

# ANÁLISIS HIDRODINÁMICO DEL DESVÍO DEL ARROYO CORRALES, RIVERA, URUGUAY

Luís Teixeira<sup>1</sup>, Raúl López Pairet<sup>2</sup>, Christian Chreties<sup>1</sup> y Guillermo López<sup>1</sup>.

1-Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Universidad de la República, Uruguay

2- Ingeniero Asesor de la empresa Loryser S. A.

[luistei@fing.edu.uy](mailto:luistei@fing.edu.uy), [raul.lopezpairet@gmail.com](mailto:raul.lopezpairet@gmail.com), [chreties@fing.edu.uy](mailto:chreties@fing.edu.uy), [glopez@fing.edu.uy](mailto:glopez@fing.edu.uy).

## Introducción

La empresa Loryser S.A., explota actualmente una mina, denominada "El Arenal", sita en la 5ta. Sección Judicial del departamento de Rivera. A los efectos de extender la explotación actual de la mina se propone una obra de desvío y canalización de un tramo del arroyo Corrales al oeste de dicha cantera, como lo indica la Figura 1. Para ello la empresa ha proyectado dos diques de protección, situados al comienzo y final del desvío del arroyo, de sección heterogénea: núcleo de suelo arcilloso compactado y faldones de material granular estéril (sin mineral). La excavación del nuevo cauce se realiza en roca, con una longitud aproximada de 1250 m, sección trapezoidal de 40 m de ancho de fondo y una pendiente de 0.19 %; previéndose trayectos curvos en varios sitios.

A solicitud de la empresa se realizó un estudio orientado al análisis de la viabilidad desde el punto de vista de la ingeniería hidráulica del proyecto del desvío y a la identificación de las acciones requeridas para asegurar la estabilidad del nuevo cauce.

En este artículo se presentan la metodología y resultados del análisis realizado en cuanto a la hidrodinámica del arroyo y la obra del desvío. Entre los resultados se destaca la caracterización hidrodinámica de las situaciones con obras y sin obras y las modificaciones realizadas al proyecto original, a partir del desarrollo del estudio, para minimizar las diferencias entre ambas situaciones.

## Metodología

La metodología de estudio se basa en la modelación numérica hidrológica e hidrodinámica de un tramo del arroyo Corrales.

En primer lugar se realizó la recopilación y sistematización de información necesaria para la implementación de los modelos. De esta manera se obtuvo: información cartográfica, información pluviométrica e hidrométrica e información de suelos de la cuenca. Complementariamente se desarrolló un relevamiento plani-altimétrico para representar adecuadamente la geometría del curso fluvial. Luego se realizó una modelación hidrológica semi-distribuida de la cuenca de aporte del arroyo Corrales con cierre en la ruta 28 (4000 metros aguas arriba del tramo a desviar), la que ocupa aproximadamente 1013 Km<sup>2</sup>; para así determinar los hidrogramas de aporte al arroyo en la zona del desvío para eventos extremos. Para ello, se consideró una discretización en 7 sub-cuencas, como se indica en la Figura 2, en las cuales se modeló el proceso de infiltración (método de curva número) y el proceso de transformación Precipitación Efectiva- Caudal a través del hidrograma unitario triangular del S.C.S. El tránsito por el arroyo Corrales dentro de la cuenca se realizó utilizando el modelo de Onda Cinemática. Esta modelación hidrológica se llevó a cabo sobre la base del software HEC-HMS (US Army Corps of Engineers) en su versión de mayo de 2003.

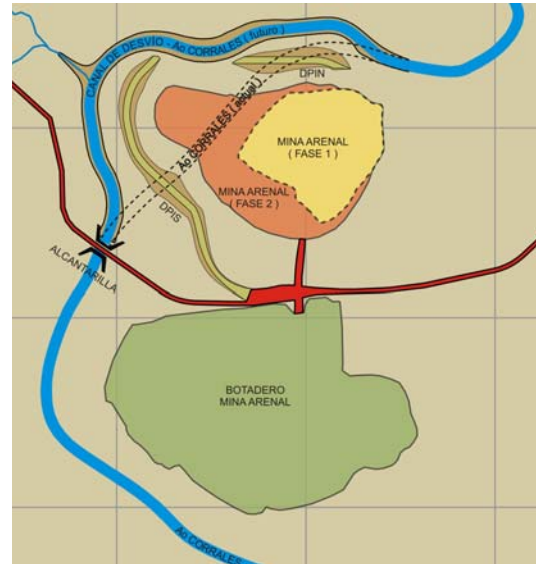


Figura 1.- Esquema del desvío propuesto.

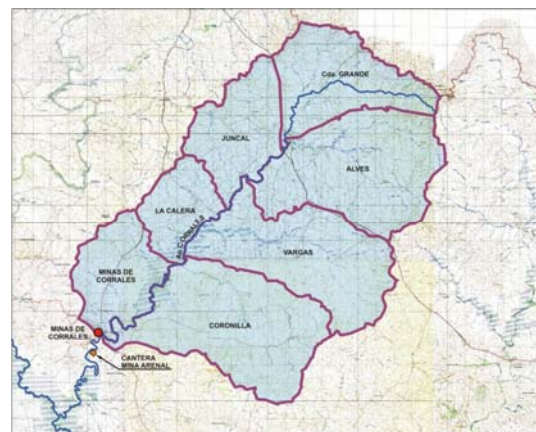


Figura 2.- Cuenca del Arroyo Corrales y división en subcuencas.

Paralelamente se realizó una **modelación hidrodinámica** del tramo del arroyo Corrales 900 metros aguas arriba del puente de ruta 28 (5 kilómetros aguas arriba del tramo a desviar) hasta la confluencia con el arroyo Cuñapirú (25 kilómetros aguas abajo del tramo a desviar), para lo cual se utilizó el software HEC-RAS 3.1.3 (U.S. Army Corps of Engeniering ) en su versión de mayo de 2005. Este software, permite resolver numéricamente las ecuaciones de flujo transitorio unidireccional a superficie libre (ecuaciones de Saint-Venant), sobre un dominio de cálculo representado por la topografía del cauce y planicie de inundación del arroyo.

Se realizó una calibración primaria del modelo hidrodinámico, utilizando la información de aforos de caudal bajos existente en el puente de ruta 28. Luego se realizó una calibración conjunta definitiva de los modelos hidrológico e hidrodinámico para el evento extremo de septiembre de 1961. Se ajustaron así los parámetros hidrológicos de cada subcuenca: número de curva, impermeabilidad, abstracción inicial; los parámetros del tránsito hidrológico: rugosidad y pendiente de energía y los

coeficientes de rugosidad de las secciones del modelo hidrodinámico.

Posteriormente, se realizó la validación de los modelos para el evento de abril del 2002 (máximo registrado) donde también se contaba con información pluviométrica diaria en las 3 estaciones consideradas en la cuenca, y los niveles máximos en el puente de ruta 28 y puente Bailey (Alcantarilla en embocadura del desvío proyectado).

Previo a la etapa de análisis del comportamiento de la traza del desvío, se realizó un análisis estadístico de caudales máximos extremos del arroyo Corrales en la sección del puente de ruta 28, con el objetivo de determinar los caudales máximos para diferentes recurrencias.

## Resultados

La verificación del modelo hidrológico-hidrodinámico, al igual que en el caso de la calibración se realiza en forma acoplada utilizando los datos de precipitación del evento de abril de 2002 y los niveles en el puente de Ruta 28 y puente Bailey (sección del desvío), como secciones de verificación de niveles. Se consiguió para la validación una diferencia máxima de 43 cm entre el valor máximo simulado y el observado en el puente de ruta 28, lo cual se considera admisible para la información manejada, las características del modelo y el objetivo de este estudio.

El modelo hidrodinámico permitió analizar la incidencia de las obras en el flujo del arroyo en las secciones de interés y para diferentes eventos. Como parte de estos resultados en la tabla 1 se indican para diferentes caudales máximos, cuales son los niveles en la situación con las obras proyectadas, la situación actual (alcantarilla y dique actual) y sin obras (natural) para la sección del puente sobre la ruta 28. Los resultados de este análisis para la sección ubicada en el Puente de ruta 28 se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.-** Incidencia de las obras en el puente de la ruta 28.

Tr (años)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Nivel (m)			Diferencia de niveles (m)	
		Sin obras	Actual	Con obras	c/obras - s/obras	c/obras - Actual
500	2096	128.04	128.10	128.54	0.50	0.44
250	1920	127.60	127.65	128.02	0.42	0.37
100	1687	127.00	127.04	127.33	0.33	0.29
50	1510	126.52	126.55	126.79	0.27	0.24
25	1331	126.02	126.05	126.22	0.20	0.17
10	1090	125.30	125.35	125.44	0.14	0.09
5	900	124.64	124.69	124.76	0.12	0.07
2	615	123.54	123.57	123.59	0.05	0.02

En los resultados presentados en la tabla anterior al efecto calculado por el modelo hidrodinámico unidimensional se le ha agregado el efecto de las pérdidas de carga, introducidas en el flujo, por la presencia de curvas en el desarrollo en planta del canal de desvío proyectado.

Inicialmente se preveía un diseño del desvío que consideraba ocho curvas, de las cuales dos tenían un radio de curvatura de 80 m, tres un radio de 100 m y las 3 restantes 170 m de radio. Luego de analizar la pérdida de carga y la sobreelevación lateral provocada en las curvas diseñadas, para el evento extremo de abril de 2002, se concluyó que sería conveniente modificar levemente la sección del canal. En este sentido, el proyecto original fue corregido considerando las recomendaciones que surgen de este estudio, tendientes a disminuir el efecto de las curvas del desvío. En el trazado definitivo, se eliminó una curva de 100 m de radio, y se modificaron los radios de las curvas de 80 m pasando a 170 m.

Complementariamente, los resultados muestran que si bien

se registra un aumento en el tiempo de corte del paso del puente de ruta 28 para eventos de crecida, este no es significativo (1 %) incluso para caudales mayores a la crecida de abril de 2002.

El nivel crítico de sobrepasamiento del dique proyectado, es de 125.50 m lo que corresponde a un caudal de 1808 m<sup>3</sup>/s, calculado a partir del modelo hidrodinámico. Utilizando la estadística de extremos, este caudal tiene una recurrencia de 161 años.

En resumen, se observa que desde el punto de vista hidrodinámico, la nueva traza del desvío no genera consecuencias importantes. Por ejemplo, la sobreelevación provocada en el puente de ruta 28 para una recurrencia de 100 años (Q=1687 m<sup>3</sup>/s) es de 0.33 m por encima de la correspondiente a la situación sin obras (tirante de 10.42 m). Esta provoca un aumento del tirante del orden del 3 % (pasando de 10.42 m a 10.75 m) y del 1 % en la duración del corte del puente por la crecida.

## Conclusiones

A los efectos de analizar la viabilidad desde el punto de vista de la ingeniería hidráulica del proyecto de desvío, se realiza el presente estudio, basado en la modelación numérica hidrológica-hidrodinámica del tramo del arroyo Corrales. A partir de dicha modelación, se observa que desde el punto de vista hidrodinámico, la nueva traza del desvío no genera consecuencias importantes.

Se concluye entonces que de acuerdo a la información disponible y a los elementos técnicos manejados en este documento, no existen elementos que muestren impactos significativos, desde el punto de vista de la ingeniería hidráulica, como consecuencia de la implantación del desvío del arroyo Corrales propuesto por la empresa.

## Referencias Bibliográficas

- Genta, J.L. Charbonnier F. & Rodríguez A. (1998). "Precipitaciones máximas en el Uruguay", Congreso Nacional de Vialidad.
- IMFIA (2008). "Estudio de las Actuaciones de Ingeniería Propuestas para el Desvío del Arroyo Corrales", Convenio: LORYSER S.A. – IMFIA (UdelaR-FI), Informe final.
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Dirección de Recursos Naturales, División Suelos y Aguas (2001). "Compendio Actualizado de Información de Suelos del Uruguay" (CAISU), escala 1/1000.000, publicado por el, versión digital.
- Molfino J.H.; Califra A. (2001) "Agua Disponible de las Tierras del Uruguay", División de Suelos y Aguas, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca.
- Soil Conservation Service (1985). "National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology.(NEH-4)". United States Department of Agriculture (USDA).