

## OBRAS DE EMERGENCIA DE PROTECCIÓN DE COSTAS EN LA LOCALIDAD DE EL COLORADO

Marcelo C. Calviño, Claudia L. Capello y Luis A. Novo  
Marcelo Calviño y Asociados s.a.

Manuela Pedraza 2457 piso 10° depto. A (C1429CCJ) Buenos Aires - Argentina  
Tel/Fax: 54 11 47049055 - 54 11 47049076 E-mail: [mcalvino@mcyasa.com.ar](mailto:mcalvino@mcyasa.com.ar)

### INTRODUCCIÓN

La Ciudad de El Colorado se desarrolla sobre la margen izquierda del Río Bermejo aguas arriba del puente Libertad, en un tramo que presenta inestabilidad de su curso, con desplazamientos en la traza del mismo. Debido a este comportamiento y a la cercanía del ejido al río, se produce la afectación a distintas obras de infraestructura.

Por este motivo se ha planificado una serie de obras de emergencia para evitar la afectación del desarrollo existente.

Se destaca que se trata de obras de emergencia dentro de un curso que presenta inestabilidades en su traza, por este motivo es muy importante que las obras cuenten con un continuo seguimiento y análisis de la evolución del curso, para realizar las tareas de mantenimiento si se requirieran o eventualmente la ampliación del área de protección.

En los ríos que escurren a través de material aluvial ocurren esencialmente desplazamientos laterales, principalmente en las orillas exteriores de las curvas, durante la época de crecientes. Las márgenes interiores también se desplazan pero hacia el interior del río, por efecto del material que sedimenta. Por lo tanto tenemos un proceso erosivo en la margen externa de la curva y una sedimentación en la interna.



Hay que destacar que cuando un río comienza a erosionar la orilla exterior de una curva disminuye el radio de curvatura, y como el ancho se mantiene constante, la reafición entre el radio y el ancho del río disminuye y por lo tanto aumenta la capacidad erosiva del río. Se notarán mayores retrocesos en la margen exterior de las curvas afectadas, los que continúan hasta que el meandro conformado se corta, o hasta que la corriente cambia su lugar de ataque, ya que las curvas de aguas arriba están sufriendo erosión y ello produce cambios en la dirección del flujo hacia aguas arriba.

## **TRAMO DEL RÍO BERMEJO EN EL COLORADO.**

El río Bermejo en el tramo desde el límite con Salta hasta el Colorado el cauce está mejor definido con márgenes altas y curso meandroso. Presenta signos de inestabilidad, con rastros de erosiones y deposiciones, incluyendo meandros abandonados.

A 1200 m aguas abajo del puente Libertad, está emplazada la estación de aforos que era operada por Agua y Energía Eléctrica y en la actualidad es observada por Evarsa. Esta es una sección estable que se ha mantenido a lo largo del tiempo, con barrancas pronunciadas, aunque se trata de un río de llanura en el que la sección se adapta al caudal que escurre con la variación del fondo.

El tramo desde la sección de aforos hasta el puente se observa como encajonado entre las barrancas, y se ha mantenido bastante estable en los últimos años.

En el tramo del río que escurre lindero a la Ciudad de El Colorado tiene una longitud de aproximadamente 10.000 m, desde el puente en la progresiva 0.00 hasta aguas arriba del meandro.

Como se identificó, se trata de un tramo del Río inestable con áreas de erosión y deposición dentro del tramo, las zonas de erosión coinciden con los sectores externos de las curvas y los sectores de deposición con los internos.

### **OBJETIVOS**

El objetivo de las obras de emergencia ha sido estabilizar la línea de costa do forma de evitar de los derrumbes de la barranca afecten la infraestructura urbana.

La prioridad se ha fijado en el Puente Libertad, ya que se venía registrando un proceso erosivo aguas arriba del puente sobre el estribo de margen izquierda, por este motivo se ha protegido la margen izquierda en el ingreso al puente.

Y en otros dos sectores donde el proceso erosivo se acercaba peligrosamente al ejido urbano se implemento la protección de estos sectores.

### **COMPORTAMIENTO DEL TRAMO**

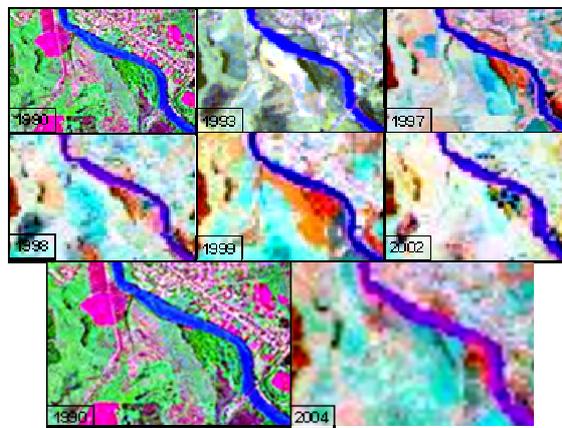
Como se identificó, se trata de un tramo del Río inestable con áreas de erosión y deposición dentro del tramo, las zonas de erosión coinciden con los sectores externos de las curvas y los sectores de deposición con los internos.

Para evaluar el comportamiento del tramo se obtuvieron además de los relevamientos topográficos del año 2003, distintas situaciones recompuestas a través de imágenes satelitales que se identificaron en los antecedentes utilizados.



En la imagen se observa la evolución del tramo desde el año 1990 hasta el año 2004. En el tramo motivo del presente análisis, se identifican como áreas conflictivas las siguientes:

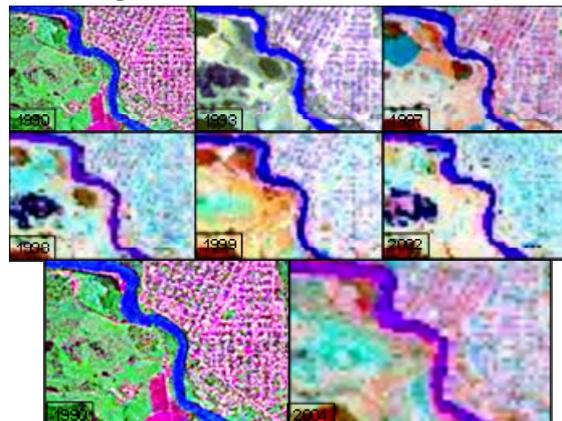
Sector de curva aguas arriba del Puente Libertad. Progresivas 0.00 a 1.000



En el sector próximo al puente Libertad se observa que no ha habido grandes desplazamientos, el río escurre con dirección al estribo del lado de la provincia de Formosa, pero influenciado por la morfología y por una mayor presencia de arcillas se da una relativa estabilidad. Independientemente de esta aparente estabilidad se considera que por la importancia de la vinculación vial, la consolidación de las márgenes en este sector y evitar mayores socavaciones en el sector del puente son hipótesis fundamentales para el planteo de las obras.

Si bien según puede observarse en la figura anterior el cauce se ha desplazado considerablemente entre los años 1990 y 2004, se observa que desde el año 1998 en las proximidades del puente la sección se ha mantenido estable.

Curva toma de Agua Potable. Progresivas 2.900 a 3900



Con respecto al sector comprendido entre las progresivas 2900 y 3900 se observa una mayor estabilidad, pero se destaca que por tratarse de un sector con una barranca importante y como está en el sector externo de la curva las mayores profundidades del río están en este sector y la barranca con su talud actual tiene estabilidad de corto plazo por la acción de la cohesión pero no se la puede considerar como estable en el tiempo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los procedimientos más comunes para proteger las márgenes de los ríos, sobre todo las exteriores de las curvas son: las protecciones puntuales y las defensas longitudinales. El propósito principal de las obras es evitar el contacto directo entre el flujo con alta velocidad y el material que conforma la orilla, además permiten guiar o conducir el flujo en una dirección conveniente.

En esta zona se ve agravada la materialización de los espigones por

- los importantes tirantes de agua existentes, tanto en bajante como en crecidas.
- Falta de material pétreo en las proximidades de las obras.

## Espigones

Son estructuras interpuestas a la corriente, uno de cuyos extremos está unido a la margen a proteger. El propósito consiste en alejar de la orilla las líneas de corriente con alta velocidad, y evitar así que el material de la margen sea transportado y erosionado. Además los espigones favorecen que los sedimentos se depositen entre ellos, con lo que se logra una protección adicional de la orilla.

## Protecciones continuas

Son protecciones que consisten en colocar, directamente sobre la orilla, un material de revestimiento que no pueda ser arrastrado por la corriente. Para ello normalmente se debe perfilar la margen con un talud estable y que permita la colocación del revestimiento. Entre el material a colocar y el material a contener se debe asegurar el cumplimiento de las leyes de filtro, en caso de no cumplirse se deberá conformar con filtros naturales o artificiales.



## DISEÑO DE LAS OBRAS

El sector a proteger era de aproximadamente 10.000 metros de largo. Atento a la extensión, resultaba antieconómico el desarrollo de defensas longitudinales continuas en toda la traza. Es por ello que se dividió el sector en dos partes, de acuerdo a su importancia: a) Protección del estribo norte del Puente Libertad y b) Protección del resto de la costa.

Para proteger el estribo del puente se diseñó una obra continua longitudinal compuesta por un muro de hormigón de gravedad con una protección al pie para evitar que la erosión del río descalzara la fundación del muro.

Superiormente se construyó un paseo costanero.



Para el resto de la costa, se proyectaron espigones formados por pilotes metálicos empotrados en el fondo del río y placas de hormigón armado que cierran frontalmente el espigón. Estas placas se apoyan en estructuras metálicas colocadas entre pilotes y empotradas en el fondo.



## METODOLOGÍA CONSTRUCTIVA

El muro de gravedad se construyó de hormigón simple calidad H-13, trabajando desde la costa. La protección al pie se realizó “in situ” aprovechando el período de estiaje del río.

La ubicación de los espigones se realizó siguiendo los lineamientos indicados por el Ing. J. A. Maza Alvarez a fin de optimizar su influencia, tanto aguas abajo como aguas arriba de cada uno. Los espigones se construyeron hincando pilotes metálicos utilizando equipo flotante,

pues la profundidad del río, aún en estiaje, impidió realizar las obras en seco. Se utilizaron vibrohincadores colocados en grúas, sobre pontones flotantes. Una vez hincados los pilotes se construyeron estructuras metálicas entre ellos para permitir el amarre de elementos prefabricados de hormigón armado. Estos elementos se hincaron en el fondo del río utilizando inyección de agua a presión.

#### **EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LAS OBRAS**

Durante la etapa de proyecto se ha simulado el comportamiento del tramo del río mediante un modelo morfológico, mediante esta herramienta se evaluaron alternativas de protección que no incrementaran la erosión generalizada en el tramo.

#### **ASPECTOS CONSTRUCTIVOS**

Los trabajos se realizaron desde tierra (defensa continua) y desde agua (espigones).

El muro de gravedad y su defensa flexible al pie se construyeron durante la bajante del río, en los meses de setiembre a noviembre de 2005. El muro es de gravedad y fue realizado con hormigón masivo calidad H-13 en tongadas de un metro de altura. Tiene una altura total de 6,00 metros y un ancho de base de 5,50 metros.

La defensa al pie fue construida a partir de un geotextil tejido de polipropileno de alta resistencia, con loops incorporados a fin de facilitar la adherencia de los bloques de hormigón construidos superiormente. Entre el geotextil no tejido y el suelo se colocó un geotextil no tejido de poliéster que actuó como filtro, a fin de evitar que las partículas finas del suelo migren a través de la protección. Los bloques tienen 12 cm de espesor y la defensa un largo de 15 metros perpendicular al muro.

El sistema muro-protección al pie se comportó satisfactoriamente durante la crecida extraordinaria ocurrida con posterioridad a la construcción. No se detectaron fugas de material ni asentamientos diferenciales en las adyacencias.

Los espigones fueron construidos desde agua, utilizando pontones, grúas y vibrohincadores, con la asistencia de buzos profesionales para el ensamble de estructuras bajo agua.

Si bien el criterio de diseño se mantuvo en el proyecto de todos los espigones, cada uno se diseñó específicamente en función del perfil transversal en el sector del río donde fue construido.

Los espigones están formados por pilotes metálicos de diverso tamaño separados una distancia variable de 2,50 a 3,00 metros. El diámetro va desde un mínimo de 356mm para los ubicados en la costa hasta 813mm para los ubicados en el extremo más alejado. Las longitudes que van desde 9m hasta 20m respectivamente.

Los pilotes fueron pintados con pintura epoxi y recubiertos interiormente con arena y un tapón de hormigón en la parte superior.

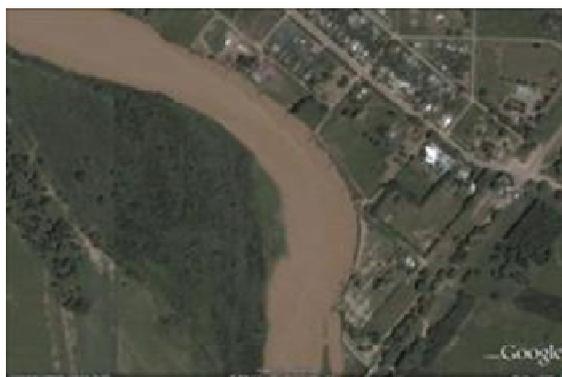
Entre ellos se montó una estructura metálica protegida con pintura epoxy que sostiene a las placas de hormigón armado que forman la pantalla. Estas placas fueron fabricadas en obrador

y colocadas mediante grúas. Fueron vinculadas a la estructura mediante insertos metálicos e hincadas inferiormente en el suelo mediante inyección de agua.

En el pie del pilote extremo se colocó una manta de protección similar a la construida a pie de muro para minimizar la erosión localizada producida por el agua.

#### COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS

Las obras ya durante la etapa de construcción se vieron sometidas a una crecida extraordinaria en niveles de agua alcanzados y la permanencia de la misma, es de destacar no solo el buen funcionamiento que tuvieron los espigones, sino que permitió la continuación de las obras durante la crecida.



Se puede ver el comportamiento de la vena líquida en la imagen y como se ha desplazado de la costa al tramo central del curso.

Se ha contado con imágenes Digital Globe del 15 de enero de 2008 en el google, donde se pudo observar el comportamiento de la obra.

En la siguiente imagen donde se a hecho un zoom de los últimos espigones se observa el equipo de colocación de los pilotes metálicos en los espigones finales del tramo.



En la imagen siguiente se ve el tramo de progresivas 2900 a 3900.



## CONCLUSIONES

Las obras construidas permitieron proteger los sectores de costa involucrados en los procesos erosivos, aún de la crecida ocurrida en el año 2008 (extraordinaria por su magnitud y duración). El excelente desempeño de la protección longitudinal protegió el estribo del puente, en tanto que los espigones minimizaron el daño en la costa, que hubiera sido devastador para la Ciudad de El Colorado.

En la foto que se incluye a continuación se muestra el nivel alcanzado por el río y el espigón. Es de destacar que los niveles de la crecida 2008 son los máximos históricos en la estación El Colorado.



## REFERENCIAS

**Maza Alvarez, J. A.** (1996). Manual de Ingeniería de Ríos, UNAM, México.

**Martín Vide Juan P.** (2003). Ingeniería de Ríos, Editorial ALFAOMEGA.

**Pilarczyk, K.** (1998). Dikes and Revetments, Design, Maintenance and Safety Assessment.. Balkema, Rotterdam.

**Julien, Pierre Y.** (1998). Erosion and Sedimentation. Cambridge University Press .

**Leopold, Luna M. – Wolman, Gordon, and Miller, John.** (1995). Fluvial Processes in Geomorphology. Dover Publication.