

SISTEMA DE DERIVACIÓN DE CAUDALES DE RÍO CHIRIMAYO A RÍO GASTONA. TUCUMÁN, ARGENTINA

Hugo Roger Paz², Ezequiel José Alderetes¹, Hector David Aguirre¹

¹Dirección Provincial del Agua. Bolívar 1082. CP 4000 San Miguel de Tucumán

²Universidad Nacional de Tucumán. Avda. Independencia 1700. CP 4000 San Miguel de Tucumán
hrpaz2000@yahoo.com.ar – ezequielzlderetes@hotmail.com – hdaguirre@gmail.com

RESUMEN

A fin de solucionar los problemas ocasionados por los desbordes del Río Chirimayo en ocurrencia de crecidas en las proximidades de la Ciudad de Concepción, en la Provincia de Tucumán, los cuales producen serios peligros para la población y obras de infraestructura existentes, se plantea la construcción de una estructura de Derivación de Caudales de Crecientes desde el Río Chirimayo al Río Gastona. La obra se encuentra en el departamento Chicligasta y el desvío de caudales se realiza aproximadamente 15 Km. antes de la confluencia actual del Río Chirimayo con el río Gastona.

ABSTRACT

In order to solve the problems caused the floods of the Rio Chirimayo in the vicinity of the city of Concepcion in the Province of Tucuman, which produce serious dangers to people and works existing infrastructure, the construction of a structure of derivation of flood flows from the River Chirimayo to River Gastona is planned. The work is in the department Chicligasta and diversion of flow is done approximately 15 km before the current confluence with River Chirimayo to River Gastona.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto consiste en el diseño de una obra de derivación de caudales del Río Chirimayo al Río Gastona. La obra se encuentra en el departamento Chicligasta y el desvío de caudales se realiza aproximadamente 15 Km. antes de la confluencia actual del Río Chirimayo con el río Gastona, próximo a la ciudad de Concepción. Se proyecta dicha obra a fin de solucionar los problemas ocasionados por las crecidas del río Chirimayo aguas abajo de la zona de obra y los desbordes producidos por las mismas, con el consiguiente peligro para la población y obras de infraestructura existentes.

De acuerdo a los estudios hidrológicos realizados para la cuenca del río Chirimayo, se determinó un caudal de 432.14 m³/seg para una creciente de 50 años de recurrencia.

Con este valor del pico de creciente, se propuso derivar 300 m³/seg aproximadamente hacia el río Gastona en tanto que la diferencia con el caudal de 50 años de recurrencia continuaría escurriendo por el río Chirimayo. La derivación de caudales se haría en forma progresiva y comenzaría para un caudal igual a 65 m³/s. Caudales inferiores a este valor no serían derivados, con lo que se preservarían las condiciones naturales del río Chirimayo, en tanto que caudales mayores, los cuales provocan inconvenientes en la Ciudad de Concepción, serían derivados mitigando la ocurrencia de desbordes y por lo consiguiente inundaciones.

Para ello se diseñó una obra de derivación en hormigón armado que resulta en una divergencia de caudales en dos direcciones a través de un vertedero lateral. A fin de que sea más eficiente la derivación se ubicó la obra en una zona de curva del río, lo que facilita el vertimiento lateral del flujo. La obra de derivación tiene un desarrollo de 283.87 m y la longitud de labio del vertedero lateral es de 206.14 m. La obra consiste en muros de

hormigón armado de altura variable entre 5 m y 5,70 m de altura, con un dientes de control de erosión de fondo de 0.75 m de ancho por 1,5 m de profundidad. La obra de derivación presenta un ancho de 70 m a la entrada, y un ancho de 35 m a la salida en el río Chirimayo aguas debajo de la obra.

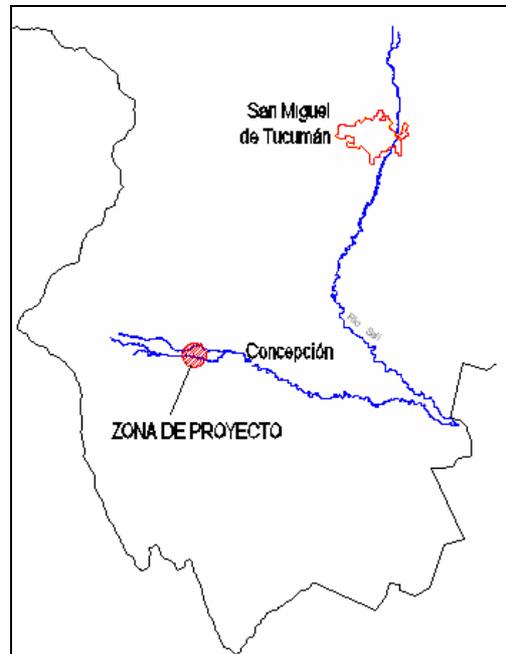


Figura1.- Ubicación general Zona de Proyecto

La obra de derivación entrega sus caudales al canal de desvío, el cual desemboca en el Río Gastona y tiene una longitud de 1362.09 m. Presenta una sección transversal de 40 m de ancho, 3 m de altura y taludes 2:1.



Figura2.- Planta General de la Obra

El canal de derivación entrega sus aguas al río Gastona. La entrega se realiza a una cota que corresponde a la planicie de inundación del río. Se ha dispuesto una protección de la salida del canal en Rip Rap de $D_{min}= 0,50$ m. del río.

HIDROLOGIA

A los fines de contar con un mapa base adecuado al estudio, se realizó una recopilación de información cartográfica, en escala adecuada. La misma comprendió :

- Imagen satelital Landsat 5 TM bandas 7-4-1 de Diciembre de 1997, georreferenciada en coordenadas Gauss Krüger, proyección POSGAR 94.
- Imagen satelital Landsat TM bandas 7-4-1 de Abril de 1994, georreferenciada en coordenadas Gauss Krüger.
- Cartas Topográfica IGM. Hoja 2766-IV. (Concepción). Escala 1:250.000
- Cartografía con información plani-altimétrica, digitalizada a partir de planos topográficos en escala 1:20.000 producidos por IFTA (Instituto Topográfico argentino) mediante restitución aerofotogramétrica llevada a cabo en la década del '60 por encargo de la ex Agua y Energía Eléctrica.

A partir de la citada cartografía, conjuntamente con el reconocimiento de campo, se realizó la determinación del límite de la cuenca y se identificó la red hidrográfica y las características de cobertura vegetal del suelo.

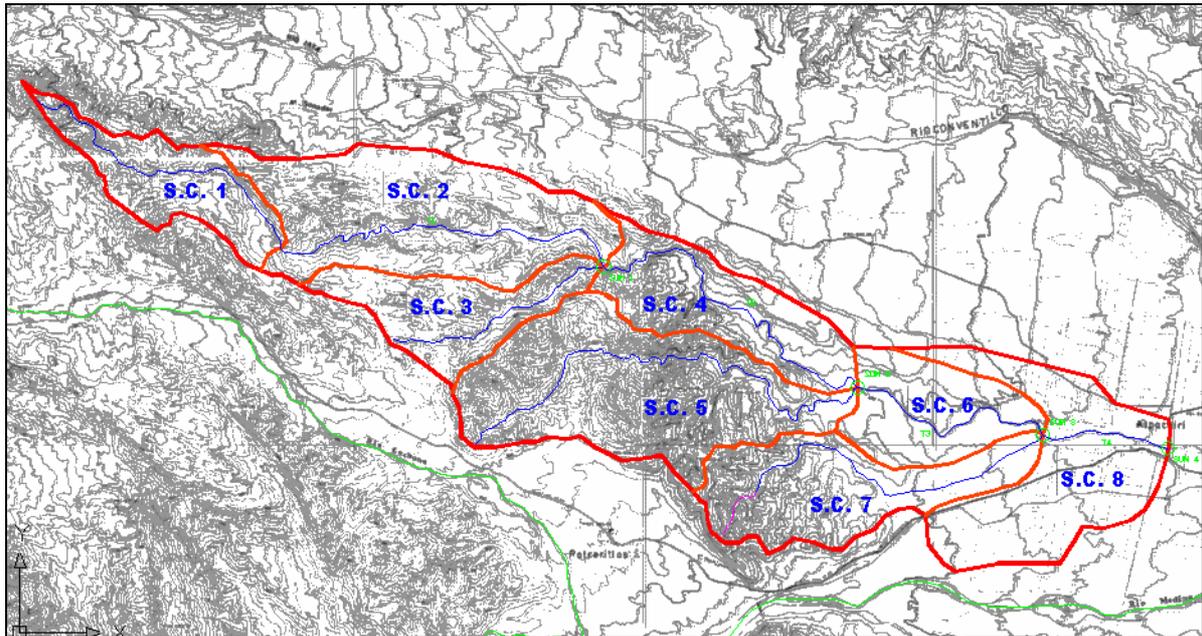


Figura3.- Esquema Cuencas de Aporte.

Para la determinación de la lluvia de diseño se utilizó la relación I-D-R correspondiente al “Estudio Hidrológico y Diseño Hidráulico Para las Obras de Drenaje Vial - Ruta Nacional N° 38 - Tramo V°. Alberdi – Famailla”, realizada por CADIA (Consultores Argentinos Asociados S.A.) para la Dirección Nacional de Vialidad.

Determinado el tiempo de concentración de la cuenca $t_c= 180$ min (promedio de tres métodos,

Izzard, Kirpich y Kerby), se adopta como duración máxima de lluvia a ingresar al modelo $D=3\text{hs}$.

A la intensidad media obtenida de la relación I-D-R es necesario asignarle un 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. Para ello se aplicó el método de los bloques alternos.

Para el desvío del Río Chirimayo, se ha considerado el cierre de cuenca inmediatamente aguas debajo de Alpachiri, donde se ha ubicado la obra de desvío. La cuenca de aporte involucra una superficie de 38.73 Km².

La cobertura vegetal de la cuenca 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.

Existe una porción de la cuenca de pequeña envergadura ubicados en la zona este de la misma y por debajo de los 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 oeste-este. La misma varía en cauces y laderas entre el 1.2 y el 10%.

Se estudió el caudal de diseño de desvío en el cauce principal del Río Chirimayo en coincidencia por la localidad de Alpachiri. El mismo se generó con la utilización de modelos matemáticos de transformación precipitación-caudal a partir de lluvias intensas asociadas a tiempos de retorno de 50 años.

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 modelización se dividió la cuenca en 8 subcuencas. [Ver Figura 1].

La lluvia que se ingresará al modelo precipitación-caudal es la lluvia efectiva, es decir la precipitación total menos las pérdidas. Para obtenerla se calcularán las pérdidas con el método del Número de Curva o método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América.

Es determinante para esta etapa del cálculo la determinación en la cuenca del tipo de suelo, y el uso del mismo. Se consideró para la determinación del número de curva (CN) tres zonas. Una de ellas corresponde a las subcuencas 1, a 5 y se caracteriza por poseer cobertura vegetal boscosa, con sotobosque en buenas condiciones y suelos de Tipo C (según SCS), correspondiendo un $CN=70$. En la subcuenca 6 y 7 aparece un uso agrícola y se pondera para la misma un $CN=74$ y un porcentaje de impermeabilización del 5%. En la subcuenca 8 se tiene un uso agrícola con tendencia a migrar hacia un uso residencial con un bajo FOS. Se pondera para estas subcuencas un $CN=86$ y un porcentaje de impermeabilización del 10%.

En cuanto a las condiciones de humedad antecedente en el suelo de la cuenca se trabajará bajo la hipótesis de suelo saturado en momentos del inicio de la lluvia. Esta es la hipótesis más desfavorable y se fundamenta su uso en la observación de una alta frecuencia de ocurrencia de lluvias intensas con posterioridad a lluvias que presaturan el suelo de la cuenca. En razón que los valores de CN antes expuestos corresponden a condiciones de humedad intermedia (AMC II según SCS), es necesario corregirlos para condiciones de suelo saturado (AMC III según SCS), lo cual se hace, atendiendo las directivas del SCS.

Como modelo de transformación precipitación-escorrentía 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 resultados finales de la modelación son los hidrogramas de crecida para cada subcuenca y en lugares predeterminados de la cuenca. 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 es importante destacar que el hidrograma que éste arroja se obtiene aplicando el exceso de lluvia a un hidrograma unitario sintético, obtenido en este caso a través del Método de Clark. Este método permitió tener en cuenta, según lo permite los datos disponibles, los procesos de almacenamiento en la cuenca, evitando con ello sobrevalorar los caudales.

Para el componente de tránsito de caudales la entrada es el resultado de las escorrentías individuales de las subcuencas o de las combinaciones de éstas. El método a utilizar en este caso para el tránsito será Muskingum-Cunge. Los tránsitos se realizarán sobre el cauce principal del Río Muerto. Las características de los cauces transitados se obtiene de la ponderación de la geometría de la sección del mismo y de su pendiente.

Realizadas las corridas del modelo con los datos y parámetros antes expuestos se obtuvo el hidrograma de diseño correspondiente, el cual presenta un pico de $Q_{pico} = 432.14 \text{ m}^3/\text{s}$

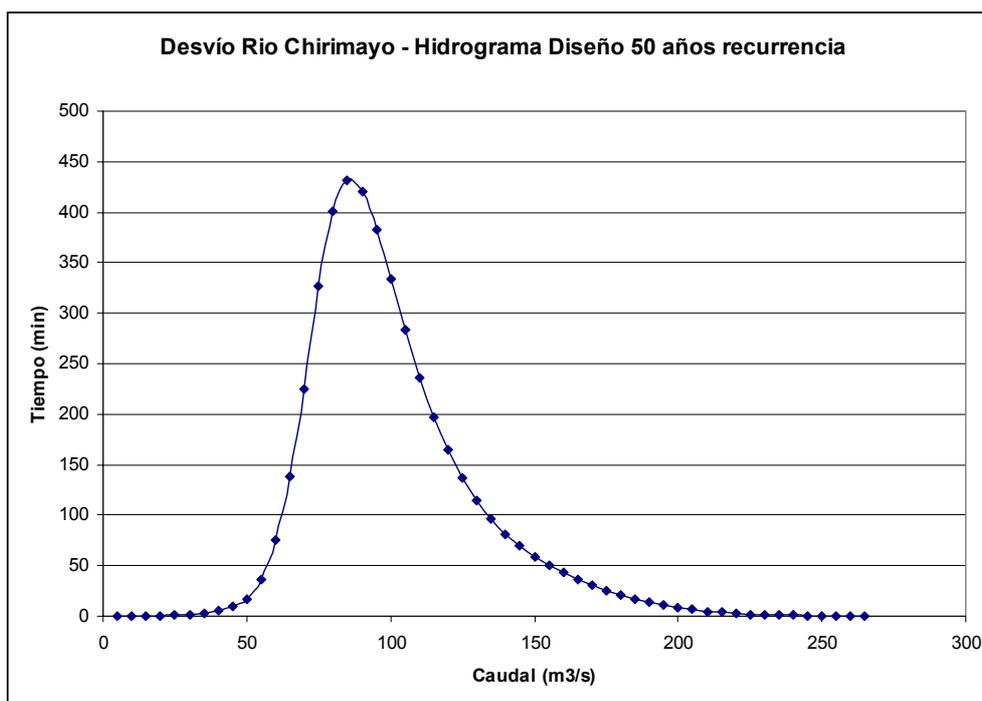


Figura4.- Hidrograma de Diseño de Obra Derivación.

MODELACION HIDRAULICA

A fin de determinar el comportamiento hidráulico de la Obra de Derivación del Río Chirimayo al Río Gastona y su Canal de Desvío, se procedió al cálculo del perfil hidráulico del mismo mediante el software HecRas 3.1.1, desarrollado por Hydrologic Engineering Center (HEC) del U.S. Army Corps of Engineers.

El software HecRas se desarrolló para calcular perfiles para flujos permanentes e impermanentes, gradualmente variados en canales prismáticos y no prismáticos.

Con el software HecRas se modelizó el comportamiento de la Obra de Derivación del Río Chirimayo al Río Gastona y su Canal de Desvío. Para ello se ha tomado como base los perfiles longitudinal y las secciones transversales tipos del proyecto. La divergencia de los caudales se modeló según el siguiente esquema:

El canal de proyecto es de sección trapezoidal con taludes 2: 1 y un ancho de solera de 35.00 m y una altura de 3.00 m.

Los cálculos se realizaron con los siguientes parámetros principales:

Coeficiente de Manning del canal principal: 0,03
 Coeficiente de Contracción: 0,10
 Coeficiente de Expansión: 0,30

Cota de Entrada a Obra de Derivación: 547.20 m
 Cota de umbral de vertedero: 544.70 m
 Cota de Salida de Obra de Derivación: 543.50 m

Cota de Entrada de canal de desvío: 543.50 m
 Cota de descarga a río Gastona: 534.00m

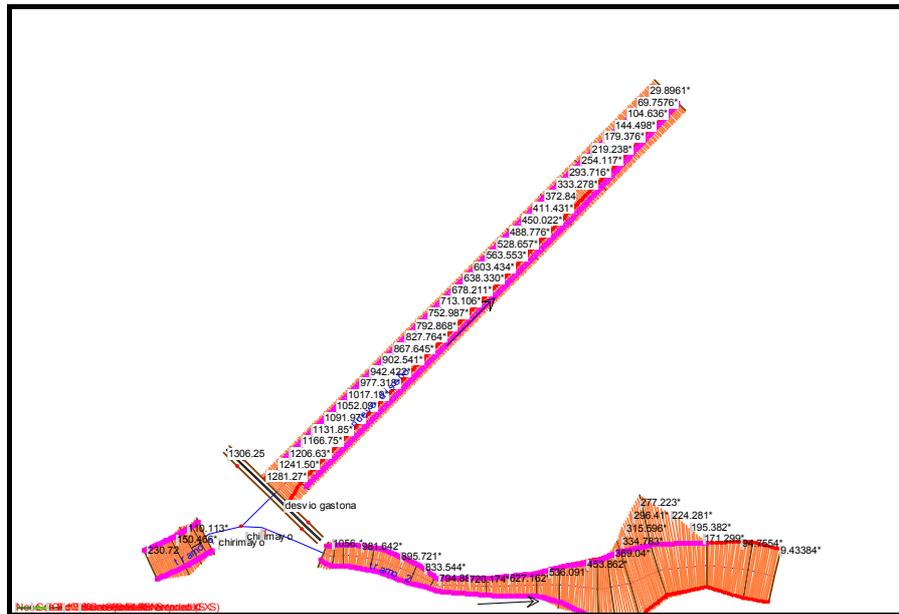


Figura5.- : Esquema General de Modelización en HecRas

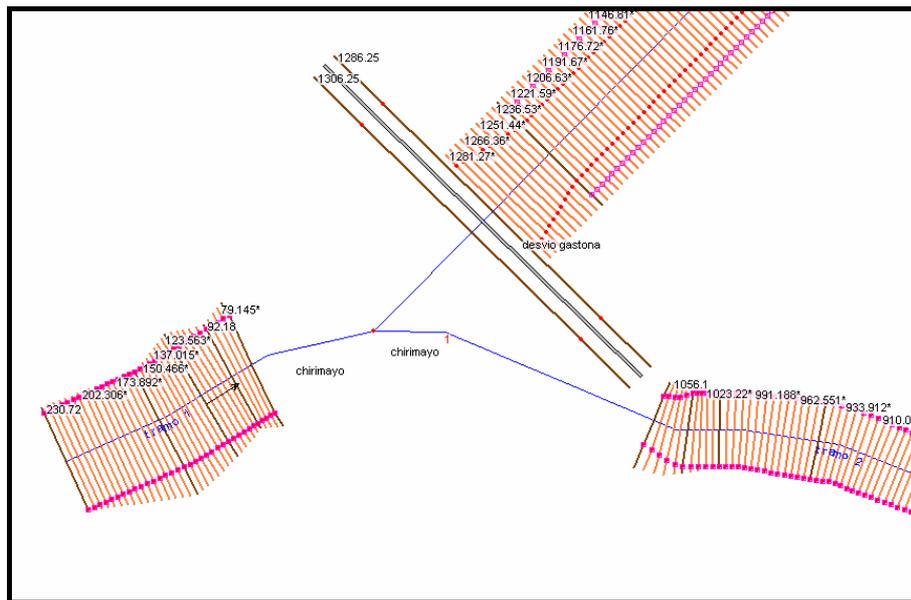


Figura6.- : Detalle de Nodo Derivación en Esquema de Modelización de HecRas.

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:

- p/ Obra de Derivación:
- pendiente aguas arriba: 0.015
 - aguas abajo: Divergencia de caudal hacia desvío

p/ Canal de desvío:

- aguas arriba: Divergencia de caudal hacia desvío
- pendiente aguas abajo: 0.013

El cálculo se ha realizado con los siguientes caudales:

Recurrencia Adoptada TR=50 años
 Caudal Río Chirimayo: 450 m³/seg
 Caudal Derivado estimado (a verificar en proceso iterativo del programa): 300 m³/seg
 Caudal Remanente Río Chirimayo: 50 m³/seg

Después del proceso iterativo, en el cuál se tanteó el valor de caudal a derivar, se verificó que con las cotas antes citadas se pudo derivar aproximadamente el caudal previsto:

Caudal entrada: 450.00 m³/seg
 Caudal derivado: 280.78 m³/seg
 Caudal de circulación resultante: 169.22 m³/seg

En el gráfico siguiente se puede ver el resultado de la modelización:

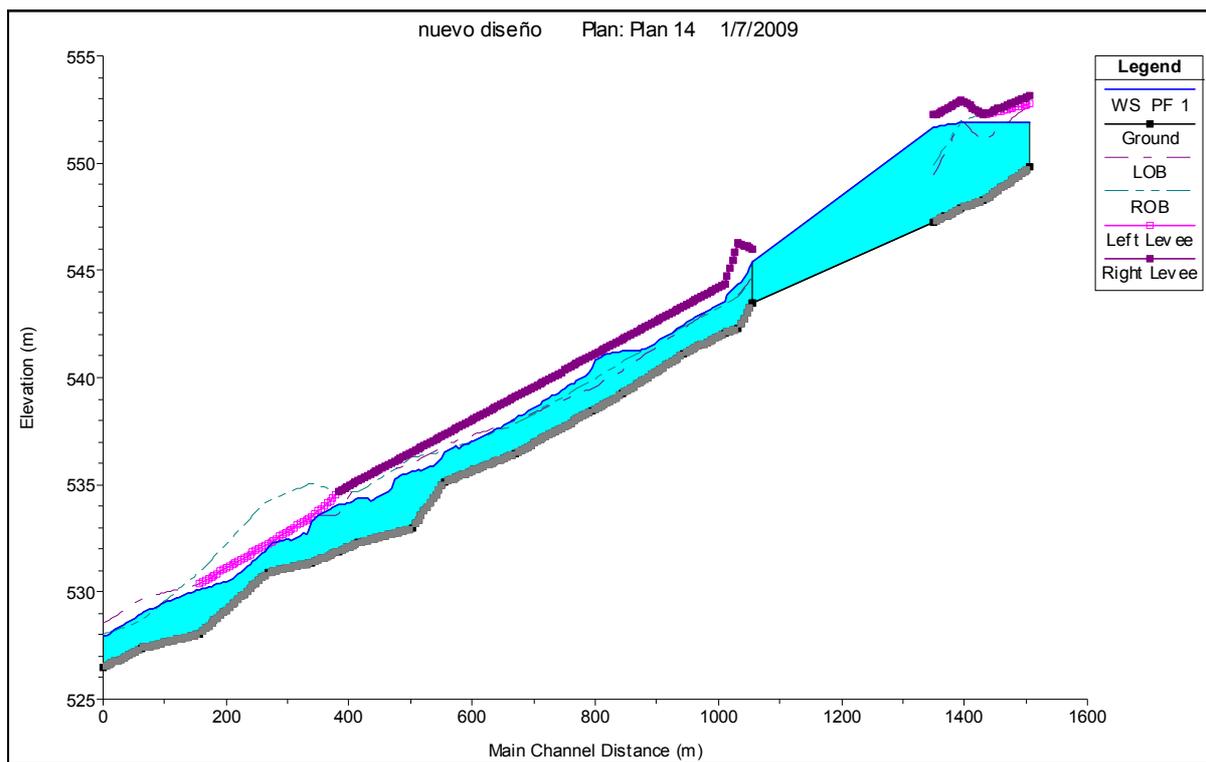


Figura7.- Perfil Longitudinal Hidráulico Río Chirimayo.

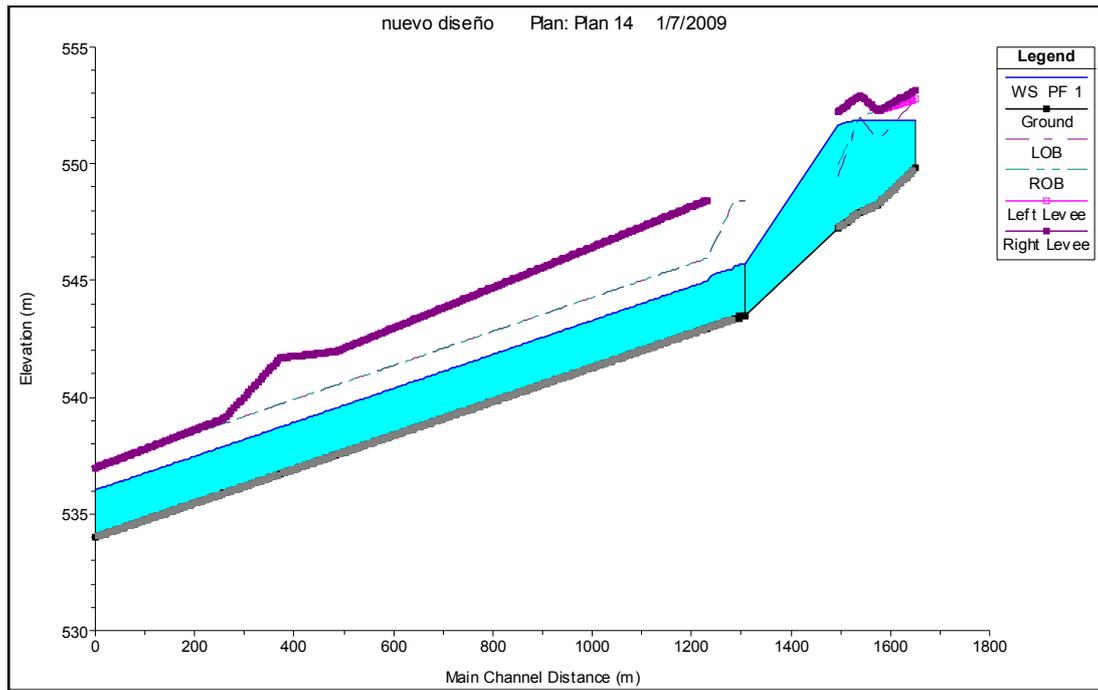


Figura8.- Perfil Longitudinal Hidráulico Tramo Inicial Río Chirimoyo y Canal de Derivación.

DETALLES DE LA OBRA PLANTEADA

A continuación se pueden ver algunos detalle de la obra planteada:

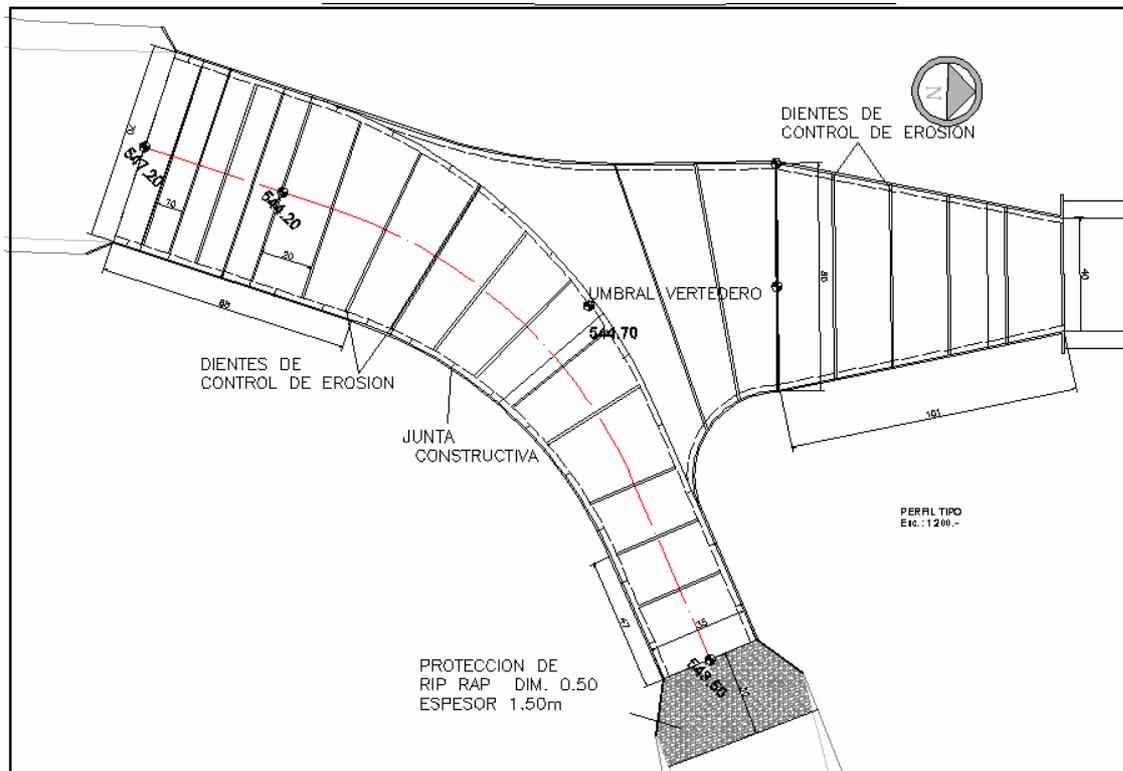


Figura9.- Planta de la Estructura de Derivación de Caudales.

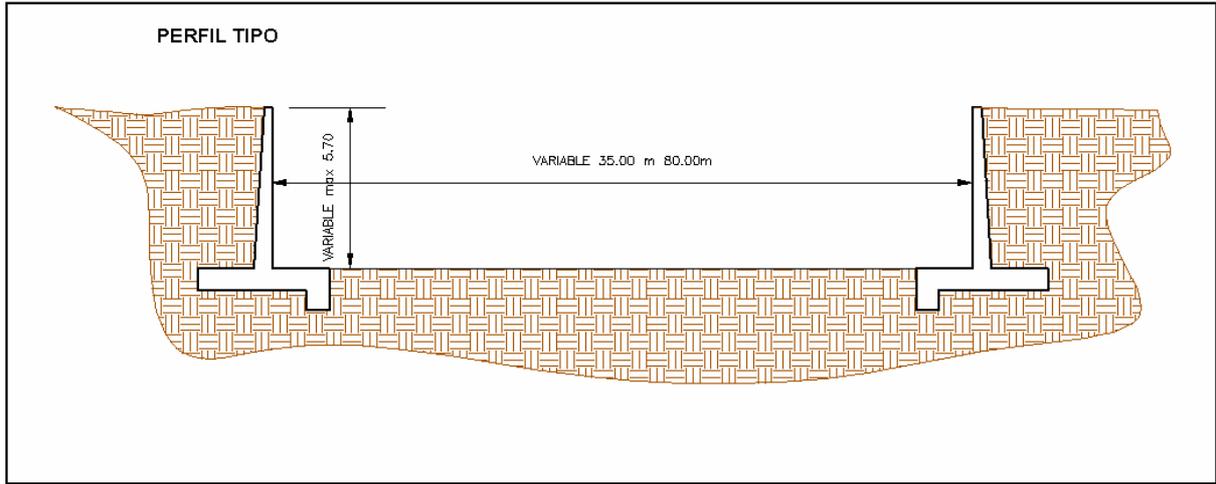


Figura9.- Perfil Transversal Tipo de la Estructura de Descarga.

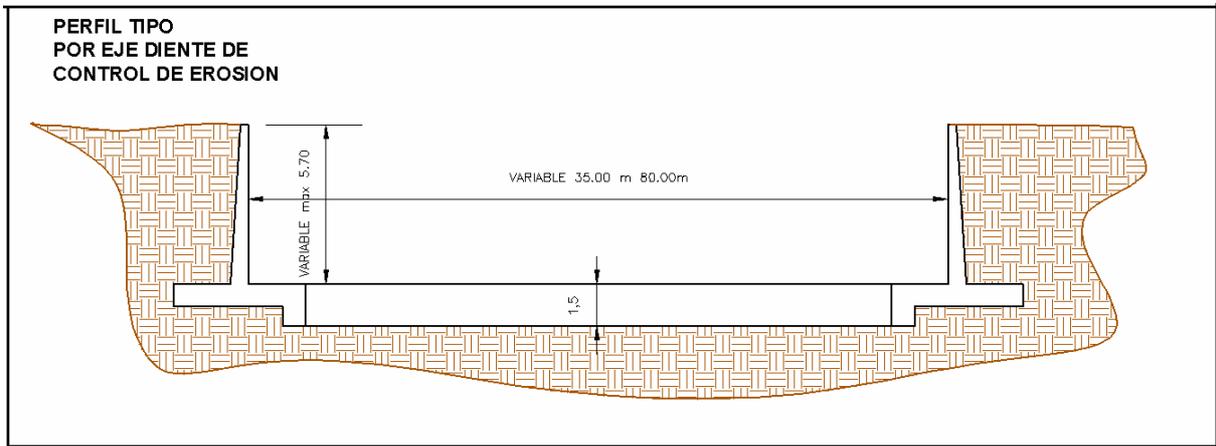


Figura9.- Perfil Transversal Tipo de la Estructura de Descarga por Diente de Control de Erosión

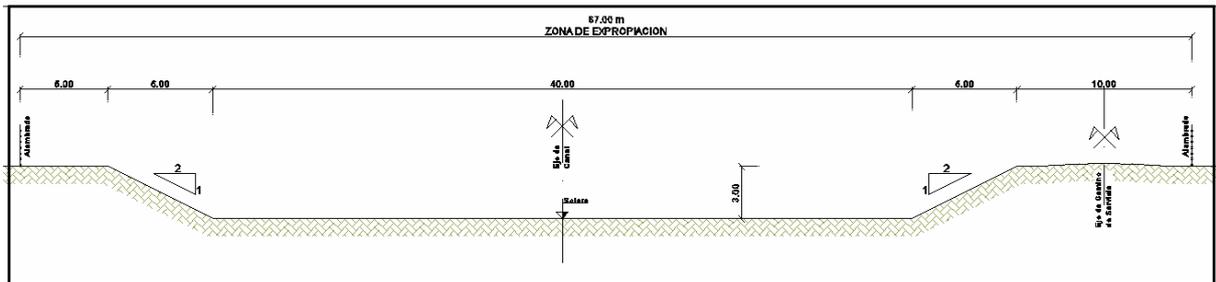


Figura9.- Perfil Transversal Tipo del Canal de Derivación.

CONCLUSIONES

La modelización hidráulica del diseño de obra planteada verifica los objetivos bajo los cuales se realizó el de diseño de la obra.

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.