la cara en pendiente y la tracción del tallo vertical, se proyectan como vigas "T", Fig 4.1 y Foto 4 1.(Ref 7 146)

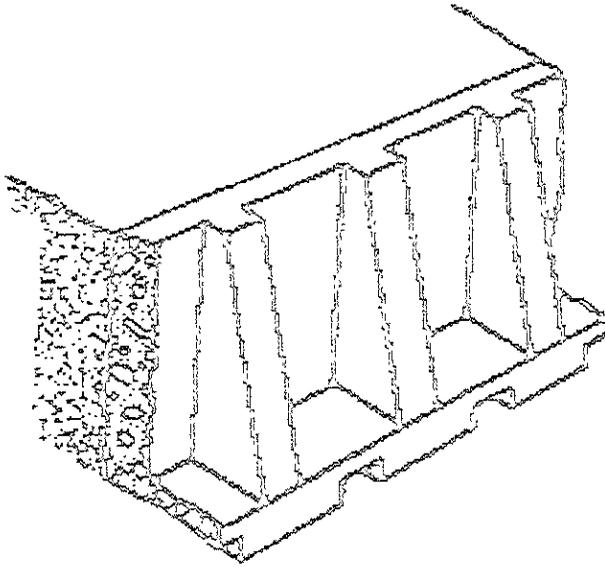


Fig 4 1 Muro con contrafuertes

Este tipo de muro con gaviones ayudan a sostener taludes formados con arcilla ya que disminuyen el empuje hidrostático al estar drenando al material. La separación entre contrafuertes es función del tipo de suelo, humedad, cohesión y se puede conocer con la ayuda de la Tabla 4.1.

Tipo de suelo	Humedad (%)	Cohesion (Kg/cm ²)	Separacion entre contrafuertes (m)
Arcilla muy blanda	40	21	4
Arcilla blanda	35	28	5
Arcilla semidura	33-30	42-56	6-7
Arcilla dura	27-25	70-106	8-9

Tabla 4 1 Separación entre contrafuertes (Ref 2 125)



Foto 4 1 Muro de contención, a base de contrafuertes.

4.2 Muros de gravedad

Los muros de gravedad, que suelen ser económicos hasta para 4.5 m de altura, utilizan su propio peso para resistir las fuerzas laterales de tierra u otros materiales. Estos muros suelen ser tan macizos que no necesitan refuerzo, Fig 4.2

Las fuerzas que actúan sobre los muros de gravedad incluyen su propio peso, el peso de la tierra en la parte posterior en pendiente y talón, la presión lateral de la tierra y la presión lateral resultante del suelo sobre la base. En consecuencia, un muro puede fallar por volcadura, deslizamiento o debido al aplastamiento del suelo.

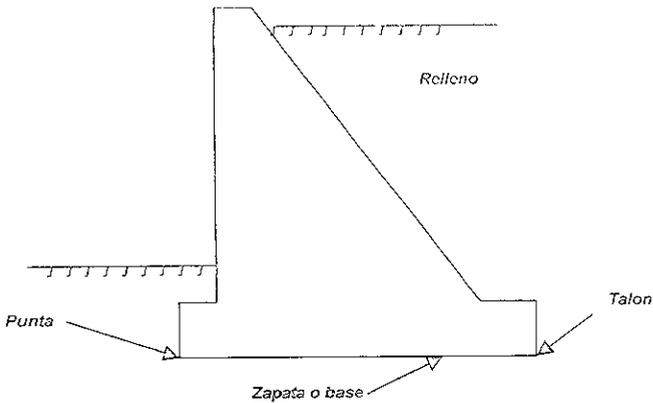


Fig 4.2 Muro de gravedad

4.3 Muros en "L"

Este tipo de muro resiste el empuje lateral de la presión de la tierra por medio de la acción en voladizo de un muro vertical y una base horizontal, por lo general son económicos para alturas de 3 00 a 6 00 m. Para muros más bajos, los muros de gravedad, suelen ser menos costosos, para muros más altos, los contrafuertes pueden ser menos costosos. Estos muros, generalmente son construidos de concreto reforzado debido a la sección y altura del mismo. Fig. 4 3

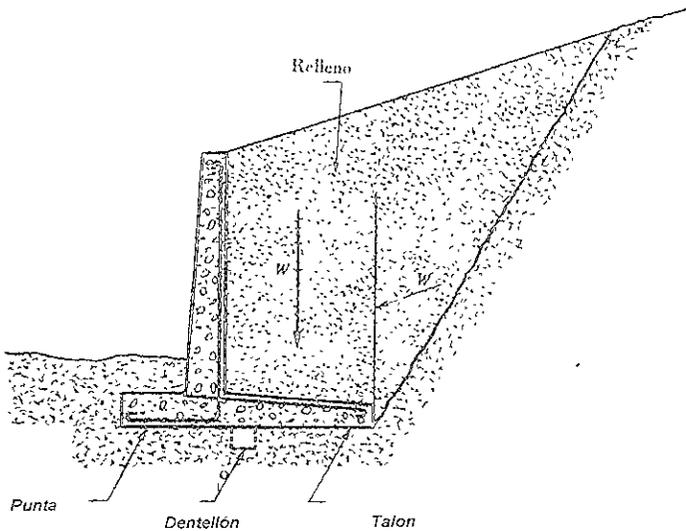


Fig 4.3. Muro en "L"

En general, las presiones que se ejercen sobre un muro de contención tienden a generar deslizamientos, hundimientos o volteo, por lo que se tiene que tomar en cuenta, el empuje lateral que ejerce el material tras el muro, la resistencia a la subpresión es importante, como lo es también el tipo de relleno, el cual puede variar desde una grava bien graduada hasta una arcilla muy plástica.

Se necesita una cimentación adecuada para el comportamiento satisfactorio de un muro de contención. La mayor parte de los fracasos ocurre cuando los muros se construyen sobre cimentaciones de arcilla; por otra parte, los suelos de grano grueso proporcionan base y relleno estables.

Debe evitarse el relleno hecho de suelos arcillosos, o los que contengan un elevado porcentaje de arcilla, especialmente si existen filtraciones en los taludes

Un drenaje adecuado siempre es importante ya que mejora la estabilidad de todos los rellenos, y es esencial donde quiera que se encuentren taludes con estratos conductores de agua (p. 36, 2019).

4.4. Recomendaciones para la construcción de muros con gaviones

Como se menciona en el capítulo 2, los gaviones son grandes canastas de malla de alambre de acero rellenas con fragmentos rocosos o bloques, como se muestra en la Fig. 4.4.

Las unidades se pueden agrupar en bloques, a fin de construir un muro de contención o simplemente una protección de talud en un frente de agua.

Un gavión es una estructura que obtiene su estabilidad y su resistencia a las fuerzas erosivas, del tipo de piedra empleada. De hecho, toda la resistencia a los empujes de tierra o a las fuerzas de filtración se debe a la trabazón que se desarrolla entre la piedra de relleno dentro de la canasta, y entre las tapas de enrocamiento de las unidades individuales del gavión.

Estructuralmente, las mallas de alambre sirven fundamentalmente para conservar la piedra de relleno en su lugar. Típicamente la malla es de alambre galvanizado (calibres 10 ó 12) con formas hexagonales alargadas o cuadradas, y dimensiones de 8 a 10 cm. Las canastas son de forma cúbica (1 m de lado) o prismática de mayor volumen que el antes señalado; en este caso, es posible que requieran un diafragma de refuerzo a la malla como se muestra en la Fig. 4.4.

Los gaviones se disponen de manera intercalada, a fin de mejorar su estabilidad. Los fragmentos rocosos sin finos con que se llenan los gaviones, comúnmente son de tamaños entre 10 y 20 cm.



Figura 4.4. Uso de gaviones para formar estructuras de contención

Generalmente los muros presentan una cara frontal plana e tienen una cara trasera al escalonada tal como se muestra en la Fig. 4.5, asimismo es usual que se los diseñe y construya con cierta inclinación hacia atrás del orden de 0 a 10 grados, para mejorar la estabilidad.

Este tipo de estructura tiene la ventaja de que es flexible, por lo que puede tolerar sin mayores problemas de estabilidad, asentamientos importantes de la cimentación, o desplazamientos laterales (Ref. 14.6)

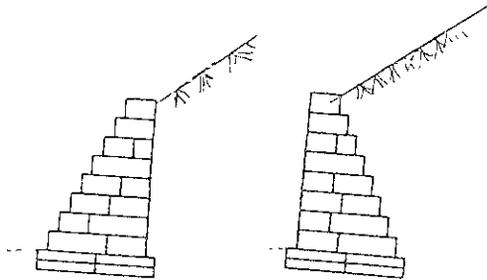


Figura 4.5 Muros de contención mediante gaviones

La alta permeabilidad del enrocamiento impide que se generen grandes presiones de agua detrás del muro. Sin embargo, debido a su estructura tan abierta, y para evitar migración de material retenido tras del muro, es usual disponer un geotextil como interfase entre ellos, tal como se ilustra en la Fig. 4.6.

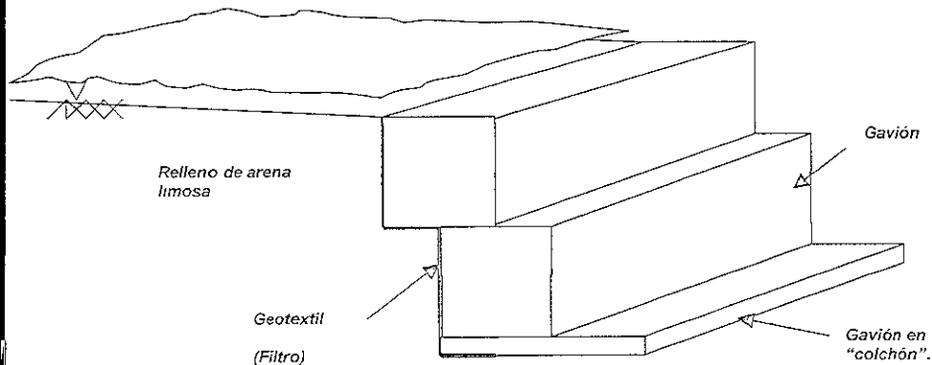


Figura 4.6 Protección de un relleno mediante gaviones y geotextiles

Debido a la presencia de agua que escurre por los taludes o márgenes, se recomienda colocar un filtro (geotextil), para reducir o evitar la migración de finos.

Los geotextiles son semejantes a una tela o a una membrana relativamente delgada y flexible, que usualmente se presenta en rollos, y que dada la diversidad de materiales y fabricaciones diferentes, pueden encontrarse de muy diversas propiedades de resistencia y permeabilidad. Primordialmente se les emplea como elemento de un filtro, lo que exige tenga una gran permeabilidad, sin embargo, la forma del geotextil, (trama), es suficientemente fina como para impedir la migración de suelo fino por proteger, con lo que se evita la contaminación de suelos. En los esquemas a), b) y c) de la Fig. 4.7 se presentan aplicaciones de este tipo.

Las geomembranas son elementos impermeables que pueden usarse como recubrimientos enterrados o expuestos para evitar el flujo o infiltración en bordos y cimentación; en el esquema d) de la Fig. 4.7 se muestra como el flujo a través de un bordo se puede limitar al instalar una geomembrana en el talud de aguas arriba, el que incluso como se observa, puede servir como un delantal impermeable para reducir las filtraciones bajo la cimentación. En ese mismo esquema se ilustra una posible aplicación de los materiales sintéticos, consistente en un colchón de material sintético resistente a la erosión y al oleaje, si es el caso.

Las geomallas son elementos empleados como refuerzo en masas térreas, primordialmente para tomar esfuerzos de tensión; así mismo se usan como contenedores para formar gaviones. Se trata de entramados de polímeros muy resistentes o de mallas metálicas recubiertas de otros materiales sintéticos, para evitar la corrosión. En el esquema e) de la Fig. 4.7 se muestra la disposición de una geomalla de la base de un bordo sobre una formación de suelos blandos, en donde se generan fuertes tensiones al asentarse más pronunciadamente la parte central.

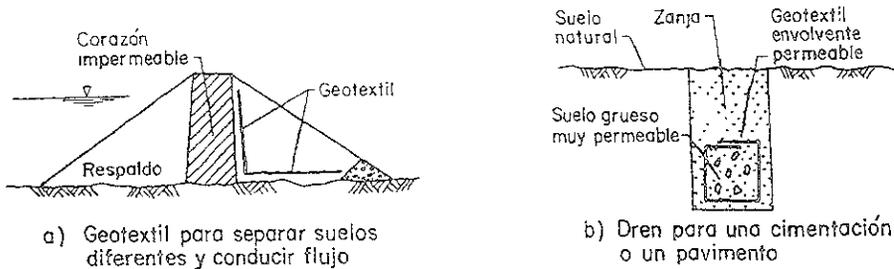
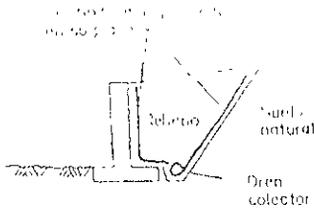
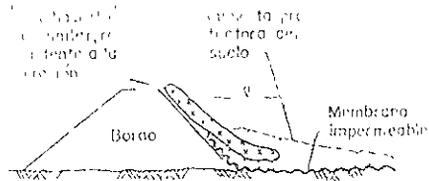


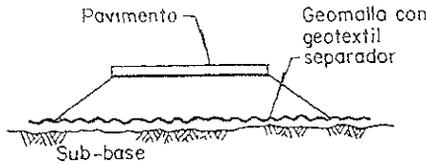
Figura 4.7 Uso de materiales sintéticos en obras térreas para el encauzamiento o protección contra inundaciones



c) Geotextiles para drenar el agua del suelo tras un muro de contención



d) Geomateriales para reducir el flujo a través o bajo un borde



e) Geotextil para reforzar la base de un camino, y separar de la sub-base

Figura 4.7 Uso de materiales sintéticos en obras terreas para el encauzamiento o protección contra inundaciones. (continuación)

4.4.1 Llenado del gavión

Para el llenado de los gaviones se puede utilizar cualquier material siempre y cuando el peso y las características satisfagan las exigencias estáticas, funcionales y de duración de la obra.

El material más usado es piedra de cantera o canto rodado. Son preferibles los materiales con mayor peso específico (Tabla 4.2), aún más si es predominante el comportamiento por gravedad de la estructura o si ésta es sumergida o expuesta a la fuerza dinámica del agua. Para una larga duración de la obra, las piedras deben ser resistentes a toda condición climática y por consiguiente de buena dureza.

Para determinar el peso específico del gavión γ_g , conocidos el peso específico de la piedra γ_s , y la porosidad del gavión "n", que varía entre 0.30 y 0.40*, (depende del acomodo que se le da a la piedra), se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\gamma_g = \gamma_s (1-n)$$

La dimensión más adecuada de las piedras es la comprendida entre una y dos veces la dimensión D de la malla de la red (Fig. 4.8) esto para evitar la fuga de las piedras.

El uso de piedras de dimensiones entre $(1D - 1.5D)$, ver Tabla 4.2, permite un mejor y más económico ajuste del relleno, una mejor distribución de los esfuerzos y una mejor adaptabilidad a las deformaciones de la estructura.

Tipo de roca	Peso específico (t/m^3)
Basalto	2.9
Granito	2.6
Caliza compacta	2.6
Traquita	2.5
Guijarro de río	2.3
Arenisca	2.3
Caliza tierna	2.2
Toba	1.7

Tabla 4.2 Pesos específicos indicativos de algunas rocas (Ref. 14-12)

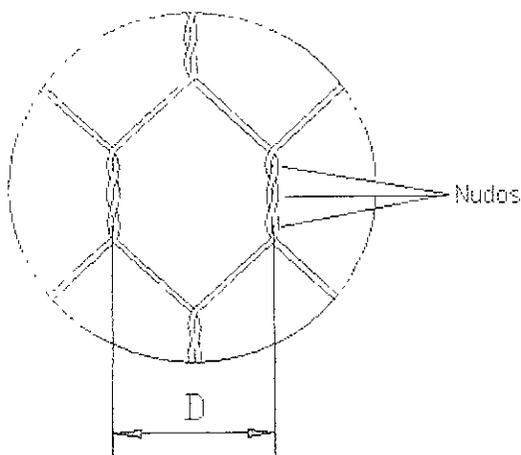


FIG. 4.8 Dimensión D de la malla de la red

*Nota. Se recomienda una porosidad media de $n = 0.30$ para el diseño de los muros (Ref. 2-118)

4.1.2 Disposición de los gaviones

El mejor comportamiento de este tipo de obra se obtiene realizando con el máximo cuidado, el llenado de los gaviones y colocando los mismos de tal manera que, en función de los tamaños disponibles, se obtenga una distribución homogénea en el acomodo de los mismos (Fig. 4.9)

El acomodo de los gaviones debe hacerse de tal forma que se puedan colocar de forma vertical y horizontal a la sección del terraplén, dependiendo de los tamaños existentes y a los requerimientos del proyecto, esto es con la finalidad de contrarrestar la falla al corte en las uniones del muro, evitando con esto una falla interna en el muro

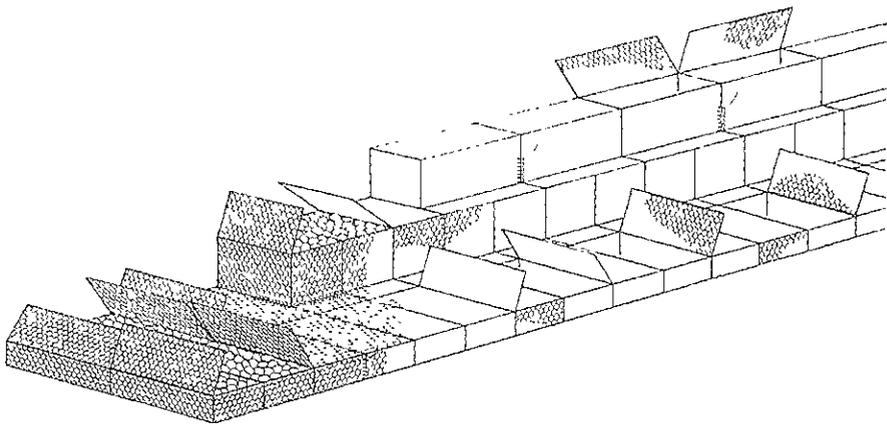


Figura 4.9 Disposición de los gaviones para facilitar las fases de relleno

4.3. Investigaciones experimentales

Para entender el comportamiento de estructuras en gaviones, fue puesta en marcha una campaña de pruebas manejadas en dos etapas. En la primera se realizaron ensayos de resistencia en laboratorio en tamaño real, Fotos 4.2 y 4.3, y de tracción sobre paños de red Foto 4.4, con la finalidad de determinar los parámetros de deformabilidad y resistencia de los gaviones. En la segunda se realizaron pruebas de carga sobre muros de contención en dimensiones reales (4.00m de altura) con la finalidad de verificar los resultados obtenidos, identificar el comportamiento de la estructura en su conjunto, fijar los criterios de cálculo relativos y la eventual determinación de los límites de aplicación, Fig. 4.5 a) y 4.5 b). (Ref 1 21).

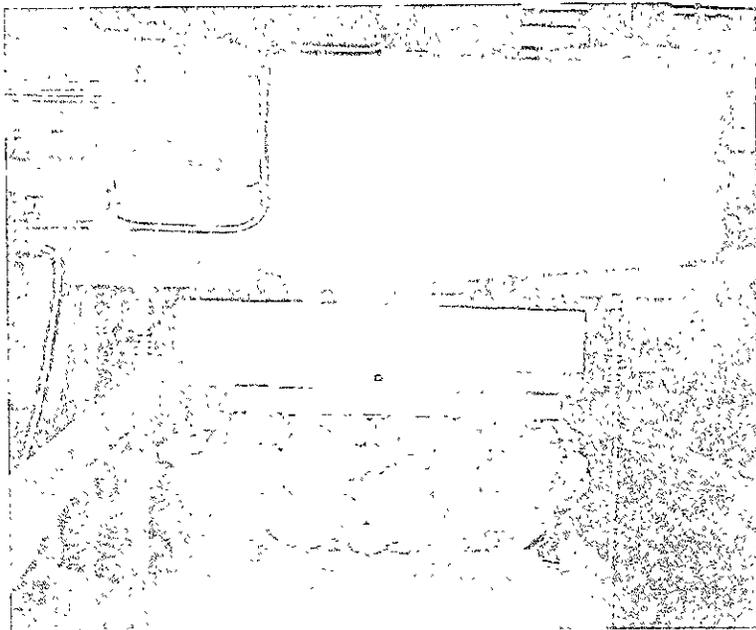


Foto 4.2. Prueba de resistencia a compresión simple.



Foto 4.3. Prueba de corte puro sobre gaviones



Foto 4.4 Prueba de tensión sobre red metálica a doble torsión.

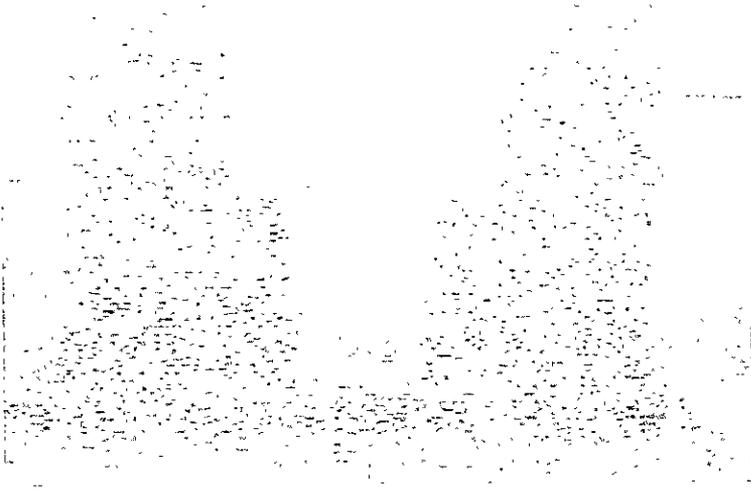


Foto 4.5 a) Muro de gaviones antes de las pruebas de carga



Foto 4.6 b) Muro de gaviones después de las pruebas de carga

4.1 Pruebas de resistencia a compresión simple y de corte de los gaviones

En los últimos años, con la colaboración de algunos institutos universitarios, se han llevado a cabo una serie de investigaciones experimentales y teóricas, cuyos resultados se comentan a continuación. Resulta confirmada la gran ductilidad de los gaviones que se deforman sensiblemente antes de alcanzar la falla, que se verifica por esfuerzos de compresión alcanzados, de 30 a 40 Kg/cm². En las Figs 4.10 y 4.11 están resumidas las pruebas de corte en las cuales prevalece la influencia de los esfuerzos cortantes

Fue verificada una notable resistencia al corte de los gaviones y se obtuvieron valores indicativos para calcular el módulo de elasticidad al cortante G, parámetro muy importante porque las estructuras en gaviones se deforman principalmente por cortante. Dicho módulo resulta entre 2.5 - 5.0 Kg/cm² (Ref 1 23-25)

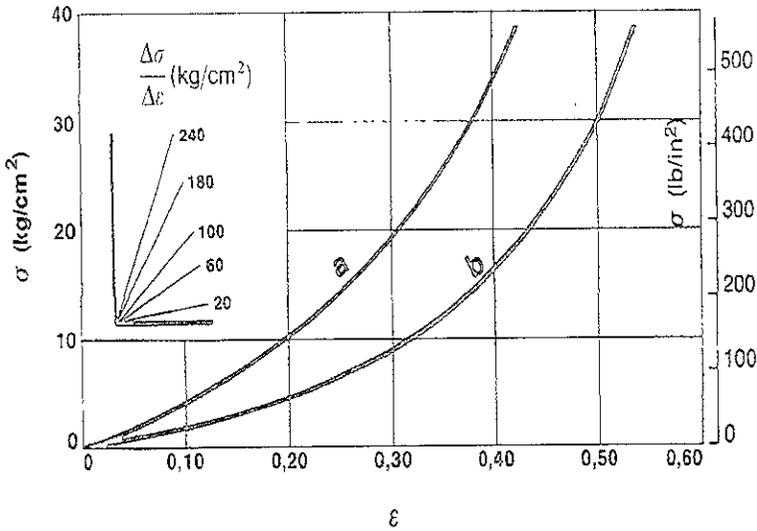


Figura 4.10. Diagramas experimentales de las pruebas de compresión sobre gaviones, con exposición lateral libre (b) e impedida (a)

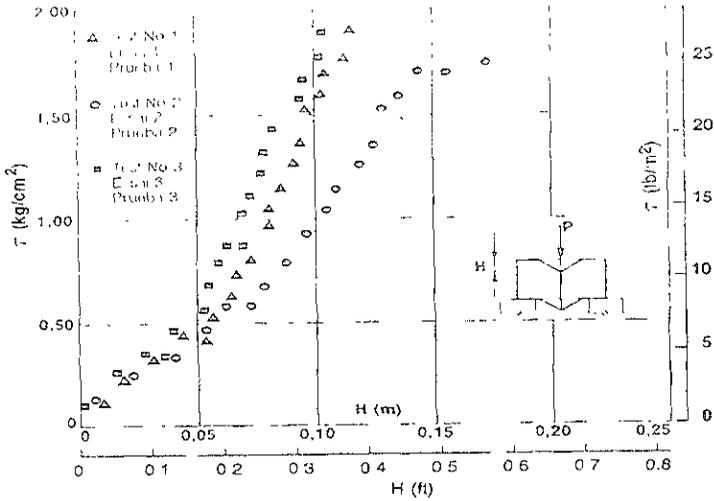


Figura 4 11 Diagramas experimentales de las pruebas de corte puro sobre gaviones

4 5 2 Pruebas de carga de estructuras en gaviones de dimensiones reales

Se han realizado pruebas, mediante el empuje hidrostático del agua contenida dentro de los tanques existentes entre los muros Fig 4 12, dicha prueba se realiza en muros de dimensiones reales

Tal modalidad de prueba fue elegida porque el empuje hidrostático es mayor que el del terreno y es calculable con exactitud

El nivel del agua fue aumentado gradualmente realizando también ciclos de carga y descarga y procediendo a tomar la lectura de los desplazamiento.

Las relaciones que son obtenidas entre módulo de elasticidad al cortante G y esfuerzos, ver Fig. 4.13, confirman los valores medios obtenidos en las pruebas sobre modelos de gaviones. (Ref 1. 32)

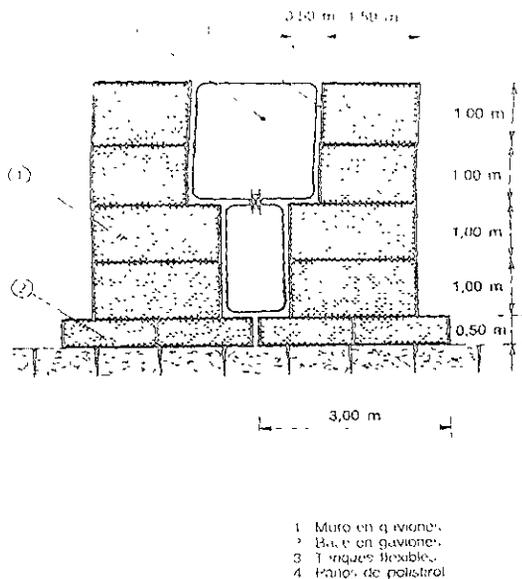


Figura 4.12 Esquema de los muros sometidos a las pruebas de carga

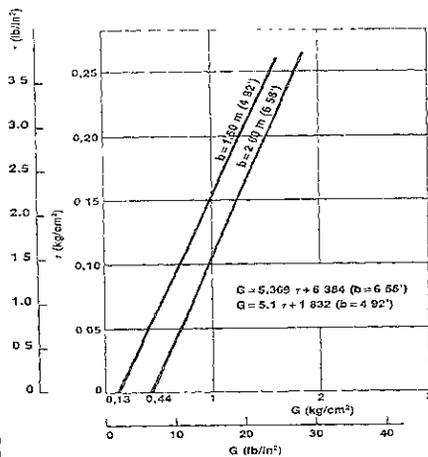


Figura 4.13. Relación experimental "esfuerzo cortante-módulo de elasticidad al cortante" para elementos estructurales en gaviones

A continuación se muestran algunos muros de contención

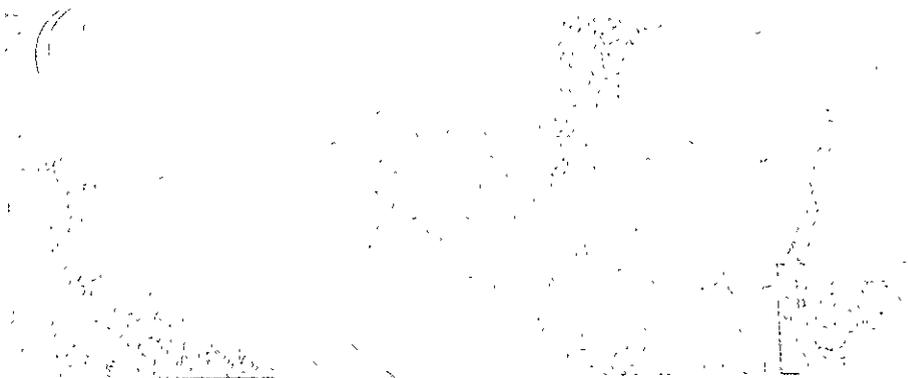


Foto 4 7. Muro de contención paralelo a la vía férrea, en Minas Gerais Brasil

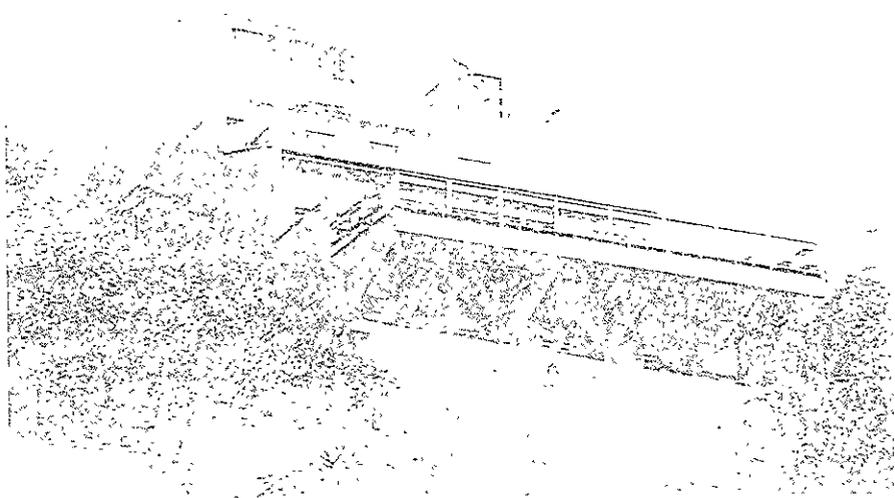


Foto 4 8. Muro de contención en talud de una residencia.



Foto 4.9. Muro de contención junto a una carretera, en Suiza.



Foto 4.10. Muro de contención con pared vertical junto a una carretera, en Oklahoma. E U



Foto 4.11. Muro de contención junto una carretera, para evitar el paso de piedras hacia la carpeta asfáltica, en el Estado de Oaxaca, Méx.

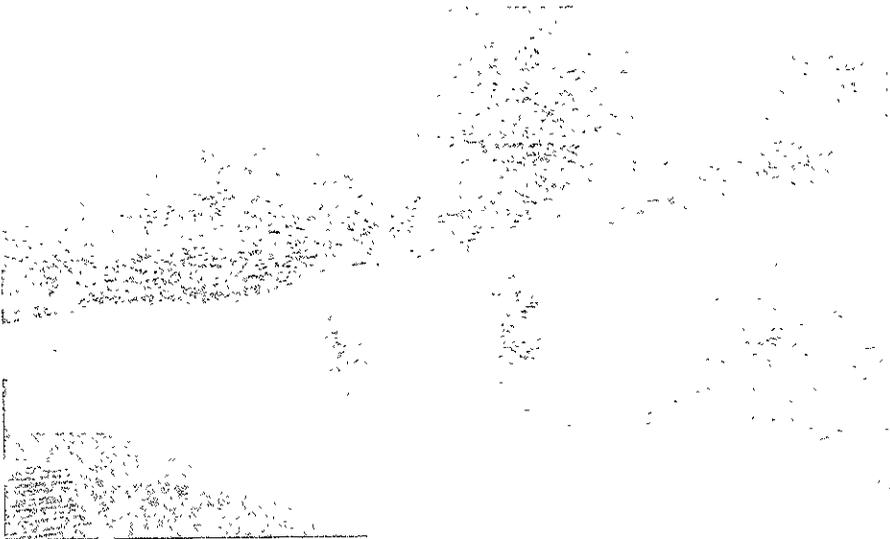


Fig. 4.12 Muro de contención junto a una carretera en Ontario, Canadá.

Capítulo 5

OBRAS DE PROTECCIÓN

Para evitar o reducir la erosión lateral que se presenta en los márgenes de los ríos, y con mayor frecuencia en las orillas exteriores de las curvas, se pueden utilizar espigones, recubrimientos marginales y diques marginales, entre otros. Algunas diferencias entre estos tipos de obra consiste en que los revestimientos marginales evitan desplazamientos laterales de los márgenes, mientras que los espigones permiten que la orilla entre ellos pueda ser ligeramente erosionada inmediatamente después de su construcción.

Por otra parte, se pueden utilizar los diques marginales, cuando el cauce de un río es divagante, tienen islas, los márgenes son muy irregulares o cuando se requiere formar una nueva orilla separada de la actual.

Otro tipo de protecciones son las escolleras y los rompeolas, debido a que este tipo de estructuras se realizan en el mar, no es recomendable construirlas con gaviones ya que la acción directa del oleaje incide directamente en la malla del gavión (se produce abrasión). Asimismo, sobre la piedra de relleno, se produce un reacondicionamiento continuo de la misma lo que provoca que se genere fricción entre la malla y la piedra hasta llevar a la falla al gavión.

5.1 Espigones

Son estructuras interpuestas a la corriente, uno de cuyos extremos está unido a la margen. El propósito de estas estructuras consiste en alejar de la orilla a las líneas de corriente con alta velocidad, y evitar así que el material de la margen pueda ser transportado y ella se erosione. Además los espigones facilitan que los sedimentos se depositen entre ellos, con lo que se logra una protección adicional de la orilla. Los espigones pueden estar unidos simplemente a la orilla en contacto con ella, o bien, estar empotrados una cierta longitud dentro de la margen, ver Foto 5.1.



Foto 5.1 Sene de espigones a la orilla del mar en Brasil.

Las principales ventajas de los espigones construidos con gaviones son:

- Sencillos de construir y de fácil supervisión, ya que no requieren excavaciones profundas para desplantarlos, y como son módulos de pequeño volumen (el gavión) se pueden manejar con gran facilidad
- Su conservación es sencilla ya que, si falla una parte del espigón ésta puede ser reemplazada sin tener que volver a construir todo el espigón, se utiliza malla recubierta con P.V.C. (no se corroe, si es el caso), se integran rápidamente al ambiente ya que crecen plantas y sirven de protección contra la corriente.
- La falla de un espigón no hace peligrar a los demás. Se ha observado que aun cuando se produzca una erosión en la zona de contacto entre un espigón y la orilla, provocando la separación de la estructura, y parte del escurrimiento pase entre ambos, el resto de los espigones continúa trabajando satisfactoriamente.

Se ha mencionado que los espigones son estructuras que están unidas a la margen e interpuestas a la corriente del río, lo que permite desviar y alejar la

comente de la orilla, evencie que esta atraiga las partículas que forman la erosión (35 a 35%)

5.1.1 Datos necesarios para el diseño de espigones

- La topografía y batimetría del río en la zona por proteger

La topografía y batimetría, abarcarán todo el cauce y orillas. En ríos de planicie se cubrirán además 20 m a cada lado de las orillas y en cauces con orillas muy elevadas, hasta 10 m arriba de la elevación máxima del agua

- Secciones transversales a lo largo de las orillas que serán protegidas

La separación entre ellas puede variar entre 50 m y 200 m dependiendo de las dimensiones del cauce. Fuera del agua cubrirán lo indicado en el inciso anterior, se prolongarán a lo largo del talud de la orilla y se extenderán sobre el fondo del río hasta una distancia de 1/3 el ancho del cauce, como mínimo.

- Características hidráulicas de la corriente.

Normalmente se deben conocer: el gasto máximo asociado a un periodo de retorno entre 50 y 100 años, la elevación de la superficie del agua correspondiente a ese gasto, así como las velocidades medias de los escurrimientos, y de ser posible, la velocidad del flujo a lo largo de las orillas por proteger

- Granulometría y peso específico de los materiales del fondo y orillas del cauce.
- Materiales de construcción disponibles

Incluye la localización de bancos de roca y el peso específico del material de cada uno de ellos así como bancos de grava o boleó que puedan servir para rellenar gaviones.

5.1.2 Aspectos importantes a considerar en una protección con espigones

- Localización en planta.
- Longitud de los espigones.
- Forma de los espigones en planta
- Separación entre espigones.
- Pendiente longitudinal y elevación de la cresta de los espigones
- Ángulo de orientación de cada espigón, con respecto al flujo
- Permeabilidad de los espigones
- Materiales de construcción.
- Erosión al pie del espigón en el extremo dentro de la corriente.

- *Localización en planta*

Al ubicar los espigones ya sea respecto de la orilla actual, o bien en una nueva margen (al hacer una rectificación), se requiere trazar en planta el eje del río y en las orillas delimitar una frontera, generalmente paralela a dicho eje a la cual llegaran los extremos de los espigones. La longitud de cada espigón estará dada por la distancia de la orilla existente a esa línea.

Cuando el río es navegable y se desea incrementar la profundidad, la separación entre ambas líneas puede ser menor que el ancho estable (se entenderá por ancho estable el que tiene un tramo de río cuando en él no existen islas o bifurcaciones y las márgenes son paralelas). El ancho de la superficie libre del cauce estable se designará B . Si el agua escurre por un solo cauce, B es igual al ancho de la superficie libre. Si los espigones son utilizados para defensa y estabilización de las márgenes, sólo se colocan en los lados exteriores de las curvas. En cambio, si se desea mejorar la navegación y los espigones se construyen para reducir el ancho B , se tendrán que colocar espigones en ambas márgenes uno frente a otro.

En caso de que se desee rectificar un tramo de río o defender sus curvas y si las márgenes son arenosas o ligeramente limosas, los radios de curvatura r , medidos hasta el eje del río deben estar comprendidos entre los siguientes límites:

$$2B \leq r \leq 8B$$

Donde B es el ancho medio de la superficie libre en los tramos rectos, en metros. Con la recomendación dada con la ecuación anterior, se logra que las mayores profundidades siempre se encuentren cercanas a la orilla de la curva exterior y que en ésta no se formen islas o bancos de arena cercanos a la orilla interior. Lo expresado por la ecuación ha sido obtenido de la observación de ríos con ancho no mayores de 150 00 m.

En grandes ríos se han observado curvas con relación r/B hasta de 20 que una vez protegidas se comportan satisfactoriamente, es decir, no hay bancos de arena en medio de las secciones de la curva, el canal más profundo se forma cerca de la orilla exterior y el sedimento tiende a acumularse en la orilla interior.

Cuando se desea efectuar una rectificación, se deben observar las curvas estables del río aguas abajo y arriba del tramo por rectificar, o de alguna corriente semejante que se encuentre cercana a la que está en estudio. Esto último presupone que los gastos, pendientes y materiales de ambas corrientes sean casi iguales o muy semejantes. Si el radio de curvatura es menor que $2B$, la distancia entre los espigones decrece y desde el punto de vista económico llega a ser preferible construir un revestimiento marginal. (Ref 15 11)

Si una curva es trazada con varios radios de curvatura, el tamaño de dichos radios debe decrecer hacia aguas abajo. Si no se cumple con esta recomendación el flujo

podría separarse de la margen exterior dando lugar a la formación de bancos de arena cercanos o adyacentes a la margen interior.

Si se protege una curva trazada con un único radio de curvatura y la margen exterior es uniforme, todos los espigones tendrán la misma longitud y ángulo de orientación y, por tanto, la separación entre ellos será la misma. Si la margen es uniforme en una curva que se define con dos o más radios de curvatura, lo único que varía es la separación entre los espigones, la que es constante dentro de los segmentos con igual radio de curvatura. Esta separación será menor cuanto menor sea el radio.

Cuando no se efectúa ninguna rectificación, sino que se desea proteger la margen actual de un río, la línea extrema de defensa deberá trazarse lo más uniforme y paralela posible a esa margen, cuidando que los radios de curvatura no crezcan hacia aguas abajo. Puesto que la margen actual puede tener entrantes y salientes o zonas más erosionadas que otras, la longitud de todos los espigones puede ser diferente.

Se ha mencionado que la línea extrema de defensa a la que llegan los espigones influye en la longitud de éstos y además, ésta longitud influye en la separación entre espigones y en ocasiones en su orientación. Por tal motivo, en un proyecto dado, deben seleccionarse diferentes alternativas tanto de ubicación de las líneas extremas de defensa como de la colocación y distribución de los espigones, para seleccionar finalmente la más económica y también la que, por experiencia, se presuponga que puede trabajar más adecuadamente (Ref 6 39)

Téngase en cuenta que si se protege una única curva de un río, se debe tener la seguridad de que las márgenes de las curvas situadas aguas arriba no puedan ser erosionadas y por tanto, tener la seguridad de que la corriente incidirá aproximadamente con la misma dirección con la margen protegida. Si esto último no ocurre, en pocos años el río escurrirá por otro sitio, abandonando completamente los espigones que fueron colocados.

Por ello como en ríos de planicie que son divagantes o que sufren erosión constantemente en sus curvas, se deben proteger tramos completos de río y no sólo una curva aislada; esto último se justifica únicamente como emergencia, es decir, cuando el río está erosionando una curva en la que hay una construcción importante. Este proceder tiene el inconveniente de que nuevas erosiones se estarán presentando continuamente en otras curvas y aunque se protejan cuidadosamente, el río no es encauzado ni su cauce fijado permanentemente.

En ríos de planicie que corren sobre material aluvial, la longitud de los tramos rectos a , entre curvas, suele estar comprendida entre

$$0 \leq a, \leq 3B$$

Se deben evitar tramos rectos con mayor longitud, ya que no existen, se forman bancos de arena alternados y cerca de las márgenes que obligan al flujo a seguir una trayectoria senoidal. Los tramos rectos solo existen en forma natural en las zonas de montaña o intermedia con márgenes rocosas o muy resistentes. (Ref. 15/13)

- *Longitud de los espigones*

La longitud total L , de un espigón queda definida por la longitud de trabajo, L_t , que es aquella que está dentro del cauce y la longitud de empotramiento L_e , que está empotrada dentro de la margen, Fig. 5-1.

$$L = L_t + L_e$$

La longitud de trabajo de los espigones está dada por su distancia entre el cruce de la margen con la corona del espigón, y la línea extrema de defensa comentada en el inciso anterior, y normalmente debe estar comprendida entre los siguientes límites

$$d > L_t \geq B/4$$

donde

d es el tirante o profundidad del río, asociado al gasto, en el sitio donde se construirá el espigón

En los ríos de planicie L_t es igual a la distancia vertical entre la elevación de la margen y la elevación del fondo del río en el sitio donde se colocará el espigón.

La máxima longitud de empotramiento recomendada es igual a un cuarto de la longitud de trabajo, $0.25 L_t$. De esta manera la longitud máxima de un espigón llega a ser

$$L = 1.25 L_t$$

Se ha mencionado que la longitud de trabajo puede ser seleccionada en forma independiente; sin embargo, también ya se ha indicado que todos los espigones deben de llegar a la línea extrema de defensa preseleccionada, por lo que en realidad dicha longitud depende de la posición de esa línea.

Para empotrar un espigón se requiere excavar una trinchera con ancho de plantilla igual al de la base del espigón, cuyo fondo debe tener la misma elevación que el fondo del río y cuya longitud es la que se seleccione sin sobrepasar la distancia de $0.25 L_t$; posteriormente dentro de la zanja hay que construir la parte del espigón que va en ella.

La longitud de la base antisocavante es igual a $1.5 - 2$ veces la erosión prevista. Esta erosión se puede obtener en campo al visitar el sitio en época de estiaje y con ayuda de la gente del lugar.

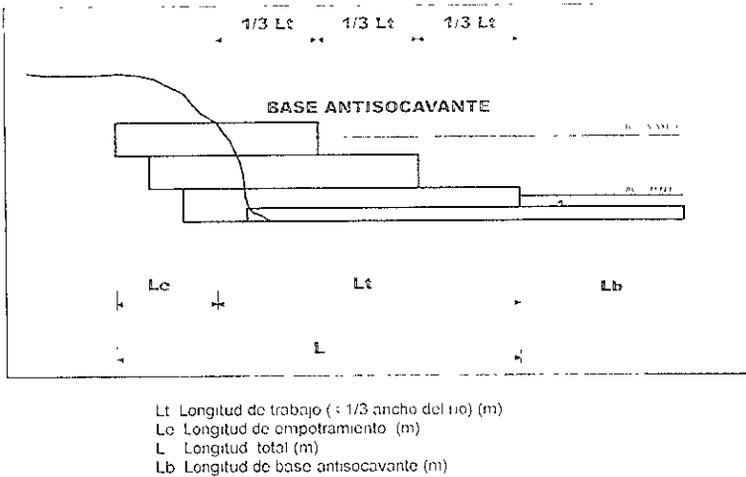


Fig. 5.1 Longitud del espigón

Al fallar un espigón, la orilla se erosiona rápidamente frente a él y parte del flujo escurre entre el espigón y la orilla erosionada, sin que esto repercuta en el buen funcionamiento de los ubicados inmediatamente aguas abajo. La reparación de esas fallas se lleva a cabo en el estiaje siguiente formando el cuerpo del espigón desde la nueva orilla hasta el espigón fallado. La falla descrita tiene lugar, generalmente, durante la primera o segunda época de avenidas, cuando aún no se han formado depósitos de arena entre los espigones, y por tanto, la orilla se encuentra menos protegida.

Por último, cabe mencionar que cuando este tipo de falla no pueda permitirse, porque haya construcciones importantes cercanas a la orilla del río, conviene reducir la separación entre espigones.

o *Forma de los espigones en planta*

La forma en planta de los espigones puede ser recta, curvada hacia aguas arriba o hacia aguas abajo, en L con el brazo también dirigido hacia aguas arriba o hacia aguas abajo y en T . Los más usuales son los rectos por su facilidad constructiva y ser más económicos. Los espigones con forma de L o T son los más costosos, ya que su parte extrema debe construirse en la zona más profunda del río.

La principal diferencia entre los espigones y los diques marginales consiste en que los primeros se interponen a las líneas de corriente mientras que estas son paralelas a la cara exterior de los diques. Por ello, cuando las ramas extremas de los espigones en L o T tienen una longitud mayor que L_t , se consideran más como diques marginales que como parte de un espigón.

- Separación entre espigones

La distancia entre espigones está medida a lo largo de la margen entre los puntos medios de los arranques de cada espigón y depende de la longitud del espigón de aguas arriba y de su orientación, así como de la configuración de la margen.

Para calcular la separación entre dos espigones es necesario tener en cuenta la expansión teórica que sufre la corriente al pasar frente al extremo del espigón. Normalmente se considera que el ángulo de expansión, β varía entre 9° y 11° . Dicho ángulo se mide en la punta del espigón, con respecto a la tangente de la línea extrema de defensa. En modelos hidráulicos se han observado ángulos de expansión hasta de 14° . Por tanto

$$9^\circ \leq \beta < 14^\circ$$

La práctica usual consiste en considerar como ángulo de expansión 9° cuando se desea obtener un diseño económico y 14° cuando se quiere un diseño más conservador.

Las fórmulas y recomendaciones que a continuación se presentan son válidas para $60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$, siendo α el ángulo de orientación del espigón, ver Fig. 5.2.

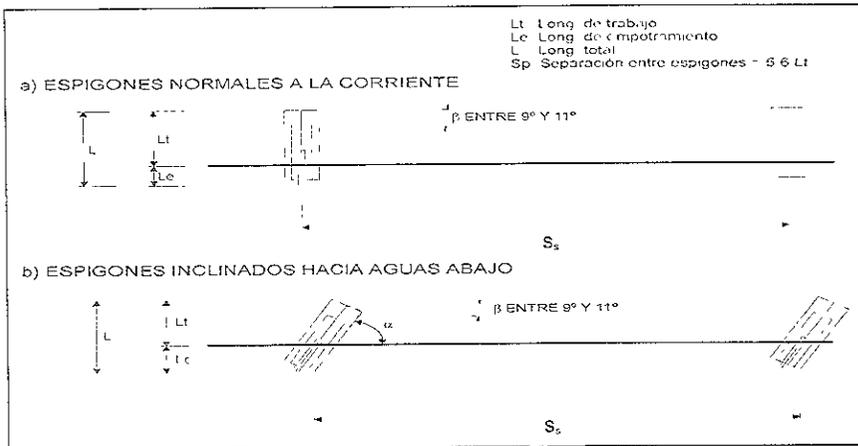


Fig. 5.2 Separación entre espigones

a) *Separación entre espigones cuando la margen es paralela a la línea extrema de defensa*

Cuando la línea extrema de defensa y la margen del río son sensiblemente paralelas, es decir, que la margen no tiene irregularidades ni entrantes ni salientes, las separaciones que se recomiendan entre espigones se indican adelante y son aplicables únicamente a espigones que son utilizados para defender las márgenes de un río

Si se construyen para reducir el ancho de la superficie libre del agua e incrementar la profundidad en ríos navegables, las separaciones son menores a las que aquí se indican.

b) *Separación en tramos rectos, S_s*

La separación entre espigones en un tramo recto, cuando la línea extrema de defensa y la margen son paralelas, está dada por la relación siguiente, ver Fig 5 3:

$$S_s = L_t \cos \alpha + L_t \frac{\text{sen} \alpha}{\tan \beta}$$

que transformada se escribe como

$$S_s = L_t \frac{\text{sen}(\alpha + \beta)}{\text{sen} \beta}$$

Al sustituir los valores de α y β , señalados arriba, S_s varía entre los límites

$$4L_t \leq S_s \leq 6.3L_t$$

Desde el punto de vista práctico y económico conviene que la separación inicial sea $S_s = 6L_t$.

Si así separados se observa que la corriente ataca e inicia la erosión de la orilla cerca del punto de arranque de alguno de los espigones, se deberá construir un nuevo espigón intermedio aguas arriba de él, con lo que la separación entre los espigones, en esa zona, se reduce a $3L_t$.

Si por falta de observaciones o por la intensidad de la corriente durante una avenida, falla uno de los espigones y queda separado de la orilla por ser ésta erosionada, el espigón fallado se deberá prolongar hasta unirlo con la nueva orilla, ésta acción conviene efectuarla en el estiaje siguiente

Cuando en las márgenes de un tramo recto hay construcciones de importancia, la separación inicial entre espigones debe ser como máximo de $4L_t$.

c) Separación en curvas, S

La separación entre espigones ubicados en las márgenes exteriores de las curvas puede variar entre los siguientes límites, Fig. 5.3

$$2.5L_t \leq S \leq 4L_t$$

En curvas, la separación entre espigones depende del radio de curvatura. A menor radio menor separación.

En algunas curvas con radios menores de $1.5B$ los espigones pueden llegar a quedar tan juntos y tan orientados hacia aguas abajo que, por economía, es preferible sustituirlos por un revestimiento marginal.

Cuando una curva tiene un radio igual o mayor a 4 veces el ancho del río, $4B$, la práctica usual consiste en colocar los espigones con una separación igual a $4L_t$.

Si al proteger una curva siguiendo esta recomendación uno de ellos llega a fallar, se efectúa la reparación ya mencionada en el inciso anterior y para mayor seguridad se podrá construir otro espigón aguas arriba del que falló, a una separación igual a $2L_t$.

c) Separación entre espigones cuando la margen es irregular

Cuando la línea extrema de defensa no es paralela a la orilla del río, y esta última es irregular, la separación entre espigones deberá obtenerse en forma gráfica.

El procedimiento consiste en lo siguiente.

- 1) Trazar en la punta del espigón una tangente a la línea extrema de defensa.
- 2) Con respecto a esa línea, y hacia aguas abajo medir el ángulo β que se haya seleccionado.
- 3) Con ese ángulo trazar una línea hacia aguas abajo hasta que intersecte la margen.
- 4) En el punto de intersección con la margen trazar un nuevo espigón al que se le dará el ángulo de orientación α deseado, y se prolongará hasta alcanzar la línea extrema de defensa. En ese punto se traza la tangente a dicha línea y con respecto a esa tangente se mide nuevamente el ángulo de expansión β , para repetir el procedimiento ya descrito.

La Fig. 5.3. señala esquemáticamente lo anterior.

Al diseñar una protección con espigones, el primero por dibujar puede colocarse libremente en cualquier parte y todos los restantes quedarán situados siguiendo el procedimiento descrito.

Si la margen y la línea extrema de defensa son paralelas la longitud de trabajo de los espigones es la misma cualquiera que sea el lugar donde se ubique el primer espigón. Esto no ocurre si la margen es muy irregular, por lo que conviene proyectar dos o tres opciones para seleccionar al final la más económica

Siempre conviene que una de las alternativas contemple la colocación del primer espigón en la zona en la que la distancia entre la margen y la línea extrema de defensa es menor, es decir, donde la margen se acerca más a esa línea extrema de defensa, ya que ello se puede deber a que la margen sea localmente más resistente en ese sitio. Posteriormente la colocación de los espigones situados tanto aguas abajo como aguas arriba se obtendrá gráficamente

En la situación extrema en que se desee encauzar un río en cuyas márgenes no haya construcciones ni cultivos de valor, se puede construir una protección aún más económica separando los espigones hasta $8L_t$ en los tramos rectos y $6L_t$ en las curvas. Si esto se lleva a cabo, debe observarse el comportamiento de la obra durante la primera época de avenidas para construir, en el siguiente estiaje, espigones intermedios en las zonas débiles o más atacadas por el flujo. Así, la separación final entre espigones, en dichas zonas, será igual a $4L_t$ o $3L_t$ respectivamente (Ref 15 56-63)

d) Separación y longitud de los primeros espigones

Al diseñar la defensa marginal de un tramo de río, los primeros espigones de aguas arriba se diseñan como se indica en la Fig 5.4. Para ello, en el tramo recto aguas arriba de la primera curva, la línea extrema de defensa se prolonga hacia aguas arriba hasta unirla con la margen. La línea de la margen y la línea extrema de defensa forman un ángulo γ , que varía entre 8° y 10° . Respetando las recomendaciones ya explicadas se obtiene la localización, longitud y separación de los espigones en el tramo en que convergen la línea extrema de defensa y la margen. (Ref 2 68)

La pendiente longitudinal de la corona de estos espigones debe ser la misma que la de los espigones normales de la protección, véase la Fig 5.4b.

Con la colocación de estos primeros espigones se evita un cambio brusco de la dirección del flujo al llegar al primer espigón de la defensa propiamente dicha. A pesar de la utilidad y buen funcionamiento que se ha observado experimentalmente en modelos hidráulicos, en la práctica pocos diseñadores los usan y prefieren reforzar el primer espigón, de aguas arriba, de la protección.

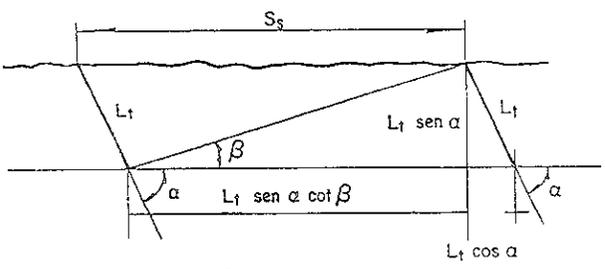
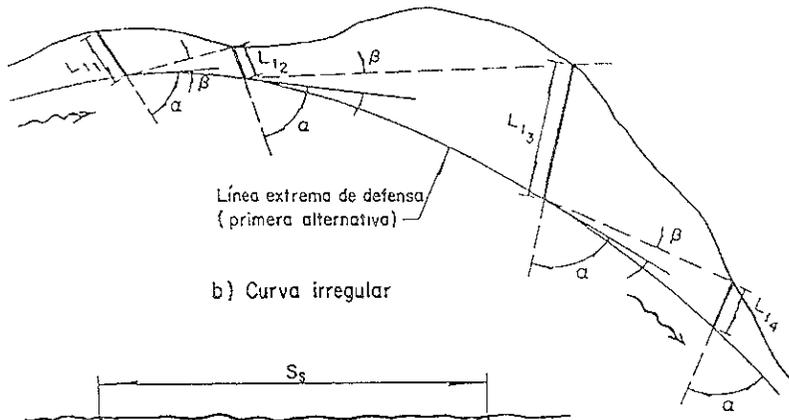
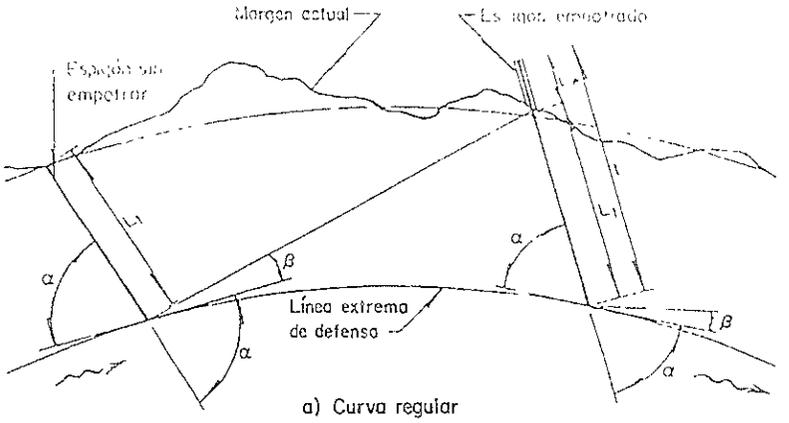


Fig 53 Método para obtener el espaciamento entre espigones

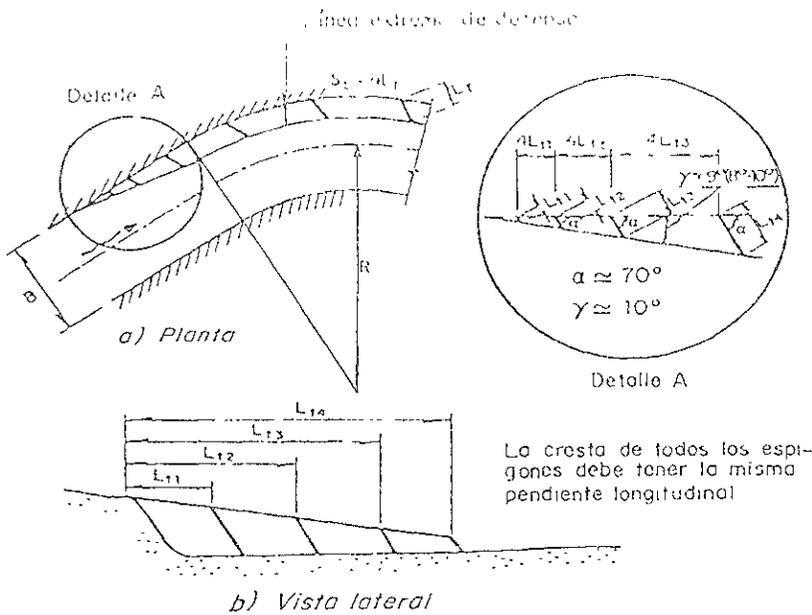


Fig 5.4 Separación y longitud de los primeros espigones

◦ *Pendiente longitudinal, elevación y ancho de la cresta de la espigones*

Los espigones pueden ser construidos con pendiente horizontal o teniendo una pendiente hacia el centro del río que puede llegar a ser hasta de 0.25.

Los espigones con cresta horizontal se construyen principalmente cuando se desea reducir artificialmente el ancho del río, por ejemplo, cuando se desea mejorar la navegación. En cambio, cuando el propósito de los espigones consiste en proteger una margen o rectificar un tramo de río, la cresta del espigón debe tener una pendiente longitudinal de la margen hacia el extremo que se encuentra en el interior del río. (Ref 2 69)

La elevación del punto de arranque de un espigón puede ser cualquiera de las que a continuación se indican:

En ríos de planicie será igual a la elevación de la margen. En zonas intermedias o de montaña será igual a la elevación del agua que corresponde al gasto máximo.

En curvas con márgenes irregulares conviene, en ocasiones, variar el ángulo de orientación de alguno de los espigones, esto ocurre sobre todo cuando una curva tiene un radio menor que $2B$. Se ha llegado a situaciones extremas en que el ángulo α ha sido de 30° . Cuando esto ha ocurrido hubiera sido preferible proteger la margen con un recubrimiento marginal y no utilizar espigones, ya que estos últimos resultaron más costosos.

Orientaciones con ángulos mayores de 90° requieren distancias menores entre espigones y por tanto, un mayor número de ellos para proteger la misma longitud de río.

Los espigones colocados normales al flujo sólo protegen áreas pequeñas, mientras que los que están dirigidos hacia aguas arriba produce mayor turbulencia en el flujo, por otra parte, los espigones dirigidos hacia aguas abajo, presentan un mejor comportamiento desde el punto de vista de socavación, depósito y tirante del canal (mayor elevación).

El espigón no debe provocar cambios bruscos en la dirección de la corriente, más bien debe desviarla gradualmente. Los espigones deben colocarse antes del punto donde la corriente empieza a salirse del cauce deseado, es decir, antes de que inicie la socavación.

Si el primer espigón se coloca aguas abajo de donde ya se inició la socavación, provoca que la corriente haga un camino por el extremo de él y como consecuencia de ello se ocasione su destrucción.

- *Permeabilidad de los espigones*

Los espigones pueden ser impermeables o permeables. Los primeros alejan de la orilla a las líneas de corriente con alta velocidad, mientras que los segundos reducen la velocidad del flujo por debajo de su límite erosivo. Estos últimos, cuando están bien diseñados, facilitan de inmediato la sedimentación de arena entre los espigones.

Los espigones permeables tienden con el tiempo a perder permeabilidad debido a toda la basura, ramas y troncos que llegan a detener. Por ello se deben diseñar para resistir, tanto el empuje del agua como el de los elementos mencionados.

Usualmente, los espigones construidos con roca o gaviones no son totalmente impermeables al inicio de su vida útil; lo llegan a ser cuando sus huecos se rellenan con la arena y limo que transporta el agua.

Los espigones permeables deben llegar también a la línea extrema de defensa. Su separación entre ellos es menor que para los espigones impermeables y depende de la reducción de la velocidad que se obtenga con cada uno de ellos:

Ai seleccionar la pendiente longitudinal del espigón conviene tener en cuenta lo siguiente:

Lograr que el extremo del espigón que se encuentra dentro del río quede a una elevación de unos 50 cm arriba del fondo del cauce. Esto es posible únicamente en ríos que casi no llevan agua en la época de estiaje.

Si el río es perenne, el extremo antes indicado debe quedar a la elevación que tiene el agua durante el momento de la construcción, la que conviene efectuar en época de estiaje, cuando las profundidades y velocidades de los escurrimientos son menores.

La pendiente longitudinal no debe de ser mayor que la que permita el manejo seguro del equipo de construcción. Cuando se utilizan gaviones esa pendiente longitudinal se da con escalones.

Los espigones construidos con gaviones y con pendiente longitudinal igual o mayor que 0.1 presentan las siguientes ventajas:

Favorecen el depósito de sedimentos entre ellos. Dicho depósito es mayor del que se hubiera tenido si la cresta fuera horizontal.

Son mucho más económicos, ya que cada espigón requiere entre el 40% y 70% del material que necesita el mismo espigón con cresta horizontal. Los mayores ahorros se obtienen en espigones construidos con enrocamiento o gaviones.

El ancho de la corona de los espigones depende de los materiales con que se construyen y del procedimiento de construcción empleado. Así, por ejemplo, si el espigón es construido con enrocamiento, el ancho de la corona debe ser tal que permita el acceso de camiones de volteo, los cuales entrarán en reversa para descargar la roca, la que será posteriormente empujada por un tractor. Una condición extrema se presenta cuando el espigón es construido con troncos, pilotes o tablestacados, ya que el ancho de la corona corresponderá al de las piezas que lo forman. (Ref 15. 20-21)

- *Orientación de los espigones*

Los espigones pueden estar orientados hacia aguas abajo, hacia aguas arriba o ser perpendiculares a la dirección del flujo. Su orientación está dada por el ángulo que forma con el eje longitudinal del mismo con respecto a la tangente trazada a la línea extrema de defensa en el punto de unión con el espigón y medido hacia aguas abajo. El ángulo de orientación conviene que esté comprendido entre $60^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$. En curvas con márgenes uniformes se recomienda $\alpha = 70^{\circ}$.

generalmente están separados entre 10 a 50 m independientemente de su longitud

Su corona es siempre horizontal longitudinalmente y siempre deben empotrarse. Además requieren de una observación y mantenimiento constante, ya que pueden ser destruidos por troncos y árboles que arrastre la corriente

- *Materiales de Construcción*

Los espigones pueden ser construidos con una gran variedad de materiales, como por ejemplo tablestacados de madera o concreto, troncos de árboles, ramas, enrocamiento, elementos prefabricados de mortero o concreto, elementos prefabricados de acero y alambre y con gaviones.

En nuestro medio la mayoría de los espigones se construyen con enrocamiento o gaviones. En aquellos lugares donde la roca o grava se encuentra a grandes distancias o no hay, conviene utilizar bolsas o sacos de plástico rellenos con mortero o concreto. Con bolsas comunes de plástico o sacos para el transporte de azúcar o granos, se llegan a obtener elementos hasta de 100 Kg de peso

Los materiales de construcción deben ser lo suficientemente resistentes para soportar la velocidad de la corriente y sobre todo para resistir el impacto directo de troncos y árboles que pueda arrastrar la corriente durante grandes avenidas. Por esta razón los que son construidos con troncos de árboles o madera pueden llegar a ser destruidos.

- *Erosión local al pie de espigones*

La erosión más importante que se produce al pie de un espigón ocurre en el extremo que se encuentra dentro del agua. Cuando los espigones son construidos en ríos que casi no tienen escurrimiento durante la época de estiaje, no existe socavación durante su construcción

Si además se les da una pendiente longitudinal y su extremo final queda casi a la elevación del fondo, tampoco sufren erosiones durante su vida útil, debido a que el agua choca en la punta con un impacto menor y por ende no se producirá socavación. No ocurre lo mismo cuando son construidos en ríos que llevan aguas todo el año, y aún la velocidad de la corriente en estiaje es elevada.

A medida que se construye el espigón se produce una socavación en su extremo y por tanto, al continuar la construcción también se tiene que ir rellenando la depresión que se forma por efecto de esa erosión. Esto trae como consecuencia un incremento en el volumen de material de construcción, aumentando el costo final de la obra. Si ello se desea evitar, conviene primero colocar una capa de grava o enrocamiento de unos 30 a 50 cm de espesor, cuyos elementos no sean arrastrados por la corriente, y que ocupe toda la base del futuro espigón (base antisocavante), Foto 5.2. Esto necesariamente tendrá que hacerse desde

barcazas. Posteriormente se construirá el espigón iniciándolo desde la orilla (Rev. 15 24)



Foto 5.2 Espigón apoyado sobre la base antisocavante durante la etapa de construcción.

5.2 Tipos de espigones

La ubicación y la forma de los espigones tiene sus efectos sobre la profundidad del centro del río y la posición y cantidad de la sedimentación entre ellos. Como clasificación general podemos decir que en cuanto a su ubicación, los espigones pueden dividirse de las siguiente manera

- Dirección

a) *Contra corriente*

En este grupo encontramos aquellos espigones donde su eje longitudinal forma un ángulo agudo con la tangente a la orilla hacia arriba del mismo. Este tipo de espigones depositan más material aguas arriba que aguas abajo del mismo, Fig 5.5

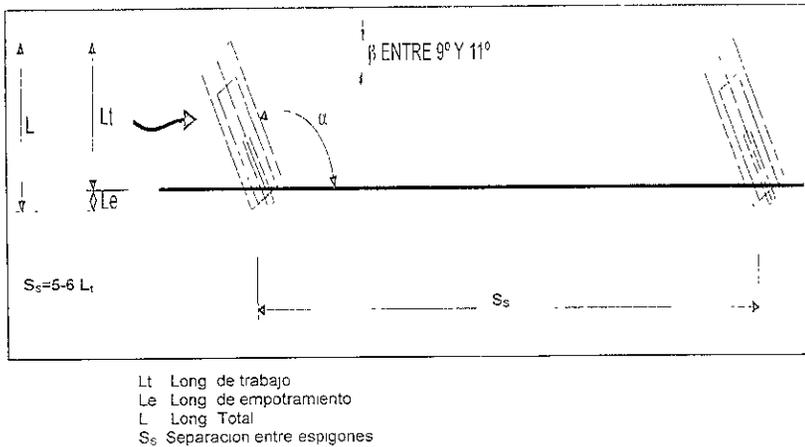
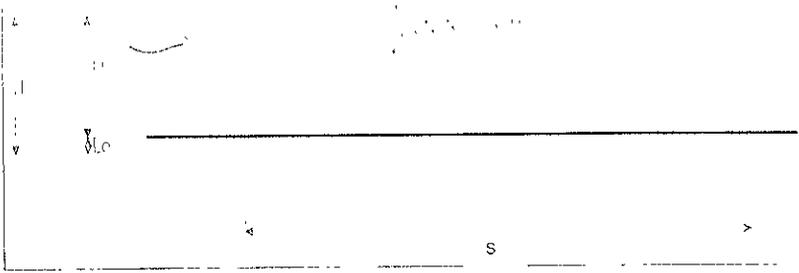


Fig 5.5 *Espigones contra corriente*

b) *Normales a la corriente*

En este grupo encontramos aquellos espigones cuyo eje longitudinal forma un ángulo recto con el eje del cauce. En este tipo, el aprovechamiento de la longitud de trabajo es total en cuanto a su proyección en el área protegida por el espigón, pero el desvío de la corriente es fuerte. Por tal razón su longitud debe ser pequeña con respecto al ancho del cauce, o bien que el primer espigón de la batería sea declinante o sea inclinado a favor de la corriente, seguido luego de espigones normales, Fig 5.6.



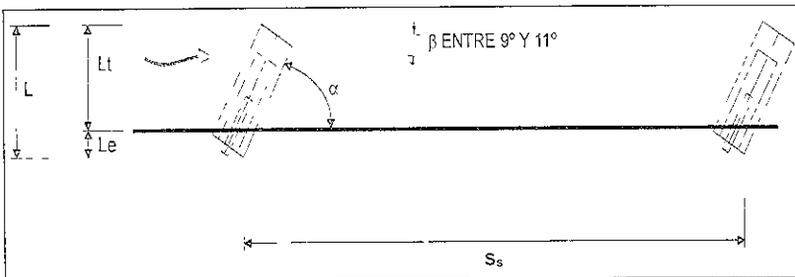
- Lt Long de trabajo
- Le Long de empotramiento
- L Long Total
- Ss Separacion entre espigones

Fig 5.6 Espigones normales a la corriente

c) A favor de la corriente

En este grupo se encuentran los espigones cuyo eje longitudinal forma un ángulo agudo con la tangente a la orilla aguas abajo del mismo. Este ángulo es variable en función de las características de cada obra pero en general se adoptará 60/70 grados. Este tipo espigones son, tal vez, los más difundidos pues el desvío de la corriente es más suave y por lo tanto están menos expuestos a eventuales daños.

Cuando la curva de las márgenes son muy cerradas, (con radios de curvaturas pequeño), el ángulo de inclinación va a disminuir llegando incluso a valores cercanos a los 30 grados, Fig 5.7.



- Lt Long de trabajo
- Le Long de empotramiento
- L Long Total
- Ss Separacion entre espigones

Fig 5.7 Espigones a favor de la corriente

Con base en la experiencia obtenida, se pueda afirmar que los espigones a contracorriente obligan a tener separaciones menores entre los mismos con el consiguiente incremento del volumen y costo de la obra

Es recomendable entonces recurrir a espigones normales o bien inclinados a favor de la corriente, siendo estos últimos los más usados y los más seguros de acuerdo con resultados obtenidos en la práctica.

En general, al acumularse el limo alrededor y dentro del espigón, ayuda a que se desarrolle vegetación, lo cual provoca que la estructura se consolide dentro de la nueva orilla y ello ayuda en el control de la erosión.

- *Forma:*

d) *Asta simple*

Los de asta simple son los espigones más utilizados por su facilidad de construcción debido a la forma de estos y a su bajo costo, además de ser aplicables en mayor número de casos que los otros dos tipos, (espigones tipo cabeza de martillo y espigones tipo bayoneta). Se les puede dar dirección contra corriente, perpendiculares a la orilla y también a favor de la corriente, en la Fig. 5.8 y Foto 5.3

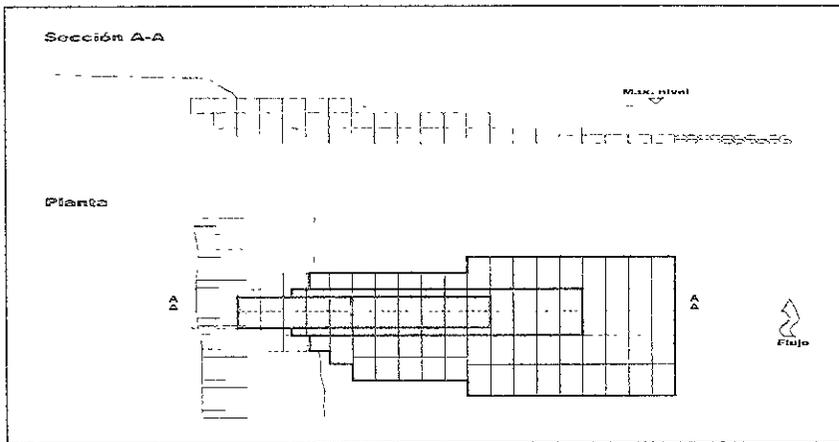


Fig. 5.8. Espigón tipo asta simple

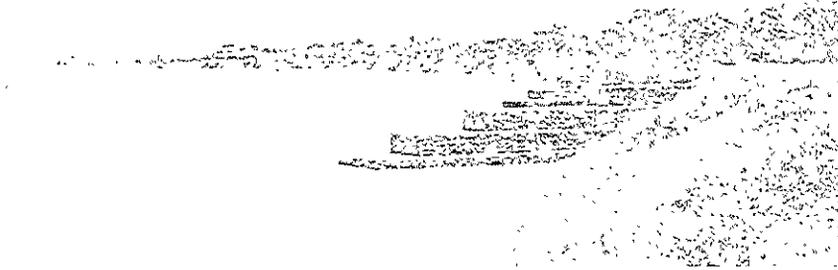


Foto 5.3 Serie de espigones en asta simple

e) Cabeza de martillo

Los espigones de "cabeza de martillo" son más eficientes en cuanto a la cantidad de material que logran depositar pero son caros y complicados de construir. Se usan en ríos que durante el período de estiaje quedan secos y se direccionan generalmente perpendiculares a la orilla y algunas veces contra corriente. Fig. 5.9. y Foto 5.4.

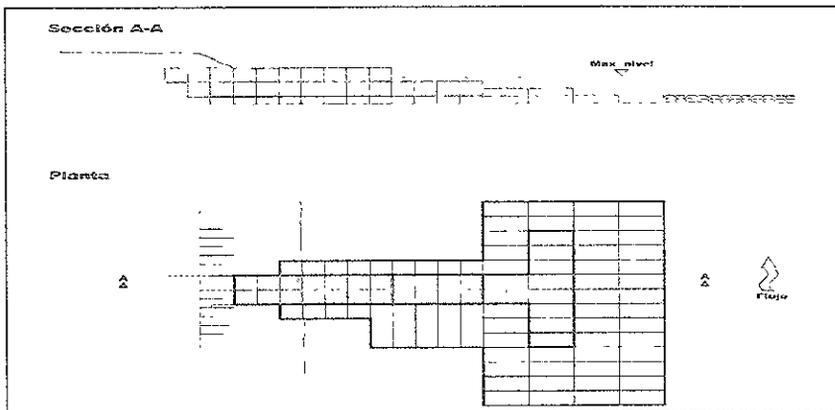


Fig. 5.9 Espigón tipo cabeza de martillo



Foto 5.4 Defensa longitudinal integrada con espigones tipo cabeza de martillo

f) Bayoneta

Los espigones tipo bayoneta son especialmente recomendables en cauces anchos y de baja velocidad con gran arrastre de sedimento limoso, en cuyo caso la punta en Bayoneta se coloca a contra corriente. Se direccionan perpendiculares y contra corriente, Fig. 5.10 y Foto 5.5.

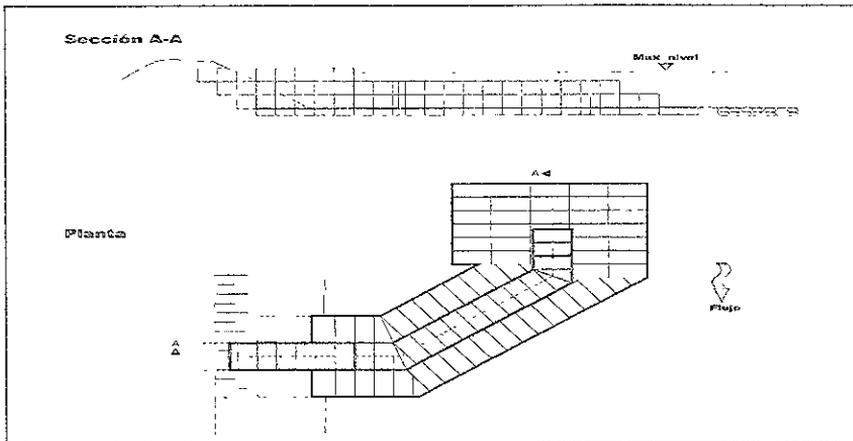


Fig 5.10. Espigón tipo bayoneta



*Foto 5 5 Serie de espigones en bayoneta, protegiendo un río ancho,
San Pedro Nayant, México.*

5.3 Características

Flapas Una característica importante en el diseño de una batería de espigones de gavión, es que la misma puede realizarse por etapas y luego aumentarse o perfeccionarse al observar el comportamiento del río ante la obra de defensa construida. Esto permite diseñar en una primera etapa espigones de pequeña longitud y luego recrecerlos aumentando su longitud o bien su altura e incluso transformarlos en espigones de cabeza de martillo o bayoneta.

Cabeza (extremo del espigón dentro del cauce) Debe tener una altura mínima que permita la reducción de pequeños "remolinos" que se producirán en las proximidades de la cabeza por el encuentro de la corriente del espigón y la corriente principal del cauce.

Barra A medida que nos acercamos hacia la orilla, recorriendo el cuerpo del espigón, encontramos su parte media, denominada barra, cuya altura se recomienda que sea igual o mayor a la del tirante medio del cauce.

Raíz. Por último encontramos la raíz del espigón (extremo en contacto con la orilla) que se recomienda que sea siempre insumergible incluso para los caudales máximos.

El costo de conservación disminuye con el tiempo y la falta de un espigón no hace peligrar a los demás.

Se ha observado que aún cuando se produzca una erosión en la zona de contacto entre un espigón y la orilla, ésta se erosione, se separe el espigón de la orilla y parte del escurrimiento pase entre ambos, el resto de los espigones continúa trabajando satisfactoriamente.

5.3.1 Características desfavorables

Dentro de éstas se pueden mencionar las siguientes:

Reducen el ancho del cauce cuando ambos márgenes se protegen con espigones.

Sin embargo, téngase en cuenta que en ríos navegables el reducir el ancho del cauce puede representar una ventaja y una necesidad.

Producen pérdidas adicionales de energía.

No son económicos en curvas que tienen un reducido radio de curvatura.

No protegen toda la orilla, ya que las zonas entre ellos puede erosionarse antes de alcanzar un estado de equilibrio.

5.4 Revestimiento marginal en ríos y canales

Son protecciones que consisten en colocar, directamente sobre la orilla, un material natural o artificial que no pueda ser arrastrado por la corriente. Para ello, normalmente se perfila la orilla con un talud que permita la colocación fácil y segura del material de protección. Entre éste último material y el que forma la margen usualmente se coloca un filtro, ya sea artificial como puede ser un geotextil o natural con materiales pétreos formando una o varias capas con elementos cuyo tamaño decrece de afuera hacia la margen.

El objeto del filtro es evitar que las partículas finas de la orilla salgan a través de los huecos que puede tener la capa exterior o coraza que es diseñada para resistir las altas velocidades del flujo. La salida o extracción de las partículas que constituyen la orilla se debe tanto a los vórtices que se generan por la presencia de los elementos de la capa protectora, como al flujo que se produce de tierra hacia el río, por efecto de lluvias intensas sobre la planicie o por descensos frecuentes y considerables del nivel del agua en el río.

Los revestimientos marginales, al apoyarse directamente contra el talud de la orilla tienen la inclinación de ésta. Sin embargo, también se construyen verticalmente formando muros sobre todo en los tramos en que los ríos cruzan ciudades y poblados., Foto 5.6.

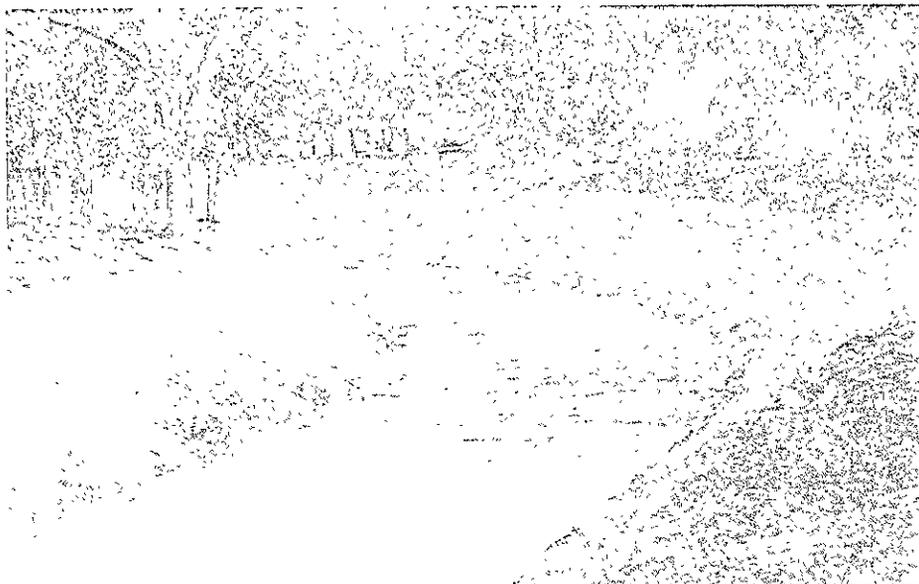


Foto 5 6 Revestimiento de un río que pasa junto a una población

5.4.1 Clasificación de los revestimientos marginales

Los revestimientos marginales se clasifican en tres tipos

1. Los revestimientos son *permeables* cuando permiten el paso libre del agua pero reducen su velocidad para que pierda su capacidad erosiva al no poder arrastrar el material de la margen. Además, se diseñan con objeto de detener la vegetación y basura que arrastra la corriente, con lo que su acción protectora se incrementa con el tiempo. Como ejemplo de este tipo de revestimiento se pueden citar las pantallas construidas con madera y troncos que dejan huecos entre sus elementos. En todas estas obras el agua del río está en contacto con la margen.

2. Los revestimientos *semi-permeables* son aquellos que cubren la margen y evitan el contacto directo de la corriente con el material que la forma, aunque no evitan que el agua pueda fluir entre sus huecos, perpendicularmente al revestimiento. Dentro de esta clasificación se encuentran todas los revestimientos formados con materiales sueltos como enrocamiento, gaviones tipo colchón y los formados con elementos prefabricados de concreto

Generalmente requieren de la colocación de un filtro entre el material de la orilla y el material resistente al flujo que forma la coraza o capa exterior del revestimiento. El filtro detiene el material de la orilla y evita que pase a través de los huecos que forman los elementos de mayor tamaño del revestimiento.

3. Los revestimientos *impermeables* son aquellos que evitan completamente el contacto entre el material de la orilla y el agua. Como ejemplo de estas protecciones se pueden citar las losas de concreto, recubrimientos asfálticos, los muros de mampostería o concreto y los tablestacados cualquiera que sea el material de que estén formados, mientras no existan huecos entre sus elementos

No todos los revestimientos marginales sirven igualmente en cualquier situación o río, así, los permeables se utilizan con éxito en corrientes pequeñas que arrastran una gran cantidad de vegetación. Los semipermeables se utilizan en todo tipo de corrientes, mientras exista espacio suficiente para formar el talud en que apoyar el revestimiento.

Por último, los impermeables con talud vertical, se utilizan con más frecuencia en las zonas donde los ríos cruzan ciudades y poblados.

5.4.2 Materiales de construcción

En función del material utilizado para la construcción o formación de los revestimientos marginales, éstos se pueden clasificar de la siguiente manera:

a) Cuando el material descansa sobre la margen

Para construir revestimientos que se apoyan o descansan sobre el material de la margen se utilizan generalmente enrocamiento, gaviones tipo colchón, losas de concreto o elementos prefabricados de concreto. Los revestimientos de enrocamiento y gaviones son los más utilizados en nuestro medio.

Referente a los gaviones, existen diseños en forma de caja o colchón con malla que se rellenan con grava o boleas. Estos elementos normalmente descansan sobre la margen ya perfilada al talud de diseño. Dentro de este grupo se pueden considerar también todos los revestimientos en que se utilizan formas hechas con malla de alambre y cuyo interior se rellena con grava o boleas, como pueden ser cilindros (*gaviones saco*), los que a medida que se van rellinando se dejan deslizar libremente por la margen, véase la Fig. 5.11.

Estos cilindros se pueden colocar también en márgenes no perfiladas y tienen la ventaja de que tampoco requieren de una protección contra la erosión, al pie de los mismos, ya que si ésta existe, el cilindro se sigue deslizando hacia abajo.

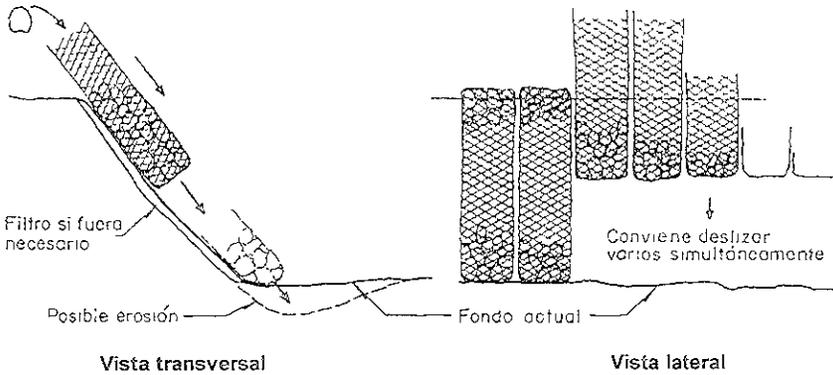


Fig. 5.11 Protección marginal con gaviones saco rellenos de grava o boleas

b) Cuando el material se soporta así mismo

Cuando se utilizan protecciones que se soportan a sí mismas, éstas se forman generalmente con gaviones, mampostería o concreto, Foto 5.7. Dentro de este mismo grupo se incluyen los tablestacados. Los muros construidos con estos materiales resisten muy bien las altas velocidades del flujo pero se debe calcular

para que soporten el empuje del material que forma la margen o los rellenos que se hagan entre la orilla y el muro.



Foto 5.7 Revestimiento de un canal con gaviones tipo colchón.

5.4.3 Protección contra la erosión local

La causa principal de la falla y destrucción de un revestimiento marginal es la erosión que se produce al pie de los mismos, por lo que el éxito de un revestimiento marginal, depende de su protección contra esa erosión local, la cual se puede deber a la erosión general del cauce o a la que se produce en las curvas.

Cuando una margen está protegida y no puede desplazarse lateralmente, la erosión en curvas aumenta, debido principalmente a que la margen interior de la curva (sujeta a sedimentación), se sigue desplazando hacia el interior del río hasta que se alcanza un nuevo estado de equilibrio.

Existen varios procedimientos para evitar que la protección sea socavada (Ref. 2: 104-105), entre ellos se mencionan tres, que se ilustran en la Fig. 5.12.

1. Desplantar la protección a una profundidad tal que no sea afectada por la erosión general o la erosión en curvas. De esta forma, se debe profundizar la

protección cuando menos 1.5 m, esta recomendación es útil en los pequeños cuyo ancho no sea mayor de 30 m. ver Fig. 5.12b

En ríos mas grandes, las socavaciones que se presentan deben ser medidas en época de estiaje y se debe de dragar o excavar el fondo hasta alcanzar las elevaciones requeridas.

Esta protección se realiza con facilidad en ríos que no llevan agua durante algunos meses del año, Fig. 5.12a

2. Excavar una cepa al pie de la protección, como se indica en la Fig. 5.12b, dicha cepa se rellena con material pétreo

Si se produce erosión y el fondo desciende se producirá un deslizamiento y reacomodo del material de relleno de la cepa, pero el revestimiento marginal sigue protegido.

Se debe tener en cuenta que el lado interior de la cepa debe tener el mismo talud que el revestimiento marginal y colocar sobre el talud un filtro geotextil. El talud exterior es el de reposo del material del fondo del río.

3. En lugar de profundizar la protección se puede colocar una base antisocavante con gaviones tipo colchón sobre el fondo del cauce, con elementos que no sean arrastrados por la corriente, cuyo espesor e del gavión, sea igual o mayor al utilizado en el revestimiento marginal y con un ancho L_p que, como mínimo, sea igual a una vez el tirante correspondiente al gasto máximo, como se muestra en la Fig. 5.12c

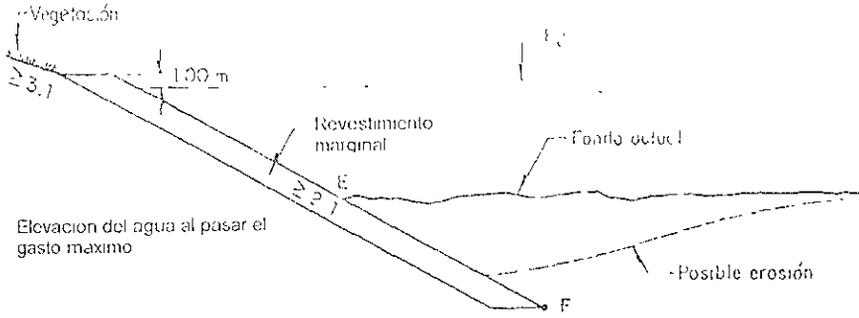
La selección entre las opciones indicadas depende principalmente de motivos económicos y de los equipos de construcción disponibles. En grandes ríos y cuando la protección es muy importante, normalmente la primera es adoptada, aunque es la más costosa.

En ríos que llevan agua todo el año, las protecciones mas económicas y fáciles de construir se logran con la construcción de la base antisocavante, descrita en el punto 3.

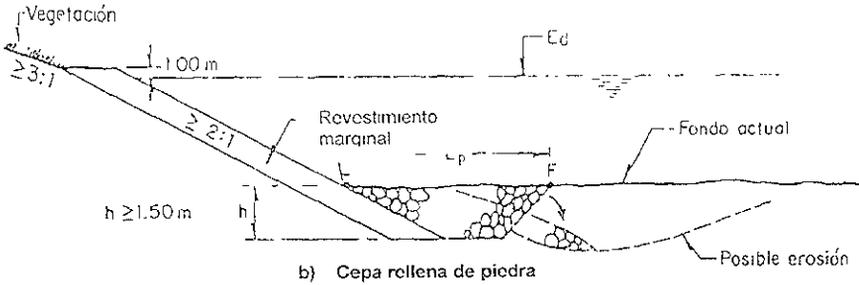
Las soluciones de protección para evitar erosión local, que se indican anteriormente, se deben utilizar en todos los revestimientos marginales, excepto cuando se usan gaviones saco, colocados verticalmente o se recurre a revestimientos permeables

Si se comete el error de recubrir exclusivamente las márgenes sin profundizar el revestimiento o sin formar una base antisocavante de protección, este inevitablemente llega a fallar. En igualdad de circunstancias, las fallas tienen una extensión mayor cuando se utiliza concreto o mampostería. Además no se pueden reparar y se requiere construir otro nuevo revestimiento. En cambio, si el revestimiento marginal es flexible, como los construidos con gaviones, éste se

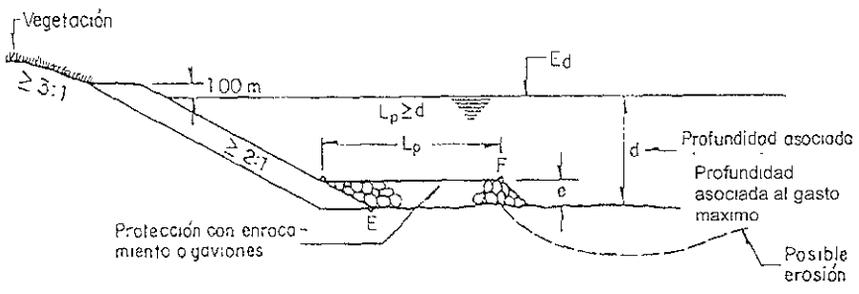
lesada y aun así sea parcialmente destruido, tiene a proteger el resto de la zona erosionada



a) Revestimiento desplazado a una elevación inferior que la de la posible erosión.



b) Cepa rollena de piedra



c) Base antisocavante de protección.

Fig. 5.12 Formas de proteger un revestimiento marginal contra la erosión.

Por otra parte se debe tener en cuenta, durante el diseño, que si el río no lleva agua en estiaje se puede revisar el revestimiento marginal, detectando posibles erosiones y reparar fallas pequeñas.

Si el revestimiento se coloca en un tramo recto del río, la erosión local disminuye considerablemente, al grado que si se tiene la certeza de que el flujo siempre se desplazará paralelo al revestimiento y en el tramo no se producirá erosión general, por lo tanto, no se requiere proteger el pie del talud.

5.4.4 Altura de la protección del revestimiento marginal

En los ríos de planicie se recomienda que el revestimiento llegue hasta el borde superior de la orilla, en otras palabras, que dicho revestimiento abarque toda la altura de la margen.

En ríos que no son de planicie, el recubrimiento marginal, se llevará un metro más arriba del nivel del agua al pasar el gasto máximo.

La parte de la orilla arriba de la protección deberá tenderse con taludes entre 3:1 y 10:1 para evitar algún desprendimiento sobre la zona protegida, y se deberá cubrir con vegetación del lugar para que aumente su resistencia a la erosión. La vegetación más conveniente es la más flexible, como pasto, la que al presentarse la avenida permite que la corriente la flexione y apoye contra la superficie del terreno con lo que la protege, Fig. 5.12.

3.5 Diques Marginales

Los diques marginales son estructuras construidas dentro de los cauces, que tienen por objeto dirigir y encauzar convenientemente el flujo de un río para proteger sus márgenes o rectificar su cauce, al término de la obra la corriente fluye paralela a estas estructuras, Foto 5.8. Se utilizan principalmente en aquellas zonas en que los cauces tienen islas, son divagantes (tienen curvas), márgenes irregulares o cuando se requiere formar una nueva orilla separada de la actual.

Cuando las márgenes del río, son irregulares y sobre todo en donde existen curvas, se utilizan los diques en vez de espigones, debido a que se requiere de un volumen de obra más pequeño.

Los diques marginales se construyen en forma semejante a los espigones, ya que también son estructuras que se encuentran dentro del cauce y deben resistir la velocidad de la corriente a lo largo de su vida útil y durante su construcción.

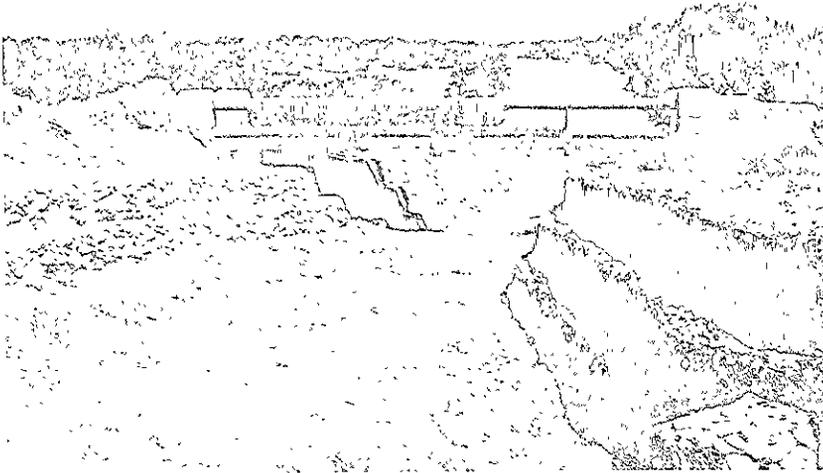


Foto 5.8. Dique marginal construido con gaviones a lo largo de un río, en época de estiaje.

Al igual que los recubrimientos marginales, el pie del talud expuesto a la corriente, se debe proteger contra la erosión.

Por otra parte, la altura de los diques está asociada al tirante máximo, sin embargo puede ser menor cuando se desea que el propio río rellene con sedimentos las

zonas que quedan entre los diques y la margen actual. Esa acción de sedimentación y relleno se logra en época de avenidas, cuando el agua con sedimentos en suspensión pasa sobre la corona de los diques. (Ref 15 41)

Los depósitos que llegan a aflorar durante la época de estiaje se cubren de vegetación, la que contribuye a reducir las velocidades de la corriente en las siguientes avenidas y con ello facilitar aún más la sedimentación de las partículas transportadas en suspensión, Foto 5.9



Foto 5.9. Dique marginal paralelo a las márgenes de un río, que pasa a lado de una carretera.

Para ubicar los diques se procede en forma semejante a lo descrito para los espigones y revestimientos marginales. Lo primero a realizar es trazar en planta el eje del cauce tal como se desea que quede la nueva margen del río.

Una vez diseñada la sección del dique, se ubican en planta el eje, orillas de la corona y el pie del talud hacia dentro del río.

Aunque la mayor parte de un dique se alinea paralelo al eje del río, y por tanto a la dirección del flujo, un tramo de él debe unirse a la orilla en su parte inicial de aguas arriba, por lo que éste puede quedar interpuesto a la corriente y funcionar como un espigón.

Por otra parte pueden hacerse combinaciones entre revestimientos y diques marginales para un mejor funcionamiento de la estructura. Foto 5.10.

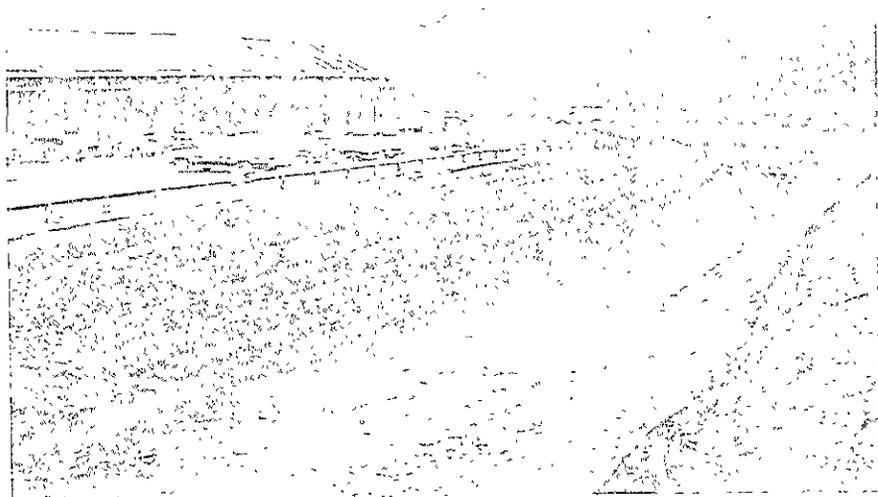


Foto 5.10. Construcción de revestimiento y dique marginal en combinación para protección de las márgenes de un río

Capítulo 6

OBRAS DE DERIVACIÓN

Las primeras civilizaciones tuvieron, como una de las actividades primordiales, el aprovechamiento del agua y su energía. Del empleo racional de líquido dependía la fertilidad de la tierra, y de ella el principal sustento de los pueblos.

Es por eso que una de las primeras y más importantes actividades de la ingeniería en la antigüedad fue la hidráulica: la irrigación de la tierra, el control de los ríos y, casi al mismo tiempo, el almacenamiento y aprovisionamiento de agua para la población.

Los ingenieros tuvieron que construir sistemas de presas de derivación y almacenamiento para recoger las aguas en época de lluvias, ya que en caso de excesivas crecientes de agua, podían desviarla y almacenar parte de ella; por lo que construyeron canales de desvío, presas de diversos tipos de material, etc, todo ello para una mejor operación del sistema de riego. (Ref. 18: 1), Fig. 6 1.

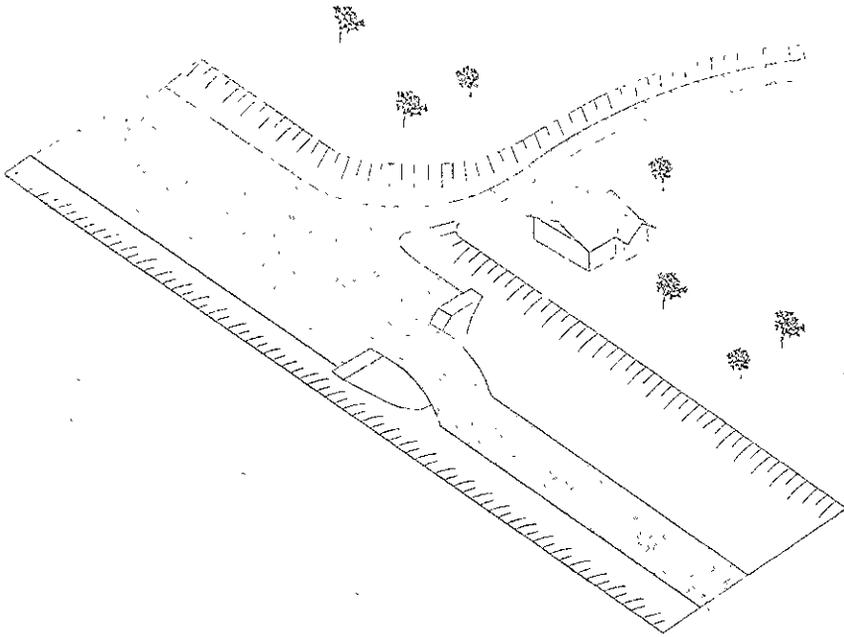


Fig. 6.1. Presa derivadora y canal de desvío.

6.1 Presas de derivación

Consiste de una presa vertedora y una obra de toma con desarenador en una o ambos márgenes. El dique es interpuesto a todo lo ancho del cauce principal del río con objeto de elevar el nivel del agua y en esa forma, disponer de cargas que permitan alimentar canales de riego durante la época de estiaje. Durante esa época, el agua que escurre por el río es desviada hacia los canales de riego y los excedentes se dejan pasar nuevamente hacia el río a través de la obra desarenadora o sobre la corona del dique el cual funciona como vertedor.

El desarenador evita que el sedimento del fondo, arrastrado por el río, penetre a los canales de irrigación, pero no impide el paso del material transportado en suspensión. Durante la época de avenidas el agua y los sedimentos pasan sobre el dique.

La presa se diseña para sobreelevar el agua sólo unos metros, por lo que su cresta está entre 3 a 6 m, (cuando se construye con gaviones), sobre el fondo original del río. En la época de estiaje, aguas arriba del dique, el agua alcanza la elevación de la cresta o corona del mismo. En época de avenidas el agua tiene elevaciones mayores que son las necesarias para que el gasto excedente pase sobre la presa.

El embalse de estas presas, debido a su pequeña capacidad, se llenan de sedimentos en los primeros años de su vida útil. Teóricamente ese llenado prosigue aguas arriba de la obra, ya que el río debe alcanzar su equilibrio y tender a su pendiente original. Esto último obliga a que el fondo del río también se eleve aguas arriba de la presa.

Ese azolvamiento origina que el río pierda capacidad hidráulica y que los niveles del agua se sobreeleven sobre los existentes antes de la construcción de la presa, cubriendo e inundando áreas que antes estaban libres de ese efecto.

En las zonas de planicie normalmente los ríos conducen gastos mayores y además, cualquier sobreelevación del nivel del agua puede producir desbordamientos durante la época de avenidas, los cuales pueden causar inundaciones en áreas extensas. (Ref 25: 19-20).

Las presas derivadoras se construyen generalmente para proporcionar la carga necesaria y derivar agua hacia zanjas, canales u otro sistema de conducción al lugar a donde se va a utilizar, a su vez pueden ser de dos tipos: en uno el agua se almacena temporalmente y se deja salir mediante una obra de toma con un gasto que no exceda de la capacidad del cauce aguas abajo; el otro tipo es en el que almacena el agua tanto tiempo como sea posible, dejándose filtrar en los valles, con objeto de recargar los acuíferos.

El propósito de una presa derivadora es levantar el tirante de un río y mantenerlo para poder abastecer un canal, una planta hidroeléctrica, una planta de bombeo u otra estructura. En el caso de una presa de gaviones, solo se consideraría para abastecer canales de riego.

En general los sistemas de derivación pueden dividirse en los siguientes grupos:

1. *Toma directa*

Representa una de las soluciones más simples para efectuar una derivación y se adopta cuando el cauce del río puede proporcionar un gasto mucho mayor al gasto deseado. En estos casos no es necesario elevar el nivel del agua para encauzarla hacia el sitio deseado, ya que se busca contar en forma natural, con un tirante adecuado y condiciones topográficas favorables que posibiliten un buen funcionamiento hidráulico.

Este tipo de obra no cuenta con ningún dispositivo para evitar el azolvamiento de la estructura; lo que se procura, es captar las aguas del nivel más alto posible para su mejor aprovechamiento.

2. *Barrajes*

Los barrajes son quizá la forma más rudimentaria de las obras derivadoras utilizadas en ríos y arroyos. El objetivo que se persigue con ellos, es construir una pantalla que obstaculice el paso de la corriente, obligándola a formar un tirante mayor al normal, para desviar parte del agua y encauzarla a un canal localizado en una de las márgenes del río.

Los barrajes se construyen transversalmente a la corriente, y se forman con tablaestacados, ramas de árboles, arcilla o con material de acarreo del mismo río.

Generalmente se emplean en aprovechamientos provisionales y de poca magnitud ya que se requiere de un constante mantenimiento porque son fácilmente deteriorados por la corriente, especialmente en época de crecidas.

3. *Presa derivadora y canal de conducción*

Las presas de derivación, son estructuras que se originaron al mejorar el funcionamiento de los barrajes y la efectividad de las tomas directas. Con este tipo de presa se controla el paso de la corriente, elevando el tirante del agua para encauzarla mediante el canal de conducción.

De una manera general las presas derivadoras constan de las siguientes estructuras:

c) Presa

Se entiende por presa una estructura que se coloca en el lecho de un río como obstáculo al flujo del mismo, con el objeto de formar un almacenamiento o una derivación. Tal estructura debe satisfacer las condiciones normales de estabilidad y ser relativamente impermeable, es más conveniente que la presa tenga un eje normal a las líneas de corriente que un eje esviado, ya que este puede ocasionar corrientes paralelas a su propio eje.

La presa construida a lo ancho del río puede ser vertedora con o sin control. La primera, es aquella que se puede variar la elevación de la cresta y requiere de una operación adecuada para su funcionamiento, es decir, el uso de compuertas. Dependiendo de éstas se convierte en vertedora total o parcial, la segunda es aquella que permite el paso libre del agua y de los cuerpos flotantes arrastrados por la corriente del río.

Por lo que se refiere a la cimentación de la presa es una parte vital de la estructura ya que se le debe dar una atención preferente. En general se presentan dos casos típicos de cimentación.

- Para el primer caso, el desplante deberá llevarse hasta encontrar roca en toda el área de cimentación comprendida dentro del trazo de la presa, para lo cual deberán retirarse todos los materiales indeseables tales como suelo con alto contenido de materia orgánica, escombros o productos de derrumbes, roca intemperizada, acarros fluviales, etc.
- Para el segundo caso, será necesario descubrir las formaciones de gravas y arenas limpias sobre la cual se desplantará la presa eliminando los materiales de mala calidad que puedan producir asentamientos u otro tipo de fallas; dependiendo directamente del material de cimentación es evidente la utilización de los materiales que formen la presa, así por ejemplo, en una cimentación desplantada en este tipo de material, se podrá utilizar mampostería, concreto, enrocamiento o gaviones.

Por otra parte, se puede intentar una clasificación de las presas considerando varios aspectos, teniendo en cuenta lo siguiente:

Por su eje en planta pueden ser rectas y curvas. La línea del eje generalmente es recta, y normal a la corriente, pero en ocasiones debido a la topografía y geología, del cauce, se adoptan ejes curvos y mixtos con el fin de disminuir las excavaciones y volúmenes del material en el cuerpo de la presa o bien por cimentarla en los estratos geológicos más favorables del sitio.

Por el tipo de materiales pueden ser flexibles, rígidas, y mixtas. Las presas flexibles se forman con materiales naturales colocados en forma adecuada, para aprovechar eficazmente las características físicas particulares de cada elemento que la forman, permitiendo que estas presas se adapten a las deformaciones

naturales de esos elementos por ejemplo las construidas con adoquín, madera o gaviones

Las presas rígidas se construyen con materiales pétreos unidos con algún compuesto cementante, mediante el cual, se produce casi una masa homogénea

El tipo de presa flexible más empleado, es el llamado tipo "Indio" construido fundamentalmente de una pantalla impermeable y gaviones o enrocamiento, los otros dos tipos de presas, cimacio y alpina, generalmente se construyen con concreto o mampostería.

b) Obra de toma

Para el aprovechamiento eficiente del agua retenida por la presa es necesario construir una estructura para desviar este almacenamiento. A dicha estructura se le denomina comúnmente obra de toma, esta se deberá localizar en un lugar apropiado para evitar otras obras costosas, como túneles o cortes profundos. De preferencia, se buscará tener paralelos el eje de la obra de toma y la dirección de la corriente.

En general para el estudio de las obras de toma, se consideran las siguientes partes:

Entrada. Las estructuras de entrada en obras de toma constan principalmente de rejillas o de una combinación de rejillas y compuertas de emergencia o control. Las rejillas evitan que los sólidos flotantes atraviesen la estructura de entrada y entren a los sistemas de conducción, pudiendo afectar los mecanismos que estén instalados aguas abajo, sean válvulas de emergencia, de servicio, turbinas hidráulicas o bombas. Puede no ser necesario instalar rejillas en tomas que trabajen con descarga a canales abiertos o túneles trabajando como tales.

Conducción. El paso del agua de la toma hacia el canal de conducción puede ser a base de conductos de diferentes formas geométricas, un túnel o directamente un canal.

Salida La salida corresponde al tramo de la unión entre los conductos y el canal de conducción. Esta unión, generalmente es a base de una transición.

En el caso de irrigación, la margen en donde se localiza la toma, corresponde al lado en donde se tiene la zona de riego, pero pudiera suceder que los terrenos de cultivo se localicen en ambas márgenes del río y entonces probablemente convenga tener una bocatoma en cada margen. Esto último es siempre recomendable, ya que independiza la operación de las tomas, de acuerdo con las necesidades de los usuarios, evitando problemas de tipo social de cada margen y además, desde el punto de vista técnico, el funcionamiento del aprovechamiento es mejor

a) Estructura de limpia

La finalidad de la estructura de limpia es como su nombre lo indica, mantener libre de azolves la entrada a la obra de toma y formar un canal definido frente a ésta, evitando la entrada materiales gruesos al canal y regulando el nivel del agua

Debido a la importancia de las presas de gran magnitud, éstas se han construido principalmente con concreto y enrocamiento

Por otra parte, no es conveniente la utilización de gaviones para la construcción de presas derivadoras de gran envergadura, ya que éstas serían inestables debido al gran empuje hidrostático que actuaría en dicha presa.

Cuando las presas derivadoras se construyen a una altura no mayor de 6 00 m y para abastecer zonas de riego, los gaviones constituyen una buena alternativa para la realización de éstas (Ref 3 10)

3.1.1 Formas y componentes de una presa derivadora construida con gaviones

Debido al tamaño de las presas derivadoras y al proceso constructivo pueden tener las formas que se muestran en la Fig. 6.2.

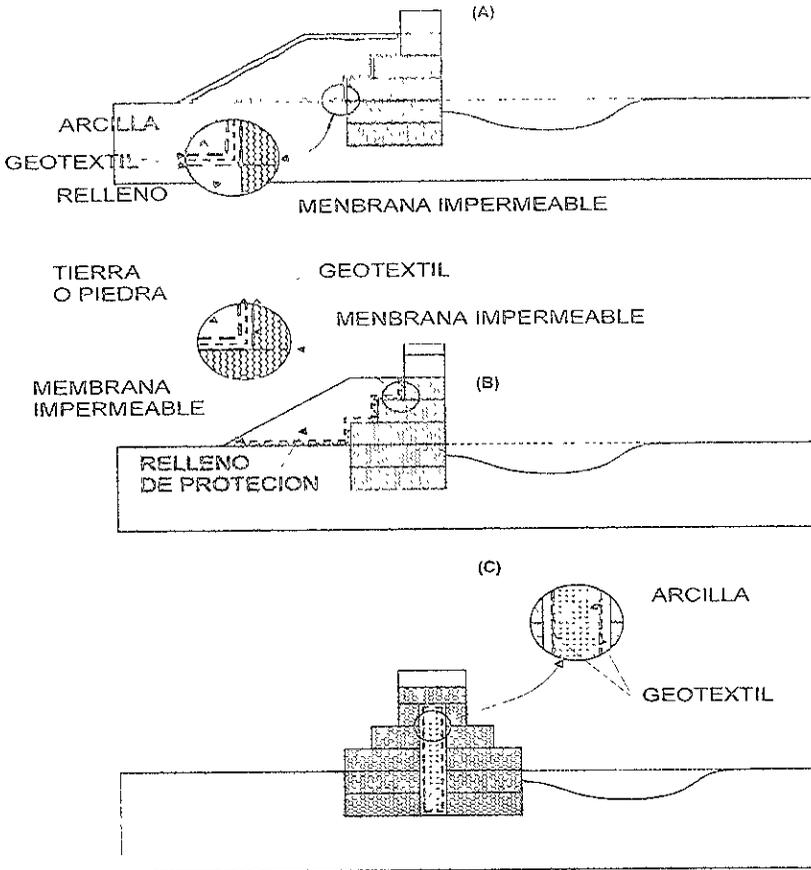


Fig 6.2. Forma de las presas construidas con gaviones

Las presas derivadoras construidas con gaviones, están formadas por los siguientes componentes:

- **Cuerpo:** su función es estructural y es la parte que resiste al empuje del agua por su propio peso o en razón de las fuerzas que descarga en el terreno. Es dimensionado básicamente en función del nivel del tirante de

agua (empuje), y de las características del suelo del fondo ver Figs 6.3 y 6.4

- Empotramiento lateral al igual que la cimentación, absorbe parte de las solicitaciones que el agua transmite a través del cuerpo de la presa, es muy importante en los ríos de montaña Son dimensionados en función del tirante de agua y de las características del terreno, ver Figs 6.3 y 6.4
- Cimentación: soporta el peso del cuerpo y absorbe parte de las fuerzas que el agua transmite a través del cuerpo Es calculada en función de las dimensiones del cuerpo, del tirante de agua, (empuje) y de las características del suelo, ver Figs. 6.3 y 6.4.
- Vertedor: su función es evacuar el agua en exceso que el embalse no puede contener; se calcula en función del gasto máximo. Debe ser protegido contra la abrasión y/o la erosión, recubriéndolo con madera o concreto ver Fig. 6.2. y Foto 6.1 a 6.3
- Alas: centralizan la caída evitando erosiones laterales, a veces es necesario dirigir el río aguas arriba con espigones para evitar su eventual rodeo, Fig. 6.3. y Foto 6.4
- Revestimiento: su función es proteger el cuerpo de la acción de las olas y eventuales corrientes que podrían erosionarlo. En general, está presente sólo en las obras de tierra o de material compactado, a veces cumple también una función impermeabilizante, se calcula en función de la altura y frecuencia de las olas, la pendiente del talud y el tipo de suelo usado en la construcción del cuerpo, ver Fig. 6.4 y 6.2 (A).

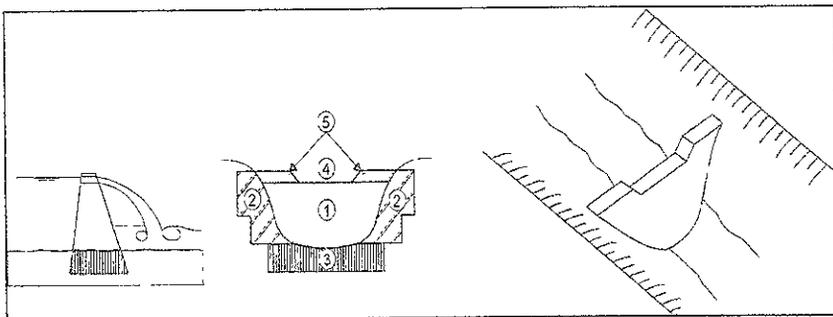


Fig 6.3 Componentes de una presa derivadora construida con gaviones.

- Pantalla impermeable: su función es interceptar al agua de filtración, en el caso de presas de tierra es ubicada dentro de la misma para evitar erosión del talud aguas abajo, en todos los casos es ubicada en el terreno de la cimentación si esta no es impermeable para evitar el sifonamiento que provoca la subpresión, ver Fig 6.4.

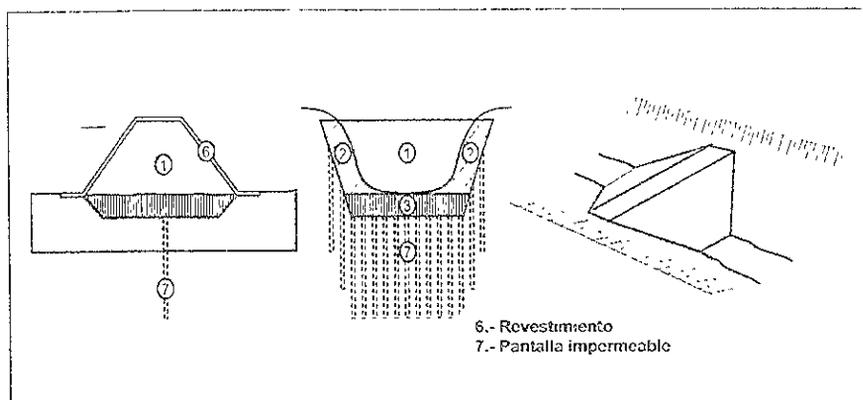


Fig. 6.4 Componentes de una presa derivadora construida con gaviones

6.1.2 Geometría de las presas derivadoras

En función de la geometría de la sección, las presas derivadoras construidas con gaviones, pueden ser divididas en tres clases

- A pared vertical. es llamada así cuando el paramento aguas abajo es vertical. En este caso el agua cae libre desde el vertedero disipando su energía en la cuenca de disipación subyacente. Muy usada en ríos angostos de montaña con transporte sólido importante, ver Fig. 6.5

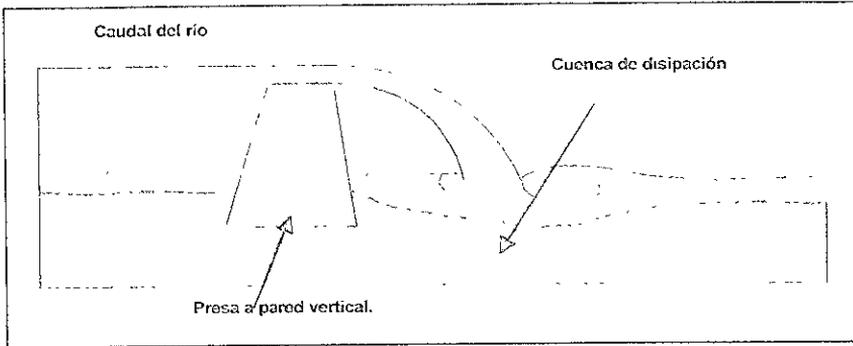


Fig. 6.5. Presa derivadora, construida con gaviones, a pared vertical

- A pared inclinada: es llamada así cuando el paramento aguas abajo es formado por una superficie inclinada. En este caso el agua corre sobre esta superficie disipando su energía en un remolino o en un salto al final del plano inclinado. Usadas especialmente en ríos de llanura con poco transporte sólido y en caso de terrenos de cimentación de mala calidad, debido a que presenta una mayor estabilidad en comparación con las de paramento vertical, ver Fig. 6.6.

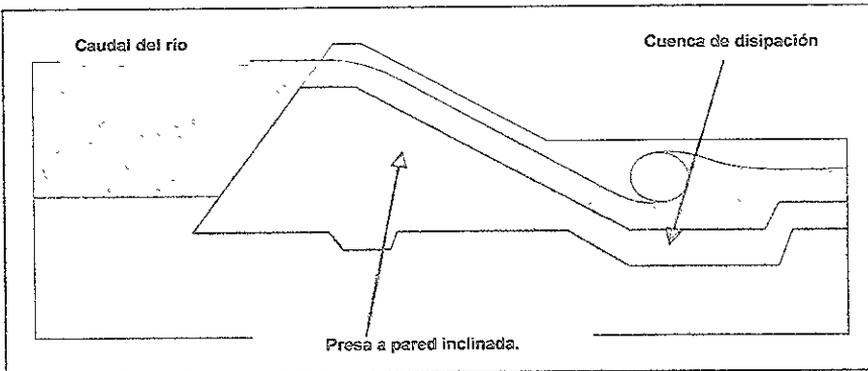


Fig. 6.6. Presa derivadora a pared inclinada.

- A pared escalonada se les llama así cuando el paramento aguas abajo es formado por una escalera en la cual el agua, saltando, disipa su energía, son usadas en ríos angostos con pequeño caudal o en caso de terrenos de cimentación de mala calidad, ver Fig. 6.7.

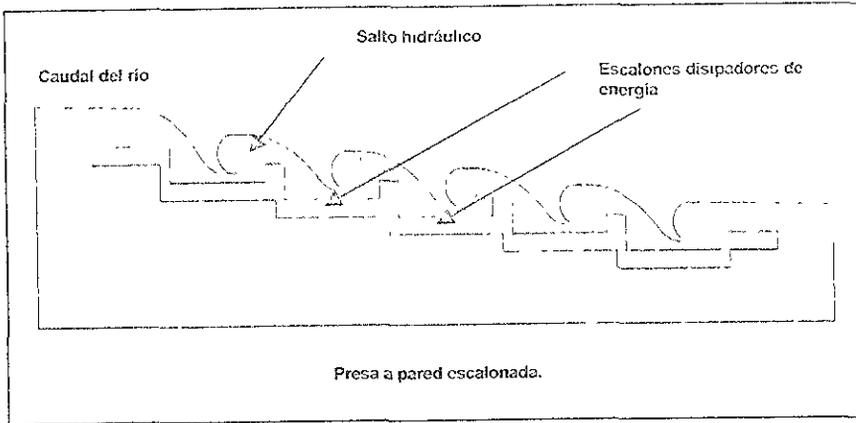


Fig. 6.7 Presa derivadora a pared escalonada.

La energía (de posición y cinética) del agua, al caer debe ser disipada, para evitar las formaciones de saltos hidráulicos y el consecuente aumento del poder erosivo del agua.

Para reducir los efectos erosivos, a menudo son utilizadas cuencas de disipación en las cuales la energía del agua es absorbida por un colchón de agua que se forma, ver Fig. 6.8; en este caso, se cuenta con un contradique para la acumulación del agua, pero la cuenca de disipación no tiene un revestimiento en la base, lo cual provoca una erosión del terreno cuando recibe los primeros impactos del escurrimiento, los que van disminuyendo conforme se forma el colchón de agua.

Dependiendo de la configuración e inclinación del cauce y de la altura de caída del agua, para conseguir la formación del colchón de agua puede ser necesario colocar aguas abajo un contradique que sobreeleve el nivel del agua garantizando la altura necesaria para la absorción del impacto del agua y el revestimiento del fondo para evitar erosiones profundas que puedan poner al descubierto las cimentación, ver Fig. 6.9.

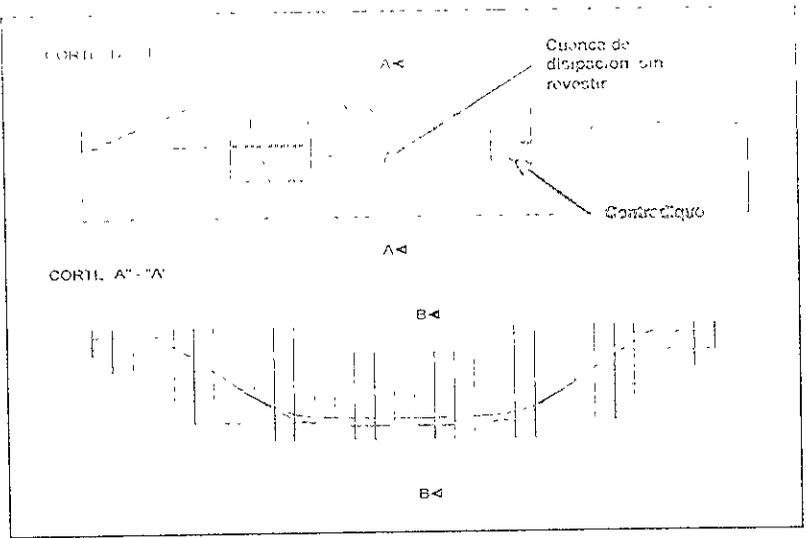


Fig 6.8. Presa de derivación con contradique y cuenca de disipación sin revestir

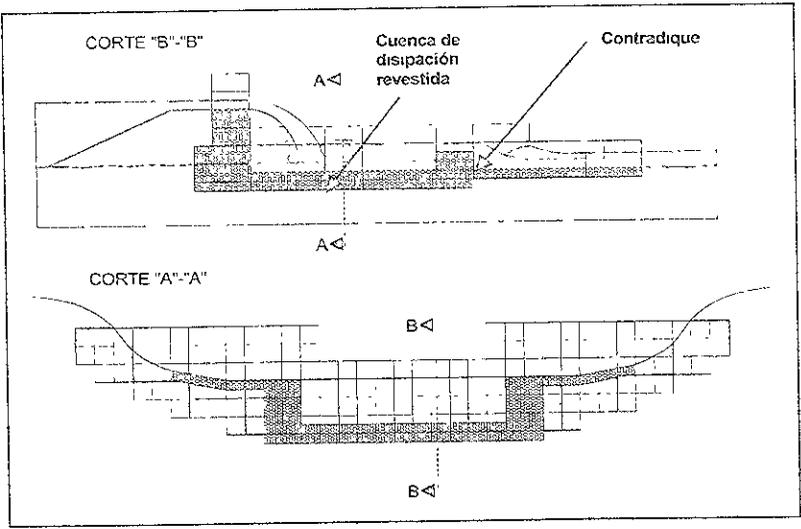


Fig. 6.9 Presa de derivación con contradique y cuenca de disipación revestida.

3.1.3 Condiciones generales

Para definir el tipo de material a ser utilizado en presas derivadoras en general intervienen varios aspectos

- Económico: costo de los materiales usados y consecuentemente costo final de la obra
- Facilidad para la construcción: disponibilidad en las cercanías de materiales y de personal que pueda realizar la obra. Acceso a la obra ya que a menudo, especialmente en el caso de ríos de montaña, no existen carreteras y el material usado no puede ser llevado en camiones
- Tiempo de construcción: es muy importante el tiempo de ejecución de la obra ya que ésta sólo se puede realizar en época de estiaje
- Social: a menudo la posibilidad de utilizar mano de obra de la población local contribuye a resolver los problemas de desempleo típicos de las regiones de montaña o del interior en general.

En el caso de usar gaviones, todas estas condiciones tienen una respuesta extremadamente positiva ya que

En el costo final de la obra, aparte de la excavación común a cualquier tipo de obra, dicho costo se reduce a los gaviones, a la mano de obra y al acarreo de piedra ya que a menudo ésta se encuentra disponible en el mismo cauce del río o en las cercanías.

Por los mismos motivos, el único material que debe ser transportado desde una distancia mayor son los gaviones.

Al usar gaviones estos entran inmediatamente en función, no es necesario esperar por ejemplo que fragüe el concreto (en caso de que fuera hecha con concreto), se puede trabajar con lluvia, una pequeña crecida difícilmente hecha a perder el trabajo realizado.

El uso de mano de obra puede ser intenso, en este caso el uso de máquinas no es tan necesario pero se puede auxiliar de ellas para hacer más eficiente el proceso de llenado, dicha mano de obra, puede ser encontrada localmente entre la población moradora de la región.

Al ser formado por cajas de red, llenadas con piedra, unidas entre sí con una costura, es posible interrumpir la construcción en cualquier momento y retomarla meses después (siempre que la parte construida pueda ya soportar el flujo del agua). De tal manera se consigue también, acompañando la evolución del curso de agua, efectuar eventuales modificaciones al diseño original.

El revestimiento Galmac de los alambres (aleación 95%zinc / 5%aluminio) garantiza una duración de la estructura de cincuenta o más años en ríos no contaminados. En caso de contaminación, será necesario utilizar un recubrimiento de los alambres en PVC para aislarlos de sustancias corrosivas.

A continuación se presentan fotografías de algunas presas construidas con gaviones



Foto 6.1 Construcción de una presa derivadora con gaviones y vertedor de sección trapecial, en Brasil.



Foto 6.2 Construcción de una presa derivadora con gaviones y vertedor de sección compuesta, en Cabo Verde, Sudáfrica



Foto 6.3. Construcción de una presa derivadora con gaviones y vertedor revestido con madera en Italia.

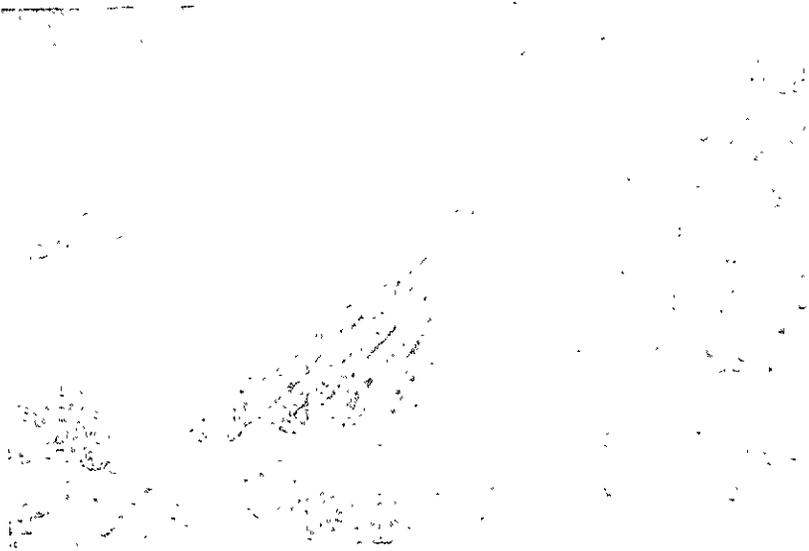


Foto 6.4. Construcción de una presa derivadora con empotramientos laterales y contradique revestido, a base de gaviones, en Canadá

3.2 Ataguías

El hombre siempre ha buscado controlar los ríos para abastecerse de agua, utilizar el agua como fuerza motriz o para protegerse de las inundaciones

Por esto a menudo tuvo que interceptar al agua para almacenarla o desviarla, más tarde, por la necesidad de controlar la erosión y el consecuente transporte de sedimentos que en general favorecen las inundaciones, los habitantes de las localidades ribereñas empezaron a usar este tipo de obras para reducir la velocidad del agua y el volumen de material acarreado por la corriente.

A tal fin, imitando fenómenos naturales (derrumbes que caían en el cauce de un río) o realizaciones de animales (diques formados por los castores), empezó a obstaculizar el flujo de la corriente utilizando para tal fin el material que tenía a disposición: piedras, tierra y ramas.

Un ataguía es un muro provisional para proteger del agua la zona en donde se vaya a construir alguna estructura de protección, almacenamiento o derivación, (presas, espigones, revestimientos, etc.), Foto. 6.5.



Foto 6.5. *Construcción de una ataguía en su etapa inicial*

6.2.1 Finalidad de las Ataguías

La intensidad de los caudales, la dimensión y cantidad del material de arrastre y la erosión del río, están directamente relacionados con la intensidad y frecuencia de las lluvias, la pendiente del terreno y la composición geológica de los cauces. Por este motivo, para modificar uno de estos valores de salida (intensidad de los caudales, erosión del río, cantidad de material de arrastre), hay que intervenir en alguno o varios de los valores de entrada (lluvia, pendiente del terreno y geología del cauce).

Una de las maneras más tradicionales, simples y relativamente económica, es crear obstáculos transversales, Ataguías. La presencia de la Ataguía, en general, provoca, aguas arriba: el aumento del nivel y consecuentemente el almacenamiento del agua, la reducción de la pendiente del fondo, la reducción de la velocidad del flujo y la sedimentación del material de arrastre. Aguas abajo: de la ataguía la concentración de la disipación de energía es menor en un trecho breve en el cual es más fácil controlarla, así como la reducción del material de arrastre y eventualmente la reducción de las crecidas. (Ref. 6: 65)

Generalmente se construyen a lo ancho de un río para evitar el paso del agua y llevar a cabo la construcción de la obra.

En la fotografía 6.6. se muestra la construcción de una ataguía a lo ancho de un río para realizar, aguas abajo, trabajos de construcción en un lugar casi seco.



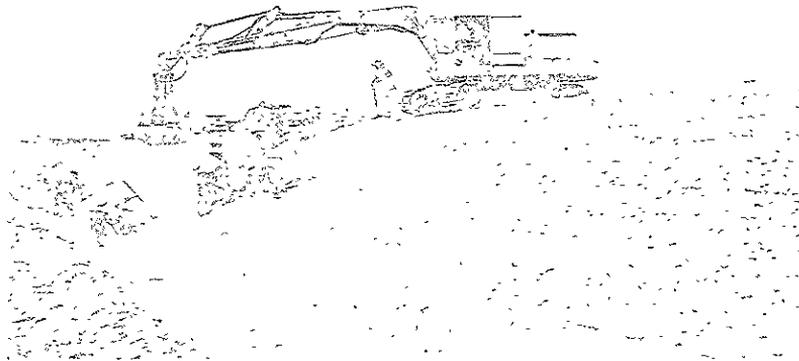
Foto 6.6. Construcción de una ataguía para retener el agua mientras se realizan los trabajos de construcción aguas abajo del río.

Por lo general las ataguas se diseñan para que puedan desmontarse fácilmente y poder ser utilizadas de nuevo ya que la mayoría de las veces sólo son provisionales, por lo que los factores de seguridad pueden ser pequeños cuando no están en agua y cuando lo están, se debe de tomar en cuenta el empuje hidrostático del agua y el impacto de las olas

Capítulo 7

REVESTIMIENTO DE CANALES

En ocasiones los gaviones tipo colchón son utilizados para revestir o encauzar una corriente o bien para el revestimiento de las orillas y fondo de un canal. Fotos 7.1 Y 7.2 Para el caso de un revestimiento, independientemente del material con que se construya, este debe cumplir con las condiciones de estabilidad y seguridad en su conjunto. Para esto es necesario seguir un procedimiento de cálculo mediante el cual, al diseñar el revestimiento, sean consideradas todas las variables que intervengan en el diseño. Lo anterior es con el fin de llegar a obtener la mejor solución posible del problema.



Fotos 7.1 y 7.2.- *Revestimiento de canales a base de gaviones tipo colchón, con la ayuda de equipo mecánico*

7.1 Procedimiento de cálculo para el revestimiento de un canal.

El diseño del revestimiento de un canal con gaviones tiene como objetivos:

- reducción de las pérdidas de agua del canal
- mejorar la estabilidad de los taludes
- defender contra la erosión
- obtener paredes con rugosidad predeterminada

A continuación se describe el procedimiento de cálculo, para el diseño de un revestimiento con gaviones

1 - Datos la forma y ancho de la sección (rectangular, trapezoidal o compuesta), el gasto máximo (Q), la curva granulométrica, peso específico de la roca que se usa para el llenado de los gaviones y la pendiente S

2 - Se calcula el coeficiente de rugosidad con la ayuda de la Tabla 7.1 o bien con la ecuación siguiente:

$$n = \frac{(D_{90})^{1/6}}{26} \quad [0]$$

donde

D_{90} se obtiene de la curva granulométrica en metros

3.- Se calcula el área, el perímetro mojado, el radio hidráulico y ancho de la superficie libre en función del tirante (A, P, R_H y B)

4 - Se usa la ecuación de Manning para calcular el tirante usando la ecuación siguiente:

$$\frac{Qn}{S^{1/2}} = AR_H^{2/3}$$

donde el valor de A y R_H son función del ancho y del tirante, como el ancho se conoce, se calcula el tirante por iteraciones.

5.- Conocido el tirante se calcula la velocidad del flujo con

$$V = \frac{1}{n} R_H^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{m/s})$$

Con la velocidad del flujo y el tipo de suelo, sobre el que se va a colocar el gavión y con la ayuda de la Tabla 7.2, se selecciona el espesor del gavión.

6.- Se calcula el número de Froude con la siguiente ecuación o con ayuda de la Fig. 7.1

$$F = \frac{1.49 R^{2/3} S}{B}$$

donde

Y es el tirante hidráulico e igual a $\frac{1}{B}$, A es el área hidráulica

B es ancho de superficie libre en metros. Si el $F > 1$ la corriente es rápida, y si el $F < 1$ la corriente es lenta. (Ref 2 87 84)

ACABADOS	n
1. Concreto, en conductos cerrados, funcionando parcialmente llenos	
Cimbra de acero, sin acabado	0.0130
Cimbra de madera, sin acabado	0.0140
2. Concreto, en canales excavadas a ciclo abierto	
Acabado con llana metálica	0.0130
Acabado con llana de madera	0.0150
Sin acabar	0.0170
3. Fondo de concreto, acabado con llana de madera y taludes	
Mampostería juntas y aplanada con mortero	0.0200
Mampostería seca o a volteo	0.0300
4. Fondo y taludes de mampostería	
Junteada con mortero	0.0250
Sin juntear	0.0320
5. Canales revestidos con gaviones tipo colchoneta rellenos con material bien seleccionado y puestos en obra con mucho cuidado	0.0222
6. Canales revestidos con gaviones tipo colchoneta rellenos con material bien seleccionado y puestos en obra sin mucho cuidado	0.0250
7. Canales revestidos con gaviones tipo colchoneta rellenos con material de cantera no seleccionado y colocado a volteo	0.0270
8. Canales revestidos con gaviones rellenos con material bien seleccionado y puesto en obra muy cuidadosamente	0.0260
9. Canales revestidos con gaviones rellenos con material no seleccionado y puesto en obra sin mucho cuidado	0.0285
10. Canales en tierra en malas condiciones de mantenimiento: presencia de vegetación en el fondo y en las orillas, o depósitos irregulares de piedras y de grava, o profundas erosiones irregulares. Canales en tierra realizados con excavadoras y sin mantenimiento	0.0303

Tabla 7.1 Valores de la n de Manning para diferentes acabados. (Ref 2 17).

Velocidad de flujo (m/s)	2.00	3.00	4.50	6.00	8.00
Tipo de suelo	Espesor del gavión en m				
Árcila, suelo cohesivo duro	0.17	0.23	0.30		
Limo, arena fina	0.23	0.30			
Guijarros con grava	0.17	0.17	0.20	0.23	0.30

Tabla 7.2 Espesor recomendado para los gaviones, según Kinon y Mevorach (1964)

7.- Conocido el F y el D_m (diámetro medio de las partículas de relleno que se obtiene de la curva granulométrica), se usa la figura 1 para obtener la velocidad crítica V_c con la cual se inicia el movimiento, luego se compara con la que lleva el escurrimiento (calculada en el paso 5), si $V < V_c$ no hay movimiento de las piedras y si $V > V_c$ hay que cambiar el espesor del gavión. (Ref 2.8)

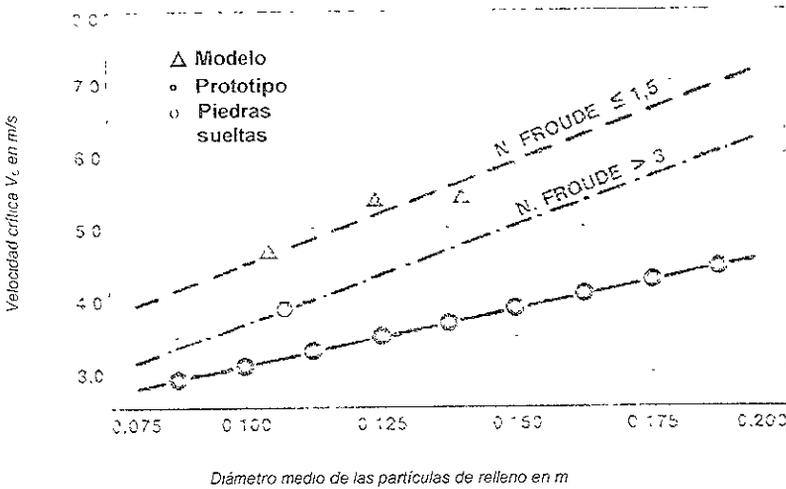


Fig 7.1 Gráfica para obtener la velocidad crítica V_c (Ref 11.8)

8.- Se calculan los esfuerzos cortantes sobre el fondo que provocan el escurrimiento τ_b y el crítico τ_{bc} , (Ton / m^2), dados por

$$\tau_b = \gamma_v R_H S$$

$$\tau_{bc} = \tau_* (\gamma_s - \gamma_a) D_m$$

donde

γ_s es el coeficiente de Savelis para medio del movimiento de las partículas y vale 0.047 para arcilla o 0.10 para gravilla, γ_w peso específico de las partículas con que se rellenan los gaviones en Kg/m³ ver Fig 7.2.

9 - Se calculan los esfuerzos cortantes sobre las orillas que provocan el escurrimiento y el crítico dados por

$$\tau_s = 0.75 \gamma_s R_s S$$

$$\tau_{sc} = \tau_{sc} \frac{1 - \sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$$

donde

θ es el ángulo de inclinación de la orilla y ϕ el ángulo de reposo del material

10 - Si $\tau_h < \tau_{sc}$ y $\tau_s < \tau_{sc}$ el revestimiento es estable y no hay deformación, en caso de no cumplir la condición, se producirá una deformación la cual deberá ser verificada

11 - Se calcula el parámetro $\frac{\Delta Z}{D_m}$ para ver el grado de deformación, para ello se utilizan las dos expresiones siguientes

Para el fondo
$$\tau_s = \frac{\tau_h - \tau_{hc}}{(\gamma_s - \gamma_w) D_m}$$

Para la orilla
$$\tau_{sc} = \frac{\tau_s - \tau_{sc}}{(\gamma_s - \gamma_w) D_m}$$

Con la ayuda de la Fig. 7.2 y de τ_s y τ_{sc} , se obtiene $\frac{\Delta Z}{D_m}$ y se dice que la

deformación es aceptable si se cumple que $\frac{\Delta Z}{D_m} \leq 2 \left(\frac{e}{D_m} - 1 \right)$. (Ref 2 85)

donde

e es el espesor del gavión en metros

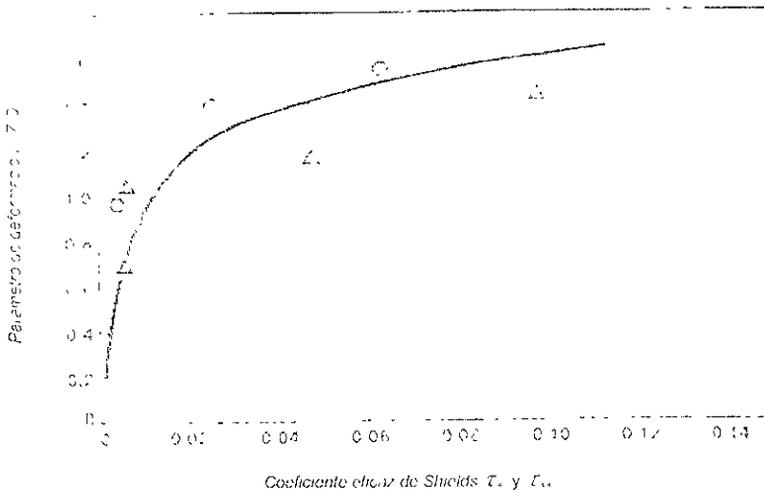


Fig 7.2 Valores del coeficiente de Shields (*Ref 11.33*)

En caso contrario, la deformación es excesiva y se tiene que volver a empezar el cálculo aumentando el espesor del gavión y el tamaño de las piedras de relleno.

12- Si $\tau > 1.2 \tau_m$ y $\tau_c > 1.2 \tau_{c,m}$ el revestimiento no es apto y se debe comenzar nuevamente el cálculo, aumentando el espesor del gavión, y el tamaño de las piedras

13- Se calcula la velocidad que se tiene por debajo del gavión con la ecuación siguiente:

$$V_n = \frac{1}{n_f} \left[\frac{D_m}{2} \right]^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{m/s})$$

donde

n_f es el coeficiente de rugosidad del fondo donde se asienta el gavión, ver *Tabla 7.1*

14.- Se calcula la velocidad que resisten las partículas del fondo. Para suelos no cohesivos se tiene que

$$V_e = 16.1 (D_{50})^{1/2} \quad (\text{m/s})$$

donde

D_{50} corresponde al material del fondo. (*Ref 2.85*)

Para suelos cohesivos se usa la *Fig. 7.3. (Ref 11.34)*

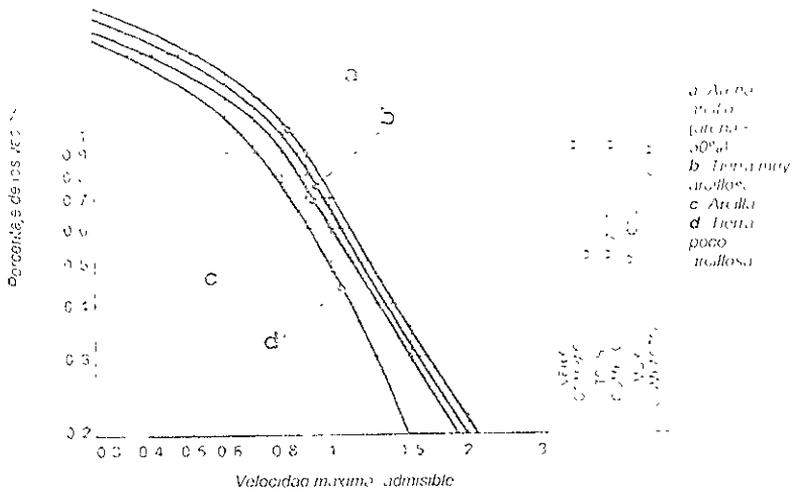


Fig 7.3 Valores de las velocidades máximas admisibles para los terrenos cohesivos

15- Se hace una comparación entre V_b y V_c

Si $V_b > V_c$, se necesita disminuir el tamaño de las piedras de llenado del gavión, o bien colocar un filtro, el cual puede ser por ejemplo un geotextil. Este filtro debe tener por lo menos un espesor de 15 a 20 cm y debe ser mayor o igual que

$$e' = \frac{D_1}{f} \left[1 - \left(\frac{V_c}{V_b} \right)^2 \right]$$

donde

f es el coeficiente de Darcy-Weisbach, que para el caso de gaviones es igual a 0.05.

D_1 es el diámetro equivalente de los vacíos (Ref 2 86)

En las canalizaciones el uso de gaviones presenta grandes ventajas con respecto a los diferentes tipos de materiales que comúnmente se utilizan, por ejemplo, si se utilizaran losas de concreto que estén apoyadas sobre un terreno blando y húmedo se fracturarán fácilmente al fallar su cimentación, en cambio los gaviones pueden sufrir asentamientos diferenciales grandes pero quedan en condiciones de seguir trabajando satisfactoriamente.

Por otra parte, el usar este tipo de revestimiento tiene la enorme ventaja de ser reparado rápidamente y con un costo mínimo en el caso de que una malla se rompa, ya que solo bastará con coser la malla averiada con alambre del mismo calibre (el mismo que se utiliza para coser gaviones); otra ventaja que presentan

Los gaviones son que todos están unidos entre sí y forman un solo elemento que presenta gran resistencia al arrastre que provoca la corriente.

El espesor del revestimiento depende del tipo de material de que están constituidos el fondo y las orillas, la velocidad del flujo, etc., también intervienen la pendiente y el alineamiento del canal (un espesor de 30 cm es adecuado en tramos rectos y de 50 cm en secciones curvas y en zonas donde los taludes estén inclinados más de 45°. Si el radio hidráulico es mayor de 1.5 m se recomienda utilizar un valor constante de $n = 0.025$ si el material de relleno del gavión tiene un tamaño que varía entre los 8 y 15 cm.

7.2 Ejemplo de diseño para el revestimiento de un canal, utilizando el programa MAC.R.A. 1

Como se puede apreciar el procedimiento que se sigue para diseñar un revestimiento es tardio y tedioso ya que se requieren hacer muchos cálculos e iteraciones; por lo que hoy en día, se puede auxiliar de algún software para computadora que agiliza los cálculos y permite un análisis de diferentes opciones para obtener así la mejor solución. En este caso para el ejemplo que a continuación se presenta, se utilizara el programa MAC R A. 1 (Ref 27)

7.2.1 Problemática

El lugar en donde se presentó el problema, se encuentra en el tramo de la carretera internacional Km 0+380 al 0+500 León Guanajuato – Lagos de Moreno Jalisco.

Hace algunos años, durante la época de lluvias, en este tramo de la carretera se formó una corriente natural que servía para conducir la acumulación de aguas pluviales, que escurrían de la carretera y del poblado

En algún tiempo debido a la sequía no se producían escurrimientos, esto hizo que la gente del lugar utilizara esta zona como un basurero clandestino. Más tarde, el gobierno del estado, construyó un pequeño relleno sanitario en esa zona (que no cumplía con las normas sanitarias).

Durante la época de lluvias se produjeron escurrimientos, los cuales volvieron a formar la corriente original dentro del relleno, (junto al talud de la carretera), por lo que las autoridades se vieron en la necesidad de construir un canal en esa zona.

Por falta de planeación y al no haber una supervisión, en su momento, este canal se construyó sobre una capa de basura y una pequeña capa de tepetate, dicha construcción se realizó con muros de mampostería y un revestimiento en la base con concreto hidráulico

Al llegar la época de lluvias se produjo una fuerte tromba que provocó un empuje hidrostático en uno de los muros adicional al que era producido por la basura. Además de esto, el muro no contaba con un sistema de drenaje, lo que causó la falla del mismo, empujándolo hacia el cauce del canal y quedando obstruido el paso del escurrimiento, como se muestra en la Foto 7.3.

Los hechos anteriores dieron paso a realizar una propuesta diferente para encauzar y revestir el canal de una manera más adecuada. En este caso se propuso realizar un revestimiento del canal con gaviones tipo colchón en la base y con gaviones tipo caja en los costados.



Foto 7.3 Derrumbe del muro, provocado por el empuje del agua y la basura, hacia el cauce del canal.

La Fig. 7.4 ejemplifica una sección representativa del canal a diseñar.

☐ : tramos en que se divide la estructura para su análisis.

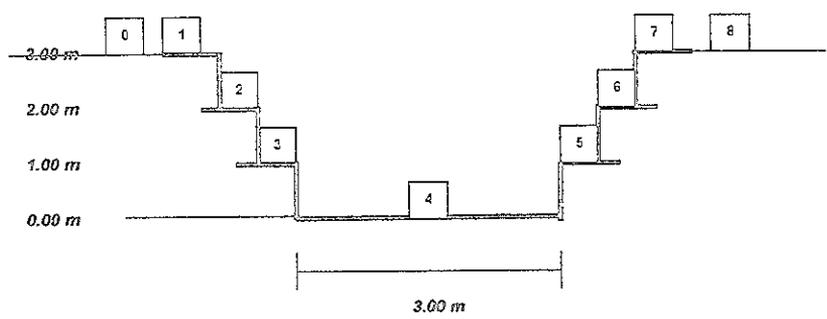


Fig. 7.4 Sección del canal a revestir.

Cada tramo debe tener bien definido los siguientes parámetro:

Cada tramo debe tener bien definido los siguientes parámetros

Gasto (Q) = 10 m³/s
Pendiente (i) = 0.1 %

Tramo 0

Altura del tramo 0 (H) = 3.00 m
Pendiente (y / x) = 0 / 1

Tamo 1:

Altura del tramo 1 (H) = 1.00 m
Pendiente (y / x) = 1 / 0.05
Longitud del tramo 1 = 2.0 m

Tamo 2:

Altura del tramo 2 (H) = 1.00 m
Pendiente (y / x) = 0 / 1
Longitud del tramo 2 = 0.50 m

Tamo 3

Altura del tramo 3 (H) = 0.00 m
Pendiente (y / x) = 1 / 0
Longitud del tramo 3 = 1.00 m

Tamo 4:

Altura del tramo 4 (H) = 0.00 m
Pendiente (y / x) = 0 / 1
Longitud del tramo 4 = 3.00 m

Tamo 5:

Altura del tramo 5 (H) = 0.00 m
Pendiente (y / x) = 1 / 0
Longitud del tramo 5 = 1.00 m

Tramo 6:

Altura del tramo 6 (H) = 1.00 m
Pendiente (y / x) = 0 / 1
Longitud del tramo 6 = 0.50 m

Tramo 7:

Altura del tramo 7 (H) = 1.00 m
Pendiente (y / x) = 1 / 0.05
Longitud del tramo 7 = 2.0 m

Tramo 8:

Altura del tramo 8 (H) = 3.00 m
Pendiente (y / x) = 0 / 1

Se propone un solo tipo de gavión colchon para a loaves máximas de la base de 50 cm de espesor

Se propone gavión tipo caja para los taludes de 1.0 x 1.0 x 2.0 m

Se propone un filtro geotextil, para evitar la fuga de finos en los taludes y la socavación del fondo del canal

Se utilizará una rugosidad (n) de 0.03 para los taludes y la base

A continuación se presentan los resultados obtenidos con el programa MAC RA 1

TABLA DE RESULTADOS

PROGRAMA UTILIZADO: MAC. R.A. 1

RESULTADOS HIDRAULICOS

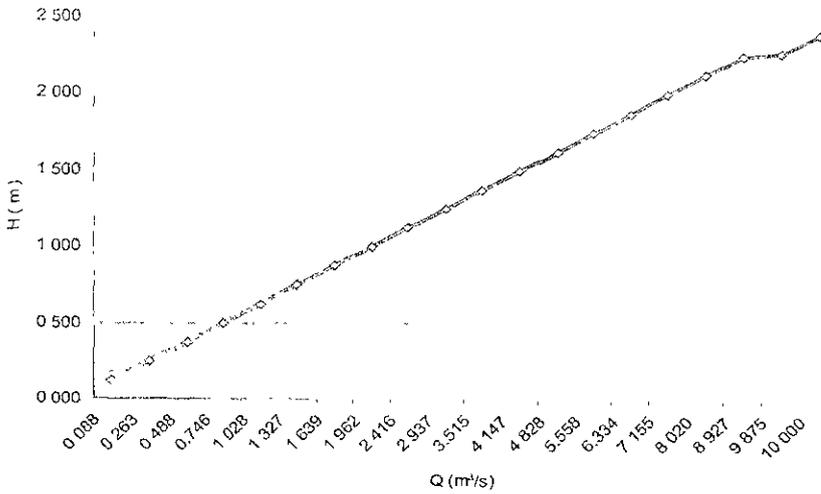
Gasto	Q	10	m ³ /s
Pendiente	I	0.08	[0]
Peso específico del agua ;w		1000	Kg/m ³
Altura del agua	H	2.39	m
Área	A	8.71	m ²
Perímetro mojado	Pm	8.79	m/s
Radio hidráulico	Rh	0.991	m/s
Número de froude	Fr	0.255	[0]
Velocidad media	Vm	1.15	m/s

TABLA DE GASTOS

H	A	Pm	Rh	Vm	Q
(m)	(m ²)	(m)	(m)	(m/s)	(m ³ /s)
0.125	0.375	4.126	0.091	0.236	0.088
0.25	0.75	4.251	0.176	0.351	0.263
0.375	1.125	4.376	0.257	0.434	0.488
0.5	1.5	4.501	0.333	0.497	0.746
0.625	1.875	4.626	0.405	0.548	1.028
0.75	2.251	4.751	0.474	0.59	1.327
0.875	2.626	4.876	0.539	0.624	1.639
1	3.001	5.001	0.6	0.654	1.962
1.125	3.502	6.253	0.56	0.69	2.416
1.25	4.006	6.503	0.616	0.733	2.937
1.375	4.512	6.754	0.668	0.779	3.515
1.5	5.02	7.005	0.717	0.826	4.147
1.625	5.531	7.256	0.762	0.873	4.828
1.75	6.044	7.507	0.805	0.92	5.558
1.875	6.559	7.757	0.846	0.966	6.334
2	7.077	8.008	0.884	1.011	7.155
2.125	7.597	8.259	0.92	1.056	8.02
2.25	8.119	8.51	0.954	1.099	8.927
2.275	8.644	8.761	0.987	1.142	9.875
2.5	9.171	9.011	1.018	1.185	10.864

GRAFICA Q vs H
 PROGRAMA UTILIZADO: MAC R.A. 1

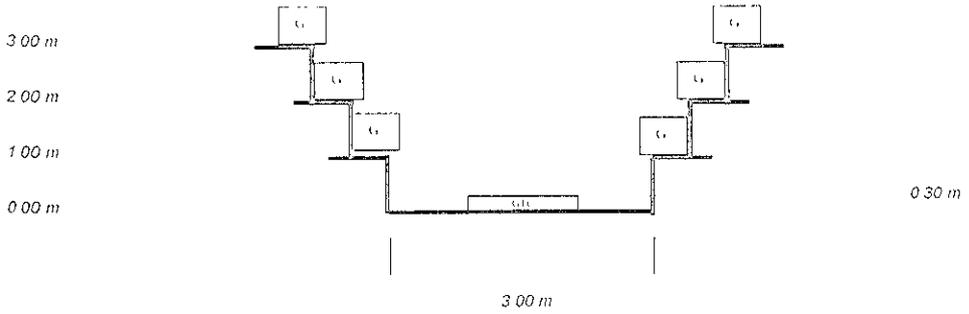
Escala de Gastos Q vs H



H (m)	A (m ²)	Pm (m)	Rh (m)	Vm (m/s)	Q (m ³ /s)
0.125	0.375	4.126	0.091	0.236	0.088
0.250	0.750	4.251	0.176	0.351	0.263
0.375	1.125	4.376	0.257	0.434	0.488
0.500	1.500	4.501	0.333	0.497	0.746
0.625	1.875	4.626	0.405	0.548	1.028
0.750	2.251	4.751	0.474	0.590	1.327
0.875	2.626	4.876	0.539	0.624	1.639
1.000	3.001	5.001	0.600	0.654	1.962
1.125	3.502	6.253	0.560	0.690	2.416
1.250	4.006	6.503	0.616	0.733	2.937
1.375	4.512	6.754	0.668	0.779	3.515
1.500	5.020	7.005	0.717	0.826	4.147
1.625	5.531	7.256	0.762	0.873	4.828
1.750	6.044	7.507	0.805	0.920	5.558
1.875	6.559	7.757	0.846	0.966	6.334
2.000	7.077	8.008	0.884	1.011	7.155
2.125	7.597	8.259	0.920	1.056	8.020
2.250	8.119	8.510	0.954	1.099	8.927
2.275	8.644	8.761	0.987	1.142	9.875
2.391					10.000
2.500	9.171	9.011	1.018	1.185	10.864

Nota - Los valores marcados en color rojo son los valores propuestos

SECCION TRANSVERSAL Y TIPO DE MATERIAL
PROGRAMA UTILIZADO: MAC RA 1



G	Gabi3n
GTC	Gabi3n tipo colch3n

En las siguientes fotos se muestran las etapas del proceso constructivo para el revestimiento del canal



Foto 7.4 En esta foto se muestra la construcción de los taludes con gaviones caja, de la obra localizada en Guanajuato, México.

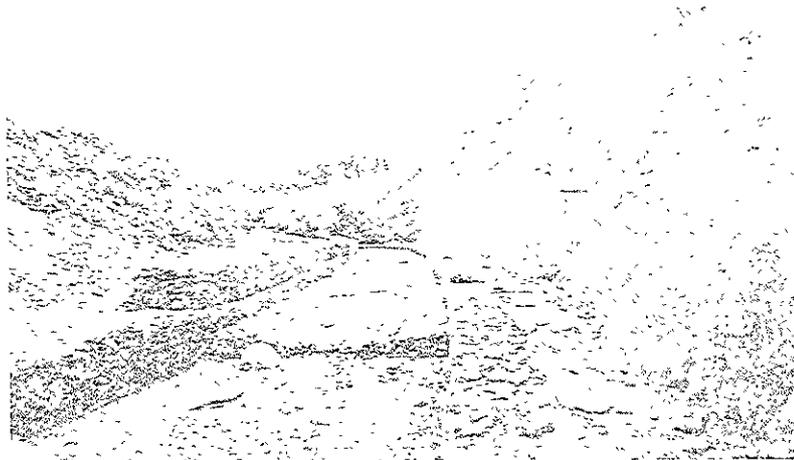


Foto 7.5. En esta foto se muestra el revestimiento de la base y la colocación de los primeros gaviones en los taludes, de la obra localizada en Guanajuato, México

El uso de este tipo de software permite obtener diferentes soluciones al tratar con diversos escenarios, es decir, basta con cambiar alguna característica, ya sea del gavión o hidráulica, para obtener la solución más adecuada que proporciona el programa. En este caso, dicha solución resultó ser la colocación de gaviones tipo caja de 1.0 x 1.0 x 2.0 m, en los costados (márgenes), y gaviones tipo colchon de 30 cm de espesor en el fondo del cauce, ya que esta cumplió con los requisitos que se establecieron en el diseño, reflejándose a la fecha en el funcionamiento de la obra.

Capítulo 8

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE GAVIONES EN OBRAS HIDRAULICAS

Las obras hidráulicas construidas con gaviones tienen algunas ventajas sobre otros métodos de construcción conocidos, sin embargo, estos presentan desventajas que se pueden corregir o prevenir a un bajo costo

8.1 Ventajas

Es fácil comprender por qué las estructuras de gaviones tienen un gran empleo ya que poseen las siguientes ventajas

- *Flexible*
No colapsan sin previo aviso
No requieren de cimentaciones profundas
Se adaptan a los movimientos y asentamientos diferenciales del terreno
- *Permeable*
Abate el empuje hidrostático
Sanear el terreno limítrofe
Permiten el flujo de agua
- *Monolítica y continua*
Apta para resistir cualquier sollicitación
- *Ecológica*
Reestablece y se integra rápidamente en el ambiente natural
El llenado de piedras y la capa de vegetación que recubre la estructura aumentan su duración
- *Facilidad de construcción*
No requieren de mano de obra calificada
Módulos de pequeño volumen
- *Versatilidad*
Pueden instalarse en presencia de agua y en condiciones climáticas adversas.
Pueden ser construidas en sitios de difícil acceso
Permiten la construcción por etapas
Son de rápida instalación y de inmediato funcionamiento
- *Impacto social*
Utilizan mano de obra del lugar
Pueden absorber gran cantidad de mano de obra

3.2 Desventajas

Estas obras se ven afectadas por las primeras crecidas, las mismas que traen consigo alto grado de material en suspensión (arena, piedras de grandes dimensiones, árboles, sustancias corrosivas, etc)

Dentro de los principales tipos de deterioros que pueden ocurrir en las estructuras en gaviones son:

- *Impacto mecánico.* Dependiendo de las características físicas, los ríos transportan diferentes tipos de materiales (piedras de varios tamaños, árboles, etc.). Las estructuras sufren muchas veces, fuertes impactos de estos materiales de arrastre en suspensión, lo que puede ocasionar daños en la malla del gavión, como se muestra en la Foto 8.1 y Figura 8.1.



Foto 8.1. Impacto mecánico provocado por materiales de arrastre en suspensión

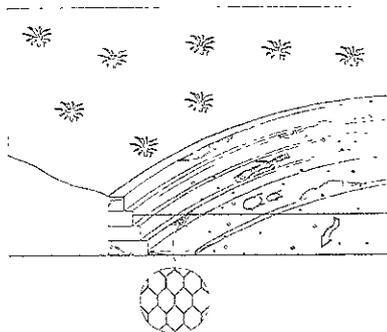


Fig. 8 1 Impacto mecánico provocado por materiales de arrastre en suspensión

- **Abrasion** Causada por el constante desgaste por fricción directa entre partículas sólidas en suspensión, (arena, grava, etc) y la malla del gavión, como se muestra en la Foto 8.2 y Figura 8.2

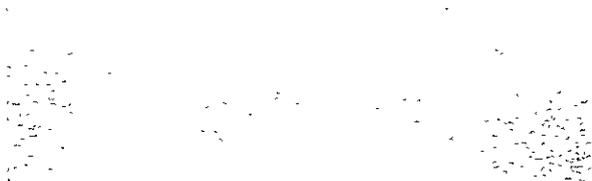


Foto 8.2 Abrasión causada por la fricción de las partículas sólidas en suspensión



Fig 8.2. Abrasión causada por la fricción de las partículas sólidas en suspensión.

- **Corrosión**. Es el proceso químico provocado, en la malla del gavión, por la presencia de aguas corrosivas o contaminadas, como se muestra en la Foto 8.3 y Figura 8.3.

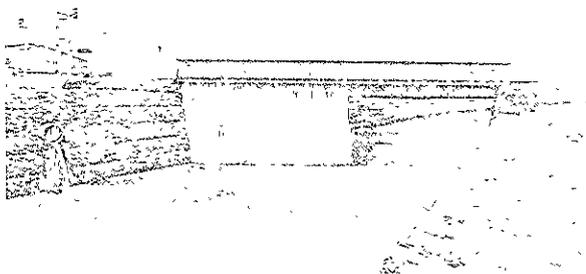


Foto 8.3 Corrosión provocada por presencia de aguas contaminadas.

8.3 Medidas preventivas para reducir las desventajas

A continuación se presentan algunas sugerencias para la protección de obras en gaviones, especialmente aquellas que se encuentren en lechos de ríos, quebradas y otros.

8.3.1 *Rodillos de madera.* Los rodillos de madera constituyen una protección bastante eficaz y económica para evitar daños en la malla del gavión, ocasionados por el fuerte impacto de materiales gruesos contra la estructura, ver Foto 8.7.



Foto 8.7 Rodillos de madera para la protección de un espigón de asta simple

El espacio libre entre un rodillo y otro, es relleno por un material granular (grava, arena), el mismo que posteriormente se constituye en una protección adicional a los rodillos. Este tipo de protección se define como un sistema ondulatorio o acanalado, donde los rodillos son los que reciben el impacto.

Este tipo de protección, no quita las principales características de los gaviones, como es la flexibilidad, permeabilidad y otros; permitiendo de esta manera que los rodillos se acomoden o acompañen a las deformaciones del gavión.

Para fijar los rodillos en los gaviones es necesario abrir un canal cada 15 o 20 cm, de acuerdo al tamaño del rodillo, esto con el propósito de proteger el alambre de amarre (el mismo utilizado en los gaviones), que fijará el rodillo con la estructura.

El espaciamiento entre rodillos generalmente es de 10 a 12 centímetros tanto en forma vertical como horizontal, pudiéndose optar también por un mayor espaciamiento de acuerdo al tipo de material de arrastre (o tamaño de piedras).

Se recomienda que los rodillos estén ubicados en sentido longitudinal a la plataforma de deformación y en sentido transversal al largo de los gaviones. De esta manera, no quita la flexibilidad de la estructura, Figura 8.4.

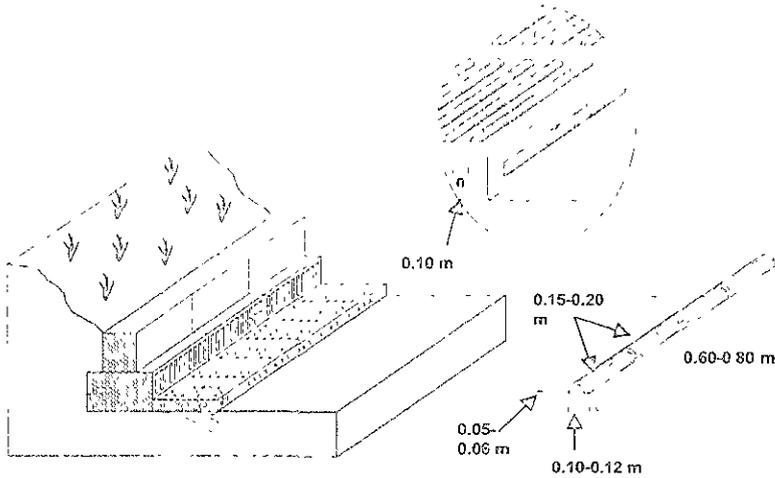


Fig 8.4 Rodillos de madera para proteger la malla del gavión.

Para el tipo de madera no existe restricción pues se puede utilizar cualquier tipo disponible en el lugar de la obra. Se recomienda utilizar, siempre que sea posible, las que presentan una buena resistencia y puede ser fresca o seca. Dependiendo de la intensidad y frecuencia de los impactos que estos sufren, es la duración de los rodillos de madera.

En general, cuando la madera está prácticamente deteriorada la estructura ya ha alcanzado las metas proyectadas, como ejemplo, el encauzar un río y el gavión se ha integrado al ambiente. Al mismo tiempo, se consigue que se cree una nueva capa de protección encima de los rodillos con el propio material de arrastre el cual fortalece la estructura.

Los rodillos de madera tienen aplicaciones en:

Obras longitudinales (revestimientos marginales)

Presas derivadoras y diques marginales

Espigones

Ataguías

Muros de contención

En los espigones y obras longitudinales, protegen la plataforma de deformación y las primeras hileras de gaviones, que quedan más expuestas al choque del material de arrastre

En los muros de contención son utilizados para proteger la malla de la caída de piedras de los taludes

En presas derivadoras, sirven para la protección de los vertedores y en el revestimiento de las cuencas de disipación.

Esta protección consiste en una sobreposición de las maderas formando celdas cuadradas, donde en el interior de estas se deposita el material de arrastre. La protección se efectúa en toda la base del vertedor.

Este material confinado conjuntamente con la madera servirá de protección a la estructura (vertedor)

La protección antes mencionada, empezará a funcionar inmediatamente se origine la primera crecida que permita el relleno de las celdas vacías con el material de arrastre, Figura 8.5.

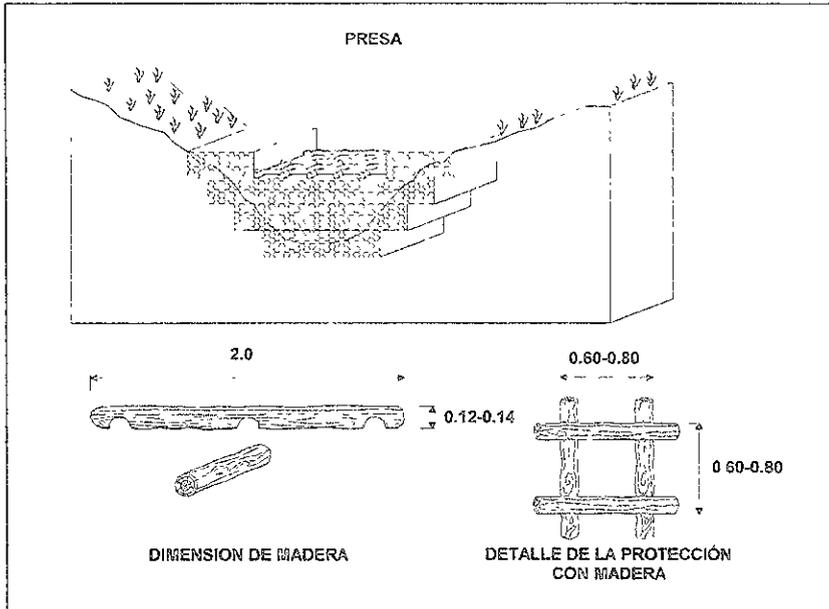


Fig. 8.5. Protección de vertedor en una presa, con rodillos de madera.

8.3.2 Protección con arbustos

La protección con arbustos o ramas, es otra forma de proteger la malla del gavión. Esta se efectúa unos días antes de las primeras crecidas del río, la misma que consiste en colocar pequeños arbustos en toda la parte delantera de la obra al pie de la estructura con el objetivo de amortiguar el impacto del material de arrastre contra la malla del gavión. Los arbustos son fijados en la malla del gavión con alambre de amarre (el mismo utilizado en los gaviones).

Los resultados obtenidos con este tipo de protección son muy satisfactorios, los arbustos permiten una buena retención de finos, acelerando de esta manera, un rápido crecimiento de la vegetación que se constituye en una ayuda en la protección de la estructura.

Posteriormente, las plantas facilitarán más aún la fijación de las próximas y eventuales "protecciones"

Las protecciones se efectúan generalmente a cada año. Cuando existen varias crecidas extraordinarias éstas requerirán de algunos reparos. Estas protecciones, acompañan perfectamente a las características de flexibilidad y permeabilidad que tienen los gaviones. Dentro de sus aplicaciones están los revestimientos marginales y espigones, Figura 8.6.

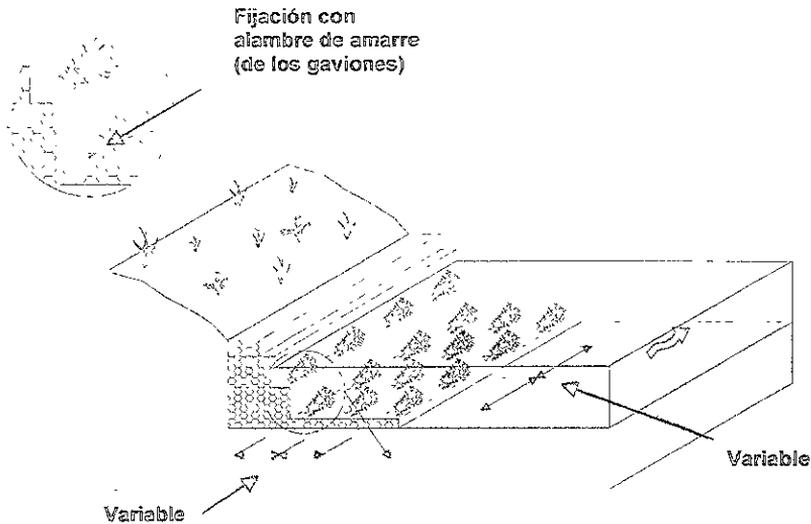


Fig. 8.6. Protección del gavión con arbustos.

8.3.3 Siembra de plantas típicas

La permeabilidad de los gaviones, favorece el crecimiento natural de arbustos y árboles típicos. El proceso gradual de filtración, sedimentación y crecimiento de vegetación integran perfectamente la estructura al terreno circundante. Asimismo, se asegura la estabilidad y una extensa vida útil a las estructuras de protección con gaviones.

Cuando se requiere acelerar este fenómeno y fortalecer la estructura se recomienda la siembra de plantas típicas. Esta medida, es recomendable especialmente cuando las estructuras quedan expuestas a ríos, caracterizados por grandes caudales y fuerte velocidad de corriente.

Otro tipo de planta que ha sido empleada en algunas protecciones de gaviones, son las cañas huecas o bambúes (de consistencia dura, tallo delgado y raíz profunda) que presentan buena resistencia y se integran rápidamente con la estructura. Dentro de sus aplicaciones están los revestimientos, diques marginales y los espigones, ver Fig. 8.7.

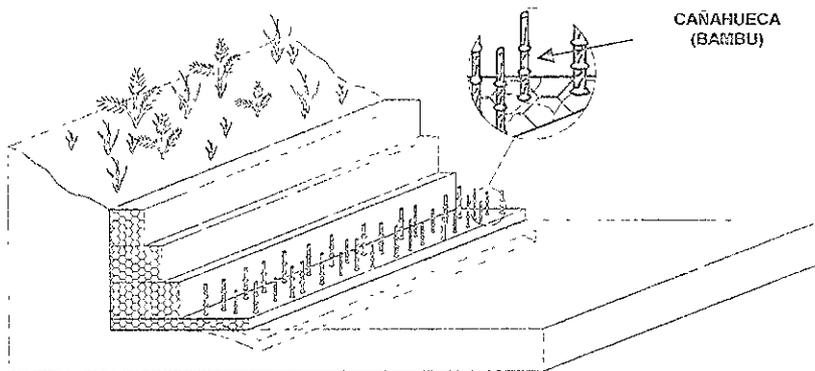


Fig. 8.7. Protección del gavión con siembra de plantas típicas.

8.3.4 Revestimiento con mortero

Los gaviones han sido utilizados desde hace mucho tiempo en diques marginales y revestimiento de canales y han mostrado muchas ventajas, que los hacen únicos cuando son comparados con otras estructuras.

En lugares donde, por limitación de espacio, el escurrimiento del caudal de proyecto, tiene que ser hecho en un canal de sección limitada, ha sido utilizado con gran éxito la aplicación de una cantidad de mortero (aproximadamente 3 cm) sobre la superficie del revestimiento en gaviones. Con eso se obtiene la reducción

del coeficiente de rugosidad y se puede trabajar con secciones reducidas en lo que se refiere a las dimensiones

El drenaje y los problemas de dilatación del mortero son fácilmente controlados con la utilización de juntas (listones de madera) distanciados adecuadamente a lo largo del canal en general a cada dos metros

En terrenos de no muy alta capacidad de carga (arcillas), el revestimiento del gavión con el mortero forma una estructura semi flexible que pueda absorber asentamientos del suelo sin perder su función estructural donde la propia tapa del gavión sirve de armadura para el mortero. Esta solución protege también la malla contra el desgaste provocado por las partículas sólidas en suspensión (abrasión), al mismo tiempo que evita la fuga de finos y el crecimiento de la vegetación.

Esta solución posibilita, especialmente en obras urbanas, un proceso de limpieza mucho más simple, utilizando equipos mecánicos leves, agilizando así, las operaciones de mantenimiento. Dentro de sus aplicaciones están las canalizaciones, Figura 8.8

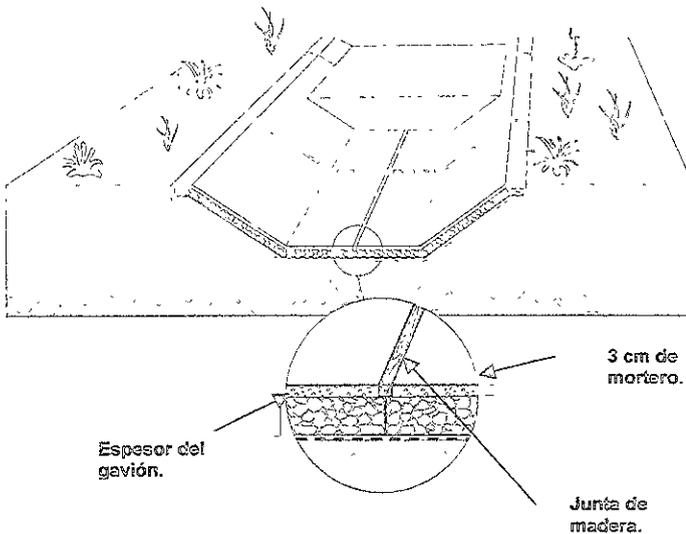


Figura 8.8. Revestimiento con mortero para protección del gavión.

8.3.5 Neumáticos usados

Para amortiguar los fuertes impactos de materiales gruesos y evitar daños en la malla del gavión, se pueden utilizar también pedazos de neumáticos usados. Las dimensiones son variables (aproximadamente 40 centímetros de largo por 20 centímetros de ancho), con espaciamiento de 3 a 5 centímetros.

Para fijar los pedazos de neumáticos es necesario abrir un pequeño canal cada 8 o 10 cm., de acuerdo al tamaño, esto con el propósito de proteger el alambre de amarre (el mismo utilizado en los gaviones) que fijará el neumático con la estructura.

Después de las primeras crecidas, el espacio libre entre un pedazo de neumático y otro, es rellenado por un material granular que se deposita, el mismo que posteriormente se convierte como protección adicional a la malla de los gaviones contra la abrasión. La gran flexibilidad de este tipo de protección permite que los gaviones acompañen las eventuales deformaciones del terreno, ver Fig. 8.9.

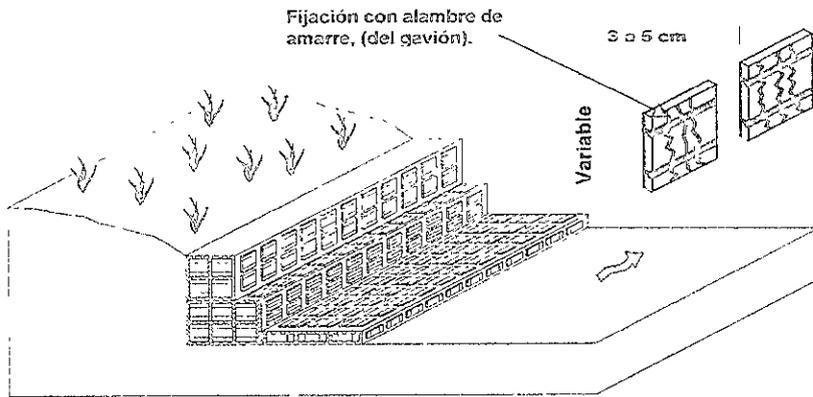


Fig 8.9 Protección de gaviones con neumáticos

8.3.6 Escollerado (acumulación de piedras)

Otro tipo de protección es el escollerado o enrocamiento, que permite proteger la estructura, mediante la acumulación de piedras a través de la obra. Normalmente es utilizada para evitar el choque directo de materiales gruesos de arrastre contra la malla del gavión durante las primeras crecidas.

Para un buen funcionamiento de este tipo de protección se requiere de un determinado tamaño de piedra suficiente para evitar el arrastre por la velocidad del agua y muchas veces el auxilio de equipo mecánico para el transporte y una buena acomodación de las mismas en la obra, ver Fig. 8.10.

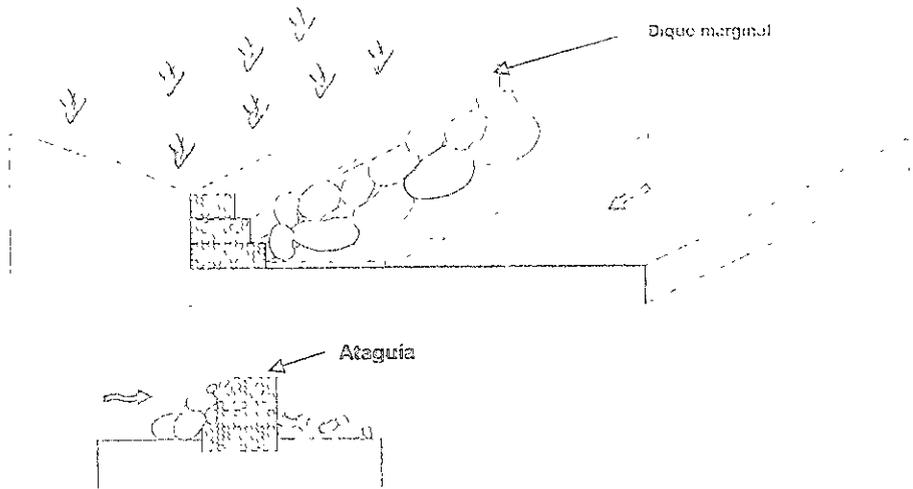


Figura 8.10. Protección del gavión con escollero de roca.

8.3.7 Sillar de piedra cortada junteada con mortero

Cuando las condiciones del arrastre de material son muy severas por la presencia de materiales granulares altamente abrasivos se recomienda proteger los gaviones en la base y laterales de la estructura con un muro de sillar de piedras cortadas y unidas con mortero.

La piedra utilizada en esta protección tiene la forma de cubos, la misma que es cortada y traída de cantera, esta piedra tiene una alta resistencia, dureza y buen peso específico. Las piedras pueden tener dimensiones variables, pero en general tiene aproximadamente 20 cm. de altura por 12 cm. de ancho por 10 cm. de largo.

Normalmente esta protección es realizada en las partes de la estructura que quedan más expuestas y en contacto constante del arrastre de materiales. Esta protección es la más efectiva y con mejores resultados, pero también es la que tiene un mayor costo de construcción.

El mantenimiento de estas protecciones es mínimo, en el caso de requerir una reparación es fácil efectuarla, ya que serán las mismas piedras utilizadas con un nuevo mortero, Figura 8.11.

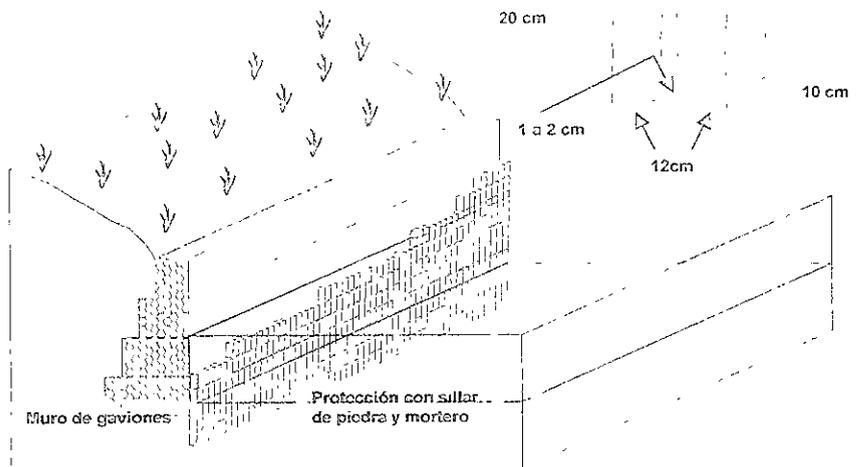


Fig 8.11 Protección de gaviones con muro de sillar de piedra juntado con mortero

8.3.8 Franjas o cintas de hormigón

Muchas veces, por falta de concientización (por parte de los habitantes del lugar), de la importancia y del beneficio que las obras presentan, estas sufren actos de vandalismo (corte y robo de la malla).

Ante esta situación, nació la idea de la protección de las obras en gaviones con franjas o cintas de hormigón. Son aplicadas en forma de "w" (doble v), especialmente en las caras expuestas hacia fuera (parte superior, laterales y escalones).

Las dimensiones de estas franjas o cintas que se recomiendan son de 1.10 a 1.30 m. de longitud por 0.12 a 0.14 m de ancho por 0.04 a 0.06 m. de espesor. El espaciamiento entre una cinta y otra es aproximadamente 0.78 m. Estas dimensiones pueden variar de acuerdo al criterio del proyectista o supervisor de la obra y a la magnitud de la misma. Para darle forma de cintas, se requiere de una cimbra de madera para poder vaciar el hormigón.

Generalmente, estas tienen aplicación en obras construidas en zonas urbanas y rurales (muros de contención), Figura 8.12.

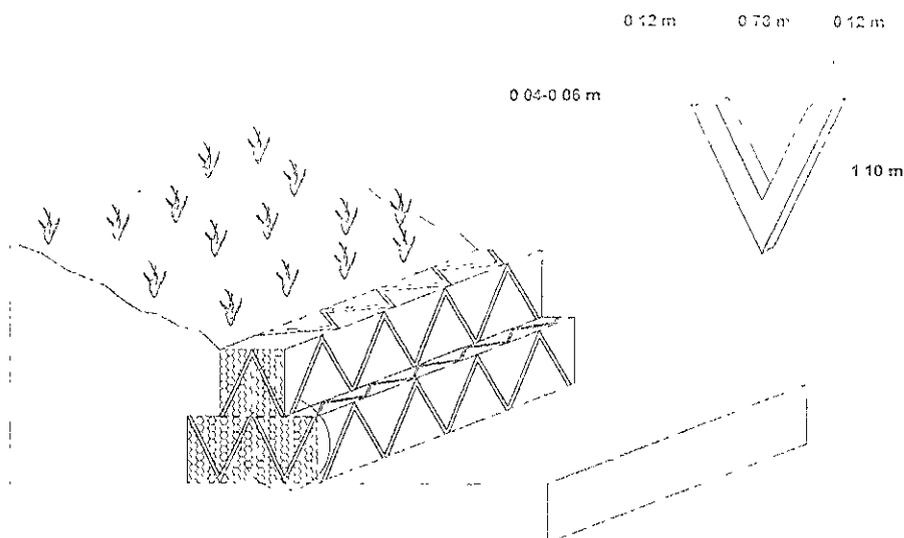


Fig. 8.12

Protección de gaviones con franjas de hormigón

8.3.9 Revestimiento Galmac + recubrimiento en PVC

El aumento de la degradación del medio ambiente ha provocado una intensificación de los agentes corrosivos en el aire y en las aguas. Este fenómeno impulsó a tratar de hallar un alambre de acero, cuyo revestimiento fuese más resistente a la corrosión que la galvanización.

Después de varios estudios para aumentar aún más la durabilidad del alambre se empezó una producción de gaviones utilizando alambre recubierto con Galfán (aleación 95% zinc, 5% aluminio). Un recubrimiento de altísimo nivel de calidad y características físico químicas superiores a la de la galvanización normal, utilizada anteriormente. Este revestimiento es identificado por el nombre de Galmac.*

Las pruebas realizadas de envejecimiento (ambientes corrosivos), mostraron que la vida útil del revestimiento del alambre Galmac* es, en las mismas condiciones, por lo menos tres veces mayor que la del revestimiento del alambre galvanizado normal.

Es posible que en algunas condiciones, ni el revestimiento Galmac* sea suficiente para garantizar la protección del alambre, por ejemplo en el mar o ambientes muy

contaminados. En estos casos, para garantizar una durabilidad mayor se propone que todos los productos sean recubiertos con PVC, Figura 8.13

Dentro de las aplicaciones están las obras en presencia de aguas contaminadas y obras marítimas (* Ref. Revestimiento diseñado y fabricado por la compañía Inacoferm Gobierns Inc)

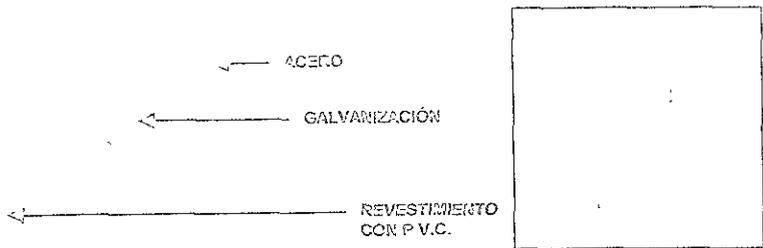


Fig 8.13 Protección del alambre con revestimiento GalMac (95% Zinc / 5% Aluminio) más recubrimiento de P.V.C.

- GalMac® (95% ZINC / 5% ALUMINIO)
- ASTM 856 MISHMETAL ALLOY COATED CARBON STEEL, BS 443, N F A 91/ 131, DIN 1540,
- UNI 8018, ASNT NBR 8984
- PVC (POLIVINIL CLORURO)
- RECUBRIMIENTO CON ESPESOR NO INFERIOR A 0.40 mm (ASTM)

Capítulo 9

APLICACIÓN DE GAVIONES EN OBRAS HIDRÁULICAS MEXICANAS

En este capítulo se muestran algunas obras construidas con gaviones en México

- Debido a la erosión que causaba la corriente del río Yautepec, en el estado de Morelos, y al peligro que significaba para los habitantes del lugar, las autoridades determinaron el uso de gaviones para solucionar el problema ya que anteriormente el revestimiento de este río era de concreto y falló debido a la subpresión provocada por el agua. Foto. 9.1.



Foto 9.1. Revestimiento del río Yautepec, con gaviones tipo colchón, en el estado de Morelos, México.

- Las intensas lluvias en el estado de Guanajuato provocaron el desbordamiento del río Silao en Irapuato. Debido al peligro que esto significó para la carretera Irapuato – Salamanca, las autoridades del estado tomaron la decisión de utilizar, dentro de una serie de propuestas, gaviones para encauzar el río (por medio de un muro perimetral), ya que de acuerdo a un estudio realizado, el gavión, resultó ser más económico y de mayor seguridad con respecto a los otros materiales, de acuerdo a sus características. Foto. 9.2.



Foto 9 2. Encauzamiento del río Silao, con gaviones, en Irapuato Guanajuato, México.

- La mala compactación del terraplen de la carretera, la acción de la lluvia y la inestabilidad del terreno debido a la presencia de una corriente de aguas pluviales, provocaron la falla del cuerpo de la carretera Tulancingo – Tenango de Doria en el estado de Hidalgo, por tal motivo, la S. C. T propuso la utilización de gaviones para la solución del problema. Foto 9.3.

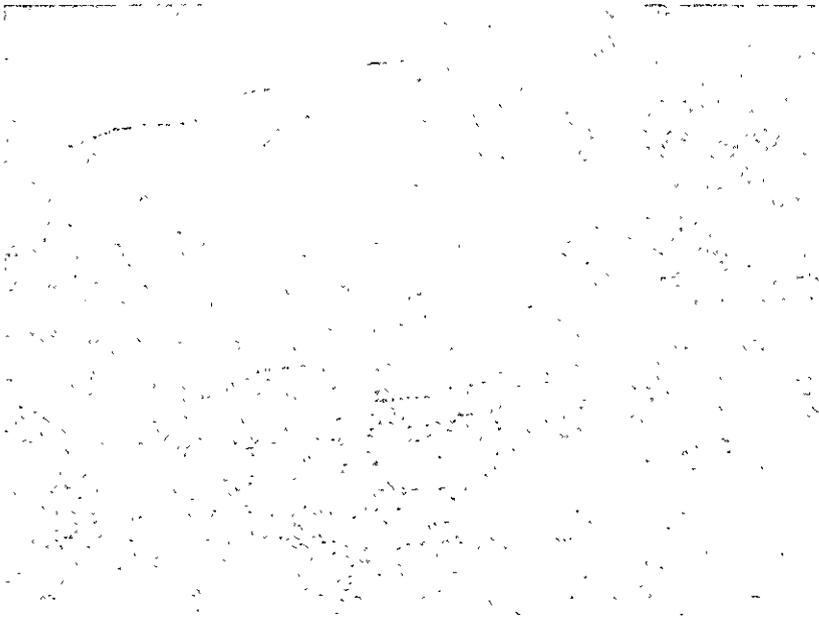


Foto 9.3. Reparación de la carretera Tulancingo – Tenango de Doria, México

- El control de azolves en la cima alta del río Lerma, en el Estado de México, se realiza por medio de pequeñas presas construidas con gaviones. Esto para retener parte de los sedimentos que proceden de aguas arriba. Foto 9.4



Foto 9.4 Presa construida con gaviones en la cima alta del río Lerma en el Estado de México

- Debido a la erosión de la costa en Villa Unión Sinaloa se implementaron los gaviones para proteger la orilla de la playa. Esta solución con gaviones se aplicó porque el oleaje en esta zona no es muy intenso Foto 9.5.



Foto 9.5. Protección de la costa de Villa Unión, Sinaloa, con gaviones

En Ciudad Lerdo, Durango, se realizó el revestimiento del canal que conduce los escurrimientos de aguas pluviales, tanto de las colonias aledañas como de las vialidades, tal como se muestra en la Foto 9.6.

El problema que se presentó fue que al llegar la época de lluvias, el agua empezó a erosionar la base del terraplén de las vialidades, (en ambas márgenes), por lo que las autoridades correspondientes, después de haber analizado diferentes propuestas, optaron por el revestimiento con gaviones, por considerarlos de mayor seguridad y más económicos.



Foto 9.6. Canal revestido con gaviones tipo colchón, en Ciudad Lerdo Durango, México.

En la colonia Zenón Delgado de la delegación Álvaro Obregón, en el Distrito Federal, fallaron los taludes que servían como soporte de viviendas que se encuentran asentadas en dicha zona.

La falla fue provocada en la época de lluvias, al producirse un empuje hidrostático en un terreno muy inestable que no contaba con drenes para abatir dicho empuje.

La solución con gaviones fue dada por la delegación, después de haber analizado las diferentes propuestas que ofrecieron compañías privadas. Ésta consistió en un muro de gaviones escalonado con pared vertical hacia dentro del talud, complementándola con un relleno de tepetate.

Los gaviones se utilizaron para abatir el empuje provocado por el agua, ya que una de sus principales características es la permeabilidad, asimismo, con ésta obra se vieron beneficiadas más de 20 familias que habitaban en la zona, Foto 9.7.



Foto 9.7. Construcción de un muro de contención, con gaviones, en la delegación Álvaro Obregón, en México D.F.

En un tramo de la autopista del Sol, México – Acapulco, se construyó un muro de contención con gaviones, para detener los derrumbes de roca que se presentaron por el ablandamiento de la tierra causada por las lluvias y por asentamientos provocados por movimientos telúricos, frecuentes en esa zona. La solución con gaviones fue la más viable debido a la abundante roca que existía en el lugar y por las ventajas que se han mencionado en el transcurso de éste trabajo, Foto 9.8.

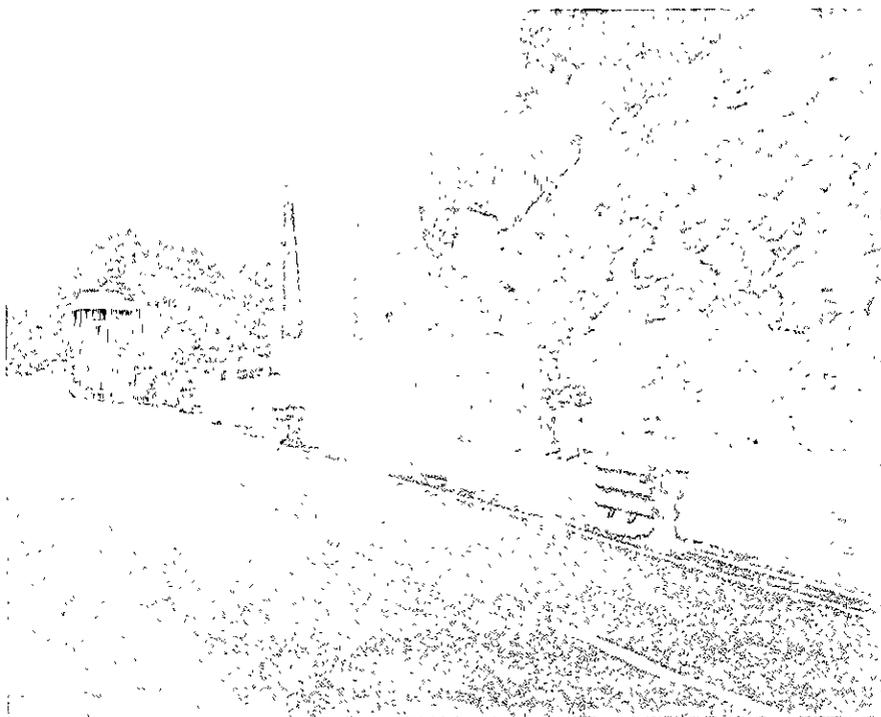


Foto 9.8 Muro de contención junto a la Autopista del Sol México – Acapulco

Debido a la poca difusión que tienen los gaviones en México no se han realizado obras de gran magnitud, ya que se trata de una tecnología poco conocida por la Ingeniería Mexicana, aproximadamente en el año de 1970 la compañía LEMAC S.A de C V los introdujo al mercado mexicano y en el año de 1995 la compañía Maccaferri Gabions Inc , inicio en el mismo con una mayor difusión y tecnología de más de 120 años de existencia del gavión, es por esto que existe poca información de obras construidas con gaviones hasta la fecha en nuestro país

Así mismo, la preferencia de construir con concreto y por el desconocimiento de nuevas tecnologías se ha limitado el uso de los gaviones en las obras. De igual forma, otra razón por la cual no se usan siempre los gaviones es: cuando los bancos de roca están muy alejados de la zona de obra, incrementando significativamente el costo de la misma.

Capítulo 10

CONCLUSIONES

3 - Como se ha sostenido en el desarrollo del presente, el uso del gavión genera beneficios reales en la construcción de obras hidráulicas, por tanto es indudable que tales beneficios se harán visibles en obras de contención (como los muros), en obras de protección (como los espigones, revestimientos marginales, diques marginales, etc.), y en obras de derivación (como son las presas de irrigación, las ataguías etc.) Sin embargo, resulta pertinente aclarar que en el caso de las obras de protección como son las escolleras y los rompeolas el uso del gavión queda a criterio del proyectista, debido a que por lo regular estas estructuras se hacen en el mar y el comportamiento del mismo es impredecible

4 - Otro aspecto importante en las obras construidas con gaviones es el costo de la misma, por ejemplo, en la construcción de una obra hidráulica que consiste en un muro de contención analizado por m^2 , utilizando concreto (mano de obra, arena, grava, cemento, acero y cimbra) es aproximadamente \$1,500 00/ m^2 , mientras que el mismo muro de contención hecho con gaviones (mano de obra, malla del gavión, piedra de relleno y equipo menor) es aproximadamente de \$ 650 00 / m^2 por lo que es indudable el ahorro económico, laboral y mecánico que se logra. Sin embargo es pertinente aclarar que para el uso del gavión se requiere que exista la piedra para relleno en el mismo lugar de trabajo o a distancias razonables de la obra, porque de no ser así serán necesarios acarreos que ocasionarían gastos extras, no obstante las estructuras con gaviones siguen siendo más económicas

5.- Asimismo, el uso del gavión en las obras hidráulicas presenta ciertas desventajas, que no por ello lo hacen menos recomendable como son la abrasión causada por el constante desgaste por fricción entre partículas sólidas en suspensión y la malla del gavión, la corrosión provocada por la presencia de aguas corrosivas o contaminadas: el impacto mecánico provocado por materiales de arrastre en suspensión, como los árboles, que pueden llegar a romper la malla. Desventajas que pueden ser prevenidas o reducidas con otras alternativas (como la siembra de arbustos o plantas típicas del lugar, colocación de rodillos de madera, neumáticos usados etc.).

6 - Todo material que se usa en una obra en construcción se rige o debe cumplir con cierta normatividad que las leyes correspondientes fijan. En el caso particular, entre otras disposiciones es el proyecto de norma (NMX-B-085-SCFI-2000) la que regula los requerimientos indispensables que deben cumplir los gaviones, para el buen funcionamiento y comportamiento de la estructura realizada, haciéndola confiable y apta para resistir las sollicitaciones que se presenten durante la vida de la obra. En este sentido es conveniente señalar que dicha norma no ha sido publicada en el Diario Oficial de la Federación para hacerla obligatoria, no obstante la práctica y los resultados obtenidos han demostrado que es necesario su cumplimiento.

7.- En la actualidad el uso de la tecnología en todas las ramas del conocimiento humano y en específico de la Ingeniería Civil es innegable. El avance de las computadoras, de los nuevos programas de cómputo y

particularmente el uso del software en el diseño de revestimientos de canales con gaviones ha tenido gran utilidad, porque evita operaciones y cálculos complejos, permite tener un resultado lo más apogado a la realidad, y reduce el tiempo de ejecución del diseño, un ejemplo de este beneficio es el que se presenta en el capítulo número siete de este trabajo y en el que podemos apreciar de manera concreta los resultados obtenidos.

En general, la eficiencia de las estructuras construidas con gaviones, contrariamente a lo que sucede con otras obras, aumenta con el paso del tiempo, ya que requieren de un mínimo mantenimiento, porque la vegetación que pudiera desarrollarse, sujeta a los gaviones protegiendo la estructura y a su vez la integra con la naturaleza.

Por todo lo anterior, es difícil hallar otro sistema de construcción con ventajas semejantes en economía, eficiencia y estética.

A la fecha, las obras hidráulicas construidas con gaviones presentan un comportamiento favorable, ya que no requieren de un mantenimiento constante y no han presentado fallas severas.

Por último se puede decir que este trabajo cumple con el objetivo propuesto de difundir información y presentar algunas ventajas de las obras hidráulicas construidas con este tipo de tecnología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Agosini, Raffaele Cesario, Leonardo Conte, Alessandro Masetti, Mauricio Papetti, Andrea Flexible Gabion Structures in Earth Retaining Works Oficinas Maccaferri S p A , Bologna Italy, January 1987
- 2 Camargo, Hernández Jaime Euclides Franco, Victor Manual de Gaviones, Instituto de Ingeniería U N A M . Noviembre de 1993
- 3 Castro, Adeath Luis Edmundo "Apuntes de la materia Obras Hidráulicas" 1999.
- 4 C.F.E . Instituto de Investigaciones Eléctricas, Manual De Obras Civiles, Hidrotecnia, A 2 13 Hidráulica Marítima, México 1983
- 5 Chow, Ven Te. Hidráulica de Canales Abiertos, Mc Graw Hill, Santafé de Bogotá, Colombia 1994
- 6 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA Manual de Diseño de Obras Fluviales, versión 1 0, México 1998
- 7 Jiménez, Salas J. Antonio De Justo Alpañes, y Alcibiades A , Serrano, González Alfredo. Geotecnia y Cimientos II, Mecánica de Suelos y de Rocas Rueda. Madrid 1981
- 8 Linsley, E. Ray. Ingeniería de los Recursos Hidráulicos, Mc Graw Hill 3ª reimpresión, New York, 1986.
- 9 López, Gutierrez Héctor. Apuntes de Sistemas Portuarios, Facultad de ingeniería U.N.A.M.
- 10 Maccaferri Gabions Inc. "MAC.R.A. 1 - Bank Protection" , Reference Manual.
11. Maccaferri Gabions Inc "Canalizaciones", Bologna, Italy 1995.
12. Maccaferri Gabions Do Brasil LTDA . "Diques Flexibles", Brasil 1981
13. Maccaferri Gabions Inc. "Gaviones", Sacramento, California 1995.
14. Maccaferri Gabions Inc. "Obras de Contención", Bologna, Italy 1995
15. Maza, Álvarez José Antonio García, Flores Manuel Estabilización y Rectificación de Ríos. Capítulo 14 Manual de Ingeniería de Ríos, Instituto de Ingeniería U N A M., Noviembre de 1996.

16. Página electrónica: www.lemac.com.mx
17. Página electrónica: www.maccaferri.com-usa.com
18. Lemac. Artículo de "Control de Ríos" 1984.
19. S.C.T. Protección Longitudinal de Costas, Normas para Construcción e Instalaciones Portuarias, Mexico 1984.
20. S. Merritt Frederick Manual del Ingeniero Civil, Volumen I, Mc Graw Hill, U.S.A. 1988
21. S. Merritt Frederick Manual del Ingeniero Civil, Volumen III, Mc Graw Hill, U.S.A. 1988.
22. Sowers, B. George. Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Limusa 5ª reimpresión, 1990.
23. Sotelo, Ávila Gilberto Diseño Hidráulico de Estructuras Capítulo 8, Facultad de Ingeniería.
24. Vega, Roldán Oscar. Presas de Almacenamiento y Derivación, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería U.N.A.M.
25. Velasco, Sánchez Octavio. Presas de Derivación, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México 1976.
26. Proyecto de norma NMX-B-085-SCFI-2000, elaborado por la compañía trasnacional Maccaferri Gabions Inc.
27. Software de cálculo para revestimiento de canales, MAC R.A. 1.0., desarrollado por la compañía trasnacional Maccaferri Gabions Inc. en Julio de 1996.