

# ADECUACIÓN HIDRÁULICA DE UN TERRAPLÉN FERROVIARIO PARA UN EVENTO DE ALTA RECURRENCIA

Alejandro R. Ruberto, Jorge V. Pilar y Marcelo J. M. Gómez

Grupo de investigación del Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Av. Las Heras 727. (H3500COI) Resistencia, Chaco, Argentina.

E-mail: aleruberto44@yahoo.com.ar, jvpilar@gmail.com, mgichaco@yahoo.com.ar

## Introducción

El Tapenagá es un río que escurre por una llanura con baja energía de relieve, lo que configura un "sistema hidrológico no típico" (SHNT) (Fertonani, 1983) y su cuenca baja se desarrolla casi en su totalidad al sur de la provincia del Chaco y una pequeña parte de ella en la provincia de Santa Fe, al norte de Argentina (fig. n°1).

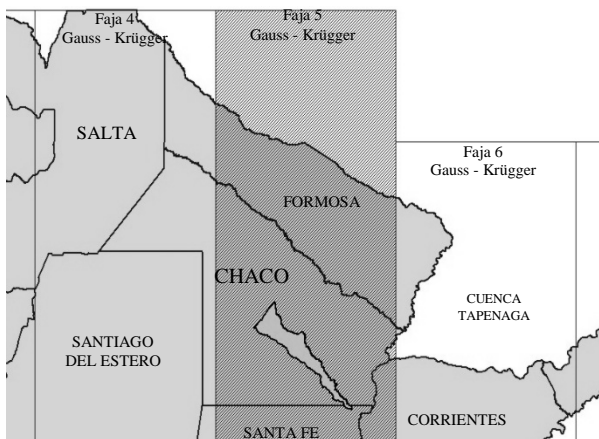


Figura 1.- Ubicación de la zona en estudio (fuente: Valiente, 2004).

El terraplén ferroviario en estudio, atraviesa el valle de la cuenca del río en un ancho de poco más de 8.000m. Sobre el mismo se ubica un puente principal de 20m de luz y un aliviadero de 5,7m de extensión. Además, existen otras cuatro obras de arte sobre margen izquierda, en una zona de bañados.

## Objetivo

El objetivo del presente trabajo fue realizar la adecuación hidráulica de un tramo de terraplén ferroviario que atraviesa la cuenca del río Tapenagá, teniendo en cuenta la mayor crecida registrada en ella.

Dicha crecida se produjo en 1986 y según los estudios estadísticos realizados presentaría una recurrencia de 30 años, según caudal (Alegre, 2001).

Esa crecida de alta recurrencia fue un insumo fundamental para el trabajo; concretamente, sirvió para la etapa de calibración de la modelación hidrológica.

## Materiales

Se utilizaron registros hidrométricos de una escala próxima al terraplén ferroviario, siendo el de la crecida de 1986 la máxima observada.

Aguas arriba del terraplén que se estudió, el Gobierno del Chaco proyectó y construyó un canal de drenaje, conocido como "Línea Tapenagá de los Bajos Submeridionales", cuya capacidad de conducción es de 28m<sup>3</sup>/s.

Se utilizaron datos provenientes de relevamientos topobatimétricos, mediciones in situ de las obras de arte y altimetrías del terraplén.

En ese contexto, el caudal crítico que debería ser considerado en

el diseño fue la crecida de 1986, en la que se aforaron 341m<sup>3</sup>/s: 279m<sup>3</sup>/s por el puente principal (a ser ampliado) y 62m<sup>3</sup>/s que escurrieron por otras cuatro obras de arte.

En ese contexto, el incremento propuesto de la luz del puente principal disminuiría las velocidades de escurrimiento de 2,8 a 1,5m/s. Algo parecido ocurriría con las otras cuatro obras de arte, en las que no se tendrían velocidades superiores a 1,25m/s.

## Metodología

Para la modelación y las simulaciones hidrológicas e hidráulicas se empleó el programa HEC-RAS (River Analysis System), desarrollado por el U.S. Army Corp of Engineers.

Se simuló por separado el puente principal con su aliviadero, considerando las 4 obras de arte localizadas en margen izquierdo como otro subsistema.

Para calibrar la modelación se utilizó la crecida del 15 de abril de 1986, máxima registrada en esa sección. En ella se registró un nivel, aguas abajo del terraplén, de 61,75m IGN y caudal de 83,8m<sup>3</sup>/s (APA), luego de producido el caudal pico. La igualdad del nivel del pelo de agua en ambos subsistemas fue la condición de borde para la calibración del modelo.

La cota de máxima creciente de ese evento sobrepasó el nivel del riel 20cm en promedio, en el sector de la ex Estación Tapenagá, siendo la cota alcanzada 62,30m IGN.

En dicho evento, aguas abajo del terraplén ferroviario, se formó un espejo de agua que funcionó como un embalse, pero manteniendo el escurrimiento, estimándose su nivel en cota 61,90m IGN, que se adoptó como condición de contorno.

## Resultados

### En relación al evento de 1986

Para estimar los beneficios que se obtendrían con la ampliación de la luz del puente a 40m de longitud, se simuló el escurrimiento de la crecida de 1986.

Conocidas las cotas aguas arriba y aguas abajo del terraplén para el evento en cuestión y con los perfiles correspondientes al puente ferroviario y su alcantarilla aliviadora (de 5,7m de luz), se estimó el caudal que podría haber escurrido por esa sección y que compatibilizara las condiciones de borde mencionadas. El mismo fue 240m<sup>3</sup>/s: 225,74m<sup>3</sup>/s para el puente principal y 14,26m<sup>3</sup>/s para la alcantarilla aliviadora.

Para la simulación realizada, la cota del pelo de agua no llegó a tocar el fondo de las vigas del puente (a cota 62,34m IGN), lo que coincide con lo ocurrido en esa oportunidad.

Simultáneamente, para la misma condición de borde de aguas arriba y tomando como condición de borde de aguas abajo cota de 61,75m IGN, se simuló el comportamiento de las cuatro obras de arte ubicadas en margen izquierda del valle (zona de bañados), obteniéndose como caudal escurrido 73m<sup>3</sup>/s: 53,2m<sup>3</sup>/s en la obra de arte de progresiva 480,636 y velocidad media a la salida de 1,37m/s; 6,39m<sup>3</sup>/s en la siguiente; 6,53m<sup>3</sup>/s la otra y 6,90m<sup>3</sup>/s la restante. En general, las velocidades calculadas para los aliviaderos fueron inferiores a 1m/s.

Como la velocidad máxima estimada por la simulación para la sección del puente principal fue de 2,78m/s y dado que debería considerarse como una situación real la descarga del canal de la

Línea Tapenagá de Bajos Submeridionales, de  $28\text{m}^3/\text{s}$  (caudal de proyecto), la situación crítica observada en 1986 empeoraría. Por tal motivo se verificó el efecto que tendría la ampliación del puente principal, duplicando su luz, de 20m a dos luces de 20m cada una, separadas por una pila central.

Se determinó que, para el evento de 1986, en caso de duplicarse la luz del puente principal, el caudal máximo total sería  $254\text{m}^3/\text{s}$ :  $244\text{m}^3/\text{s}$  por el puente principal y  $10\text{m}^3/\text{s}$  por su aliviador. Las velocidades medias en ambas secciones serían 1,5 y  $0,76\text{m}/\text{s}$ , respectivamente.

Por la batería de las cuatro obras de arte ubicadas en margen izquierda escurrirían  $58,5\text{m}^3/\text{s}$ , según la distribución: 43,5; 4,7; 4,95 y  $5,26\text{m}^3/\text{s}$ . La velocidad máxima para la obra de arte de mayor luz (9,8m) se reduciría de  $1,37\text{m}/\text{s}$  a  $1,2\text{m}/\text{s}$  y las que se tendrían en las otras tres superarían levemente los  $0,80\text{m}/\text{s}$ .

Respecto al nivel de agua, disminuiría aguas arriba del terraplén de 62,3 a 62,1m, con lo cual no superaría el nivel mínimo de los rieles, en caso de ampliación del puente principal a 40m de luz.

Es de destacar el efecto “llamador” del puente principal ampliado, aliviando las obras de arte de margen izquierda, concentrando el flujo hacia el cauce principal del río y disminuyendo las velocidades en todas las obras de arte, inclusive en el propio puente.

### En relación a un evento de 50 años de tiempo de recurrencia

Además, por requerimiento de proyecto, se simuló el efecto que tendría una crecida con un caudal de  $293,70\text{m}^3/\text{s}$ , que corresponde a una recurrencia de 50 años y teniendo en cuenta la luz ampliada del puente principal.

Su efecto sería la elevación del pelo de agua en el borde de arriba del terraplén ferroviario a 62,30m IGN, inferior a la cota del fondo de viga del puente principal, que es 62,34m IGN. La velocidad de escurrimiento en el puente principal sería  $1,65\text{m}/\text{s}$ .

Por su parte, el caudal que escurriría por las obras de arte de margen izquierda, compatible con la cota de aguas arriba de 62,30m IGN, sería  $69\text{m}^3/\text{s}$ . La velocidad en la obra de arte de 9,80m de luz sería  $1,27\text{m}/\text{s}$ , mientras que en las otras tres no se superaría  $1\text{m}/\text{s}$ .

Se simuló, además, el efecto que produciría la ocurrencia simultánea de ese mismo evento de 50 años de recurrencia, más la descarga del caudal de diseño del canal de la Línea Tapenagá del Proyecto de Bajos Submeridionales.

Para la última situación, la cota que alcanzaría el agua en el borde de aguas arriba del terraplén ferroviario sería 62,3m, levemente inferior a la del fondo de viga del puente principal (62,34m IGN). El caudal que escurriría por el río sería  $285\text{m}^3/\text{s}$  ( $274,4\text{m}^3/\text{s}$  por el puente principal y  $10,6\text{m}^3/\text{s}$  por el aliviadero), mientras que por las obras de arte de margen izquierda escurrirían  $71,5\text{m}^3/\text{s}$ .

Las máximas velocidades se darían en el puente principal ( $2,05\text{m}/\text{s}$ ) y en la obra de arte de 9,80m de luz ( $1,31\text{m}/\text{s}$ ); las velocidades en las otras alcantarillas serían inferiores a  $1\text{m}/\text{s}$ .

## Conclusiones y recomendaciones

### En relación al evento de 1986

Se consiguió simular el funcionamiento del sistema para la creciente extraordinaria de 1986, con el pico máximo registrado de 61,75m IGN, con buena precisión.

Se comprobó y verificó, para ese evento, que ampliando la luz del puente de 20 a 40m (dos luces de 20m), el efecto sería la disminución de la cota aguas arriba del terraplén ferroviario, lo que evitaría que el nivel de agua supere al de los rieles y compatible con el nivel de fondo de vigas.

Tomando como referencia el evento de 1986, el aumento de la luz del puente principal traería como consecuencia la disminución de las velocidades de  $2,78\text{m}/\text{s}$  a  $1,49\text{m}/\text{s}$ . Para las cuatro obras de arte de margen izquierdo no se observarían velocidades superiores a  $1,19\text{m}/\text{s}$ .

### En relación al evento de 50 años de tiempo de recurrencia

La cota que alcanzaría el agua en el borde de aguas arriba del terraplén ferroviario, para el caso que la luz del puente principal sea ampliada a 40m, sería 62,30m IGN, inferior en 4cm a la cota del fondo de viga del puente actual (62,34m IGN).

El efecto que provocaría la suma de la descarga del canal de la Línea Tapenagá sería la elevación la cota a 62,33m, todavía por debajo de la cota del fondo de viga del puente principal.

Se propone el levantamiento de la rasante del riel a cota 62,63m IGN, valor que surge de sumar 0,30m a los 62,33m de la crecida con caudal de 50 años de tiempo de recurrencia incrementada con la descarga del canal de la Línea Tapenagá.

No se recomienda la ampliación de la luz del puente principal a más de 40m, pues se verificó que mayores ampliaciones no introducirían mejoras en el nivel del pelo de agua ni en las velocidades de escurrimiento.

## Referencias

- Fertonani, M. y Prendes, H.** (1983). “Hidrología en áreas de llanura. Aspectos conceptuales teóricos y metodológicos”. Olavarría, Argentina. p.120/122. Actas Coloquio de Hidrología de Grandes Llanuras. Olavarría. ISBN: 950-9416-00-2.
- Ruberto, A.; Depettris, C., Pilar, J.; Ramos, R.; Mentastí, C.** (2013). “Coeficientes de ajuste de hidrogramas sintéticos en ríos de llanura – método de Snyder, río Tapenagá, Chaco”. XXIV Conagua 2013. San Juan, Argentina. ISSN: 1853-7685.
- Valiente, M.** (2004). “Evaluación de áreas de riesgo – Chaco. Proyecto de saneamiento hídrico y desarrollo productivo, línea Tapenagá”. Ministerio de la Producción, Chaco.
- Alegre, M.; Ruberto, A.; Pilar, J.** (2001). “Adecuación hidráulica del cruce ferroviario sobre el río Tapenagá – Chaco”. Consultoría para la Administración Provincial del Agua del Chaco, Resistencia, Argentina.
- APA-Administración Provincial del Agua del Chaco.** Anales varios. Datos de aforos de la cuenca del río Tapenagá de diversos años. Resistencia, Chaco, Argentina.