

IAHR

AIPH

**XXI CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
SÃO PEDRO, ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL, OCTUBRE, 2004**

**DESARROLLO DE UNA SOLUCION PARA LA ESTABILIZACIÓN DE MARGENES EN  
UN RÍO SOMETIDO A CONGELAMIENTO ANUAL DE SU CURSO DE AGUA**

Ing. JORGE P. HECK (1), Ing. GUILERMO V. MALINOW (2),  
Lic. RODOLFO DE FELIPPI (3) e Ing. ROBERTO MENDEZ (4)

- (1) GM&A, Cipolletti, Argentina, [jorgeheck@arnet.com.ar](mailto:jorgeheck@arnet.com.ar)
- (2) GM&A, Buenos Aires, Argentina, [gmalinow@gmalinow-ingenieria.com.ar](mailto:gmalinow@gmalinow-ingenieria.com.ar)
- (3) Hidroar S.A., La Plata, Argentina, [defelippi@hidroar.com](mailto:defelippi@hidroar.com)
- (4) Repsol YPF, Comodoro Rivadavia, Argentina, [RMMENDEZC@repsolypf.com](mailto:RMMENDEZC@repsolypf.com)

**RESUMEN**

El presente trabajo muestra la solución adoptada por Repsol YPF en uno de sus emplazamientos al sur de la República Argentina, como parte de los esfuerzos que la empresa destina para las cuestiones medioambientales, como es el caso de la sistematización de un tramo del río Senguerr y la estabilización de sus márgenes. Este río se desarrolla en plena Patagonia, tiene un aporte medio anual de 50 m<sup>3</sup>/seg. y el tramo en cuestión se ubica en los 46° de latitud sur.

La solución se obtuvo a partir de la observación sistemática del comportamiento del río a lo largo de más de seis años, elaborándose entonces el proyecto de protección correspondiente y ejecutándose la solución desarrollada en cuatro incursiones anuales – período 2001-2004 - aprovechando las épocas de estiaje desde fines del verano hasta inicios del invierno.

El hecho más notable y que se pretende destacar, es el tipo de solución adoptada para una latitud extrema y en un río que se congela anualmente por períodos de hasta 45 días, con el agravante de que los bloques de hielo que se forman impactan sobre las obras de protección.

**ABSTRACT**

The present report shows the solution adopted by Repsol YPF in one from its locations to the south of the Republic Argentina, like part of the efforts that the company dedicates for the environmental questions, like it is the case of the systematizing of a span of the river Senguerr and the stabilization of its margins. This river is located in Patagonia Argentina, it has a mean annual discharge of 50 m<sup>3</sup>/seg. and the stream in study is located in the 46° of south latitude.

The solution was obtained by the systematic observation of the behavior of the river along more than six years, being elaborated the project of corresponding protection then and the solution developed in four annual incursions being executed between 2001-2004 - taking advantage of the low water levels from ends of the summer until beginnings of the winter.

The most remarkable fact and that seeks to emphasize, it is the solution type adopted for an extreme latitude and in a river that freezes annually for periods up to 45 days, with the aggravating that the blocks of ice impact on the protection works.

**PALABRAS CLAVES**

GAVIONES  
COLCHONETAS  
TÉCNICAS BIOLÓGICAS

## **1.- INTRODUCCION**

La elaboración de proyectos de sistematización de cauces y de estabilización y protección de márgenes de ríos, como así también la ejecución de las obras que se proyectan, es una práctica habitual en zonas surcadas por ríos de distinta magnitud. La ejecución de tales trabajos sobre ríos ubicados en zonas con climas severos, al punto de congelarse el cauce del río por períodos de hasta 45 días, es menos habitual, por lo menos en la República Argentina.

El presente documento pretende dar a conocer los trabajos realizados por Repsol YPF en un tramo del río Senguerr, ubicado en 46° de latitud sur, con condiciones climáticas adversas y utilizando técnicas y materiales seleccionados de acuerdo a las exigencias de esa empresa.

## **2.- CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RIO SENGUERR**

La cuenca del río Senguerr abarca una parte de la región cordillerana desde las proximidades de la localidad de El Corcovado por el norte (46° 03' S y 71° 41' W), donde se encuentran las nacientes del Arroyo Genoa, hasta la Meseta del Guenguel por el sur (43° 45' S y 71° 10' W), en las propias nacientes del río Guenguel.

El río Senguerr es el colector de los derrames cordilleranos, precordilleranos y de los lagos, naciendo por el aporte que le brindan los lagos La Plata y Fontana. Recibe como afluentes al Arroyo Gato, al arroyo Verde y Al Arroyo Genoa. El arroyo Genoa es el que mayor caudal aporta en el Alto Senguerr. El río Senguerr, con posterioridad al ingreso del arroyo Genoa, recibe al río Mayo. Reforzado con este importante aporte, describe luego una curva cerrada al sur de la Sierra de San Bernardo y en ese desplazamiento, llega luego, en la Vuelta del Senguerr, a penetrar en territorio de la provincia de Santa Cruz, para dirigirse luego hacia el nor-nordeste y caer al lago Musters y al lago Colhue Huapi a través del falso Senguerr.

## **3.- CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA**

En cuanto al aporte hídrico, el gradiente de precipitaciones se reduce abruptamente de Oeste a Este (el límite nacional de la zona se encuentra entre los meridianos de 71° y de 72°). Algunos estudios infieren que a los 71° 40' se registran precipitaciones mayores a 1.000 mm/año, mientras que la isohieta de 500 mm/año está casi superpuesta con el meridiano de 71° 10' y la de 200 mm/año con el de 70°40' (a 45° de latitud los meridianos están distanciados 80 Km.).

Las características climático – hidrológicas de la cuenca del río Senguerr están determinadas fundamentalmente por la acción de los vientos húmedos provenientes del Pacífico y el efecto de la cordillera andina, la cual actúa como una verdadera barrera, provocando la condensación de aquellas masas de aire y su precipitación. Transpuesta la cordillera, estas masas de aire, con su reducido contenido de humedad, adquieren a su vez mayor temperatura al descender por las faldas orientales, incrementando su capacidad de retención del vapor de agua, fenómeno que provoca la gran sequedad ambiente en la zona de mesetas. La dirección dominante de los vientos en este sector es, pues, del oeste, presentándose rara vez alguna otra dirección.

El aporte hídrico de la cuenca es del tipo pluvionival con doble onda de escurrimientos, la primera debida a las precipitaciones bajo la forma de lluvia durante mayo-agosto y la segunda a partir de la primavera debida a la fusión de la nieve en alta montaña, generalmente interferida por lluvias que ocurren simultáneamente en tal época.

En Sarmiento la temperatura media anual es cercana a 11 °C, con una mínima media de casi 4 °C en junio-julio y una máxima media de casi 18 °C en enero-febrero. Las temperaturas máximas absolutas se han registrado en enero o febrero, con valores que varían entre 35,0 y 39,4 °C. Las temperaturas mínimas absolutas se han registrado en junio o julio, con valores comprendidos entre -8,5 y -33,0 °C. Cabe destacar que existen fuertes variaciones térmicas no sólo estacionales sino también en el mismo día.

Los vientos de la región son importantes, debido al desplazamiento de las masas de aire procedentes del océano Pacífico, ya mencionadas. Las velocidades medias mensuales presentan sus mínimos en los meses de otoño e invierno y sus máximos en primavera y verano. Los predominantes son los provenientes del oeste y, salvo en valles protegidos, su velocidad es alta, con valores promedio mensuales que alcanzan los 30 km/hora en primavera-verano y ráfagas que

pueden superar los 100 km/hora. La velocidad promedio se reduce hasta poco más de 10 km/h en otoño-invierno.

En base a la rosa de los vientos, la dirección dominante es la del Oeste, con un 60 % de frecuencia mínima anual, en el caso de Comodoro Rivadavia. En junio se alcanza la máxima de 73,9 % para la misma dirección.

La evapotranspiración potencial supera los 1.200 mm/año en Sarmiento. La Humedad Relativa varía en torno al 50 % en verano y al 70 % en invierno, el cielo está generalmente nublado y la presión es relativamente baja.

El período libre de heladas se extiende normalmente entre octubre y abril, pero puede haber heladas tempranas en marzo y tardías en noviembre. Para las localidades con registros puede afirmarse que los meses libres de heladas son enero y febrero, en Sarmiento.

La frecuencia de ocurrencia de este fenómeno es de 70 días por año en Sarmiento. Los picos se dan naturalmente en invierno, alcanzando por ejemplo valores de 18 días en junio, en Las Heras.

#### **4.- TRABAJOS PREVIOS AL PROYECTO**

En enero de 1996 se inicia la relación de GM&A con Repsol YPF en la zona de Vuelta del Senguerr, momento a partir del cual se comienza a observar el comportamiento del río, tanto a lo largo de períodos de crecidas como de estiajes. La primer tarea vinculada directamente con el río, es el relevamiento de una serie de cinco topo batimetrías del cauce del río en un tramo de 3.200 metros de longitud y su planicie de inundación, realizado en momento que por el río escurría un caudal del orden de 20 m<sup>3</sup>/seg.. Sobre estos perfiles se hizo una primera evaluación de niveles máximos que podría alcanzar el río Senguerr, para los caudales asociados a las recurrencias estudiadas.

Asimismo, GM&A realizó en 1996 un estudio relacionado al análisis crítico de consistencia de los caudales relacionados a los registros hidrométricos, el ajuste matemático de diversas funciones de distribución y la obtención de los valores de los picos de caudales para tiempos de recurrencia de 100 y 1000 años, a partir de los riesgos de sobrepaso requeridos por Repsol YPF, los que alcanzaron valores de 470 y 600 m<sup>3</sup>/seg., respectivamente.

En abril de 1997 se extiende la longitud del tramo en estudio, relevándose otros cinco perfiles topo batimétricos y su planicie de inundación, abarcando 7.100 metros, con evaluación de niveles para los caudales indicados en el párrafo anterior.

El período de caudales altos registrados en la primavera de 1997, con la presencia de personal de GM&A en el lugar, marcó un punto de inflexión en cuanto a la importancia asignada al río, dado que se produjo una crecida cuyo caudal pico fue del orden de 300 m<sup>3</sup>/seg., valor seis veces superior al módulo del río. La presencia de personal de GM&A en el lugar permitió relevar en forma inmediata los máximos niveles alcanzados en coincidencia con ocho de los diez perfiles relevados. Una vez producido el descenso de los niveles de crecida, se tomó registro de los niveles de la superficie del agua en coincidencia con los perfiles relevados para un caudal de 52.6 m<sup>3</sup>/seg., de acuerdo a lo informado por Evarsa, empresa encargada de la operación de la estación de aforos. Es importante destacar que de los diez perfiles topo batimétricos relevados, uno se corresponde con la estación de aforos "Los Molinos", operada por Evarsa y que forma parte de la red hidrometeorológica nacional.

El paso de un caudal tan importante, generó algunas modificaciones en el cauce del río que comenzaron a ser analizadas por técnicos de GM&A con mayor detalle, elaborándose informes de la situación y de potenciales hechos posteriores que podrían producirse en caso de registrarse nuevamente caudales similares, que fueron presentados a las autoridades de la empresa Repsol YPF. Al mismo tiempo, disponiendo de relevamientos topo batimétricos, de niveles reales para caudales que cubrían una banda importante del hidrograma del río, y una estación de aforos en el tramo, GM&A, en base a los niveles del río relevados en diferentes secciones al 18/11/97, decidió analizar con mayor detalle el comportamiento del río, para lo cual se realizó una modelación matemática del tramo, utilizando para ello el Programa de Computadora para Perfiles Hidráulicos HEC-2, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos versión 4.6.2. Este trabajo permitió obtener resultados mas cercanos a la realidad, dado que anteriormente se

había “calibrado” el programa para caudales del orden de 20 m<sup>3</sup>/seg. y extrapolado resultados para 600 m<sup>3</sup>/seg., mientras que ahora se disponía de información real para una gama de caudales que llegaba hasta 300 m<sup>3</sup>/seg..

Es importante destacar que en el período 1996 – 2000, GM&A realizó trabajos técnicos en la zona, principalmente en períodos de fines de primavera – verano – principios de otoño. Esta limitación de tiempo de trabajo en el campo estuvo asociada, principalmente, a las temperaturas ambientes.

## 5.- PROYECTO

Luego de numerosas consultas realizadas por técnicos de Repsol YPF acerca del riesgo de erosión de las márgenes del río, a principios del año 2000 se le encomienda a GM&A la elaboración de un proyecto de protección y estabilización de márgenes que debía contemplar las siguientes condiciones:

- Abarcar los 3.000 metros que afectaban instalaciones de la empresa.
- Permitir el libre escurrimiento de las aguas, descartando la incorporación de obstáculos en el cauce.
- Utilizar materiales cuya calidad fuera compatible con la calidad del agua del río.
- Respetar las condiciones naturales de escurrimiento, tanto para caudales altos como bajos.
- Permitir la construcción en sucesivas etapas, bajo hipótesis de riesgo aceptables.
- Incorporación al paisaje natural, una vez ejecutada la obra.
- Posibilidad de un mantenimiento anual de la obra.

La encomienda implicaba la sistematización del tramo del río, con un régimen atípico, dado que durante la elaboración del proyecto se verificó que en el mes de julio el río se congelaba superficialmente, formando una capa de hielo de unos 50 centímetros de espesor, cuya duración dependía del mantenimiento de la temperatura ambiente por debajo de los 0°C. Por debajo de esta capa de hielo escurría un caudal mínimo, estando fuera del alcance de la estación de aforos la determinación del mismo.

En primer término, se solicitó la ejecución de un relevamiento planialtimétrico que permitiera obtener el detalle suficiente para la elaboración del proyecto. Este relevamiento debía incluir una serie de nuevos perfiles topo batimétricos de la sección del río, a fin de obtener en cada zona de interés los parámetros hidráulicos correspondientes y el perfil transversal de la margen a proteger.

### 5.1.- PARÁMETROS DE DISEÑO

Sobre la base de la modelación matemática realizada y ajustada en base a niveles medidos para caudales de hasta 300 m<sup>3</sup>/seg., se incorporaron las nuevas secciones relevadas y, de este modo, se obtuvieron los parámetros hidráulicos para el diseño de la obra en el tramo en estudio. Se utilizó nuevamente el Programa de Computadora para Perfiles Hidráulicos HEC-2, principalmente porque se contaba con el archivo base que se había ajustado a niveles y caudales reales. Parte de los resultados obtenidos se muestra en la TABLA 5-1.

### 5.2.- SOLUCIONES ANALIZADAS

Para la defensa de la zona mencionada, se optó por el proyecto de protecciones de tipo longitudinal, descartándose en principio la posibilidad de construir una defensa mediante espigones, por el estrechamiento del cauce que tal solución implicaría.

A continuación se identificaron los materiales que *una vez construida la obra pudieran incorporarse al paisaje*. Esta condición limitaba la utilización de algunas soluciones tales como elementos premoldeados de hormigón articulado. En cuanto a las bolsas de geotextil rellenas con material granular, funcionarían en caso de ser factible realizar algún tipo de “siembra” que posibilite el “ocultamiento” de la protección, pero las condiciones climáticas “severas” existentes en estas latitudes exigían el uso de variedades autóctonas que no son comerciales, lo que fue motivo para descartar el uso de las mismas.

Una alternativa considerada analizada fue la roca, dado que a una distancia del orden de 25 a 30 kilómetros se encuentra el lugar en el que la ex empresa Agua y Energía Eléctrica S.E. proyectara el Cierre Los Monos, como parte de un aprovechamiento hidroeléctrico, y en la que

existe una formación de "tobas". Sin haber realizado ensayos, se puede asegurar que esta roca alcanza un  $\gamma$  superior a 2.50 tn/m<sup>3</sup>. La utilización de este material demandaba la ejecución de voladuras con explosivos y en un lugar en el que no hay acciones antrópicas identificables, se evaluó como un impacto altamente negativo para el medio, por lo cual se la descartó.

Otro tipo de solución lo constituían las colchonetas gavionadas de alambre galvanizado (malla hexagonal tejida a doble torsión, o cuadrada / rectangular electrosoldada) rellenas con grava de tamaños acordes a la abertura de malla. Este tipo de solución permite la incorporación paisajística al medio, dado que si bien la malla de alambre es visible, mucho más visible es el material que se coloca dentro de ellas y que presenta características similares al lecho del río, por lo que fue calificada como aceptable dentro de las condiciones solicitadas.

La última alternativa que fue considerada es la que mejor cumple con el requerimiento, y lo constituye la aplicación de técnicas biológicas. La ingeniería biológica no excluye acciones puntuales de estabilizaciones de lecho y tendido de taludes, las que deben ser seguidas de operaciones de vegetalización.

Al mismo tiempo, estas dos alternativas consideradas aptas cumplían con el resto de las condiciones de proyecto solicitadas. En virtud de lo expuesto, el desarrollo del proyecto debería tener en cuenta el uso de las dos alternativas señaladas precedentemente.

### **5.3.- ESQUEMA BASICO DE PROYECTO**

Contando con las colchonetas gavionadas y la aplicación de técnicas biológicas como herramientas básicas a aplicar para la estabilización de las márgenes y sistematización del tramo de río, se definieron distintos "sub - tramos", según el grado de la sollicitación sobre la margen.

La solución desarrollada consistió en el proyecto de protecciones continuas con colchonetas gavionadas en tramos de 40 a 60 metros de longitud y tramos en los que se aplicaron técnicas biológicas en longitudes comprendidas entre 15 y 100 metros.

Para las colchonetas gavionadas se incluyó una línea de gaviones de 1.00 x 1.00 metros y por la longitud del desarrollo de la colchoneta sobre talud, en los extremos de aguas arriba y abajo de cada tramo de 40 a 60 metros mencionado, que funcionaría a modo de "empotramiento" de la obra en la margen.

El espesor y tamaño de las colchonetas fueron determinados sobre la base de la publicación (5), obteniéndose que una colchoneta de 0.17 metros de espesor con tamaño medio de relleno de 70 mm cumplía con la sollicitación sobre la margen.

En cuanto al desarrollo del pie de talud de las colchonetas, se consideró necesario estimar la magnitud de la erosión general del cauce. Para evaluar la erosión general se aplicó del método propuesto por Lischtvan - Levediev desarrollado en (7), obteniéndose como resultado valores máximos de 0.40 metros y mínimos muy próximos a cero.

En cuanto al desarrollo sobre el talud, debía tenerse en cuenta que el mismo debería ser suficiente para controlar la erosión. Por otro lado, había sido posible observar un solo período de congelamiento del río, en el cual pudo apreciarse que el nivel en que se encontraba la capa de hielo se ubicaba en correspondencia con caudales medios del río. Esto último junto a la disminución de la sollicitación sobre la margen sobre los sectores del talud que presentaran menor profundidad para caudales de diseño, llevó a tomar la decisión de prever el desarrollo de las colchonetas hasta "medio talud".

En cuanto a la decisión de aplicar técnicas biológicas, el desarrollo de las mismas se apoya en las experiencias realizadas por la Compañía Nacional del Ródano (CNR), cuyos conocimientos fueron transmitidos por el Hidrobiólogo Guy Collilleux, en una serie de charlas realizadas en el año 1995 en la localidad de Cipolletti, Río Negro. Este profesional señalaba que se define a la ingeniería biológica como la disciplina que utiliza las funciones de las plantas en la óptica de la lucha contra la erosión y se apoya en dos nociones fundamentales, que son el mantenimiento del curso de agua por supresión de los obstáculos diversos a fin de proporcionar al río un flujo satisfactorio, conservando, al mismo tiempo, condiciones ecológicas propicias a su flora y a su fauna, y una restauración de riberas a partir de vegetales muertos o vivos

El método de aplicación de la ingeniería biológica requiere la Elaboración de un diagnóstico de la erosión considerando parámetros físicos y ecológicos, sin dejar de tener en cuenta que la

erosión es, por sí, un fenómeno natural que participa del equilibrio del río; la Definición de las técnicas biológicas apropiadas a las características del sitio a restaurar; y la Planificación de acciones de tratamiento de la vegetación

Para la elaboración de un correcto diagnóstico se debió analizar una serie de parámetros que abarcan desde características hidrológico – hidráulicas, características del suelo y lecho del río, usos del suelo en el sitio a aplicar las técnicas biológicas y características de los vegetales a utilizar, tales como disponibilidad, resistencia a las plagas, a la escasez y exceso de agua, etc..

La descripción y cuantificación de los parámetros del sitio se obtuvieron de una campaña de campo. Los parámetros hidráulicos obtenidos a partir de la simulación matemática y los antecedentes de datos de las estaciones de aforos existentes sobre el río permitieron definir las características hidrológico – hidráulicas (velocidad, niveles, crecidas – estiajes: magnitud y frecuencias, etc.) del sitio.

En (2) se señala que el conocimiento de la vegetación local es un aspecto fundamental para el éxito de la restauración de la margen, como así también el empleo de especies nativas y adaptadas. En ese sentido, la selección fue sencilla, dada la escasa vegetación existente en el lugar, compuesta por salicáceas en lo referido a vegetación arbórea, siendo el resto de la vegetación de tipo arbustiva, con características típicas del clima de la Patagonia (achaparradas y espinosas), carentes de aptitudes para el control de erosión de márgenes.

Para la aplicación de las técnicas biológicas se debió prever que requiere Un nivel bajo de agua, para fijar el pie sobre la orilla; Un reposo de la vegetación leñosa que, según la experiencia europea, produce los mejores resultados; Un período bastante corto entre la cosecha del material vegetal y la fase de vegetalización; Disponer de un material vegetal adaptado y de personal calificado; y Respetar, en el marco de la vegetalización, los espectros ecológicos de las especies, es decir, la distribución vegetal natural según el régimen hídrico.

De acuerdo a datos proporcionados por la CNR y obtenidos en trabajos realizados en Europa, al cabo de dos o tres años se alcanzan resistencias que van de 15 – 20 N/m<sup>2</sup> para césped vulgar, 50 – 70 N/m<sup>2</sup> para sauces de 1 a 2 años, 100 – 140 N/m<sup>2</sup> para sauces de mas de dos años, 180 N/m<sup>2</sup> para trenzados de sauces, 300 N/m<sup>2</sup> para lechos de ramas y 800 N/m<sup>2</sup> para sauces de mas de 20 años.

En cuanto a la definición de las técnicas biológicas, los expertos de la C.N.R. han recomendado 12 de ellas para los ríos de la Patagonia Norte, entre las cuales se deben seleccionar las mas apropiadas para aplicar de acuerdo a las características de cada sitio.

La primera de las seleccionadas, denominada "lecho de ramas" (FIGURA 5-3-1), tiene como objetivo lograr un manto de raíces en los niveles inferiores del talud que forma la margen del río. Consiste en la colocación, sobre el talud perfilado de ramas de diámetros inferiores a 4 centímetros y perpendiculares al sentido de la corriente, para luego ser cubiertas con el suelo producto del perfilado del talud. Sobre este conjunto se debe colocar arpillera de 6 a 8 Oz/m<sup>2</sup> a efectos de mantener la humedad y favorecer, de esa manera, la generación de raíces y brotes por parte de las ramas colocadas. Sobre la arpillera se clavan estacas de sauce de la especie disponible, para finalmente atar el conjunto con alambre negro de no más de 2 milímetros de diámetro (la colocación de la arpillera y el alambre sin galvanizar tiene como objetivo la sujeción del conjunto ante eventuales crecidas y su degradación en un plazo compatible con el enraizamiento de las especies utilizadas).

El "trenzado de ramas" se utiliza para disminuir la velocidad de escurrimiento del agua en contacto con la margen. Se construye hincando estacones sobre el desarrollo del talud, separados aproximadamente 1.50 metros o menos, sobre una línea levemente inclinada en el sentido del escurrimiento. Estos estacones sirven de sostén de ramas que se "tejen" entre los mismos formando una especie de valla que permite el paso del agua pero que, al mismo tiempo, disminuye su velocidad. La separación entre cada línea de trenzados depende de la curvatura de la margen, habiéndose sugerido la colocación con una separación de 10 a 15 metros, a modo de pequeños espigones.

Esta solución de estabilización de márgenes iba acompañada de una protección contra inundaciones compuesta por un terraplén paralelo al cauce del río a lo largo del desarrollo de la margen derecha, en la totalidad del tramo de 3.200 metros en estudio. Este terraplén fue solo

necesario en los sectores mas bajos, con lo que la longitud del mismo fue significativamente menor a la indicada precedentemente.

#### **5.4.- DESCRIPCION SINTETICA DEL PROYECTO ELABORADO**

El proyecto se elaboró sobre ocho "sub tramos", que fueron definidos sobre la base de la variación de la solicitud, de la prioridad asignada a cada uno y de la posibilidad de plantear una ejecución por etapas. En lo referido a esto último, se planteó una obra a ejecutar en cuatro etapas, proponiéndose la iniciación de la misma, como es lógico, por el sector que mayor afectación sufría.

#### **6.- EJECUCIÓN DE LA OBRA**

Dado que la construcción de la obra se realizó en etapas, esto permitió alcanzar los mejores resultados observando el comportamiento de la etapa de obra ejecutada el año anterior. A partir del año 2002, se analizó el comportamiento de la obra ejecutada el año anterior y se realizaron los ajustes necesarios tendientes a lograr mejores resultados, todo lo cual se describe a continuación.

##### **6.1.- ETAPA DE OBRA AÑO 2001**

Abarcó los dos "sub tramos" que fueron definidos como prioridad 1, denominado "1" y "2".

El estudio realizado sobre características hidrológicas del río indicaba que la mejor época para la ejecución de la obra compuesta por gaviones y colchonetas gavionadas comprendía el período enero – abril, dado que en el mismo las temperaturas alcanzan valores aceptables para la ejecución de trabajos al aire libre, se dispone de mayor cantidad de horas con luz natural y el río alcanza los niveles mínimos de su ciclo hidrológico. Causas ajenas a lo técnico obligaron a iniciar la obra hacia fines del mes de abril, lo que implicó a trabajar con temperaturas bajas, niveles levemente superiores a los esperados y con menos horas diarias de luz del sol.

Fue posible "crear" mejores condiciones para la construcción, aprovechando temporales disminuciones del nivel de la superficie libre del agua y construyendo pequeños "terraplenes de cierre" sobre la zona en la que se debía trabajar, y disminuir de este modo en forma significativa la cantidad de agua sobre la que se trabajaba, logrando realizar el llenado de las colchonetas en su posición definitiva. Esto fue posible, además, porque el material constitutivo del lecho y márgenes lo permitió, dado que cuenta con una fracción fina que hace que la permeabilidad de dicho material sea notablemente baja.

La presencia de hielo en espesores de 1 a 2 cm en un principio, y el posterior congelamiento total del río, fueron escollos que debieron ser salvados. El hielo se extraía de la zona de trabajo y se construía un sector a modo de "dique seco", tal como se mencionara en el párrafo anterior. En cuanto al rendimiento de la mano de obra para el llenado y costuras de las colchonetas y gaviones, se redujo notablemente, a pesar de que el personal contaba con indumentaria y equipamiento necesario para las condiciones climáticas severas presentes durante la construcción.

El proyecto admitía el uso de colchonetas de malla de alambre galvanizado hexagonal a doble torsión o rectangulares / cuadradas electrosoldadas. Al momento de decidir la adquisición de las mismas se optó por la primera de ellas en virtud de la inmediata disponibilidad de las mismas y que el proveedor de las electrosoldadas solicitaba verificar el proyecto para proveer el material, para lo cual se insumiría un tiempo que no era compatible con las demandas contractuales.

El material para el relleno de las colchonetas se transportó desde canteras existentes en inmediaciones de la localidad de Río Mayo, proveniente del río del mismo nombre, distante alrededor de 80 kilómetros del lugar de la obra.

En cuanto a la aplicación de técnicas biológicas, el material vegetal se obtuvo de "bosquecillos" existentes en la margen izquierda, compuestos por variedades conocidas en la zona como "sauces" y "sauce – mimbre", y su corte se realizó dentro del período de reposo de los mismos. Hecha la consulta a un especialista en la materia, observando ramas y hojas de las especies utilizadas, manifestó que se trataba de "salix alba" y "salix viminalis" respectivamente.

## **6.2.- ETAPA DE OBRA AÑO 2002**

La obra del año 2001, en lo referente a colchonetas gavionadas, tuvo un comportamiento razonable, tal como se esperaba. En cuanto a las técnicas biológicas aplicadas, fue sorprendente el desarrollo de la vegetación, principalmente en cuanto al desarrollo de las raíces. Eso último se verificó haciendo pequeños pozos en la zona de los "trenzados de ramas" existiendo una densidad de raíces superior a lo observado en otros sitios con climas que, en principio, presentaban condiciones más benignas para el desarrollo de salicáceas. Asimismo se verificó el desarrollo de las estacas colocadas tanto en los "lechos de ramas" como en los "trenzados". Sobre estos últimos se pudo verificar, además, que funcionaron correctamente, dado que se acumuló "resaca" sobre la cara de aguas arriba de los mismos. Tal comportamiento fue motivo suficiente para continuar con la ejecución de la obra tal como se había proyectado.

Nuevamente los tiempos el inicio de la obra fue demorado y las condiciones climáticas no fueron óptimas para la ejecución de la obra compuesta por colchonetas, lo cual estuvo lejos de ser motivo para impedir la ejecución de la misma. Debe aclararse que la ejecución de la obra que se denomina "aplicación de técnicas biológicas" se realizó durante el período de reposo del material vegetal, condición básica para su éxito.

Se reiteró el procedimiento de trabajo consistente en la construcción de un terraplén alrededor del área de trabajo y formar un "dique seco" con la ayuda de una bomba que mantenía las condiciones de ejecución de los trabajos. Las condiciones de congelamiento del río volvieron a repetirse, con menor duración a la registrada el año anterior, junto con una menor duración de obra. En cuanto a la obtención del material vegetal, la fuente fue la señalada para el año anterior.

## **6.3.- ETAPA DE OBRA AÑO 2003**

El funcionamiento de la obra de colchonetas realizada en los dos años anteriores siguió siendo bueno, al igual que las técnicas biológicas. El comportamiento de estas últimas, motivó la extensión de la aplicación hacia un sector que presentaba mayor profundidad, que había sido erosionado anualmente y con la misma frecuencia se había realizado perfilado del talud para mejorar la resistencia a la erosión.

Además, esta etapa de construcción de la obra se correspondía con el sector que el río presentaba mayor profundidad, y con una curva en la que, al mismo tiempo del avance erosivo sobre la margen, se verificaba el aumento progresivo de la margen opuesta por sedimentación.

El proyecto consideraba para este "sub tramo" la excavación de un "cauce aliviador", de modo tal que para caudales altos una parte importante escurriera por ese cauce y disminuyera la sollicitación sobre la margen. En esta oportunidad el inicio de obra fue más acorde a la mejor época de construcción de la obra y fue posible excavar el cauce proyectado y, dado el pronunciado estiaje que se registraba, se desvió temporalmente la totalidad del caudal del río. Esto permitió ejecutar un trabajo más completo, dado que Repsol YPF aceptó la propuesta realizada por GM&A, luego de lograr el desvío del río, que contemplaba la incorporación de una topadora para reconstituir el trazado en planta de la curva y uniformar el lecho del cauce en el sector, trabajos que se concretaron de acuerdo a lo previsto. En cuanto a la colocación de las colchonetas, se inició el trabajo de acuerdo a lo previsto, pero una típica crecida de otoño, cuyo origen son las lluvias en la alta cuenca, sobrepasó el cierre, inundó el sector en que se estaba trabajando y las colchonetas quedaron colocadas, pero careciendo de la costura adecuada.

El origen de los materiales (piedra para relleno de colchonetas, ramas y estacas de sauces) fue el mismo que los años anteriores.

## **6.4.- ETAPA DE OBRA AÑO 2004**

En lo referente a la obra ejecutada el año 2003, las colchonetas se comportaron en forma aceptable, considerando que las mismas carecían de las ataduras necesarias. Esto hizo necesario programar y realizar el acomodamiento y el correcto atado de las mismas. En cuanto a las técnicas biológicas, la parte de estas que se realizara sobre el sector en el que se apreciaba erosión de lecho, el hecho de carecer de una obra dura que estabilice el pie de talud provocó una falla significativa de la obra, lo que indicaba la necesidad de mejorar la solución en situaciones como

esta, en la que la intención de disminuir el costo de la obra minimizando la utilización de colchonetas, era incompatible con la resistencia a la erosión.

En cuanto a los plazos contractuales, en esta oportunidad Repsol YPF programó la iniciación de tareas acorde a los requerimientos técnicos, pudiéndose iniciar la colocación y llenado de colchonetas a partir de los primeros días del mes de marzo, finalizando esta parte de la obra hacia fines de abril, con caudales completamente compatibles con las obras en ejecución y aprovechando condiciones climáticas óptimas. El temprano inicio de los trabajos permitió desviar nuevamente el río, dado que la zona de trabajo se encontraba dentro del área de influencia, ampliando la sección del "cauce desviador" y excavando, posteriormente, un segundo cauce de desvío paralelo al anterior, para aumentar la sección de escurrimiento y evitar el avance del agua hacia zonas de trabajo, tal como sucediera el año anterior, en caso de registrarse una crecida.

En primer lugar se repararon las obras ejecutadas el año 2003, mejorando el relleno de las colchonetas, atando las mismas en forma correcta, y reubicando las que así lo necesitaran.

El material producto de la excavación de los cauces de desvío fue utilizado para realizar rellenos en sectores que la margen había sido erosionada y resultaba mas simple uniformar la curvatura por medio de relleno que por excavación, y a la vez colocar material granular sobre el suelo natural compuesto por limos en tales sectores erosionados.

En cuanto a las técnicas biológicas, la propuesta para esta etapa incluye la colocación de gaviones de 1.00 x 1.00 x 3.00 metros en coincidencia con los trenzados de ramas, principalmente en los sectores que presentan mayores profundidades y en el tramo que fracasara la ejecutada el año anterior, ya descripta. Esta parte de la obra está en ejecución y a la espera del completo reposo de la vegetación, a fin de iniciar el corte de las ramas y estacas necesarias.

## **7.- CONCLUSIONES**

La obra proyectada y construida ha cumplido satisfactoriamente con los objetivos y condiciones solicitados por Repsol YPF.

En cuanto al uso de colchonetas gavionadas de alambre galvanizado de malla hexagonal a doble torsión, las mismas no han sido utilizadas en condiciones severas como las que se utilizaron en este río, y se puede afirmar que la solución se ha comportado en forma aceptable ante procesos de congelamiento y descongelamiento del río. Sobre este punto es importante destacar que a medida que los bloques de hielo comienzan el proceso de ruptura impactan sobre la margen protegida con colchonetas y, en algunos casos, se ha producido la rotura localizada de la malla de alambre, lo que se repara con posterioridad al descenso de niveles del río.

En cuanto a las técnicas biológicas utilizadas sucede algo similar, ya que tampoco han sido utilizadas en estas latitudes. Al mismo tiempo se debe destacar que, si bien el clima presenta condiciones severas para el desarrollo aéreo de las especies utilizadas, se ha podido comprobar que el desarrollo radicular es excelente para cumplir con el objetivo de estabilizar la margen.

Al realizar la primer etapa de obra se esperaba que en el transcurso de un año se pudiera contar con material vegetal de esta etapa para la siguiente. Como se ha mencionado anteriormente, el desarrollo aéreo es lento y el desarrollo insuficiente para obtener material vegetal para la nueva etapa de obra.

Con respecto a la obra ejecutada en el corriente año, la aplicación de técnicas biológicas acompañadas por los gaviones de 1.00 x 1.00 x 3.00 metros en coincidencia con los "trenzados de ramas", se deberá esperar el paso de caudales del período de aguas altas para verificar su funcionamiento.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- 1.- BROWN, S. A. y CLYDE, E. S., Design of Rip Rap Revetment, Federal Highway Administration, McLean, USA, 1989.
- 2.- COMPAGNIE NATIONALE DU RHONE, Lucha Contra la Erosión de las Márgenes – La Ingeniería Biológica: Ejemplos de Obras e Investigación, 1996.
- 3.- GM&A, Estudio de Posibles Medidas Alternativas a Nivel de Inventario para Disminuir el Impacto ante Situaciones Extraordinarias. Cuenca del Río Senguerr. Provincias de Santa Cruz y del Chubut, Argentina, 2001.

- 4.- HECK, JORGE P. y Otros, Aplicación de Técnicas Biológicas al Control de Erosión de Márgenes - Sitio 300 RN-D Valle Azul, Departamento Provincial de Aguas, 1995.
- 5.- MACCAFERRI, Revestimientos Flexibles en Colchones Reno y Gaviones en Canales y Cursos de Agua Canalizados, S.P.A. Officine Maccaferri, 1981.
- 6.- MAYNORD, STEPHEN T., Practical Rip Rap Design, US Army Corp of Engineers, Vicksburg, 1978.
- 7.- MAZA ALVAREZ, JOSE ANTONIO, Erosión de Ríos y Obras de Protección, capítulo 13 del manual de Ingeniería de Ríos de la UNAM.
- 8.- POZO, Luis María, Plantación Experimental con Distintas Técnicas de Ingeniería Biológica Aplicada a la Estabilización de Márgenes - Isla 123 - Río Limay, Dirección de Bosques, Provincia de Neuquén, 1996.
- 9.- SOCIEDAD ARGENTINA DE MECANICA DE SUELOS, Análisis del Uso de Geotextiles en la Ingeniería Civil, Buenos Aires, 1991.

FOTOS OBRA AÑO 2001



FOTOS OBRA AÑO 2002



FOTOS OBRA AÑO 2003



TABLA 5-1

| PROG. | ELMIN  | Q<br>[m <sup>3</sup> /seg.] | C <sub>WSEL</sub> | V <sub>CH</sub><br>[m/seg.] | Q<br>[m <sup>3</sup> /seg.] | C <sub>WSEL</sub> | V <sub>CH</sub><br>[m/seg.] |
|-------|--------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 7383  | 325,88 | 470,00                      | 330,98            | 0,93                        | 600,00                      | 331,19            | 1,05                        |
| 6458  | 327,57 | 470,00                      | 331,21            | 0,93                        | 600,00                      | 331,44            | 1,02                        |
| 5683  | 328,19 | 470,00                      | 331,33            | 2,10                        | 600,00                      | 331,57            | 2,23                        |
| 4983  | 328,25 | 470,00                      | 331,86            | 1,55                        | 600,00                      | 332,10            | 1,75                        |
| 3963  | 329,48 | 470,00                      | 332,46            | 1,05                        | 600,00                      | 332,70            | 1,08                        |
| 3263  | 327,35 | 470,00                      | 333,02            | 1,59                        | 600,00                      | 333,20            | 1,68                        |
| 2693  | 329,69 | 470,00                      | 334,19            | 1,52                        | 600,00                      | 334,42            | 1,81                        |
| 2223  | 329,86 | 470,00                      | 334,66            | 1,59                        | 600,00 <td 334,95           | 1,85              |                             |
| 2038  | 329,76 | 470,00                      | 334,78            | 1,10                        | 600,00                      | 335,10            | 1,28                        |
| 1740  | 327,18 | 470,00                      | 334,84            | 1,43                        | 600,00                      | 335,16            | 1,67                        |
| 1282  | 331,12 | 470,00                      | 335,12            | 1,93                        | 600,00                      | 335,48            | 2,22                        |
| 1000  | 331,59 | 470,00                      | 335,35            | 1,12                        | 600,00                      | 335,77            | 1,24                        |
| 730   | 330,48 | 470,00                      | 335,43            | 1,45                        | 600,00                      | 335,84            | 1,55                        |
| 0     | 332,02 | 470,00                      | 336,08            | 1,23                        | 600,00                      | 336,39            | 1,23                        |

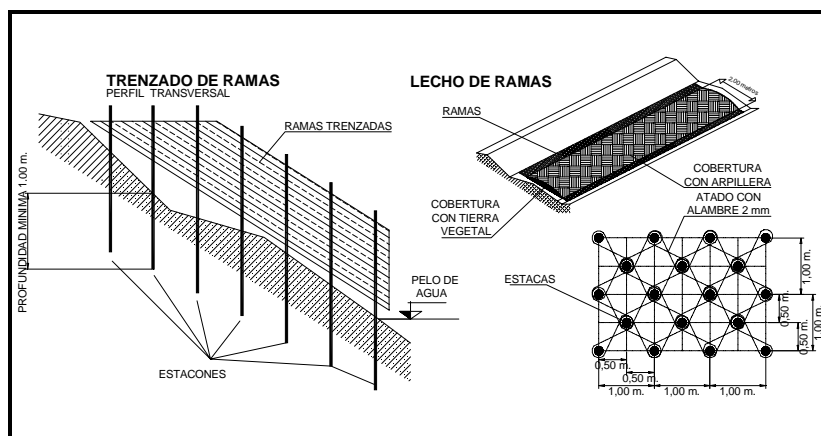


FIGURA 5-3-1