

## **DISEÑO GEOMORFOLÓGICO DE CANALIZACIÓN ARROYO MANANTIAL, TUCUMÁN, ARGENTINA**

**Hugo Roger Paz<sup>1</sup>, Ezequiel José Alderetes<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Tucumán. Avda. Independencia 1700. CP 4000 San Miguel de Tucumán

<sup>2</sup>Dirección Provincial del Agua. Bolívar 1082. CP 4000 San Miguel de Tucumán

hrpaz2000@yahoo.com.ar – ezequielzlderetes@hotmail.com

### **RESUMEN**

El proyecto de construcción del Canal La Rinconada, que conduce las aguas del Río Muerto al A° El Manantial ubicado en la provincia de Tucumán, hace necesario la adecuación de este último a los nuevos caudales que deberá transportar. Es por ello que se plantea la canalización del mismo, de manera de incrementar su capacidad de conducción. El proyecto de canalización se realizó teniendo en cuenta criterios hidráulicos y geomorfológicos de manera de tener una obra estable a largo plazo.

### **ABSTRACT**

The proposed construction of the Canal La Rinconada, which leads the waters of the Río Muerto to the A° El Manantial located in the province of Tucuman, requires the adequacy of the latter to new flows to be transported. It is therefore envisaged the project of channeling, so as to increase its capacity. The project of channeling was made taking into account hydraulic and geomorphological issues so as to have a stable work long term.

### **INTRODUCCIÓN**

Frente al serio inconveniente de la falta de capacidad del Canal Yerba Buena para conducir los caudales que recibe y al estado de colapso en que se encuentra el mismo (rotura de su revestimiento en varios tramos), se hace necesaria su refuncionalización, introduciendo modificaciones en el mismo a fin de aumentar su capacidad y con miras a corregir el acentuado deterioro del canal en estos últimos tiempos.

Al problema del colapso en que se encuentra el Canal Yerba Buena se suma los graves problemas de falta de capacidad existentes en el Canal Sur. En efecto, éste presenta un marcado déficit de conducción en casi toda su longitud, lo que produce frecuentes desbordes en varios tramos del mismo ante la ocurrencia de tormentas intensas. Esta falta de capacidad se entiende producto del incremento de la torrencialidad de las precipitaciones y del cambio en el uso del suelo en su cuenca de aporte, lo que produce finalmente mayores caudales. Esta falta de capacidad se ha evidenciado de manera dramática en la intersección del Canal Sur con la RP 301, en cuyo lugar se han producido frecuentes desbordes, llegando incluso a ocasionar la pérdida de vidas humanas. Es por ello que se hace indispensable la disminución de caudales de aporte al Canal Sur, ya que no se puede pensar en un incremento de la sección de conducción del mismo teniendo en cuenta que se haya totalmente restringido por la infraestructura existente, específicamente el camino de servicio, el cual ha sido reformulado por la DPV para su uso como colectora vial.

Para disminuir la exigencia de transporte al canal sur se propone la construcción de un canal que lleve las aguas del Río Muerto (el cual descarga sus aguas al canal sur mediante el Canal Yerba Buena) hacia el A° El Manantial. Esto implica la construcción de un canal de 7 km de longitud desde el canal Yerba Buena existente hasta su descarga en el A° El Manantial.

El proyecto de construcción del Canal La Rinconada, que conduce las aguas del Río Muerto al A° El Manantial, hace necesario la adecuación de este último a los nuevos caudales que deberá transportar. Es por ello que se plantea la canalización del mismo, de manera de incrementar su capacidad de conducción.

El canal descarga sus aguas en el Arroyo el Manantial mediante una estructura de hormigón armado de 65 m de ancho de solera, 4 m de altura y taludes 2:1. Dicha estructura tiene una entrada de agua en su extremo norte por la cual se produce la continuidad del escurrimiento de aguas proveniente de su tramo superior. A la salida de esta estructura de hormigón se ha previsto la construcción de un enrocado de manera de proteger la estructura ante posibles efectos erosivos del agua a la salida.

Posteriormente se inicia la canalización del Arroyo El Manantial propiamente dicha. Para la misma se ha realizado un estudio geomorfológico para su diseño en planta y en sección transversal. Dicho estudio se detalla en la memoria de diseño y cálculo hidráulico. La canalización se ha planteado desde la descarga del Canal La Rinconada hasta el Río Lules. El diseño en planta de la canalización tuvo como premisas minimizar las excavaciones, por lo que se ha seguido en la medida de lo posible la traza actual del A°, rectificando los meandros existentes de manera de incrementar la eficiencia hidráulica de la canalización a construir.

En su recorrido atraviesa la Autopista Tucumán-Famaillá y la RP 157. En los puentes existentes en la autopista se plantea la necesidad de incrementar el ancho de los mismos, para lo cual se construirán puentes adyacentes a los existentes de manera de llevar su ancho final al necesario para el correcto funcionamiento hidráulico. El puente de la RP 157 tiene un ancho suficiente, por lo que no se plantea la construcción de ampliaciones en este puente.

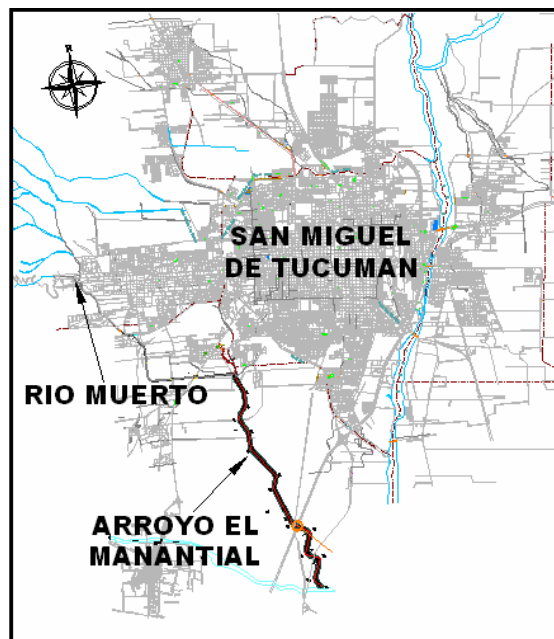


Figura1.- Ubicación general Arroyo Manantial

## OBJETIVO

El diseño en planta de la canalización tuvo como premisas minimizar las excavaciones, por lo que se ha seguido en la medida de lo posible la traza actual del Arroyo Manantial, rectificando los meandros existentes de manera de incrementar la eficiencia hidráulica de la canalización a construir, teniendo en cuenta siempre en cuenta criterios geomorfológicos de estabilidad de cauces para el proceso de diseño de la canalización.

Los parámetros de diseño de la canalización del A° El Manantial adoptada es la siguiente:

Recurrencia caudal de diseño.....50 años  
 Sección canalización.....Trapezoidal  
 Ancho solera.....60 – 70 – y 80 m  
 Altura de cajeros.....4.00 y 5.00 m

Los problemas a solucionar son los siguientes:

- erosión aguas arriba de la cuenca
- inestabilidad del lecho
- inundación urbana y agrícola
- sedimentación de tierras agrícolas

A continuación se enumeran los estudios realizados para el diseño de la canalización.

## HIDROLOGÍA

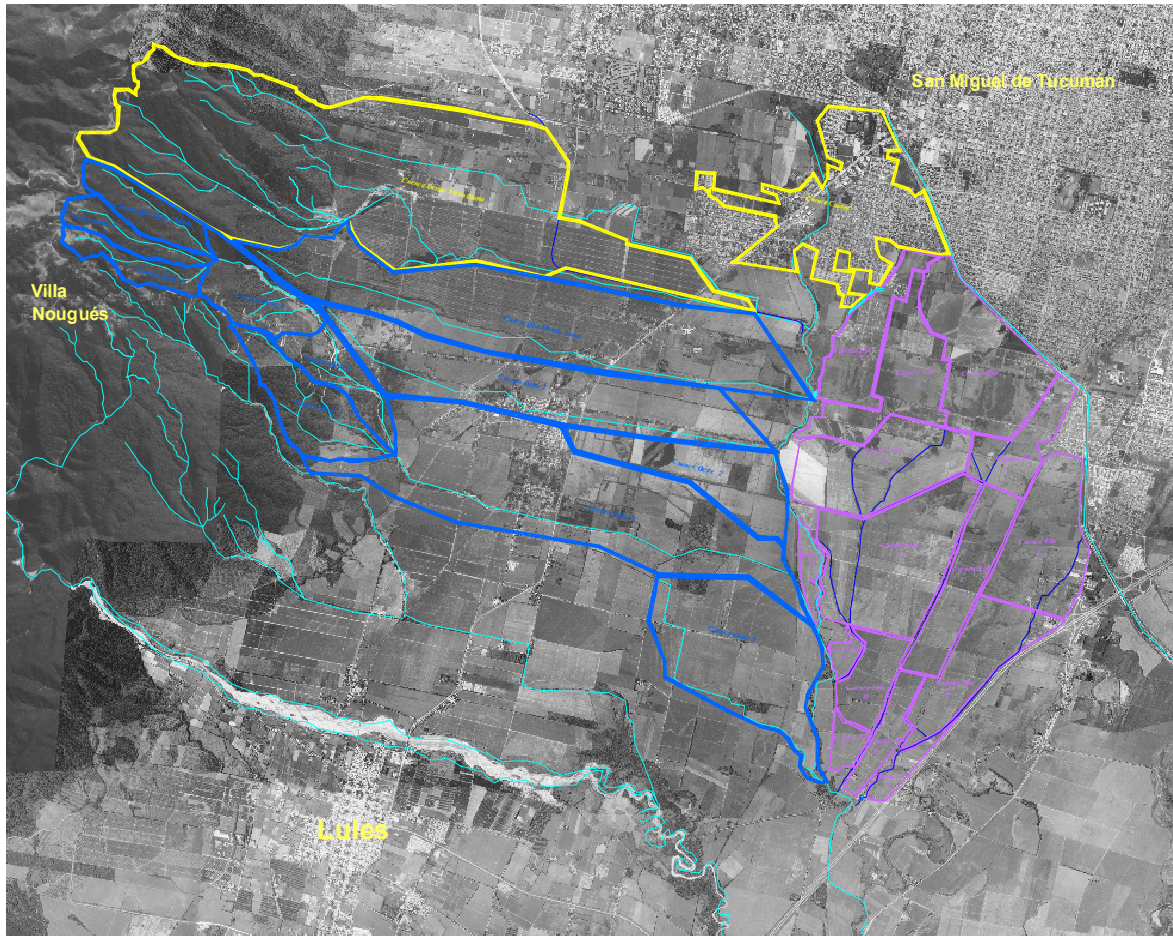
La cuenca de aporte involucra una porción de la ladera oriental de la sierra de San Javier, la que descarga sus tributarios sobre margen derecha del A° El Manantial. Sobre margen izquierda del A° se tiene en tanto una porción de cuenca con características de llanura deprimida. [Ver Figura 2].

La Sierra de San Javier se ubica al oeste y contiguas al conglomerado urbano más importante de la provincia, el denominado Gran San Miguel de Tucumán. Atendiendo a los criterios más actualizados, esta sierra pertenece a la unidad orográfica denominada Sierras Burrayaquenses, (Suayter – 1998). Criterios anteriores indicaban que esta pertenecía a la unidad orográfica denominada Sierras Centrales la cual forma parte del sistema de Sierras Pampeanas, uno de los dos sistemas morfoestructurales de la provincia de Tucumán, dispuesto de norte a sur en la porción centro-oeste de la provincia.

Un basamento metamórfico de muy bajo y bajo grado de metamorfismo regional aflora extensamente constituyendo el núcleo de las Sierras de San Javier. Estas metamórficas han sido identificadas con el nombre de formación Medina y están constituidas principalmente por: pizarras, filitas, metagrauvas y cuarcitas. Sobre el basamento metamórfico en la ladera oriental se dispone un manto cuaternario de suelos finos, (arcillas y limos), de espesor variable no superior al metro.

La cobertura vegetal de las laderas está conformada por bosque con importante sotobosque. Se caracteriza la vegetación por la gran variedad constitutiva, encontrándose 60 tipos de árboles, 43 arbustos, 28 enredaderas y 23 hierbas. (Inventario a 1986 – A. Würschmidt). El

70% de este bosque está constituido por especies perenifóleas y 30% de especies caducifóleas. Se distingue la selva del laurel y el bosque del cevil desde los 600 a los 1300 msnm, con la parición de alisos y pino del cerro por sobre los 1300 msnm.



**Figura2.-** Cuenca de Aporte Arroyo Manantial

Existe una parte importante de la cuenca por debajo de la cota 600 msnm que tiene uso mixto agrícola y residencial, este último con un bajo factor de ocupación del suelo.

Los escurrimientos superficiales siguen la dirección de la pendiente principal del terreno que en general es noroeste-sudeste. La misma varía en cauces y laderas entre el 2.6 y el 71%. El cauce principal receptor de los escurrimientos (A° Manantial) tiene una dirección preponderante norte-sur. Los cauces tributarios de margen derecha tienen dirección preponderante oeste-este con longitudes del orden de los 10 km y ascienden hasta alturas entre los 1200 y 1300 msnm. Los tributarios de margen izquierda tienen una dirección preponderante sudeste – noroeste, presentando en general escasa pendiente y longitudes variables menores a 10 km.

Se estudió el caudal en el cauce principal del A° El Manantial en el tramo comprendido entre la entrada del Canal La Rinconada y su desembocadura en el Río Lules. Los mismos se generaron con la utilización de modelos matemáticos de transformación precipitación-caudal a partir de lluvias intensas asociadas a tiempos de retorno de 25 y 50 años. La caracterización

hidrológica de la cuenca será la correspondiente a un escenario ubicado en un horizonte futuro de 50 años. Con respecto a ello se trabaja con la hipótesis que la zona de la ladera oriental de la Sierra de San Javier, de gran pendiente, permanecerá sin cambios significativos en cuanto al uso de suelo. Solo algunos sectores menores ubicados en la zona sur de la cuenca y por debajo de los 600 msnm podrán sufrir migraciones adicionales hacia un uso residencial.

La generación del valor de caudal a partir de la precipitación de diseño se realizó a través de un modelo determinístico de precipitación-caudal. Los parámetros y variables utilizadas en el modelo que ofrecen en su valor un cierto rango de variación posible, se determinaron siempre con criterio conservador, es decir se adoptó aquel valor que arrojó el mayor caudal pico.

Para la determinación de las subcuencas, se contó para el trabajo con el relevamiento planialtimétrico realizado por personal de la D.P.A, en zona de desembocadura del desvío del canal Yerba Buena en el Arroyo Manantial. Asimismo, se contó con el relevamiento realizado por la UNT como parte del convenio suscripto entre ésta y el Gobierno de la Provincia para la realización del Plan Director de Desagües Pluviales del Flanco Oriental de las Sierras de San Javier, consistente en un relevamiento planialtimétrico del Arroyo El Manantial desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Río Lules.

Asimismo y de manera de caracterizar la cuenca y realizar la delimitación de subcuencas, se trabajó con fotografías satelitales, Imagen satelital Landsat 5 TM bandas 7-4-1 de Diciembre de 1997, georeferenciada en coordenadas Gauss Krüger, proyección POSGAR 94 y las fotografías aéreas (Esc. 1:20.000) realizadas por Buenos Aires Bureau en años 1999 y 2000.

Con dicha información satelital, fotográfica y planialtimétrica, sumado a distintos reconocimientos de campo, se realizó la determinación del límite de las subcuencas, separando las cuencas según su ubicación: Este u Oeste del A° El Manantial y al norte las cuencas que aportan al comienzo del tramo en estudio. La división de subcuencas se realizó atendiendo a los puntos de descarga en el A° El Manantial, y considerando sus características de uso de suelo.

Para separar la precipitación neta de la precipitación total, se adoptó el método del SCS, introduciendo el valor de CN, que dependen del tipo de suelo, la práctica agrícola, la cobertura vegetal, etc.). En la determinación de los parámetros CN se adoptaron el mapa de usos de suelo y valores de CN determinados por el Plan Director oportunamente citado.

En la determinación de la precipitación neta se considera condición de humedad antecedente tipo III, la que corresponde a una precipitación acumulada antecedente a la tormenta, en los 5 días previos, mayor de 53 mm, lo que constituye una situación totalmente posible en la zona. Se fundamenta su uso en la observación de una alta frecuencia de ocurrencia de lluvias intensas antecedida por lluvias que saturan el suelo de la cuenca.

Para la determinación de la lluvia de diseño se utilizó las relaciones de Intensidad-Duración-Recurrencia aplicables a la ciudad de San Miguel de Tucumán correspondientes a la Estación Obispo Colombes, para duraciones de precipitación variables desde 5 a 180 minutos y para recurrencias que van de 2 a 45 años, período 1946-1993. "Actualización de la Relación i-d-r de Precipitaciones para la ciudad de S. M. de Tucumán – Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes". PAZ, Hugo Roger; LAZARTE SFER, Roberto Ricardo. XXI Congreso Nacional de Agua (Mendoza, 2005).

A la intensidad media obtenida de la relación I-D-R es necesario asignarle una marcha temporal ya que el tamaño de la cuenca y los importantes valores de caudal involucrados no permiten adoptar la hipótesis simplificativa de una precipitación de intensidad constante. La duración de la lluvia se adopta en 180min, valor mayor al mayor tiempo de concentración de las cuencas calculados con la expresión de Kirpich.

Para la determinación de la marcha temporal de la precipitación se utilizó la metodología conocida como de bloques alternos. La discretización de la lluvia adoptada fue de 5 minutos.

Las precipitaciones extremas no se dan de forma uniforme para cuencas de gran tamaño. Cuando el área es pequeña se puede considerar una precipitación constante pero a medida que el área de la cuenca se hace mayor esta hipótesis simplificativa va perdiendo su validez. Para tener en cuenta esta situación se debe aplicar un factor de reducción (que tiene en cuenta el tamaño de la cuenca) a la lluvia de diseño puntual determinada. Los factores de reducción areal aplicados al presente estudio se obtuvieron de “Factor de Reducción Areal para Lluvias de Diseño en el gran S. M. de Tucumán”. LAZARTE SFER, Roberto Ricardo. XXI Congreso Nac .del Agua. Mendoza, 2005.

Corresponde entonces aplicar un factor de reducción areal a la precipitación puntual, el cual resulta para una duración de lluvia de 180 min y el área de la cuenca igual a  $r=0.6024$ .

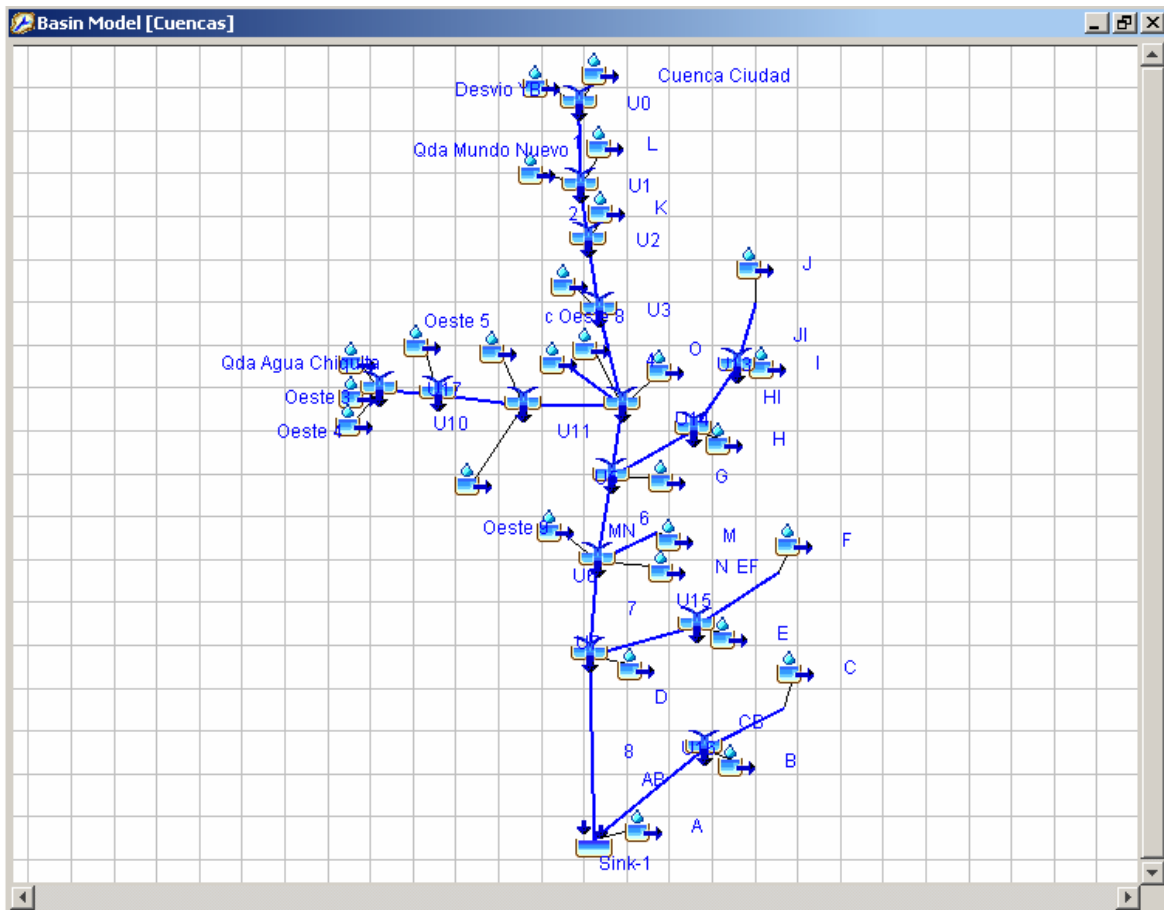
Con los datos de base determinados, se procedió a la determinación de los caudales de diseño. Para ello se utilizó un modelo informático del HEC (Hydrologic Engineering Center) desarrollado en el centro de investigaciones del U.S. Army Corps of Engineers, denominado HMS (Hydrologic Modeling System) en su versión 2.1.1. El mismo simula los caudales resultantes de una precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema de componentes interconectados. Cada componente modela un elemento del proceso precipitación-caudal dentro de una subcuenca, caracterizándolos por un conjunto de parámetros. Los componentes utilizados en el presente trabajo se enuncian a continuación:

- Componente de precipitación-escorrentía superficial, utilizado para simular el movimiento del agua superficial hacia los cauces.
- Componente de tránsito de caudales, utilizado para representar el movimiento de ondas de creciente en los cauces.

En cuanto al componente precipitación-escorrentía superficial se utilizó el método del hidrograma unitario del SCS.

El tránsito de caudales se realizó sobre los canales propuestos y cursos naturales existentes. El método a utilizado es el de Muskingum-Cunge

A continuación se presenta el esquema de modelación de la cuenca completa realizada en el HMS.



**Figura3.-** Esquema Modelización Hidrológica HMS

Los resultados finales de la modelación son los hidrogramas de crecida para cada subcuenca y en lugares predeterminados de la cuenca. A los fines del diseño de la canalización del A° El Manantial, se han determinado caudales pico en puntos característicos los cuales permitirán el diseño correcto del mismo.

Los resultados se pueden observar en la Figura 4.



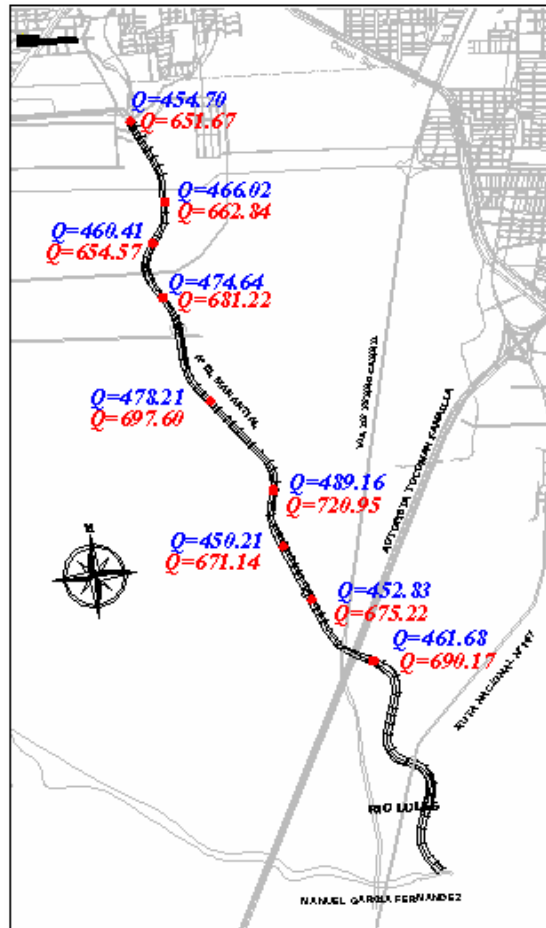


Figura4.- Caudales de Diseño Canalización

## DISEÑO GEOMORFOLÓGICO

Para el diseño geomorfológico se siguieron distintas las recomendaciones de distintos autores, las cuales finalmente se evaluaron en conjunto adoptando la geometría final teniendo en cuenta criterios económicos y de estabilidad del cauce.

Para determinar los valores geométricos de la canalización se adoptaron los siguientes valores de diseño:

$$Q = 700 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$S = 0.0024 \text{ (pendiente media del valle)}$$

Para la determinación de las variables geométricas para la canalización se aplicaron las metodologías propuestas por Kennedy (1895), Blench (1939), Blench y Qureshi (1964), Chitale, Kellerhalls (1967), Chang .

Kennedy (1895)

Kennedy definió a través de 22 observaciones en un sistema de ríos de lechos arenosos las siguientes expresiones:



$$V_0 = 0.55 D_m^{0.64} \quad (1)$$

$V_0$  = velocidad no erosionable  
 $D_m$  = profundidad media

Obs.: Se destaca como poco favorable que esta fórmula ya que no tiene en cuenta el tamaño medio del sedimento

Blench (1939)

Blench introduce dos factores:

$F_b$ : factor de lecho

$$F_b = V_2 / D \quad (2)$$

$V$ : velocidad media en sección transversal  
 $D$ : máxima profundidad en un canal trapezoidal

$F_s$ : factor de margen

$$F_s = V_3 / W_m \quad (3)$$

$W_m$ : ancho medio

$F_b$  es proporcional al cuadrado del número de Froude y es función del tamaño medio del sedimento del lecho, concentración y viscosidad cinemática del fluido.

$F_s$  es una medida del esfuerzo de corte en los bordes, o en la intensidad de la fuerza tractiva sobre las márgenes [ $m^3/s^3$ ] y describe un rango de valores con el límite superior en la capacidad para erosionar y un límite inferior en el potencial de producir sedimentación.

Blench y Qureshi (1964)

Estos autores establecen valores de  $F_{b0}$ .

$F_{b0}$  es un factor de lecho para concentraciones bajas de sedimentos y tamaño medio de las partículas menores a 0.002 m. Se deben combinar las ecuaciones mediante un ajuste a fin de convertir  $R$  en  $D$  ( $F_b = 18.31 d_{50}^{0.5}$ ). Para canales con lecho en forma de dunas y apreciable material de transporte, Blench sugiere el siguiente ajuste

$$F_b = F_{b0} (1 + 0.12 C) \quad (4)$$

$C$ : concentración de sedimento

$F_b$  para canales en la India de planicies aluviales tiene valores entre 0.6 y 1.25 con un valor medio aproximado a 1.

Blench presenta diferentes valores de  $F_s$  para diferentes características de cauce:

Lechos desmenuzables: 0.0093

Lechos fangosos y arcillosos: 0.0186

Lechos fangosos duros: 0.0279

Para proyecto adoptamos valores de  $F_b = 1$  (adoptamos valor medio) y  $F_s = 0.0186$ , para lechos fangosos o arcillosos

Las ecuaciones de trabajo son:

$$W_m = \left[ \frac{F_b * Q_b}{F_s} \right]^{0.5} \quad (5)$$

$$D = \left[ \frac{F_s * Q_b}{F_b^2} \right]^{1/3} \quad (6)$$

$$S = \frac{F_b^{0.875}}{\left( \frac{3.63g}{v^{0.25}} \right) * W_m^{0.25} * D^{0.125} * \left( 1 + \frac{C}{2330} \right)} \quad (7)$$

\* Para valores de caudales entre 0.03 y 2800 m<sup>3</sup>/seg , d<sub>50</sub> entre 0.1 y 0.6 mm

Chitale

Analiza divergencias en ecuaciones de Lacey en 252 observaciones. De ello obtiene valores de P, perímetro mojado, y R, radio hidráulico.

p/ material de lecho entre 0.2 y 0.6 mm

$$P = 2.601 * Q_b^{0.488} * S^{-0.109} * d_{50}^{0.117} \quad (8)$$

$$R = 0.270 * Q_b^{0.354} * S^{-0.061} * d_{50}^{0.006} \quad (9)$$

p/ material de lecho entre 0.05 y 0.2 mm

$$P = 1.949 * Q_b^{0.479} * S^{-0.162} * d_{50}^{0.158} \quad (10)$$

$$R = 0.067 * Q_b^{0.307} * S^{-0.315} * d_{50}^{0.202} \quad (11)$$

Para proyecto adoptamos valor de d<sub>50</sub> = 0.6 mm

Kellerhalls (1967)

Kellerhalls creo una expresión basada en ríos canadienses de lechos granulares (gravosos), datos del canal y de las márgenes, definiendo a todo como un “transporte bajo de equilibrio” en términos del caudal y tamaño del grano existiendo cuasi-equilibrio en el lecho, dado por:

$$W = 3.26 * Q_d^{0.5} \quad (12)$$

$$D_m = 0.182 * Q_d^{0.4} * d_{90}^{-0.12} = \frac{A}{W} \quad (13)$$

$$S = 0.086 * Q_d^{-0.4} * d_{90}^{0.92} \quad (14)$$

$Q_d$ : caudal dominante  
 $d_{90} = 0.074$  mm

Válida para para valores de caudal entre 0.03 m<sup>3</sup>/s y 2000 m<sup>3</sup>/s

Extremos – Hipótesis de variación

Hay 6 tipos diferentes de hipótesis extremas que pueden usarse con el propósito de diseñar canales.

- i) mínima energía de la corriente
- ii) mínima energía unitaria de la corriente
- iii) mínima energía de disipación
- iv) máximo factor de fricción
- v) máximo transporte de sedimentos
- vi) mínimo número de Froude

Chang encuentra una expresión para canales de cauces arenosos en régimen de caudal bajo con traza en forma de onda y pendiente lateral en sección trapezoidal de 1.5H: 1V.

$$W = 7.55 * (S - S_c)^{0.05} * d_{50}^{-0.025} * Q_b^{0.5} \quad (15)$$

$$D = 0.049 * (S - S_c)^{-0.3} * d_{50}^{0.15} * Q_b^{0.3} \quad (16)$$

$$S_c = 0.00039 * d_{50}^{0.5} * Q_b^{-0.51} \quad (17)$$

La aplicación de los métodos anteriores arrojo los resultados que se pueden observar en la tabla siguiente.

**Tabla 1.-** Resultados cálculos geomorfológicos

METODO	R[m]	W[m] <sub>m</sub>	D[m]	P[m]
BLENCH Y QURESHI	-	194.00	2.35	-
lecho arenoso margen cohesiva	-	112.18	5.37	-
lecho cohesivo margen cohesiva	-	94.99	4.63	-
CHITALE	3.96	-	-	115.8 5
KELLERHALLS	-	86.25	3.42	-
CHANG	-	147.58	2.15	-

Adoptamos finalmente las dimensiones según valor medio entre los valores de Simons and Albertson. Entonces adoptamos:

$$W = 100 \text{ m}$$

$$D = 5.00 \text{ m}$$

### GEOMETRÍA DE LOS MEANDROS

De los valores calculados anteriormente de:  $W = 100 \text{ m}$   
 $D = 5.00 \text{ m}$

Am: amplitud del meandro

Lm: longitud de onda del meandro

s/ Carlston

$$\begin{aligned} \mathbf{Am} &= \mathbf{17.6W} = \mathbf{1760m} \\ \mathbf{Lm} &= \mathbf{12.6W} = \mathbf{1260m} \end{aligned} \quad (18)$$

s/ Leopold and Wollman

$$\begin{aligned} \mathbf{Lm} &= \mathbf{11 \cdot W^{1.01}} = \mathbf{1151.84m} \\ \mathbf{Am} &= \mathbf{3 \cdot W^{1.1}} = \mathbf{475.47m} \\ \mathbf{Rc} &= \left( \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{4.6}} \cdot \mathbf{Lm} \right)^{\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{0.98}}} = \mathbf{280.28m} \end{aligned} \quad (19)$$

s/ Dury

$$\mathbf{Lm} = \mathbf{9.76 \cdot W^{1.02}} = \mathbf{976m} \quad (20)$$

s/ Dury y Richards

$$\begin{aligned} \mathbf{Lm} &= \mathbf{11 \cdot W} = \mathbf{1100m} \\ \mathbf{ó} & \\ \mathbf{Lm} &= \mathbf{12.34 \cdot W} = \mathbf{1234m} \end{aligned} \quad (21)$$

Finalmente adoptamos los siguientes valores geométricos mínimos para la traza de la canalización::

$$\begin{aligned} \mathbf{Lm} &= \mathbf{1200 \text{ m}} \\ \mathbf{Am} &= \mathbf{500 \text{ m}} \\ \mathbf{R} &= \mathbf{300 \text{ m}} \end{aligned}$$

### MODELIZACION HIDRÁULICA

A fin de determinar el comportamiento hidráulico del Proyecto de Canalización del Arroyo El Manantial, con una longitud aproximada de 11 Km, se procedió al cálculo del perfil hidráulico del mismo mediante el modelo HEC-RAS 3.1.1, desarrollado por Hydrologic Engineering Center (HEC) del U.S. Army Corps of Engineers..

Con el modelo HEC-RAS se ha modelado el comportamiento del proyecto de Canalización del Arroyo Manantial. Para ello se ha tomado como base los perfiles longitudinal y las secciones transversales tipos del proyecto.

El canal de proyecto es de sección trapezoidal con taludes 2 : 1 y un ancho de solera variable, siendo 60.00 m en el primer tramo, entre las progresivas 0.000 y 2859.04, 70m hasta la progresiva 8102.20 y 80 m hasta la desembocadura, de progresiva 11178.48.

Los cálculos se realizaron con los siguientes parámetros principales:

Coefficiente de Manning del canal principal: 0,03

Coefficiente de Contracción: 0,1

Coefficiente de Expansión: 0,3

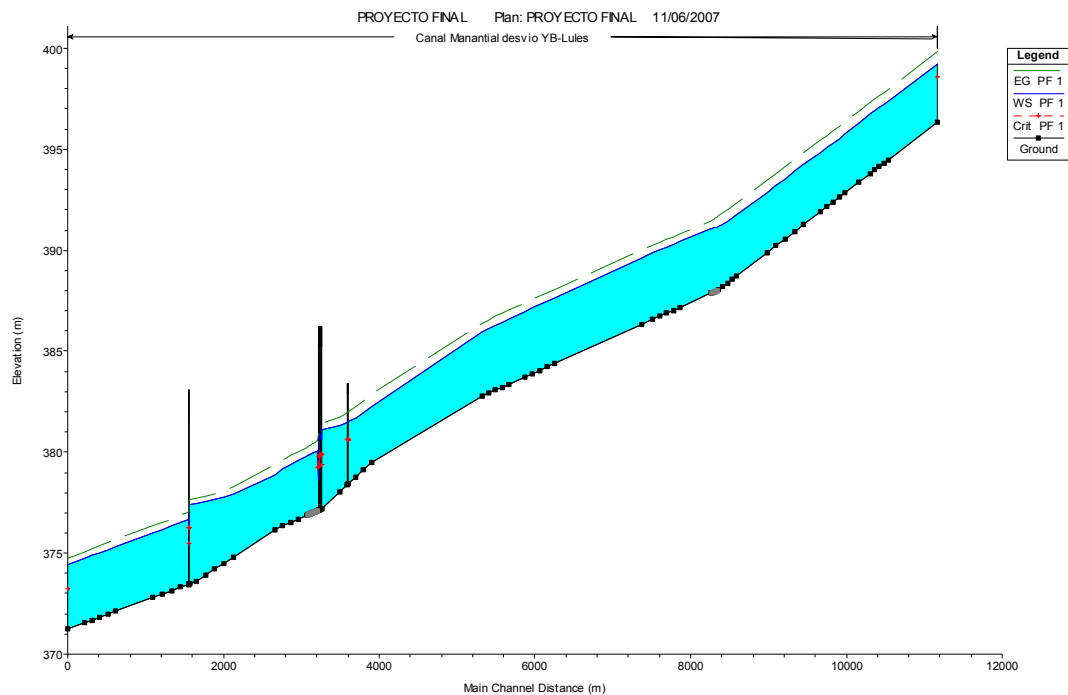
El cálculo se ha realizado a régimen mixto (es decir a régimen subcrítico y posteriormente a régimen supercrítico), de manera de determinar la posible existencia de resaltos hidráulicos. Como condiciones de borde del problema se consideró para aguas arriba y aguas abajo, la pendiente de solera del cauce en los tramos considerados. Esto es:

Pendiente Aguas Arriba del canal 2.952855E-03

Pendiente Aguas Abajo del canal 1.461308E-03

El cálculo se ha realizado con los caudales obtenidos en el estudio hidrológico correspondiente.

El resultado se puede observar en la Figura siguiente:



**Figura5.-** Perfil Longitudinal Hidráulico Proyecto de Canalización.

## CONCLUSIONES

La modelización hidráulica realizada muestra un buen comportamiento hidráulico para la canalización proyectada.

El proyecto de canalización se realizó teniendo en cuenta criterios geomorfológicos de estabilidad de cauce junto con criterios económicos de manera de conseguir una obra estable y económica.

*Este proyecto fue realizado en el ámbito del Departamento de Estudios y Proyectos de la Dirección Provincial del Agua de la Provincia de Tucumán, como parte del Plan de Control de Inundaciones de la Provincia de Tucumán. Jefe de Estudios y Proyectos: Ing. Mario Parrado, Director de la DPA: Ing. Juan Sirimaldi.*

## LISTA DE SÍMBOLOS

Q:	caudal
S:	pendiente
$V_o$	velocidad no erosionable
$D_m$	diámetro medio
$F_b$	factor de lecho
V	velocidad media de la sección transversal
$F_s$	factor de margen
$W_m$	ancho medio del cauce
P	perímetro mojado
R	radio hidráulico
$Q_d$	caudal dominante
A	área sección transversal
$A_m$	ancho del meandro
$L_m$	longitud del meandro
$R_m$	radio del meandro

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Philip Soar, Colin Thorne** (2001). "Channel Restoration Design for Meandering Rivers" U.S. Army Corps of Engineers. Washington D.C.

**Chester C. Watson, David S. Biedenharn and Stephen H. Scott** (2001). "Channel Rehabilitation: Processes, Design, and Implementation" Coastal and Hydraulics Laboratory - U.S. Army Corps of Engineers. Washington D.C.