

ESTABILIZACIÓN DE MÁRGENES Y RECUPERACIÓN DE RIBERAS – ARROYO ÑIRECO – SAN CARLOS DE BARILOCHE

Jorge Pedro Heck y Marcelo Reverter⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento Provincial de Aguas, Provincia de Río Negro
Los Alerces 769 – R8324CFE Cipolletti - Río Negro – TE (0299) 478 - 3321
San Martín 249 -8500 Viedma – Río Negro – TE (02920) 421781
E-mail: jorgeheck@speedy.com.ar, mreverter@dpa.rionegro.gov.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra la solución adoptada para la estabilización de las márgenes del tramo inferior del arroyo Ñireco, en la ciudad de San Carlos de Bariloche, provincia de Río Negro, en el que el avance urbano sobre la planicie de inundación impone fuertes restricciones al escurrimiento de caudales extraordinarios. Para arribar a la solución se relevaron secciones transversales del arroyo, sobre la cuales se realizó la simulación del escurrimiento de los caudales extraordinarios para la situación actual y para la situación futura, con obras de corrección fluvial. En función de los resultados que arrojó el modelo matemático, se plantearon las obras que permitieran el escurrimiento sin afectación al área urbana adyacente ni a los puentes existentes, obteniéndose un conjunto de obras que armonizan el curso del arroyo con el área urbana.

ABSTRACT

The present report shows the solution adopted for the stabilization of the riverbanks of the inferior tract of the stream Ñireco, in San Carlos de Bariloche city, Río Negro State, in which the urban advance on the flood plain imposes strong restrictions to the flow of extraordinary discharges. To arrive to the solution traverse sections of the stream they were raised, on which was carried out the simulation of the discharges of the extraordinary flows for the current situation and for the future situation, with works of fluvial correction. In function of the results that it threw the mathematical pattern, they thought about the works that allowed the glide without affectation to the adjacent urban area neither the existent bridges, being obtained a group of works that you/they harmonize the course of the stream with the urban area.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de San Carlos de Bariloche se ha extendido en las últimas décadas, siendo esa expansión en forma sostenida y predominantemente en sentido Este – Oeste, alcanzando los márgenes del arroyo Ñireco y sometiendo a su planicie de inundación a la ocupación con asentamientos permanentes, resultando como consecuencia la restricción en la capacidad de conducción del curso, llegando en ciertos casos a limitar el flujo a anchos mínimos de 10 metros.

Cada vez con mayor frecuencia suceden eventos de crecidas que angustian a la población ribereña, poniendo en peligro viviendas e infraestructura urbana que han sido construidas en zonas que conforman el valle activo y cauce del río, sin tener en cuenta la función natural que esas áreas deben cumplir para la disipación de la energía transportada por la mezcla de agua y sedimentos.

Como antecedente más cercano se registra la crecida de octubre de año 2002, durante la cual fueron afectadas viviendas por destrucción total al erosionar la margen, como también el anegamiento por desbordes que dejaron a sectores de barrios bajo las aguas. También se produjo la destrucción de infraestructura urbana como puentes vehiculares y pasarelas peatonales, al resultar afectados los estribos y bases de apoyo de los mismos.

En el año 2004 se ha producido otro evento de crecida entre los días 29 y 30 de junio, donde se registraron en la región andina lluvias de intensidad en toda la cuenca, que originaron la fusión de la nieve acumulada y provocando un incremento considerable de las escorrentías de los ríos de la zona.

Todas las situaciones mencionadas generan la necesidad de proyectar una obra que permita el libre escurrimiento de las aguas sin afectación a las viviendas e infraestructura urbana, sobre cuya ejecución se detalla en el presente documento.

El presente estudio tiene por objeto la elaboración de un proyecto de obras de estabilización de márgenes y recuperación de las riberas del río Ñireco en el tramo inferior del mismo, en una longitud del orden de 3.000 metros. Este proyecto contempla la adecuación de la capacidad de conducción para los caudales fijados por el Departamento Provincial de Aguas (DPA), sobre la base de estudios previos indicados en las referencias bibliográficas.

El presente trabajo se apoya en un relevamiento planialtimétrico y topo batimétrico realizado por el Agrim. Ernesto Scavo.

Es importante destacar que el relevamiento representa los hechos existentes en el terreno, lo cual se pudo comprobar durante el reconocimiento del terreno realizado por el equipo responsable del presente trabajo. La posibilidad de contar con un relevamiento que, en principio, no genere dudas facilita el avance en la ejecución de las tareas que involucra el presente trabajo.

El trabajo requiere involucrar cuestiones relacionadas a un proyecto hidráulico de obras de contención de crecidas y protección de márgenes en un arroyo, considerando el ordenamiento del cauce en una zona urbana desde un punto de vista paisajístico, integrándolo a la vida de la población e incorporándolo al circuito turístico de la región.

El problema del manejo de ríos y arroyos en áreas urbanas está muy extendido a lo largo del país, y ocasiona dificultades en múltiples aspectos, tales como el social, económico y el ambiental, entre otros.

En efecto, en el caso de ríos y arroyos que atraviesan pueblos y ciudades, en casi todas las situaciones, las poblaciones se asientan en la planicie de inundación, ya sea por necesidad, por costumbre o por falta de planeamiento urbano local, siendo necesario, con el correr de los años, construir obras de contención de crecidas y de corrección de cauces. El beneficio obtenido en un tramo del río, en numerosas ocasiones significa un perjuicio para otro, resultando en general, obras muy costosas.

RECOPIACION Y ANALISIS DE ANTECEDENTES

Una cantidad importante de antecedentes fueron proporcionados por el Departamento Provincial de Aguas (DPA), entre los que se puede contar el proyecto “Estabilización de Cauce Recuperación de Riberas Río Quemquemtreu – El Bolsón”, y el anteproyecto “Estabilización de Cauce Recuperación de Riberas Arroyo Ñireco – San Carlos de Bariloche”, ambos elaborados en el ámbito del DPA.

Por otro lado se adquirieron las cartas topográficas publicadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM) en escala 1:50.000 denominadas 4172-23-1 San Carlos de Bariloche (fotocopia color), 4172-23-2 Nahuel Huapi (fotocopia color), 4172-23-3 Lago Gutiérrez (original) y 4172-23-4 Estancia El Cóndor (fotocopia color).

En cuanto a la búsqueda de información de tratamiento de ríos y arroyos de características similares, fue posible obtener dos trabajos. Uno es el “Estudio de Defensa Río Los Antiguos” elaborado por el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCyTH) en el año 1994, mientras que el restante es el “Ordenamiento y Control de Crecidas en el Arroyo Calafate” presentado en el Primer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos realizado en la sede del Instituto Nacional del Agua (INA) en Ezeiza en el año 2003, y elaborado por profesionales del citado instituto.

Asimismo se obtuvo una variedad de trabajos relacionados con el tema que se detallan en las Referencias Bibliográficas.

RECONOCIMIENTO DEL TERRENO

El reconocimiento del terreno fue realizado con posterioridad a la finalización de los trabajos de relevamiento planialtimétrico y topo batimétrico.

Durante dicho reconocimiento se obtuvieron fotografías de los distintos sectores del tramo que abarca el presente proyecto, algunas de las cuales se incorporan más adelante.

ANALISIS HIDRAULICO

En el presente punto se expone la modelación realizada de forma de simular la situación actual del arroyo Ñireco.

A continuación se describe el desarrollo de la tarea.

SOFTWARE EMPLEADO

Para la modelación matemática se utilizó el Programa de Computadora para Perfiles Hidráulicos HEC-RAS Versión 3.1.2 Abril 2004, desarrollado por el Hidrologic Engineering Center, dependiente del U.S. Army Corp of Engineers.

HEC-RAS es un software integrado por programas de análisis hidráulico, dentro del cual el usuario interactúa con el sistema a través de una interfase gráfica. El sistema contiene módulos de análisis hidráulico, almacenamiento de datos y presentación simple de gráficos y resultados. Ha sido diseñado para realizar cálculos hidráulicos unidimensionales para una red completa de canales naturales o artificiales.

Contiene tres módulos de análisis hidráulico unidimensional, destacándose que el elemento principal lo constituye el uso común de los datos geométricos y rutinas de cálculos hidráulicos, a lo cual se puede agregar que el sistema contiene diversas facilidades de diseño hidráulico a los que se puede hacer referencia toda vez que se calculan perfiles hidráulicos.

El módulo de cálculo en régimen permanente puede manejar una red completa de canales, un sistema dendrítico o un simple tramo de río. El cálculo de perfiles hidráulicos permite la modelación de flujos subcríticos, supercríticos y flujo de condiciones mixtas.

El procedimiento básico computacional está basado en la solución de la ecuación unidimensional de energía y las pérdidas de energía son evaluadas por medio de fricción (ecuación de Manning) y contracción / expansión. La ecuación de *momentum* es utilizada en situaciones donde el perfil es rápidamente variado, la que incluye el cálculo en régimen mixto (ej.: resalto hidráulico), puentes y evaluación de perfiles en zonas de confluencias.

Permite considerar en los cálculos los efectos de obstrucción del cauce tales como puentes, alcantarillas, presas y estructuras en la planicie de inundación.

El módulo hidrodinámico permite realizar la modelación en una red completa de canales abiertos con caudal variable en el tiempo, y ha sido desarrollado para realizar cálculos en régimen subcrítico. Los cálculos hidráulicos en secciones transversales, puentes, alcantarillas y otras obras hidráulicas, están incorporados a este módulo y además tiene la capacidad de modelar áreas de almacenamiento, vertederos, túneles, estaciones de bombeo, etc.

El módulo de transporte de sedimentos con fondo móvil no se aplicó en el presente trabajo, por lo que se omite su descripción.

SECCIONES TRANSVERSALES UTILIZADAS

Se utilizó la totalidad de las secciones transversales al arroyo relevadas. Las Figuras 1 a 4 muestran la planimetría del área de estudio con la ubicación de perfiles transversales y puntos mas destacados.

La numeración de perfiles indicada en los planos de relevamiento se realizó desde el extremo aguas arriba (con el perfil N° 1) hasta el extremo de aguas abajo (perfil N° 59). El software empleado para el análisis hidráulico tiene una rutina de numeración inversa a la utilizada en el relevamiento, por lo que se realizó una modificación, de acuerdo a lo que se muestra en la Tabla N° 1.

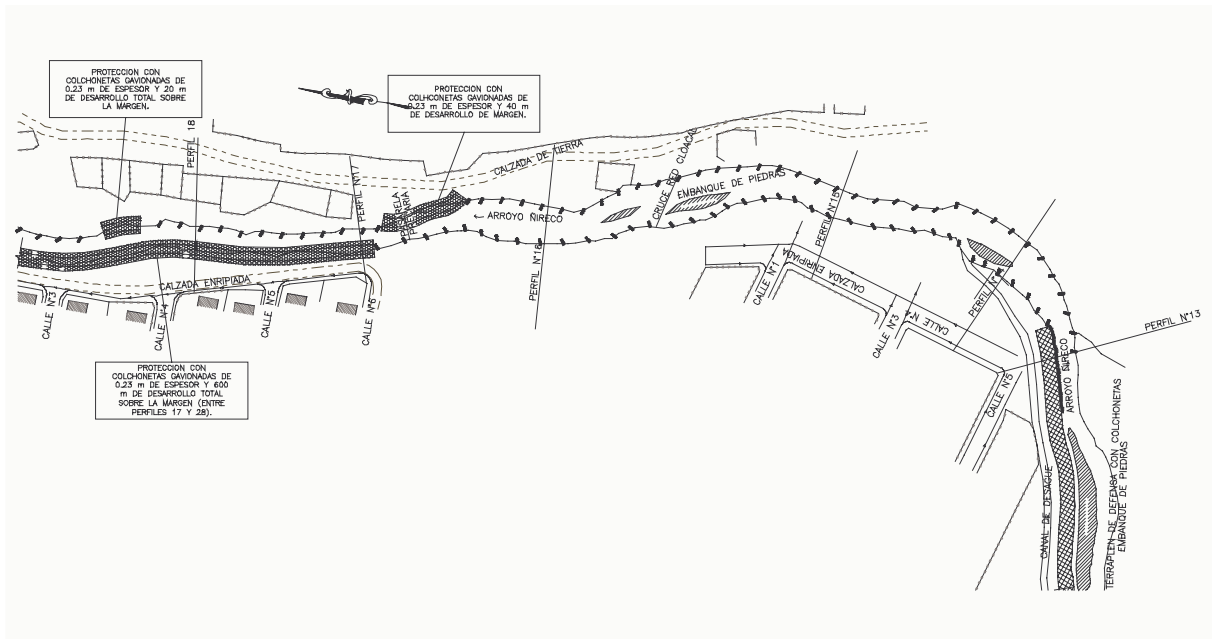


Figura 1.- Planimetría del área de estudio.

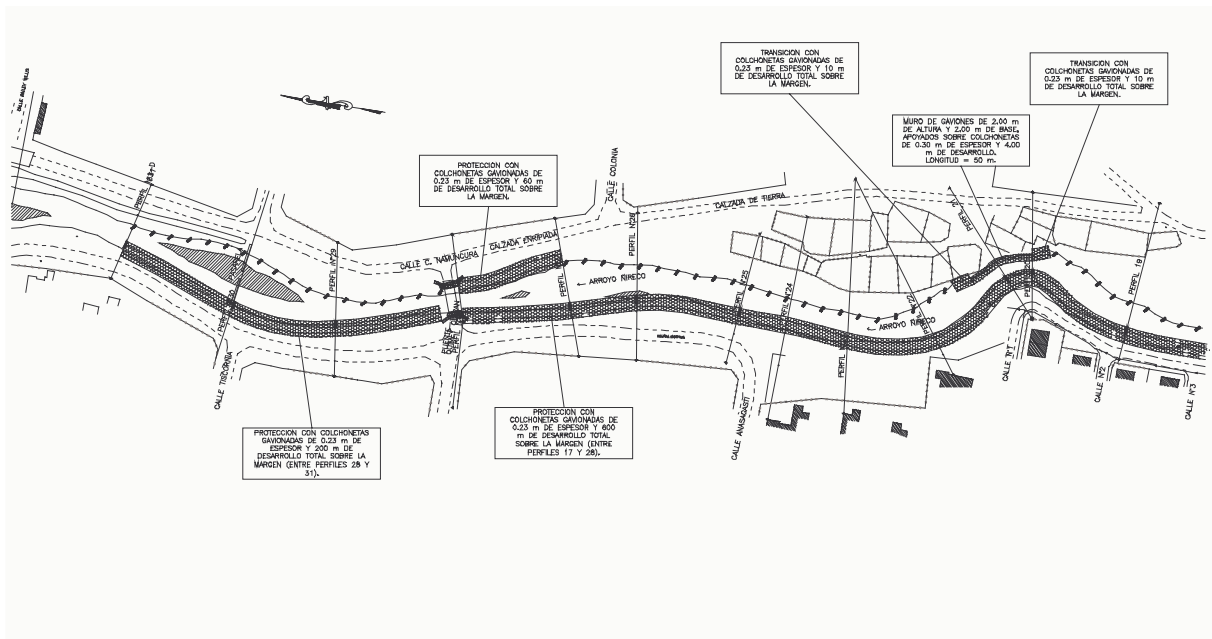


Figura 2.- Planimetría del área de estudio.

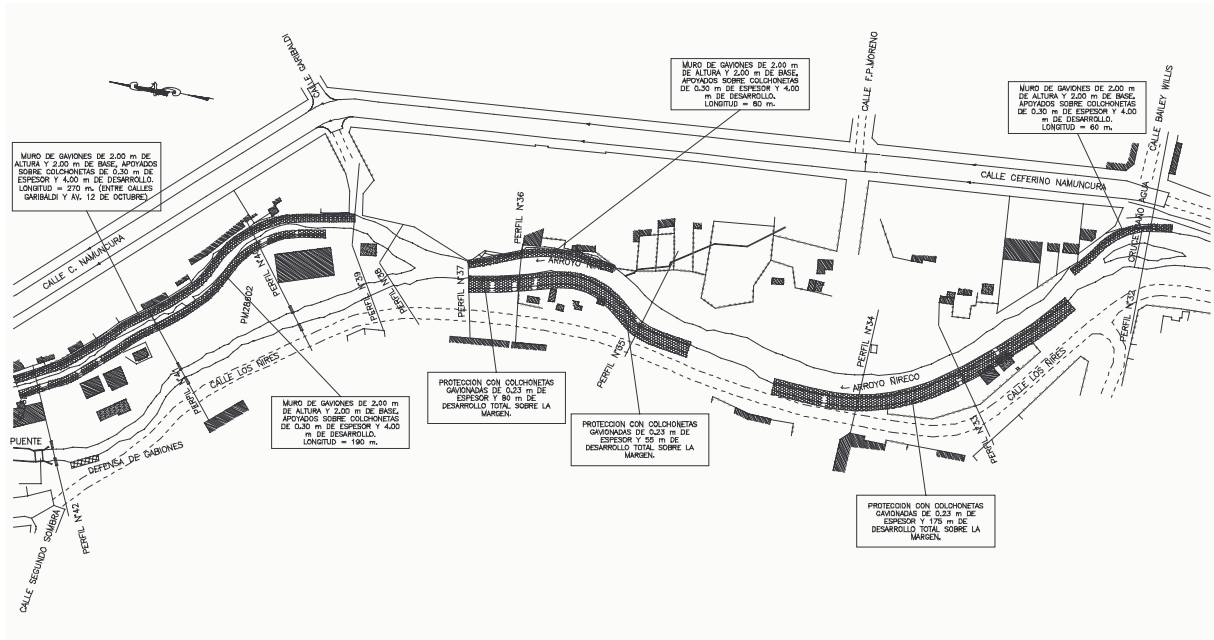


Figura 3.- Planimetría del área de estudio.

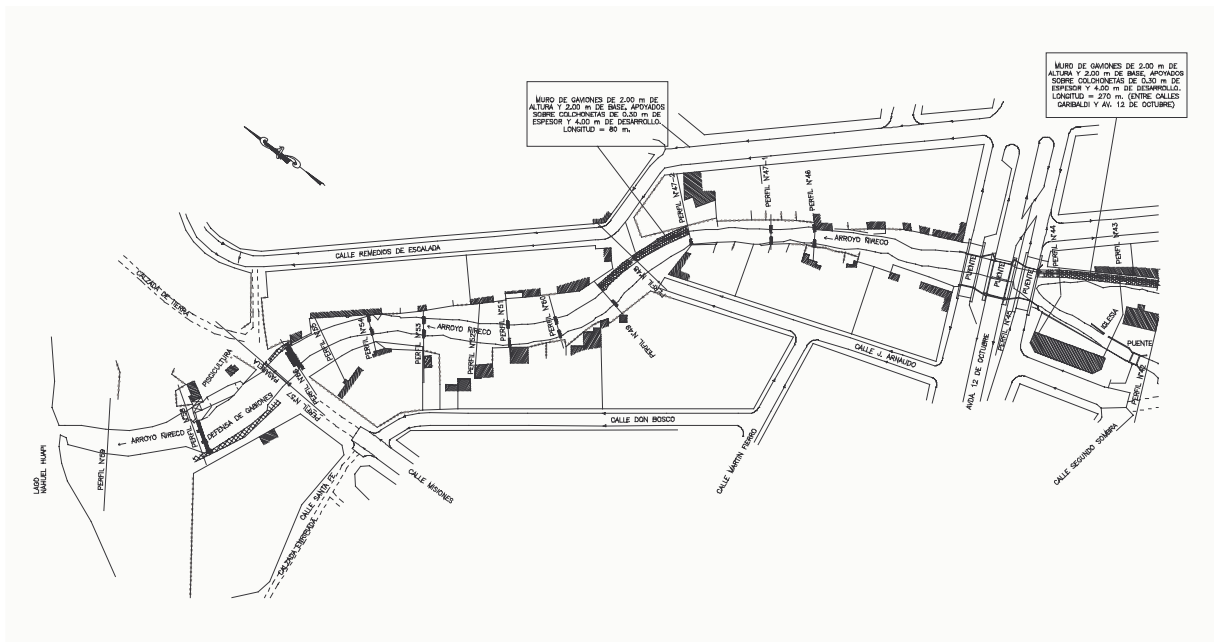


Figura 4.- Planimetría del área de estudio.

Tabla 1.- Numeración de Perfiles

Nº de Sección según Relevamiento	Nº de Perfil según Software Hidráulico	UBICACION	Nº de Sección según Relevamiento	Nº de Perfil según Software Hidráulico	UBICACION
59	10		34	730	
58	20 - 30	Trampa de peces	33	740	
57	40	Pasarela	32	750	Calle Bailey Willis
56	50	Cruce Cloacal	31	760	
55	60		30	770	Pasarela Peatonal
54	70		29	780	
53	80			790 – 800	Puente Quimey Quipan
52	90		28	810	
51	100		27	820	
50	110		26	830	
49	120		25	840	
48	130		24	850	
47-2	140		23	860	
47-1	150		22	870	
46	160		21	880	
	170 – 180	Puente Colectora Norte Av. 12 de Octubre	20	890	
	190 - 200	Puente Av. 12 de Octubre	19	900	
45	210		18	910	
	220	Puente Colectora Sur Av. 12 de Octubre	17	920	
44	300 (*)		16	930	
43	310 (*)		15	940	
	320 (*)	Puente Acceso Iglesia	14	950	
42	330 (*)		13	960	Fin Obra Existente
41	340 (*)		12	970	Inicio Obra Existente
40	350 (*)		11	980	
39	360 (*)		10	990	
38	370 (*)		9	1000	
44	500 (**)		8-3	1010	
43	510 (**)		8-2	1020	
42	520 (**)		8-1	1030	
41	530 (**)		7	1040	
40	540 (**)		6	1050	
39	550 (**)		5	1060	
38	560 (**)		4	1070	
37	700		3	1080	
36	710		2	1090	
35	720		1	1100	

(*): Brazo de margen izquierda.

(**): Brazo de margen derecha

La distancia entre los perfiles así definidos fue obtenida a partir de la planimetría del relevamiento realizado.

CAUDALES DE CÁLCULO – CONDICIONES DE BORDE

Sobre la configuración geométrica obtenida se deben simular los caudales correspondientes a los escenarios que se desea estudiar.

Los datos a aplicar se obtuvieron a partir del análisis del trabajo “Estudio Hidráulico Arroyo Ñireco” (C. Romero Mc Intosh, 1997), en el que se partió de un análisis estadístico de precipitaciones que sirvió de base para obtener tormentas de diseño con recurrencias de 10, 20, 50 y 100 años, con duraciones de 24, 48, 72, 96 y 120 horas.

A partir de esas tormentas y aplicando un modelo de análisis de procesos lluvia - escorrentía, se obtuvieron los hidrogramas correspondientes. Los resultados de ese trabajo se reproducen en la Tabla N° 2.

Tabla 2.- Caudales y Recurrencias

Recurrencia ⁽¹⁾ / Duración [años] / [horas]	Caudal Medio [m ³ /seg.]	Caudal Instantáneo ⁽²⁾ [m ³ /seg.]
10 / 24	13.50	22.38
20 / 24	15.70	26.03
50 / 24	18.70	31.00
100 / 24	20.90	34.65
10 / 120	18.70	31.00
20 / 120	21.80	36.14
50 / 120	25.70	42.61
100 / 120	28.60	47.42

(1) Las recurrencias corresponden a precipitaciones.

(2) El caudal instantáneo fue obtenido a partir de la expresión de Fuller.

Por otro lado, dentro del mismo trabajo se realizó un estudio estadístico vinculado a los niveles de la superficie libre del lago Nahuel Huapi, valores que serán utilizados como condición de borde del extremo de aguas abajo. Los resultados de ese trabajo se reproducen en la Tabla N° 3.

Tabla 3.- Niveles del Lago Nahuel Huapi.: Recurrencias

Recurrencia [años]	Niveles del Lago [m.s.n.m.]
2	767.63
5	768.29
10	769.15
20	768.73
50	769.69
100	770.10

En lo referente a la condición de borde de aguas abajo, los niveles del lago Nahuel Huapi mostrados en la Tabla N° 3 deben seleccionarse cuidadosamente. Se debe considerar que el ciclo hidrológico comienza en el mes de abril y que hacia los meses de junio y julio, en los que se han registrado el tipo de eventos que mayores daños han causado, no se deberían esperar los mayores niveles para el lago. Por ello, el hecho de analizar la crecida que corresponda a una precipitación de 100 años de recurrencia podría estar asociado a niveles del lago con recurrencias mucho menores (de acuerdo a lo indicado en la Tabla N° 3), dado que los mayores niveles se deberían producir al finalizar el período de deshielo, hacia los meses de diciembre y enero. A modo de ejemplo, una situación desfavorable podría asociar el caudal del arroyo Ñireco correspondiente a una precipitación de 100 años de recurrencia y niveles del lago con 50 años de recurrencia. De todos modos, la amplitud de la influencia del nivel del lago Nahuel Huapi se extiende hasta la trampa de peces, por lo que su influencia es irrelevante para la mayor proporción del tramo en estudio, por lo que se adoptó el nivel del lago para una recurrencia de 50 años para los distintos caudales simulados para el arroyo Ñireco.

De este modo, quedan definidas de las principales condiciones que requiere el modelo matemático, que son las de borde en los extremos de aguas arriba y abajo, adoptándose los caudales entrantes para la primera y los niveles del lago para la segunda. Se debe destacar que al estar alejado el perfil 1 de la zona de interés al presente proyecto (perfil 12 en adelante) la elección de la condición de borde de aguas arriba deja de tener influencia sobre los resultados de la zona que abarca el presente proyecto.

CALIBRACION

Para esta tarea se contó con datos de significativa importancia, como lo son las cotas de “resaca” obtenidas en el “Relevamiento Topo Batimétrico del Tramo Inferior del Arroyo Ñireco” (Carpeta 2 de 4), la “Estimación del Caudal en el Arroyo Ñireco en su Desembocadura para la Crecida ocurrida en Junio / Julio de 2004” elaborada por el área Planificación y Evaluación de Recursos Hídricos del Departamento Provincial de Aguas (Ing. Carlos Merg) y con el “Estudio Hidráulico Arroyo Ñireco” elaborado en julio de 1997.

Para iniciar la simulación de la situación actual se utilizó el valor de coeficiente de rugosidad que se adoptara en el “Estudio Hidráulico Arroyo Ñireco” (C. Mc Intosh, 1997), en virtud de que desde la fecha de elaboración de dicho informe hasta la actualidad no se han producido cambios que impliquen una significativa variación de la rugosidad. En el citado trabajo se concluye que “*se considera aceptable la utilización de un coeficiente $n = 0.055$. . .*” por lo que ese fue el valor utilizado inicialmente.

El caudal correspondiente a la crecida de junio / julio de 2004 fue estimado en el segundo de los trabajos mencionados, alcanzando un valor “confiable” de $41.37 \text{ m}^3/\text{seg.}$. Las “cotas de resaca” relevadas son las correspondientes a esta crecida.

Conocidas las cotas de “resaca” en coincidencia con distintos perfiles relevados, se procedió a aplicar el software con los parámetros en cuestión. Se debe destacar que se utilizó el módulo de régimen permanente, dado que para la situación en análisis se conocía un solo valor de caudal y se carecía del hidrograma correspondiente.

El resultado de niveles de la superficie libre del agua obtenidos con los parámetros indicados alcanzaron, en muchos perfiles, resultados alejados de las mediciones realizadas en el relevamiento. Ello llevó a analizar en detalle lo que mostraba el relevamiento de “resaca”, en el cual se indicaban algunos valores con la indicación de “dudosos”, asignándole menor importancia a las diferencias que se producía con estos valores “dudosos”.

Posteriormente se comenzó a variar los coeficientes de rugosidad de Manning, aumentándolos hasta los límites máximos indicados en la bibliografía (Chow, 1994), y en algunas secciones puntuales aumentándolos por encima de esos valores.

En estas condiciones se logró arribar a resultados mucho mas aproximados, aunque persisten las diferencias en algunos perfiles aislados.

Es importante aclarar acerca de las diferencias y de los resultados obtenidos. Con respecto a estos últimos, se buscó que los resultados de la simulación brindaran resultados que estuvieran por encima de las cotas de “resaca”, con la finalidad de colocar a estos resultados “del lado de la seguridad”. En cuanto a las diferencias que se mencionaron, la preocupación sobre estas radica en que los resultados de la simulación arrojan valores de la superficie libre del agua que se ubican muy por debajo de las cotas de “resaca”. Estas diferencias podrías originarse en “dudosos” datos de las cotas de “resaca” (es probable que las “resacas” relevadas se movieran por efecto de, por ejemplo, el viento) o en una subestimación del caudal de la crecida. Otro parámetro analizado es la velocidad de escurrimiento, cuyo valor medio para las secciones que presentan las mayores diferencias no escapa a valores normales para secciones cuyos resultados son muy cercanos a los relevados. Los casos puntuales analizados corresponden a las secciones 30, 40, 350, 820 y 850, que fueron las que mayores diferencias presentaron.

Alcanzado un mejor nivel de “aproximación”, se lo consideró válido y se utilizó la geometría con los valores de coeficientes de Manning, de contracción y expansión para la simulación del resto de las hipótesis de proyecto.

Los resultados pueden calificarse de aceptables bajo la hipótesis de la obtención de niveles de la superficie del agua que se ubiquen igual o por encima de las “cotas de resaca” relevadas, lo que está asociado a una mayoración de los coeficientes de rugosidad de Manning y, por ende, una disminución de las velocidades medias de escurrimiento. Es por ello que se planteó una hipótesis que, disminuyendo los valores de los coeficientes de rugosidad de Manning, se obtuvieran velocidades medias de escurrimiento mayores, con niveles de la superficie libre del agua por debajo de las “cotas de resaca” relevadas. De este modo se realizó la simulación correspondiente a esta hipótesis, y se obtuvieron resultados que también se emplearon en el diseño de la obra.

DESARROLLO DEL PROYECTO DE OBRAS

Una particularidad en la ocupación de la planicie de inundación del arroyo Ñireco se presenta en las construcciones que se ubican en el borde superior de las márgenes. Esto impone una restricción muy significativa a la hora de proyectar una sección hidráulica de paso del caudal de diseño, talud, tipo y dimensiones de las protecciones, etc..

Gran parte de las aguas pluviales de la zona urbana adyacente desagua por pendiente al cauce del arroyo Ñireco en forma natural. Sumado a ello, la municipalidad de San Carlos de Bariloche no cuenta con un proyecto de cordón cuneta de forma tal que esté planificada la evacuación de dichas aguas pluviales. Estos dos aspectos podrían ser un condicionante al momento de proyectar las obras, dado que podría ser necesario dimensionar un conducto o sistema pluvial paralelo al arroyo, con los correspondientes conductos de desagüe al arroyo y las válvulas que impidan el retorno. Esto último no ha sido considerado en el presente trabajo y el DPA considera que podría ser parte de un estudio posterior.

Las obras proyectadas son una excelente oportunidad para transformar al arroyo en un “parque lineal” que atraviesa la ciudad, permitiendo el acceso de la población al arroyo y revalorizando e integrando áreas deprimidas.

De esta forma, el arroyo se convierte en un espacio transitable, con características de “Paseo Urbano”, aportando a la ciudad un parque forestado con un microclima propio de alta calidad ambiental.

Al mismo tiempo las obras deben cumplir con condiciones hidráulicas, que son las que se detallan en el presente punto.

DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

El arroyo Ñireco en la zona que abarca el del presente trabajo tiene una extensión del orden de 3.000 metros. Su punto de inicio está en inmediaciones del Perfil 12, aguas arriba del barrio IPPV 150 Viviendas.

A lo largo del tramo en estudio, el arroyo presenta características particulares, que permitieron dividirlo, a su vez, en cuatro tramos:

TRAMO 1: Entre el Barrio IPPV 150 viviendas y el inicio de la Isla de la Iglesia, y que se denomina “tramo medio”.

TRAMO 2: Abarca el brazo de la margen derecha de la isla, motivo por el cual se lo denominó “brazo margen derecha”.

TRAMO 3: Es el brazo de margen izquierda de la isla y se lo denominó “brazo margen izquierda”.

TRAMO 4: Desde la formación del nuevo cauce único, aguas abajo de la isla de la Iglesia, hasta la desembocadura en el lago Nahuel Huapi. A este tramo se lo denominó “tramo inferior”.

Para el diseño de las obras en cada uno de los tramos se tuvo en cuenta lo previsto en el anteproyecto elaborado por el Departamento Provincial de Aguas en julio de 2004, los resultados de la simulación matemática para el caudal de diseño y la experiencia de obras similares obtenida a partir del análisis de antecedentes. Se detalla para cada uno de los tramos, las obras previstas.

Si bien el resultado de la verificación del funcionamiento hidráulico se expone posteriormente, la adopción de las soluciones se fue cargando al modelo matemático y verificando, para arribar a las que se exponen a continuación.

TRAMO MEDIO (TRAMO 1)

Dada la extensión de este tramo, el análisis se describe de acuerdo a las condiciones locales de cada sector, comenzando desde el extremo de aguas arriba.

a) Margen Izquierda entre perfil D-09 y D-10.

La obra de colchonetas existente en este sector se encuentra en condiciones aceptables.

Se pudo apreciar la falta de atirantamientos que vinculan la malla superior con la inferior que, en principio, no pondrían en peligro la estabilidad del conjunto. Además es visible una profundización del cauce que ha sido parcialmente absorbida por las colchonetas, aunque estas se presentan en posición vertical, considerada poco conveniente.

Para una velocidad del orden de 2,00 m/seg., se prevé la colocación de sacos gavionados vinculados entre sí y a la obra existente, a fin de disminuir la sollicitación sobre las colchonetas ubicadas en posición vertical.

Este trabajo se debe realizar en una longitud del orden de 60,00 metros., y deberá ser complementado con la excavación del “embarque de piedras“ relevado.

Se debe destacar que la excavación mencionada no contará con apoyo de resultados de modelación, por no existir un perfil transversal en el lugar.

El producto de la excavación deberá colocarse sobre margen derecha con un talud 1:2,5 con la finalidad de estabilizar este sector, lo que podría ser factible en virtud del tamaño de los sedimentos que forma el “embarque“ mencionado.

Esta excavación deberá tener inicio a 2,00 metros como mínimo del extremo inferior de la protección de colchonetas.

b) Ambas márgenes entre perfiles 13 (fin obra existente de colchonetas) y 17 (inicio de barrio IPPV 112 Viviendas)

Este sector presenta distintos tipos de problemáticas y, a la vez, estas se alternan en ambas márgenes, tales como procesos erosivos y de sedimentación.

Con respecto a la sedimentación, se deberá extraer los embanques en condiciones de caudales bajos, con el extremo cuidado de evitar la disminución de la tapada del cruce de la red cloacal relevada entre perfiles 15 y 16, donde la cota mínima de excavación podría ser 805,50.

El anteproyecto preveía una serie de trabajos, entre los cuales se encuentra una protección continua de colchonetas, en dos tramos de 85 y 65 metros de desarrollo sobre la margen.

La solución planteada para este sector esta mas asociada a una “sistematización fluvial”.que ha una superposición de obras continuas y restauración de riberas y consiste en la colocación de gaviones caja de 1,00 x 1,00 x 3,00 metros separados 10 metros, con “lecho de ramas” entre gaviones y “trenzados de ramas” en coincidencia de los gaviones. Los lechos de ramas se deberán construir sobre taludes con pendiente 2:1 (H:V). Los gaviones se colocarán con una inclinación de 70° en dirección aguas abajo. Los trenzados de ramas deberán extenderse hasta el extremo del gavión dentro del cauce.

Las Figura 5 muestra el tipo de solución que se propone, aplicada sobre un río de la Patagonia (J. Heck, 2004). La obra había sido recientemente construida al momento de obtener la fotografía, y se había registrado una crecida importante, que generó la acumulación de sedimentos. Se debe aclarar que, en el caso del arroyo Ñireco, no sería esperable una sedimentación del mismo grado que la se aprecia en las fotografías adjuntas.



Figura 5.- Obra de estabilización con Gaviones y aplicación de “Técnicas Biológicas”

A esta solución se le puede adicionar la colocación de otras especies sobre el talud perfilado con pendiente 2:1 (H:V), de tipo gramíneas (cortaderas) o arbustos autóctonos.

La torre de alta tensión ubicada sobre la margen derecha e inmediatamente aguas arriba del perfil 17 deberá ser protegida mediante la construcción de una obra continua de colchonetas gavionadas, de 0.23 metros de espesor, 9.00 metros de desarrollo sobre talud (2.00 metros de pie de talud, 5 metros de talud con pendiente 2:1 (H:V) y 2.00 metros sobre la parte superior de la margen en forma horizontal) y 40 metros de desarrollo sobre la margen, completando una superficie de colchonetas de 360 m² y 200 m² de geotextil (de 150 gr./m² a colocar debajo de las colchonetas sobre el desarrollo del talud). Se colocarán gaviones a modo de “empotramiento” en los extremos de la protección, de acuerdo a lo mostrado en la Figura 5, siendo necesaria la colocación de 10 m³ de gaviones y 30 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar debajo de los gaviones).

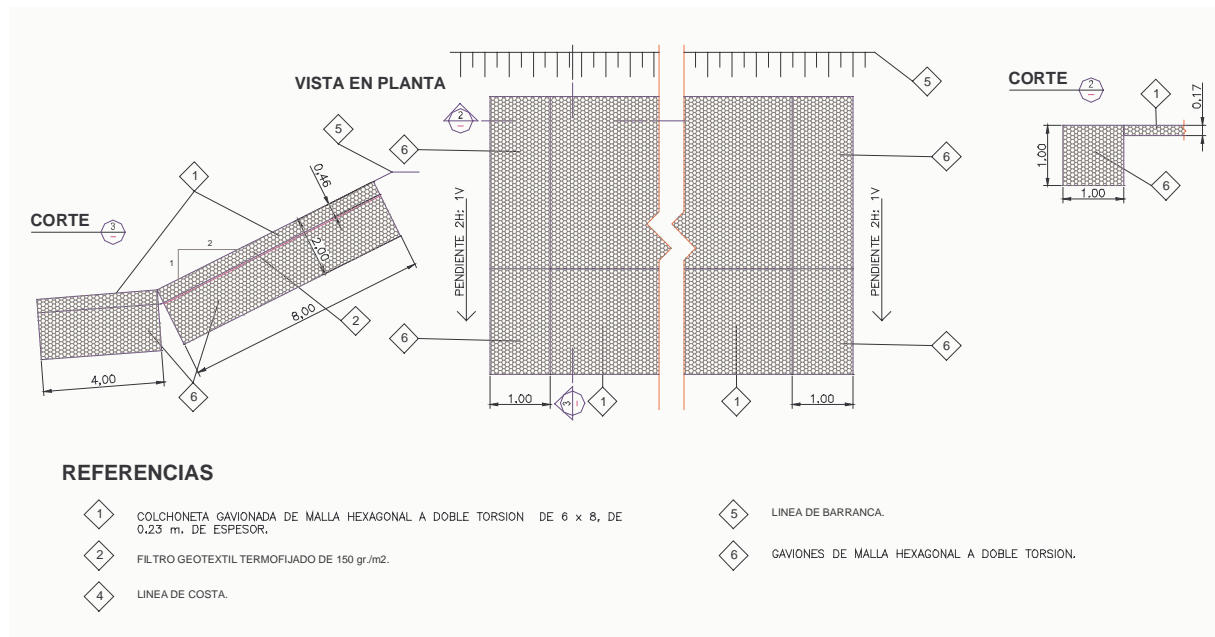


Figura 6.- Detalle de “empotramiento” de la obra de colchonetas

En los sectores que se verifica el desborde del arroyo se prevé la construcción de terraplén de materiales sueltos.

La excavación de embanques es el complemento para este sector.

c) Tramo entre perfiles 17 y 28 (Puente Quimey Quipan)

El anteproyecto preveía, sobre margen izquierda, la construcción de una protección continua de colchonetas, la que se adopta como solución. Esta protección será de colchonetas de 0.23 metros de espesor, 600 metros de longitud sobre la margen, con desarrollos sobre el perfil transversal de 8 a 10 metros, completando una superficie de colchonetas de 5.400 m² y 3.000 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar debajo de las colchonetas sobre el desarrollo del talud).

Para la margen derecha se previó realizar trabajos de “restauración de riberas” y, en todo el tramo, la colocación de gaviones de 3.00 x 1.00 x 1.00 sumado a lechos y trenzados de ramas. Estos lugares se definieron a partir de la simulación matemática, habiéndose colocado “espigones” formados por gaviones de 4.00 x 1.00 x 1.00 metros, en dirección perpendicular a la corriente, en coincidencia con los perfiles 18, 19, 20, 21, 25, 26 y 27. Se debe destacar que estos “espigones” se colocan solamente sobre la margen izquierda, dado que sobre margen derecha se adoptó una solución similar a la expuesta en b), para los sectores que no cuentan con una protección de tipo “dura”.

Inmediatamente aguas abajo del perfil 18, se ha desarrollado un proceso erosivo localizado causado por la presencia de “una roca” (ver Figura 7). En el lugar se deberá extraer “la roca” y recomponer la margen, perfilando con excavación y relleno a una pendiente 1:2 y protegiendo con colchonetas en un desarrollo de 20 metros de margen y 9.00 metros de desarrollo sobre talud. Se colocarán gaviones a modo de “empotramiento” en los extremos de la protección, de acuerdo a lo mostrado en la Figura 5, siendo necesaria la colocación de 10 m³ de gaviones y 30 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar debajo de los gaviones).

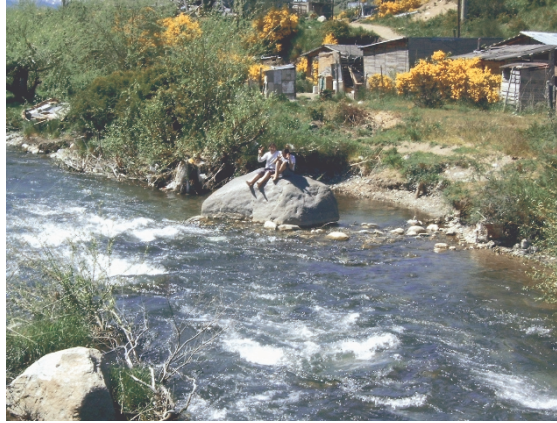


Figura 7.- Se aprecia los efectos erosivos causados por la presencia de un elemento rocoso de grandes dimensiones

En la zona de influencia de los perfiles 20 y 21, el arroyo presenta una de las curvas de menor radio, situación que ha favorecido el desarrollado de un proceso erosivo muy importante sobre la margen, con deslizamiento de la misma (que se muestra en la Figura 8).

Para este sector, la protección de la margen estará formada por un muro de gaviones de 2,00 metros de altura, 2.00 metros de ancho en la base, colocados sobre colchonetas de 4,00 metros de longitud y 0,30 metros de espesor. En ambos extremos del muro de gaviones y a modo de transición en los sectores de barranca de menor altura se construirán 10,00 metros de protección (medidos a lo largo de la margen) con colchonetas de 0.23 metros de espesor, con pendiente 2:1 (H:V) y desarrollo sobre el perfil transversal de 9.00 metros, completando una superficie de colchonetas de 180 m² y 100 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar debajo de las colchonetas sobre el desarrollo del talud). Se colocarán gaviones a modo de “empotramiento” en los extremos de la protección, siendo necesaria la colocación de 10 m³ de gaviones y 30 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar debajo de los gaviones).



Figura 8.- Sector erosionado de margen derecha con deslizamiento del talud

El muro de gaviones tendrá una longitud de 50 metros y con las dimensiones indicadas demanda la utilización de 150 m³ de gaviones y 200 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar entre la cara vertical de los gaviones y 1.00 metro debajo de las colchonetas). Detrás del muro se deberá rellenar con material granular con un talud 2:1 (H:V).

Finalmente, sobre un tramo de 60 metros aguas arriba del puente Quimey Quipan, se protegerá la margen (derecha) con una obra colchonetas gavionadas similar a la margen izquierda, con la finalidad de mantener las condiciones de estabilidad en ambos márgenes dado que la aceleración del escurrimiento podría favorecer el desarrollo de procesos erosivos sobre márgenes sin protección. Esta protección tendrá un desarrollo sobre la margen de 60.00 metros, con desarrollo sobre el perfil transversal de 8.00 a 10.00 metros, completando una superficie de colchonetas de 540 m² y 280 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar debajo de las colchonetas sobre el desarrollo del talud). En el extremo de aguas arriba de esta protección se colocarán gaviones a modo de “empotramiento” de acuerdo a lo mostrado en la Figura 5, siendo necesaria la colocación de 5 m³ de gaviones y 15 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar debajo de los gaviones).

Los trabajos de terraplén en los sectores necesarios y excavaciones de cauce donde se presentan embanques, también se prevén en este tramo.

d) Tramo entre perfiles 28 (Puente Quimey Quipan) y 31 (30: Pasarela “Tiscornia”).

Sobre la margen izquierda, todo el tramo requiere protección con colchonetas y terraplén, del mismo modo que estaba previsto en el anteproyecto. La longitud es de 200 metros medidos sobre la margen y se colocarán colchonetas de 0.23 metros de espesor y desarrollos en el perfil transversal de 9,00 a 10,00 metros, completando una superficie de colchonetas de 1.800 m² y 1.000 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar debajo de las colchonetas sobre el desarrollo del talud).

En la zona de la pasarela se deberá realizar tareas de excavación de cauce, siendo el punto de mayor importancia el sector de la pasarela de la calle Tiscornia (Perfil 30).

Por el lado de la margen derecha, se deberá perfilar la margen con talud 2:1 (H:V), colocar gaviones con trenzados y lechos de ramas de acuerdo a la descripción realizada en b). Algunos sectores requieren la construcción de un terraplén para evitar desbordes o la adecuación del existente.

Las velocidades de escurrimiento superiores a 2.00 m/seg., en algunos sectores, indican la necesidad de construir “espigones” para reducir la misma. La simulación del escurrimiento arrojó como resultado que colocando gaviones de 4.00 x 1.00 x 1.00 en coincidencia con los perfiles 29, 30 y 31 el escurrimiento se produce con velocidades inferiores a la mencionada.

e) Entre perfiles 31 y 32.

En el tramo las velocidades de escurrimiento alcanzan valores por debajo de los 2,00 m/seg., con márgenes sin vegetación y taludes tendidos con apariencia estable que no requieren, en principio, de obra de estabilización alguna.

En la zona de influencia del perfil 32 existe un banco de material granular y cruzan el arroyo una cañería de agua potable y una de gas. La cota inferior relevada para la primera es 789.31, mientras que para la segunda es 788,97. Es por ello que deberá excavarse el banco hasta una cota 789,40 como máximo.

f) Entre perfiles 32 y 35.

Inmediatamente aguas abajo del perfil 32 y sobre la margen derecha, se desarrolla un proceso erosivo que podría afectar aún mas a las propiedades inmuebles adyacentes al cauce del arroyo (Ver Figura 9).



Figura 9.- Sector erosionado de margen derecha con afectación de inmuebles

Para este sector de protección de la margen estará formada por un muro de gaviones de 2,00 metros de altura, 2,00 metros de ancho en la base, colocados sobre colchonetas de 4,00 metros de longitud y 0,30 metros de espesor.

El muro de gaviones tendrá una longitud de 60 metros y con las dimensiones indicadas demanda la utilización de 180 m³ de gaviones y 240 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar entre la cara vertical de los gaviones y 1,00 metro debajo de las colchonetas). Detrás del muro se deberá rellenar con material granular con un talud 2:1 (H:V).

En el resto de la margen derecha hasta el perfil 35, deberá realizarse un trabajo de restauración de ribera, que consistirá en la extracción de residuos de área, el relleno de zonas bajas con suelo con alto contenido de materia orgánica y la plantación de especies arbustivas y arbóreas nativas.

Sobre la margen izquierda se verifica un proceso erosivo intenso que demanda el control mediante una obra continua de colchonetas, que tendrá una longitud de 230 metros, en dos tramos de 175 y 55 metros respectivamente, con un tramo intermedio en el que se deberá colocar material proveniente de la excavación de bancos existentes en el tramo. Se colocarán colchonetas de 0,23 metros de espesor y desarrollos en el perfil transversal de 9,00 metros, completando una superficie de colchonetas de 2.100 m² y 1.200 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar debajo de las colchonetas sobre el desarrollo del talud). Se colocarán gaviones a modo de “empotramiento” en los extremos de la protección, de acuerdo a lo mostrado en la Figura 5, siendo necesaria la colocación de 20 m³ de gaviones y 60 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar debajo de los gaviones).

Se debe destacar que, además de los bancos de sedimentos mencionados, existen elementos rocosos de tamaño importante que generan obstrucciones al escurrimiento, que deberán extraerse del cauce.

g) Entre perfiles 35 y 38

Sobre la margen derecha, en inmediaciones del perfil 37, se aprecia un proceso erosivo que afecta edificaciones ubicadas en la margen, que requieren la estabilización mediante un muro de gaviones cuya longitud es de 80 metros. Este muro tendrá las mismas características que los descritos anteriormente, es decir, 2,00 metros de altura total, 2,00 metros de ancho en la base y colocados sobre colchonetas de 0,30 metros de espesor y de 4,00 metros de desarrollo apoyadas en el lecho.

El muro de gaviones tendrá una longitud de 80 metros y con las dimensiones indicadas demanda la utilización de 240 m³ de gaviones y 320 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar entre la cara vertical de los gaviones y 1,00 metro debajo de las colchonetas).

Sobre el resto de la margen derecha se deberá realizar un trabajo de restauración de riberas, que incluye limpieza, el relleno de zonas bajas con suelo con alto contenido de materia orgánica y plantación de especies nativas.

Por el lado de la margen izquierda, si bien el proceso erosivo que demanda la obra de margen derecha concentra su solicitación sobre esta margen, la zona presenta barrancas altas y constituidas por material erosionable, sumado a altas velocidades de escurrimiento, que motivan la necesidad de proyectar una obra de colchonetas en esta margen, frente al muro de gaviones. Se colocarán colchonetas de 0.23 metros de espesor y desarrollos en el perfil transversal de 9,00 a 10,00 metros, completando una superficie de colchonetas de 750 m² y 400 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar debajo de las colchonetas sobre el desarrollo del talud). Se colocarán gaviones a modo de “empotramiento” en los extremos de la protección, de acuerdo a lo mostrado en la Figura 5, siendo necesaria la colocación de 10 m³ de gaviones y 30 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar debajo de los gaviones)

Del mismo modo que la margen derecha, el resto del tramo deberá estar sujeto a trabajos de restauración de ribera.

Se deberá excavar los sedimentos del cauce, debiéndose resaltar la presencia de elementos rocosos de gran tamaño.

TRAMO DE MARGEN DERECHA (TRAMO)

Sobre el brazo de margen derecha el anteproyecto desarrollado por el DPA en julio 2004 preveía la construcción de un muro de gaviones sobre la margen derecha de este brazo, espigones y restauración de riberas.

Las velocidades obtenidas por medio de la modelación matemática muestran valores inferiores a 1,70 m/seg., en el tramo inferior, pero la mitad de aguas arriba requiere la construcción de espigones, dado que los mismos disminuyen la velocidad media de escurrimiento. Se definió la necesidad de colocar “espigones” en coincidencia con el perfil 41.

En cuanto al muro de gaviones, en principio se muestra como una obra necesaria con la finalidad de controlar el avance erosivo hacia las propiedades existentes sobre margen derecha, y al mismo tiempo, permitiría acceder a la margen del arroyo que presentaría condiciones de “paseo“, entre la Avenida 12 de Octubre y la calle Garibaldi. Sobre margen izquierda el muro se construirá desde aguas arriba del perfil 40 hasta el perfil 42

El muro proyectado tendrá una longitud de 270 metros. Sus dimensiones en la sección transversal serán de 2,00 metros de altura, 1,00 metro de ancho en el coronamiento y 2,00 metros de ancho en la base, apoyado sobre colchonetas de 4,00 x 2,00 x 0,30 metros. En el sector se genera una obstrucción de cauce importante que, necesariamente, debe ir acompañada por una excavación en la margen izquierda del brazo, a fin de mejorar el área de escurrimiento. Se debe tener en cuenta que esta sección es la que mayor velocidad de escurrimiento mostró en el resultado de la simulación, por lo que se proyecta un muro de idénticas características sobre la margen izquierda, cuyo desarrollo paralelo al eje del brazo será de 190,00 metros. La altura del muro en el perfil 41 será de 1,50 metros sobre las colchonetas, mientras que en los perfiles 40 y 42 será de 2,00 metros, por lo que irá acompañando el desnivel del terreno natural.

El muro de gaviones tendrá una longitud de 270 metros en margen derecha y 190 metros en margen izquierda, y con las dimensiones indicadas demanda la utilización de 1380 m³ de gaviones y 1840 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar entre la cara vertical de los gaviones y 1.00 metro debajo de las colchonetas). En cuanto a las colchonetas, será necesario colocar 1840 m², teniendo en cuenta que tienen 0.30 metros de espesor.

En el sector existen árboles, algunos de los cuales, probablemente, deba ser extraído para la construcción de la obra y deberá ser repuesto con especies similares al finalizar la misma. En los sectores en que las propiedades de margen derecha presentan singularidades tales como ventanas, puertas, etc., la obra deberá adaptarse a las mismas.

TRAMO DE MARGEN IZQUIERDA (TRAMO)

En el reconocimiento no se observaron erosiones que demanden protección. La pendiente del lecho tiene valores máximos de 2,65% y mínimos de 1,67%.

Este tramo presenta velocidad media de escurrimiento para la crecida de diseño en el orden de los 2,00 m/seg.; a excepción del puente de acceso a la isla donde se supera ampliamente ese valor, que tiene una sección por demás reducida y en inmediaciones del mismo el flujo se acelera. Lo expuesto hace prever que no será necesario proyectar obras de envergadura, a excepción del cambio del puente de acceso a la iglesia y “espigones” para control de la velocidad media de escurrimiento, mientras que en el tramo solamente se deberá considerar la necesidad de realizar trabajos mínimos de restauración de ribera y excavación de cauce para extracción de elementos rocosos de tamaños importantes que generan una importante obstrucción al escurrimiento.

En cuanto a la modificación del puente de acceso a la iglesia, el máximo nivel de superficie libre del agua calculada es 780,38 y se considera que para esta situación, el fondo de viga se debería encontrar a 0,50 metros por encima del pelo de agua. Por lo expuesto, se **RECOMIENDA** el cambio del puente por otro cuya cota de fondo de viga sea 780,88 o superior, y sus estribos deberían encontrarse fuera del cauce. En estas condiciones, la luz libre entre apoyos del puente deberá ser mayor a 12,65 metros.

El desnivel entre la rasante del puente y el terreno natural en la isla deberá ser salvado mediante relleno.

Para simular el escurrimiento de la situación “arroyo Ñireco con obras” se elimina el puente y se introduce la restricción de desborde hacia la margen derecha con cota 780,88 (fondo de viga) a fin de verificar que en tales condiciones (adversas para el futuro puente) el nivel del agua se encuentra con la revancha deseada para el máximo caudal de diseño.

Los “espigones” mencionados anteriormente para el control de la velocidad media de escurrimiento para el caudal de diseño se colocaron en coincidencia con los perfiles 40, 41 y 42. En los dos primeros se deberá colocar un gavión de 4.00 x 1.00 x 1.00 en margen izquierda y uno de 3.00 x 1.00 x 1.00 en margen derecha, mientras que en el perfil 42 se colocará un gavión de 3.00 x 1.00 x 1.00 en cada margen.

TRAMO INFERIOR (TRAMO)

En este tramo los tipos de obras que se plantearon son las siguientes:

- 1) Protección contra erosiones.
- 2) Umbrales para reducción de velocidad de escurrimiento.
- 3) Tareas de recuperación de riberas.
- 4) Excavación de cauce para aumento de sección de escurrimiento.

1) Fue prevista en el anteproyecto en la margen derecha, en proximidad a la calle Remedios de Escalada y abarca la zona de perfiles 47-2, 48 y 49, con un desarrollo del orden de 80 metros, compuesto por una colchoneta de 0,30 metros de espesor y muro vertical de gaviones de 2,00 metros de altura y 2.00 metros de ancho en la base. En el perfil 47-2, este muro se deberá complementar con una colchoneta de 2.00 metros de ancho y 0.50 metros de espesor en el coronamiento. Se deberá rellenar por detrás de los gaviones hasta la cota de coronamiento del mismo.

El muro de gaviones tendrá una longitud de 80 metros en margen derecha, y con las dimensiones indicadas demanda la utilización de 260 m³ de gaviones y 320 m² de geotextil (de 150 gr. /m² a colocar entre la cara vertical de los gaviones y 1.00 metro debajo de las colchonetas). En cuanto a las colchonetas, será necesario colocar 320 m², teniendo en cuenta que tienen 0.30 metros de espesor.

2) En lo referente a los umbrales, se planteo la colocación de los mismos en los perfiles 56, 54, 53, 51, 50, 49, 47-2, 47-1 y 46.

El primero de los mencionados ocupa el ancho total del cauce, de forma tal que funcione como protección de la colectora cloacal, lo que genera una sobre elevación hacia aguas arriba que se controla con la construcción de terraplenes. La protección de la colectora estará formada por una colchoneta gavionada de 0.23 metros de espesor, anclada en el extremo de aguas arriba en gaviones de 1.00 m² de sección.

3) La excavación de la sección se determinó para cada uno de los perfiles transversales del tramo.

4) Los trabajos de “recuperación de riberas” son limitados en este tramo. La sección 46 tiene escaso espacio para la definición de una zona de ribera, por lo que se plantea la siguiente solución:

- a) Entre el puente de la calle 12 de Octubre y el perfil 46, se realizará una limpieza consistente en el “corte” de la vegetación herbácea y arbustiva a un nivel de 0,10 m sobre el terreno natural.
- b) Entre el perfil 46 y 47-2; 49 a 56: sobre margen derecha se realizarán rellenos con suelo vegetal y se realizará el corte de ramas de árboles que impiden caminar por el sector.
- c) Entre 47-2 y 56: Sobre la margen izquierda se realizará el corte vegetación de características similares al descripto en a) complementado con el relleno mencionado en b).
- d) Aguas abajo del perfil 56 se mantendrá la situación actual, cambiando sobre margen izquierda los árboles que se han secado hasta el perfil 58 en margen izquierda, mientras que en margen derecha no se prevé la ejecución de trabajos dado que se encuentra la “piscicultura” y el acceso a la pasarela.

Finalmente se debe destacar que el tramo comprendido entre el perfil 56 y la trampa de peces ya cuenta con una protección en la margen izquierda, mientras que en la margen derecha se encuentra el edificio de la piscicultura. En cuanto a la trampa de peces, se considera apropiado realizar modificaciones, pero estas deben ser compatibles con el funcionamiento como “trampa” que excede el alcance del presente trabajo.

MEMORIA DE CALCULO DE LAS OBRAS

GENERALIDADES

Es muy importante destacar que la denominación de "proyecto", no está asociada a un proyecto que, implementado no requiera de un seguimiento, observación y consecuentes acciones correctivas y de mantenimiento de las obras. Lo expresado es de singular aplicación en obras emplazadas en el entorno de un río no regulado, en el que se conjugan situaciones hidrológicas e hidráulicas en un ambiente natural que no ha logrado su equilibrio.

Además deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos relacionados a:

* Que la actividad morfológica del río está asociada a factores vinculados a tramos de río superiores e inferiores al de estudio en que se emplazan el gasoducto y su obra de protección.

* Que los cambios descriptos no siempre resultan de fácil cuantificación.

El seguimiento y la observación deben concentrarse en verificar:

- Las cotas máximas en instancias de producirse crecidas.
- La aparición de potenciales procesos erosivos.
- El comportamiento de la obra, tanto ante crecidas como ante severos estiajes y los niveles de agua asociados.

CALCULO DE LOS COMPONENTES DE LA OBRA PROYECTADA

La obra que se diseña está formada por diversos componentes como protección continua de colchonetas, muros de gaviones, protección con sacos gavionados y gaviones colocados en el cauce a modo de "espigones".

Cada uno de los componentes mencionados fue motivo de un cálculo que se desarrolla a continuación, estando asociado a cada uno de los tramos en que se estudió la obra y con la obra que se definió en cada sector de estos tramos.

TRAMO MEDIO

a) Margen izquierda entre perfiles D-09 y D-10

En este caso se colocarán sacos gavionados de 4.00 metros de longitud y 0.65 metros de diámetro, que en su posición definitiva alcanzan una altura final de 0.50 metros.

El cálculo en este caso está relacionado con la estabilidad al arrastre, considerando al saco como un elemento aislado.

Los datos para el cálculo son los siguientes:

g_p : Peso específico del material de relleno de los sacos. Considerando que se utilizará piedra bocha de la zona, es aceptable un valor de $2.65 \text{ tn} / \text{m}^3$.

e : Porcentaje de vacíos en el saco lleno. Los fabricantes recomiendan la adopción de un valor de 0.3 (eso equivale a que el 30% del volumen del saco corresponde a vacíos).

A partir de los valores anteriores, se obtiene el peso específico del saco gavionado lleno (g_{SG}) del siguiente modo:

$$g_{SG} = g_P (1-e) \rightarrow g_{SG} = 1,855 \text{ tn/m}^3$$

Para el cálculo de la estabilidad al arrastre se adoptan los parámetros hidráulicos correspondientes al perfil 13 (Sección 960):

$$\begin{aligned} v &= 1.80 \text{ m/seg.} && \text{(Velocidad media del escurrimiento).} \\ h &= 1.90 \text{ metros} && \text{(Tirante)} \\ F &= 0.58 && \text{(Número de Froude)} \\ i &= 0.0188 && \text{(pendiente de la línea de energía. Se adopta el mayor entre los valores} \\ &&& \text{del tramo de aguas arriba y abajo del perfil)} \end{aligned}$$

Se considera al saco gavionado colocado transversalmente a la corriente, con un área expuesta de 4.00 metros de largo y 0.50 metros de altura, apoyado sobre el lecho del arroyo.

En estas condiciones el arrastre (R) se obtendrá como producto de la tensión de arrastre τ y el área expuesta del saco:

$$R = \tau * A = g_w * i * h * A \rightarrow R = 71.44 \text{ Kg.}$$

El peso del saco es de 2462 Kg., considerando el peso del relleno calculado anteriormente y las dimensiones del mismo.

El coeficiente de seguridad al arrastre será el cociente entre la fuerza estabilizadora (peso del saco) y la fuerza desestabilizadora (R):

$$C_{SF} = 2462 / 71.44 \rightarrow C_{SF} = 37 \text{ el saco gavionado es estable.}$$

b) Tramo entre perfiles 13 y 17

Dado que se colocarán gaviones de 1.00 x 1.00 x 4.00 metros. Se verifica la estabilidad de los mismos al arrastre de la corriente, de forma similar a lo realizado en el punto anterior para los sacos gavionados.

Se podría afirmar, en principio, que la corriente no los arrastrará, pero se verifica la situación mas desfavorable, adoptando el mayor tirante y la mayor pendiente del tramo.

$$\begin{aligned} h &= 2.00 \text{ metros} && \text{(Tirante)} \\ i &= 0.0188 && \text{(pendiente de la línea de energía. Se adopta el mayor entre los} \\ &&& \text{valores del tramo de aguas arriba y abajo del perfil)} \end{aligned}$$

Se considera al gavión colocado transversalmente a la corriente, con un área expuesta de 4.00 metros de largo y 1.00 metros de altura, apoyado sobre el lecho del arroyo.

En estas condiciones el arrastre (R) se obtendrá como producto de la tensión de arrastre τ y el área expuesta del saco:

$$R = \tau * A = g_w * i * h * A \rightarrow R = 150.40 \text{ Kg.}$$

El peso del gavión es de 7420 Kg., considerando el peso del relleno calculado anteriormente y las dimensiones del mismo.

El coeficiente de seguridad al arrastre será el cociente entre la fuerza estabilizadora (peso del saco) y la fuerza desestabilizadora (R):

$$C_{SF} = 7420 / 150.40 \rightarrow C_{SF} = 49 \text{ el gavión es estable.}$$

En la protección con colchonetas de la torre de alta tensión ubicada sobre margen derecha y que tendrá un desarrollo de 60 metros sobre la margen, se verificará el espeso de la colchoneta y el tamaño del material de relleno de las mismas. En este caso, los parámetros hidráulicos son:

$$\begin{aligned} v &= 2.00 \text{ m/seg.} && \text{(Velocidad media del escurrimiento).} \\ h &= 2.00 \text{ metros} && \text{(Tirante).} \\ F &= 0.57 && \text{(Número de Froude).} \\ i &= 0.0147 && \text{(pendiente de la línea de energía. Se adopta el mayor entre los} \\ &&& \text{valores del tramo de aguas arriba y abajo del perfil).} \end{aligned}$$

Según Maccaferri (1989), una colchoneta de 0.23 metros de espesor con relleno de dimensiones entre 70 y 100 milímetros ($d_{50} = 0.085$ metros) resiste una “velocidad crítica” de 3.6 m/seg., entendiéndose por “velocidad crítica” a aquella que puede soportar el revestimiento con seguridad sin movimiento de piedras en el interior de la colchoneta.

Adoptando el espesor y tamaño de relleno allí indicado, se dispondría de un coeficiente de seguridad que, en este caso, vincularía la velocidad crítica mencionada por la publicación y la velocidad media de la corriente calculada:

$$C_{SF} = 3.6 / 2.0 \rightarrow C_{SF} = 1.8 \text{ valor considerado aceptable.}$$

Otra forma de verificar es por medio de la fórmula unificada de Pilarczyk, que responde a la expresión:

$$D_n = 0.035 * \phi_c * K_T * K_n * v^2 * (\Delta_m * K_s * \theta_c * 2g)^{-1}$$

Siendo:

D_n : Espesor de la colchoneta.

v : Velocidad media en la vertical.

Δ_m : $(1-n)*\Delta$, con n : Porosidad (0.30) y $\Delta = (g_p - g_w)$; siendo g_p y g_w el peso específico del material de relleno de la colchoneta y del agua respectivamente.

ϕ_c : Factor de inestabilidad. Para protecciones continuas se debe adoptar $0.50 \leq \phi_c \leq 0.75$.

K_T : Factor de turbulencia. Para el arroyo Ñireco se considera que corresponde alta turbulencia con un valor de $K_T = 2$.

K_n : Factor de corrección por perfil de velocidades. Para el arroyo Ñireco en las condiciones de diseño, se considera escurrimiento “muy rugoso” y corresponde utilizar $K_n = 1$.

K_s : Factor de corrección por inclinación del talud

$K_s = [1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \theta}]^{0.5}$ siendo α el ángulo entre el talud y la horizontal y θ el ángulo de reposo del material.

θ_c : Esfuerzo cortante crítico $0.06 \leq \theta_c \leq 0.10$

Dada la gran cantidad de coeficientes que intervienen en la expresión y la gama de valores que pueden adoptarse, se seleccionan valores que permitan obtener los valores de D_n máximo y mínimo. Para el primero se utiliza los siguientes valores: $\phi_c = 0.75$, $K_n = 1$, $\theta_c = 0.06$, mientras que para el segundo se emplea $\phi_c = 0.50$, $K_n = 1$, $\theta_c = 0.10$, con $K_s = 1$ que equivale a la colchoneta colocada en el lecho del arroyo en posición horizontal.

Se obtienen valores de D_n de 0.40 y 0.125 metros, lo que muestra la amplitud de resultados en función del coeficiente seleccionado.

El espesor obtenido a partir de Maccaferri (1989) alcanza un valor intermedio. Como expone y verifica C.S. Loschacoff, J.D. Brea, P. Ormazábal (2004), el espesor sugerido por Maccaferri resulta mayor a los calculados con la fórmula a igual velocidad y con los coeficientes apropiados, de lo que puede deducirse que la maximización de coeficientes pudo haber estado fuera de orden.

En cuanto al tamaño del relleno, Pilarczyk sugiere adoptarlo en función de la relación $D_n \text{ colchoneta} = 1.8 D_n \text{ piedra}$, de donde se obtiene un tamaño de piedra de 0.128 metros, levemente superior al sugerido por Maccaferri.

En base a lo expresado, se adoptan colchonetas de 0.23 metros de espesor y relleno de 70 a 150 milímetros con $d_{50} = 120$ milímetros.

c) Entre perfiles 17 y 28

➤ Sobre margen izquierda, para protección continua de colchonetas es válido el cálculo presentado en b).

- Entre perfiles 20 y 21, sobre margen derecha se ha previsto la construcción de un muro de gaviones, a lo largo de 50 metros de margen, con 10 metros de colchonetas en cada extremo a modo de transición. Para las colchonetas es válido el cálculo realizado en b). El cálculo del muro de gaviones se realiza de acuerdo a los lineamientos expuestos en la Ref. (8).

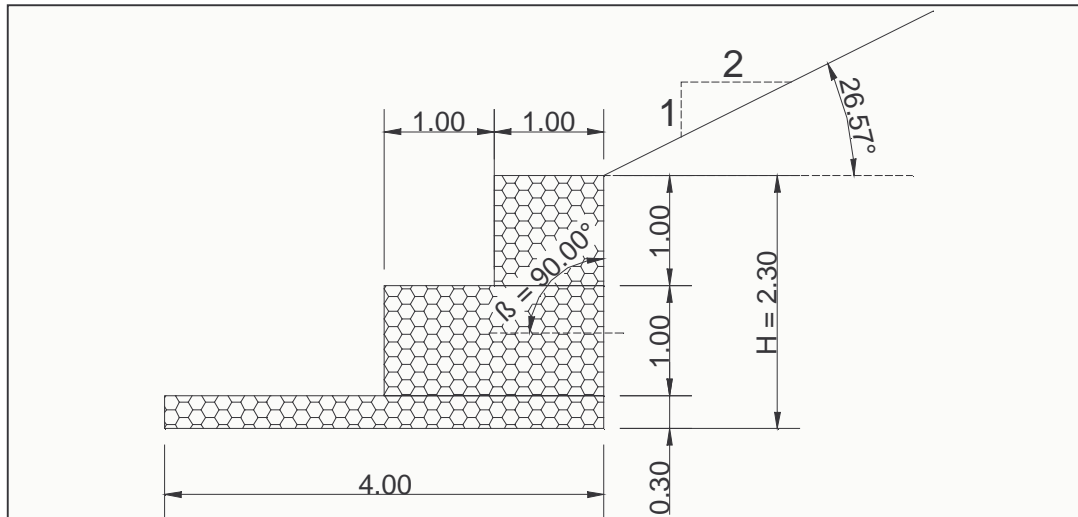


Figura 8.- Esquema de cálculo del muro de gaviones

Para el valor de ángulo de fricción interna del material ubicado detrás del muro, la Ref. (8) recomienda adoptar entre $\phi_1 = 30^\circ$ y $\phi_2 = 35^\circ$. Del ábaco 18 de Maccaferri (1989) se obtiene $K_a = 0.56$. De este modo, el empuje activo E_a será:

$$E_a = 0.5 * K_a * \gamma_s * H^2 \quad E_{a1} = 2,666 \text{ tn/m} \text{ y } E_{a2} = 1,040 \text{ tn/m}$$

Verificación al Deslizamiento:

Se debe verificar que la suma de fuerzas verticales sea, por lo menos, un 50 % mayor que las fuerzas horizontales. Esto se expresa:

$\eta = (W + E_v) * \text{tg } \phi / E_h$, donde W es el peso del muro de gaviones, E_v la componente vertical del empuje activo y E_h la componente horizontal del empuje activo.

Los cálculos arrojan que $W = 6,678 \text{ tn/m}$, $E_{v1} = 1,333 \text{ tn/m}$, $E_{v2} = 0,597 \text{ tn/m}$, $E_{h1} = 2,309 \text{ tn/m}$ y $E_{h2} = 0,852 \text{ tn/m}$.

De este modo se obtienen coeficiente de seguridad $\eta_1 = 2,00$ y $\eta_2 = 2,21$, valores que verifican la seguridad al deslizamiento.

Verificación al Vuelco:

En este caso también se debe verificar que el momento estabilizador M_e generado por el peso del muro de gaviones sea, por lo menos, un 100% mayor al momento volcador M_v generado por el empuje activo E_a .

Los cálculos arrojan que $M_{v1} = 1,770 \text{ tn m/m}$, $M_{v2} = 0,653 \text{ tn m/m}$, $M_{e1} = 8,409 \text{ tn m/m}$ y $M_{e2} = 6,937 \text{ tn m/m}$.

De este modo se obtienen coeficiente de seguridad $\eta'_1 = 4,75$ y $\eta'_2 = 10,62$, valores que verifican la seguridad al vuelco.

Verificación de tensiones en el terreno:

Se verifica la tensión que el conjunto transmite al terreno.

$\sigma_{1,2} = N/B (1 \pm 6 e / B)$, siendo N la carga total sobre el terreno, B el ancho de la base del muro de gaviones y "e" la excentricidad de la resultante.

De este modo se obtienen valores de $\sigma_1 = 4,61 \text{ tn/m}^2$ y $\sigma_2 = 3,41 \text{ tn/m}^2$, valores compatibles con la tensión admisible del lecho del arroyo.

- d) Entre perfil 28 (Puente Quimey Quipan) y 31 (Pasarela)
- Para la margen izquierda se ha proyectado una protección continua de colchonetas, para las cuales es válido el cálculo presentado en b).
 - Para la margen derecha, se ha previsto la colocación de gaviones de $1,00 \times 1,00 \times 4,00$ metros con trenzados y lechos de ramas. Para los gaviones, el cálculo realizado en b) es considerado válido.
- e) Entre perfiles 31 y 32
Solamente se realiza excavación de cauce.
- f) Entre perfiles 32 y 35
- Muro de gaviones en la margen derecha; es válido el cálculo presentado en b).
 - Protección continua con colchonetas en margen izquierda: es válido el cálculo presentado en b).
- g) Entre perfiles 35 y 38
Idem f)

BRAZO MARGEN DERECHA

Para este brazo se ha definido la necesidad de proteger la margen en los sectores indicados en la descripción de la obra, mediante un muro de gaviones apoyados sobre colchonetas gavionadas. El cálculo de los mismos responde a lo desarrollado realizado previamente.

BRAZO MARGEN IZQUIERDA

En este tramo se ha previsto la colocación de “espigones” para reducir la velocidad media de escurrimiento. La verificación de los gaviones responde a lo desarrollado previamente.

TRAMO INFERIOR

En este tramo se ha previsto la construcción de una protección mediante muro de gaviones, apoyada sobre colchonetas gavionadas. El cálculo del mismo responde a lo expuesto anteriormente.

En lo que respecta a los “espigones” formados por gaviones de $1,00 \times 1,00 \times 4,00$ metros, la verificación de la estabilidad de los mismos ya realizada, es válida en este caso.

MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL ARROYO “CON OBRAS PROYECTADAS”

Debemos tener en claro, en primer lugar, cuál es la situación que se trata de resolver a través del modelo. Los modelos son “simplificaciones” de la realidad, y los resultados que se obtienen están lejos de ser “perfectos”, pero sí son una aproximación. La observación y medición de datos de campo serían mas importantes, pero la necesidad de anticipar lo que sucedería ante la hipótesis de “crecida de proyecto” (para la determinación de parámetros de diseño de las obras), contamos con el modelo matemático que brinda resultados “cercanos a la realidad”. Esta acotación es válida también para la calibración realizada para la “situación actual”.

DESCRIPCIÓN DEL INGRESO DE SINGULARIDADES AL MODELO

Como punto de partida se contó con la geometría obtenida en la calibración para la situación actual, sobre la que se fue introduciendo las obras diseñadas en el presente trabajo.

En lo relativo a las protecciones con muros de gaviones o colchonetas gavionadas colocadas sobre talud 2:1 (H:V), se modificaron los perfiles de acuerdo a la forma de la sección transversal que se obtiene de los planos de perfiles transversales.

En cuanto a los “espigones” colocados con la finalidad de disminuir la velocidad media del escurrimiento, se simularon colocando los gaviones sobre el perfil original, y copiando la sección original 3.00 metros aguas arriba y 3.00 metros aguas abajo, con la corrección de cota por pendiente entre perfiles. De este modo se logra simular el estrangulamiento que disminuye la velocidad hacia aguas arriba y la aumenta en coincidencia con la sección en la que están colocados los gaviones.

La colocación del conjunto de gaviones de 3.00 x 1.00 x 1.00 sumados a los lechos y trenzados de ramas, se lo incorporó a los perfiles como una modificación continua de la margen. Si bien los gaviones tienen una separación de 10.00 metros, el funcionamiento final se da como el de una obra continua, y es así que se lo simuló en el programa. En el sector del perfil transversal en el van ubicadas estas obras, se modificó el coeficiente de rugosidad de Manning, incrementándolo a valores compatibles con la vegetación desarrollada.

Las secciones que van acompañadas de excavación de cauce también fueron modificadas de acuerdo a lo que surgía de los perfiles transversales.

Finalmente, cabe destacar que esta simulación se realizó sobre la base de la geometría elaborada para la obtención de los mayores niveles de la superficie de agua, dado que se considera una “sutileza excesiva” realizar la misma labor para la geometría que permitió obtener las mayores velocidades de escurrimiento, principalmente por lo expuesto en 6.-.

PROCESO DE SIMULACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS

Las obras de protección de márgenes, como muros de gaviones y colchonetas gavionadas, las excavaciones de sección dentro del cauce y el conjunto de gaviones – lecho y trenzado de ramas, fue cargado a la geometría sin posibilidad de modificaciones.

A partir de los resultados que arrojó la simulación de esta situación, se pudo observar la existencia de velocidades medias de escurrimiento que superaban el valor máximo solicitado por el DPA de 2.00 m/seg.. Fue así que se fueron incorporando “espigones” que permitieran reducir esos valores, requiriendo en algunos casos la simulación en reiteradas oportunidades con la finalidad de incrementar la obra en función de las necesidades.

De este modo fue posible obtener una superposición de soluciones que permiten estabilizar la margen, reducir las velocidades medias de escurrimiento y aumentar la sección en sectores estrangulados por medio de excavación del cauce.

El aporte de sedimentos de la parte alta de la cuenca es independiente de la obra proyectada en este tramo, por lo que es posible que ante la ocurrencia de precipitaciones intensas dentro de la cuenca, se produzcan arrastres importantes que generen nuevos bancos de sedimento y obstrucciones en el cauce, que demanden la ejecución de trabajos de mantenimiento.

CONCLUSIONES

El proyecto elaborado pretende resolver una serie de fenómenos de distinto rígen y gravedad, estando originados algunos por procesos fluviales y otros favorecidos por acciones antrópicas, mientras que la gravedad de los mismos está relacionada, en general, con el valor de los elementos que afecta.

Las soluciones desarrolladas se verificaron por medio de la modelación matemática del escurrimiento, obteniéndose un comportamiento acorde a las necesidades.

Se buscó una solución que, además de adaptarse a la solicitud, se pudiera adaptar al entorno del paisaje y con costos que, si bien son elevados en razón de lo extenso del tramo estudiado, estuviesen dentro de valores factibles de contratar por el organismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

C. Romero Mc Intosh, D. Di Rago (1997): Estudio Hidráulico Arroyo Ñireco, AIC.

C.S. Loschacoff, J.D. Brea, P. Ormazábal (2004): Estudio Comparativo sobre el Cálculo Hidráulico de Protecciones Fluviales, XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Sao Pedro Brasil.

C.S. Loschacoff, J.D. Brea, P. Ormazábal (2003): Algunas Consideraciones sobre el Cálculo de Protecciones en Márgenes de Ríos, Primer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, INA Ezeiza..

C.S. Loschacoff, M.S. Busquets, J.D. Brea, J. Alvarez (2003): Ordenamiento y Control de Crecidas en el Arroyo Calafate, Primer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, INA Ezeiza.

E. Bravo Gordillo, R. I. Guevara Cely (2004): Manto Natural Reforzado con Geomalla para Protección de Orillas de Ríos, XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Sao Pedro Brasil.

Felipe R. Rivelli, Pablo Porri (2003): Obras Flexibles para el Control de Erosión en Ríos de Montaña, Primer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, INA Ezeiza.

J. Heck, G. Malinow, R. De Fillippi, R. Méndez (2004):, Desarrollo de una Solución para la Estabilización de Márgenes en un Río Sometido a Congelamiento Anual de su Curso de Agua, XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Sao Pedro Brasil.

Maccaferri (1989): Revestimientos Flexibles en Colchones Reno y Gaviones en los Canales y en los Cursos de Agua Canalizados.

Maccaferri (1989): Estructuras Flexibles en Gaviones.