

Erosión en Ríos Secos Pedemontanos en Mendoza. Estudio de caso: Río Seco Chañares.

Luis Enrique Guisasola, Patricia Susana Infante

Maestría en Ingeniería Ambiental e Instituto de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNCuyo

E-mail: lguisasola@fing.uncu.edu.ar

RESUMEN

Los ríos secos de Mendoza han sido objeto de estudios parciales, por lo cual la información existente relativa a la pluviometría, aforos y los relevamientos sistemáticos son escasos.

La observación de la acción continua del Arroyo Chañares, desde 2005, ha permitido verificar la gran energía de transporte del cauce, que se encuentra muy lejos de alcanzar una cota de equilibrio. La fundación de la estructura del puente, es directa a 6,80 metros por debajo del nivel original del cauce.

Las tormentas convectivas estivales llevaron el nivel original del cauce a más de cuatro metros por debajo de ese nivel en poco más de cuatro años, sin obras de mitigación.

Este efecto ha tratado de ser mitigado con la construcción de cinco tipos de obras, desde gaviones hasta combinaciones de enrocados con acrópodos prefabricados. Todas ellas han resultado fusibles, careciendo de disipación energética de salida. Con el colapso de cada obra, la esbeltez de las columnas llegó hasta siete metros. La erosión llegó cerca de su nivel de desplante. Las sucesivas crecidas que se sucedían luego de la construcción de cada obra, sedimentaban material fino, relleno de aguas arriba hasta la cota del nivel de cauce correspondiente a la primera obra, cambiando el tipo de confinamiento de las columnas. Durante la temporada 2015-2016, se sucedieron no menos de 15 crecidas. Con distintos escenarios de recurrencia, se llegó a la conclusión que se hace necesaria una obra de mitigación compuesta de, por lo menos, dos cuencos amortiguadores.

La superposición de jurisdicciones que favorece el abandono de los ríos secos, los deja librados a su suerte con la actividad de extracción de áridos para la construcción. Esta actividad, desarrollada durante más de treinta años ha provocado enormes alteraciones en el comportamiento de los tramos medios de los ríos secos, perjudicando a las estructuras de comunicación.

INTRODUCCION

La geografía mendocina está tapizada de cauces secos o ramblas o torrentes, propios de una zona árida con tormentas convectivas de alta intensidad. La mayor parte de los cauces no pertenecen al dominio público, sino que al privado, constanding en escrituras y planos catastrales.

Existe una superposición de jurisdicciones cuando los privados hacen uso de su potestad sobre los cauces: extracción de áridos:

- Municipios
- Dirección de Hidráulica (Poder Ejecutivo Provincial)
- Dirección de Minería (Poder Ejecutivo Provincial)
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (Poder Ejecutivo Provincial)

Como resultado de la superposición de tantas jurisdicciones se obtiene una la ausencia total de regulación y de controles. Acompañando este panorama se agrega la falta de personal técnico capacitado para poder realizar controles desde el ámbito municipal, la Dirección de Hidráulica no alcanza a controlar todas las extracciones de áridos y la Dirección de Minería no tiene recursos para el abordaje sistemático de las explotaciones y el área de Medio Ambiente tampoco interviene activamente. Adicionalmente a la situación, las municipalidades suele cobrar un “canon de cantera” para acrecentar la confusión de los particulares, cuando son inspeccionados.

Desde el año 2005, se inició el monitoreo de la acción erosiva en el Arroyo Chañares Errados que intercepta a la Ruta Nacional N°40, sitio ubicado a 55 km al sur de la ciudad de Mendoza. Se tomó como estudio de caso, precisamente el Brazo Norte del Arroyo Chañares Errados, Figura 1. Uno de los factores ambientales fundamental que debe tenerse en cuenta es la influencia de las explotaciones de áridos. Se analizarán algunas medidas de mitigación para transformar la explotación de los áridos en actividades sustentables.



Figura 1: Imagen de agosto de 2004 correspondiente a la situación previa a la crecida que afectó el puente sur, en la cual, el bazo sur del Arroyo Chañares Errados se encontraba activo y el brazo norte no tenía influencia de las escorrentías superficiales, previamente esta crecida. Fuente: Google Earth

En un principio, la metodología escogida, incluyó el estudio conceptual del problema y se intentó de efectuar un desarrollo experimental en modelo a escala física en la Canaleta del Laboratorio de Hidráulica.

Uno de los principales productos a obtener constituyó algunas propuestas de ingeniería para el proyecto de medidas de mitigación que previnieran los efectos nocivos sobre la infraestructura de comunicación.

En la transferencia de resultados a obtener se incluyeron recomendaciones a las instituciones que poseen jurisdicción sobre cauces semipermanentes, tal como la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Mendoza, acerca de las formas y configuraciones más convenientes para el manejo de los mencionados cauces y de la gestión de las extracciones de áridos que puedan existir. Inclusive se han realizado informes técnicos de iniciativa propia, advirtiendo a la Dirección Provincial de Vialidad (DPV) y la Dirección Nacional de Vialidad (DNV), reparticiones que han ido actuando a medida que las sucesivas obras fueron colapsando.

Entre los beneficios esperados puede mencionarse que las reparticiones de jurisdicción y sus profesionales, cuentan con herramientas experimentales para el diseño de medidas de mitigación de los efectos de la erosión sobre estructuras fijas existentes y a construir sobre cauces de agua semipermanentes o ríos secos. Otro de los beneficios y transferencias puede considerarse que el seguimiento de una obra, prácticamente “abandonada” y sin monitoreo, atraiga la atención de las autoridades, ya que un “tercero”, fuera de las reparticiones, pone en relieve la problemática y los peligros sobre la infraestructura y sobre la vida de las personas, frente a un evento que se produce de manera espontánea y sin previo aviso.

MATERIALES Y METODOS

El acceso a la información se realizó a partir de la Dirección de Hidráulica desde enero de 2005. En esa época se tuvo que realizar un desvío a fin de evitar el colapso del puente sur de Chañares de la RN40, tal puede observarse en la Figura 2.



Figura 2: Imagen de 2007 ampliada donde el brazo norte ha sido activado mediante el terraplenamiento aguas arriba del brazo sur. Fuente: Google Earth

Desde el año 2005 hasta la actualidad, se ha efectuado un seguimiento continuo del comportamiento del arroyo en el sitio correspondiente al puente, tomado como base de operaciones, a fin de obtener algunas conclusiones y tratar de efectuar un modelo conceptual y, de ser posible físico del mismo.

Tal como puede observarse en la Figura 3, la primera crecida produjo una cárcava angosta, pero de casi dos metros de profundidad. Este comportamiento continuó ensanchando el cauce y aumentando la esbeltez

original de las columnas unos pocos días después notándolo en la Figura 4.



Figura 3: Situación del brazo norte del Arroyo seco en febrero de 2005 como consecuencia de la primera crecida, vista desde aguas arriba



Figura 4: Situación del brazo norte del Arroyo seco en marzo de 2005 luego dos crecidas aluvionales, vista desde aguas arriba.

De acuerdo con los planos conforme a obra, la situación inicial del puente Chañares Norte es la que puede observarse en la Figura 5, donde la distancia desde cauce fue de 1,86 m durante más de 30 años. La profundidad de fundación o de desplante era de 6,82 m. La esbeltez de las columnas del puente se ha acrecentado, conforme al aumento su longitud. Las condiciones de vinculación en el cauce van variando, de acuerdo al tipo de obra que se realizó y el embanque o erosión que se produjeron durante el funcionamiento, temporariamente, hasta el colapso de cada una de ellas. El puente ha variado su situación de estabilidad en innumerables ocasiones debido a las obras que se realizaron a partir de 2008, considerando que, entre el 2005 y 2008, no ninguna intervención para disminuir el efecto móvil del lecho. Como ejemplo documentado en fotografías y relevamientos, puede observarse en la Figura 6, donde la luz libre, varió de 1,86 m en el año 2005 a 7,24 m en el año 2006, restando solamente una profundidad de desplante de 2,58 m, de acuerdo a la fuente (DNV, relevamiento 2006).



Figura 5: Plano conforme a obra del Puente Chañares Norte, enero de 2005



Figura 6: Estado del Puente sobre arroyo Los Chañares Norte, año 2006

Las sucesivas tormentas y sus efectos erosivos fueron disminuyendo la cota del cauce exponiendo a la infraestructura a un colapso inadvertido, con el correspondiente peligro de muerte, tal como puede apreciarse en la Figura 7. En esta imagen se aprecia que la esbeltez de las columnas había aumentado excesivamente y, el cauce, alcanzado cotas muy cercanas a las de desplante, indicadas en la Figura 6. La Figura 7 indica que la crecida aluvional ha erosionado el pie de la protección del cono del terraplén del estribo norte, provocando su colapso y caída hacia el cauce. La crecida, canalizada sobre la margen izquierda ha ido removiendo el material de apoyo de la protección hasta hacerla caer más de tres metros por debajo de su nivel de fundación original, tal como puede apreciarse en la mencionada figura. Tal estado de situación, obligó a la DPV y DNV a solucionar esta situación, cada vez más peligrosa para el tránsito y las vidas humanas.



Figura 7: Crecida aluvional que ha causado que la protección del cono del terraplén de margen izquierda, se haya volcado hacia la corriente.

La acción de las extracciones de áridos han tenido mucha influencia en la rapidez con que se producen los cambios en la morfología del cauce y de su poder de arrastre, sin que las autoridades de aplicación hayan podido establecer una acción eficaz para prevenir que las acciones antrópicas no se sumen de manera sinérgica a la acción natural del cauce aluvional, el que no ha encontrado su perfil de equilibrio. En el Arroyo Chañares Errados se encuentran activas tres explotaciones aguas arriba y dos aguas abajo. Debido a que no existe ningún organismo de control no se tienen los datos de los volúmenes de las extracciones, de sus planes, metodologías y permisos. En cuanto a las alteraciones de la morfología, no se ha incluido en este trabajo las fotografías de los cambios de dirección del cauce, las excavaciones, acordonamientos y

montículos dejados al azar a lo largo de las distintas locaciones.

Primera obra de mitigación: gaviones y colchonetas

En el invierno de 2008, se encaró una obra de mitigación realizada en gaviones. En principio, la concepción de la primera parte de la obra fue la correcta, pero la restitución se materializó con un error conceptual serio. La obra fue realizada con colchonetas y gaviones, Figura 8, en una longitud de seis metros, 30 m de ancho y un metro de desnivel, con márgenes de gaviones. El cuenco de amortiguación de energía realizado con las colchonetas, al igual que los gaviones, fueron respaldados por geotextil para evitar la fuga de finos por la presión del agua. Tanto el diente de inicio como el del final también estaban materializados con gaviones. Se presume que el error radicó en que no se tuvo en cuenta la inclusión de una obra adecuada para la disipación de energía en la restitución al cauce, incluyendo solamente un enrocado de “respaldo”.



Figura 8: Obra ejecutada con gaviones y colchonetas, respaldados con geotextil. La obra de restitución al cauce natural carecía de amortiguación controlada de la energía.

La cota en el umbral de entrada fue fijada en 926,08 msnm, es decir una luz libre de 4,30 m hasta la viga transversal, inferior del puente. Altura bastante mayor a los 1,88 m que tenía inicialmente.

La obra pareció ser una buena solución para los escurrimientos intermitentes de variados caudales. El ciclo hidrológico 2009 – 2010 demostró lo contrario. Las crecidas (5 o 6 eventos) se encargaron de destruir la protección aguas abajo y dejar el cuenco (Figura 8) sin restricciones, tal como puede apreciarse en la Figura 9. Si bien la obra se mantuvo dentro de sus parámetros geométricos, es decir entre los dos umbrales de gaviones, el cuenco sufrió la acción mecánica del cuantioso arrastre de sólidos que golpearon incesantemente el alambre del tejido. A pesar de ello, luego del ciclo hidrológico las colchonetas resistieron las crecidas. Debido a que el concepto de la colchoneta es la de estabilización de una superficie mediante su peso propio, Figura 9, donde puede observarse en la margen derecha, la acumulación de material grueso y fino, debido a la cola del sedimentograma de la crecida.

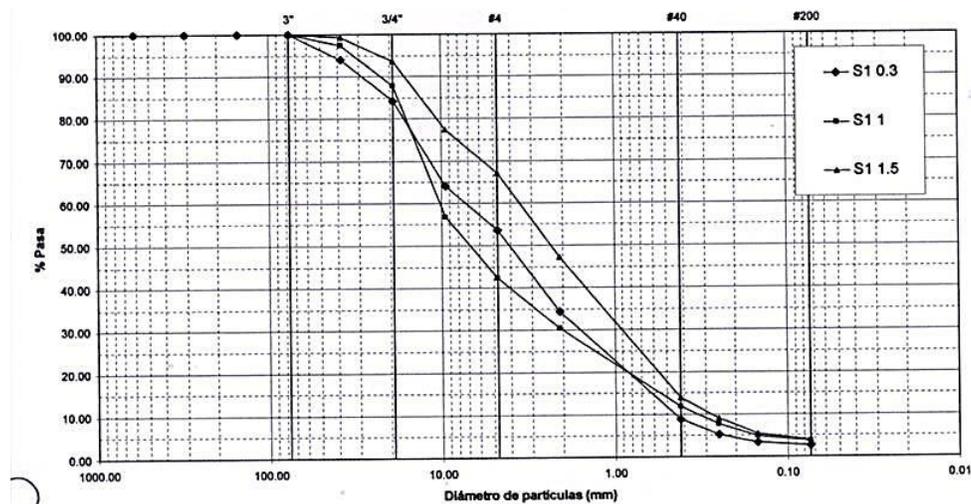
Aguas abajo de los gaviones terminales (2 m de altura) se colocaron algunas rocas sin ningún tipo de confinamiento, apoyadas directamente sobre el material del cauce natural, tal cual puede evaluarse en la

Figura 10, demostrando su insuficiencia para amortiguar la energía de salida de la primera sección de la obra.



Figura 9: Obra de gaviones y colchonetas. Las crecidas han dejado material de sedimentación.

Los análisis granulométricos fueron realizados por el Laboratorio de Geotecnia de la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo, el 6 de julio de 2010. De su interpretación, puede observarse que la matriz de cauce se trata de un material sin cohesión y que, en su mayoría, no pasa de los 10 mm de tamaño de partículas. El efecto de acorazamiento no fue evaluado, debido a la magnitud de las crecidas. Este efecto se produce por las sales del material fino que permanece en el lugar pero que, luego de los primeros minutos de la crecida, desaparece rápidamente, Martín Vide, 2008. En efecto, la obra de gaviones y colchonetas tuvo dos problemas. El primero y principal, además de ser previsible, ocurrió al pie de los gaviones de salida, de dos metros de altura, que estaban desprotegidos de la erosión causada por la disipación de la energía de caída de la descarga de agua, piedras y demás sedimentos en suspensión. La energía se disipó removiendo la matriz del cauce y, por lo tanto, “hundiendo” el enrocado, a causa de la migración de las partículas del cauce.



todas maneras, la obra falló primero por falta de estabilidad antes que la rotura de malla.

Volviendo a la primera falla, evidenciada en la Figura 11 y Figura 12, las rocas colocadas se han ido “hundiendo” paulatinamente a causa de la remoción de las partículas de la matriz del cauce por la acción de la disipación de la energía. La altura de la protección aguas abajo disminuyó su altura hasta “hundirse” totalmente en la matriz del cauce, tal como puede apreciarse en la Figura 12.



Figura 11: Colapso de la primera obra de mitigación. Los gaviones del segundo umbral han caído hacia aguas abajo al quedarse sin soporte a causa del “hundimiento” de las rocas colocadas como protección en la matriz del cauce.

Los sucesivos ciclos hidrológicos hasta 2013 llegaron con su erosión 30 cm por debajo de la primera hilera de gaviones, es decir a cota 922,78 msnm, situación crítica, ya que el cauce se encontraba a 1,08 m de la cota de nivel de desplante de las pilas del puente y a menos de 10 metros de distancia aguas abajo.



Figura 12: Colapso de la estructura visto desde aguas abajo. La erosión ha provocado el “hundimiento” de las rocas que debían sostener el engavionado de salida de la obra.

Segunda obra de mitigación: enrocado transversal

La segunda obra, ejecutada en diciembre de 2013, consistió en un enrocado transversal en la misma progresiva. El enrocado transversal fue reforzado con un zampeado de rocas de menor tamaño, de unos 50 cm de tamaño medio, tapizando la proyección de la planta del puente. El nivel del cauce, en la progresiva del puente se encontraba a unos dos metros por debajo de la cota de la obra anterior. La altura libre estructural de las columnas creció a 6,30 m, tal como puede observarse en el esquema de la Figura 13.

Esta obra también carecía de protección contra la erosión regresiva y de resguardo para la disipación de la energía de la corriente de las crecidas de ese período estival. Tomado como promedio un ancho superficial de 4 m y una altura de cuatro metros que, por los treinta metros de ancho de cauce, resulta un volumen de enrocado de aproximadamente entre 960 y 1000 m³. Teniendo en cuenta el zampeado que tapizó el cauce, de 50 cm de altura, por 12 m por 30 m, se agrega un volumen aproximado entre 180 a 200 m³ de rocas.

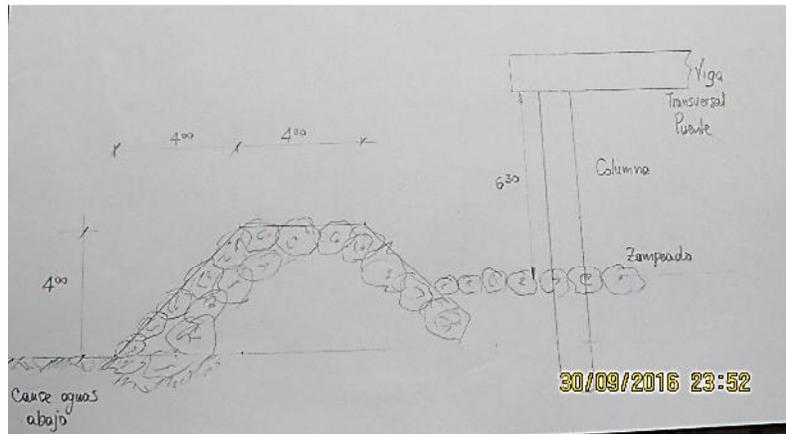


Figura 13: Esquema de la segunda obra de mitigación contra la erosión, constituida por un azud sin disipación de energía

Al final del período estival 2013-2014, la obra nueva colapsó en la forma de rotura de una presa, es decir, con una sección arrasada por la corriente semisólida, dejando una escotadura equivalente a un sexto del ancho total del cauce. El nivel de base del cauce se mantuvo aproximadamente en el que estuvo planteado, pero la erosión llegó muy cerca aguas abajo de las pilas. El día primero de marzo se pudo presenciar una crecida. De acuerdo con las fotografías tomadas en ese momento y, con el cauce seco, podría realizarse una aproximación para calcular un orden de magnitud de la crecida. En primera instancia, se pudo apreciar la velocidad del agua, (4 a 5 m/s en la sección del puente). Tomando como referencia las fotografías, luego de la crecida, con el cauce seco, pudo estimarse un calado promedio entre 1,50 y 1,60 m. El ancho de la sección de 30 m en el puente, conforma un área hidráulica media que podría estimarse en 46,5 m². Si se aplica la ecuación de la continuidad de manera instantánea, es decir el caudal que escurría en ese momento y se multiplica un porcentaje de la velocidad superficial estimada, por el área hidráulica. Para el caso del escurrimiento de la crecida, el ancho del cauce es mucho mayor que su calado, por lo que la velocidad máxima se encuentra en la superficie. Suponiendo un 75% de esa velocidad estimada, como velocidad media, se tendría un caudal instantáneo de unos 157 m³/s. Esta corriente fue la que acabó por dejar fuera de servicio a la segunda obra de mitigación.

Tercera obra de mitigación: enrocado transversal

Luego de la tormenta del 1º de marzo y el colapso de la obra, se produjo una nueva tormenta con la correspondiente descarga aluvional, que llevó el fondo del cauce a una cota aún menor, de 923,33 m y una altura de columna de 7,05 m, quizás el momento más complejo y cercano a su nivel de desplante, de 921,70 m. Para paliar la situación, se reubicaron las rocas y se colocaron algunos metros cúbicos de hormigón para

reforzar la ya débil estructura de mitigación. Esta estructura siguió siendo sumamente permeable, ya que permitía la fuga de los materiales finos, en lugar de ofrecer estanqueidad para favorecer la sedimentación aguas arriba. Esta modalidad se ha repetido con todas las obras de las características de un azud o vertedero de pared gruesa que se construyeron.

Cuarta obra de mitigación: enrocado transversal

Durante el invierno del año 2014 no se realizaron obras, perdiendo un tiempo invaluable para reforzar el azud existente. Solamente a partir de noviembre de ese año comenzaron trabajos para reforzar el azud mediante rocas y suelo del mismo cauce. Las crecidas del mes de enero repitieron el efecto de erosión y arrastre de los materiales. Aguas arriba, la cola de la crecida dejó material fino sedimentado sobre el cauce, pero en capas en forma de lentejones, evidenciando los sitios de mayor permeabilidad en el azud.

Quinta obra de mitigación: azud mixto: acrópodos y enrocado transversal

A partir del mes de febrero de 2015 se comenzaron a colocar, en combinación con las rocas sobrevivientes, elementos prefabricados llamados “acrópodos”, contruidos con hormigón de alta calidad y muy buena terminación, de un volumen aproximado a 1 m^3 , es decir con un peso de 2,4 toneladas, ubicados sobre la cara aguas abajo, intentando lograr la mayor trabazón entre los elementos, a fin de mejorar su resistencia al arrastre, para conferirle una mayor estabilidad frente a los efectos hidrodinámicos de la crecida y su movimiento no permanente. La impermeabilidad no se logró. La colocación de todos los elementos finalizó a principios del mes de marzo de 2015. Aguas arriba quedaron ubicadas las rocas y, aguas abajo, los 700 acrópodos. Durante este período se produjeron algunas crecidas que arrastraron algunos acrópodos aguas abajo y, merced a la acción de la erosión provocada por la cascada formada, salvando un salto de 4,5 m de diferencia de cotas, provocó que los que cayeron al pie, se “hundieran” en la matriz natural del cauce.

El objetivo perseguido era la disminución de la capacidad de arrastre, lograda a expensas de un aumento de la carga hidráulica hacia aguas arriba, tal como lo predice, la ecuación de Bernoulli (Ven Te Chou, 2004). Al final de las tormentas estivales del período 2014-2015, con la construcción de la obra mixta con acrópodos y enrocado, se logró la reconstitución de un nivel de base, de 50 cm por debajo del nivel de la primera obra, constituida por gaviones, es decir de 925,28 m. La problemática planteada es la recurrente de las obras anteriores: se despreció la necesidad de una obra de disipación de energía aguas abajo. Asimismo, tampoco se logró impermeabilidad, por lo que el material de aguas arriba fue arrastrado por las vías preferenciales de flujo a través del cuerpo de la obra, para caudales bajos. Este efecto acrecienta el problema mecánico de las pilas, debido a que sus horizontes de confinamiento se vuelven cada vez más heterogéneos, combinándose entre material de relleno, cauce natural y depósitos finos recientes de diferentes espesores.

La magnitud de la obra es mucho mayor que la primera, ya que incluye un volumen aparente de 1800 m^3 , de los cuales 900 m^3 corresponden a los 700 acrópodos, si se tiene en cuenta el volumen de vacíos, ya que la trabazón no es perfecta. El coronamiento tenía 8,50 m de ancho y una longitud de 30 m, con una altura de

4,50 m. La diferencia de cotas entre el coronamiento y el cauce aguas arriba, bajo el puente estuvo planteado en dos metros. El comienzo de la temporada de tormentas 2015 – 2016 se adelantó, a causa del “Fenómeno del Niño”, (INTA 2016), iniciándose a mediados del mes de setiembre. La obra sufrió desde entonces, hasta fines de noviembre, más de diez crecidas de magnitud, que la fueron deteriorando, debido a las debilidades antes mencionadas. Las crecidas sobrepasaron la quinta obra de mitigación concentrando sus descargas en el segmento central de la obra, favorecidas por su configuración morfológica. El efecto resultante fue la remoción del material granular que cubría la masa de acrópodos y rocas, resultando una escotadura de 10 metros, (un tercio de la longitud) y una profundidad de aproximadamente 70 cm. La disipación se produjo naturalmente, a través de la remoción y transporte de la fracción más liviana de la matriz del cauce, hundiendo a los elementos más pesados al pie de la obra, provocando que los que se encuentran en el nivel superior fueran descendiendo paulatinamente y deformando la estructura, gracias al salto de 4,5 m. Por otro lado, las crecidas, lograron sedimentar el cauce aguas arriba con material fino, con un a cota de de 926 msnm, que se mantuvo prácticamente saturado debido a las constantes lluvias, con una altura de columnas de 5,10 m. En cuanto a la permeabilidad de la obra se pudieron observar filtraciones a través de su cuerpo, a pesar de sus casi 20 m de ancho de base, demostrando que la permeabilidad y la erosión al pie eran fenómenos nocivos para la estabilidad y vida útil de la obra.

Hacia principios de diciembre de 2015, las sucesivas tormentas y sus crecidas aluvionales habían abierto una brecha en la estructura del 25% del ancho total, y su correspondiente coronamiento había sido arrastrado hacia aguas abajo, disminuyendo en dos metros su cota. Esto quiere decir que un cuarto de la obra realizada había descendido hasta el nivel del cauce aguas arriba, de cota de 925,28 m, el cual se fue conservando. En cuanto a la sección transversal de la estructura, perdió un 40% de su masa, que fue removida hacia aguas abajo, creando un canal dentro del cuerpo mismo del azud. Pudo verificarse que el poder del agua, en 60 días, había afectado gravemente una obra de magnitud doble a la inicial.

Hacia mediados de diciembre de 2015, luego de dos fuerte tormentas más, la obra colapsó en 10 m de ancho, es decir en un 33% de su ancho, abriendo una brecha completa, comunicando directamente el cauce aguas arriba con el de aguas abajo. La erosión fue de 2,50 m respecto a los niveles anteriores, llegando a una cota de 922,78 m, y una altura de columnas que sostienen el puente de 7,6 m. Las tormentas continuaron durante diciembre con una periodicidad llamativa, con un promedio de dos eventos por semana. El estado de obra se tornó muy peligroso hacia fines de 2015. Los elementos del cuerpo del azud (acrópodos y rocas) habían sido arrastrados por las crecidas y la brecha abierta aumentando la erosión en el cauce, disminuyendo aún más la cota del cauce a 924,50 msnm y las columnas alcanzaron una longitud de 8,5 m. Algunos acrópodos se encontraron hasta 50 m aguas abajo de la obra.

Sexta obra de mitigación: recuperación del azud mixto

Entre el día 5 al 11 de enero de 2016 la DPV, en auxilio de la DNV procedió a paliar la situación mediante la recuperación y un reordenamiento de los elementos sobrevivientes, con el mismo concepto existente. Se reconstruyó la obra en aproximadamente 500 m³ y se colaron 18 m³ de hormigón simple para mejorar la

trabazón de los elementos, entre las diferentes capas de rocas y acrópodos. Se rellenó el cauce aguas arriba hasta la cota 924,28 snm, 1,80 m por debajo de las anteriores. La altura estructural de las pilas ascendió a 6,0 m, cada vez más esbeltas para las cargas actuales, mucho mayores que las de proyecto (1982).

Durante el mes de enero y febrero, las sucesivas tormentas fueron modificando la matriz del cauce aguas arriba, arrastrando el material granular colocado, por material fino de la curva de decaimiento del sedimentograma. De esta manera, el material de confinamiento de las columnas continuó cambiando de constitución y estado de humedad.

La diferencia de cotas entre el coronamiento del azud reconstruido y el cauce aguas abajo, de aproximadamente 4 metros, continuó realizando su trabajo de erosión al pie, trasladando progresivamente los elementos constituyentes del azud, tanto acrópodos como enrocado, hacia aguas abajo y hundiéndolos cada vez más, en la matriz más fina del cauce. Dado que no se contaba con elementos de topografía por motivos presupuestarios, las cotas del cauce bajo el puente, pudieron ser medidas con cinta desde la capa de rodamiento, por esta razón es que se puede tener solamente una idea de cómo ha ido variando a lo largo de su monitoreo. A pesar de las sucesivas tormentas y crecidas, el nivel bajo el puente se mantuvo en cotas estables, y sucesivos cambios en la constitución del lecho.

Hacia el mes de marzo, la altura del azud, había disminuido hasta el nivel mismo del cauce aguas arriba, 924,28 snm, indicando que una parte del material del cuerpo de la obra había sido arrastrado aguas abajo y/o acumulado al pie. En esa oportunidad se realizó un relevamiento de los materiales aguas abajo, hallándose rocas y restos de acrópodos hasta 400 m.

Los acrópodos colocados en el cuerpo de la obra han sido erosionados por las sucesivas crecidas, lo que indica la energía que posee la corriente y su contenido sólido. El efecto de la erosión superficial de estos elementos se encuentran ubicados en plena influencia de la corriente, es decir en el tercio central, donde finalmente se concentraron las sucesivas descargas.

A causa de las tormentas acaecidas entre los meses de marzo y mayo de 2016, los efectos siguieron deteriorando las obras, si bien el material de base del cauce, fino limo-arcilloso, se mantuvo en los niveles más arriba mencionados. La obra ha sufrido un deterioro muy importante en su tercio central. Se han formado dos cuencos internos que favorecen la erosión localizada, ya que no cumplen con los principios de estanqueidad y disipación total de la energía e inmovilidad de sus contornos. El nivel de la obra ha descendido por debajo de la cota del cauce aguas arriba, por lo que desde las rocas con hormigón existentes, que han perdido parte de su estanqueidad, ha comenzado nuevamente la remoción del material del cauce hacia aguas arriba, paralelamente se deteriora el cuerpo de la obra. De acuerdo a la situación actual, la obra se encuentra en estado de pre-colapso por sexta vez en pocos años. Debería actuarse durante el período invernal con eficiencia para evitar derrochar nuevamente importantes recursos en obras que, evidentemente son fusibles durante la temporada de crecidas y que su vida no alcanza a cubrir un ciclo hidrológico.

ALAGUNAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Obra Recomendada:

Debido a que la diferencia de cotas entre el nivel bajo el puente y el cauce aguas abajo ronda los cuatro metros, se han calculado distintos tipos de obras de mitigación, que incluyen siempre la etapa de disipación de energía, basadas en el tirante crítico sobre el umbral de cada cuenco y una sumergencia total del resalto contenido en el cuenco aguas abajo. Las alternativas estudiadas son: cuatro etapas de un metro, dos etapas de dos metros y una sola etapa de cuatro metros, para un caudal de diseño de $154 \text{ m}^3/\text{s}$. El caudal elegido corresponde al cálculo para una tormenta de diseño de 25 años de recurrencia, basada en las curvas IDF 2008 del INA para el piedemonte mendocino. En función de los valores de la distribución espacial de las isoyetas elípticas, se calcularon los hidrogramas de crecida, correspondientes a los tiempos de recurrencia de 25, 50 y 100 años, mediante la aplicación del Programa HEC-HMS v 3.2. Para la obra de cuatro saltos de un metro cada uno, se necesita una sumergencia de 1,90 m y un cuenco de amortiguación de 30 m de ancho por 15 m de longitud y un umbral de salida para cada uno de 1,90 m con un tirante de 2,86 m. La velocidad en el cuenco es por demás alta, de 9,33 m/s en el calado conjugado inicial. Por esta razón es que todo el cuenco debe estar revestido por colchonetas de 23 cm como mínimo y un revestimiento mínimo de hormigón armado de 15 cm de espesor, con tamaño de una pulgada o más, es decir del tamaño máximo que pueda ser procesado por un camión mixer hormigonero, para mayor resistencia a la erosión por choque. El hormigón deberá introducirse entre 3 y 5 cm en la colchoneta y poseer una malla de acero de entre 6 y 8 mm de diámetro para mantener unidos los paños en caso de fisuración. El cuenco que sufrirá mayor deterioro será el primero, por lo que se recomienda el mayor espesor de colchoneta, 30 cm y una capa de hormigón de unos 17 cm de espesor. Los muros para cada cuenco tendrán una altura de 4 m con un gavión de fundación y 6° de inclinación hacia afuera, con tres hileras hacia afuera, tal cual lo mostrado en el esquema de la Figura 14, de manera de aumentar su peso y evitar su vuelco. Todos los elementos deberán poseer apoyo y respaldo de manta geotextil para mantener los recintos estancos, de manera de no perder material por sifonamiento. La salida de cada cuenco tendrá un escalonado hasta alcanzar la cota del próximo salto. El umbral estará resuelto con una estructura de gaviones de 3m longitudinales por 30 m de ancho y un diente de un gavión más por debajo del nivel de base de la colchoneta. La longitud total de la obra se extenderá por 111 metros, incluyendo un tapizado de 12 m de colchonetas a la salida de la obra y a nivel natural del cauce, que servirá de elemento de monitoreo para la erosión regresiva, tal cual lo mostrado en el esquema de la Figura 15.

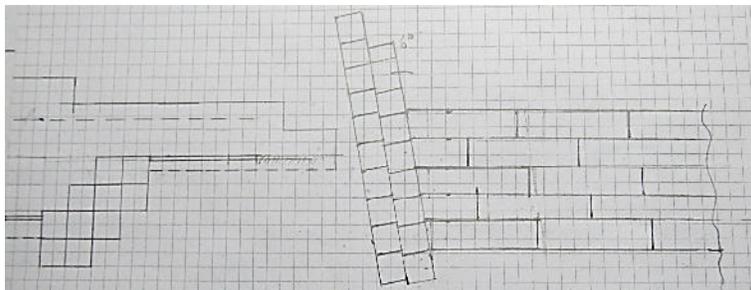


Figura 14: Esquema de detalle de uno de los saltos y margen, constituidos por gaviones y colchonetas y geotextil

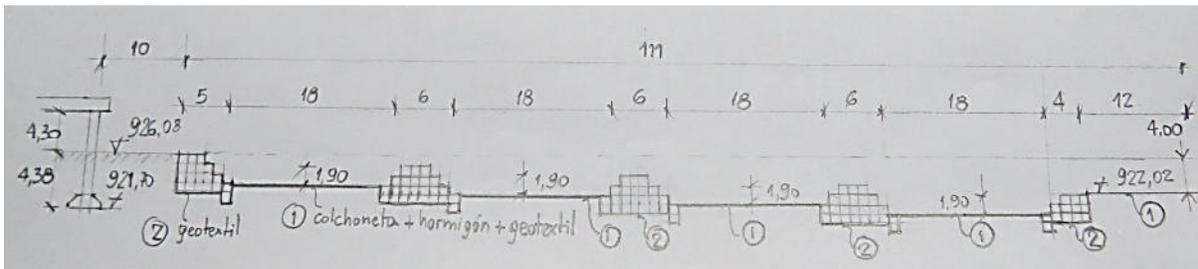


Figura 15: Esquema de la obra de mitigación contra la erosión, constituida por gaviones y cuatro etapas de disipación de energía.

El elemento fundamental para que las obras sean eficientes es el monitoreo permanente y chequeo de la dinámica de comportamiento a través de un equipo de inspección, que releve los aspectos más importantes: señales de la máxima crecida, estado de la obra de salida, control de los cuencos en cuanto a su estabilidad y horizontalidad superficial.

Como corolario, si se interpone una obra en cualquier corriente de agua, ya sea permanente o semipermanente, los caudales se encontrarán con elementos extraños, produciéndose singularidades que alternan el flujo desarrollado, cambiando en pocos metros todas sus variables hidráulicas. Por estas razones es que las obras hidráulicas transversales de cruce, deben interferir lo mínimo indispensable, incluso no tocar el cauce natural, para causar luego un desequilibrio.

Recomendaciones para la extracción de áridos.

Visto los problemas directos y los indirectos que causan las extracciones no controladas de canteras, deberán estudiarse distintos tipos de extracciones alternativas:

- En algunas regiones, se encuentra estrictamente prohibida la extracción de materiales de los ríos secos, debiendo realizarlas de sitios estudiados ambientalmente para luego ser cicatrizados mediante su uso como vertederos de residuos sólidos urbanos y convertidos en sitios de esparcimiento.
- En cauces relativamente estrechos como los del piedemonte mendocino (superficie plana de pendiente alta) es conveniente no alterar sus lechos. Una de las alternativas es realizar una extracción a cielo abierto fuera del cauce en una gran superficie, de manera de no alterar los escurrimientos y, una vez alcanzados niveles extractivos muy inferiores a los naturales del cauce, permitir que, de acuerdo a los estudios hidrológicos previos, se permita que las sucesivas crecidas vuelvan a rellenar con sus sedimentos la superficie afectada hasta los niveles normales. Esta alternativa también requiere de estudios hidrológicos y geomorfológicos de detalle, de manera que la cicatrización de los sitios sea posible y no queden grandes y graves cráteres como los que existen al oeste de Godoy Cruz, en Rivadavia y el empalme de la ruta internacional 7 con la RN40, por citar ejemplos por todos conocidos. El trabajo de cicatrización conlleva un estudio de especies autóctonas que se adapten a su nueva superficie y sus necesidades de riego hasta que puedan subsistir con el clima desértico de la zona.
- Las medidas anteriores requieren de una fuerte Autoridad de Aplicación que controle la actividad extractiva, los sitios, el proyecto sustentable económico y ambiental y también la tasa de transporte, ya

que, en la actualidad, los camiones de transporte de áridos transgreden todas las normas, como por ejemplo las identificaciones del transportista, la carga por eje, la cobertura de la caja, entre otros.

- La actividad extractiva de la zona de los ríos secos puede ser suplantada por otra actividad extractiva que tenga un doble propósito. Por una parte, la finalidad de obtener materiales para la construcción, y por la otra, generar sitios para la seguridad hidrológica de los habitantes. Esta condición se puede dar en ciudades como el Gran Mendoza, San Rafael y Malargüe que sufren los problemas de las crecidas aluvionales causadas por las tormentas cada vez más intensas y espaciadas.
- Un ejemplo de aplicación directa es el aumento de la capacidad de los diques de retención de crecidas del Gran Mendoza, existentes al oeste del gran orbe, los cuales fueron proyectados en la década de 1930 y construidos en la década de 1940, con métodos muy anticuados y de muy baja capacidad de retención. De acuerdo a estudios realizados por la Dirección de Hidráulica entre 2005 y 2007, es posible realizar la extracción de material, si bien de inferior calidad, útil para la construcción, en reemplazo de los extraídos de Anchoris, sitio de estudio. En efecto, en la Formación (FM) Mogotes se encuentran los tres diques de retención y laminación de caudales de las crecidas aluvionales de un frente de 50 km al oeste de Mendoza y las siguientes características: Diques de Retención: “Los Papagallos” (1940), cuenca de 57 km², volumen de regulación de 0,8 hm³ y una altura de presa de 17,2 m, el “Frías” (1972) con 26 km², 2,3 hm³ y 30 m de altura y el Dique “Maure” (1940) con 60 km², 0,5 hm³ y 20 m de altura.

Todos estos cuencos pueden ser ampliados mediante la extracción de áridos de las laderas de los cerros de la FM Mogotes, del Plioceno. Es lo que normalmente se conoce como “ripo barranca”. Si a estos vasos se los somete a una extracción minera de manera de obtener el mayor rendimiento, se estaría procediendo tal como en el lenguaje medioambiental se lo conoce como sustitución de efectos. Ello implica la reducción y desaparición de las extracciones de los ríos secos reemplazados por la extracción del material proveniente de los vasos de retención hídrica que protegen al gran Mendoza de las Crecidas Aluvionales. Ello aumentaría la seguridad, especialmente en un momento en que la planificación urbana está regida por el mercado y no regulada por el estado. Estas acciones deben ser promulgadas por el estado paralelamente a la clausura de la explotación de los ríos secos, acompañada de un análisis ambiental profundo, para mitigar los posibles impactos ambientales que significaría trasladar las ripieras al oeste de Mendoza, asociadas con la elaboración del hormigón para su transporte en camiones mixer desde el oeste de la ciudad hasta la misma.

- En poco tiempo se reduciría la vulnerabilidad que hoy presenta el Gran Mendoza, a la vez que se aumentaría el grado de seguridad para las obras de arte de las Rutas de Mendoza.
- Ello supone un gran desafío y un gran cambio de mentalidad, tanto para la población, como para el empresariado mendocino, acostumbrado a no cuidar el medio ambiente.