

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**RECUPERACIÓN DE TIERRAS EROSIONADAS
POR DESBORDAMIENTOS DE RÍOS,
CON OBRAS DE GAVIONES**

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la
Facultad de Ingeniería

POR

AXEL OSWALDO MORALES GAITÁN

Al conferírsele el título de

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1999

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR



Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**RECUPERACIÓN DE TIERRAS EROSIONADAS
POR DESBORDAMIENTO DE RÍOS,
CON OBRAS DE GAVIONES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 23 de agosto de 1,999.

Axel Oswaldo Morales Gaitán

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO: Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1º: Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL 2º: Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL 3º: Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL 4º: Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán
VOCAL 5º: Br. Mauricio Alberto Grajeda Mariscal
SECRETARIA: Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO: Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR: Ing. Francisco Javier Quiñones de la Cruz
EXAMINADOR: Ing. Tonio Michelle Bonatto Mérida
EXAMINADOR: Inga. Mercedes Ofelia García Marroquin
SECRETARIO: Ing. Francisco Javier González López

Guatemala, 27 de septiembre de 1999

Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Area de Construcciones Civiles
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Campus Zona 12
Ciudad

Estimado Ing. Melini:

Tengo el agrado de informarle que he concluído el asesoramiento y revisión del documento final del trabajo de tesis del estudiante Axel Oswaldo Morales Gaitán titulado "RECUPERACIÓN DE TIERRAS EROSIONADAS, POR DESBORDAMIENTO DE RÍOS, CON OBRAS DE GAVIONES".

Considerando que el presente trabajo llena todos los requisitos de una tesis de grado y que además constituye un aporte para la construcción de obras civiles, recomiendo su aprobación.

Atentamente,



René Rolando Vargas Oliva
Ingeniero Civil
Col. 2828

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

04 de octubre de 1,999

Ingeniero
Sydney Alexander Samuels Milson
Director, Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
de Guatemala.

Señor Director.

Después de analizar y revisar el trabajo de tesis titulado "Recuperación de Tierras Erosionadas por Desbordamiento de Ríos, Con Obras de Gaviones", presentada por el estudiante universitario Axel Oswaldo Morales Gaitán, con carnet número 8811965, quien contó con la asesoría del Ingeniero René Rolando Vargas Oliva, tengo a bien manifestar que dicho trabajo ha sido ejecutado conforme a los requisitos establecidos.

Por lo anterior, en mi calidad de Coordinador del Area de Construcciones Civiles de la Escuela de Ingeniería Civil, me permito solicitar se continúen los trámites respectivos para su aprobación.

Sin otro particular, me suscribo de usted,

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Guillermo Francisco Melini-Salguero
Coordinador, Area de Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil.

GFMS/cdes
c.c. Archivo.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. René Rolando Vargas Oliva y del Coordinador del Area de Construcciones Civiles Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, del trabajo de tesis del estudiante Axel Uswaldo Morales Gaitán, titulado RECUPERACION DE TIERRAS EROSIONADAS POR DESBORDAMIENTO DE RIOS, CON OBRAS DE GAVIONES, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

Ing. Sydney Alexander Samuels Nilson



Guatemala, octubre de 1,999

/bbdeb.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Sydney Alexander Samuels Milson, al trabajo de tesis RECUPERACION DE TIERRAS EROSIONADAS POR DESBORDAMIENTO DE RIOS, CON OBRAS DE GAVIONES, del estudiante Axel Oswaldo Morales Gaitán, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios

DECANO



Guatemala, octubre de 1,999

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS

Nuestro Señor, inspirador de vida y fuente de sabiduría.

INGENIEROS

René Rolando Vargas y Enrique René López Kestler, por impulsarme a terminar mi carrera.

ACTO QUE DEDICO A:

MIS PADRES

**BERNABÉ MORALES DE LEÓN
MARTARITA GAITÁN DE MORALES**

MI ESPOSA

MIRIAM JUDITH MENCOS DE MORALES

MI HIJO

AXEL DAMIÁN MORALES MENCOS

MIS HERMANOS

**HENRY
MARVIN
MARA
FLORY
NORITA**

MI ABUELA

MAMACHILA (Q.E.P.D.)

MIS AMIGOS EN GENERAL

**LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA.**

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	i
GLOSARIO	iv
INTRODUCCIÓN	vi
1. CARACTERÍSTICAS DE LOS GAVIONES	1
1.1 Presentación de los gaviones	1
1.2 Descripción de los gaviones	1
1.2.1 Características técnicas	2
1.3 Dimensión de la malla y especificaciones	2
1.4 Recubrimiento y calidad del alambre	3
2. ASPECTOS TÉCNICOS	6
2.1 Características del río	6
2.2 Morfología geológica del río	7
2.3 Tierras a recuperar en el río	8
2.4 Características de la cuenca	9
3. ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LOS CAUDALES MÁXIMOS DEL RÍO	10

3.1	Determinación de las avenidas máximas	10
3.2	Origen de las avenidas	11
3.3	Métodos de la estimación de las avenidas máximas	12
3.3.1	Métodos empíricos	12
3.3.2	Métodos históricos	13
3.3.3	Métodos de correlación hidrológica de cuencas	14
3.3.4	Métodos directos o hidráulicos	15
3.3.5	Métodos estadísticos o probabilísticos	15
3.3.6	Métodos hidrológicos	16
3.4	Pluviometría del río	17
3.5	Tiempo de concentración	17
3.6	Caudal máximo	18
3.7	Estimación de los caudales de avenidas en base a lluvias	18
4.	CÁLCULO DE LOS TIRANTES MÁXIMOS Y ALTURA DE SOCAVACIÓN.	19
4.1	Características hidráulicas	19
4.2	Relaciones geométricas	19
4.2.1	Sección trapezoidal sencilla	20
4.2.2	Pendiente de taludes	20
4.2.3	Perfil normal	21
4.3	Tirantes máximos y anchos permisible	23
4.4	Profundidad de socavación	23

5.	OBRAS LONGITUDINALES PARA RECUPERACIÓN DE TIERRAS	29
5.1	Descripción	29
5.2	Selección del tipo defensivo	31
5.3	Ejecución de estructuras gavionadas	32
5.3.1	Material de relleno	32
5.3.2	Armado e instalación	33
5.3.3	Propiedades de las estructuras gavionadas	35
5.3.4	Empleo de geotextil	36
5.3.5	Relleno posterior	37
6.	DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON GAVIONES	38
6.1	Principios básicos de construcción	38
6.1.1	Deformabilidad de la obra	38
6.1.2	Capacidad soporte del suelo	39
6.2	Diseño de estructuras longitudinales	40
6.2.1	Criterio de cálculo	40
6.2.2	Cálculo del empuje	42
6.2.3	Criterios de verificación de la estabilidad	50
6.2.3.1	Verificación de la seguridad al deslizamiento	50
6.2.3.2	Verificación de la seguridad Al vuelco	53
6.2.3.3	Verificación de las tensiones Transmitidas al terreno	54

6.2.3.4	Verificación de secciones Intermedias	55
6.2.3.5	Seguridad a la rotura global	57
6.2.3.6	Estructuras particulares	58
6.2.4	Criterios de proyectos de obras en gaviones	58
6.2.4.1	Ejecución	58
6.2.4.2	Escalones internos, escalones externos	60
6.3	Diseño de espigones	60
6.3.1	Descripción del problema	60
6.3.2	Soluciones	62
6.3.3	Clasificación de los espigones	62
6.3.3.1	Por su dirección	62
6.3.3.2	Por su forma	64
6.3.4	Criterio de diseño	66
6.3.4.1	Ubicación en planta	67
6.3.4.2	Longitud de trabajo	67
6.3.4.3	Longitud de empotramiento	67
6.3.4.4	Separación de espigones	68
6.4	Construcción de la base antisocavante en gaviones	70
6.5	Solicitaciones en el suelo de fundación	71
6.5.1	Que no se produzcan tracciones en el suelo	73
6.5.2	Que no sobrepase la carga admisible del terreno	73

CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
REFERENCIAS

viii
ix
x

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

No.	TÍTULO	Pàg.
1.	Sección trapezoidal sencilla	20
2.	Muros con escalones externos	42
3.	Muros con escalones internos	42
4.	Muros con escalones internos y externos	42
5.	Muro con paramento interno	43
6.	Muro con paramento externo	43
7.	Àbaco para la dererminaciòn de K_a con $\beta = 90^\circ$.	47
8.	Àbaco para la determinaciòn de K_a con $\beta = 96^\circ$.	47
9.	Àbaco para la determinaciòn de K_a con $\beta = 75^\circ$.	47
10.	Àbaco para la determinaciòn de K_a con $\beta = 80^\circ$.	47
11.	Distribuciòn del empuje en presencia de una sobrecarga uniforme	48
12.	Fuerzas estabilizantes	49
13.	Fuerzas desestabilizantes	49
14.	Peso específico de rocas y gaviones	52
15.	Esquema de fuerzas	57
16.	Tipos de muros	59
17.	Mecanismo de erosiòn en curvas	61

18. Mecanismo de erosión en tramos rectos	61
19. Espigones en contra de la corriente	63
20. Espigones normales a la corriente	63
21. Espigones a favor de la corriente	64
22. Espigones de asta simple	65
23. Espigones de cabeza de martillo	65
24. Espigones de bayoneta	66
25. Ubicación en planta de espigones	68
26. Separación entre espigones	69
27. Longitud de espigones	69
28. Base antisocavante	71
29. Fuerza vertical y momento volcante	72
30. Diagrama de tensiones	74

TABLAS

No.	TÍTULO	Pág.
I	Efecto de corrosión	3
II	Cuadro de vida útil del recubrimiento	4
III	Valores para K_s	22
IV	Coefficiente B para socavación	25
V	Valores $(x-1)/(x+2)$	26
VI	Presión admisible	40
VII	Propiedades del suelo y rocas	44
VIII	Pesos específicos de roca	51

GLOSARIO

1. **Gavión:** Es un elemento en forma de prisma de forma rectangular, utilizado generalmente en estructuras que tienen la finalidad de soportar empujes a través de su propio peso, cumpliendo por lo tanto una función estructural.
2. **Colchón:** También es un elemento en forma de prisma rectangular, pero que presenta gran superficie y pequeño espesor, por ser extremadamente flexible, cumple la función de revestimiento, protegiendo terrenos estables de la erosión hidráulica.
3. **Geotextil:** Es una tela de polipropileno agujado, que previene el acarreamiento de los finos del suelo y a su vez proporciona alta permeabilidad, disminuyendo la presión hidrostática en la obra.
4. **Suelo de fundación:** Área preparada para la colocación de las obras con gaviones.
5. **Obras gavionadas:** Se refiere al conjunto de gaviones amarrados entre sí que forman una estructura monolítica.

6. **Espigón:** Son construcciones con gaviones que sirven para corregir o centralizar y defender la estabilidad de las orillas sujetas a la erosión.

7. **Morfología:** Es la ciencia que estudia las formas

INTRODUCCIÓN

La recuperación de tierras erosionadas por la fuerza de la escorrentia de los ríos es un tema de actualidad en Guatemala ya que debido a los cambios climáticos y tala inmoderada de bosques estos han cambiado su comportamiento con relación a su cauce, caudales y arrastre de sedimentos, lo que causa pérdidas de vegas, comunidades y lo que se encuentre en las márgenes de los ríos.

El presente trabajo tiene la finalidad de describir conceptos hidrológicos, los cuales servirán de base para conocer el comportamiento de cualquier río y así definir las acciones a tomar para la recuperación de tierras erosionadas.

En el medio, en los últimos años se ha implementado la construcción de obras flexibles con gaviones, que en determinadas obras tienen ventajas sobre las de tipo rígido, por lo cual se proponen en el presente estudio.

Las erosiones en las márgenes de los ríos se pueden controlar con protecciones longitudinales gavionadas, evitando el daño que la corriente pueda seguir causando, tomando en cuenta, para su ubicación, estudios hidrológicos y parámetros de diseño, como se describen en el capítulo VI. Los espigones son obras gavionadas, los cuales tienen la finalidad de evitar erosiones e ir acumulando sedimentos río arriba y río abajo, que con el tiempo se estabilizan para darles el uso conveniente.

Es de suma importancia la recuperación de tierras erosionadas evitando pérdidas, de vegas y de poblaciones. Socialmente la construcción de estas obras constituyen a que los campesinos no pierdan sus fuentes de trabajo y se evite la migración a otros lugares que están superpoblados o a la ciudad capital, en donde no se desarrollan adecuadamente. Cuando se ejecutan obras de recuperación o de protección de tierras se tiene la gran ventaja que los mismos campesinos, hombres, mujeres y niños pueden participar en su construcción, ya que con la debida asesoría y buena planificación son fáciles de ejecutar.

1. CARACTERÍSTICAS DE LOS GAVIONES

1.1 Presentación de los gaviones

El término gavión procede del latín Cavea, que significa jaula, cajón o canasta. Los primeros gaviones se utilizaron entre los egipcios y chinos, que confeccionaban jaulas de mimbre y bambú, rellenas con piedras, para contención del agua en las orillas de los ríos nilo y amarillo. Las estructuras construidas en base a gaviones son la solución ideal para mantener inalterada la ecología de cualquier región. El gavión, después de fabricado, sólo requiere ser llenado con piedras (por mano de obra no especializada) y amarrado a sus adyacentes, para constituirse en una estructura consolidada.

1.2 Descripción básica de los gaviones

El gavión galvanizado es un elemento con forma de prisma rectangular, con paredes construidas por red metálica, fuertemente galvanizada, con mallas hexagonales a doble torsión, que se llena con grava o material rocoso de tamaño apropiado.

Todos los bordes, ya sean de la pieza central o de las marginales, son reforzados con alambre de hierro galvanizado, de diámetro más grande.

Esta ingeniosidad, además de fortalecer notablemente la estructura metálica, facilita el empleo de los gaviones, permitiendo la confección de cajas rectangulares bien encuadradas y por lo tanto la perfecta alineación de los elementos con buen efecto estético.

Esta operación de juntar entre sí varios elementos por medio de costuras resistentes, es indispensable para volver la obra de gaviones monolítica y ponerla en condición de tolerar fuertes deformaciones sin perder su eficiencia. Los gaviones en forma de caja, en sus medidas, tipo y convenientemente colocados y amarrados, son idóneos para cualquier tipo de estructura hidráulica que un técnico pueda proyectar.

1.2.1 Características técnicas.

Las dimensiones de la caja pueden ser de 3X1X1m, 2X1X1m, 3X1X0.50m, 2X1X0.50m, o cualquier otra dimensión que requiera el proyectista. Las principales características a definir son :

- a. Las dimensiones del hexágono de la malla a doble torsión.
- b. El diámetro y recubrimiento galvanizado del alambre expresado en milímetros.
- c. El diámetro del alambre de borde.

1.3 Dimensiones de la malla y especificaciones.

La malla de forma hexagonal puede tener diversas dimensiones, las más empleadas en el medio son, de 100 mm X 120 mm, de 80 mm X 100 mm, y de 60 mm X 80 mm. La doble torsión es adoptada y recomendada por los constructores para evitar los inconvenientes detectados en el uso de la malla de gavión de torsión simple, la doble torsión evita que la malla se desarme si algún alambre se corta accidentalmente, o si es necesario cortar la malla para hacer pasar, a través de ella, una tubería. Por otra parte, la

cantidad de alambre de amarre que se utiliza es del 6 al 8 % del peso del gavión, con un diámetro igual a 2.2 mm.

1.4 Recubrimiento y calidad del alambre

El fenómeno de la corrosión reduce notablemente la vida útil de la malla, aspecto que debe tenerse siempre presente para realizar una estimación aceptable de la vida de una estructura de gaviones y su consiguiente valoración económica. El efecto de la corrosión varía notablemente de un lugar a otro, según la agresividad del ambiente. En general se pueden establecer cuatro ambientes típicos donde se utilizan estructuras de gaviones con distintos efectos.

TABLA I
EFEECTO DE CORROSIÓN

UBICACIÓN	EFEECTO
AMBIENTE RURAL	BAJA CORROSIÓN
AMBIENTE URBANO	MODERADA CORROSIÓN
AMBIENTE MARITIMO	ALTA CORROSIÓN
AMBIENTE INDUSTRIAL	MAYOR CORROSIÓN

El recubrimiento disminuye con el tiempo debido a los siguientes factores:

- Ambiente en que se encuentran.
- Abrasión provocada por el material en suspensión y rodado, en la base antisocavante y las paredes del muro.
- Acción del agua.
- Tensión a la que esté sometido el alambre.

Considerando estos efectos se puede estimar la vida útil del recubrimiento del zinc. En la tabla II se presenta información de la vida útil del recubrimiento según ambientes, que sin embargo están sujetas a variaciones.

TABLA II
CUADRO DE VIDA ÚTIL DEL RECUBRIMIENTO

AMBIENTE	TIPO DE MALLA (mm.)	
	60X80	80X100
RURAL	35 AÑOS	45 AÑOS
URBANO	15 AÑOS	18 AÑOS
MARITIMO	11 AÑOS	13 AÑOS
INDUSTRIAL	4 AÑOS	5 AÑOS

Cuando es posible obtener muestras de agua y analizar su pH, se puede determinar con certeza como atacará éste al alambre. Un agua con pH 8.8, prácticamente no afecta a la corrosión del zinc. Si dicho pH está dentro del rango comprendido entre 5.7 y 12.2, la corrosión del zinc será mínima.

En caso de existir condiciones altamente corrosivas, se debe usar un revestimiento de P.V.C sobre el galvanizado. Este tratamiento es una

solución económica para evitar el deterioro del alambre en zonas costeras y en algunas zonas industriales.

La galvanización es el factor de mayor importancia para la duración de los gaviones. La mínima capa de zinc en todos los alambres es de 250 gr / m². El galvanizado deberá ser resistente a la abrasión, golpes, torsión y oxidación, lo que se consigue con un galvanizado en que el zinc esté fundido en el acero para tener una buena adherencia.

2. ASPECTOS TÉCNICOS

La implementación de muros de gaviones para proteger y recuperar tierras agrícolas está sustentada en estudios y diseños de ingeniería hidráulica que se realizan previo a la fase de preparación de cualquier proyecto. Los cálculos matemáticos no son suficientes para solucionar todos los problemas que se presentan en el manejo de una cuenca, es necesario apelar, en algunos casos, al conocimiento empírico que tienen los pobladores de la zona, que conocen mejor que nadie el comportamiento del río. Para elegir los métodos y elementos de regulación hay que tener en cuenta que es necesario lograr o mantener un equilibrio con un mínimo de gasto técnico y económico, lo cual se conseguirá con los conocimientos de los técnicos y de los habitantes de la zona sobre la formación del lecho del río, y observaciones continuas referidas a la estructura hidromecánica de los recodos, aluviones, material de acarreo y otras características que permitan diseñar o hacer modificaciones en las estructuras previstas para recuperar tierras en el lecho del río.

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL RÍO

Las características del río a tomar en cuenta para diseñar y construir una protección con gaviones son las siguientes.

- a. Comportamiento en época seca
- b. Comportamiento en época lluviosa
- c. Crecida máxima
- d. Estudio de la cuenca
- e. Tipo de material de arrastre
- f. Importancia económica para la población.

La característica más importante a considerar es la época de estiaje, es decir, cuando no hay crecidas, los técnicos y beneficiarios del componente la aprovechan usualmente para afianzar las margenes del río e iniciar las defensas longitudinales o reforzar las existentes.

La preparación de las estructuras de gaviones para la época de lluvia es de vital importancia, por que los gaviones soportan los mayores esfuerzos con las primeras crecidas, en donde interactua la piedra colocada en los gaviones y los sedimentos finos transportados por el flujo, para consolidar de esta manera la estabilidad del muro protector. Dependiendo de la finalidad que se persigue, la naturaleza del alaveo y de las riberas, se utilizan en estas acciones diversos materiales y tipos de construcción, aprovechando el arrastre de sedimentos en las crecidas.

2.2 Morfología geológica del río

Es importante tener conocimiento amplio de las sierras que definen la cuenca del rio y sus orígenes, determinando así de qué material o materiales están compuestos sus pliegues estratigráficos, los cuales pueden ser areniscas, materiales ligantes arcillosos, calcáreos, cantos de varios orígenes, calizas, etc.

El poco conocimiento del manejo de las riberas y la acción antropógena en las laderas acelera el desequilibrio. En muchos casos el agua del rio no encuentra donde profundizarse, en donde la consecuencia es que el alaveo se ensanche, provocando con esto inundaciones en las vegas laterales.

El análisis morfológico del río es fundamental para implementar las acciones de recuperación de tierras con defensivos gavionados, ya que éstos constituyen obras flexibles en la ribera y obligan a la corriente del río a definir un alveo más estrecho y una mayor concentración de la masa fluida, con el consiguiente aumento de su potencialidad de transporte de material del río, lográndose un régimen controlado.

2.3 Tierras a recuperar en el río.

La parte fundamental de este estudio es la recuperación de tierras o proteger las que aún no están perdidas o dañadas, las cuales se denominarán zona de acción del componente, por lo que es importante tener definido qué áreas o extensiones de tierras se recuperarán o se protegerán. El alveo es todo el espacio plano del valle que constituye una vega del río.

Es imposible tener un estudio topográfico de todo un río, el cual variaría año con año debido a los cambios sufridos por crecidas y erosiones, pero con ayuda de los pobladores es fácil obtener datos que servirán para definir áreas dañadas o perdidas, utilizadas por ellos para cultivos u otras actividades, las cuales se utilizarán para hacer levantamientos topográficos puntuales y definir las áreas de influencia del río en crecidas máximas y áreas erosionadas, para su recuperación con obras de gaviones.

2.4 Características de la cuenca.

Para la recuperación de tierras en las laderas de los ríos es importante tener un amplio conocimiento de la cuenca de los mismos, en donde se determinan sus afluentes principales, caudales en épocas de lluvia y seca, pendientes y cambios en relación a su forma en toda su longitud.

3. ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LOS CAUDALES MÁXIMOS DEL RÍO

Las obras de sistematización que se emprenderán para la recuperación de tierras en el lecho de cualquier río requieren, para su correcto diseño, de un conocimiento exacto de todas las características hidrológicas del río.

No es posible realizar estas obras sin contar con un estudio global de los parámetros climáticos, geomorfológicos e hidrológicos, que han determinado y determinan sus características actuales. Muchos de estos parámetros son resultado de la evaluación directa, como por ejemplo las características geomorfológicas. Otros parámetros como los caudales máximos de avenida, pueden determinarse solamente recurriendo a criterios de similitud hidrológica, teniendo en cuenta que no se dispone de series históricas significativas.

3.1 Determinación de las avenidas máximas

En general, la aplicación de la hidrología superficial en el diseño, construcción y operación de una obra hidráulica, se reduce a encontrar respuesta a las siguientes preguntas:

- a. Qué cantidad de agua se dispone en la corriente, sus propiedades físicas, químicas y bacteriológicas
- b. Cuánto volumen de material sólido transporta la corriente

c. Cuál es la magnitud de las avenidas o crecidas y cuando se presentan.

La tercera pregunta es la más difícil de contestar, la que mayor información requiere para ser evaluada y quizás, la más importante, especialmente en obras o estructuras hidráulicas cuyo fin es de dar paso o controlar el agua proveniente de tales avenidas.

Estas estructuras son generalmente muy costosas y su inadecuada utilización pueden causar graves daños materiales, e incluso la pérdida de vidas humanas.

Por otra parte, los terrenos de las vegas de los ríos, generalmente fértiles, han sido utilizados por la población para el cultivo y para construir viviendas en ellos, ignorando o despreciando el riesgo de inundación y destrucción por las avenidas del río. Para evitar estos problemas es conveniente delimitar rigurosamente los cauces de avenida y construir obras de defensa.

3.2 Origen de las avenidas

En términos generales, las avenidas máximas se pueden clasificar de acuerdo a las causas que las generan, de la siguiente manera:

- a. Avenidas máximas de precipitaciones líquidas
- b. Avenidas máximas de precipitaciones sólidas
- c. Avenidas máximas mixtas u originadas por otras causas.

Las avenidas máximas del primer grupo son las más comunes y tienen su origen en lluvias de gran intensidad, duración y extensión. Al segundo grupo corresponden las avenidas cuyo origen se debe a la fusión de la nieve.

Dentro del tercer grupo están las avenidas que se engendran por efectos simultáneos de las avenidas antes descritas y las originadas principalmente por la ruptura de presas naturales o artificiales, y o por la mala operación de las compuertas de un embalse.

3.2 Métodos de estimación de las avenidas máximas

Para la estimación de una avenida máxima se dispone de varios métodos de cálculo, los mismos pueden ser agrupados en términos generales, de la siguiente manera:

1. Métodos empíricos.
2. Métodos históricos.
3. Métodos de correlación hidrológica de la cuenca.
4. Métodos directos o hidráulicos.
5. Métodos estadísticos o probabilísticos.
6. Métodos hidrológicos o de relación lluvia-escorrentamiento.

3.3.1 Métodos empíricos

El más común de estos métodos lo constituyen las llamadas fórmulas empíricas, que en la actualidad son muy poco utilizadas, debido principalmente a la existencia de otros procedimientos de estimación de las

avenidas máximas, que utilizan mayor información y toman en cuenta un gran número de factores.

Sin embargo, ante la escasez de datos para estimar la avenida máxima en cuencas de pequeña extensión y poco pobladas, la aplicación de las fórmulas empíricas permite conocer, de una manera rápida, el orden de magnitud de la avenida sin tener que recurrir a la recopilación de datos directos o esperar varios años para disponer de información hidrométrica. Se recomienda el uso de la fórmula empírica cuando:

- a. Los datos han sido contrastados con datos reales en una determinada cuenca o región.
- b. Se desea representar de una manera fácil los resultados obtenidos con estudios racionales de avenidas en un río o cuenca. Se entiende por estudio racional de avenidas máximas, el que utiliza suficientes datos reales de avenidas o aplica diversos criterios de estimación para que en base a los resultados obtenidos, se deduzca el probable hidrograma de las avenidas que se estiman.

3.3.2 Métodos históricos

Los métodos históricos consisten en la investigación y recopilación de datos sobre las avenidas ocurridas en un río o en un embalse. En realidad, los métodos históricos, aunque permiten conocer las características de una gran avenida ocurrida muchos años atrás, no permiten prever la proporción de una avenida mayor a la máxima conocida, aún cuando existen muchas posibilidades de que ésta se presente.

Por otra parte, los métodos históricos tienen que vencer dos grandes dificultades para poder suministrar información útil:

- a. La carencia e insuficiencia de datos (registros históricos).
- b. El cálculo numérico de la avenida a partir de los datos recabados, referido generalmente a niveles y no a gastos.

Para enfrentar la segunda dificultad, se utilizan los llamados métodos directos o hidráulicos, que se describen más adelante.

3.3.3 Métodos de correlación hidrológica de cuencas

Cuando en una cuenca bajo estudio no se cuenta con datos hidrométricos y pluviométricos, la estimación de la avenida máxima puede intentarse mediante la correlación con los datos de gastos máximos de una cuenca próxima, cuyas características climáticas (régimen de precipitación, vientos, etc.), topográficas (magnitud, pendiente, altitud, orientación y formas de la cuenca, etc.), geológicas (tipo de suelos, espesores, etc.) y de cobertura vegetal, sean lo más similares posibles a la cuenca en estudio y que en la cuenca vecina su registro hidrométrico sea amplio.

La ventaja de este método es que permite una mejor utilización de la información hidrométrica y la estimación racional de la avenida en cuencas con escasez de todo tipo de datos (hidrométricos y de lluvias máximas).

La desventaja primordial del método es la dificultad de realizar un análisis y ponderación de todos los factores citados, en la búsqueda de la analogía existente, para establecer los coeficientes de correspondencia entre las dos cuencas.

3.3.4 Métodos directos o hidráulicos

La aplicación de los métodos hidráulicos o directos, no deben omitirse nunca, pues aunque no cuenten con una metodología hidrológica, la mayoría de las veces permiten obtener información bastante útil y garantizada. Sobre todo debido a la posibilidad de fijar, con buena precisión, las alturas o niveles alcanzados por el agua en tiempos pasados y algunas veces, incluso remotos. A partir de éstos datos es posible determinar el gasto máximo instantáneo en cualquier momento.

En resumen, este método consiste en fijar en un tramo del río bien definido y característico las elevaciones máximas alcanzadas por las aguas y calcular, a partir de ellas, el gasto máximo que las produjo.

El cálculo del gasto máximo de la avenida por los métodos directos es de gran utilidad, al menos para ofrecer una idea del orden de la magnitud de ésta.

3.3.5 Métodos estadísticos o probabilísticos

Estos métodos consisten, en síntesis, en estimar la magnitud de la avenida máxima, a partir de un registro (serie) de gastos máximos anuales instantáneos conocidos, por su extrapolación, mediante su probable distribución en diversos periodos de retorno.

Por otra parte, aunque la extrapolación esté dentro de los límites recomendados, se pueden presentar los dos casos extremos siguientes:

- a. Suponiendo que se dispone de un registro bastante aceptable, por ejemplo de cincuenta años y que en tal período de tiempo las avenidas registradas han sido moderadas o de baja magnitud, entonces, al extrapolar a un período de retorno de unas cinco veces el registro, lo más probable es que el valor concluido resulte por defecto, es decir, bajo.
- b. Si por el contrario, en el lapso de cincuenta años se han presentado avenidas extraordinarias correspondientes a períodos de retorno mayores de cincuenta años, la extrapolación mostrará un gasto bastante grande, ya que se partió de la consideración de que la avenida máxima registrada corresponde a un período de retorno de cincuenta años.

Entre los dos casos extremos citados pueden suceder todos los intermedios posibles, por lo cual se concluye, que la extrapolación excesiva puede conducir a exagerar o infravalorar la avenida que se calcula.

3.3.6 Métodos hidrológicos

Estos métodos tienen como objetivo la reconstrucción matemática del proceso o fenómeno de la formación de la avenida. Se estiman precipitaciones pluviométricas de duración y período de retorno determinado y dentro de lo probable, se calcula el escurrimiento que se genera en un punto de la corriente estudiada, hasta llegar a dibujar el probable hidrógrama.

Estos métodos tienen la ventaja de que permiten reproducir aceptablemente el fenómeno, en base a la estimación de diversos parametros, como son las precipitaciones máximas y las características físicas de la cuenca.

Pero la utilización de las precipitaciones máximas como parámetro es también una desventaja en los casos en que se tiene que extrapolar alguna de sus variables, ya que sus errores, debido a la irregularidad de las lluvias en la cuenca, y la determinación de la parte de la lluvia que absorbe el suelo, pueden distorsionar la estimación de la determinación de las avenidas a partir de las lluvias.

Sin embargo, en cuencas pequeñas, poco pobladas y sin datos hidrométricos, la determinación de los posibles hidrogramas de avenidas a partir de precipitaciones probables, es en general, el mejor procedimiento a utilizar.

3.4 Pluviometría del río

La pluviometría del río se determina por medio de registros hechos por expertos en la materia, en Guatemala el Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), es el encargado de obtener dichos datos.

Para calcular el caudal máximo de avenida para un periodo determinado, se toma como referencia las alturas máximas de precipitación diaria que cayeron sobre la cuenca en los últimos 15 años o más.

3.5 Tiempo de concentración.

Para determinar el tiempo de concentración es necesario referirse a la estación meteorológica local, en el presente caso el Instituto Nacional de

Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), en donde se pueden obtener los siguientes datos que servirán para el cálculo.

- a. La superficie A en Km².
- b. La longitud L en Km, medida a lo largo del cauce principal.
- c. La cota del fondo del cauce y msnm en la zona indicada.
- d. La altitud media H msnm en la zona indicada.
- e. La altitud media H_z en m. de cada cuenca respecto a la cota Y.

En base a estos datos ha sido posible deducir la dimensión que pueda asumir el Tiempo de concentración T_c, en cada cuenca considerada, por cualquier método.

3.6 Caudal máximo del río.

La magnitud hidrológica que es necesario evaluar con mucha atención es el caudal máximo de avenida "Q", el cual se puede presentar con un periodo de retorno "Tr", igual a 20 años.

3.7 Estimación de los caudales de avenida en base a lluvias

Con la finalidad de comprobar la validez de los resultados obtenidos, del caudal máximo, se han deducido también los valores del caudal máximo de avenida Q₂₀, tomando como referencia las máximas alturas de lluvia que pueden caer sobre la cuenca definida en el río.

4. CÁLCULO DE LOS TIRANTES MÁXIMOS Y ALTURAS DE SOCAVACIÓN

4.1 Características hidráulicas.

Para obtener documentación que ofrezca las garantías necesarias para los trabajos de regulación de ríos, se tienen que realizar trabajos de levantamientos topográficos de terreno y la recopilación de datos técnicos de experiencia tanto de personal técnico, como de los beneficiarios de la zona, para poder determinar lo siguiente:

- a. Bajo qué condiciones hidráulicas tiene lugar el transporte de acarreo.
- b. Bajo qué condiciones hidráulicas tiene lugar la erosión de fondo y de las riberas del río.
- c. Bajo qué condiciones hidráulicas y geométricas del cauce puede asegurarse el estado de equilibrio de determinados tramos.

4.2 Relaciones geométricas

Al hacer referencia sobre relaciones geométricas se definirá un perfil del río, el cual consistirá en una sección trapezoidal sencilla, en donde se pueda obtener, área y pendientes de taludes, con métodos de cálculos simples.

4.2.1 Sección trapezoidal sencilla.

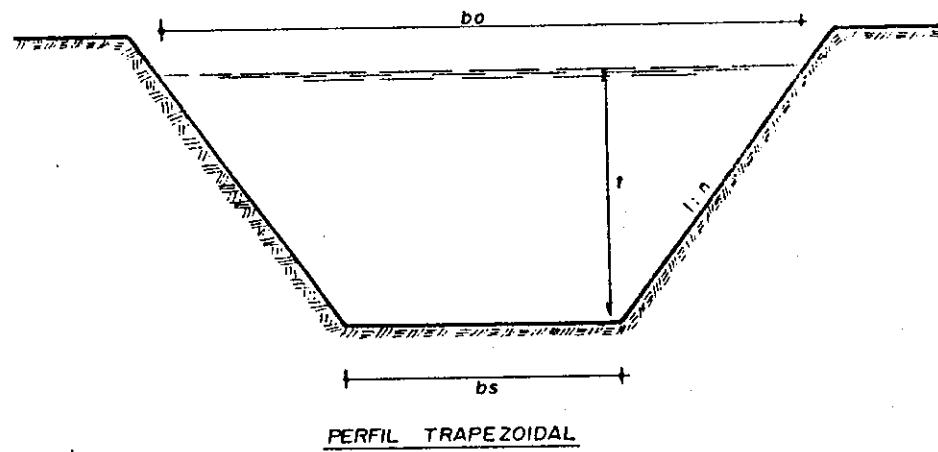


FIGURA No.1

4.2.2 Pendiente de los taludes

$$n = \frac{b_o - b_s}{2t}$$

$$b_s = b_o - 2nt$$

$$b_o = b_s + 2nt$$

$$b_m = b_s + \frac{b_o}{2}$$

Donde:

b_o = Ancho de la superficie (m).

b_s = Ancho en el fondo (m).

b_m = Ancho medio (M).

t = Tirante (m).

Otras relaciones son:

Área:

$$A = t \times b_m$$

Perímetro mojado:

$$U = b_s + 2t \text{ SQR } 1 + n^2 = b_o - 2nt + 2t \text{ SQR } 1 + n^2$$

Radio hidráulico:

$$R = A/U$$

Para secciones anchas, b_o mayor de 30 m. el tirante medio es.

$$T_m = A/b_o$$

4.23 Perfil normal

El perfil normal se determina sobre cálculos basados en la pendiente, las características del lecho y del caudal del río. El perfil debe ser, en primer lugar, lo suficientemente amplio para garantizar el escurrimiento de las aguas, el transporte de los acarreos y evitar erosión del fondo del cauce. Además de estos cálculos teóricos, deben inspeccionarse la naturaleza y orientarse, por consiguiente, en los tramos que han alcanzado un equilibrio.

De la fórmula de MANINNG

$$V_m = K_s \times R^{2/3} \times J^{1/2}$$

Donde:

V_m = Velocidad media (m/seg).

R = Radio hidraulico (m)

J = Pendiente

K_s = Coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural del río.

TABLA No. III
VALORES PARA K_s

Lechos naturales de río con fondo sólido sin irregularidades	40
Lechos naturales de río con acarreo regular	33 – 35
Lechos naturales de río con vegetación	30 – 35
Lechos naturales de río con piedra e irregularidades	30
Lechos naturales de río con fuerte transporte de acarreo	28
Torrentes con piedra gruesa, con acarreo inmóvil	25 – 28
Torrentes con piedra gruesa, con acarreo móvil	19 – 22

En los ríos naturales los valores de K_s no son constantes sino que dependen del caudal instantáneo. Muchas veces el fuerte movimiento de la materia sólida con la crecida, causa una nivelación de las irregularidades del fondo, por lo cual se disminuyen las pérdidas de corriente, es decir, sube el valor de K_s .

Sin embargo, generalmente se evalúa la fórmula de MANNING bajo las condiciones de $K_s = \text{constante}$.

4.3 Tirantes máximos y anchos permisibles.

Para poder determinar los tirantes máximos de un río se tienen que considerar anchos permisibles, los cuales se tomarán del ancho del lecho del río y las pendientes correspondientes. Es importante determinar el K_s del río basándonos en los datos de la tabla No. III.

$$V_m = K_s \times R^{2/3} \times J^{1/2}$$

$$Q = V_m \times A$$

$$Q = b_o \times t (K_s \times t^{2/3} \times J^{1/2})$$

$$Q = K_s \times b_o \times t^{5/3} \times J^{1/2}$$

$$T = (Q/K_s \times b_o \times J^{1/2})^{3/5}$$

4.4 Profundidad de socavación.

Para establecer la profundidad de socavación es preciso tener en cuenta los siguientes conceptos:

Es necesario evaluar la erosión máxima esperada en una sección, al pasar un gasto de diseño o de interés singular Q, al cual se le atribuye una cierta recurrencia o tiempo de retorno.

En esta teoría, la fórmula de la velocidad considerada erosiva, que es la velocidad media capaz de degradar el fondo, se expresa por:

$$V_e = 0.60 \times \rho_s^{1.18} \times B \times t_s^x$$

Donde:

V_e = Velocidad erosiva (m/seg.).

ρ_s = Densidad del suelo seco que se encuentra a la profundidad H_s
(Ton/m³).

B = Coeficiente que depende de la frecuencia con que se repite la avenida que se estudia y cuyo valor se transcribe en la tabla No. IV.

t_s = Tirante que corresponde a la profundidad a la que se desea evaluar V_e .

X = Exponente característico para material no cohesivo transcrito en la tabla No. V.

TABLA IV
COEFICIENTE, B, PARA SOCAVACIÓN

Probabilidad anual de que se Presente el gasto de diseño	B Coeficiente
0	0.77
50	0.82
20	0.86
10	0.9
5	0.94
2	0.97
1	1.00
0.3	1.03
0.2	1.05
0.1	1.07

TABLA No. V
TABLA DE VALORES $X - 1 / (X + 1)$

SUELOS	COHESIVOS		SUELOS	NO COHESIVOS	
Peso. Especf. (T/m ³)	X	1/(X+1)	D (mm)	X	1/(X+1)
0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70
0.83	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70
0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71
0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71
0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72
0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72
0.96	0.46	0.68	4.00	0.37	0.73
0.98	0.45	0.69	6.00	0.36	0.74
1.00	0.44	0.69	8.00	0.35	0.74
1.04	0.43	0.70	10.00	0.34	0.75
1.08	0.42	0.70	15.00	0.33	0.75
1.12	0.41	0.71	20.00	0.32	0.76
1.16	0.40	0.71	25.00	0.31	0.76
1.20	0.39	0.72	40.00	0.30	0.77
1.24	0.38	0.72	60.00	0.29	0.78
1.28	0.37	0.73	90.00	0.28	0.78
1.34	0.36	0.74	140.00	0.27	0.79
1.40	0.35	0.74	190.00	0.26	0.79
1.46	0.34	0.75	250.00	0.25	0.80
1.52	0.33	0.75	310.00	0.24	0.81
1.58	0.32	0.76	370.00	0.23	0.81
1.64	0.31	0.76	450.00	0.22	0.83
1.71	0.30	0.77	570.00	0.21	0.83
1.80	0.29	0.78	750.00	0.20	0.83
1.89	0.28	0.78	1.00	0.19	0.84
2.00	0.27	0.79			

En la aplicación que puede referirse a las consecuencias derivadas de acciones artificiales, tales como estrechamientos de cauce, lineamientos correctivos, presencia de singularidades con alternativas locales, tales como puentes, se opera con suelos cohesivos y rugosidad uniforme, a partir de la expresión precedente y considerando un ancho contraído b_0 y tirante líquido inicial t .

$$Q = K_s * b_0 * t^{5/3} * J^{1/2}$$

$$Q = a * t^{5/3} * b$$

$$a = \frac{Q}{t^{5/3} * b_0}$$

La velocidad real V_r con profundidad incrementada hasta t_s disminuirá, de modo que:

$$Q = V_r * t_s * b_0 = a * t^{5/3} * b_0$$

Obteniéndose de esta manera:

$$V_r = \frac{a * t^{5/3}}{t_s}$$

La erosión se detendrá cuando a una profundidad alcanzada se cumpla con la condición de equilibrio:

$$V_e = V_r$$

Lo cual se verifica según la expresión

$$0.6 * \delta_s^{1.18} * B * t_{sx} = \frac{a * t^{5/3}}{t_s}$$

De donde resulta:

$$t_s^{(x+1)} = \frac{a * t^{5/3}}{0.6 * \delta_s^{1.18} * B}$$

Resultado de esta manera:

$$t_s = \left\{ \frac{a * t^{5/3}}{(0.6 * \delta_s^{1.18} * B)} \right\}^{1/(x+1)}$$

La aplicación de esta teoría a suelos no cohesivos:

La velocidad de equilibrio se expresará:

$$V_e = 0.68 * D_m^{0.28} * B * t_s^{(x+1)}$$

manteniendo V_r según las expresiones anteriores resulta:

$$t_s = \left\{ \frac{a * t^{5/3}}{(0.68 * D_m^{0.28} * B)} \right\}^{1/(x+1)}$$

Para sedimentos cohesivos, la capacidad alcanzada a través del tiempo de asentamiento en texturas plásticas, aumenta la resistencia al esfuerzo de corte.

El caso que ocupa pertenece a la clasificación de suelos cohesivos, luego, la profundidad de socavación será:

$$h_s = t_s - t$$

5. OBRAS LONGITUDINALES PARA RECUPERACIÓN DE TIERRAS

5.1 Descripción

Las poblaciones que están asentadas en la márgenes de los ríos, consecuentemente, se encuentran amenazadas por inundaciones, sobre todo cuando en la crecida de las aguas, éstas invaden las partes bajas. Estas poblaciones necesitan proteger sus vegas en forma económica y rápida, y las estructuras longitudinales son una buena opción.

Las obras longitudinales se constituyen sobre el margen de la ribera a ser recuperada, para desviar el flujo principal, el lecho proyectado en la ribera opuesta y mantenerla en ella. Estas obras consisten en defensas o barreras construidas sobre el lecho primitivo, las cuales pueden tener varias fases de construcción, con una primera, segunda y tercera elevación según sus necesidades.

Estas obras longitudinales, generalmente en su primera fase, son estructuras que tienen agua por ambos lados, pero al estrechar la corriente provoca el aumento de la fuerza de arrastre en el lecho y como consecuencia, se produce una profundización del fondo en la zona encauzada, razón por la cual al construir una defensa, se toma en cuenta el poder erosivo de la corriente en la base de ésta.

Debido a estos efectos, las obras longitudinales deben tener cierta flexibilidad por el lado del lecho del río, a fin de que se adapten siempre al

suelo de fundación y se eviten las socavaciones excesivas provocadas por la profundización de la corriente.

Al mismo tiempo que se forma el nuevo lecho, se realiza la colmatación por sedimentación de los terrenos situados detrás de la obra longitudinal. Los trabajos se organizan de tal manera que por una parte, favorezcan la entrada del agua cargada de sedimentos hacia zonas situadas detrás del defensivo y por otra, impidan que se produzcan en él, corrientes que puedan estorbar la sedimentación. Es importante organizar los trabajos de manera que el agua misma efectúe todos los transportes de tierras.

El extremo superior de la obra longitudinal se empotra fuertemente con la antigua orilla, para favorecer la estabilidad, pero al mismo tiempo se deja un espacio para ejecutar obras de riego, que favorecen la sedimentación. En el área recuperada se construyen obras transversales o traviesas, para dificultar la formación de corrientes que transporten acarrees detrás del defensivo.

Si las obras transversales son desbordables, la cara posterior se construye de modo que no pueda ser socavada por el agua que por ella se precipite. Para este propósito se utilizan materiales existentes en la zona, como ramas o arbustos.

La sedimentación detrás de la obra longitudinal y entre las traviesas, se tiene que proteger contra los arrastres que podría ocasionar la formación de corrientes; esta protección se efectúa por medio de líneas de plantones de mimbre, paralelas a las traviesas y posteriormente en todo el terreno, para proteger y favorecer la sedimentación de legamos.

En lugares donde no es posible provocar la sedimentación por desborde de las aguas a través de la defensa longitudinal, el agua con alto grado de material en suspensión, es encauzada por canales a los diferentes sectores del área recuperada, formando lagunas de sedimentación entre el muro longitudinal, la orilla y las obras transversales.

5.2 Selección del tipo defensivo

Para la selección del tipo de estructura y del material a ser utilizados en los defensivos, hay que tener en cuenta el tipo de flujo donde se han usado, y la corriente que van a enfrentar, diferencias del material de arrastre, transporte de sedimentos, tipos de suelos, características de los taludes, velocidad de descarga, fuerza de corriente, etc. De todos estos factores dependerá la resistencia y comportamiento de la estructura para un buen funcionamiento.

Los suelos de ríos tienen baja capacidad de soporte, lo que encarece enormemente los costos de fundación de obras tradicionales (estructuras de tipo rígido). El uso de gaviones permite superar este problema porque se trata de estructuras de tipo flexible, que reducen considerablemente los costos.

Un factor determinante para la selección del tipo de defensivos es la existencia de materiales locales y la facilidad para conseguirlos. También los costos de construcción son un parámetro importante, así como el tiempo disponible para construirlos.

Es fácil comprender porqué las estructuras de gaviones tienen un gran empleo en las obras de revestimiento en los cursos de agua, sean éstos

naturales o artificiales, ya que poseen, entre otras, tres características de gran utilidad para esta aplicación: la flexibilidad, la permeabilidad y la resistencia que ofrece por su conformación monolítica.

Otros factores que han determinado la selección de este tipo de estructura, por la participación campesina en el proyecto son: la facilidad de ejecución y de funcionamiento inmediato. Los gaviones son fáciles y rápidos de armar y pueden ser ejecutados tanto en lugares secos como en presencia de agua, evitando de esta manera obras secundarias como desvíos de la corriente, operaciones de bombeo, excavaciones para fundaciones, etc. Por otra parte, las obras de gaviones no requieren de mano de obra especializada y las estructuras funcionan tan pronto las diversas piezas se encuentren rellenas y unidas entre sí. Además, la obra puede ser modificada o ampliada en función de los cambios en las condiciones locales y la estructura resultante mantiene inalteradas sus características de homogeneidad y resistencia.

5.3 Ejecución de estructuras gavionadas

5.3.1 Material de relleno

Por ser el gavión una estructura que actúa principalmente por gravedad, el mejor material de relleno es aquel que permitiendo la flexibilidad, asegura un máximo de peso. Además, la roca debe cumplir ciertas condiciones de durabilidad, debe ser resistente a la corrosión química, atmosférica y mecánica. No debe pues ser degradada por el flujo de agua a través del gavión ni por golpes de roca en suspensión.

Existen varios tipos de roca que cumplen las especificaciones anteriores, pero el más utilizado es el canto rodado de los ríos.

El peso específico del gavión depende del peso específico del material de relleno y del porcentaje de huecos en el interior del gavión.

La relación que dá este valor es de la siguiente forma:

$$\delta_g = \delta_p(1-n)$$

Donde:

δ_g = Peso específico del gavión

δ_p = Peso específico de la roca de relleno

$$n = \frac{\% \text{ de huecos}}{100}$$

5.3.2 Armado e instalación

Los gaviones se presentan en paquetes, marcados cada uno con los colores que corresponden a una determinada dimensión. En el lugar de trabajo la estructura metálica se desdobra y se extiende en el suelo. Alzando las paredes y cosiendo las aristas verticales con el alambre apropiado, se obtienen las cajas. Dichas costuras son ejecutadas en modo continuo, pasando el alambre por todos los huecos de las mallas con doble vuelta cada dos huecos.

Después de preparado un cierto número de gaviones en forma de caja y reunidos en grupos, en número que varía según las posibilidades de ejecución, se colocan en su correspondiente ubicación, según diseño, bien atados entre sí, por medio de resistentes costuras a lo largo de todas las aristas en contacto.

Para realizar la costura se coloca el alambre de forma continua por los huecos de las mallas (lasadas), con doble vuelta por cada dos huecos (anillo).

Todos los gaviones deben ir armados entre sí, tanto los que son adyacentes como los que están superpuestos por anillos o grapas hechas con el mismo alambre. El tamaño de las piedras será siempre mayor al de la malla. Es conveniente amarrarlos entre sí antes de rellenarlos, para facilitar de esta manera la operación de costura.

Si la altura de los gaviones es de 1 metro, se deben colocar tirantes en el interior de éstos, con el fin de evitar una excesiva deformación en las cajas, con el consiguiente amontonamiento de pedriscos y tener paredes lisas.

Los tirantes se colocan a 30 cm de los bordes superior e inferior. En los gaviones de 50 cm de altura es necesario colocar tirantes a 25 cm del borde superior.

Los tirantes pueden ser colocados en forma horizontal o vertical, según su forma y función, de acuerdo a las necesidades en las distintas partes de la obra. Los tirantes verticales se utilizan por costumbre en los zampeados o en los revestimientos con gaviones sin diafragma altos de

0.50m o 0.30 m, mientras los tirantes horizontales se emplean, como ya se dijo, con todos los gaviones altos de 1.0 m.

La etapa de llenado con piedras es el paso más importante en la construcción de la estructura con gaviones, pues de ella depende su estabilidad. El tamaño de la piedra está directamente relacionado con el porcentaje de huecos en el gavión y por lo tanto con el peso específico y la capacidad de soporte de cada bloque.

A mayor tamaño de piedras de relleno es mayor el porcentaje de huecos y menor el peso específico obtenido. Por lo tanto, se recomienda que los gaviones colocados en la base de una obra (llamada colchoneta, que es el elemento que más se deforma) sean llenados con piedras más pequeñas.

5.3.3 Propiedades de las estructuras con gaviones

En la ejecución de las estructuras gavionadas se han podido comprobar las siguientes propiedades:

- a. Flexibilidad: el material no es rígido y adopta la forma del suelo de fundación y se adapta a las socavaciones o asentamientos provocados por erosión, sin comprometer la estabilidad de la obra.
- b. Resistencia: La malla de alambre galvanizado posee la resistencia y la flexibilidad necesaria para soportar las fuerzas producidas por el agua y las masas de la tierra. Los gaviones están provistos de diafragmas o separaciones interiores que no permiten que las piedras se desplacen dentro del gavión, contribuyendo de esta manera a formar una estructura estable y sólida.

- c. Economía: las estructuras gavionadas son más económicas que las estructuras rígidas porque se puede utilizar mano de obra no calificada y elementos rústicos de fácil disponibilidad (grava y piedra). Como alternativa frente al concreto u hormigón ciclopeo, los gaviones presentan una estabilidad similar, a un costo menor.
- d. Permeabilidad: un muro de gaviones es permeable, lo que permite descarga de presiones hidrostáticas y estabilizar una pendiente, por la acción continua de drenaje y retención de partículas sólidas.
- e. Conservación del paisaje: como los gaviones permiten el crecimiento de vegetación se incorporan al medio ambiente que los rodea.
- f. Simplicidad de las obras: las obras de gaviones son siempre de una concepción simple. Los módulos del material imponen un sobredimensionamiento algunas veces y formas geométricas estandar.

Los gaviones presentan limitaciones cuando se utilizan en obras que requieren una larga vida útil, por la durabilidad de la malla de alambre, así como por la necesidad de disponer de abundante material de relleno en el lugar de la obra.

5.3.4 Empleo de geotextil.

En obras realizadas en presencia de suelos finos, cuando puede haber escape de material, se debe tomar particular atención en ejecutar el relleno con un material seleccionado para formar un filtro o preverse un filtro natural, con una camada de 0.5 m. de espesor, con una mezcla de arena y grava. Es aconsejable la colocación del filtro geotextil a lo largo de la base

del muro para terrenos de baja capacidad soporte o sujetos a la saturación de agua.

5.3.5 Relleno posterior.

Se recomienda que el relleno posterior del muro sea ejecutado con material de buena calidad. Si fuera utilizado un material cohesivo, el mismo debe ser compactado en capas de 0.20 m.

6. DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON GAVIONES

6.1 Principios básicos de construcción

Para construir una obra de protección de gaviones, se deben considerar previamente los siguientes aspectos:

- a. Deformabilidad
- b. Capacidad de soporte del suelo
- c. Estabilidad
- d. Construcción de la base antisocavante

6.1.1 Deformabilidad de la obra

Si se considera que cada bloque actúa como un elemento aislado, la deformabilidad queda garantizada en el gavión de acuerdo a datos experimentales, para soportar hasta 5 Ton/m³.

Vale decir que un cubo de 1m * 1m * 1m podrá soportar hasta 5 toneladas de peso. Esto equivale a 0.5 kg/m² sobre la base del gavión. Si se considera:

$$\delta_p = 2.6 \text{ Ton/m}^3$$

$$n = 0.30 \text{ porcentaje de huecos}$$

$$\delta_g = 2.6 (1 - 0.30)$$

$$\delta_g = 1.82 \text{ Ton/m}^3$$

Se tiene que la altura admisible será:

$$\frac{5}{1.82} = 2.75 \text{ m de altura}$$

Para construir obras de mayor altura se deberá contemplar la construcción de muros con escalonamiento progresivo hacia la base, lo cual permite distribuir el peso en una superficie mayor.

6.1.2 Capacidad de soporte del suelo

Para determinar la capacidad de soporte del suelo se debe recurrir al cálculo de este valor mediante el Método de Terzaghi, o cualquier otro que sea conveniente.

Cuando se trata de obras pequeñas y se está en condiciones de reconocer con certeza el tipo de terreno, se puede recurrir a valores de construcción para cimientos continuos.

La estabilidad y la construcción de la base antisocavante se definirán en capítulos posteriores, por ser principios de mayor importancia.

TABLA No. VI
PRESIÓN ADMISIBLE

NATURALEZA DEL TERRENO	PRESIÓN ADMISIBLE		
	(Kg/Cm ²)		
Roca dura, roca promitiva	20.00	a	25.00
Roca blanda (toba, arenisca, caliza)	8.00	a	10.00
Tosca o arenisca arcillosa	5.00	a	8.00
Grava conglomerada dura	5.00	a	7.00
Grava suelta o poco conglomerada	3.00	a	4.00
Arena de grano grueso	1.50	a	2.00
Arcilla compactada o con arena seca	1.00	a	1.50
Arena de grano fino según su grado de capacidad	0.50	a	1.00
Arcilla Húmeda	0.50	a	
Fango o arcilla empapada	-	a	

6.2. Diseño de estructuras longitudinales

6.2.1 Criterios de cálculo

Para determinar el valor del empuje se utilizará la teoría de Coulomb, para lo cual se tiene:

- a. La superficie de ruptura es plana.
- b. La fuerza del rozamiento interno se distribuye uniformemente a lo largo de la superficie de ruptura.

- c. La cuña de terreno entre la superficie de ruptura y el muro se considera indeformable.
- d. Se desarrolla un esfuerzo de rozamiento entre el muro y el suelo en contacto, lo cual hace que la recta de acción del empuje activo se incline un ángulo δ respecto de la normal al paramento interno del muro.
- e. La rotura se analiza como bidimensional, tomando una franja unitaria del muro, considerando la estructura como continua e infinita.

Para no sobredimensionar la estructura, dado que el gavión es permeable, se puede omitir el empuje hidrostático. La estructura es armada por la malla que tiene una gran resistencia a la tracción, manteniéndose la flexibilidad de la obra.

Las configuraciones más utilizadas son las ilustradas en las figuras Nos. 2 y 3, la figura 4, puede ser utilizada en sustitución de la 3 en caso de grandes alturas. El muro con escalones externos e igual de volumen posee una mayor estabilidad. Es conveniente inclinar el muro contra el terreno en un ángulo α , generalmente de 6° , pudiéndose alcanzar los 10° , de esta forma disminuye el valor del coeficiente de empuje activo.

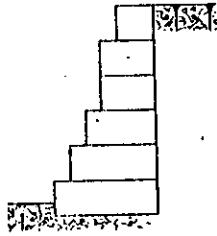


Figura No. 2

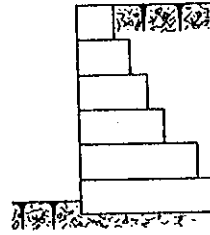


Figura No.3

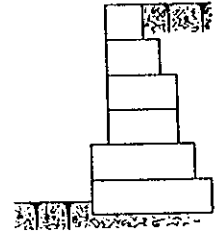


Figura No. 4

6.2.2 Cálculo del empuje

Se adopta en el cálculo el estado límite activo de terreno. El método de Coulomb se basa en el estudio del equilibrio de una cuña de suelo indeformable, sobre la que actúa el peso propio, la fuerza de rozamiento y eventualmente la cohesión. Esta cuña activa se produce cuando hay un desplazamiento de la estructura de contención, lo cual sucede solo si la misma es deformable, como en el caso de los gaviones. En el caso de muros muy rígidos se desarrollan empujes mayores que los correspondientes al empuje activo.

En el caso de muro con paramento vertical interno, la superficie de empuje es el propio paramento interno del muro, fig. 5. En el caso de muro con escalones internos, se considera la superficie que une los extremos internos superior e interior del muro, fig. 6.

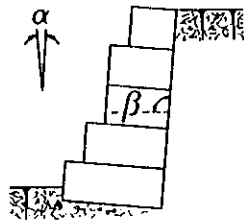


Figura No. 5

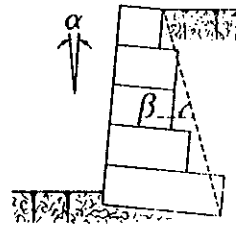


Figura No. 6

Queda así determinado el ángulo β formado por el plano de empuje y la horizontal.

A efecto de conocer el valor del empuje es necesario el valor de la fricción interna del suelo φ y la cohesión c . En la tabla que sigue son indicados valores orientativos de φ .

TABLA No. VII
PROPIEDADES DEL SUELO Y ROCAS

TIPO	MATERIAL	PESO		ÁNGULO DE FRICCIÓN	
		ESPECÍFICO	T/M3	MATERIAL	GRADOS
NO COHESIVO	ARENA	Gruesa y seca	1.44	Compacta, bien graduada, uniforme	40-45
		Fina y seca	1.60	Uniforme, gruesa, arena fina o suelta	35-40
		Húmeda	1.84	Arena suelta bien graduada	35-40
		Muy Húmeda	1.92	Arena fina seca	30-35
	GRAVA	Común mixta	1.76	Común mixta	35-40
		Fluvial	2.24	Grava	40
		Suelta	1.84	Compacta arenosa	40-45
		Arenosa	1.92	Suelta arenosa	35-40
	ROCA SUELTA	Granito	1.60-2.00	Piedra partida en fragmentos	35-45
		Balasto	1.76-2.24	Yeso fragmentado	35-45
		Calcareo	1.28-1.92	Folhelho fragmentado	30-35
		Yeso	1.00-1.28		
		Folhelho	1.60-2.00		
COHESIVO	ARCILLA	Seca	1.76	Bloques de arcilla seca	30
		Húmeda	1.84	Bloques de arcilla húmeda	40
		Saturada	1.92	Arcilla compactada	10-20
		Marga arenosa	1.60	Arcilla blanda	5-7
		Marga	1.76	Material calcareo de zona de deslizamiento	20-27
		Con grava	2.00	Material de falla	14-22
	COBERTURA	Suelo superficial	1.36		
		Suelo seco	1.44		
		Suelo húmedo	1.60	Suelo de cobertura	30-35
		Suelo saturado	1.68		
	MACIZO ROCOSO	Granito	2.61	Granito	30-50
		Quarzita	2.61	Quarzita	30-45
		Arenisca	1.95	Arenisca	30-45
		Caliza	3.17	Caliza	30-50
		Pórfido	2.58	Pórfido	30-40
		Folhelho	2.40	Folhelho	27-45
Yeso		1.76	Yeso	30-40	

Debe considerarse que tanto la fricción como la cohesión se alteran cuando se modifica la humedad del terreno. Dado que ambos parámetros influyen sensiblemente en la determinación del empuje activo debe cuidarse mucho cuál es el valor adoptado. Suele ser conveniente despreciar la cohesión, ya que ésta se modifica con el tiempo y tiene gran influencia sobre el valor del empuje.

Para terraplenes compactados puede adoptarse un valor de $\varphi = 30^\circ$. Tras el muro se admite una distribución uniformemente variada de presiones, con lo cual el empuje toma una configuración triangular.

El empuje activo es calculado en función del peso del terreno y de la altura del muro, siendo su valor reducido debido al coeficiente de empuje activo K_a .

Como se dijo anteriormente, el valor del coeficiente de empuje activo depende del ángulo β , ya mencionado; de ε , que es el ángulo del talud sobre el muro con la horizontal; de φ , ángulo de fricción interna del terreno y de δ , ángulo de fricción entre muro y terreno.

En los muros en gaviones se puede asumir $\delta = \varphi$. Si tras el muro hay un geotextil $\delta = 0.90 \varphi$.

Estos valores favorables se deben a la alta rugosidad de la estructura en gaviones que aumentan sensiblemente la fricción.

δ determina también el ángulo entre la dirección del empuje y la normal a su plano de aplicación.

El valor del coeficiente de empuje activo K_a es determinado por la expresión:

$$K_a = \frac{\text{sen } 2(\beta + \varphi)}{\text{sen } 2\beta \text{ sen } (\beta - \delta) \left\{ 1 + \left(\frac{\text{sen } (\varphi + \delta) \text{ sen } (\varphi - \varepsilon)}{\text{sen } (\beta - \delta) \text{ sen } (\beta + \varepsilon)} \right)^{1/2} \right\}^2}$$

Para facilitar el cálculo, el coeficiente K_a se encuentra tabulado en las figs. Nos: 7, 8, 9 y 10, en las cuales se consideran cuatro valores de β , normalmente usados en la práctica y diferentes valores de φ y de ε . Para valores intermedios de β es posible interpolar.

El empuje activo está determinado por la expresión:

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma_s H^2 K_a - 2 c H K_a^{1/2} \text{ (t/m)}$$

en la cual:

γ_s = peso específico del suelo

c = cohesión

$H = (h + (b-a) \text{tg } \alpha) \cos \alpha$, altura de actuación del empuje, siendo:

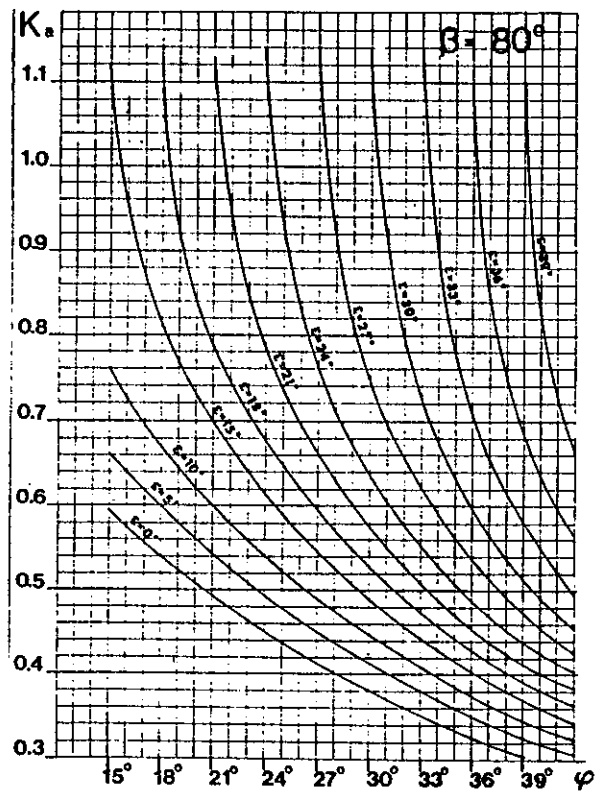
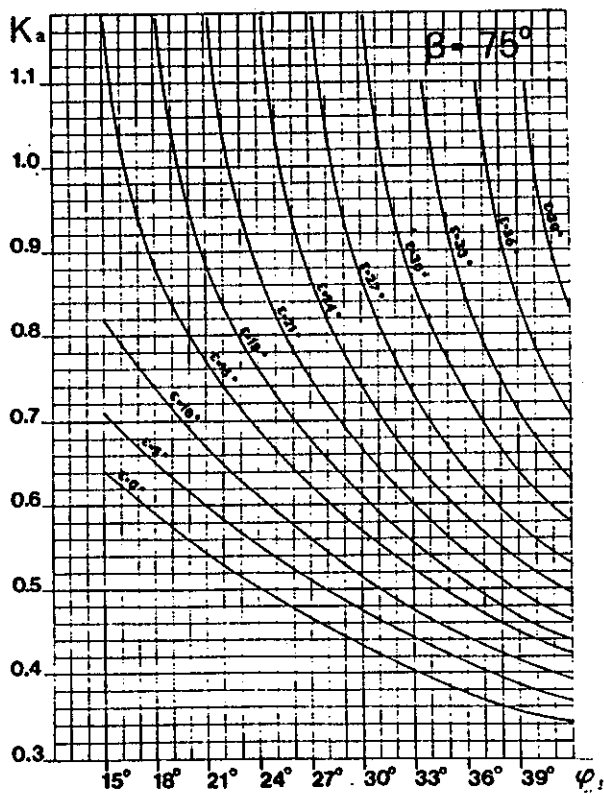
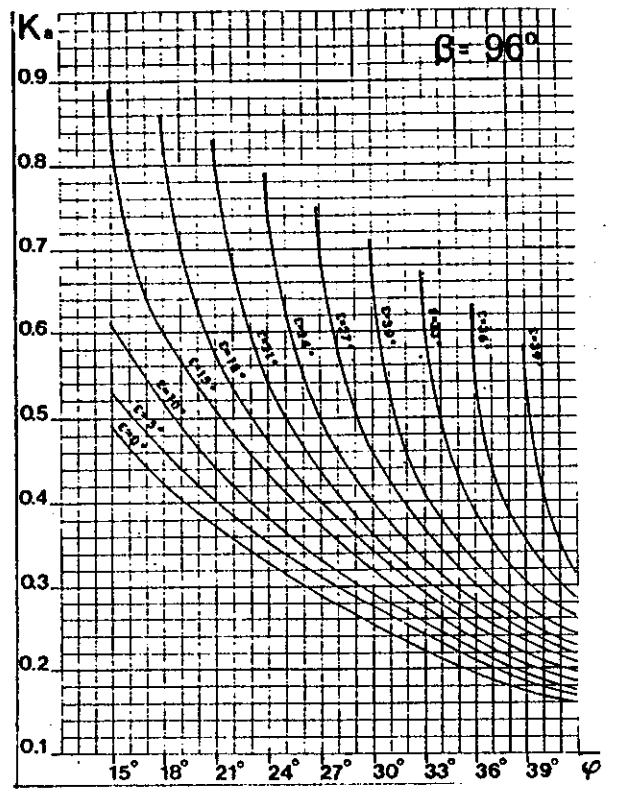
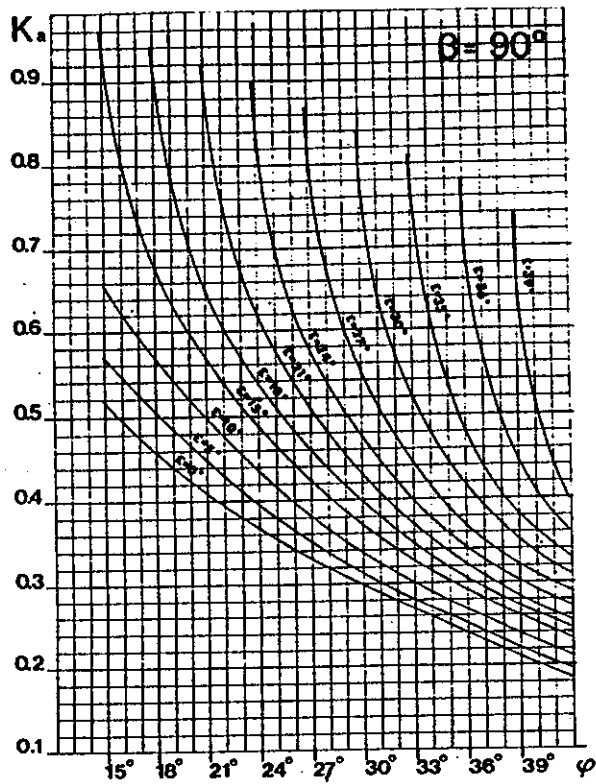
h = altura del muro

b = base del muro despreciando los escalones externos

a = ancho del muro en la cima

Debe recordarse la consideración hecha sobre la cohesión. En el caso de sobrecarga sobre el terraplen, siendo q el valor de la misma, ésta es asimilada a un relleno de altura $h_s = q / \gamma_s$. Luego el empuje (fig. 11), será:

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma_s H^2 K_a (1 + 2h_s / H) - 2 c H K_a^{1/2}$$



FIGURAS No. 7, 8, 9 y 10.
 ÁBACOS PARA LA DETERMINACIÓN DE K_a .

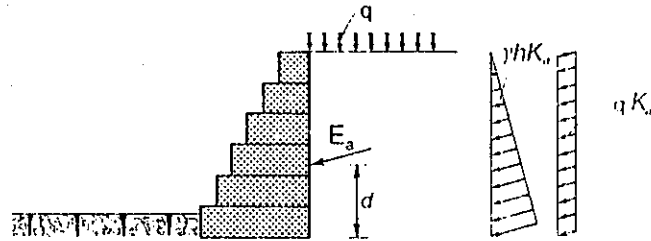


FIGURA No. 11
DISTRIBUCIÓN DEL EMPUJE EN PRESENCIA DE UNA SOBRECARGA
UNIFORME

Normalmente con sobrecargas debido a vehículos, se adopta: $q = 1.5$ a 2.0 t/m^2 .

La altura del punto de aplicación del empuje es de difícil evaluación y varía bastante en la práctica, normalmente puede producirse a una altura comprendida entre $\frac{1}{2} H$ y $\frac{1}{3} H$.

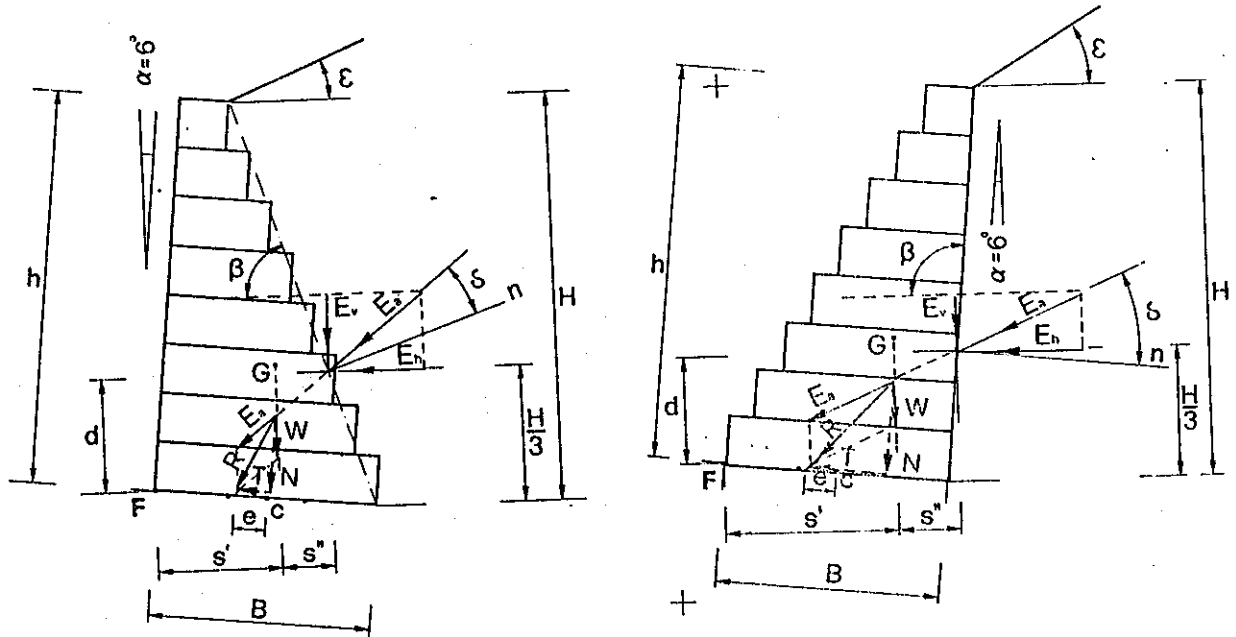
Las variaciones se deben en algunos casos al desplazamiento del muro, a su rigidez, e inclinación y a modificaciones en las características del terreno y sobrecarga.

Normalmente se considera $1/3$ de H (ver fig 12 y 13). Con sobrecarga se tiene:

$$d = \frac{H}{3} \cdot \frac{(H + 3 h_s)}{(H + 2 h_s)} - B \operatorname{sen} \alpha$$

En la cual d es la altura de aplicación del empuje activo, medida en forma vertical desde la horizontal que pasa por el punto de rotación F y B es la base del muro.

Si no hay sobrecarga $d = H/3 - B \operatorname{sen} \alpha$, si $\alpha = 0$, $d = H/3$.



FIGURAS No. 12 Y 13
FUERZAS ESTABILIZANTES Y DESESTABILIZANTES

6.2.3 Criterios de verificación de la estabilidad

Se debe calcular:

- a. Seguridad al deslizamiento.
- b. Seguridad al vuelco.
- c. Carga sobre el terreno.
- d. Verificación en secciones intermedias.
- e. Seguridad de rotura global.

Las fuerzas estabilizantes y desestabilizantes son indicadas en los diseños que siguen para muros con escalones internos (fig.12) y externos (fig.13).

Al enterrar un muro aparece un estado de empuje pasivo que es conveniente despreciar para estar del lado de la seguridad.

6.3.3.1 Verificación de la seguridad al deslizamiento.

Se considera el plano ortogonal que pasa por la base del muro, en donde se tiene:

$$\eta' = \frac{F_{en} \operatorname{tg} \phi + F_{eh}}{F_d} \geq 1.5$$

en la cual:

F_{en} = Fuerza estabilizante normal

F_{eh} = Fuerza estabilizante horizontal

F_d = Fuerza desestabilizante

$$\eta' = \frac{\{(W + E_v) \cos \alpha + E_h \sin \alpha\} \tan \phi + (W + E_v) \sin \alpha + cB}{E_h \cos \alpha} \geq 1.5$$

en la cual:

W = Peso propio de la estructura. Depende de la sección del muro y del peso específico del relleno. En el gavión se considera un porcentaje de vacíos (n) alrededor de 0.3, es decir, 30%, con lo cual se tiene γ_g según la relación de la figura No. 14 o la expresión:

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

γ_p se obtiene de la tabla No. VIII en la cual son relacionados los pesos específicos por diferentes tipos de roca.

TABLA No. VIII
PESOS ESPECÍFICOS DE ROCA

TIPO DE ROCA	PESO ESPECÍFICO
	t/m3
Balasto	2.9
Granito	2.6
Caliza compactada	2.6
Traquita	2.5
Guijarro de río	2.3
Arenisca	2.3
Caliza Tierna	2.2
Toba	1.7

Normalmente el peso específico del gavión llenado con piedra partida de cantera se considera igual a 1.7 t/m^3 .

$E_v = E_a \text{ sen } (90^\circ + \delta - \beta)$; componente vertical del empuje activo

$E_h = E_a \text{ cos } (90^\circ + \delta - \beta)$; componente horizontal del empuje activo

c = cohesión (es conveniente despreciarla)

B = Ancho de la base del muro

α = inclinación del muro

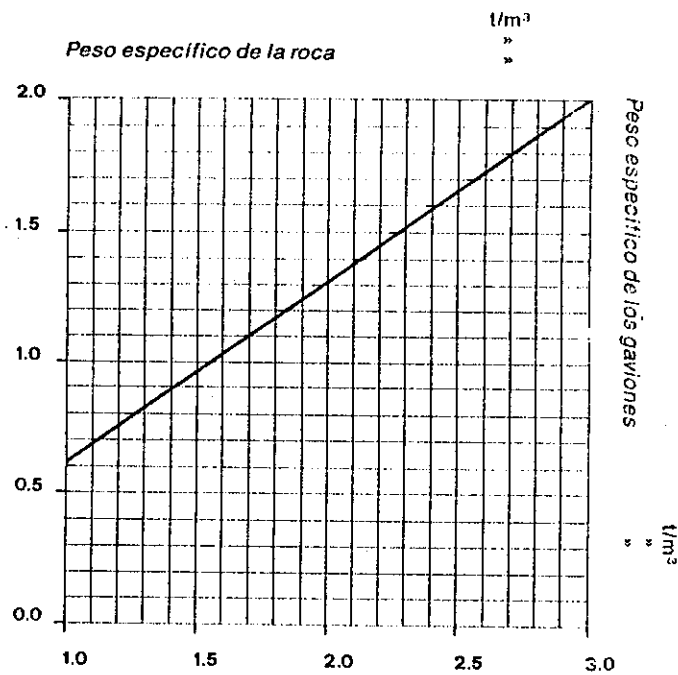


FIGURA No. 14
PESO ESPECÍFICO DE ROCAS Y GAVIONES

Para la verificación del deslizamiento se ha transformado la fuerza normal en horizontal, multiplicandola por el coeficiente f . Este valor es el coeficiente de fricción suelo-gavión.

Por seguridad se adopta siempre el mismo valor $f = \operatorname{tg} \varphi$, independientemente de la cohesión, admitiéndose que el deslizamiento se produce entre terreno y terreno.

6.2.3.2 Verificación de la seguridad al vuelco

Se considera como fuerza estabilizante, el peso propio del muro y la componente vertical del empuje activo y como desestabilizante, la componente horizontal del empuje activo; se tiene :

$$M_v = E_h d; \text{ momento volcador}$$

$$M_r = W s' + E_v s; \text{ momento resistente}$$

en las cuales:

d = distancia entre el punto de aplicación del empuje activo medida sobre la vertical.

$$s = B \cos \alpha - \frac{H}{3} (H + 3h_s) / (H + 2h_s) \frac{1}{\operatorname{tg} \beta}$$

distancia entre el punto de aplicación del empuje medida sobre la horizontal.

$$s' = X_g \cos \alpha + Y_g \operatorname{sen} \alpha$$

en la cual:

X_g y Y_g : son las coordenadas del centro de gravedad del muro, referidas a un sistema de ejes cartesianos, cuyo origen coincide con el punto F.

El coeficiente de vuelco sera:

$$\eta'' = \frac{M_r}{M_v} \geq 1.5$$

6.2.3.3 Verificación de las tensiones transmitidas al terreno

Se puede suponer que exista una distribución lineal de tensiones sobre el terreno; cuando la resultante cae dentro del núcleo central las tensiones resultan:

$$\left. \begin{array}{l} \rho_1 \\ \rho_2 \end{array} \right\} = \frac{N}{B} (1 \pm 6e/B) ; \text{ para caso de } e < B/6 \quad t/m^2$$

En la cual: $N = (W + E_v) \cos \alpha$, es la resultante de las fuerzas normales a la base del muro.

$e = B/2 - (M_r - M_v) / N$, es la excentricidad de la resultante.

El valor de la tensión resultante debe mantenerse por debajo de la tensión admisible del terreno. Este valor puede calcularse aplicando las expresiones de Terzaghi, Hansen, Meyerhoff, etc. También pueden usarse las tablas que dan la resistencia en función del tipo de suelo (tabla 4) y para arenas y arcillas, en función del SPT (tabla 5).

Debido a la alta flexibilidad de los gaviones es posible admitir que la resultante caiga fuera del nucleo central de inercia, sin llegar a valores elevados en la tensión de tracción, ya que se reduce la sección de trabajo de la base.

La excentricidad real será:

$$e' = B/2 - e \quad ; \text{ para } e > B/6$$

$$\rho_1 = 2N/3e' \quad ; \text{ t/m}^2$$

$$\rho_2 = \rho_1 (B - 3e')/3e' \quad ; \text{ t/m}^2$$

Se considera conveniente que $\rho_2 \leq 2t /m^2$ en tracción y ρ_1 no deba sobrepasar la tensión admisible del terreno.

6.2.3.4 Verificación de secciones intermedias

Es necesario verificar las secciones intermedias del muro en las cuales se tiene:

Momento actuante $M = M_r - M_v$, tensión de corte T y esfuerzo normal N . Dadas las características de resistencia a la tracción de los gaviones, la tensión máxima actuante cuando hay una excentricidad.

$e = B/2 - M/N$, vale:

$$\rho_{\max} = \frac{N}{0.8x} ;$$

En la cual $x = (B/2 - e) / 0.4$

Este valor representa la parte de la sección que está trabajando a la compresión. Los valores de M, N, Y T, deben ser estudiados como se indicó al tratar la verificación del muro completo.

El valor de ρ_{\max} no debe superar al admisible:

$$\rho_{\text{adm}} = 50 \gamma_g - 30 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

La tensión tangencial vale $\tau = T/B \text{ (t/m}^2\text{)}$ y deberá ser menor a:

$$\tau_{\text{adm}} = N/B \operatorname{tg}\varphi^* + c_g \text{ (t/m}^2\text{)}$$

En la cual $\varphi^* = 25\gamma_g - 10$, con γ_g expresado en t/m^3 y $c_g = (0.003 P_u - 0.005) 10 \text{ [t/m}_2\text{]}$, siendo P_u el peso de la red metálica (kg/m^3). Para gaviones standard de $h = 1.0 \text{ m}$ vale 8.6 kg/m^3 y para gaviones de $h = 0.5 \text{ m}$ es 12 kg/m^3 . Esto confirma la conveniencia de colocar gaviones de $h = 0.5 \text{ m}$ en el tercio inferior de los muros de gran altura. Debido a la resistencia de la malla las secciones intermedias casi siempre dan valores favorables, con respecto a la sección completa.

6.2.3.5 Seguridad a la rotura global

La inestabilidad de una obra en gaviones puede darse para una rotura del conjunto suelo – muro a lo largo de una superficie cualquiera. El análisis se realiza para diversas superficies y se determina aquella de rotura crítica. El coeficiente de seguridad debe dar entre 1.2 y 1.3.

La superficie de rotura es normalmente una espiral logarítmica, pudiendo por simplificación ser admitida circular y calculada por el método de las fajas. Otro método significativo aproxima la superficie de rotura a una recta y el esquema de fuerzas se muestra en la fig.15.

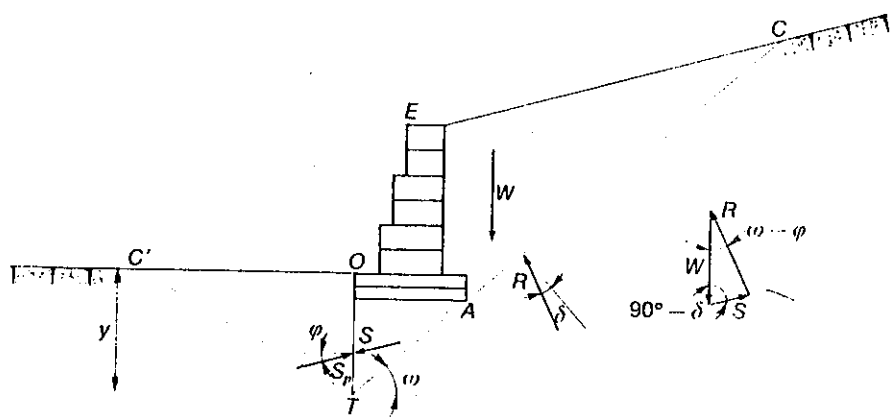


FIGURA No. 15
ESQUEMA DE FUERZAS.

6.2.3.6 Estructuras particulares

Como ya se indicó son 3 los tipos de muros usados en la práctica. Muros con paramento externo vertical o escalonado, o bien escalones a ambos lados.

Ahora bien, se pueden adoptar otros tipos de muros como:

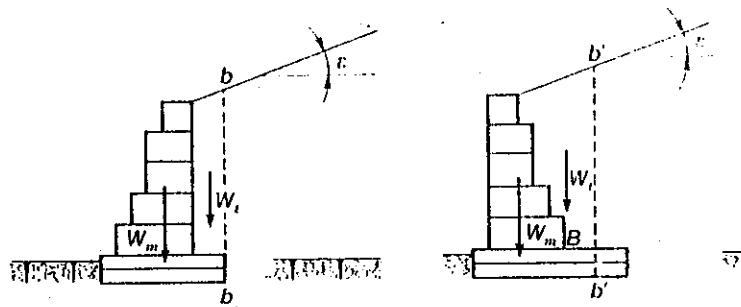
- muros de semigravedad fig. 16a
- muros de semigravedad con solera de anclaje , fig. 16b
- muros esbeltos de paramento escalonado, anclados por colchones Reno o bien páneles de malla, figs. 16c y 16d.

El dimensionamiento de estos muros particulares es diferente de la metodología de cálculo mostrada.

6.2.4 Criterios de proyecto de obras en gaviones.

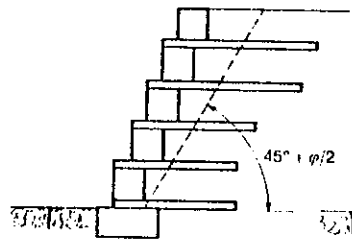
6.2.4.1 Ejecución

Los gaviones deben ser llenados con piedras de granulometría levemente superior a la abertura de las mallas. Debido a la mayor resistencia que ofrecen los gaviones de $h = 0.5$, es aconsejable su utilización en las camadas inferiores de los muros con altura superior a 6.0 m y en apoyos de puentes sujetos a grandes esfuerzos de compresión.

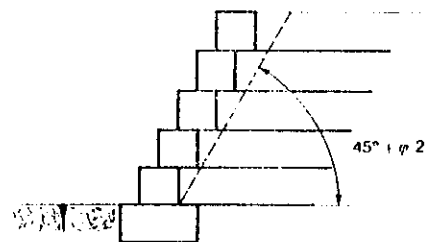


a

b



c



d

FIGURA No. 16
TIPOS DE MUROS

6.2.4.2 Escalones internos, escalones externos

Los muros con escalones internos y paramento externo plano son preferidos, algunas veces, por razones estéticas y por limitación de espacio, pero presentan, para alturas mayores, la necesidad de algunos escalones externos.

Los muros con escalones externos resultan desde el punto de vista estático más favorables.

En virtud de esto, también en el caso del primer tipo de muro citado, es aconsejable la ejecución de pequeños escalones externos de 10 a 20 cm.

6.3 Diseño de espigones.

6.3.1 Descripción del problema.

- a. Establecimiento de poblados cerca de los ríos.
- b. Erosión de orilla, se refiere al desplazamiento lateral.
- c. Causas de la erosión.
 - Deforestación
 - Pérdida de capacidad de retención de agua del suelo.
 - Disminución del tiempo de concentración.
 - Arrastre de sólidos en suspensión.
 - Encauzamientos y correcciones del curso que provocan mayor velocidad del flujo.

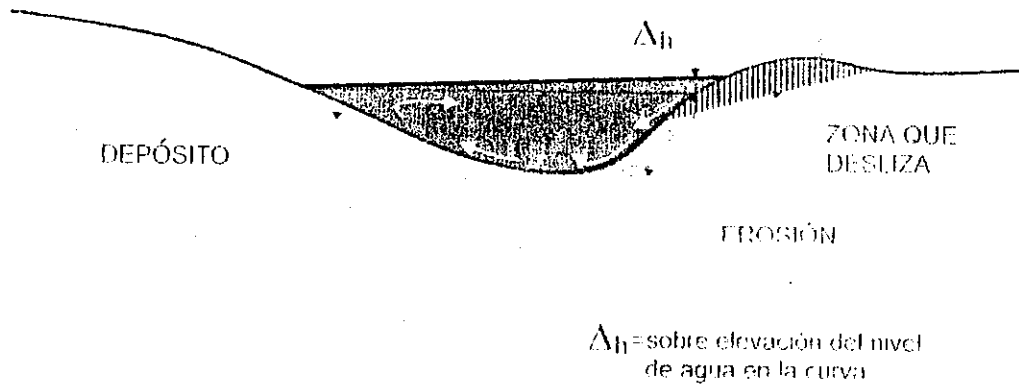


FIGURA No. 17

d. Mecanismo de erosión en curvas

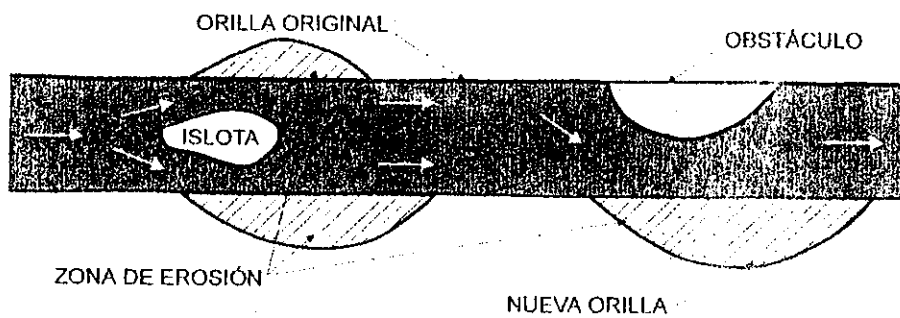


FIGURA No. 18

e. Mecanismos de erosión en tramos rectos.

6.3.2 Soluciones.

A las soluciones, utilizando obras de gaviones, para recuperación de tierras están ligadas las defensas longitudinales y los espigones.

6.3.3 Clasificación de los espigones.

Los espigones se pueden clasificar por su dirección y su forma.

6.3.3.1 Por su dirección.

Los espigones se pueden ubicar en diferentes posiciones y direcciones, pero para que éstos tengan un buen funcionamiento se recomienda hacerlo en tres direcciones, según el caso.

- a. En contra de la corriente.
- b. Normales a la corriente.
- c. A favor de la corriente.

Nomenclatura:

Lt: Longitud de trabajo

Le: Longitud de empotramiento

L: Longitud total

Sp: Separación entre espigones.

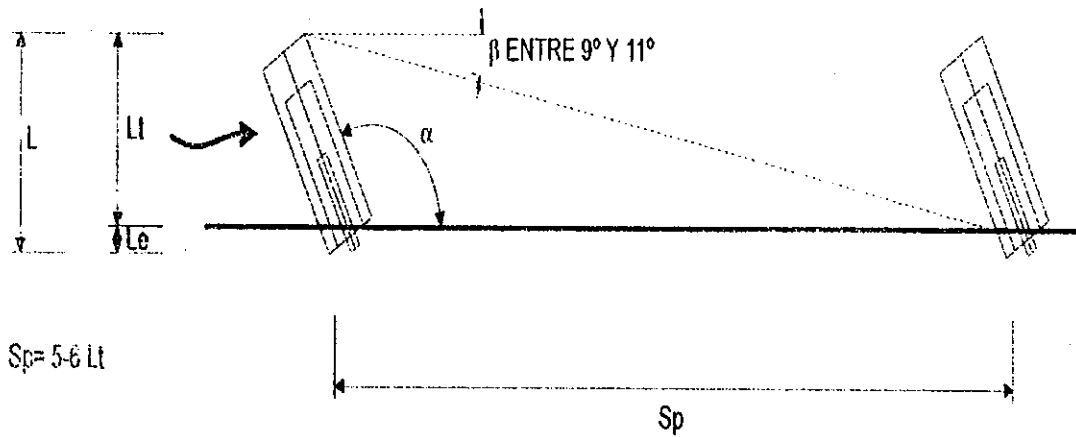


FIGURA No. 19
EN CONTRA DE LA CORRIENTE

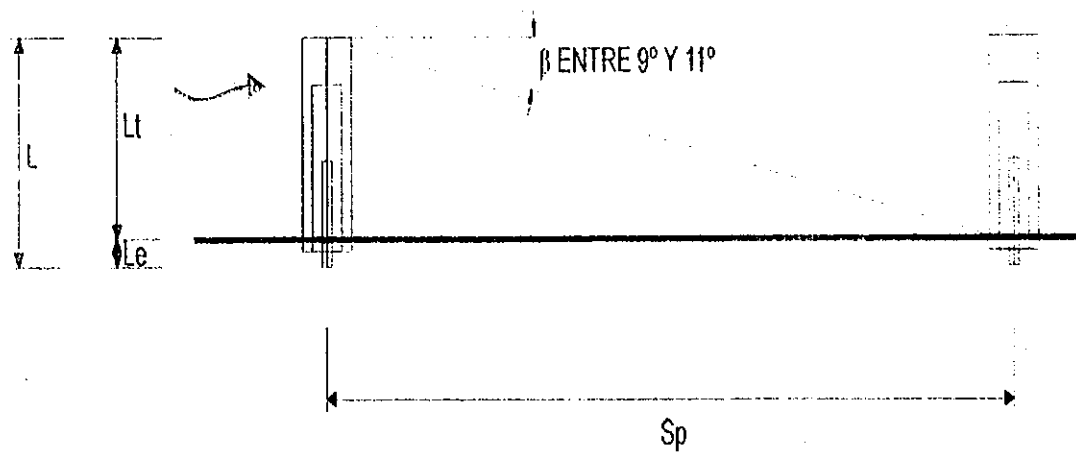


FIGURA No. 20
NORMALES A LA CORRIENTE

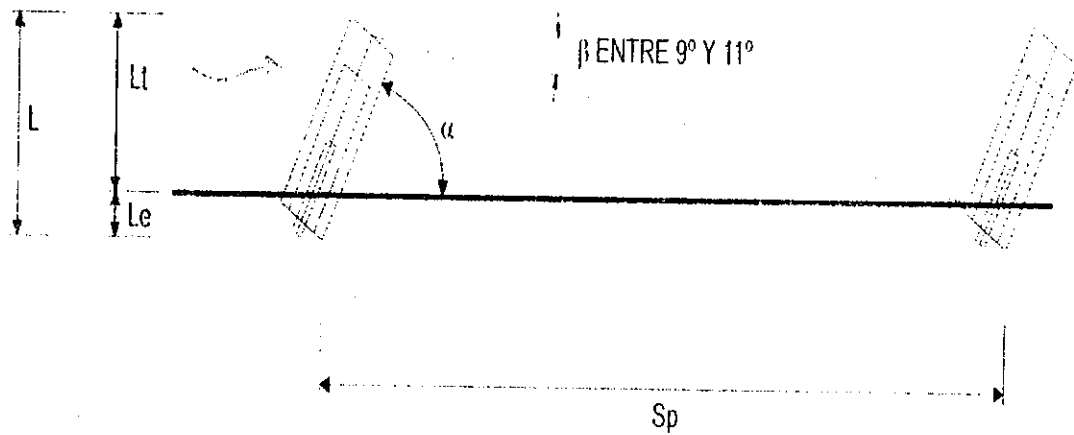


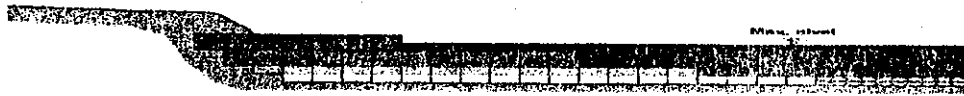
FIGURA No. 21
A FAVOR DE LA CORRIENTE

6.3.3.2 Por su forma.

La forma de los espigones es de suma importancia ya que de eso depende la forma de escurrimiento del agua, por lo cual se recomienda utilizar tres formas.

- a. Asta simple
- b. Cabeza de martillo
- c. Bayoneta.

Sección A-A



Planta

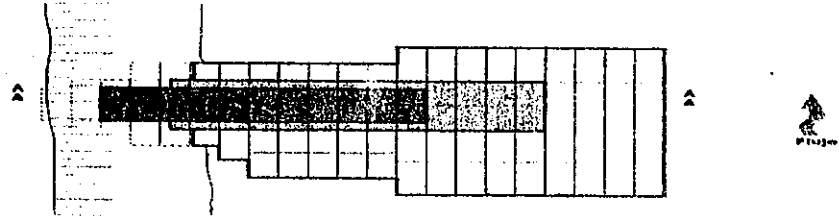


FIGURA No. 22
ASTA SIMPLE

Sección A-A



Planta

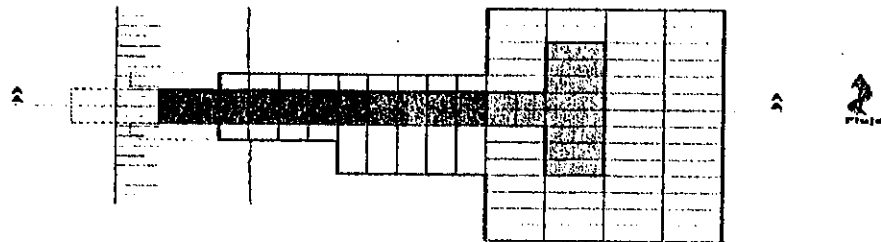


FIGURA No. 23
CABEZA DE MARTILLO

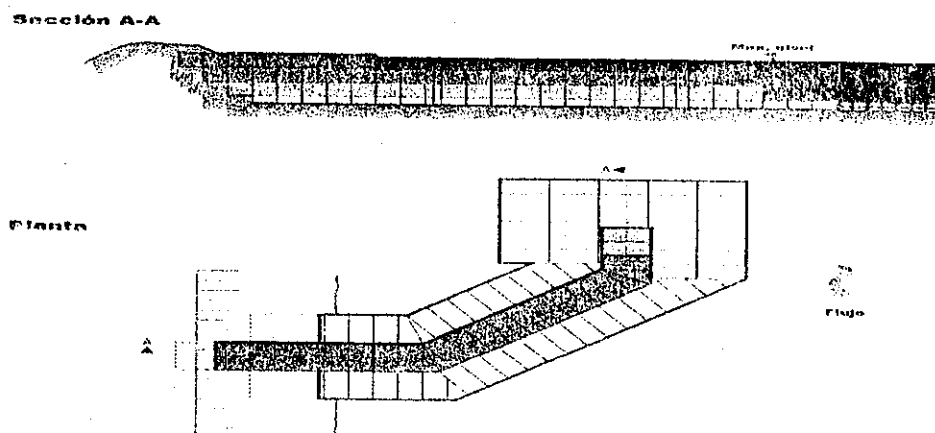


FIGURA No. 24
BAYONETA

6.3.4 Criterio de diseño

Para el diseño de espigones se consideraran los parámetros de las protecciones longitudinales y además los siguientes parámetros particulares de la protección.

- a. Ubicación en planta
- b. Longitud de trabajo
- c. Longitud de empotramiento
- d. Separación de espigones.

6.3.4.1 Ubicación en planta.

La ubicación de los espigones será diferente para cada caso, dependiendo del diseño y si se trata de recuperación de margen erosionada o evitar erosión en la margen. A continuación se presentan figuras de cada caso para su ubicación.

En base a un levantamiento topográfico del área dañada a recuperar y el antiguo cauce del río se puede determinar la ubicación de los espigones, como se aprecia en la figura No. 25

6.3.4.2 Longitud de trabajo.

Esta longitud se definirá en campo dependiendo del área erosionada, recomendando que sea igual o menor de $1/3$ del ancho del cauce del río para los espigones normales a la corriente e inclinados hacia aguas abajo.

6.3.4.3 Longitud de empotramiento.

Esta longitud es muy relativa, ya que depende del tipo de material en donde se empotrará el espigón, se recomienda como mínimo un 30% de la longitud de trabajo.

6.3.4.4 Separación de espigones.

La separación entre los espigones se recomienda que sea de 5 a 6 veces la longitud de trabajo del espigón, tomando en cuenta el ángulo Beta que se representa en la figura No. 25, el que tiene que estar entre el parámetro de 9° y 11° .

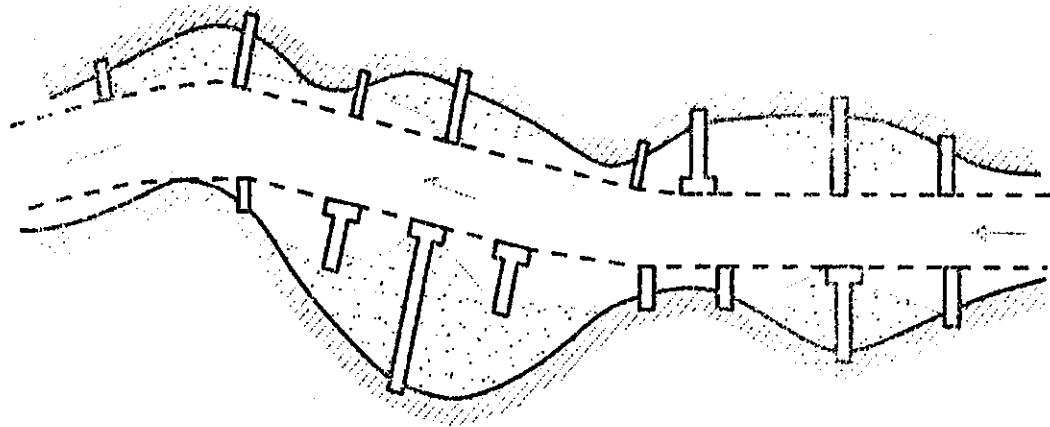
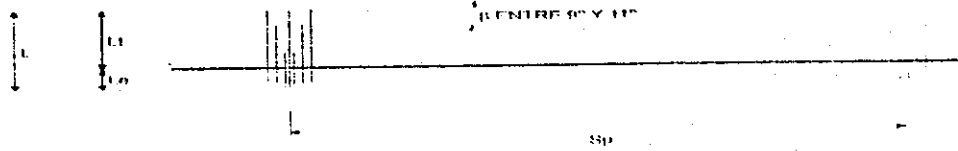


FIGURA No.25
UBICACIÓN EN PLANTA DE ESPIGONES

Lt: Long. de trabajo
 Le: Long. de empotramiento
 L: Long. total
 Sp: Separación entre espigones = 5/6 Lt

a) ESPIGONES NORMALES A LA CORRIENTE



b) ESPIGONES INCLINADOS HACIA AGUAS ABAJO

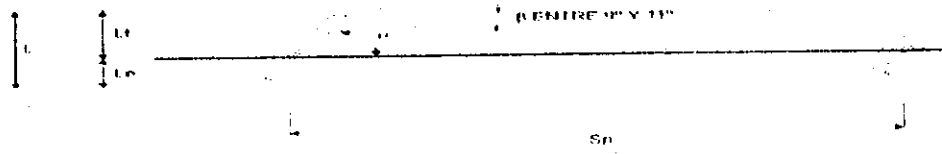
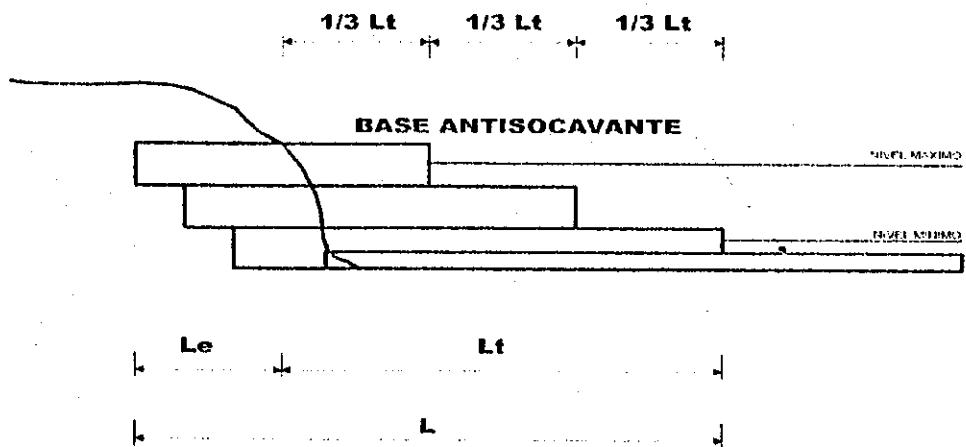


FIGURA No. 26
SEPARACIÓN ENTRE ESPIGONES



Lt : Longitud de trabajo (< 1/3 ancho del río)
 Le: Longitud de empotramiento (30% Lt.)
 L : Longitud total (Lt + Le)

FIGURA No. 27
LONGITUDES DE ESPIGONES

6.4 Construcción de la base antisocavante en gaviones

Aquellas obras de gaviones que están expuestas a la socavación por acción del agua deben llevar una base antisocavante para asegurar su estabilidad.

Una base antisocavante flexible de gaviones, estará diseñada para asentarse sin fracturarse y adherirse al suelo cuando se produzca la erosión.

Un material de relleno que mida entre 10 y 20 cm., asegurará una flexibilidad uniforme, requiriendo solo una leve excavación. El terreno se nivela o se pone en el mismo declive del río y la base antisocavante se ubica directamente en el suelo, a nivel del cauce original. Los hoyos o declives del terreno se rellenan con material de la misma base, de modo que la erosión se produzca lo más uniformemente posible. Es importante, si se detectan piedras demasiado grandes en el terreno de fundación de la base antisocavante, fracturarlas o retirarlas para evitar roturas por peso propio de la colchoneta.

Para evitar que la base antisocavante se levante del suelo o se vuelque, ésta debe tener un mínimo de 30 cm., de espesor.

Para que la protección de la base antisocavante sea efectiva, ésta debe ser de 1.5 a 2 veces del límite máximo de la socavación que se produce por efecto del agua en una gran avenida.

Para sectores en que resulte difícil ubicar la base antisocavante, se recomienda utilizar gaviones cilíndricos como subcimentación.

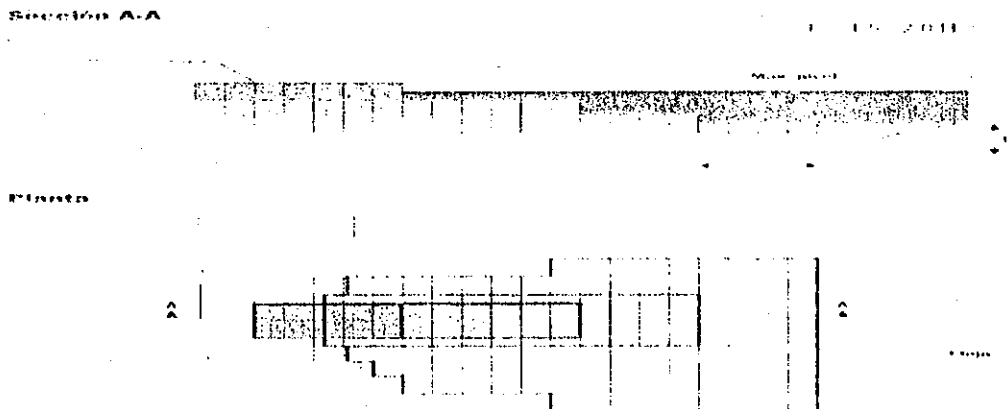


FIGURA No. 28
BASE ANTISOCAVANTE

6.5 Solicitaciones en el suelo de fundación.

Para calcular de una manera sencilla los valores de sollicitación de la obra en el suelo, es necesario considerar lo siguiente: las diversas fuerzas que actúan sobre la estructura producen una sollicitación en el terreno de fundación. Para asegurar la estabilidad de la estructura, esta sollicitación debe ser menor que la admisible en el suelo (q de trabajo).

Las fuerzas citadas se representan por una fuerza vertical V y un momento M , Fig. 29.

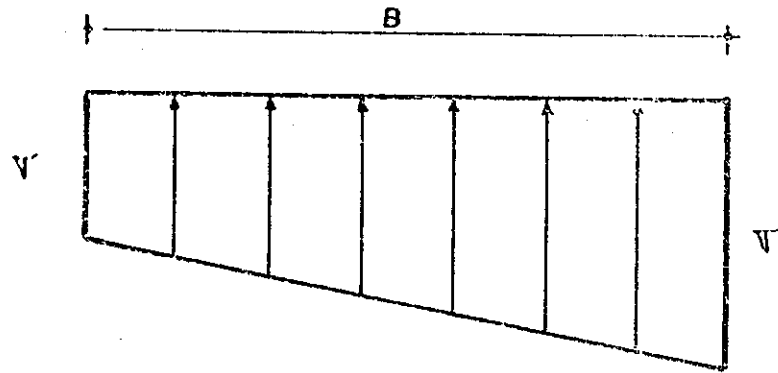


FIGURA No. 29
FURZA VERTICAL Y MOMENTO VOLCANTE

Donde:

V = suma de fuerzas verticales

B = ancho de la base de la fundación

M = momento volcante con respecto al centro de la base.

Para la estabilidad de la estructura a construir se deben verificar dos condiciones:

6.5.1 Que no se produzcan tracciones en el suelo.

Para ello se define la excentricidad por:

$$e \geq M/V$$

No se producira tracciones si $e \geq B/6$, es decir, la resultante cae dentro del tercio central de la base de la fundación.

6.5.2 Que no sobrepase la carga admisible del terreno.

El diagrama de tensiones en el suelo σ tendrá la forma indicada en la fig. 30.

Los valores de sollicitación de la estructura quedan dados por la relacion:

$$\sigma = V/A (1 \pm 6e/B)$$

Donde:

A = Área de la fundación

Se utiliza el signo (+) para σ_1 aguas abajo de la obra y (-) para σ_1 aguas arriba

En general, si las cargas transmitidas al terreno son compatibles con su resistencia, se garantiza también la resistencia de la estructura en gaviones.

La tensión máxima debe ser comparada con la carga de seguridad de la estructura en gaviones que debe ser definida a través de pruebas experimentales.

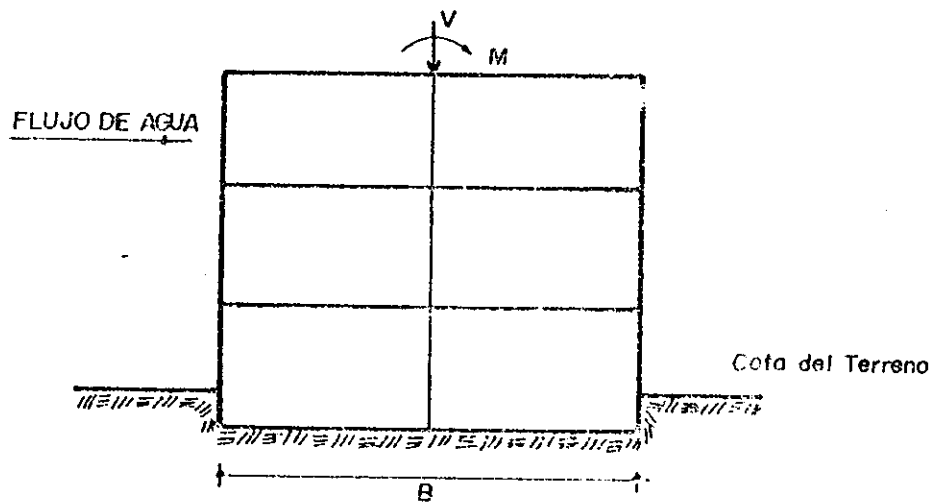


FIGURA No. 30
DIAGRAMA DE TENSIONES.

Las estructuras en gaviones pueden en general alcanzar en situación de estado plano de deformación, aplastamientos relativos de 20% con valores de carga P/A aproximadamente de 10 Kg/cm^2 . El ajuste de la estructura adviene sin ruptura de alambre, que se obtiene únicamente con valores de carga unitaria superior a 30 ó 40 Kg/cm^2 .

CONCLUSIONES

1. Para la recuperación de tierras erosionadas es necesario tener un claro conocimiento del comportamiento del río, valiéndose de métodos conocidos, para definir la ubicación y posición tanto de obras longitudinales como de espigones.
2. Cada caso de recuperación de tierras con obras gavionadas es muy particular, pero los parámetros a definir para su diseño son los descritos en los diferentes capítulos del presente trabajo.
3. Las obras construidas con gaviones son flexibles, teniendo la gran ventaja que se acomodan al comportamiento de la base de fundación, sobre todo en las orillas de los ríos.
4. Las protecciones longitudinales y espigones integradas, forman un conjunto en la recuperación y protección de tierras erosionadas.
5. Las construcciones con gaviones son fáciles de ejecutar y no necesitan mano de obra calificada.
6. Las obras con gaviones se pueden construir en presencia de agua sin consecuencia en el proceso de ejecución.

RECOMENDACIONES

1. Es fundamental que exista asesoramiento técnico, para efectuar obras con gaviones.
2. Es importante la utilización de piedra entre 5" y 8" para la construcción de la base antisocavante, porque es la que soporta mayor esfuerzo y se deforma.
3. Se recomienda utilizar métodos conocidos o los descritos para definir parámetros de diseño.
4. Se recomienda la utilización de criterios definidos, (Caudal máximo, altura de socavación, ancho del río, etc.) para el cálculo de protecciones longitudinales y espigones.

REFERENCIAS

1. Prof. Pedro E. Picadet y Prof. Eduardo D. Kreimer, Apuntes de hidráulica fluvial. Universidad de la Plata. Primera edición. Argentina 1,989.
2. Víctor Pacheco. Experiencias en el componente de recuperación de tierras. Primera edición. Sucre – Bolivia, octubre 1,990.
3. Maccaferri. Diseño de obras longitudinales en gaviones. Brasil 1,989.
4. Maccaferri. Estructuras flexibles en gaviones. Brasil 1,990.