



Obras de sistematización fluvial en torrentes y ríos con Espigones

Manual Técnico

MACCAFERRI

Autor:

Ing. Gerardo Fracassi

Co-Autores:

Ing. Daniele Martin Ojea

Ing. Javier Herrera Hernández

Ing. Nelson A. Berrospid Aguilar

1° Edición

Febrero / 2012

MACCAFERRI

Maccaferri do Brasil Ltda.

PRESENTACIÓN

Cuando niño, pasaba parte de mis vacaciones de verano en las montañas, lo que más me encantaba no era tanto la magnífica vista de las montañas sino los torrentes que bajaban de ellas burbujeantes y el ruido que estos producían. El mismo efecto lo tenían cursos de agua menores, los pequeños canales profundos pocos centímetros que los campesinos habían cavado para regar sus campos. Pasaba horas acompañando el recorrido del agua, saltando de una piedra a otra en el cauce de los torrentes, acompañando sus tortuosidades, observando las piedras mayores que habían sido transportadas en primavera durante el deshielo y que mostraban la fuerza del agua y me preguntaba como la misma agua que transportaba rocas enormes podía transportar los diminutos granos de arena de las minúsculas playas que encontraba a veces en las márgenes. Nada era más divertido que colocar pequeños obstáculos y desviar la corriente hacia donde quería o represarla, poder controlar una fuerza tan grande me daba una sensación al mismo tiempo de poder y de paz.

Este interés me condujo, años después, hacia los estudios de Ingeniería Hidráulica y el destino me llevó a trabajar en la Maccaferri que me permitió continuar a “jugar con el agua” en el campo a cielo abierto, que permite mirar, tocar, meter las manos en ella a diferencia de la hidráulica en tuberías que nunca me interesó por el agua estar encerrada, oculta y lejos.

No fue solamente lo que estudié en la Facultad y durante mi trabajo en Maccaferri lo que me permitió aprender a entender como trabajar en y con los ríos sino las experiencias de decenas de ingenieros que conocí en toda América Latina. Desde mi primer viaje en América Central al comienzo de los años '80 conseguí confrontar mis teorías con sus experiencias; una de las primeras preguntas que mi hicieron fue sobre espigones y precisamente cuando estos debían ser inclinados aguas arriba y cuando aguas abajo, mi respuesta fue basada en el sentido comun pero coincidió con sus experiencias de campo, lo cual me dio más confianza en mí mismo y me hizo aprender a interrogarme, cuestionar lo que sabía y a comparar mis convicciones basadas en estudio con las observaciones basadas en la práctica. Algunas de las valiosas informaciones que recopilé en todos estos años hacen parte de este manual y lamento no haberlas anotado todas porque seguramente me olvidé de muchas.

Quiero entonces agradecer a todos estos ingenieros que me ayudaron en aumentar mi experiencia, lo cual fue muy provechoso en las decisiones que tuve la oportunidad de tomar posteriormente y evitaron que incurriese en demasiados errores en el transcurso de estos años.

Ing. Gerardo Fracassi
Gerente de Desarrollo de Nuevas Soluciones para América Latina

PREFACIO

Desde el comienzo de sus actividades, a finales del siglo XIX, la empresa Maccaferri estuvo presente en el sector hidráulico fluvial con sus productos. No es una coincidencia que la primera obra construida con gaviones metálicos en 1882 fue un dique longitudinal para proteger de las inundaciones una margen del río Reno en Italia cerca de la primera fábrica de Maccaferri.

Muy pronto los gaviones pasaron a formar parte de las obras fluviales en espigones en las cuales eran usados con la asesoría técnica de Maccaferri.

Desde entonces Maccaferri acumuló una gran experiencia en este sector como lo demuestran el millar de obras similares realizadas hasta ahora.

En la búsqueda por conocer mejor el comportamiento de las estructuras construidas con sus productos, desde la segunda mitad de siglo pasado realizó estudios e investigaciones en laboratorios propios, particulares y de Universidades como: Sogreah (Grenoble, Francia), Hydraulic Laboratory, Engineering Research Center, Colorado State University (Fort Collins, EUA), I.N.A. Instituto Nacional del Agua (Ezeiza, Buenos Aires, Argentina), Università di Bologna (Italia), Università di Brescia (Italia), Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (São Paulo, Brasil).

En el caso de los espigones, la mayoría de los estudios fue llevada a cabo en el INCyTH (actual INA). Incluso algunos de los resultados de las investigaciones fueron presentados en congresos y usados actualmente en los pre-diseños que usualmente Maccaferri ofrece a sus clientes. Podemos mencionar:

“Influencia de la presencia de espigones en la variación del coeficiente de rugosidad de un canal” presentado en el XV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, de J. Brea, H. Hopwood, M. Yañez, G. Amores, relacionado a ensayos realizados en el Laboratorio de Hidráulica Aplicada INCyTH, Argentina.

“Parámetros de diseño de protecciones de márgenes mediante serie de espigones”, presentado en el XV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, por J. Brea, H. Hopwood, G. Amores, relacionado a ensayos realizados en el Laboratorio de Hidráulica Aplicada INCyTH, Argentina.

Este manual está basado en una minuciosa revisión de la literatura existente sobre espigones, la experiencia personal en el diseño y acompañamiento de la construcción, así como en las observaciones del comportamiento de estas estructuras a lo largo del tiempo. La intención del autor es reunir en un único documento cantidad de información útil para que sea tenida en cuenta en el diseño.

Recordemos que en todos los casos es siempre preferible, antes de asumir el diseño como final, verificar las hipótesis usadas en un modelo de prueba, debido a la naturaleza difícilmente previsible del comportamiento de los ríos. En el caso que esto no fuera posible, es siempre recomendable acompañar el comportamiento de los espigones durante algunas crecidas para que, a partir de la observación de su comportamiento, se puedan tomar las medidas correctivas que sean necesarias. Por este motivo se recomienda prever en el presupuesto de la obra un adicional para eventuales intervenciones posteriores.

ÍNDICE

1 - INTRODUCCIÓN	7
2 - LOS ESPIGONES	9
3 - DIMENSIONAMIENTO.....	11
3.1 - Localización en planta de los espigones	12
3.2 - Separación o espaciamiento entre espigones (S)	12
3.2.1 - Tramos rectos	14
3.2.2 - Tramos en curva	16
3.3 - Cantidad de espigones	19
3.4 - Longitud de los espigones	19
3.5 - Forma de los espigones.....	20
3.6 - Sección longitudinal y transversal del espigón	23
3.6.1 - Sección longitudinal	23
3.6.2 - Sección transversal.....	24
3.6.3 - Cabeza de los espigones.....	25
3.7 - Empotramiento en la orilla	25
3.8 - Ángulo de orientación respecto a la corriente.....	26
3.9 - Tipo y dimensiones de la protección antisocavante.....	28
4 - ESPIGONES EN GAVIONES.....	35
4.1 - En el diseño	35
4.2 - En la construcción.....	41
5 - ESPIGONES PERMEABLES CONTRUIDOS CON TRONCOS, MALLAS Y CABLES	45
6 - CASOS HISTÓRICOS	47
Río Challuayacu - SAN MARTÍN - PERÚ	48
Río Huallabamba - SAN MARTÍN - HUICUNGO - PERÚ	50
Río Huallaga - SAN MARTÍN - CAMPANILLA - PERÚ	52
Río Huallaga - SAN MARTÍN - JUANJUI - PERÚ	54
Río Huallaga - SAN MARTÍN - PICOTA - PERÚ.....	56
Río Sisa - SAN MARTÍN - SAN PABLO - PERÚ	58
Carretera Trinidad - SAN BORJA - BENI - BOLIVIA	60
Río Chimore - COCHABAMBA - BOLIVIA.....	62
Río Bermejo - TARIJA - BOLIVIA	64
Río Azul - CHUBUT - ARGENTINA.....	66
Río Lules - TUCUMÁN - ARGENTINA	68
Río Pescado - SALTA - ARGENTINA.....	70
Río Jiboa - SAN VICENTE - EL SALVADOR	72
Río Lempa - USULUTÁN - EL SALVADOR.....	74
Río Paz - AHUACHAPÁN - EL SALVADOR	76
7 - BIBLIOGRAFÍA.....	79
8 - SIGLAS Y SÍMBOLOS	81
9 - ÍNDICE DE LAS FOTOS Y DISEÑOS	83

1-INTRODUCCIÓN

Antes de entrar en el tema de este manual es importante recordar algunos conceptos relativos a la erosión y sedimentación en cursos naturales de agua.

La erosión del fondo se verifica cuando la fuerza de tracción del agua supera la fuerza resistente del material que constituye el fondo. La distribución de las velocidades en una misma sección, su dirección y la poca homogeneidad del material de fondo, pueden provocar la inestabilidad de este y su posterior desplazamiento hacia aguas abajo. Al cambiar las condiciones de la corriente aguas abajo, pueden darse las condiciones para que el material arrastrado sea depositado.

Las erosiones en los márgenes provocan desplazamientos laterales de los mismos y pueden tener origen en diferentes factores:

1. En las curvas son generalmente provocados por la aparición en este sector de una fuerza centrífuga que provoca una sobre elevación del nivel del agua en la margen externa. Esto causa, a su vez, una corriente, cerca del fondo, del extradós hacia el intradós. El encuentro de esta corriente con la del flujo longitudinal del río, crea un movimiento helicoidal en el agua. Como se ha mencionado, si la fuerza resultante de las dos corrientes supera la fuerza resistente (fuerza mínima por la cual se produce el movimiento del material del fondo) existirán las condiciones para que se produzca el desplazamiento del material del fondo hacia el intradós y consecuentemente, hacia aguas abajo. Este mecanismo es fácilmente perceptible en las curvas, en las cuales podemos observar que en el margen externo se concentra la erosión, mientras que en el margen opuesto se forma un depósito. El eje de la corriente se desplaza al mismo tiempo hacia el extradós aumentando la profundidad en las proximidades de la orilla. Como consecuencia del aumento de la profundidad, aumentará la pendiente del margen, facilitando así su desestabilización y acelerando el desplazamiento del material del fondo hacia el centro del río y el arrastre del mismo hacia aguas abajo.

2. En los tramos rectos, más a menudo los desplazamientos son provocados por modificaciones del régimen hidráulico del río, el surgimiento de meandros, la distribución de velocidades en la sección, la presencia de materiales de distinta resistencia al arrastre, la presencia de obstáculos naturales (grandes rocas) o artificiales (árboles caídos, pilas de puentes, bocatomas, etc.) que obstruyen la sección provocando el aumento de la velocidad del agua. También en estos casos la desviación del flujo de la corriente principal y el surgimiento de corrientes radiales puede direccionar la corriente en un determinado punto en el cual, si su fuerza supera la fuerza de arrastre podrá producirse el desplazamiento del material del fondo hacia aguas abajo.

Para evitar o controlar las erosiones en los márgenes, en tramos curvos o rectos, normalmente se recurre a estructuras longitudinales paralelas a las mismas, que se interponen entre el flujo y el margen y, por tener mayor resistencia que esta, interrumpen el fenómeno de erosión. En alternativa, es posible usar estructuras transversales que corren de un margen a otro (diques) y cuya función es reducir la velocidad de la corriente a niveles que no solamente no provoquen erosiones sino que causen sedimentaciones. Otra manera de controlar la erosión es recurrir a estructuras localizadas en un solo margen (espigones) con la función de desviar la corriente para alejarla del área en erosión.

La elección entre una u otra solución se define en función de las condiciones locales y de las necesidades del proyecto: ancho, pendiente y régimen del río, conformación de los márgenes, necesidad de mantener la accesibilidad al agua, etc.

Finalmente, la erosión puede ser una exigencia del proyecto, por ejemplo en ríos navegables donde se quiera aumentar el calado en un sector; en estos casos, la solución elegida son los espigones.

2-LOS ESPIGONES

Desde el comienzo de los tiempos el hombre estableció su residencia en las orillas de los cursos de agua para su aprovechamiento como fuente de abastecimiento de agua para pescar y movilizarse fácilmente. La necesidad de construir defensas en los márgenes como consecuencia de la inestabilidad fluvial se presentó desde entonces y, aún hoy, esta necesidad está presente en la mayoría de los cursos de agua naturales.

Al igual que otras obras de ingeniería, los espigones probablemente empezaron a ser usados después de la observación de fenómenos naturales, por ejemplo, la caída de un árbol desde el margen. Los efectos producidos por la caída en el agua de un árbol o de una piedra son fácilmente perceptibles; el obstáculo a la corriente creado por las ramas del árbol o por cualquier otro objeto produce en general varios efectos:

1. Desvío del flujo hacia el centro del cauce;
2. Aumento local de la velocidad de la corriente debido a la reducción de la sección y el consiguiente aumento de la turbulencia con la creación de remolinos;
3. Sedimentación del material de transporte inmediatamente aguas abajo del mismo en las proximidades del mismo margen, interrumpiendo su eventual erosión;
4. Socavación local del fondo que evoluciona hacia el centro del cauce con el consiguiente aumento del tirante;
5. Surgimiento de otras fosas de erosión, al lado del obstáculo, generalmente localizadas aguas arriba.

Posiblemente por estas razones los primeros espigones de los cuales se tiene noticia fueron construidos en Europa en el siglo XIX para profundizar el lecho y mantener así un calado suficiente para la navegación.

Los espigones son estructuras construidas a partir de los márgenes hacia el centro del río con el objetivo de:

1. Estabilizar el curso del río;
2. Reducir la velocidad del flujo en las inmediaciones del margen, aguas arriba y aguas abajo, a valores tales que no pueda producirse erosión;
3. Favorecer la sedimentación del material de arrastre entre los mismos, en este caso y en el anterior usualmente son definidos como espigones retardadores del flujo;
4. Desviar el flujo hacia el centro del cauce alejándolo de eventuales zonas críticas, para prevenir erosiones;
5. En caso de ríos navegables, centralizar la corriente para profundizar el cauce; en este caso usualmente se les define como espigones deflectores.

En los dos primeros casos son una interesante alternativa a las protecciones longitudinales ya que, a diferencia de estas, permiten el acceso al río de animales y personas y, en general, requieren una menor inversión. En el tercero, son la solución más económica hoy disponible.

Los espigones son clasificados como espigones de repulsión y espigones de sedimentación, en función de su comportamiento. Pueden ser del tipo permeable o impermeable, dependiendo si dejan o no fluir el agua al través de su cuerpo.

Los permeables, al facilitar la sedimentación, son más indicados en ríos con transporte sólido importante. En este caso el agua, cargada de sedimentos finos, pasa a través de los mismos y, debido a la reducción de su velocidad, deposita los sedimentos en la zona comprendida entre los espigones que irá rellenándose y creando así una nueva línea de margen. Algunos autores afirman que, por esta razón, puede ser incrementada la distancia para este tipo de espigones en relación a los impermeables.

En general para su construcción son usados materiales vegetales como troncos de árboles, enfajinados y ramas o soluciones mixtas en las cuales son usados troncos unidos por mallas metálicas y cables de acero o varillas. Estas soluciones no tienen una larga vida útil, pero son usadas debido a su menor costo.

Los espigones impermeables, por provocar mayor socavación, son más indicados cuando se desee aumentar la profundidad del cauce en el caso de ríos navegables. Su función principal es centralizar el flujo; simultáneamente alejan el flujo de la margen creando las condiciones para que esta quede protegida de la erosión.

Pueden ser construidos con rip-rap (piedras sueltas), concreto, pilotes, geocontenedores (tubos de geotextil) y gaviones. Esta última solución es la preferida en la mayoría de los países latinoamericanos por la facilidad de ejecución y por permitir, cuando se considere necesario, el uso intensivo de mano de obra no calificada, reduciendo al mínimo el uso de maquinarias.

La disponibilidad de materiales cerca del local de implantación muchas veces condiciona la elección del diseñador. Por ejemplo, independientemente de consideraciones económicas, la falta de piedras de grandes dimensiones en las cercanías impide el uso del rip-rap, mientras que la disponibilidad de piedras de menor tamaño favorece la utilización de los gaviones, de la misma forma la disponibilidad o falta de arena condiciona el uso de los geocontenedores. De la misma forma la existencia de programas gubernamentales de erradicación de la pobreza que requieran de uso intensivo de mano de obra puede influir en la decisión, haciendo descartar soluciones con gran uso de maquinaria, como en el caso del rip-rap y preferir otras que pueden requerir el uso masivo de obreros no calificados, que pueden ser entrenados rápidamente en el lugar, como en el caso de los gaviones.

El diseño de los espigones ha sido muy estudiado en el último siglo, han sido presentados varios trabajos, pero existe muy poca literatura disponible, talvez porque difícilmente los resultados obtenidos en laboratorio o en un caso práctico puedan ser generalizados. Por esta razón, hasta hoy, la experiencia y el sentido común son las mejores fuentes de inspiración para el proyectista.

La intención de esta publicación, como se mencionó anteriormente, es resumir algunos conceptos básicos, fruto de la experiencia de Maccaferri y del autor en obras hidráulicas.

En adelante serán usadas las siguientes definiciones para especificar las distintas partes que constituyen un espigón independientemente del material usado para su construcción (figura 2.1).

- Punta, cabeza, nariz o extremidad externa;
- Barra o parte media;
- Cresta, corona o superficie superior;
- Anclaje, empotramiento o extremidad enterrada;
- Paramento lateral de aguas arriba;
- Paramento lateral de aguas abajo;
- Cimiento contra la socavación, formado a través de la profundización de la estructura o por una protección horizontal (cubriendo el lecho).

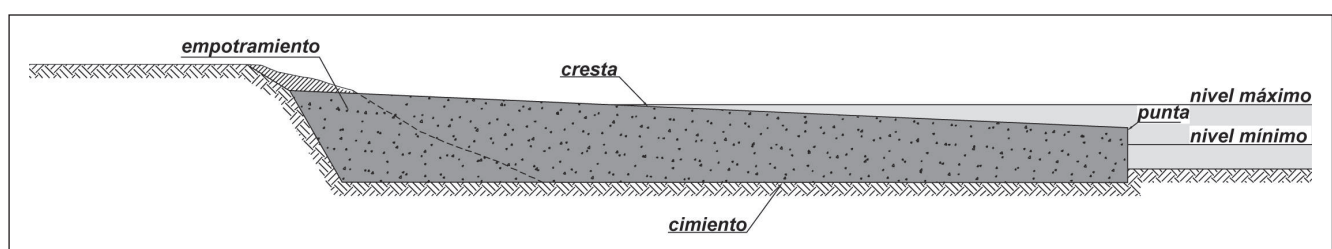


Figura 2.1 - Definición de las partes que constituyen el espigón.

3-DIMENSIONAMIENTO

Para un correcto dimensionamiento de los espigones, en general deben ser considerados los siguientes aspectos:

- a. Variables del flujo:
 - i. Tirante de aguas mínimas, medias y máximas;
 - ii. Cantidad y tipo de material de arrastre;
 - iii. Régimen hidráulico.
- b. Parámetros del cauce:
 - i. Pendiente;
 - ii. Dimensiones y forma;
 - iii. Características morfológicas.

Para la elección del material de construcción se debe tener en cuenta:

- a. Su disponibilidad y distancia de transporte;
- b. Disponibilidad de mano de obra y de maquinaria necesarias para la construcción;
- c. Costos del material, mano de obra y maquinaria;
- d. Plazo de tiempo necesario para la construcción;
- e. Nivel del agua durante la construcción.

Una vez disponible tales informaciones es posible diseñar el conjunto de la obra, para la cual deberán ser definidos:

- 1. Localización en planta de los espigones;
- 2. Separación o espaciamiento entre espigones;
- 3. Cantidad de espigones;
- 4. Longitud de cada espigón;
- 5. Forma del espigón;
- 6. Sección longitudinal y transversal, elevación de la cresta, pendiente de la corona, inclinación de los paramentos laterales;
- 7. Empotramiento en la orilla;
- 8. Ángulo de orientación respecto a la corriente;
- 9. Tipo y dimensiones de la protección antisocavación.

En lo posible, deben siempre ser respetadas algunas simples reglas dictadas por la experiencia:

- 1. Evitar el uso de espigones en cursos de agua con pendiente superior al 2%;
- 2. Nunca usar espigones aisladamente, sino en grupos, con un mínimo de tres a cuatro unidades;
- 3. Optar por espigones flexibles que puedan acomodarse en caso de socavaciones o asentamientos diferenciales en su fundación ya que en este caso, muy común, la estructura podrá adaptarse a la nueva situación sin sufrir daños. Hay que recordar que difícilmente se dispone de estudios del suelo del fondo y que este varía con frecuencia sus características en pocos metros, por esta razón la flexibilidad del espigón es una ventaja adicional;
- 4. Evitar que la construcción de los espigones estrangule el cauce, especialmente durante las crecidas,

para evitar efectos indeseables en la margen opuesta;

5. Posicionar el primer espigón aguas arriba del punto a partir del cual empieza la erosión que se quiera controlar;
6. Diseñar el primer espigón aguas arriba más corto que los siguientes y con mayor empotramiento;
7. Aumentar gradualmente la longitud de los dos espigones siguientes hasta alcanzar la longitud deseada a partir del cuarto;
8. Diseñar los espigones de tal manera que no produzcan cambios bruscos en la dirección del flujo;
9. A partir del empotramiento, la cresta/corona deberá ser más baja que la margen;
10. Igualmente, la cresta en la zona de empotramiento deberá ser más alta que el máximo nivel de crecida, de tal manera que no quede completamente sumergida durante las mismas y ejerza su función para cualquier crecida;
11. La cresta, en la zona de punta, deberá ser más alta que el nivel mínimo previsto, de tal manera que no quede completamente sumergido durante el período de estiaje;
12. Empezar la construcción de los espigones desde aguas arriba hacia aguas abajo. Cuando la construcción es en seco, los primeros espigones, ya terminados, pueden proteger los siguientes en caso de crecidas inesperadas que se produzcan durante su construcción. Cuando la construcción se realice en aguas profundas, permiten construir los siguientes en aguas más calmadas.

Hechas estas consideraciones preliminares examinaremos separadamente los aspectos que fueron mencionados anteriormente.

3.1 - Localización en planta de los espigones

Depende de la finalidad de la obra. Si es para proteger un margen de la erosión, los espigones deberán ser colocados únicamente en este margen, con el cuidado de colocar el primero siempre aguas arriba de la zona erosionada a ser protegida. Si, por el contrario, se desea profundizar el calado del río en su parte central, deberán ser colocados en ambos márgenes.

Cuando sea posible, es aconsejable hacer coincidir la localización de los espigones con puntos del margen que presenten mayor resistencia, por ejemplo unas rocas, para reducir la longitud del empotramiento.

Particular cuidado deberá tomarse para no provocar alteraciones en el margen opuesto como será explicado más adelante. Por este motivo, cuando sea posible, es recomendable construir espigones cortos cuya longitud pueda ser aumentada posteriormente, claro está, si esto fuese necesario, una vez verificado su funcionamiento. Al observar el comportamiento del río durante las primeras crecidas después de la construcción de los espigones es posible verificar si las hipótesis iniciales estaban correctas, dando lugar a realizar eventuales ajustes a la nueva situación.

La facilidad de modificar las estructuras posteriormente a su construcción es uno de los motivos por el cual se prefiere el uso de gaviones en esta aplicación.

3.2 - Separación o espaciamiento entre espigones (S)

Está directamente relacionada con la longitud de los espigones, su forma, su localización (si están ubicados en un tramo recto del río o en el lado externo de una curva) y su orientación.

También es importante la presencia de un adecuado empotramiento, ya que su presencia puede permitir un aumento del espaciamiento de hasta 20% en relación a espigones no empotrados.

La separación se mide hacia aguas abajo entre el punto de arranque en el margen de dos espigones consecutivos y depende de la longitud del espigón de aguas arriba.

La separación entre los espigones es sumamente importante porque, de esta dependerán los resultados obtenidos, es decir:

Una separación muy corta es solución que provoca gran sedimentación entre los espigones y consecuentemente la plena recuperación del margen erosionado. Seguramente será una solución antieconómica.

Una separación corta provoca la sedimentación entre los espigones y consecuentemente la recuperación del margen erosionado. Será la mejor solución, si esta es la finalidad de la obra.

Una separación media es una solución que solamente evita el avance de la erosión sobre el margen; en caso de ser necesario, puede ser fácilmente corregida prolongando los espigones o construyendo espigones adicionales, más cortos, en los sitios amenazados.

Una separación grande es una solución que puede evitar el avance de la erosión sobre el margen en crecidas menores, no necesariamente en crecidas más importantes. Es una solución con alto riesgo y, en caso de ser necesario, puede ser "reducida" la separación prolongando los espigones al detectar fallas en su comportamiento o construyendo espigones adicionales, más cortos, en los sitios amenazados. Hay que tener en cuenta que, en este caso, puede ser necesario reconstruir parte de los espigones con el consiguiente aumento en los costos.

Una separación muy grande es una solución que no altera considerablemente las condiciones hidráulicas del río, llegando a ser inútil. En este caso debe ser re-estudiado el proyecto.

Las investigaciones realizadas por Adami y De Deppo en 1970 confirmaron que la región de separación aguas abajo del espigón está ocupada por un remolino y que en las proximidades del margen la dirección del vector de velocidad es invertida respecto a la de la corriente y su intensidad es de aproximadamente el 50% de la corriente aguas arriba del obstáculo. Por lo tanto, si es posible establecer esta situación, la reducción de velocidad provocada por la suma de las dos velocidades en sentido inverso favorecerá la sedimentación entre los espigones.

Para calcular la posición del remolino entre los dos espigones, existen algunas indicaciones. A principios del siglo pasado Winkel, por ejemplo, indicó que el ángulo β entre la recta que une las puntas de dos espigones sucesivos y la tangente al remolino antes mencionado que pasa por la punta del espigón aguas arriba, puede variar entre los 5° y 7° (figura 3.2.1). Al imponer que la tangente encuentre el eje del espigón siguiente, es posible calcular la distancia S entre los mismos.

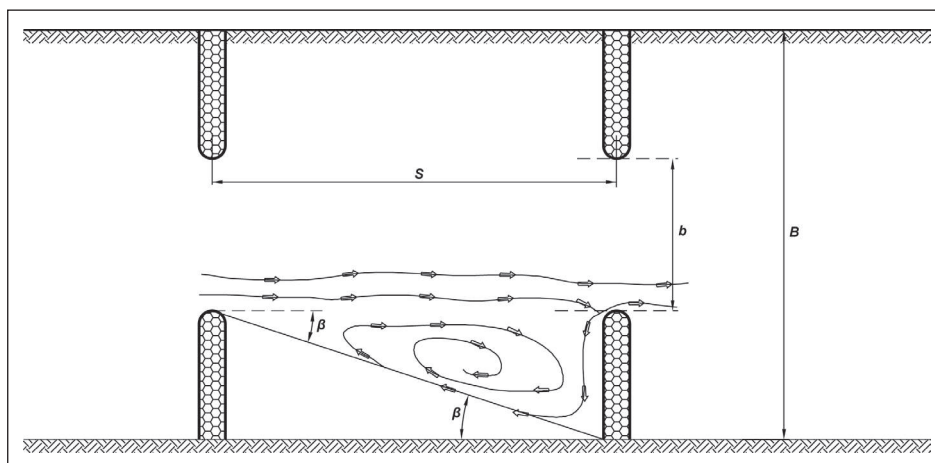


Figura 3.2.1 - Separación entre espigones.

Fierro, en "L'impiego dei pennelli nelle sistemazioni fluviali: indicazioni e criteri progettuali", propone, bajo algunas condiciones, la siguiente ecuación:

$$S_{max} = \frac{0,717 q^{0,66}}{1^{0,33} B^{0,427} d_m^{0,233}}$$

en la cual:

S_{max} = separación entre los espigones.

q = gasto.

B = ancho estable del río.

d_m = dimensión característica del sedimento en el fondo del río.

En realidad el correcto dimensionamiento de la separación entre los espigones depende también de la configuración del río, pudiéndose diferenciar la forma de cálculo dependiendo si el trecho a intervenir se localiza en un tramo recto del río o en una curva.

3.2.1 - Tramos rectos

Para definir S en los tramos rectos se tiene en cuenta el ángulo de desviación teórica del flujo β medido en la punta del espigón (figura 3.2.1.1).

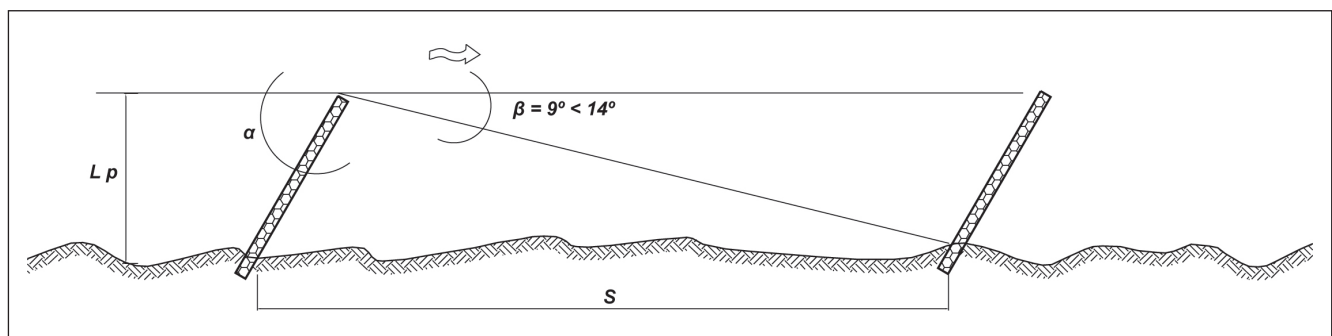


Figura 3.2.1.1 - Separación entre espigones.

Algunos autores recomiendan que, si la orientación de los espigones α es entre 70° y 90° , $S \cong 5.2$ a $6,4 L_p$, si la orientación de los espigones α es de 60° , $S \cong 5.7$ a $6,9 L_p$.

Maza recomienda, en caso de espigón perpendicular al margen, que la distancia está comprendida entre $4-6,3 L_p$, equivalente a un ángulo de desviación $\beta = 9^\circ$ a 14° .

Algunos autores recomiendan las siguientes relaciones entre separación y longitud de los espigones o ancho del río (tabla 3.2.1.1). La variedad de los valores recomendados permite entender cuán difícil es generalizar los resultados obtenidos en laboratorio (en canal de ensayo) u obtenidos en un río en particular a casos generales.

Tabla 3.2.1.1 - Algunas fórmulas empíricas propuestas para definir la separación entre espigones (Klingeman, P et al/1984) (Obras fluviais/2001 Giorgio Brighetti), (River Training Techniques/1995 B. Przedwojski et al.) - Donde L indica la longitud del espigón y B el ancho del río.

Distancia entre espigones	Tipo de margen	Referencia	Comentarios
$5/7B$	Recta	Vippiani, 1919	
$4/14B$	Curva		
$3L - 5L$		Strom, 1941	
$3L$	Cóncava	Grant, 1948	
$2L - 4L$	Curva	Álvarez, 1948	
$4,29L$	Recta	Ahmad, 1951	
$5L$	Curva	Ahmad, 1951	
$1L$	Cóncava	Naciones Unidas, 1953	Práctica general
$2L - 2,5L$	Convexa	Naciones Unidas, 1953	Práctica general
$2L - 3L$		Mamak, 1956	
$4L$	Directamente	Altunin, 1962	$90 - \beta > 75^\circ$
$3L$			Para $0,005 \leq i \leq 0,01$
$2L$			Para $i \geq 0,01$
$1,5L$		Matheus, 1956	
$3L - 5L$		Strom, 1962	
$0,5B$	Cóncava	Macura, 1966	
$5/4$	Convexa		
$3/4 - 1B$	Directamente		
$3L - 4L$		Acheson, 1968	Dependiendo de la curvatura y de la inclinación de la corriente
$2L - 2,5L$		Central Bd. Of Irrigation and Power, 1971	
$2L - 2,5L$		Joblekar, 1971	Espigones en contra la corriente
$2L$		Neil, 1973	Dos o más espigones
$4L$			
$2L - 6L$		Richardson et al., 1975	Para protección de márgenes
$3L - 4L$			Espigones en T para canales navegables
$1,5L - 2L$			Caneles profundos para la navegación
$1L$	Cóncava	Bendegom (Samide and Beckstead, 1975)	
$2L - 2,5L$	Convexa		
$1,5L$		Mathes, 1975	
$2L$		U.S. Army (Samide and Beckstead, 1975)	Para el río Mississippi
$3,5L$		Blench et al., 1976	
$1B - 2B$		Jansen, 1979	
$0,5B - 1B$			En ríos estrechos
$5L$		Mohan y Agraval, 1979	Espigones sumergidos y de altura un tercio de la profundidad

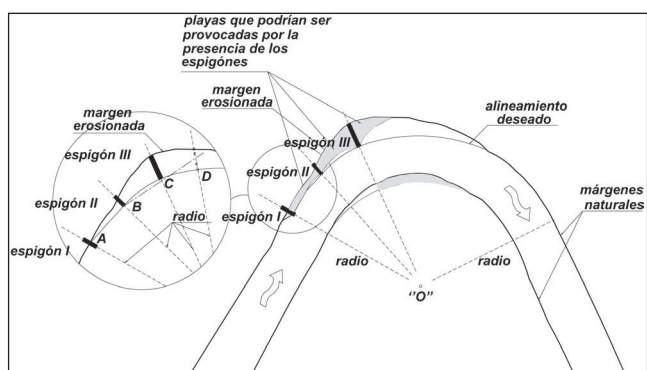
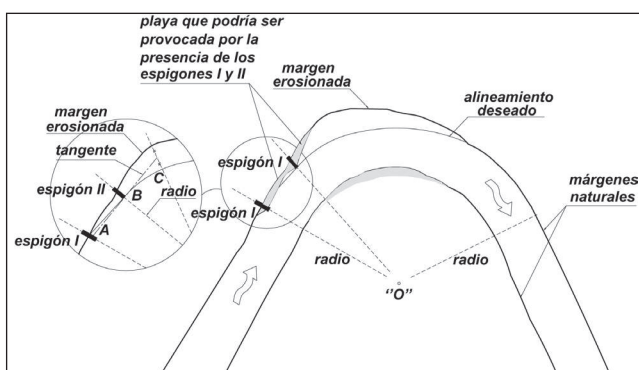
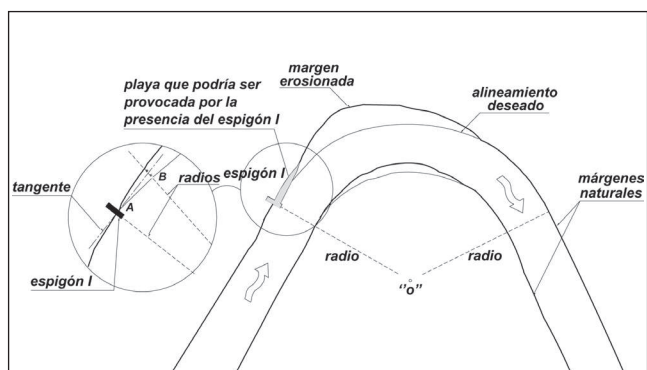
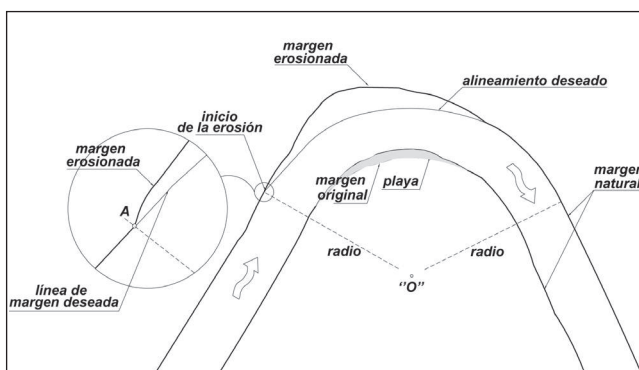
1,5L	Cóncava	Distrito de Los Ángeles, 1980	Con protección de margen en enrocado
2L	Recta		
2,5L	Convexa		
4L - 6L	Cóncava	Richard & Simons, 1983	El margen puede necesitar de protección adicional
1L - 2L		Kovacs et al., 1983	Río Danubio
0,9B - 1B	Curva	Akantisz et al., 1983, 1986, 1989	Para $\alpha = 45^\circ - 50^\circ$ $\emptyset/B = 8 - 13,5$
1,1B	Curva		Para $\alpha = 55^\circ$ $\emptyset/B = 8$
1,1B - 0,9B	Curva		Para $\alpha = 55^\circ$ $\emptyset/B = 13,5$
5,1L - 6L	Recta	Álvarez, 1989	Para orientaciones $\alpha = 90^\circ$ a 70°
5L - 6,9L	Recta		Para orientaciones $\alpha = 60^\circ$
2,5L - 4L	Curva		Espigones con cresta en declive para protección de márgenes
5,1L - 6,3L	Directamente		
>3L	Cóncava	Copeland, 1983	
3L		Kondap y Prayag, 1989	Para espigones con longitud $\leq 0,2 B$
2,5L - 3L		Jica	
4L - 5L	Recta	Fracassi, 2007	Más de dos espigones en gaviones de sección transversal decreciente

3.2.2 - Tramos en curva

En los tramos en curva algunos autores recomiendan $S = 2,5 - 4 L_p$, el valor de S aumenta con el radio de la curva. En general se prefiere recurrir a métodos gráficos.

Algunos de los métodos gráficos más usados son detallados a continuación (figuras 3.2.2.1 y 3.2.2.2).

Método I



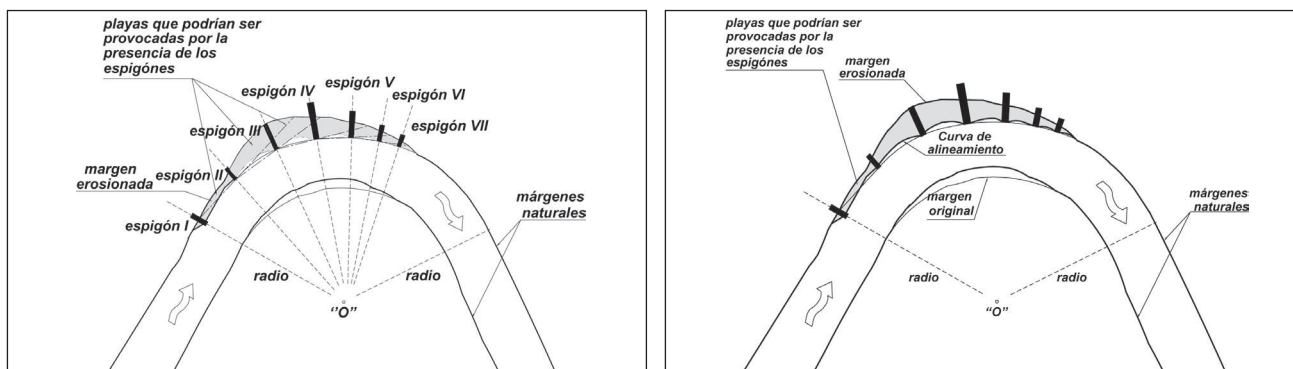


Figura 3.2.2.1 - Método gráfico para definir la separación entre espigones.

Este método es utilizado desde la década de los '80. A continuación se presenta el proceso paso a paso.

Paso 1. Identificada la zona donde se inicia la erosión, el primer espigón, que llamaremos **I**, es posicionado inmediatamente aguas arriba, en general perpendicular al margen y con una longitud del orden del 10% del ancho del río.

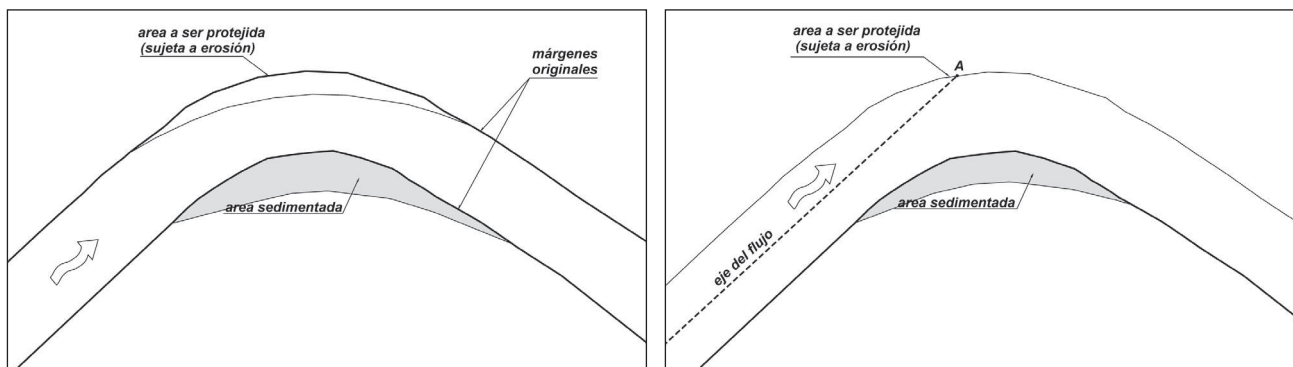
Paso 2. Del punto de arranque del espigón **I**, es diseñada hacia aguas abajo una recta perpendicular al radio de la curva. En el punto en el cual la recta corta en dos partes iguales el segmento de radio comprendido entre las líneas del margen actual (erosionado) y la deseada, identificamos el punto de posicionamiento del espigón **II**. Su longitud deberá ser entre el 25 y el 30% del ancho del río. Su orientación dependerá de la decisión del ingeniero (más adelante se exponen algunas consideraciones al respecto).

Paso 3. Pasando por la punta de los espigones **I** y **II** es diseñada hacia aguas abajo una recta. En el punto en el cual la recta corta en dos partes iguales el segmento de radio comprendido entre las líneas de la margen actual y la deseada, identificamos el punto de posicionamiento del espigón **III**. Su longitud deberá ser del mismo orden que el anterior.

Paso 4. Para identificar la posición del espigón **IV** debe ser repetido el proceso indicado en el Paso 3.

Pasos siguientes. El proceso es repetido para localizar los espigones siguientes hasta llegar en las proximidades del fin de la zona no afectada por la erosión.

Método II



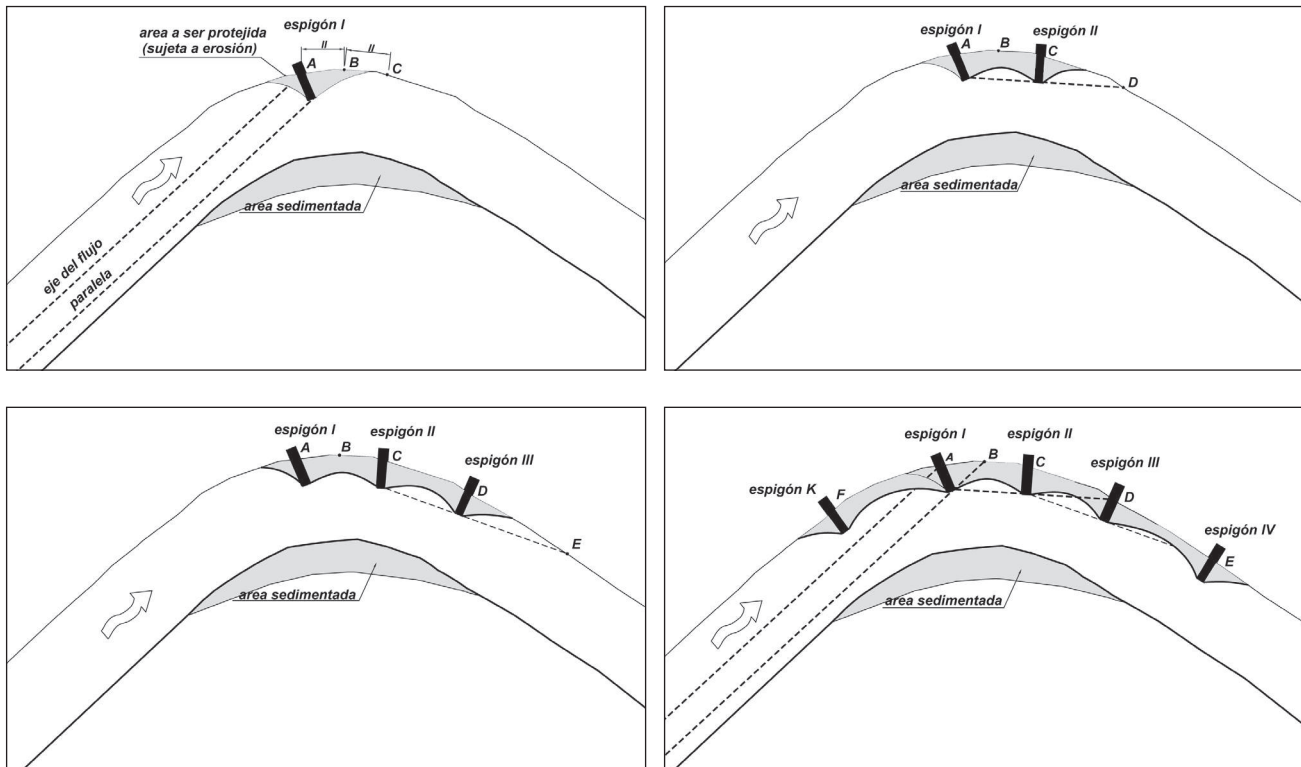


Figura 3.2.2.2 - Método gráfico para definir la separación entre espigones (Mampostería gavionada en la protección Hidrológico Forestal, CONAF, septiembre de 1982, pag. 18).

Paso 1. Después de haber identificado el inicio de la erosión, es prolongado el eje del río en el tramo aguas arriba. En la intersección del eje con el margen externo, identificamos el punto **A** y es posicionado el primer espigón, que llamaremos **I**, en general perpendicular al margen y cuya longitud debe ser del orden de 15% - 20% del ancho del río.

Paso 2. De la punta del espigón, es trazada hacia aguas abajo la paralela al eje anteriormente mencionado. En el punto en el cual la recta intercepta el margen actual (erosionado) identificamos el punto **B**. Multiplicamos por dos la distancia **AB** y definimos la posición **C** en el cual será posicionado el espigón **II**. Su longitud deberá ser entre el 25 y el 30% del ancho del río. Su orientación dependerá de la decisión del ingeniero.

Paso 3. De la punta de los espigones **I** y **II** es diseñada hacia aguas abajo una recta. En el punto de intercepción con el mismo margen, identificamos el punto de posicionamiento del espigón **III**. Su longitud deberá ser del mismo orden que el anterior.

Paso 4. Repetimos el proceso indicado en el Paso 3 para identificar la posición del espigón **IV**.

Pasos siguientes. El proceso es repetido hasta alcanzar la zona del margen no afectado por la erosión.

Último paso. Aguas arriba del espigón **I** a la distancia **AB** es ubicado el espigón **K**, cuya función es proteger el empotramiento del espigón **I**. Su longitud deberá ser menor que la de todos los otros espigones del orden del 10% del ancho del río y su empotramiento mayor.

Método III

Este método, mucho más simple y conservador, tiene en cuenta las recomendaciones ya mencionadas en cuanto a considerar un ángulo de desviación fijo $\beta = 9^\circ$ a 14° y posicionar el espigón siguiente hacia aguas abajo en la intercepción entre el margen externo del río y la recta que se origina de la cabeza de cada espigón, formando el ángulo β con la tangente al radio de la curva en esa posición, según se representa en la figura 3.2.2.3.

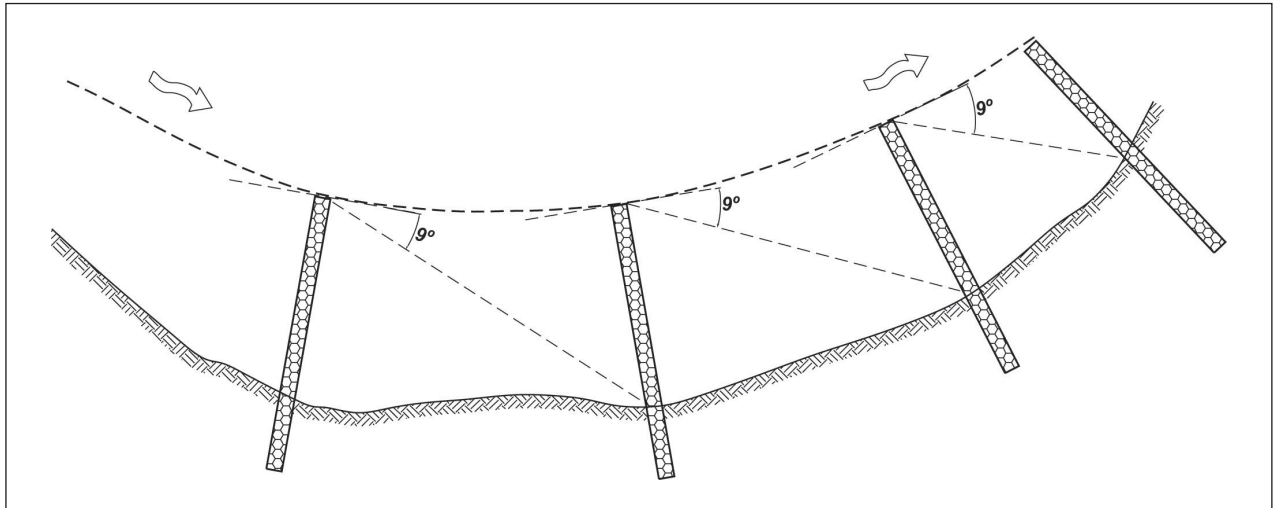


Figura 3.2.2.3 - Método gráfico para definir la separación entre espigones.

Es necesario recordar que es siempre conveniente que los diferentes radios R de la curva del margen deseado sean siempre de tamaño decreciente de tal manera que este se reduzca lo más suave posible. De la misma manera, conviene que el (los) radio (s) de la curva sea (n) siempre $2,5 B < R < 8B$ porque, para radios menores, se vuelve más conveniente económicamente sustituir los espigones con una defensa longitudinal, mientras que, para radios mayores, no existe la seguridad que todos los espigones trabajen eficientemente.

3.3 - Cantidad de espigones

En general el número de espigones debe ser siempre mayor que 2. Algunos autores recomiendan un mínimo de 4 espigones (Derrick). La cantidad de los espigones depende del tramo a ser protegido y, como ya se mencionó, de la longitud y forma de los mismos. Es necesario un atento examen para decidir la mejor opción entre un número menor de espigones largos o un número mayor de espigones cortos; para esto deben ser tomados en cuenta además de los aspectos técnicos normales, los económicos, logísticos y prácticos relacionados en general a la sección transversal del río, a la posibilidad de ejecución en seco o en aguas profundas y a la reducción del ancho durante el estiaje.

3.4 - Longitud de los espigones

La longitud total del cuerpo del espigón L es convencionalmente dividida en dos partes: la longitud de anclaje L_e , que queda enterrada en el margen y la longitud activa L_a , que queda expuesta a la acción de la corriente; a su vez es definida longitud de trabajo L_t como la proyección de L_a en sentido perpendicular al eje de la corriente, equivalente a la distancia entre la margen y el punto del espigón más alejado del margen, medida perpendicularmente al eje del río.

El valor máximo de L_t está siempre relacionado al ancho del río en el cual el espigón está ubicado. En general debe estar comprendido entre el 25% y 30% del ancho del cauce para que su presencia no interfiera en el margen opuesto.

El valor menor es usado preferencialmente para espigones de altura constante (pendiente de la corona $p < 20^\circ$), en general contruidos con piedras sueltas o gaviones tipo saco y el valor mayor para aquellos cuya cresta sea decreciente del margen hacia el centro del cauce (pendiente de la corona $p > 20^\circ$), en general contruidos con gaviones. La diferencia se debe a que, al aumentar p disminuye la reducción de la sección mojada del río durante las crecidas, consecuentemente menores serán las alteraciones en el flujo durante esta situación, entre las cuales la más relevante es la velocidad del flujo del agua que, a su vez, está directamente relacionada con la capacidad erosiva en el fondo y en la margen opuesta.

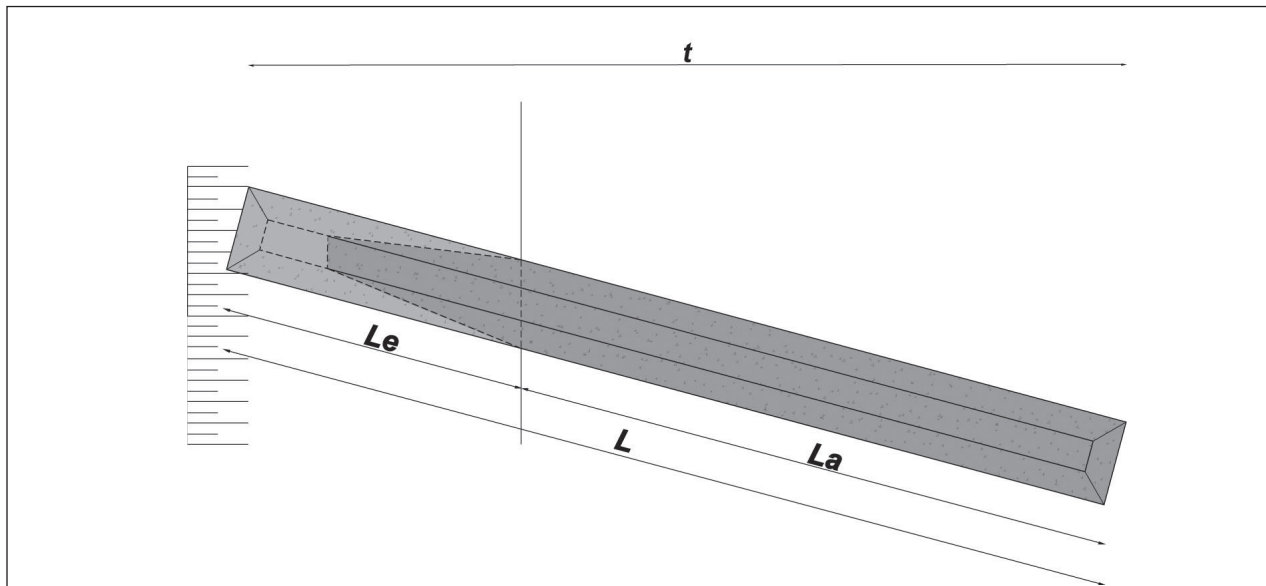


Figura 3.4.1 - Definiciones de las longitudes del espigón.

3.5 - Forma de los espigones

Existen varias formas en planta:

- Forma recta o en asta simples;
- Forma en L o en bayoneta;
- Forma en T o en martillo;
- De cabeza redondeada;
- De doble ángulo;
- Curvados, tipo "hockey".

Las primeras tres son las más comunes y difieren entre sí por la mayor o menor eficiencia en la protección de la orilla y en la localización de las áreas de sedimentación y erosión provocadas por el espigón.

Por ejemplo, los tipo en L y en T en general concentran la socavación a lo largo de la cara paralela al flujo y, por lo contrario, promueven mayor sedimentación en las áreas entre la cabeza y el margen que quedan más protegidas contra el efecto de la corriente. El tipo recto, a su vez, concentra la erosión en la punta e inmediatamente aguas abajo de esta.

Como es intuitivo, en el caso de los espigones en L y en T es posible aumentar la separación entre los espigones, el aumento es aproximadamente equivalente a la proyección sobre el margen de los mismos o a la extensión de su cabeza, respectivamente.

El tipo en L es en general, pero no necesariamente, doblado hacia aguas arriba.

En el caso de construcción en presencia de agua, los espigones en forma de T y L son en general los más costosos, ya que su extremidad hacia el centro del río debe construirse en la zona más profunda del río.

La elección entre los tres tipos es generalmente influenciada por el tipo de régimen del río y el aspecto económico.

A continuación algunos ejemplos de los tres tipos (figuras 3.5.1 hasta 3.5.6).



Figura 3.5.1 - Espigón en asta simples.

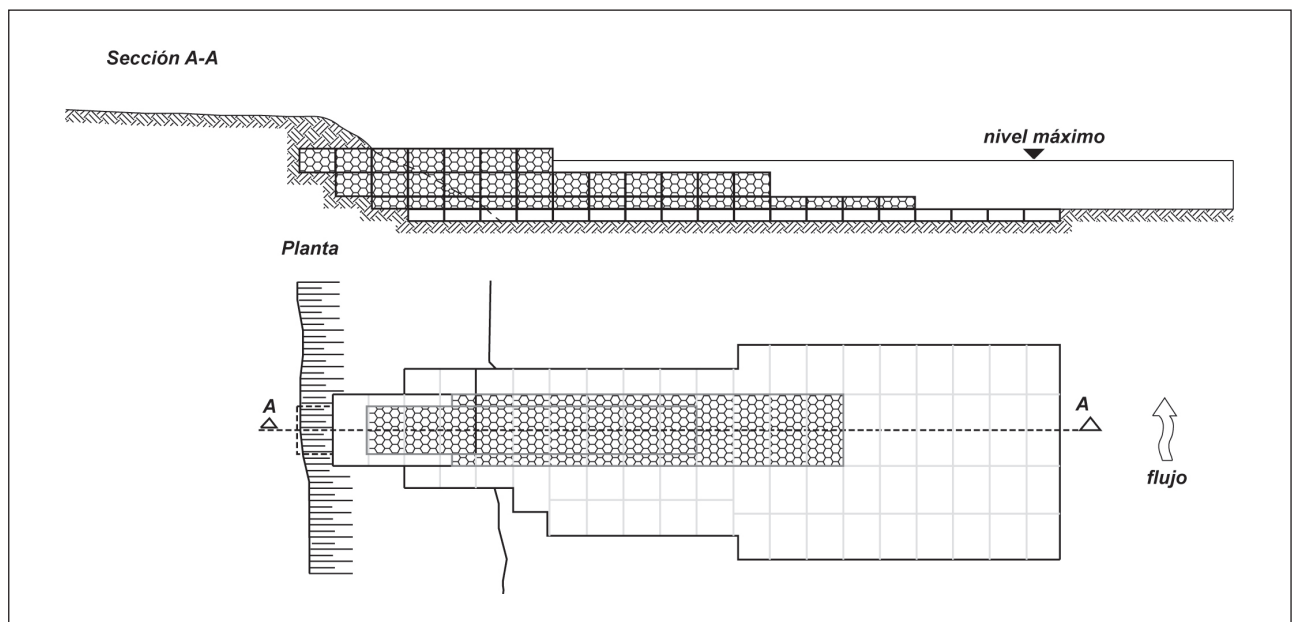


Figura 3.5.2 - Espigón en asta simples.



Figura 3.5.3 - Espigón en bayoneta.

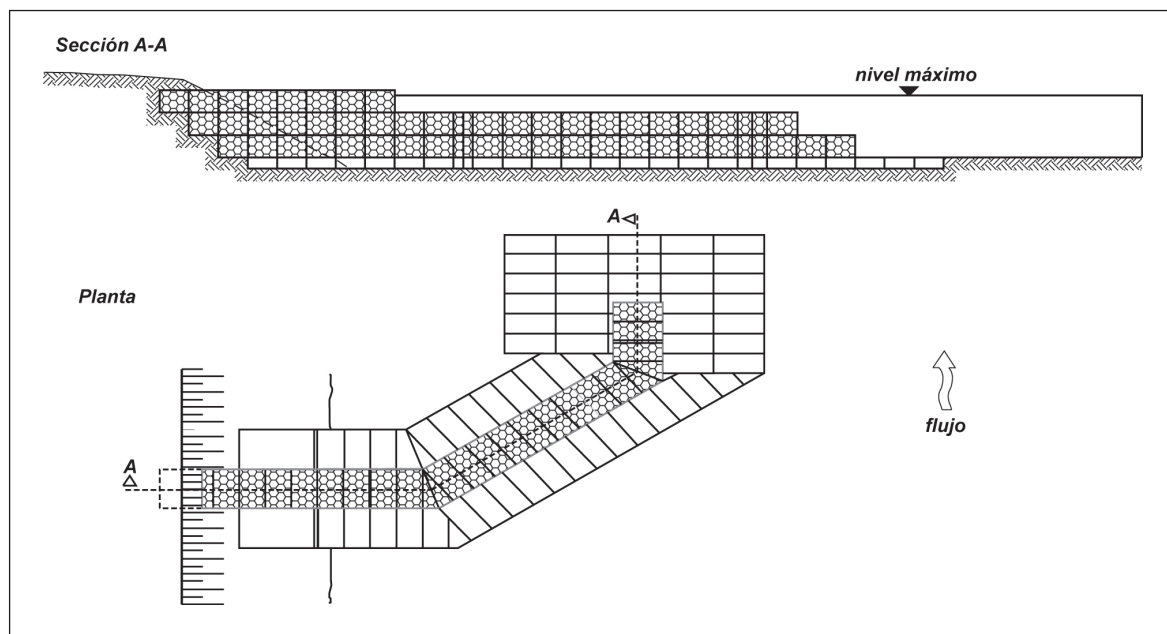


Figura 3.5.4 - Espigón en bayoneta.



Figura 3.5.5 - Espigón en martillo.

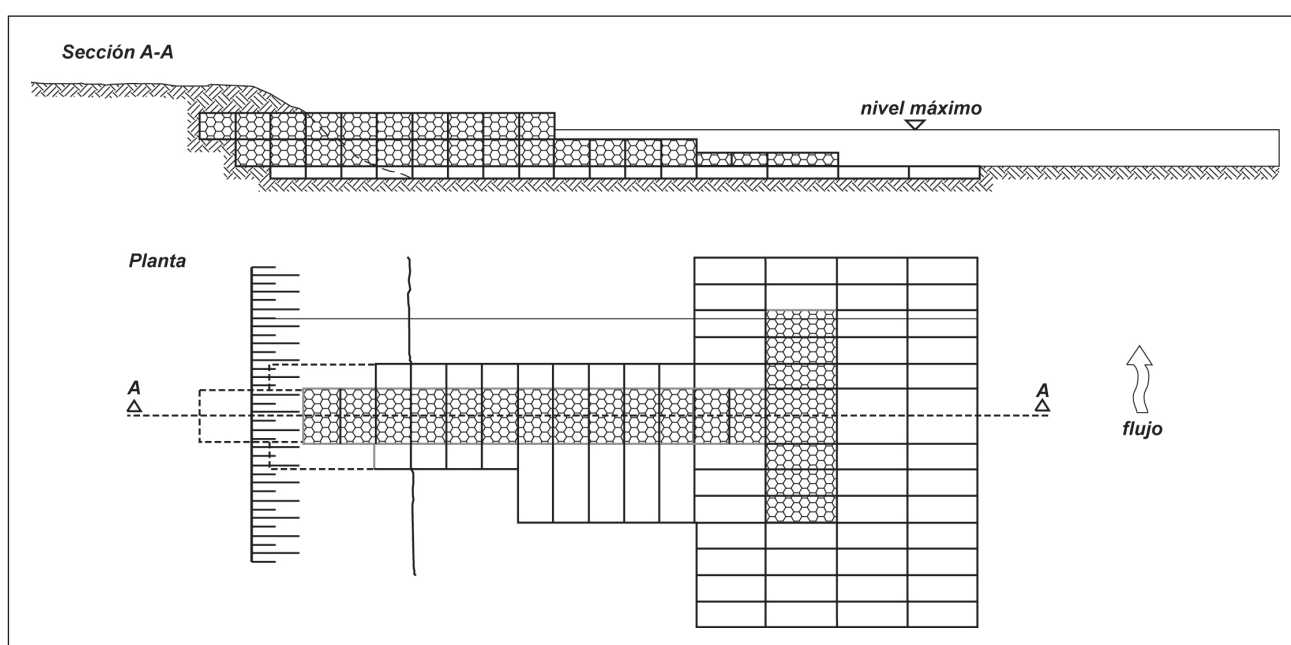


Figura 3.5.6 - Espigón en martillo.

3.6 - Sección longitudinal y transversal del espigón

3.6.1 - Sección longitudinal

La cresta en general es decreciente, es decir que la cota del espigón decrece de la orilla hacia el centro del río, en casos muy particulares han sido usados espigones con cresta horizontal. La reducción de la altura del espigón desde la margen hacia el centro del río es considerada preferible debido a que la sección con cresta decreciente funciona de la misma manera que aquella horizontal con niveles de agua mínima mientras que interfiere menos en el régimen de las aguas durante la crecidas. La presencia de los espigones dificulta parcialmente la circulación de las aguas altas y por esta razón, cuanto menos estos reducen la sección del río durante las crecidas mayores, menor será el estrangulamiento del río y menor la erosión en el fondo del cauce y en la margen opuesta.

Es importante recordar que la sección con cresta inclinada longitudinalmente puede significar un ahorro del 30% al 60% del volumen de material necesario para la construcción.

La pendiente es definida por la cota del anclaje (ver el ítem siguiente), la longitud del espigón y la cota de la extremidad que en general es de 0,5 m o poco superior al tirante de aguas mínimas. Al respetar esta regla la pendiente puede variar entre 5% a 25%. En espigones de material suelto o concreto la pendiente puede variar de 2% a 2,5% (figuras 3.6.1.1 y 3.6.1.2).

En el caso de usar gaviones tipo caja la cresta puede ser escalonada (figura 3.6.1.3), mientras que en los otros casos y si el material usado lo permite, como por ejemplo los geocontenedores, es rectilínea (figura 3.6.1.4).

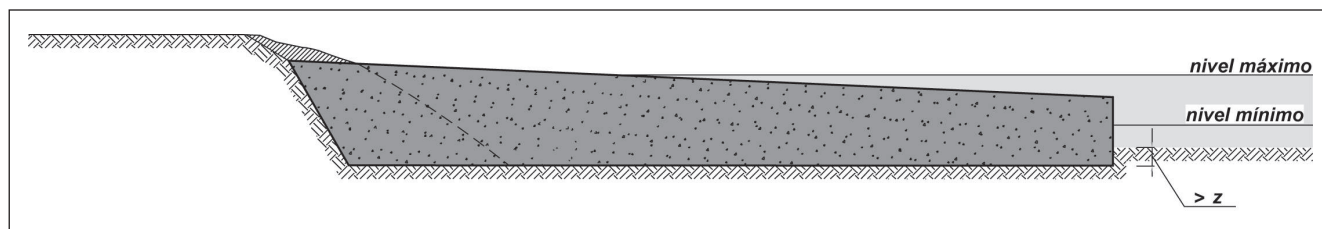


Figura 3.6.1.1 - Sección longitudinal de espigón en concreto.

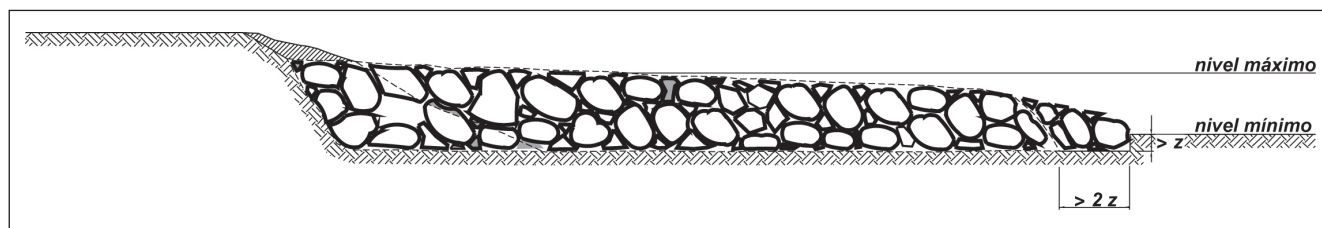


Figura 3.6.1.2 - Sección longitudinal de espigón en piedra suelta.

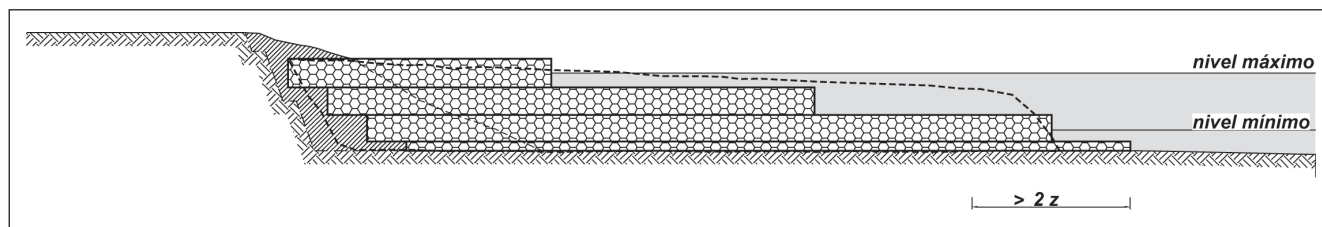


Figura 3.6.1.3 - Sección longitudinal de espigón en gaviones.

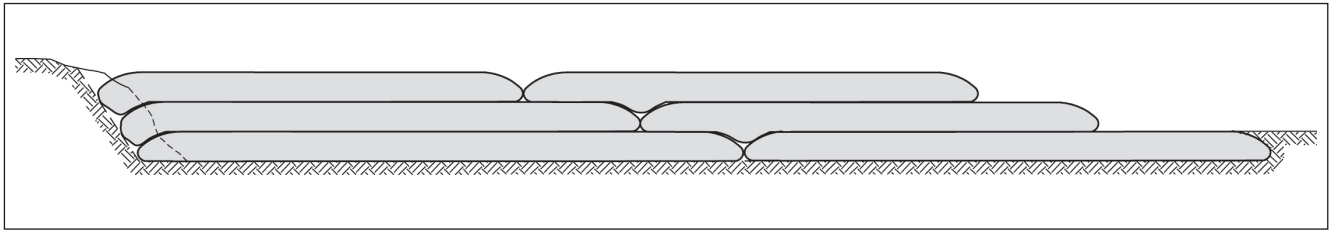


Figura 3.6.1.4 - Sección longitudinal de espigón en geocontenedores.

3.6.2 - Sección transversal

Es recomendable diseñar la sección transversal en forma trapecial de manera que su baricentro sea lo más bajo posible; esto es extremadamente importante debido a que el terreno de los cauces en general no tiene buenas características geotécnicas y la capacidad de soporte no es homogénea (figura 3.6.2.1). Esta recomendación es especialmente importante cuando los espigones deban ser construidos en presencia de agua por la dificultad de controlar la real configuración en aguas generalmente poco transparentes.

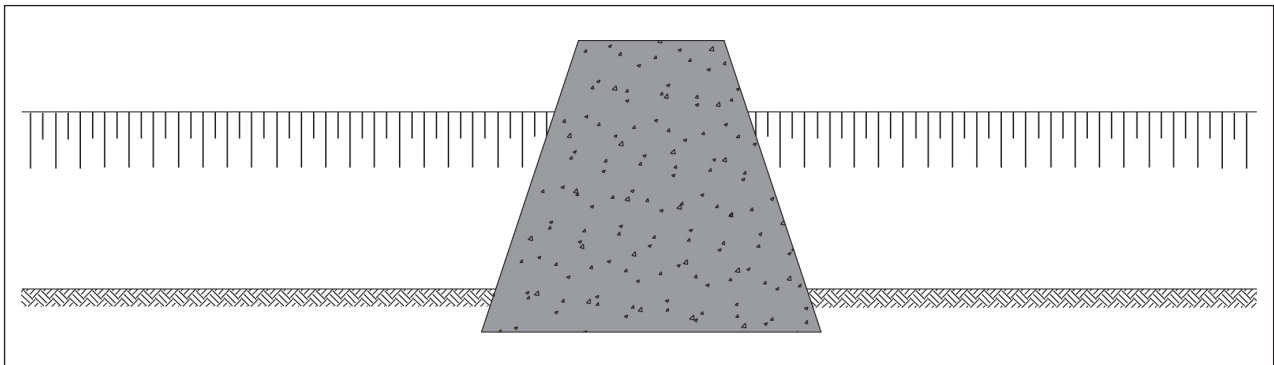


Figura 3.6.2.1 - Sección transversal de espigón en concreto.

La cresta tiene anchos variables de 1m a 3,5m, pudiendo llegar hasta 6m; en el caso de espigones construidos con material suelto, debe ser suficientemente ancha para permitir la circulación de los vehículos que transportan el material usado para la construcción del espigón.

En el caso de espigones construidos con material suelto, en general las pendientes laterales varían desde 3H:1V en la parte más cercana a la orilla a 5H a 1V. Esto resulta en un volumen importante de material que, en caso de obras construidas en agua, tiende a aumentar aún más. Por esta razón se prefiere el uso de los gaviones que permite una sensible reducción del material usado en ambos casos.

En el caso de obras construidas en seco, los gaviones caja por ser amarrados entre sí, permiten una obra monolítica con una sección mas esbelta geoméricamente definida con pendientes laterales del orden del 2H:1V a 1H:1V (figuras 3.6.2.2 y 3.6.2.3). En el caso de construcción en agua, los gaviones cilíndricos no solamente permiten usar piedras de tamaño reducido de más fácil transporte y manipuleo sino permiten pendientes laterales más empinadas con consecuente reducción del volumen necesario. En este caso las costuras entre los gaviones cilíndricos no son necesarias ya que la inter-trabazón de las piedras en la superficie del gavión y la fricción entre los mismos son suficientes para garantizar la estabilidad de la obra.

Al usar los geocontenedores, su disposición longitudinal deberá siempre ser de forma piramidal como esta representado a continuación (figura 3.6.2.4).

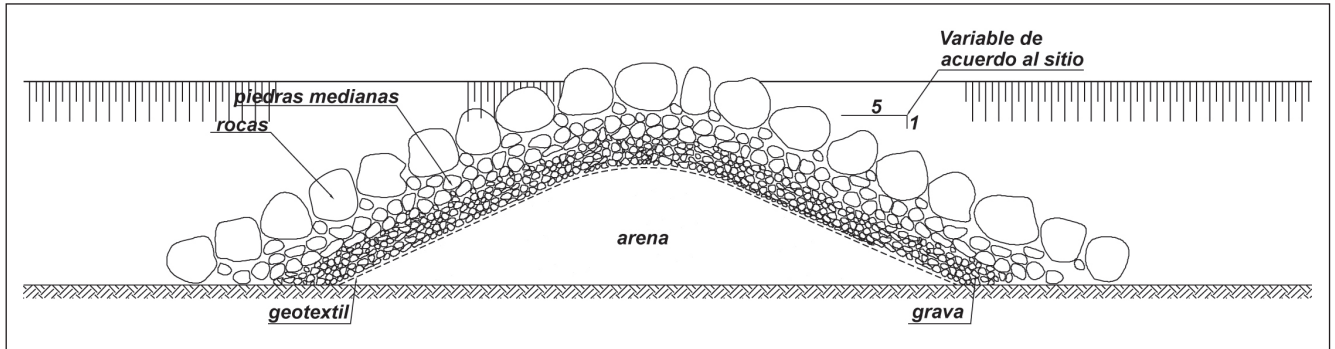


Figura 3.6.2.2 - Sección transversal de espigón en enrocado.

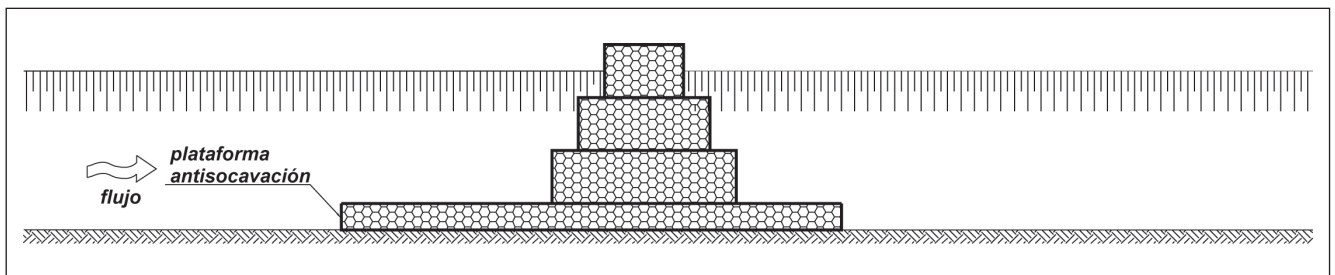


Figura 3.6.2.3 - Sección transversal de espigón en gaviones y Colchones Reno®.

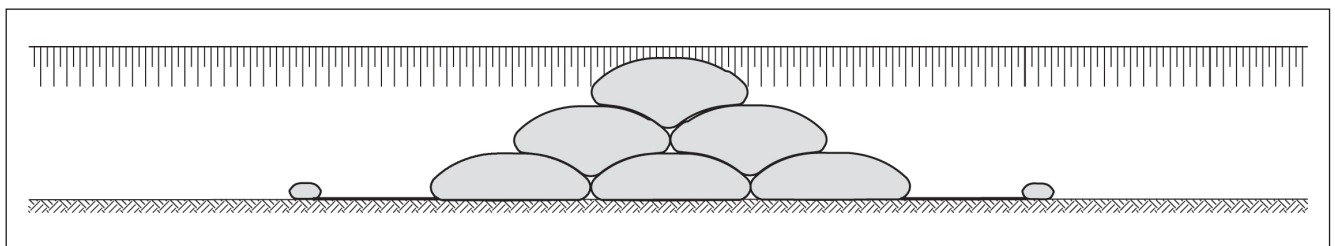


Figura 3.6.2.4 - Sección transversal de espigón en gecontenedores.

3.6.3 - Cabeza de los espigones

La cabeza de los espigones es en general la parte más expuesta a daños causados por el material de arrastre y a la socavación del fondo, siendo que ha sido observado que las mayores erosiones en el fondo se verifican alrededor de la misma. Por esta razón debe ser mayormente protegida que el resto del cuerpo del espigón, aumentando la protección contra la abrasión y la profundidad de la fundación o la longitud de la plataforma antisocavación.

3.7 - Empotramiento en la orilla

Es la parte del espigón construida dentro de la orilla para evitar eventuales flaqueos o rodeos de la estructura que podrían comprometer su estabilidad (figura 3.7.1). En terrenos muy duros, como roca, no es necesario, siendo suficiente garantizar la continuidad entre terreno y espigón. En los otros casos su profundización es definida generalmente en proporción a la longitud del espigón; ha dado buenos resultados usar en el primer espigón aguas arriba la profundidad de 25 a 40% de L_p , mientras que en los siguientes, entre el 15% y 20% (figura 3.7.2). La razón de la diferencia, es que la función del primer espigón es básicamente proteger el anclaje del siguiente y, en caso de fallar, podría exponer el empotramiento del segundo a erosiones y así comprometerlo; a su vez esto podría generar el mismo problema en cadena en los siguientes. Cuando el proceso de excavación para empotrar los espigones sea costoso, es posible reducirla al mínimo y reducir la distancia entre los espigones. Como alternativa a la profundización del empotramiento, es posible revestir el margen a ambos lados del espigón, por ejemplo con un revestimiento en Colchones Reno® o un muro longitudinal en gaviones (figura 3.7.3).



Figura 3.7.1 - Colapso del espigón de gaviones por falla del empotramiento.

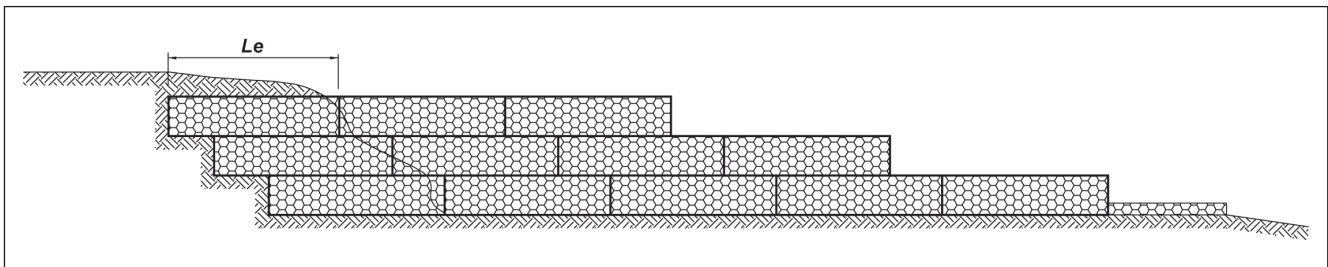


Figura 3.7.2 - Profundidad del empotramiento.



Figura 3.7.3 - Revestimiento del margen a ambos lados del espigón.

3.8 - Ángulo de orientación respecto a la corriente

El espigón puede ser diseñado con su eje direccionado en contra de la corriente ($\alpha > 90^\circ$), perpendicular ($\alpha = 90^\circ$) o a favor ($\alpha < 90^\circ$). El ángulo es medido desde el margen aguas abajo hasta el eje del espigón. La inclinación del espigón en relación al eje del río es importante porque modificará el área protegida.

En el primer caso ($\alpha > 90^\circ$) diversos autores indican que esta orientación incrementa la sedimentación y algunos recomiendan ángulos entre 100° y 120° (Beckstead). En el segundo caso ($\alpha = 90^\circ$), esta orientación es la preferida porque permite reducir la longitud del espigón en relación a los otros casos aún si algunos autores indican que es la que produce la mayor erosión en la punta (Kwan y Kandasamy) y a largo plazo (Collell, Cardoso, Martín Vide y Bateman, 1999). En el tercero algunos autores recomiendan ángulos alrededor de 70° (Maza), especialmente en tramos en curva y, para pequeños radios, valores menores de 70° pudiendo alcanzar hasta 40° . No existe una clara sugerencia para recomendar la dirección del espigón que no sea relacionada a la ubicación

del área a ser protegida en relación al espigón, como ha sido mencionado anteriormente.

En observaciones en laboratorio y en campo es posible verificar que en el caso de espigones en contra de la corriente (figura 3.8.1 A) el área mayormente protegida por el espigón es distribuida inmediatamente aguas arriba del mismo, cuando es perpendicular (figura 3.8.1 B), el área queda distribuida entre aguas arriba y abajo del mismo y, cuando es a favor de la misma (figura 3.8.1 C), el área mayormente protegida es distribuida inmediatamente aguas abajo del mismo.

El autor ha observado, por otro lado, que los espigones en contra la corriente parecen tener un mejor comportamiento en ríos de corriente rápida (de montaña) y aquellos a favor en ríos de corrientes más lentas (de llanura).

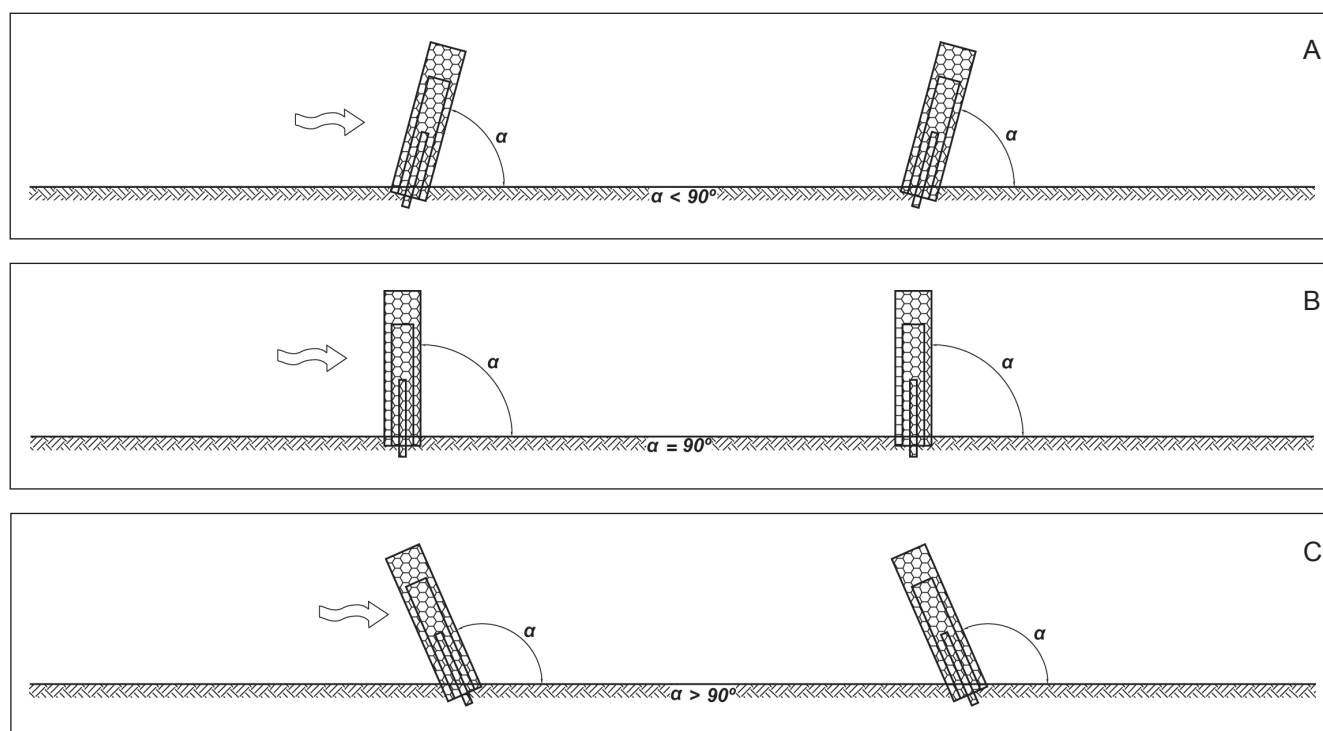


Figura 3.8.1 - Espigones a favor de la corriente (A), perpendiculares (B) y contra la corriente (C).

En la tabla 3.8.1 está relacionado el ángulo α entre el espigón y el margen recomendado por distintos autores (Klingeman, P et al, 1984).

Tabla 3.8.1 - Ángulo α entre el espigón y la orilla por algunos autores.

Ángulo α recomendado entre el espigón y la orilla	Referencia	Comentarios
100° - 120°	Naciones Unidas, 1953	Espigones inclinados hacia aguas arriba
100° - 110°	Mamak, 1964	
110°	Macura, 1966	Margen cóncava
100°		Directamente
90°		Margen convexa
$\leq 90^\circ$	Franco, 1967	
$\leq 90^\circ$	Lindner, 1969	Desvío
$\leq 90^\circ$	Lindner, 1969, río Missouri	Sedimentación
75° - 90°	Lindner, 1969, río Red y Arkansas	
$\leq 90^\circ$	US Army, Corps of engineers, 1970	
100° - 120°	Central Board of Irrigation and Power, 1971	
100° - 120°	Joglekar, 1971	
30° - 60°		
90°	Richardson y Simons, 1973	
100° - 110° (orilla convexa)	Samide y Beckstead, 1975	
$\leq 100^\circ$ (orilla cóncava)	Samide y Beckstead, 1975	
75°	US Army, Corps of engineers, Los Angeles District, 1980	
$\sim 90^\circ$	Copeland, 1983	
70° - 90°	Alvarez, 1983	
30°		Para curvas cerradas
90°	US Army, Corps of engineers, Memphis and Vicksburg District, 1983	
90°	US Army, Corps of engineers, 1983	
65°	Akanyisz et al., 1983, 1986, 1989	Para $a = 45^\circ$ 55° y $\varnothing/B = 8 - 13,5$ margen convexa

3.9 - Tipo y dimensiones de la protección antisocavante

Como ya se mencionó, la presencia de los espigones provoca en general un estrechamiento del cauce y un consecuente aumento de la velocidad del agua. Los efectos son sentidos en las inmediaciones de los espigones; en especial aguas arriba y delante de la punta del espigón se puede verificar un sensible aumento de la velocidad y remolinos que, en el caso de que la composición y granulometría del fondo del cauce lo permita, provocarán erosiones a veces muy profundas que, de no ser consideradas en la fase de diseño pueden provocar el vuelco o hasta la destrucción del espigón. Por lo anterior, es siempre necesario un minucioso cálculo de la socavación que pueda producirse en el cauce naturalmente y la que será provocada por el espigón.

A mediados del siglo pasado, Amhad investigó la erosión provocada por obstáculos y mostró las diferentes conformaciones de las fosas de erosión en un espigón en función de su inclinación respecto a la corriente y de su forma, como muestra el diseño (figura 3.9.1).

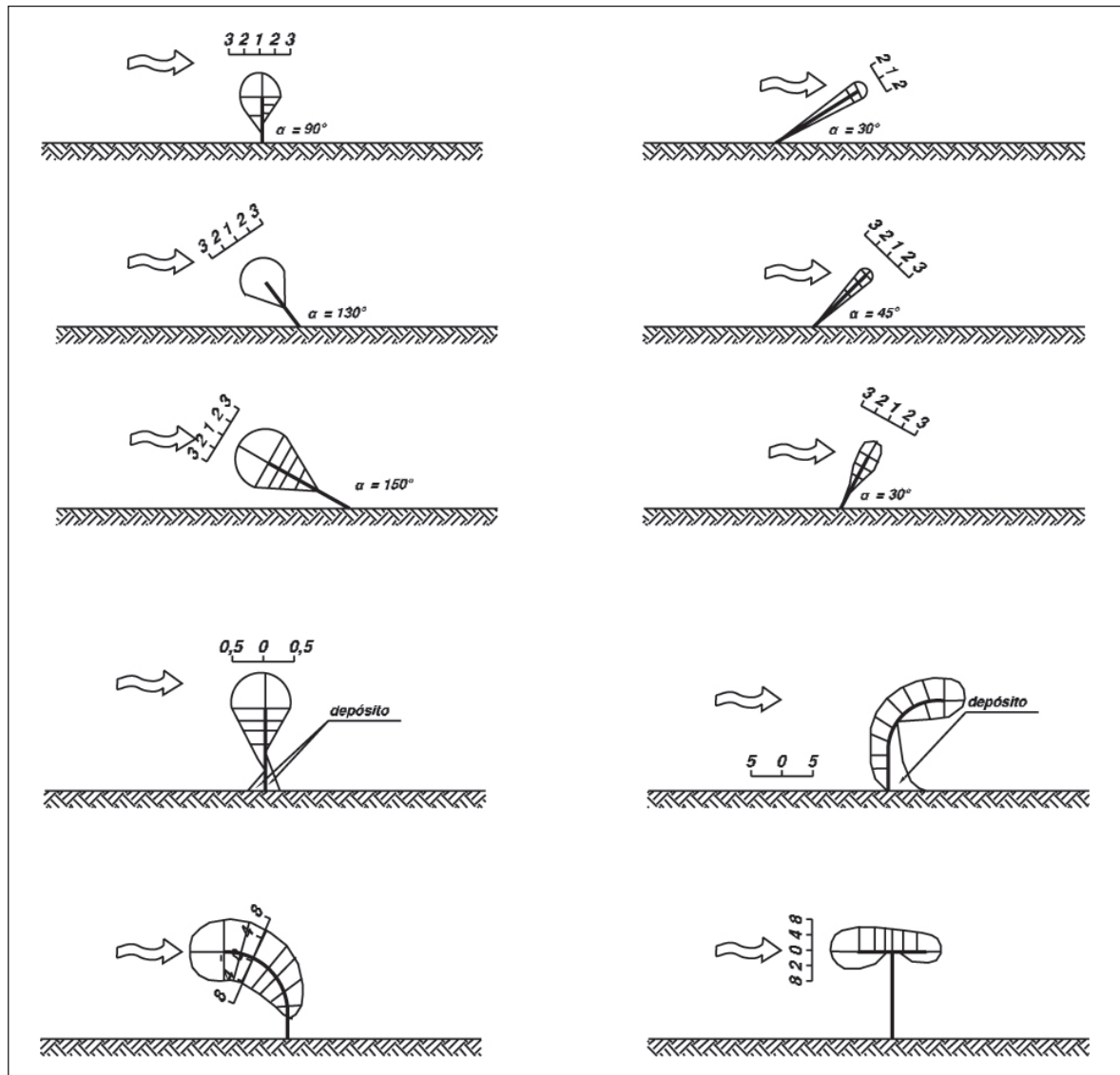


Figura 3.9.1 - Distribución de la erosión en vuelta de un espigón en función de su inclinación y forma.

Un número importante de investigaciones fue llevada a cabo desde entonces, entre las cuales, son las más conocidas: Jansen, Garde, Awazu, Vingè, Mukhameder et al., Gill. Queremos también mencionar las realizadas por Maccaferri en el laboratorio del INCyTH. Todas ellas, aún si ayudaron a un mejor entendimiento del problema, no permiten llegar a expresiones generales que permitan calcular con la suficiente precisión la máxima profundidad de la erosión.

Algunos autores proponen fórmulas para calcular la erosión:

Melville propone la siguiente expresión para espigones y estribos de puentes:

$$H_{s\max}/L = \vartheta (K_y, K_f, K_D, K_\sigma, K_s, K_\theta, K_g)$$

siendo:

$H_{s\max}$ = máxima erosión local;

L = longitud del estribo;

ϑ = función que involucra a los parámetros adimensionales K_i ;

K_y = tirante;

K_f = intensidad del flujo, u/u_c , donde u es la velocidad media y u_c la velocidad media crítica o de principio de movimiento;

K_D = tamaño del material de arrastre;

K_G = grado de uniformidad del material de arrastre;

K_s = forma del espigón;

K_ϑ = alineación del espigón;

K_g = geometría del canal.

Buy Ngok propone la siguiente fórmula:

$$H' = \frac{1,09^{-0,075(m_s+1)}}{1 - n^{0,3}} \times \left(\frac{\alpha}{90^\circ}\right)^{0,2} \times \left(\frac{h_g}{h}\right)^{0,41} \times f_1(C_d) \times (Fr)^{f_2(C_d)}$$

donde:

H' = profundidad relativa de socavación = $(z+h)/h$;

z = profundidad de socavación;

m_s = pendiente del paramento lateral (1: m_s) del espigón;

n = relación de contracción $n = L_a / B$;

α = ángulo de inclinación del espigón en relación a la corriente;

h_g = altura del espigón;

h = profundidad del agua sin considerar la socavación;

$f_1(C_d)$ y $f_2(C_d)$ = factores que dependen de la tracción sobre los granos;

Fr = Número de Froude.

Maza, al utilizar el criterio de Latuischenkov propone la siguiente ecuación:

$$H_{s\ max} = 0,855 h (4,17 + \ln q_1/q) e^{(0,0028\alpha - 0,24k)}$$

donde:

$H_{s\ max}$ = erosión provocada por el espigón medida desde la superficie libre del agua hasta el fondo, [m];

h = profundidad del agua en la parte del espigón no afectada por la erosión, [m];

q_1 = gasto teórico que podría pasar por la zona ocupada por el espigón, [m³/s];

q = gasto con período de retorno de 25 y 50 años, [m³/s];

α = ángulo formado por el eje longitudinal del espigón y la dirección de la corriente, medida desde aguas abajo, [°];

k = inclinación del paramento da la punta del espigón, $k = \cotg(\vartheta)$;

ϑ = ángulo formado por el paramento de la punta del espigón y la horizontal, [°].

Dependiendo del tipo de material usado, deberá ser prevista una protección que puede asumir diferentes configuraciones.

a. En el caso de estructuras en concreto se vuelve necesaria la profundización de las fundaciones hasta una cota no alcanzada por la erosión (figuras 3.9.2 y 3.9.3), requiriendo así una sobre excavación del fondo.

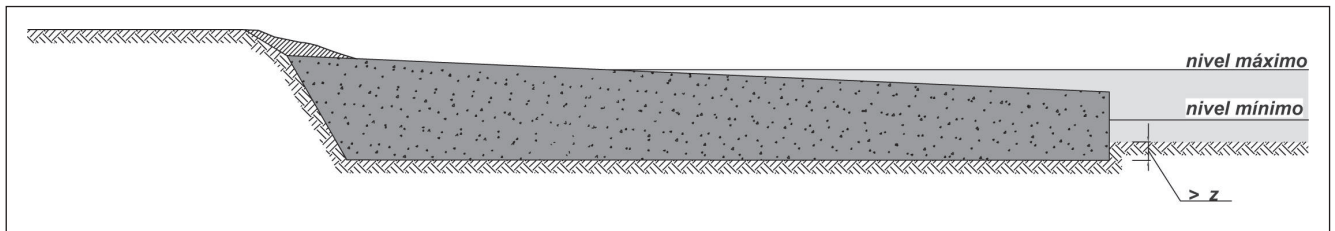


Figura 3.9.2 - Protección antisocavación de espigón de concreto.



Figura 3.9.3 - Colapso del espigón de concreto por falla de la protección antisocavación.

b. En el caso de materiales sueltos: es necesario el aumento de la sección y el mantenimiento periódico mediante recarga con nuevo material que sustituya el que hubiera sido transportado hacia aguas abajo por la corriente (figura 3.9.4), requiriendo así un volumen extra.

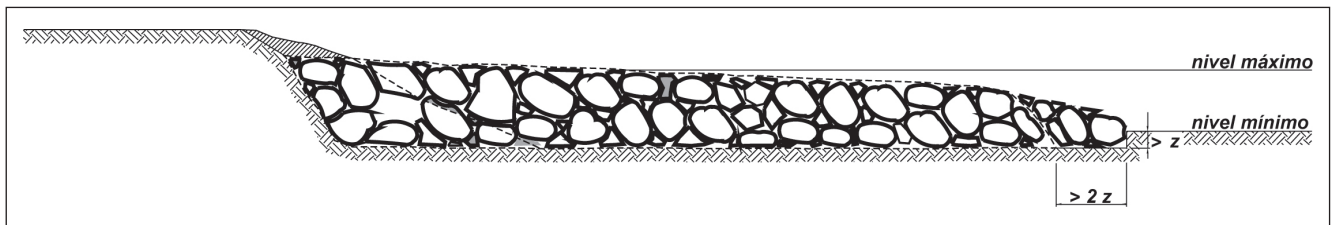


Figura 3.9.4 - Diseño esquemático de espigón en rip-rap y de la protección antierosión.

c. En el caso de gaviones: es habitualmente usada la colocación de una plataforma antisocavación de Colchones Reno® alrededor del espigón y cuyo ancho sea proporcional a la máxima profundidad de erosión prevista, en general 2 veces dicha profundidad (figuras 3.9.5, 3.9.6 y 3.9.7). Por la experiencia acumulada en obras reales y en ensayos de laboratorio, se ha verificado que el ancho de la plataforma debe ser siempre mayor en la lateral aguas arriba y en la extremidad, por ser estas las regiones donde se verifican las máximas erosiones. La ejecución de la plataforma evita la excavación del fondo, en general muy costosa, para llegar a una profundidad no alcanzada por la erosión.

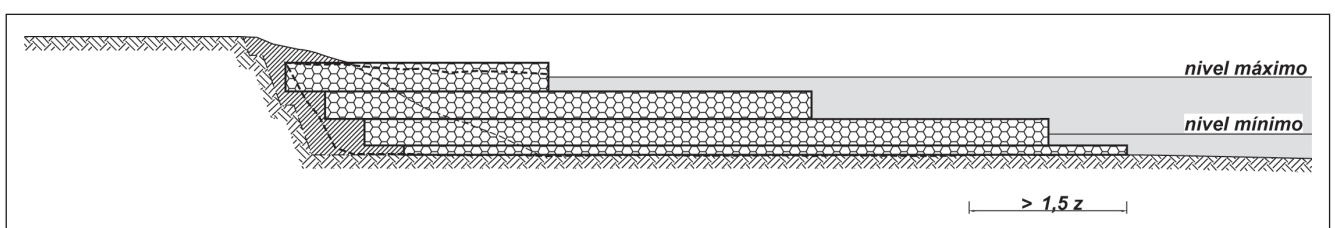


Figura 3.9.5 - Diseño esquemático de espigón en gaviones y de la protección antierosión.



Figura 3.9.6 - Protección antierosión de espigón en gaviones.



Figura 3.9.7 - Protección antierosión de espigón en gaviones.

d. En el caso de geocontenedores de geotextil tejido, es necesario recurrir a plataformas antisocavación en geotextil del mismo tipo, que cumplen la misma función de aquellas en Colchones Reno® (figuras 3.9.8 y 3.9.9).

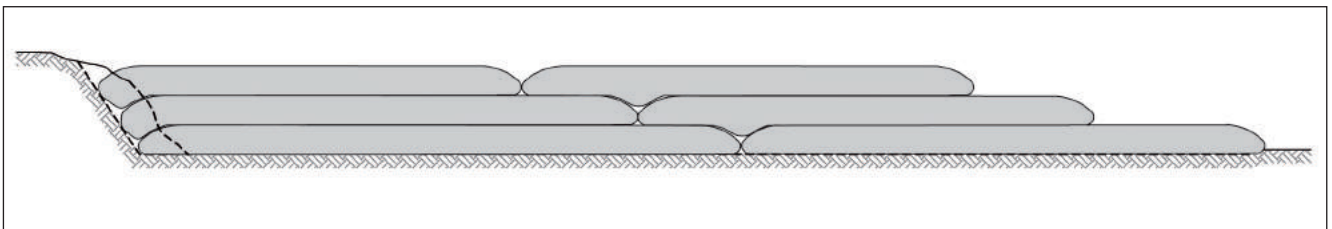


Figura 3.9.8 - Sección longitudinal esquemática de espigón en geocontenedores.

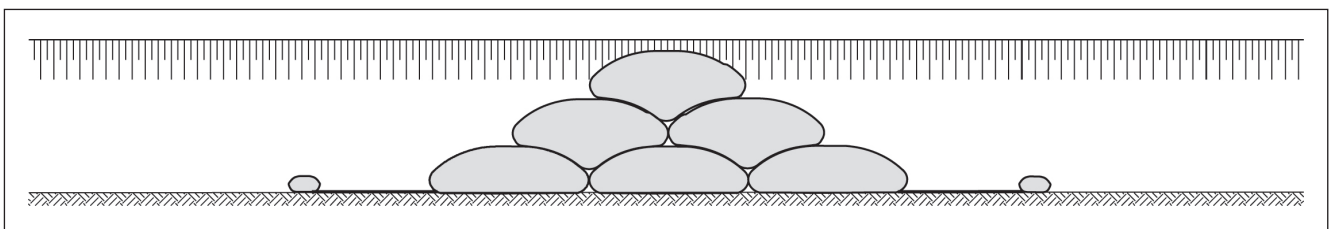


Figura 3.9.9 - Sección transversal esquemática de espigón en geocontenedores y protección antierosión.

Para terminar esta rápida reseña, cabe mencionar las modalidades de construcción de los espigones ya que, por ser ubicados dentro del cauce del río, estas son influenciadas por el tipo de suelo y la eventual presencia de agua.

En el caso que sea posible trabajar en seco, para el cuerpo del espigón se prefiere recurrir al uso de los gaviones tipo caja, por sus características de flexibilidad y monoliticidad y por permitir secciones definidas geométricamente conforme las necesidades. Para los cimientos se recurre al uso de los Colchones Reno® que, por su flexibilidad y continuidad, están en condición de acompañar las erosiones del fondo evitando que estas puedan alcanzar el cuerpo del espigón. El uso de los gaviones permitirá adicionalmente realizar eventuales modificaciones posteriores de la sección si fueran necesarias.

En el caso que sea necesario construir el espigón en presencia de agua, especialmente si en aguas profundas, es posible recurrir a material suelto de dimensiones adecuadas o a gaviones tipo saco. El material suelto es usado cuando se disponga de una cantera en las cercanías en condición de proveer las piedras en las dimensiones y cantidades necesarias, lo cual por otro lado se está volviendo cada vez más raro. La necesidad de mantener pendientes suaves en los taludes laterales hace necesario el uso de un volumen importante de piedras. Los gaviones saco, al contrario, permiten usar piedras o guijarros de pequeñas dimensiones y permiten realizar secciones más regulares con taludes más empinados y controlar el volumen del material lanzado.

4-ESPIGONES EN GAVIONES

Los gaviones se adaptan particularmente a ser usados en la construcción de los espigones por sus características: facilidad y rapidez de construcción, permitir la construcción en seco y en agua, flexibilidad, uso intensivo de mano de obra (si fuera necesario), etc. Además de las consideraciones que pueden ser hechas visiblemente en obra, un interesante trabajo “Ricerca sperimentale sul comportamento di pennelli di vario tipo nelle sistemazioni fluviali”, Migliorini P., Milano V., Viti C. (Istituto di Idraulica della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pisa - L'Energia elettrica N°12, 1984) compara el comportamiento hidráulico entre espigones construidos con diferentes materiales al cambiar la inclinación, distancia y forma de los mismos llegando a la conclusión que la flexibilidad de los gaviones permite absorber eventuales asentamientos provocados por la erosión del fondo, en especial en la punta.

A seguir serán listadas algunas recomendaciones y sugerencias adicionales para el diseño y la construcción de espigones en gaviones.

4.1 - En el diseño

La posibilidad de usar elementos modulares permite diseñar las más variadas secciones, con cresta recta o escalonada; paramentos laterales verticales, inclinados o escalonados; secciones curvas, ángulos, etc. Para mayor rapidez en la construcción sugerimos que sea dada preferencia a una cresta y paramentos escalonados en lugar de inclinados, ya que el corte y adaptación del gavión para ajustarlo a la sección deseada requieren de más tiempo que el habitual (figura 4.1.1). Por el mismo motivo es preferible formar curvas con una secuencia de ángulos y no redondeando los gaviones con dobleces o cortes. Aún así, es posible construir estructuras curvas, si fuera considerado necesario. Reportamos a seguir algunas maneras adoptadas para crear secciones no rectangulares (figuras 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3).

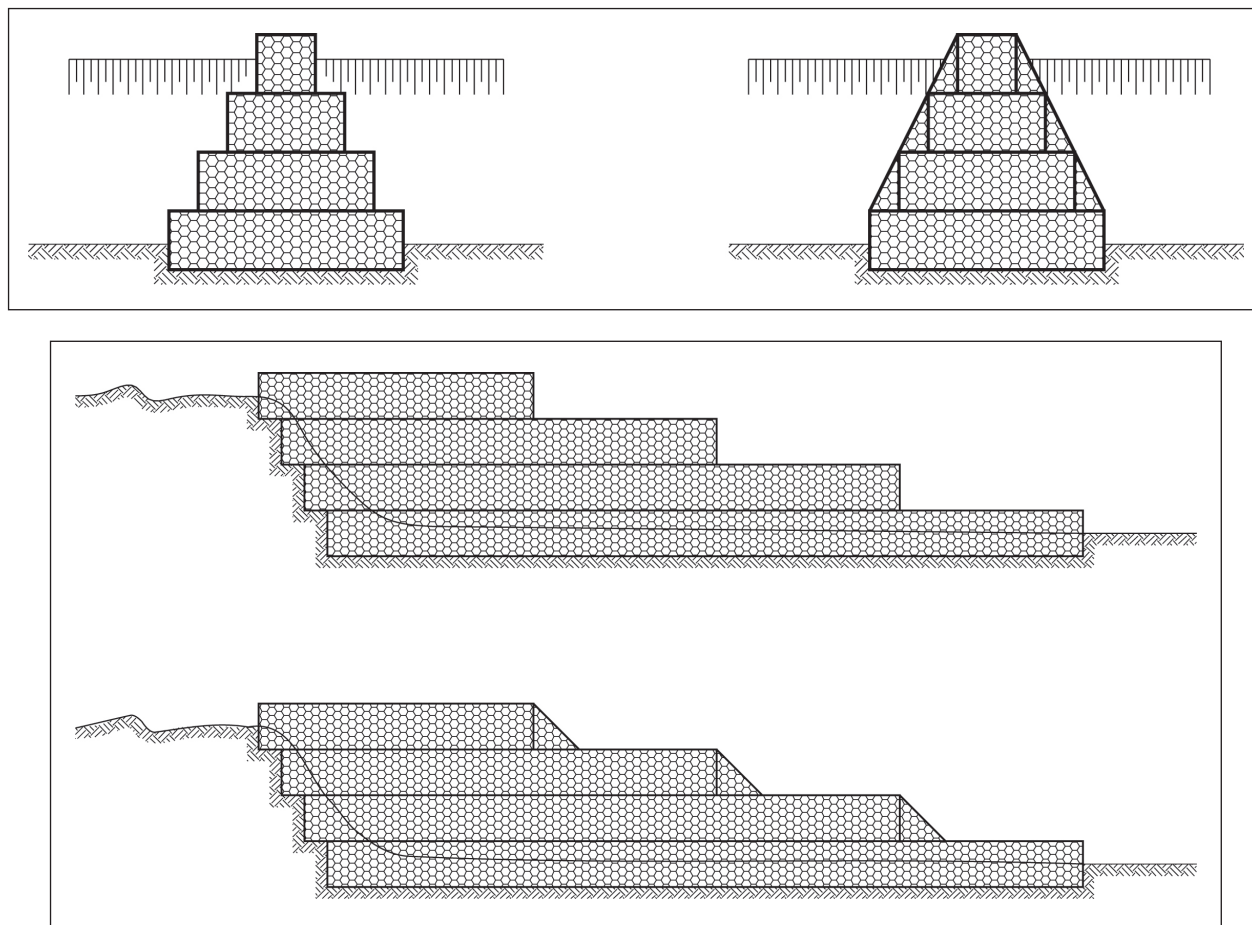


Figura 4.1.1 - Diseños esquemáticos de espigones fabricados con gaviones rectangulares y moldados.

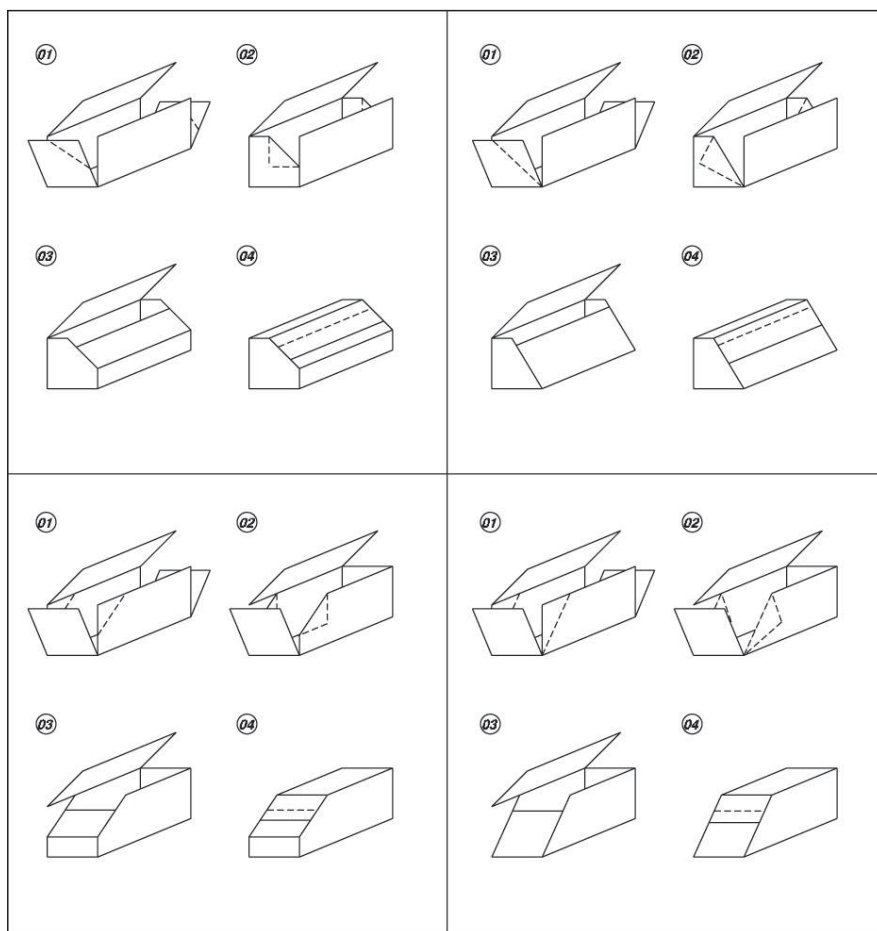


Figura 4.1.2 - Proceso para moldear los gaviones.

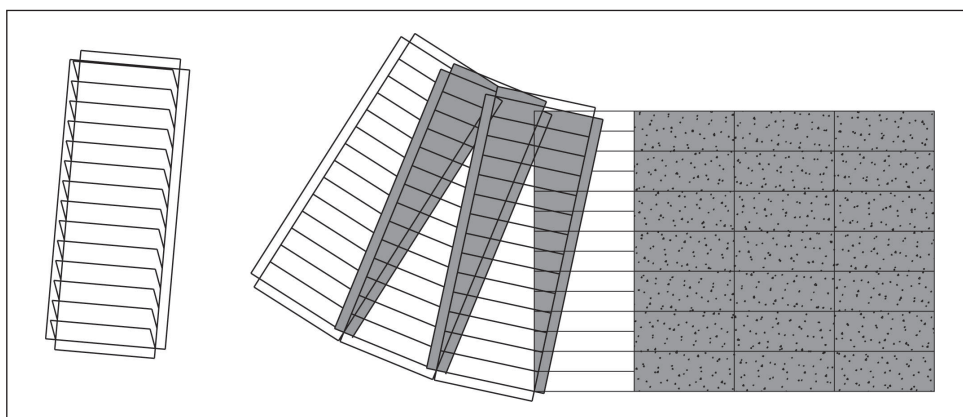
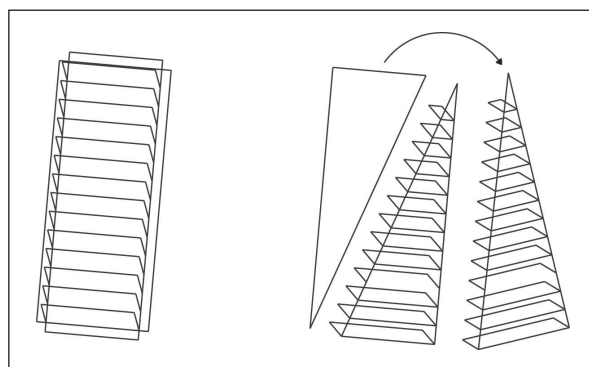


Figura 4.1.3 - Proceso para moldear los Colchones Reno®.

En el lado hacia aguas arriba es preferible usar, en el caso de ríos con transporte sólido importante, gaviones tipo “Caja Fuerte®” (elementos especialmente desarrollados para estas situaciones), en los cuales la cara frontal y una de las laterales son producidas con alambres más gruesos que los habituales para resistir más al impacto del material transportado por la corriente (figuras 4.1.4 y 4.1.5).

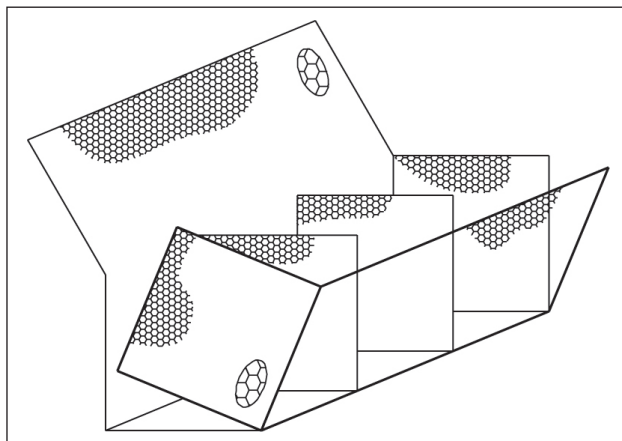


Figura 4.1.4 - Diseño esquemático del gavión Caja Fuerte®.



Figura 4.1.5 - Obra construida con gaviones Caja Fuerte®.

Por otro lado, es posible proteger la cara aguas arriba del espigón que queda expuesta al impacto del flujo y el material de arrastre con una protección de troncos (figura 4.1.6) o plantando vegetación arbustiva (figura 4.1.7) que, al crecer, formará una barrera a la acción del flujo y aumentará la adherencia entre los Colchones Reno® y el suelo.



Figura 4.1.6 - Protecciones con troncos contra la abrasión de espigones de gaviones.



Figura 4.1.7 - Protección con vegetación contra la abrasión de espigones de gaviones.

Queda a juicio del diseñador que los Colchones Reno® que conforman la eventual plataforma antisocavación sean ó no prolongados por debajo del cuerpo del espigón; siempre que sea posible recomendamos que, si no totalmente, por lo menos una parte de la plataforma quede cubierta por el cuerpo del espigón, para garantizar una mayor continuidad entre las dos partes debido en este caso al amarre al peso de los gaviones sobre los Colchones Reno®, y a la fricción entre la base del espigón y la tapa de la plataforma (figura 4.1.8).

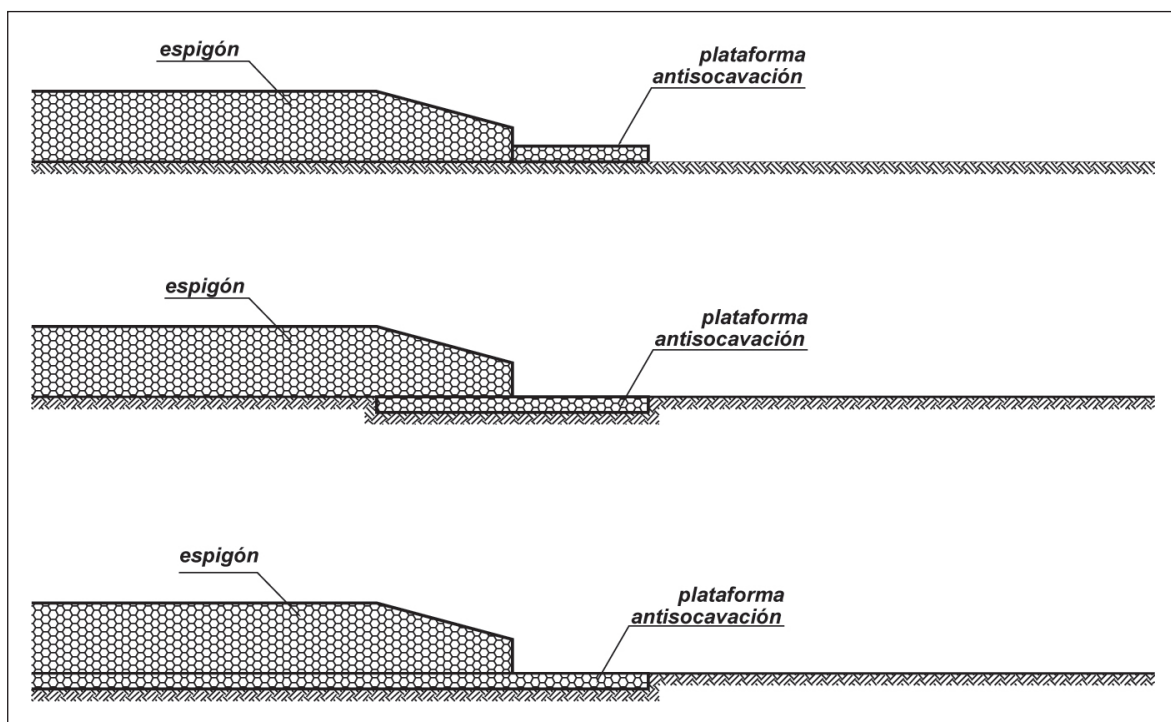


Figura 4.1.8 - Diferente posición de los Colchones Reno® para conformar la plataforma antisocavación.

La función de la plataforma antisocavación en Colchones Reno® es doble. Por un lado desplaza lejos del espigón la erosión, siendo una estructura “armada” en la cual las piedras están confinadas entre mallas metálicas y pueden resistir sin daños a los remolinos o corrientes rápidas; por el otro, debido a su flexibilidad, puede acompañar el perfil de la fosa de erosión que se creara a su lado “acorazándola”, evitando que pueda alcanzar el cuerpo del espigón. Por esto es importante calcular la longitud de la plataforma para que la erosión no pueda pasar por debajo y alcanzar el espigón. Para evitarlo, la longitud deberá ser por lo menos 1,5 veces la máxima profundidad de erosión prevista.

El valor sugerido de 1,5 es resultado de ensayos realizados por Maccaferri en el laboratorio de la Sogreah

en los cuales fue verificado que la máxima inclinación a la cual el Colchón Reno® pierde su eficiencia, es 41° . Considerando que la configuración alcanzada por la plataforma en equilibrio puede ser considerado la inclinación de la hipotenusa de un triángulo rectángulo cuyo lado sea la profundidad de la erosión, en consecuencia entonces la longitud de la hipotenusa y, consecuentemente, de la plataforma debe medir 1,41 veces la medida de la profundidad de erosión. Al no permitir que sea superado este ángulo, tenemos entonces la seguridad que la plataforma protege el espigón de la erosión (figuras 4.1.9 hasta 4.1.13).

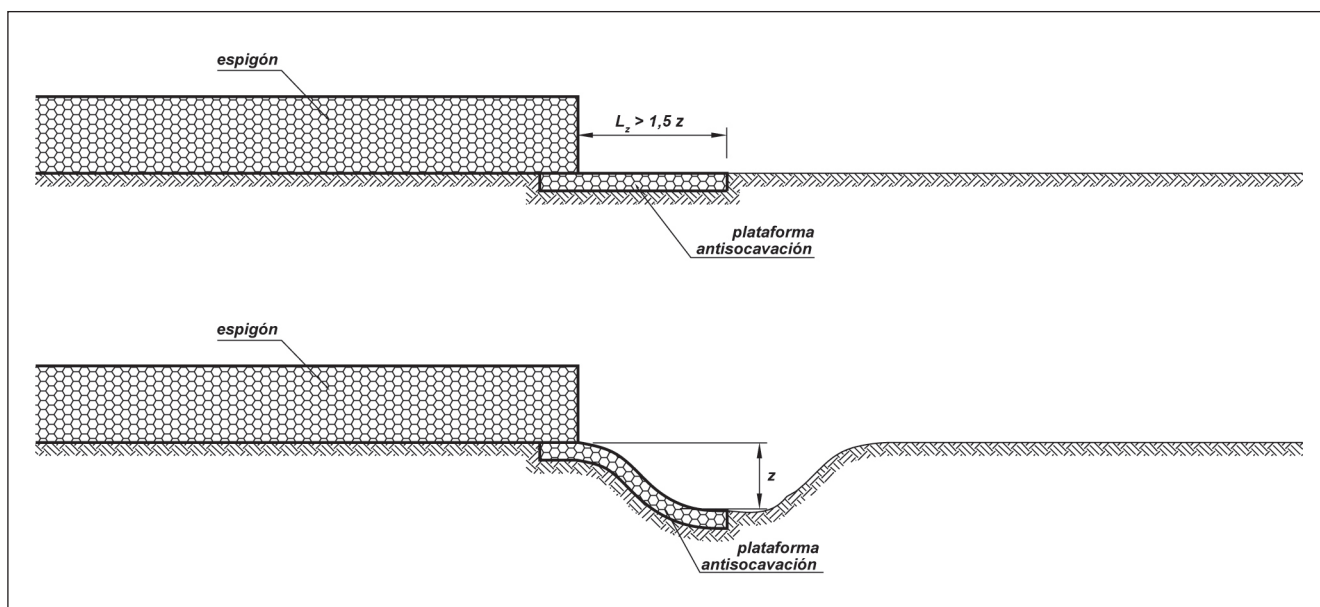


Figura 4.1.9 - Comportamiento de la plataforma antisocavación en Colchones Reno® a protección de estructuras en gaviones.



Figura 4.1.10 - Plataforma antisocavación recién construida.



Figura 4.1.11 - Plataforma después de pequeñas crecidas.



Figura 4.1.12 - Plataforma después de las primeras erosiones.



Figura 4.1.13 - Plataforma después de mayores erosiones.

Si el transporte sólido es importante y puede causar daños al espigón, no es conveniente el uso de Colchones Reno® ya que la tapa de los mismos se desgastaría rápidamente por esto. En estos casos es preferible usar fundaciones directas profundizando la estructura en gaviones hasta una profundidad que no pueda ser alcanzada por la erosión (figura 4.1.14).

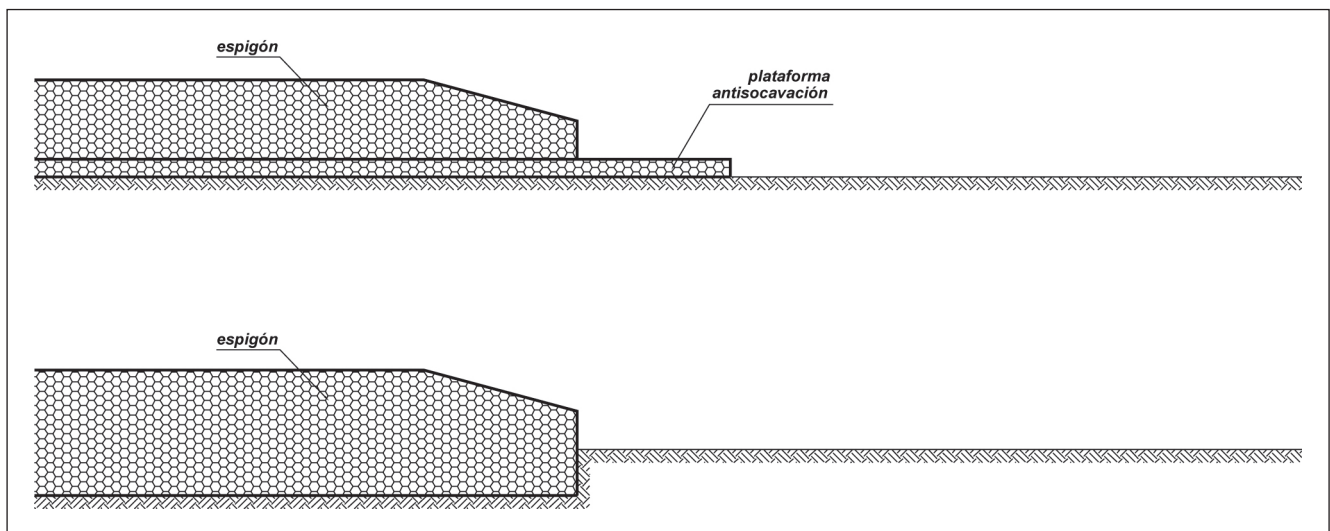


Figura 4.1.14 - Profundización de la fundación para prevenir solapamientos.

A seguir algunas fotos de espigones en gaviones construidos en América Latina con plataforma antisocavación en Colchones Reno® (figuras 4.1.15, 4.1.16 y 4.1.17).



Figura 4.1.15 - Espigones en gaviones con plataforma antisocavación en Colchones Reno®.



Figura 4.1.16 - Espigón en gaviones con plataforma antisocavación en Colchones Reno® durante la construcción.



Figura 4.1.17 - Espigón en gaviones con plataforma antisocavación en Colchones Reno® después de algunos meses.

Otra alternativa es apoyar el cuerpo del espigón en gaviones sobre una camada de piedras sueltas de tamaño adecuado (figura 4.1.18).

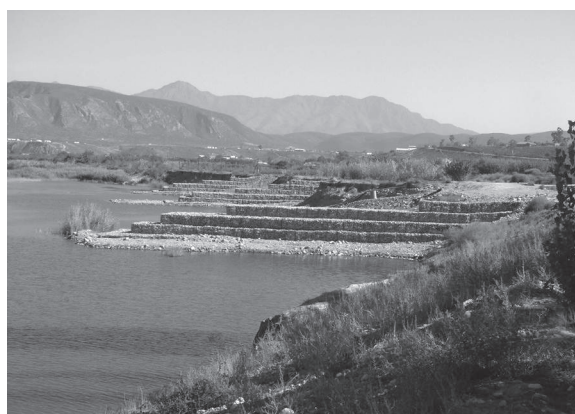


Figura 4.1.18 - Espigones en gaviones apoyados sobre una camada de piedras sueltas.

4.2 - En la construcción

En el caso de ríos con caudales que no permitan trabajar en seco, para la construcción de los espigones es común usar gaviones cilíndricos. Estos gaviones, como indica el nombre, tienen formato de cilindro, son llenados en tierra firme con piedras de tamaño adecuado y posteriormente izados y colocados en agua con una grúa. En la primera camada los gaviones cilíndricos son siempre colocados paralelamente al eje del río. En el caso que el fondo del cauce sea constituido por terrenos finos, es aconsejable extender por arriba del fondo un geotextil no-

tejido, arriba del cual serán colocados los gaviones. La no necesidad de amarres hace la operación muy simple, requiriendo solamente que los gaviones cilíndricos sean colocados uno al lado del otro, sin dejar espacio entre los mismos. Las camadas siguientes son colocadas una tras la otra hasta llegar a la cota del nivel del agua; a partir de ahí podrá continuarse con gaviones cilíndricos o gaviones caja. En el primer caso será suficiente mantener el proceso usado hasta entonces mientras que en el segundo los gaviones deberán ser colocados vacíos, amarrados entre sí, llenados con piedras y cerrados. De esta forma será posible obtener formas más regulares y geométricas y reducir el volumen de la estructura. Adicionalmente los amarres volverán a la estructura más monolítica siendo que su continuidad será garantizada no solamente por el encaje y la fricción entre los gaviones, sino también por los amarres (figuras 4.2.1 hasta 4.2.5). En algunos casos, aún con aguas profundas, se ha recurrido al uso de gaviones caja colocados vacíos, fijados al fondo y llenados bajo agua, siendo para esto necesario el uso de buzos.



Figura 4.2.1 - Colocación en agua de gaviones saco.



Figura 4.2.2 - Colocación en agua de gaviones saco.



Figura 4.2.3 - Colocación en agua de gaviones saco.



Figura 4.2.4 - Espigón construido en agua con gaviones saco.



Figura 4.2.5 - Espigón en gaviones construido en agua en dos etapas: bajo agua con gaviones saco y en seco con gaviones caja.

En el caso de ríos que tengan períodos de estiaje que permite la construcción en seco, para construir la plataforma antisocavación es necesaria solamente la regularización de fondo del cauce con la retirada de unos 0,30-0,50m de tierra. En primer lugar es colocado, en terrenos finos, un geotextil no-tejido. A seguir, sobre este es montada la plataforma antisocavación colocando los Colchones Reno®, amarrándolos entre sí, colocando tensores verticales para reducir el movimiento de las piedras provocado por la corriente y aumentar la vida útil de los mismos, llenándolos y cerrándolos con las respectivas tapas. A continuación es construido el cuerpo del espigón con los gaviones caja colocados vacíos, amarrados unos a los otros, llenados (no olvidando colocar los tensores horizontales para un mejor acabado) y finalmente cerrados. Es importante recordar que, en la medida de lo posible, es aconsejable no dejar Colchones Reno® o gaviones sin rellenar al final del horario de trabajo ya que, una crecida imprevista, podría dañarlos.

Una ventaja adicional al usar gaviones en la construcción de los espigones es permitir, como ya se mencionó, la adaptación de la sección a nuevas exigencias que surgieran de la observación de su comportamiento durante crecidas subsecuentes a la construcción ya que es extremadamente fácil amarrar nuevos gaviones a los existentes sin solución de continuidad y continuar la construcción, aún después de algunos meses. Incluso, si fuera necesario reducir la longitud o el ancho de los espigones, es posible desarmar los gaviones ya colocados recuperando las piedras de relleno y los elementos metálicos.

Muchas veces no han sido los aspectos técnicos o económicos que hicieron elegir las estructuras en gaviones, sino un importante aspecto social. Para la construcción de los gaviones se puede elegir desde la alternativa de usar máquinas hasta el uso intensivo de mano de obra. Esta no debe ser cualificada, puede ser contratada en las poblaciones localizadas en los alrededores del lugar de ubicación de los espigones y ser rápida y fácilmente entrenada para alcanzar buena productividad y acabamiento prolijo. Por esta razón, inúmeras veces fue preferido el uso de los gaviones debido a necesidades sociales locales o a programas de financiamiento de obras con uso de mano de obra intensivo. Esta característica conlleva otro beneficio: cuando un porcentaje importante del costo de la obra es canalizado hacia la mano de obra y esta vive en las cercanías, consecuentemente mayores recursos son gastados localmente, beneficiando así la economía de la microrregión y, en particular, el comercio, y por consecuencia, un número mayor de personas sin costos adicionales para el poder público.

A continuación son mostrados algunos ejemplos de espigones en gaviones construidos en distintos países latinoamericanos (figuras 4.2.6 hasta 4.2.11).



Figura 4.2.6 - Espigones en gaviones.



Figura 4.2.7 - Espigones en gaviones.



Figura 4.2.8 - Espigones en gaviones.



Figura 4.2.9 - Espigones en gaviones.



Figura 4.2.10 - Espigones en gaviones.



Figura 4.2.11 - Espigones en gaviones.

5–ESPIGÕES PERMEÁVEIS CONSTRUÍDOS COM TRONCOS, MALHAS E CABOS

Como mencionado no item 2, em algumas situações se recorre a estruturas permeáveis de baixo custo. Geralmente são conformadas com troncos cravados verticalmente no fundo do canal ou formando pirâmides por sua vez preenchidas de pedras, cabos ou barras de aço estendidas entre os troncos, e malhas metálicas fixadas a estes para formar uma barreira de retenção do material arrastado pelo rio durante as enchentes. São soluções não definitivas que requerem constante manutenção. Esta solução é muito usada na Bolívia (figuras de 5.1 a 5.4).



Figura 5.1 – Espigões em material misto.



Figura 5.2 – Espigões em material misto.



Figura 5.3 – Espigões em material misto.



Figura 5.4 – Espigões em material misto.

6-CASOS HISTÓRICOS

A seguir, finalizando esta publicación, reportamos algunos de los proyectos de espigones en gaviones y Colchones Reno® realizados en los últimos años en América Latina, con la esperanza que estas experiencias de países tan distintos como Argentina, Bolivia, El Salvador y Perú sean de interés del lector. Mayores informaciones sobre tales obras podrán ser solicitadas directamente a las filiales de Maccaferri de los distintos países cuyas direcciones podrán ser encontradas en el Site: www.maccaferri.com.br.

RÍO CHALLUAYACU

PERÚ, SAN MARTÍN

Solución: OBRA FLUVIAL DEFLECTORA

Productos: Gavión Caja y Colchón Reno®

Problema:

El Río Challuayacu está ubicado en el distrito La Pólvara, provincia de Tocache, la cual se encuentra en la cuenca alta del río Huallaga al sur de la región San Martín. El principal problema de este río radica en que sus laderas se vieron afectadas debido a su acción erosiva y energía.



Antes de la obra

Solución:

El Proyecto Especial Alto Huallaga, una entidad dedicada a apoyar en construcciones a los pueblos más alejados del Perú mejorando la calidad de vida de las poblaciones, decidió atender este problema debido a su importancia y urgencia.

El Proyecto Especial Alto Huallaga luego de familiarizarse con las Soluciones Maccaferri, decidió trabajar junto al Departamento Técnico de Maccaferri de Perú en la elaboración del Diseño.

El beneficio de dar trabajo a mano de obra no calificada del distrito, el bajo costo total de la solución y su excelente performance técnica propició que se eligiera construir espigones conformados por muro de gaviones de tres metros de alto como la solución a ser considerada. Los espigones fueron distribuidos en cuatro kilómetros del recorrido del río, con un espaciamiento de sesenta, ochenta y ciento veinte metros, con su respectiva plataforma antisocavación de Colchones Reno®.



Durante la obra

Nombre del Cliente:

Proyecto Especial Alto Huallaga

Constructora:

Proyecto Especial Alto Huallaga

Proyecto e Consultoría:

Proyecto Especial Alto Huallaga

Productos usados:

Gaviones en malla tipo 10x12 alambre 2.7 mm Galfan + PVC: 100 t
Colchones Reno® en malla tipo 10x12 alambre 2.7 mm Galfan + PVC

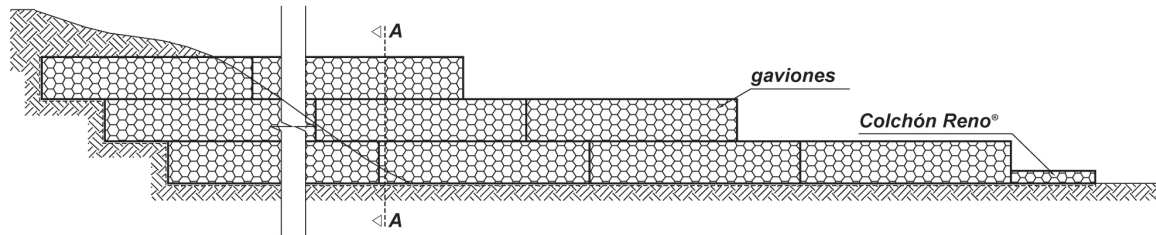
Fecha de la Obra:

Construcción:	Diciembre/2005
Término:	Septiembre/2006

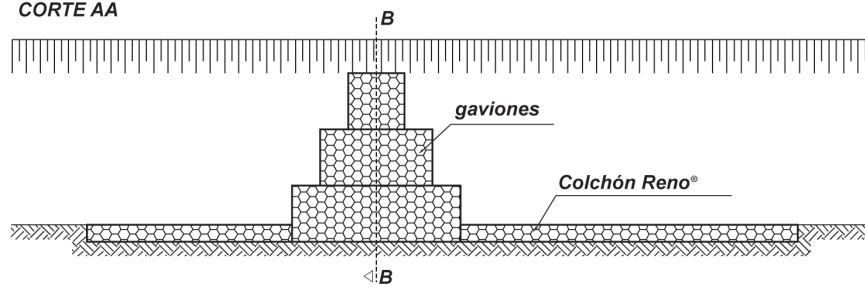


Durante la obra

CORTE BB



CORTE AA



Representación esquemática



Durante la obra



Durante la obra



Obra concluida



Obra concluida

RIO HUALLABAMBA

PERÚ, HUICUNGO - SAN MARTÍN

Solución: OBRA FLUVIAL DEFLECTORA

Productos: Colchón Reno® y MacTex®

Problema:

El Río Huallabamba está ubicado en el distrito Huicungo, provincia Mariscal Cáceres - Juanjui, la cual se encuentra a orillas del río Huallaga al sur de la región San Martín. El principal problema de este río radica en que sus laderas se vieron afectadas debido a su acción erosiva y energía.



Durante la obra

Solución:

La Municipalidad distrital de Huicungo solicitó apoyo a la empresa HIDROCONSULT E.I.R.L quien, luego de familiarizarse con nuestras soluciones, decidió trabajar junto al Departamento Técnico de Maccaferri de Perú en la elaboración del Diseño. Un factor importante también fue el bajo costo total de la solución y su excelente performance técnica. El proyecto consta de cinco (05) espigones cuyas longitudes oscilan entre los 25 y 120 metros.



Durante la obra

Nombre del Cliente:

Municipalidad Distrital de Huicungo

Constructora:

Municipalidad Distrital de Huicungo

Proyecto e Consultoría:

HIDROCONSULT E.I.R.L – Maccaferri de Perú S.A.C

Productos usados:

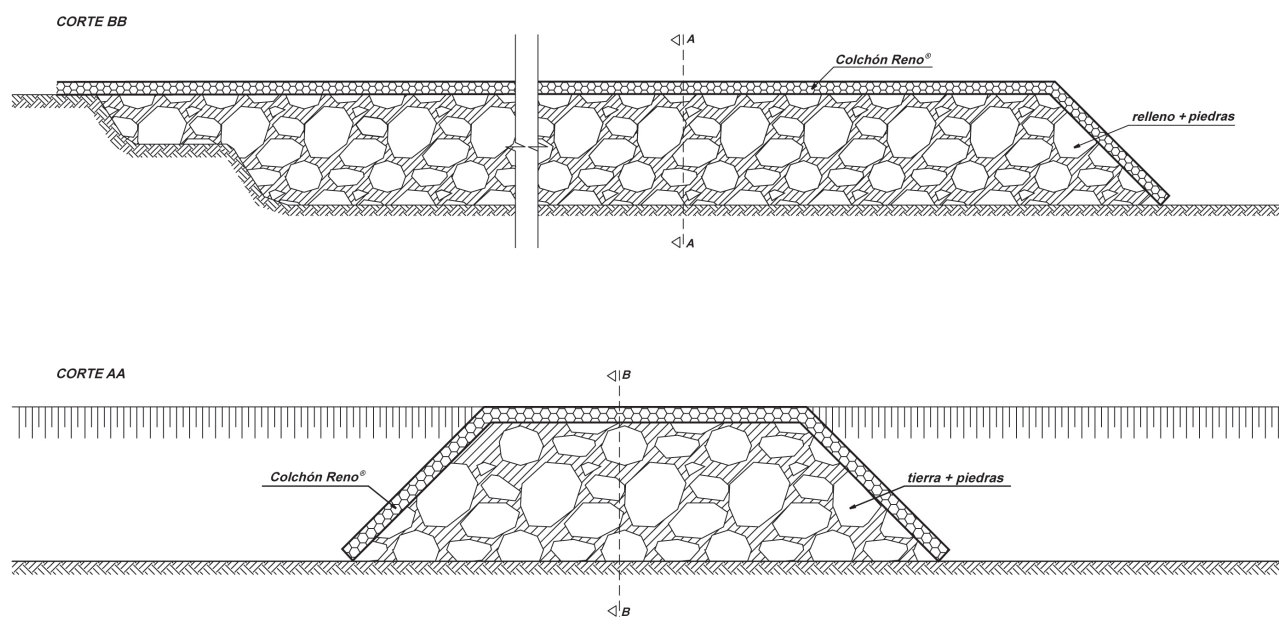
Colchones Reno® en malla tipo 10x12, alambre 2.7 mm Galfan + PVC
Geotextil no tejido MacTex® N40.1

Fecha de la Obra:

Construcción:	1999
Término:	1999



Durante la obra



Representación esquemática



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida

RÍO HUALLAGA

PERÚ, CAMPANILLA - SAN MARTÍN

Solución: OBRA FLUVIAL DEFLECTORA

Productos: Colchón Reno® y MacTex®

Problema:

El Río Huallaga está ubicado en la localidad de Campanilla, el distrito de Campanilla, provincia Mariscal Cáceres, región San Martín. El principal problema de este río radica en que su margen izquierda se vio afectada debido a su acción erosiva y energía a causa de las fuertes lluvias poniendo en peligro la localidad.



Antes de la obra

Solución:

Debido al peligro que corría la población del distrito de Campanilla, el municipio se vio en la necesidad solicitar al empresa HIDROCONSULT E.I.R.L apoyo en la solución del problema y esta a su vez decidió trabajar junto al Departamento Técnico de Maccaferri de Perú en la elaboración del Diseño.

Se determinó la construcción de espigones debido al bajo costo total de la solución y su excelente performance técnica, así como el factor importante de no necesitar mano de obra especializada para su construcción.

Se decidió construir ocho (08) espigones deflectores de flujo, de sección trapezoidal, conformados por un núcleo de roca pesada recubiertos con colchones Reno®, cuyas longitudes varían entre 35 y 50 metros.



Durante la obra

Nombre del Cliente:

Municipalidad Distrital de Campanilla

Constructora:

Municipalidad Distrital de Campanilla

Proyecto e Consultoría:

HIDROCONSULT E.I.R.L – Maccaferri de Perú S.A.C

Productos usados:

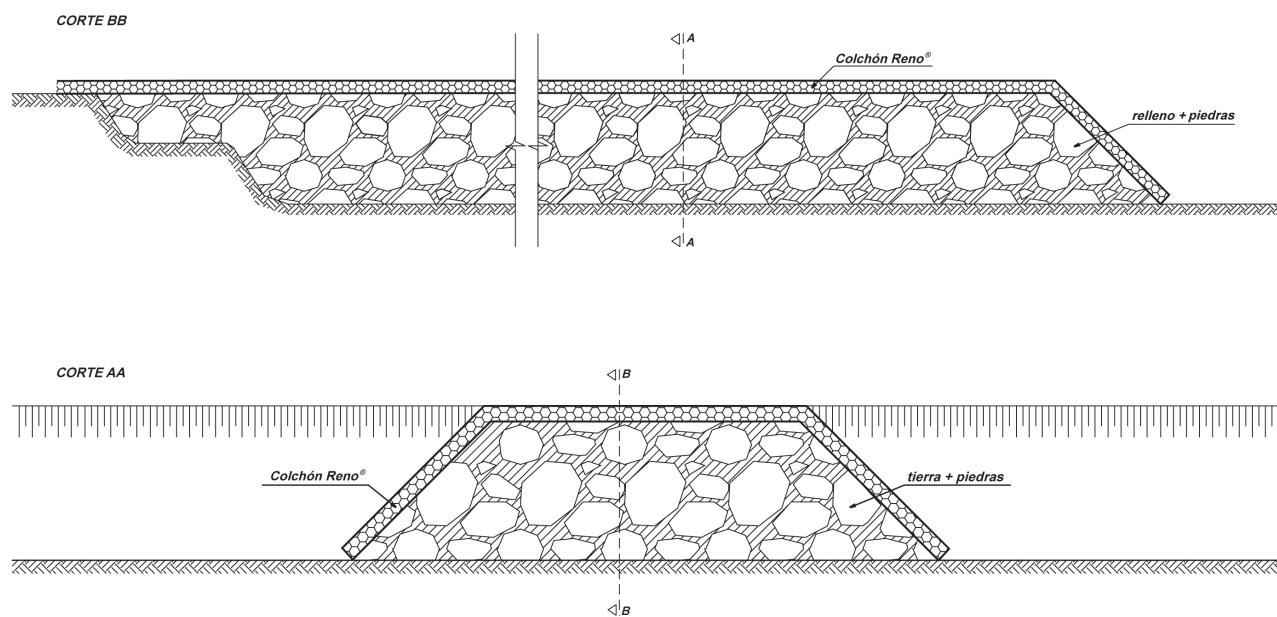
Colchones Reno® en malla tipo 10x12, alambre 2.7 mm Galfan + PVC
Geotextil no tejido MacTex® N40.1

Fecha de la Obra:

Construcción:	2010
Término:	2010



Durante la obra



Representación esquemática



Durante la obra



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida

RÍO HUALLAGA

PERÚ, JUANJUI - SAN MARTÍN

Solución: OBRA FLUVIAL DEFLECTORA

Productos: Colchón Reno® y MacTex®

Problema:

El Río Huallaga está ubicado en el distrito de Juanjui, provincia Mariscal Cáceres, al sur de la región San Martín. El principal problema de este río radica en que sus laderas se vieron afectadas debido a la acción erosiva y energía de la corriente. La velocidad del agua que presenta el Río Huallaga en sus máximas crecientes y la grande cantidad de material que arrastra erosiona las márgenes, afectando también los cultivos de las chacras cercanas al río y caseríos aledaños.



Antes de la obra

Solución:

Por esta razón la Municipalidad Distrital de Juanjui solicitó asesoría a la empresa HIDROCONSULT E.I.R.L., la cual decidió trabajar junto al Dpto. Técnico de Maccaferri de Perú en la elaboración del Diseño.

Se eligió construir espigones debido al bajo costo total de la solución y su excelente performance técnica, los mismos están conformados por un núcleo de roca pesada recubierto por colchones Reno®. El proyecto está conformado por tres (03) espigones cuyas longitudes oscilan entre los 25 y 85 metros.

Durante los trabajos de transporte de roca para conformación del cuerpo de los espigones se pudo comprobar que este sistema nos permite trabajar con grandes caudales tal como se puede apreciar en las imágenes (gran caudal del río Huallaga durante el proceso constructivo).



Durante la obra

Nombre del Cliente:

Municipalidad Distrital de Juanjui

Constructora:

Municipalidad Distrital de Juanjui

Proyecto e Consultoría:

HIDROCONSULT E.I.R.L – Maccaferri de Perú S.A.C

Productos usados:

Colchones Reno® en malla tipo 10x12, alambre 2.7 mm Galfan + PVC
Geotextil no tejido MacTex® N40.1

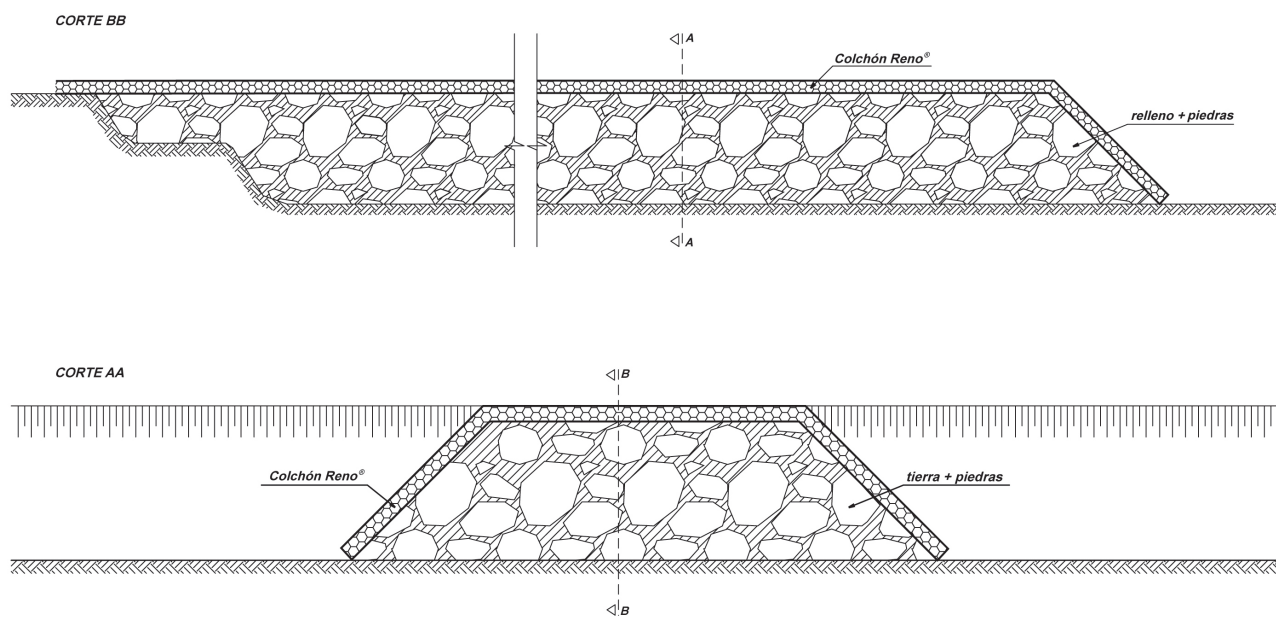
Fecha de la Obra:

Construcción: 2010

Término: 2010



Durante la obra



Representación esquemática



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida

RÍO HUALLAGA

PERÚ, PICOTA - SAN MARTÍN

Solución: OBRA FLUVIAL DEFLECTORA

Productos: Colchón Reno® y MacTex®

Problema:

El Río Huallaga está ubicado en la localidad de Picota, en el distrito y provincia del mismo nombre, región San Martín. El principal problema de este río radica en que su margen izquierda se vio afectada debido a su acción erosiva y energía a causa de las fuertes lluvias poniendo en peligro al área agrícola de la empresa "Villa Toscano".



Antes de la obra

Solución:

La Tabacalera "Villa Toscano" para resguardar los cultivos de la creciente del río Huallaga, solicitó ayuda a la empresa HIDROCONSULT E.I.R.L. quién siendo ya una conocedora de las soluciones en gaviones, decidió trabajar junto al Departamento Técnico de Maccaferri de Perú en la elaboración del Diseño. El bajo costo total de la solución y su excelente performance técnica propició que se eligiera construir tres (03) espigones de corta longitud conformados por un núcleo de material granular recubierto con colchones Reno®.



Durante la obra

Nombre del Cliente:

Tabacalera "Villa Toscano"

Constructora:

Maccaferri Construction S.A.C

Proyecto e Consultoría:

HIDROCONSULT E.I.R.L – Maccaferri de Perú S.A.C

Productos usados:

Colchones Reno® en malla tipo 10x12, alambre 2.7 mm Galfan + PVC
Geotextil no tejido MacTex® N40.1

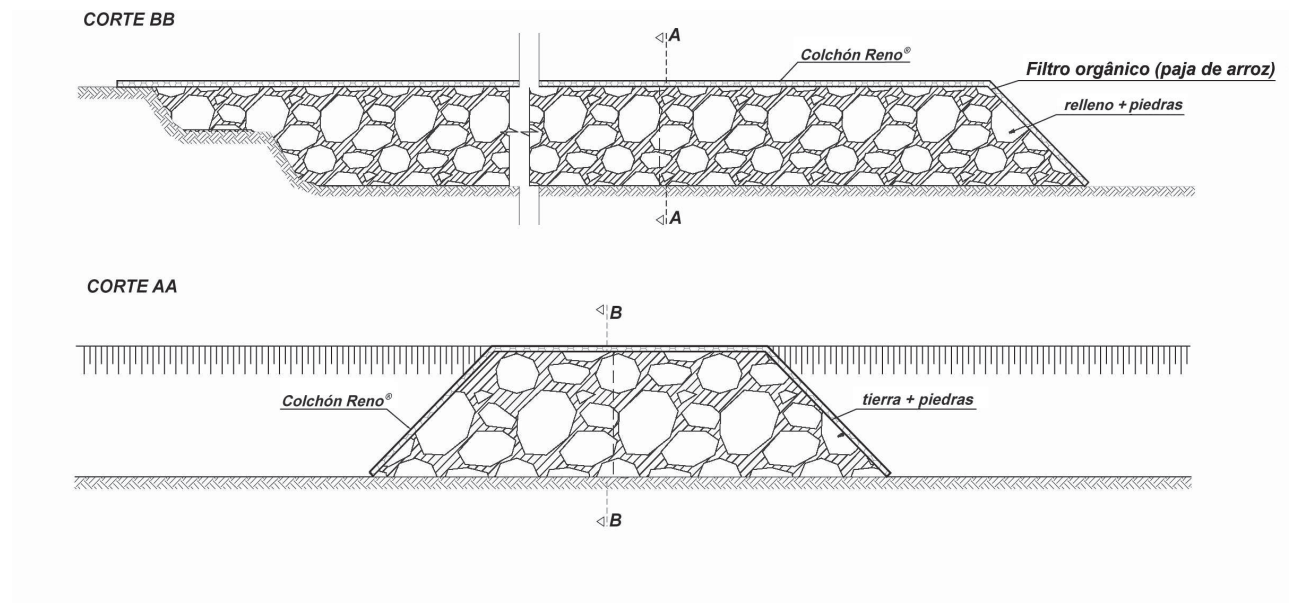
Fecha de la Obra:

Construcción: 2009

Término: 2009



Durante la obra



Representación esquemática



Durante la obra



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida

RÍO SISA

PERÚ, SAN PABLO - SAN MARTÍN

Solución: OBRA FLUVIAL DEFLECTORA

Productos: Gavión Caja, Colchón Reno® y MacTex®

Problema:

El Río Sisa está ubicado en la localidad de San Pablo, el distrito San Pablo, provincia de Bellavista, región San Martín. El principal problema de este río radica en que sus laderas se vieron afectadas debido a su acción erosiva y energía a causa de las fuertes lluvias poniendo en peligro dicha localidad así como la Bocatoma de Irrigación Sisa.



Durante la obra

Solución:

La Municipalidad distrital de San Pablo solicitó apoyo a la empresa HIDROCONSULT E.I.R.L, que cuenta con larga experiencia trabajando con las Soluciones Maccaferri; esta última decidió trabajar junto al Departamento Técnico de Maccaferri de Perú en la elaboración del Diseño.

La velocidad que presenta el río Sisa propició que se eligieran los espigones como solución ya que por el bajo costo total de la solución y su excelente performance técnica evitaría que el problema de erosión que sufren las laderas del río afecten a la población.

Se construyeron cinco (05) espigones; tres (03) con gaviones tipo caja con base anti socavación de colchones Reno® y dos (02) contruidos a partir de núcleo de tierra recubiertos con geotextil y colchones Reno®, ambos con longitudes aproximadas de 50 y 180 metros.



Durante la obra

Nombre del Cliente:

Municipalidad Distrital de San Pablo

Constructora:

HIDROCONSULT E.I.R.L

Proyecto e Consultoría:

Maccaferri de Perú S.A.C

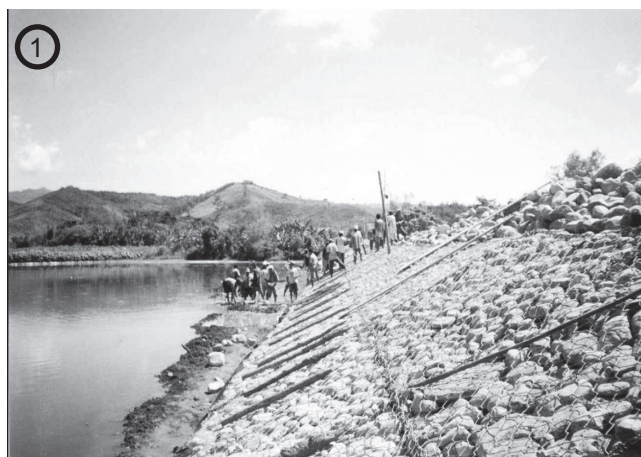
Productos usados:

Colchones Reno® en malla tipo 10x12 alambre 2.7 mm Galfan + PVC
Gaviones caja en malla tipo 10x12 alambre 2.7 mm Galfan + PVC
Geotextil no tejido MacTex® N40.1

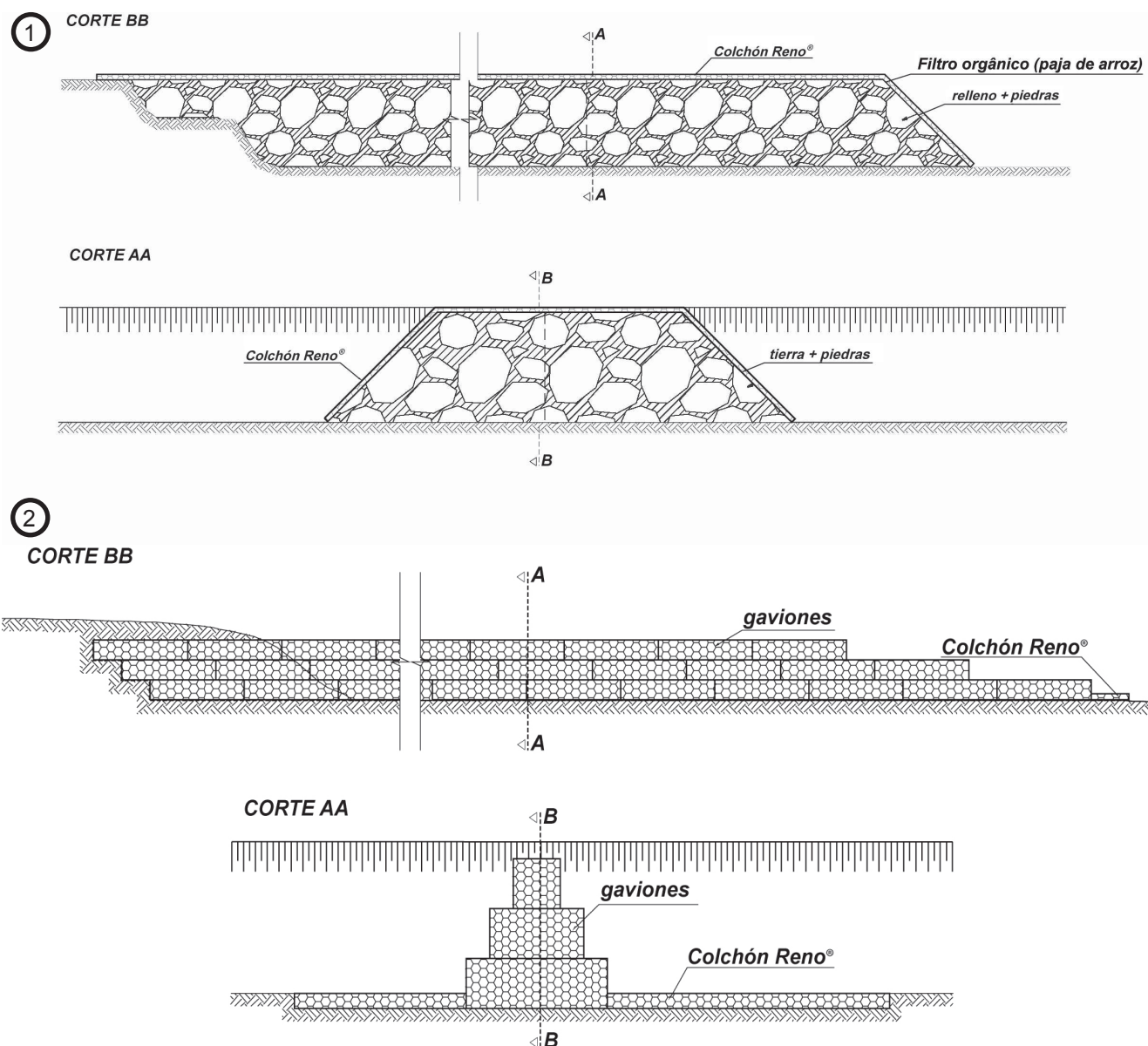
Fecha de la Obra:

Construcción: 2003

Término: 2003



Durante la obra



Representación esquemática



Durante la obra



Obra concluida

CARRETERA TRINIDAD

BOLIVIA, SAN BORJA - BENI

Solución: OBRA FLUVIAL DEFLECTORA

Productos: Gavión Caja y Colchón Reno®

Problema:

Ante un deterioro por las crecidas del río en época de lluvias, el puente de la Carretera Trinidad San Borja se vio afectado en uno de los estribos, habiéndose inclusive desbordado por detrás del puente, deteriorando el acceso al mismo.

Esta situación obligó al Servicio Nacional de Caminos a ejecutar obras de protección y reparación del terraplén del puente.



Obra concluida

Solución:

El Servicio Nacional de Caminos, con el apoyo técnico de Maccaferri de Bolivia, diseñaron la protección del puente y el encauzamiento del río mediante la implementación de una batería de espigones aguas arriba del puente, con el propósito de descentralizar el flujo del agua, evitar desbordes en época de gran crecida y garantizar el tránsito de los vehículos en dicha carretera. Fueron así construidos 12 espigones con una altura de 4m, y con longitudes de 30m a 60m, para proteger al puente y centralizar el curso del río hacia la luz del mismo.



Obra concluida

Nombre del Cliente:

Servicio Nacional de Caminos

Constructora:

Servicio Nacional de Caminos

Proyecto e Consultoría:

Servicio Nacional de Caminos

Productos usados:

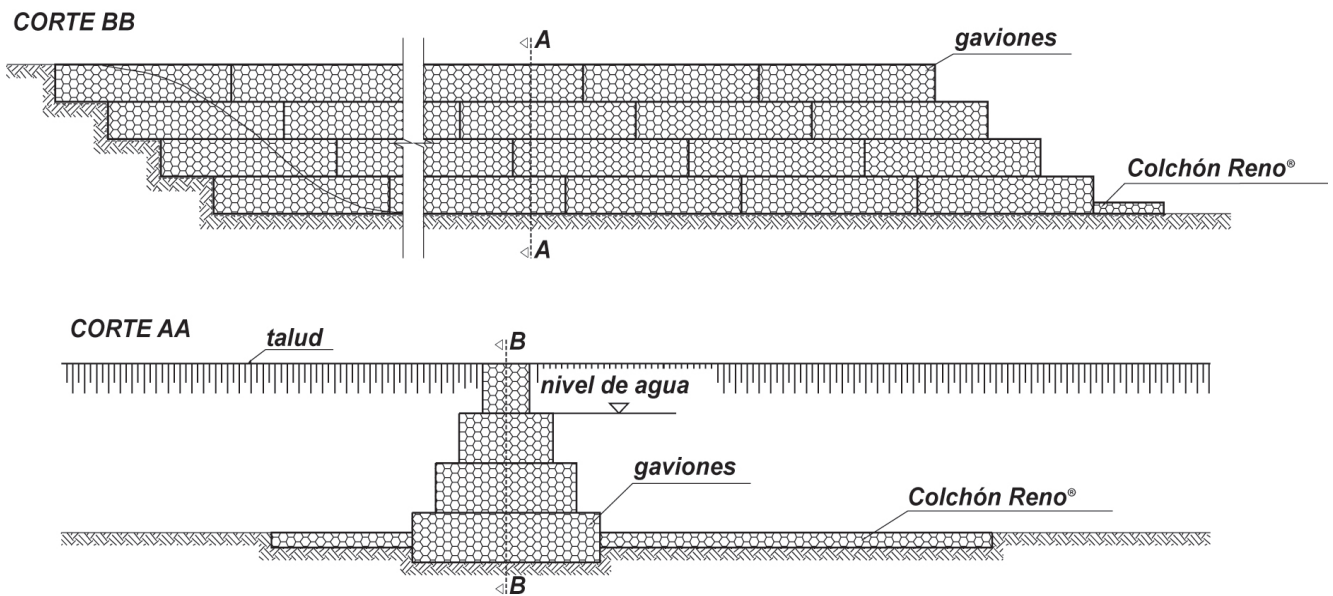
Gaviones en malla tipo 8x10, alambre 2.7 mm Zn: 4.450 m³
Colchones Reno® en malla tipo 6x8, alambre 2.2 mm Zn: 820 m³

Fecha de la Obra:

Construcción:	Marzo/2009
Término:	Junio/2009



Obra concluida



Representación esquemática



Obra concluida



Obra concluida

RÍO CHIMORE

BOLIVIA, COCHABAMBA

Solución: OBRA FLUVIAL DEFLECTORA

Productos: Gavión Caja y Colchón Reno®

Problema:

Debido a las crecidas y desbordes extraordinarios del río Chimoré y ante el gran arrastre de materiales que transporta entre sedimento, tierra y palizada (árboles y troncos) aguas arriba del puente, en la margen derecha, se produjo una fuerte erosión ocasionando la pérdida de la protección del estribo del puente y deterioro del terraplén de acceso al mismo.

Aguas abajo, del puente se originó también una fuerte erosión poniendo en peligro el aeropuerto de Chimoré.



Antes de la obra

Solución:

El Gobierno de Bolivia, con el apoyo del Gobierno de Estados Unidos, planteó de forma inmediata la protección de aguas arriba del puente y del aeropuerto, para tal situación solicitaron a MACCAFERRI el apoyo técnico para poder dar solución al problema, habiéndose planteado la protección mediante una batería de espigones tanto aguas arriba del puente como aguas abajo para el aeropuerto habiéndose considerado las alturas de los espigones entre 5 m y 6 m, con longitudes de 30 m, 40 m y 60 m de largo.



Durante la obra

Nombre del Cliente:

Ministerio de Defensa

Constructora:

Ministerio de Defensa y Prefectura de Cochabamba
--

Proyecto e Consultoría:

Ministerio de Defensa y Prefectura de Cochabamba
--

Productos usados:

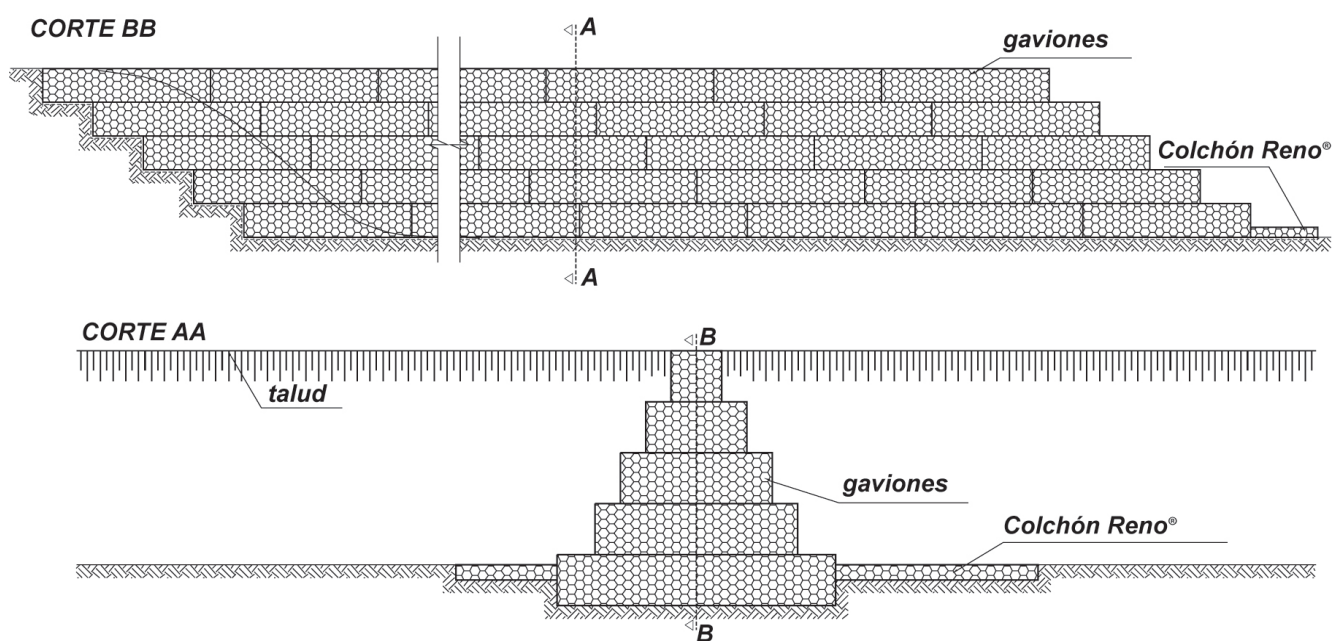
Gaviones en malla tipo 8x10, alambre 2.7 mm Zn: 4700 m³
Colchones Reno® en malla tipo 6x8 alambre 2.2 mm Zn.: 980 m³

Fecha de la Obra:

Construcción:	Agosto/2006
Término:	Marzo/2007



Durante la obra



Representación esquemática



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida

RÍO BERMEJO

BOLIVIA, TARIJA

Solución: OBRA FLUVIAL DEFLECTORA

Productos: Gavión Caja y Colchón Reno®

Problema:

El río Bermejo (río internacional) es límite entre Argentina y Bolivia. El cauce del río tiene un desnivel natural hacia el lado boliviano, lo cual ocasiona mayor erosión en esa margen. Ante el desborde del río se originó la interrupción de la carretera hacia la población de Bermejo que se vio también afectada por este problema con daños en varios sectores de la población.



Durante la obra

Solución:

La Prefectura de Tarija conjuntamente el Gobierno de Bolivia, dentro de las obras de protección contra los desastres de las inundaciones, optó por utilizar gaviones, colchones Reno® y geotextil en las obras de protección a Bermejo, habiéndose para esto, diseñado un muro de gaviones reforzado con una batería de espigones para fortalecer las obras de protección a esta población.



Durante la obra

Nombre del Cliente:

Prefectura de Tarija

Constructora:

Prefectura de Tarija

Proyecto e Consultoría:

Prefectura de Tarija

Productos usados:

Gaviones en malla tipo 8x10, alambre 2.7 mm Zn: 16.720 m³
Colchones Reno® en malla tipo 6x8, alambre 2.2 mm Zn: 5.220 m³

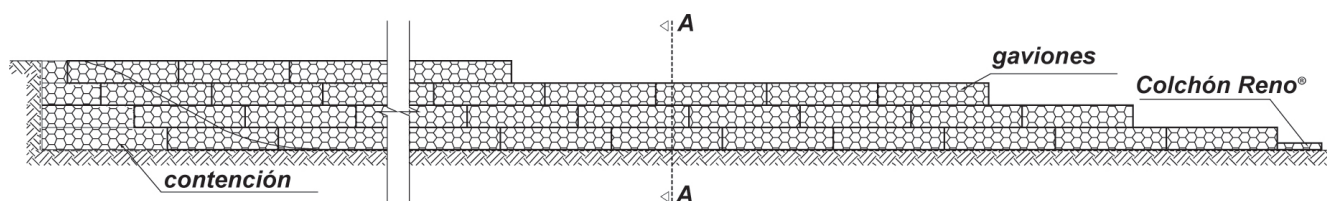
Fecha de la Obra:

Construcción:	Mayo/2003
Término:	Octubre/2006

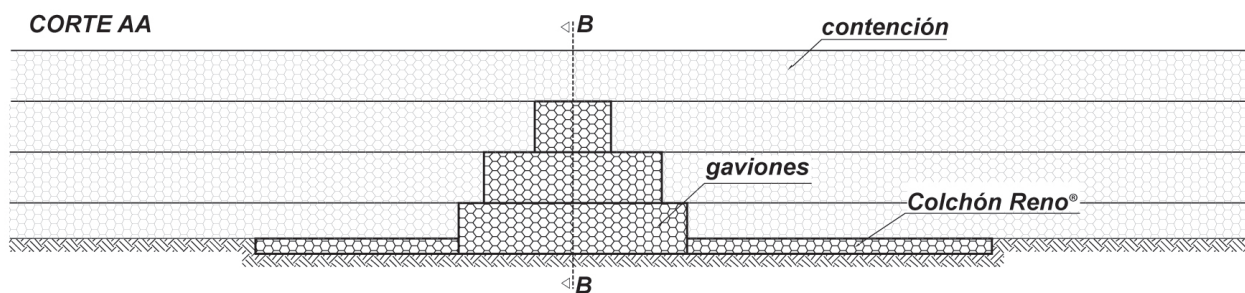


Durante la obra

CORTE BB



CORTE AA



Representación esquemática



Durante la obra



Durante la obra



Obra concluida



Obra concluida

RÍO AZUL

ARGENTINA, CHUBUT

Solución: OBRA FLUVIAL DEFLECTORA

Productos: Gavión Caja, Colchón Reno® y MacTex®

Problema:

La localidad de Lago Puelo está emplazada en la zona cordillerana, sus actividades se fueron desarrollando a la vera del río ocupando largas áreas en su valle de inundación con construcciones, cultivos, caminos, etc. que periódicamente sufren importantes daños por el efecto de las crecidas del Río Azul. En la última década se han realizado defensas de relativa importancia, aunque la alta inestabilidad del cauce ha provocado durante las crecidas el rebalse de las mismas, la inundación de zonas suburbanas y erosiones localizadas sobre las márgenes.



Antes de la obra

Solución:

Adicionalmente a la construcción de la protección de la margen conformada por gaviones y colchones Reno®, en un sector de la misma se construyó un espigón de 72m de longitud que sirve para consolidar el esquema de estabilización del cauce y proteger un sector que se encontraba en avanzado estado de erosión. El espigón consiste en una estructura gavionada con inclinación a favor de la corriente de 70°, cuerpo de altura variable entre 1,0 y 2,5m, cada altura se mantiene en una longitud igual a un tercio del largo total; la protección antisocavación, en colchones Reno® con forma en planta variable, brinda la protección en la cabeza del espigón.

La construcción del espigón resultó en una solución económica y efectiva para detener el avance de la erosión, fomentando la sedimentación y el establecimiento de la vegetación en la zona intervenida. Inspecciones sucesivas han permitido observar que la estructura se mantiene íntegra y la plataforma antisocavación ha cumplido su función durante múltiples crecidas.



Antes de la obra

Nombre del Cliente:

Provincia del Chubut y Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

Constructora:

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

Proyecto e Consultoría:

IPE S.R.L.

Productos usados:

Gaviones en malla tipo 6x8, alambre 2.4 mm Zn
colchones Reno® en malla tipo 6x8, alambre 2.2 mm Zn
Geotextil MacTex® MT 200 g/m²

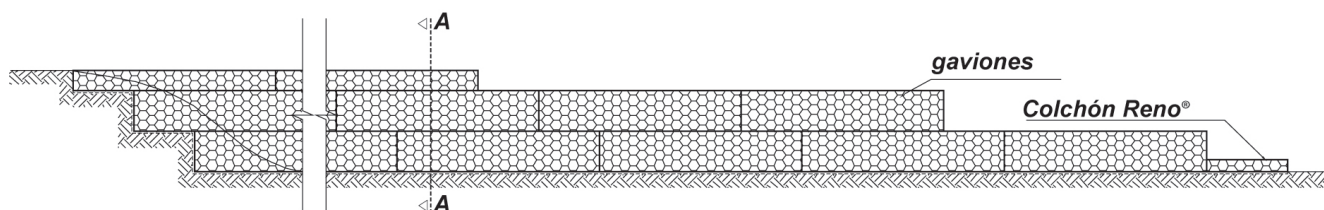
Fecha de la Obra:

Construcción:	2004
Término:	2004

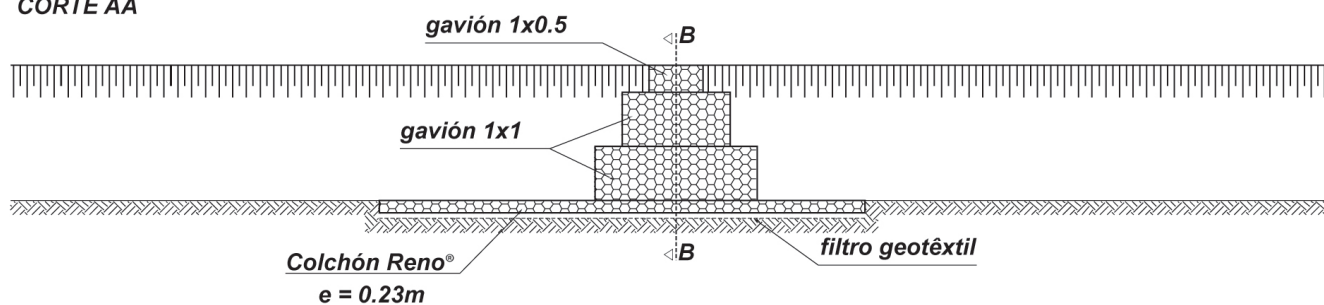


Antes de la obra

CORTE BB



CORTE AA



Representación esquemática



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida

RÍO LULES

ARGENTINA, TUCUMÁN

Solución: OBRA FLUVIAL DEFLECTORA

Productos: Gavión Caja, Colchón Reno® y MacTex®

Problema:

En los alrededores del río Lules, ubicado en la ciudad de San Isidro de Lules, provincia de Tucumán, las actividades productivas se centran en la explotación agraria, para cuyo desarrollo el río es vital.

Solución:

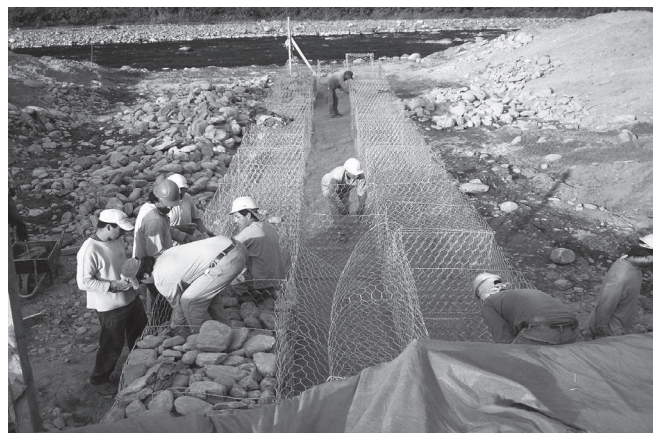
La necesidad de incrementar las tierras cultivables demandó la construcción de un sistema de riego que, a su vez, contempló una obra de toma en una de las márgenes del río Lules, junto con su respectiva obra de protección contra los embates de las crecidas. La solución adoptada para la protección consiste en una defensa longitudinal constituida por muros y espigones en gaviones.

Para tal fin se planteó una batería de espigones con longitud entre 10 y 14 m, formando un ángulo de 60° respecto al eje del cauce. La cresta de los espigones son continuas, es decir, con una misma cota en toda su longitud. Como plataforma antisocavación se usaron colchones Reno® de 23 cm de espesor, que sobresalen 6m del cuerpo del espigón.

La defensa combinada de muros y espigones en gaviones resultó altamente efectiva para hacer frente al problema en cuestión, posibilitando tanto la protección del sistema de riego como la ampliación de la zona cultivable. Tras 4 años desde su ejecución, la obra se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento.



Antes de la obra



Durante la obra



Durante la obra

Nombre del Cliente:

Municipalidad de San Isidro de Lules

Constructora:

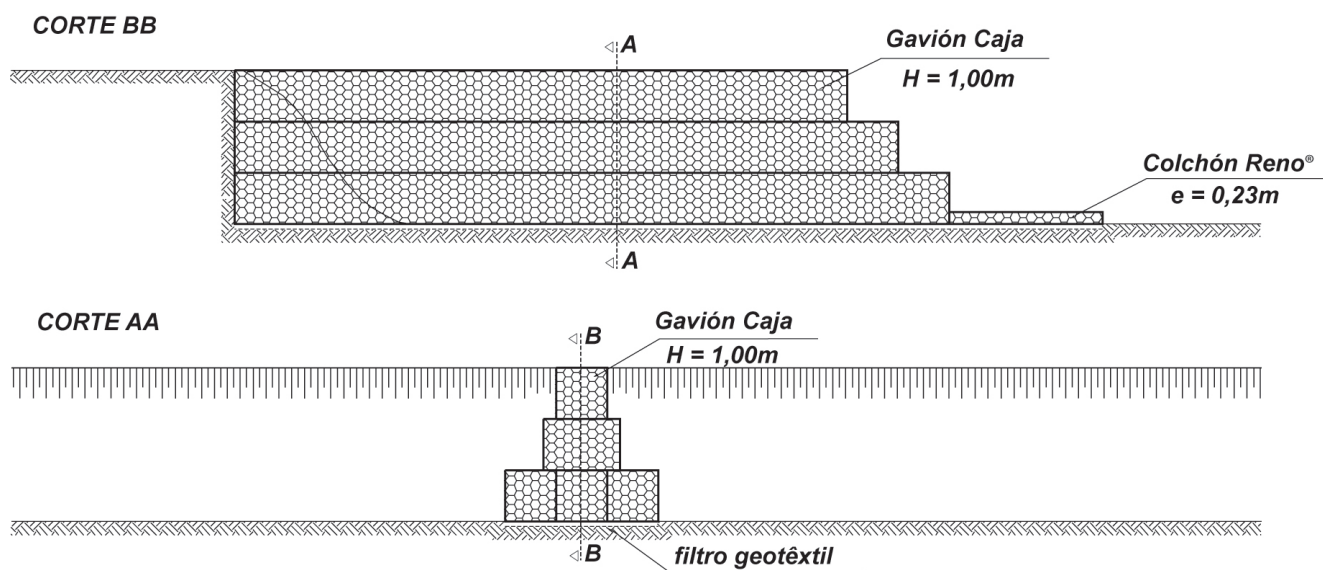
UTE CEOSA – INGECO

Productos usados:

Gaviones en malla tipo 8x10, alambre 3.0 mm Zn
Colchones Reno® en malla tipo 8x10, alambre 2.4 mm Zn
Geotextil MacTex® MT 200 g/m²

Fecha de la Obra:

Construcción:	2007
Término:	2007



Representación esquemática



Durante la obra



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida

RÍO PESCADO

ARGENTINA, SALTA

Solución: OBRA FLUVIAL DEFLECTORA

Productos: Gavión Caja, Colchón Reno® y MacTex®

Problema:

Los ríos con nacientes en la montaña presentan en general un sector inicial caracterizado por fuertes pendientes, comportamiento torrencial y arrastre de grandes rocas; continúan con un sector de llanura caracterizado por bajas pendientes y lechos conformados por material fino. Entre ambos sectores habitualmente se forma el así llamado “cono de deyección” en el cual se presenta la mayor dificultad en establecer la dinámica fluvial. Si bien en el cono predominan procesos de sedimentación, la variabilidad de caudales y de carga sólida transportada, sumadas a la concentración de caudales en zonas preferenciales, pueden generar fenómenos de socavación de gran intensidad tanto locales como generales.

El río Pescado presenta como característica la alta carga de sedimentos de fondo y en suspensión; está ubicado en la provincia de Salta, a la altura de la Ruta Nacional N°50 y tiene este tipo de comportamiento que amenazó parte de la infraestructura productiva y vial de la zona.

Solución:

Sucesivas etapas de proyectos de control de erosión se concluyeron con el desarrollo de un proyecto integral diseñado y construido por la empresa INMAC S.A. que contemplaba una defensa continua longitudinal, constituida por terraplenes revestidos con colchones Reno® sobre ambas márgenes y la incorporación de espigones cuya función es evitar el avance del río sobre las márgenes y favorecer la sedimentación del material de acarreo en las zonas protegidas por los mismos.



Antes de la obra



Durante la obra



Obra concluida

Nombre del Cliente:

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

Constructora:

UTE – Ingeniero Medina – INMAC

Proyecto e Consultoría:

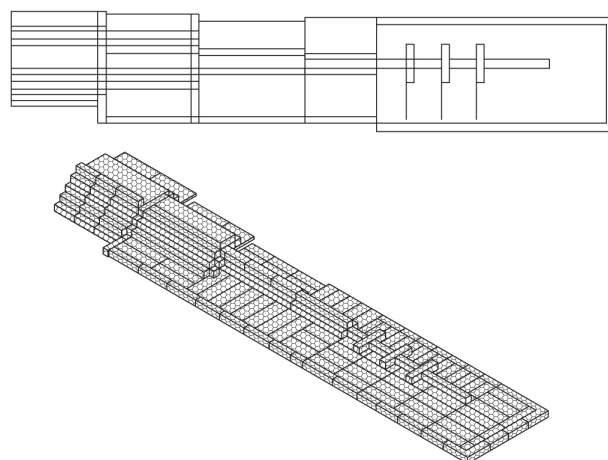
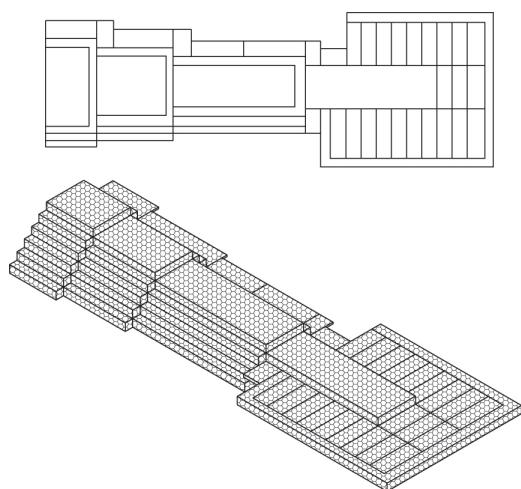
UTE – Ingeniero Medina – INMAC

Productos usados:

Gaviones en malla tipo 8x10, alambre 3.0 mm Zn
Colchones Reno® en malla tipo 6x8, alambre 2.2mm Zn,
malla hexagonal 10x12/3.0mm y
Geotextil MacTex® MT 200g/m²

Fecha de la Obra:

Construcción:	2006
Término:	2006



Representación esquemática



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida

RÍO JIBOA

EL SALVADOR, SAN VICENTE

Solución: OBRA FLUVIAL DEFLECTORA

Productos: Gavión Caja y Colchón Reno®

Problema:

En octubre del 2005 las lluvias sobre todo el territorio nacional provocaron inundaciones, teniendo una lluvia promedio de 320 mm, tanto en diferentes departamentos como en las ciudades principales.

Uno de los ríos desbordados fue el Jiboa, afectando, en longitud aproximada de 60km, a los departamentos de Cuscatlán, San Vicente y La Paz, pues el Río Jiboa nace en el municipio de San Rafael Cedros, departamento de Cuscatlán y tiene una trayectoria en la dirección noreste-suroeste, y desemboca en el Océano Pacífico. En algunos puntos el cauce de dicho río cambio de dirección.



Durante la obra

Solución:

Se propusieron obras que incluyen bordas y espigones de protección con gaviones y colchones Reno®, buscando volver recobrar el cauce natural del río y proteger de inundaciones a todos los habitantes de las zonas perjudicadas.



Durante la obra

Nombre del Cliente:

Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador

Constructora:

Fessic

Proyecto e Consultoría:

Pastore Orantes Asociados

Productos usados:

Gaviones en malla tipo 8x10, alambre 2.7mm Zn + PVC: 17.8t
Colchones Reno® en malla 8x10, alambre 2.7mm Zn + PVC: 30.3t

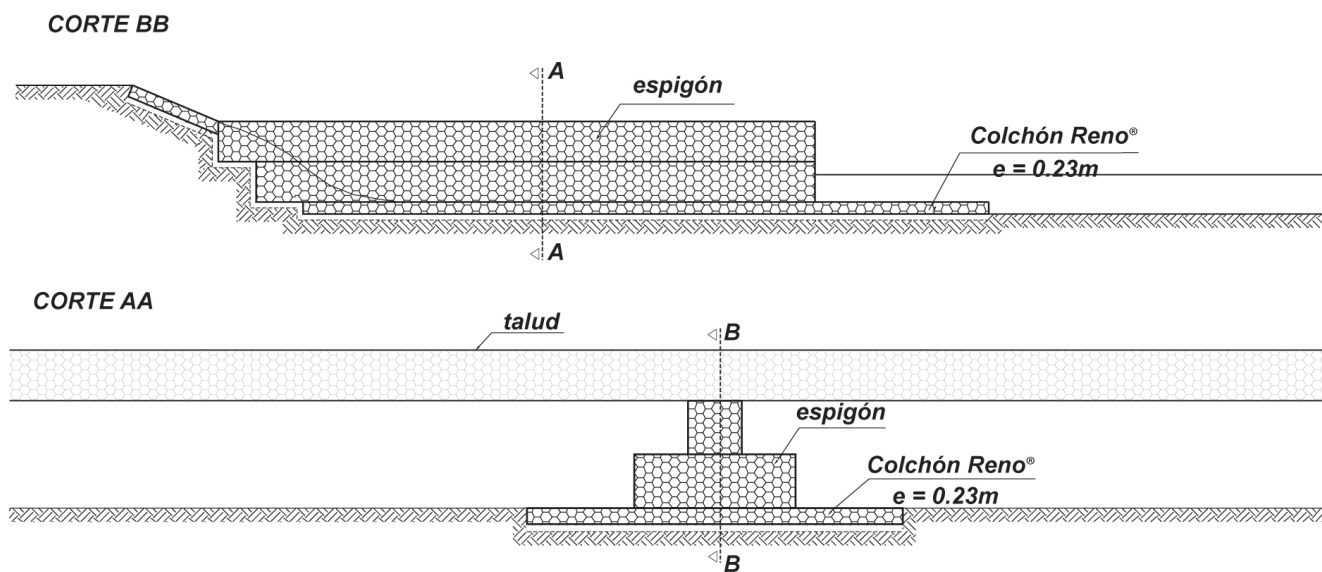
Fecha de la Obra:

Construcción: Enero/2008

Término: Mayo/2008



Durante la obra



Representación esquemática



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida

RÍO LEMPA

EL SALVADOR, USULUTÁN

Solución: OBRA FLUVIAL DEFLECTORA

Productos: Gavión Caja y Colchón Reno®

Problema:

Constantes inundaciones afectaban un área ecológica protegida, denominada Bosque Nancuchiname y la zona agrícola aledaña. Las inundaciones afectaban principalmente a las comunidades cercanas a la cuenca del Bajo Lempa. El desbordamiento se agravaba cuando se abrían las compuertas de las presas hidroeléctricas en el cauce del río Lempa, principalmente la denominada 5 de Noviembre que, al exceder su capacidad de almacenamiento, debe liberar el exceso para que su funcionamiento no sea afectado.



Durante la obra

Solución:

Se planteó entonces la reconstrucción de los diques a lo largo de las dos márgenes del río su protección con muros de gaviones y revestimientos de colchones Reno® y la construcción de algunos espigones.



Durante la obra

Nombre del Cliente:

Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador
--

Constructora:

Empresa Terracera Nacional (ETERRNA)

Proyecto e Consultoría:

Pastore Orantes Asociados

Productos usados:

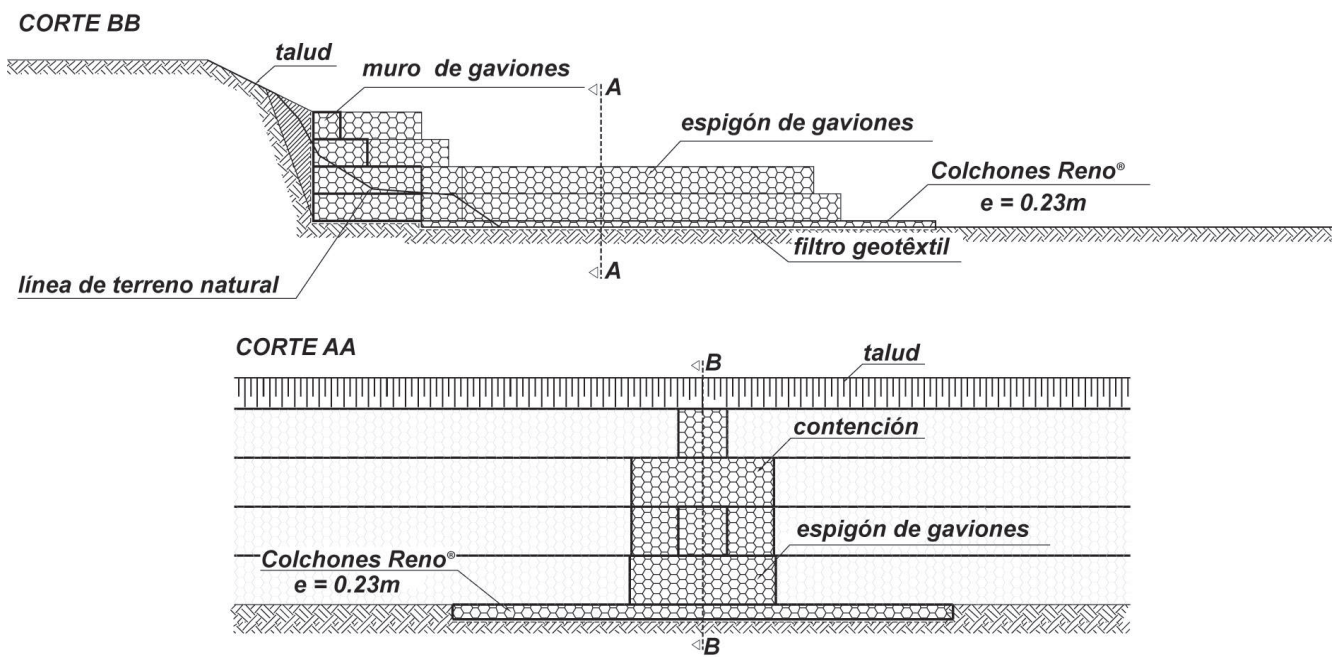
Gaviones en malla tipo 8x10, alambre 2.7mm Zn + PVC: 78.4t, Colchones Reno® en malla tipo 8x10, alambre 2.7mm Zn + PVC: 67.1t
--

Fecha de la Obra:

Construcción:	Febrero/2008
Término:	Junio/2008



Durante la obra



Representación esquemática



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida



Obra concluida

RÍO PAZ

EL SALVADOR, AHUACHAPÁN

Solución: OBRA FLUVIAL DEFLECTORA

Productos: Gavión Caja y Colchón Reno®

Problema:

El río Paz es la división natural entre El Salvador y Guatemala. En la zona de la Hachadura, departamento de Ahuchapan, se producían varias inundaciones a lo largo del año. Debido a la fuerza de arrastre del río, se estaban erosionando varias propiedades agrícolas e inundando poblaciones cercanas del municipio de la Hachadura.



Durante la obra

Solución:

Se planteó entonces la reconstrucción de una borda de 400 m de largo, en la margen izquierda del río, para luego revestirla por medio de colchones Reno® en todo lo largo del dique, y una batería de espigones de 20 m de longitud y 2.0 m de alto, espaciados a cada 30 m.



Durante la obra

Nombre del Cliente:

Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador
--

Constructora:

Fessic

Proyecto e Consultoría:

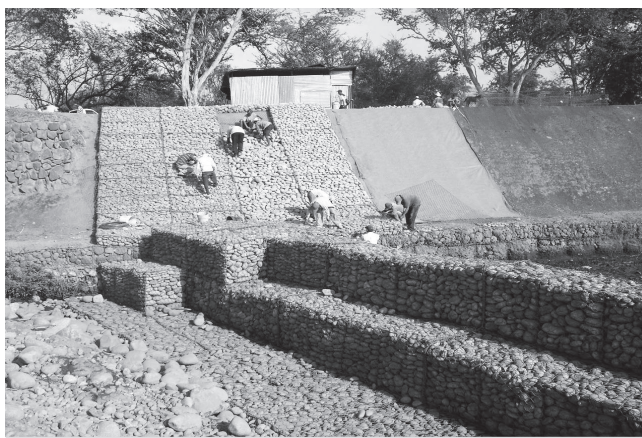
Pastore Orantes Asociados

Productos usados:

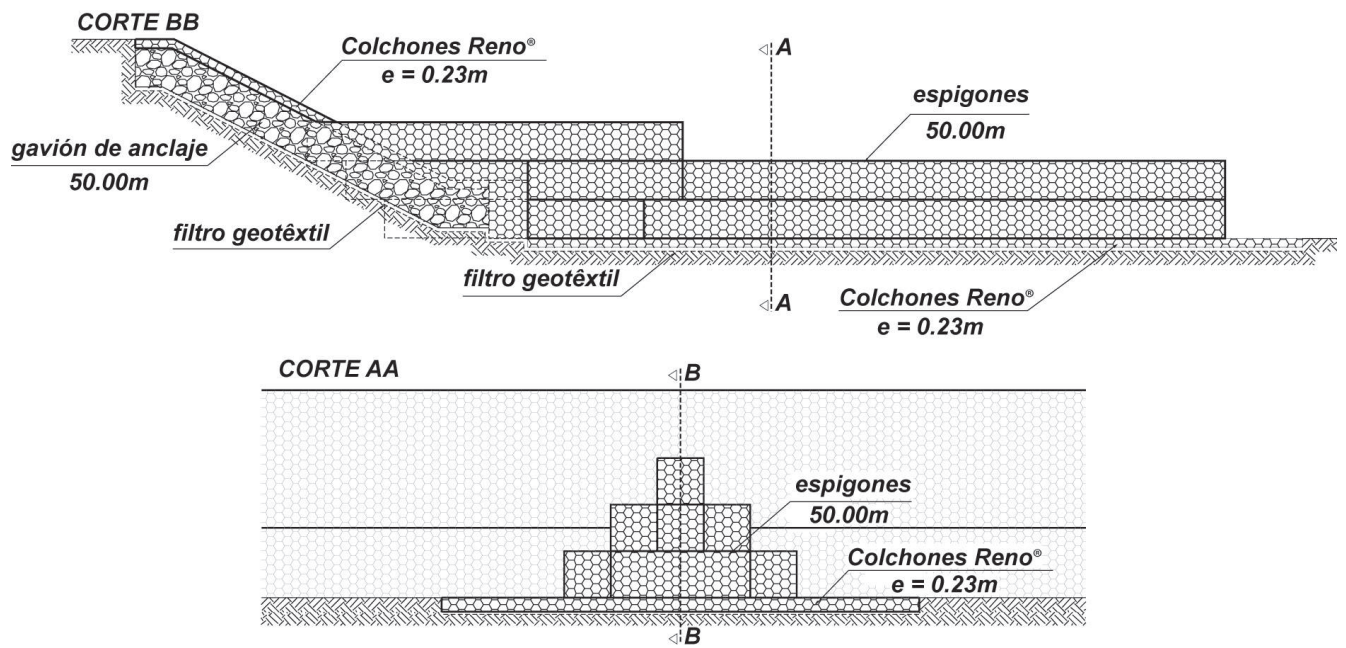
Gaviones en malla tipo 8x10, alambre 2.7mm Zn + PVC: 35.6t, Colchones Reno® en malla tipo 8x10, alambre 2.7mm Zn + PVC: 60.6t
--

Fecha de la Obra:

Construcción:	Enero/2008
Término:	Mayo/2008



Durante la obra



Representación esquemática



7 - BIBLIOGRAFÍA

AKRAM GILL M., Erosion of Sand Beds around Spur Dikes, Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil engineers, 1972.

BREA J., HOPWOOD H., YAÑEZ M., AMORES G., Influencia de la presencia de espigones en la variación del coeficiente de rugosidad de un canal, XV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 1998.

BRIGHETTI G., Estabilização e Proteção de Margens, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2001.

CONAF (Corporación Nacional Forestal), Santiago Chile, Mampostería gavionada en la protección hidrológico forestal.

FIERRO V., L'impiego dei pennelli nelle sistemazioni fluviali, indicazioni e criteri progettuali, 1986.

KING H. E., Introduction to the Design of Rock Filled Gabion Groynes for Riverbank Protection, Sali Symposium Pietermaritzburg, 2004.

MAZA ALVAREZ J.A., Diseño de espigones, VI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 1974.

Meccanica dei Fenomeni Fluviali, Bressanone, Italia, 8-12 ottobre 1979.

MIGLIORINI P., MILANO V., VITI C., Ricerca sperimentale sul comportamento di pennelli di vario tipo nelle sistemazioni fluviali, L'Energia elettrica N°12, 1984.

OFFICINE MACCAFERRI, Relazione tecnica n° 10, Opere di Sistemazione Idraulica nelle Aste Torrentizie e Fluviali, parte seconda, opere repellenti, 1961.

PEREZ F., Diseño de espigones de gaviones para la recuperación de orillas erosionadas, IV Congreso Nacional de Recursos Hídricos, San José, Costa Rica, 1992.

PRZEDWOJSKI B., BLAZEJEWSKI R., PILARCZYK K. W., River Training Techniques, A.A. Balkema / Rotterdam / Brookfield / 1995.

ROCA COLELL M., CARDOSO A. H., MARTÍN VIDE J. P., BATEMAN A., Influencia de orientación de estribos y espigones en los procesos de erosión local, Ingeniería del Agua, Vol. 7, N° 3, 2000.

ROCHA FELICES A., Consideraciones sobre las defensas fluviales a base de espigones, XVI Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Arequipa, 2007.

TERAGUCHI H., NAKAGAWA H., KAWAIKE K., BABA Y., ZHANG H., Morphological Changes induced by River training Structures: Bandal-like structures and groins, (Annals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., N° 53B, 2010).

8 - SIGLAS Y SÍMBOLOS

α = ángulo de orientación del espigón respecto a la orilla.

β = ángulo de desviación.

ε = ángulo del paramento lateral del espigón.

ϑ = ángulo formado por el paramento de la punta del espigón y la horizontal.

$\varnothing$ = ángulo de la curvatura del río.

B = ancho estable del río.

b = ancho del río en correspondencia de los espigones.

d = dimensión característica del material del fondo.

d_m = dimensión característica del sedimento en el fondo del río.

h = profundidad del agua.

h_g = altura del espigón.

h_s = profundidad de la fosa de erosión provocada por el espigón medida desde la superficie libre del agua y el fondo de la erosión.

i = pendiente longitudinal del río.

L = longitud total del espigón.

L_a = longitud activa del espigón.

L_t = proyección de la longitud activa del espigón sobre la perpendicular al eje del río.

L_e = longitud de empotramiento del espigón.

L_z = longitud de la plataforma antisocavación.

m_s = pendiente del paramento lateral (1: m_s) del espigón.

p = pendiente de la corona.

q = gasto.

q_1 = gasto.

R = radio de la curva del río.

S = separación entre espigones.

u = velocidad media del agua.

u_c = velocidad media crítica o de principio de movimiento.

z = profundidad de socavación.

9 - ÍNDICE DE LAS FOTOS Y DISEÑOS

Figura 2.1 - Definición de las partes que constituyen el espigón	10
Figura 3.2.1 - Separación entre espigones	13
Figura 3.2.1.1 - Separación entre espigones	14
Figura 3.2.2.1 - Método gráfico para definir la separación entre espigones	17
Figura 3.2.2.2 - Método gráfico para definir la separación entre espigones (Mampostería gavionada en la protección Hidrológico Forestal, CONAF, septiembre de 1982m pag. 18)	18
Figura 3.2.2.3 - Método gráfico para definir la separación entre espigones	19
Figura 3.4.1 - Definiciones de las longitudes del espigón	20
Figura 3.5.1 - Espigón en asta simples	21
Figura 3.5.2 - Espigón en asta simples	21
Figura 3.5.3 - Espigón en bayoneta	21
Figura 3.5.4 - Espigón en bayoneta	22
Figura 3.5.5 - Espigón en martillo.....	22
Figura 3.5.6 - Espigón en martillo.....	22
Figura 3.6.1.1 - Sección longitudinal de espigón en concreto.....	23
Figura 3.6.1.2 - Sección longitudinal de espigón en piedra suelta.....	23
Figura 3.6.1.3 - Sección longitudinal de espigón en gaviones	23
Figura 3.6.1.4 - Sección longitudinal de espigón en geotubes.....	24
Figura 3.6.2.1 - Sección transversal de espigón en concreto	24
Figura 3.6.2.2 - Sección transversal de espigón en enrocado	25
Figura 3.6.2.3 - Sección transversal de espigón en geotubes	25
Figura 3.6.2.4 - Sección transversal de espigón en gaviones y Colchones Reno®	25
Figura 3.7.1 - Colapso del espigón de gaviones por falla del empotramiento	26
Figura 3.7.2 - Profundidad del empotramiento	26
Figura 3.7.3 - Revestimiento de la margen a ambos lados del espigón	26
Figura 3.8.1 - Espigones a favor de la corriente (A), perpendiculares (B) y contra la corriente (C).....	27
Figura 3.9.1 - Distribución de la erosión en vuelta de un espigón en función de su inclinación y forma	29
Figura 3.9.2 - Protección antisocavación de espigón de concreto.....	31
Figura 3.9.3 - Colapso del espigón de concreto por falla de la protección antisocavación.....	31
Figura 3.9.4 - Diseño esquemático de espigón en rip-rap y de la protección antierosión.....	31
Figura 3.9.5 - Diseño esquemático de espigón en gaviones y de la protección antierosión.....	31
Figura 3.9.6 - Protección antierosión de espigón de gaviones	32
Figura 3.9.7 - Protección antierosión de espigón de gaviones	32
Figura 3.9.8 - Sección longitudinal esquemática de espigón en geocontenedores	32
Figura 3.9.9 - Sección transversal esquemática de espigón en geocontenedores y protección anti erosión ...	32
Figura 4.1.1 - Diseños esquemáticos de espigones fabricados con gaviones rectangulares y moldados	35
Figura 4.1.2 - Proceso para moldar los gaviones.....	36
Figura 4.1.3 - Proceso para moldar los Colchones Reno®	36
Figura 4.1.4 - Diseño esquemático del gavión Caja Fuerte®	37
Figura 4.1.5 - Obra construida con gaviones Caja Fuerte®	37
Figura 4.1.6 - Protecciones con troncos contra la abrasión de espigones de gaviones	37

Figura 4.1.7 - Protección con vegetación contra la abrasión de espigones de gaviones	38
Figura 4.1.8 - Diferente posición de los Colchones Reno® para conformar la plataforma antisocavación.....	38
Figura 4.1.9 - Comportamiento de la plataforma antisocavación en Colchones Reno® a protección de estructuras en gaviones.....	39
Figura 4.1.10 - Plataforma antisocavación recién construida.....	39
Figura 4.1.11 - Plataforma después de pequeñas crecidas	39
Figura 4.1.12 - Plataforma después de las primeras erosiones	40
Figura 4.1.13 - Plataforma después de mayores erosiones.....	40
Figura 4.1.14 - Profundización de la fundación para prevenir solapamientos	40
Figura 4.1.15 - Espigones en gaviones con plataforma antisocavación en Colchones Reno®	41
Figura 4.1.16 - Espigón en gaviones con plataforma antisocavación en Colchones Reno® durante la construcción	41
Figura 4.1.17 - Espigón en gaviones con plataforma antisocavación en Colchones Reno® después de algunos meses.....	41
Figura 4.1.18 - Espigones en gaviones apoyados sobre una camada de piedras sueltas	41
Figura 4.2.1 - Colocación en agua de gaviones saco	42
Figura 4.2.2 - Colocación en agua de gaviones saco	42
Figura 4.2.3 - Colocación en agua de gaviones saco	42
Figura 4.2.4 - Espigón construido en agua con gaviones saco.....	42
Figura 4.2.5 - Espigón en gaviones construido en agua en dos etapas: bajo agua con gaviones saco y en seco con gaviones caja	42
Figura 4.2.6 - Espigones en gaviones	43
Figura 4.2.7 - Espigones en gaviones	43
Figura 4.2.8 - Espigones en gaviones	44
Figura 4.2.9 - Espigones en gaviones	44
Figura 4.2.10 - Espigones en gaviones	44
Figura 4.2.11 - Espigones en gaviones	44
Figura 5.1 - Espigones en material mixto.....	45
Figura 5.2 - Espigones en material mixto.....	45
Figura 5.3 - Espigones en material mixto.....	45
Figura 5.4 - Espigones en material mixto	45



Sistema de Gestión de Calidad
Certificado de Conformidad con la
Norma ISO 9001



MACCAFERRI

AMERICA LATINA

Matriz.
Av. José Benassi, 2601 - Distrito Industrial FazGran
CEP 13.213.085 - Jundiaí - SP - Brasil
T: +[55] 11 4525-5000
E: info.br@maccaferri.com
www.maccaferri.com/br

Maccaferri de Argentina S.A.
T: (+54) 3327 412201
E: info.ar@maccaferri.com

Maccaferri de Bolivia Ltda.
T: (+591) 3 322-8042
E: info.bo@maccaferri.com

Maccaferri del Caribe.
T: (+809) 472-3380
E: info.do@maccaferri.com

Maccaferri de Centroamérica Ltda.
T: (+506) 2244-6090
E: info.cr@maccaferri.com

Maccaferri de Chile S.P.A.
T: (+56) 2 2940-2347
E: info.cl@maccaferri.com

Maccaferri de Colombia Ltda.
T: (+57) 1 636 9230
E: info.co@maccaferri.com

Maccaferri de Ecuador S.A.
T: (+593) 2 3820-971
E: info.ec@maccaferri.com

Maccaferri de Guatemala S.A.
T: (+502) 2208-3535
E: info.gt@maccaferri.com

Maccaferri de México.
T: (+52) 442 229 43 00
E: info.mx@maccaferri.com

Maccaferri de Panamá S.A.
T: (+507) 292-8608
E: info.pa@maccaferri.com

Maccaferri de Perú S.A.C.
T: (+51) 1 206-2600
E: info.pe@maccaferri.com