

# **OBRAS FLEXIBLES PARA CONTROL DE EROSION EN RIOS DE MONTAÑA**

Rivelli Felipe R. (\*), Porri Pablo (\*\*)

(\*)Cátedra de Geomorfología – Universidad Nacional de Salta – [rivgeom@unsa.edu.ar](mailto:rivgeom@unsa.edu.ar) . Tel: (0387) 4391191  
(\*\*) Maccaferri de Argentina S.A.- [pporri@maccaferri-arg.com.ar](mailto:pporri@maccaferri-arg.com.ar) Tel: (03327) 457522

## **INTRODUCCION**

El control de la erosión para la protección de diferentes obras de infraestructura es un tema de suma importancia ya que asegura la estabilidad y durabilidad de las mismas, alcanzando el objetivo para el cuál fueron proyectadas. El empleo de gaviones industrializados en obras de defensa y encauzamiento ha sido ampliamente usado en la última década como lo demuestran la gran cantidad de proyectos ejecutados a lo largo de nuestro país, resultando estructuras prácticas y muy sencillas de construir, ayudado esto último por el no requerimiento de mano de obra especializada para la confección de las mismas.

Las observaciones realizadas durante los últimos quince años permitieron obtener información suficiente para corroborar que las obras flexibles construídas con gaviones industrializados resultaron más eficientes y económicas que las denominadas rígidas realizadas con hormigón u otras alternativas, las cuales fracasaron en la mayor parte de los casos, fundamentalmente en ríos de ambiente montañosos caracterizados por su torrencialidad.

En contraposición, cuando el diseño de la obra es incorrecto, por mala disposición general de la estructura o por una inadecuada elección de la malla del gavión, no teniendo en cuenta las condiciones particulares del emplazamiento de la obra, hacen que en muchos casos estas fracasen funcionando en algunos casos en forma contraria al objetivo perseguido.

La diferentes opciones en cuanto a la abertura de malla, diámetro, revestimiento y protecciones adicionales del alambre de los gaviones; deben ser considerados al momento de realizar un proyecto, evitando así el uso indiscriminado de los mismos sin contemplar el comportamiento y las particularidades de cada río.

Uno de los inconvenientes observados con respecto al diseño de estas obras para los ríos de régimen torrencial lo constituyen los flujos densos, por ello la conveniencia de construir muros marginales en lugar de los espigones tradicionales.

## **OBJETIVO**

En el presente trabajo se analizarán diferentes obras de protección hidráulica emplazadas en los ríos Grande, León, Ledesma de la provincia de Jujuy o bien el río Pescado, Toro y Chuscha en la provincia de Salta entre otros, a los efectos de demostrar los inconvenientes que puede causar el mal manejo de una opción que si fuera utilizada en forma correcta constituye una excelente alternativa.

## COMPORTAMIENTO DE LOS RÍOS DE MONTAÑA

El análisis realizado durante un período aproximado de 15 años en diferentes ríos ubicados en las Prov. de Salta y Jujuy demuestra la complejidad de los mismos en cuanto a su comportamiento morfológico, situación que se agrava al momento de diseñar y planificar obras de protección, debido a la falta de información estadística.

La mayor parte de los ríos de montaña, ubicados en las provincias antes mencionadas, se caracterizan por una dualidad en su funcionamiento, con una componente fluvial clásica por un lado y una fuerte influencia debida a los procesos gravitacionales que inciden en el comportamiento de los cursos.

En efecto muchos ríos están fuertemente influenciados por los flujos densos y en algunos casos también los deslizamientos, responsables en la mayor parte de los casos de aportar significativos volúmenes de material al sistema fluvial, el cuál normalmente no puede eliminarlo luego, contribuyendo ello a incrementar el problema del aluvionamiento.

Casos como el Arroyo del Medio, los ríos León, Huasamayo en Jujuy, o bien el Iruya en Salta entre otros, son verdaderos ejemplos de la incidencia que tienen dichos procesos gravitacionales en el funcionamiento de los ríos.

Uno de los procesos mas importantes observados y que ocurre con frecuencia es el debido a los deslizamientos que producen el endicamiento de los cursos de agua permitiendo la acumulación del fluído, lo cuál provoca a posteriori la formación de flujos densos al cortarse el cierre por la normalización en el escurrimiento o circulación del fluído. A pesar de la recurrencia de este fenómeno y de los inconvenientes y daños que ocasionan directamente en el lugar donde se producen o bien indirectamente a la distancia, se dispone de muy poca información sobre el particular.

De lo estudiado a la fecha se desprende que como consecuencia de la extensión que tienen la mayor parte de las cuencas de estos ríos, situados en ambientes montañosos, resulta difícil concretar todas las obras de estabilización que se necesitarían.

Un caso muy particular por sus características y recurrencia anual de flujos densos lo constituye el Arroyo del Medio, en el cuál entre otras cosas ya se perdieron dos puentes carreteros, se construyó un tercero, pero al día de hoy no existe un plan adecuado para la estabilización de la cuenca a fin de reducir la frecuencia y magnitud de tales procesos gravitacionales.

De acuerdo con los estudios efectuados y los que lleva a cabo uno de los autores actualmente, la problemática de Arroyo del Medio, caracterizada por su dualidad fluvial-gravitacional, se podría atenuar con un adecuado y continuado plan de obras flexibles emplazadas en los sectores mas altos de la cuenca, destinados a retener sedimentos y disminuir la velocidad del agua.

Sin lugar a dudas el comportamiento de los ríos de montaña, caracterizados por su torrencialidad, estacionalidad y complejidad o dualidad en el funcionamiento, genera serios inconvenientes a la hora de concretar acciones para el control de la erosión.

## OBRAS DE PROTECCION

Al recorrer muchos de los ríos de montaña es posible observar un verdadero muestrario o catálogo de obras construídas supuestamente para controlar la erosión de los mismos, pero lamentablemente en la mayor parte de los casos no logran alcanzar su objetivo.

De lo observado se podría generalizar diciendo que la mayoría de los fracasos obedecen al uso inapropiado de materiales utilizados en la construcción de las defensas u obras de protección.

El caso mas frecuente lo constituyen los muros de hormigón, los cuales en su mayoría fracasaron al fracturarse debido a la erosión y socavación basal. Frente a esta situación, en algunos casos los muros debieron ser fundados en una relación que duplica o triplica el valor de lo que aflora sobre el cauce, incrementándose por lo tanto en forma significativa el costo de la obra y el impacto ambiental de la misma. Ver figura donde se observa la fractura de un espigón de Hormigón , emplazada en el río Ledesma – Pcia. de Jujuy.



Con respecto a la problemática ambiental es conveniente dedicarle un breve comentario y analizar lo inherente a un tema no debidamente valuado en esta clase de obras.

Las mencionadas defensas rígidas de hormigón, generan un alto impacto ambiental, en la etapa constructiva por los ruidos que alteran el entorno, derrames y excavaciones; y una vez concluída no permite su integración definitiva con el entorno donde fue emplazada.

Debido a la sumatoria de inconvenientes que generan las defensas rígidas de hormigón, sus costos elevados y el comportamiento inapropiado de las mismas, últimamente se nota una marcada tendencia a reducir el uso de esta alternativa, reemplazándola por defensas flexibles.

Algunos organismos estatales, hoy desaparecidos por las privatizaciones, utilizaban para la construcción de defensas rígidas deferentes materiales en desuso, tales como rieles, durmientes, caños de poliductos, etc. Ver figura de la defensa marginal realizada con un entramado de caños de la industria petrolera en el río Seco- Pcia. de Salta).



Con cualquiera de las opciones mencionadas el comportamiento era similar, tenían una duración breve a causa del fracaso, generalmente por vuelco debido a la socavación basal y en otros casos por el hundimiento debido al excesivo peso de la estructura (río San Francisco – Pcia. de Jujuy).

Entre las diferentes opciones utilizadas en la construcción de obras para el control de la erosión, de acuerdo con lo observado en diversos ríos, las mas indicadas por su mejor desempeño, menores costos y a la vez bajísimo impacto ambiental, son las obras flexibles del tipo “piedra embolsada”.

Esta última alternativa basada en un concepto tradicional utilizado desde hace muchos años, recurre a una nueva alternativa de mejor resultado según lo observado, el uso de gaviones industrializados en malla hexagonal a doble torsión.

Con respecto a las obras flexibles para el control de la erosión, es conveniente realizar una aclaración o diferenciación entre las mallas hexagonales (doble torsión) o romboidales (simple torsión).

Estas últimas de acuerdo con lo visto no son adecuadas para las obras de protección debido a su vulnerabilidad frente a la fácil rotura de las mallas por corte de un alambre. Ensayos realizados nos muestran que:

- La resistencia de la red a DT, a paridad de cantidad de hierro por metro lineal es aproximadamente el doble de la de la red a ST. Esto significa que en estructuras que son solicitadas a tracción no es correcto considerar el peso del alambre por  $m^2$  como factor relevante y de comparación.
- Sin considerar la terminación lateral, las uniones, etc. que obviamente influyen también en el comportamiento de la obra y que intuitivamente son más débiles en el caso de las redes a ST, para poder usar estas para estructuras de contención o hidráulicas y obtener un comportamiento similar al de una red a DT, sería necesario usar redes de ST con una densidad de hierro casi del doble a la de la red de DT.
- Si consideramos la rotura de un solo alambre, se puede observar que en el caso de la red a ST, a parte de la mayor abertura provocada por el deshilamiento (lo que significa que el material de relleno puede salir con mayor facilidad por el hueco), la resistencia cae abruptamente perdiéndose aproximadamente el 35% de la resistencia a la tracción.

- Obviamente esto se verifica aún más en el caso de la ruptura de dos o más alambres.
- Por el contrario, en el caso de la red a DT, la reducción de la resistencia ronda el 1% en caso de rotura de un alambre. Esto se debe a la mayor capacidad de la red DT a redistribuir los esfuerzos de tracción.

Un verdadero ejemplo de lo expresado con respecto al comportamiento de las diferentes mallas, lo constituyen las obras realizadas en la margen derecha del río León (Pcia. de Jujuy). En dicho río se construyeron defensas a partir del año 1985 con muy poca diferencia de tiempo utilizando diferentes alternativas para proteger una planta potabilizadora y diferentes obras viales. A pesar de haberse construido en el mismo río, igual margen y en cierta manera con un diseño similar (muro de defensa marginal). A partir de la fecha mencionada se construyó un muro marginal con gaviones de malla hexagonal y tramos complementarios de rieles y durmientes, o bien de malla romboidal según el Organismo responsable de la ejecución.

En estos momentos, la única defensa observable, es la construída en primera instancia, utilizando gaviones en malla hexagonal. Las restantes, no obstante haberse emplazado a posteriori no superaron las reiteradas crecientes del río León, algunas de ellas con flujos densos, fracasando por completo, al extremo de no quedar testigo alguno de las mismas.

### **IMPORTANCIA DEL DISEÑO EN LAS OBRAS DE PROTECCION**

Sin lugar a dudas las características del material utilizado para proteger las diferentes obras de infraestructura juegan un papel muy importante y crucial en cuanto al funcionamiento y duración de la misma.

A todo ello contribuye de manera mas que importante el diseño de la estructura.

Las diferentes obras destinadas a la protección de márgenes fluviales normalmente responden en términos generales a dos diseños: los espigones en sus diferentes opciones u alternativas y los muros marginales.

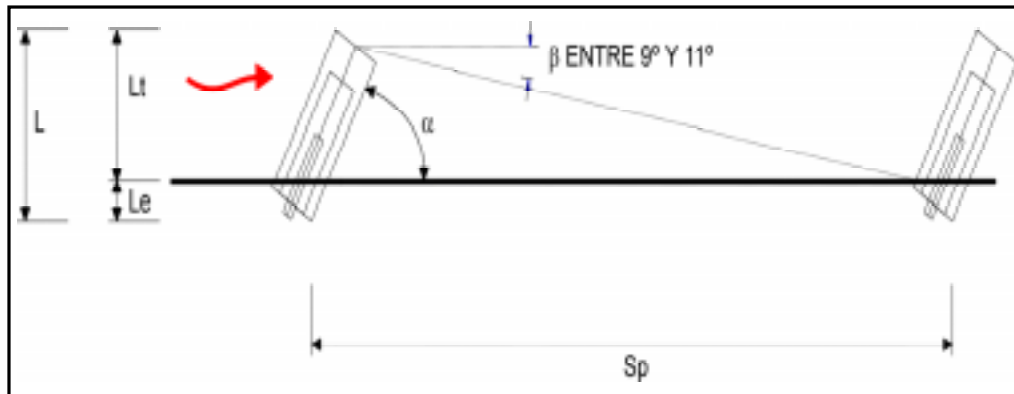
Ambas tipologías tienen un objetivo en común, el de impedir o limitar la erosión fluvial en las márgenes, pudiéndose utilizar en muchos casos indistintamente una u otra, siempre que la morfología del cauce lo permita y no contribuya con su emplazamiento a la transferencia o traslado del problema a la margen opuesta.

En efecto la construcción de espigones, los cuales por su conformación, son estructuras que interceptan y desvían los filetes líquidos de la corriente, puede dar lugar a una desviación del flujo desplazando el problema hacia la margen opuesta, provocando con ello erosión en lugares donde no se daba tal proceso, detalle que muchas veces no se contempla, pero que puede traer aparejado inconvenientes no deseados y muchas veces difíciles de superar.

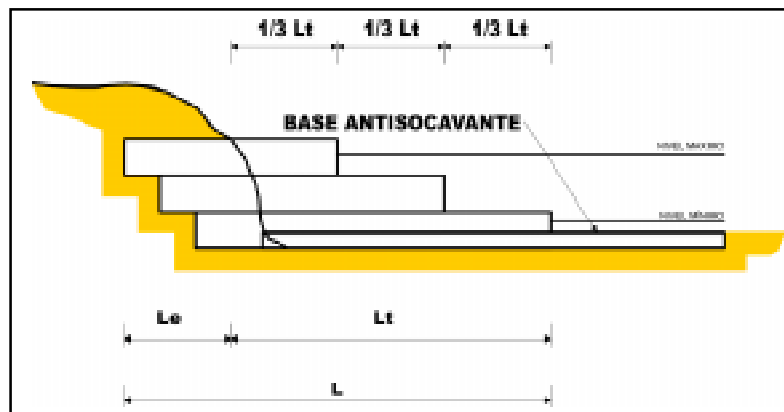
El mayor problema que tienen los espigones en ríos de ambiente montañoso, corresponde a la fuerza de empuje que deben soportar durante las crecientes o bajadas de materiales desplazados por los flujos densos.

Debido a las fuertes pendientes que caracterizan por lo general a los ríos de montaña, el agua y la carga involucrada, logran la energía suficiente para desplazar lo que se interpone en su avance.

Para reducir la resistencia que generan los espigones al empuje del flujo, se debe disminuir el ángulo de emplazamiento con respecto a la margen del curso y conjuntamente con ello acortando la longitud del mismo. Todas estas consideraciones lleva a una merma del area protegida, necesitándose por lo tanto un mayor número de estructuras, y por lo tanto un aumento en el costo final de la obra.



El sistema de construcción con el perfil longitudinal en forma escalonada para los espigones, en los cuales la menor altura corresponde a la parte terminal, coincidente con la mayor exposición y resistencia, es la alternativa mas indicada para esta clase de obras en ríos de montaña, debido a la menor resistencia que esta forma ofrece contra el flujo. Ver figura.



La reciente incorporación de mallas hexagonales con alambres de mayor calibre (3.4mm) genera una nueva alternativa para estas obras, lo cuál sin lugar a dudas permitirá un mejor comportamiento de la estructura atento a la mayor resistencia de sus componentes.

Teniendo en cuenta los riesgos de los espigones y en función de lo observado en diferentes ríos de montaña, fundamentalmente donde los flujos densos tienen incidencia o influencia en el comportamiento de los mismos, los muros marginales resultan ser mas apropiados.

Evidencian una mayor duración debido a la menor resistencia que oponen al escurrimiento, resultando por lo tanto mas adecuados para cumplir con su objetivo.

El inconveniente de las defensas marginales, que podría ser considerado como un factor negativo al momento de su elección es el requerimiento de un mayor volumen de material y obra para la protección de la zona afectada.

Si bien es cierto que el análisis realizado estuvo referido al comportamiento de las obras flexibles de espigones y muros de defensa marginal, es conveniente mencionar lo inherente a la protección basal por medio de colchones Reno, sin los cuales ninguna de las obras mencionadas podría cumplir correctamente el objetivo para el cuál fue diseñada.

No es necesario mencionar en detalle en este trabajo lo referido al diseño y dimensiones de la protección basal, las ventajas de su colocación, pero si comentar lo inherente al desgaste de las mallas de la tapa de los colchones Reno por el efecto de abrasión.

Debido a las características del material transportado (granulometría gruesa) y los volúmenes involucrados; el sector mas afectado por el desgaste de los materiales durante las crecientes es el correspondiente a las tapas de las colchonetas, superficie donde la abrasión tiene fuerte incidencia.

Este efecto superficial puede ser solucionado aumentando el calibre utilizado en el alambre de fabricación de las mallas. Actualmente en las obras donde las características del río lo requieren se lo emplea asiduamente, caso de los ríos Bermejo (Pcia. de Salta), o San Lorenzo, Ledesma (Pcia. de Jujuy). En esos casos para las tapas de los colchones Reno se utiliza una malla hexagonal tipo 10x12 con un diámetro en los alambres de la malla de 3.4mm, reduciéndose de esta forma el desgaste que normalmente tienen las restantes mallas. La elección de esta abertura de malla es debido a que es la única que permite incorporar alambre de 3.4mm.

Otro aspecto que se debe considerar con la protección de los colchones Reno es el referido al comportamiento de los mismos frente a los flujos densos, los cuales debido al aumento de densidad pueden provocar que las protecciones basales sean desplazadas por flotación.

Este inconveniente se evita colocando en el perímetro del colchón reno un diente realizado con un gavión caja, el cual se coloca de tal manera que no sea un impedimento para que la misma trabaje normalmente y a la vez evite la flotación por la acción de los flujos densos.

Finalmente, con respecto a las obras flexibles para la protección de márgenes y el control de erosión en ríos de montaña cabe una reflexión que de ser aplicada reduciría los errores resultando a la vez en obras mucho mas efectivas: pensar globalmente, actuar en forma puntual.

## **OBSERVACIONES REALIZADAS**

La figura N 1 nos muestra la defensa marginal en el río Chuscha que sirve de protección a la ciudad de Cayafate en la Prov. de Salta. La obra ha sido realizada recientemente (septiembre de 2003). La malla utilizada para los gaviones fue tejida hexagonal tipo 8x10, con alambre de diámetro 3.0 mm. En el caso de los colchones Reno se utilizaron bases en malla tipo 8x10

con alambre de diámetro 2.4mm, en cambio las tapas fueron realizadas con malla tipo 8x10 y alambre de diámetro 3.0mm, similar a la de los gaviones. La idea general es ofrecer en la cara directa de acción de la corriente una malla resistente a los efectos de abrasión, sin descuidar la alta resistencia/flexibilidad de las mallas hexagonales.



**Figura 1.-**Defensa marginal del río Chuscha

Las figuras 2 y 3 nos muestran la defensa marginal en el río León en la Prov. de Jujuy. La obra esta ubicada sobre la margen derecha del río, y fue construida para proteger una planta potabilizadora. Posteriormente la defensa fue ampliada hacia aguas abajo a fin de evitar erosión en el nuevo puente de la DNV. El comportamiento de la defensa diseñada se comprobó que fue optimo. Fue construida en el año 1985 y la misma se conserva en perfectas condiciones al día de la fecha.



**Figura 2.-**Defensa marginal del río León



**Figura 3.-**Defensa marginal del río León

En la figura 4 podemos observar la defensa de margen izquierda del río Ledesma. La misma se encuentra hacia aguas arriba del puente de la ruta Nac. N° 34, en la Prov. de Jujuy. El



objetivo de la defensa era proteger el nuevo puente debido al colapso de los espigones de Hormigón que se encontraban contruidos. En la foto podemos observar que el 2do espigón mirando hacia aguas arriba se encuentra quebrado a la mitad de su longitud. Esto se debe a que al ser construido de hormigón y por lo tanto incapaz de soportar deformaciones en el lecho del río que provocaron la falta de sustentación en su fundación y por consiguiente la fractura del mismo en toda su altura. Debido a esto disminuyo sustancialmente la longitud útil del espigón, desprotegiendo la margen y haciendo de esta forma necesaria la construcción de una defensa marginal.



**Figura 4.-**Defensa marginal del río Ledesma

En las figuras 5 a 9 podemos observar diferentes obras marginales construidas para proteger las márgenes del río Toro en la Prov. de Salta. En todos los casos las obras sirven de protección de diferentes estructuras de la Ruta Nac. N° 51 y las vías del ferrocarril (Tren a las Nubes).



**Figura 5.-**Defensa marginal del río Toro – Protección del terraplén de la ruta Nac. 51



**Figura 6.-**Defensa marginal del río Toro – Protección de las pilas centrales del puente ferroviario



**Figura 7.-**Defensa marginal del río Toro – Protección del terraplén de la ruta Nac. 51



**Figura 8.-**Defensa marginal del río Toro – Protección del terraplén de la ruta Nac. 51



**Figura 9.-**Defensa marginal del río Toro – Protección del terraplén de la ruta Nac. 51 con botadores de refuerzo.

En la figura 10 podemos observar una defensa marginal de 400 metros de longitud, diseñada para proteger la localidad de Campo Quijano. Esta ubicada en la margen izquierda del río Toro y realizada con gaviones en malla tejida hexagonal tipo 10x12, alambre de diámetro 3.0mm.



**Figura 10.-**Defensa marginal del río Toro – Protección de Campo Quijano

Por ultimo en la figura N 11 observamos la defensa marginal de protección del pueblo La Caldera. Dicha defensa esta ubicada en la margen derecha del río Wierna y esta construida con gaviones en malla tejida hexagonal tipo 10x12, y alambre de diámetro 3.4mm. En este caso se trato de utilizar la malla hexagonal mas resistente a los efectos abrasivos como también en cuanto a su resistencia a tracción, ya que iba a estar sometida a las mas altas solicitaciones. En las colchonetas se utilizo la premisa de ofrecer a la acción de la corriente una malla mas resistente, razón por lo que se utilizaron bases en malla tipo 6x8 / alambre 2.2mm y tapas en malla 10x12 / alambre 3.4mm.



**Figura 11.-**Defensa marginal del río Wierna – Protección de La Caldera.

## CONCLUSIONES

Do todo lo observado podemos concluir que las defensas marginales proyectadas con estructuras flexibles de gaviones en los últimos 15 años en ríos de régimen torrencial han obtenido resultados muy positivos cuando en la etapa de diseño se tuvieron en consideración las condiciones particulares de cada río para poder seleccionar en forma correcta el tipo de malla, el diámetro de los alambres y la densidad de las estructuras. De esta forma se evalúa y selecciona la estructura mas adecuada a cada caso en particular. Las obras flexibles construídas con mallas industrializadas del tipo hexagonal a doble torsión demostraron un mejor comportamiento comparada con mallas romboidales a simple torsión. En contraposición cada vez mas se están dejando de utilizar estructuras rígidas de hormigón por las vastas experiencias negativas observadas en la región.