



RESUMEN

El canal Labrado – Tuñi conduce agua desde la presa El Labrado hacia el reservorio Tuñi y es uno de los canales que abastece a la central hidroeléctrica Saucay en el Complejo Hidroeléctrico Machángara, propiedad de la Empresa Electro Generadora del Austro ELECAUSTRO. En el presente trabajo se desarrolla un estudio de ingeniería con el fin de optimizar los procesos de conducción, control y operación del canal. En el estudio se ha dado énfasis al desempeño hidráulico del canal, basándose en un análisis que considera aspectos de orden hidrológico, geológico y fluviomorfológico del entorno de influencia para el proyecto. Se ha procedido con un estudio profundo de las características físicas que permitan establecer su real capacidad de transporte y se ha proyectado los requerimientos para incrementar dicha capacidad; se han diseñado estructuras de medición de flujo crítico con reducción lateral y estructuras tipo para captación de quebradas afluentes al canal; por último se ha procedido con la implementación del modelo matemático HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center’s River Analysis System) que brindará soporte a la toma de decisiones referentes al aprovechamiento del recurso hídrico. Mediante el estudio realizado, se dará un importante aporte para la rehabilitación del canal en términos de: optimización de su desempeño hidráulico, implementación de estructuras de medición e implementación de una herramienta para control de procesos, lo cual repercutirá de manera directa sobre los aspectos de optimización de la producción hidroenergética del proyecto.

PALABRAS CLAVE

Labrado, Tuñi, HEC-RAS, PROMAS, ELECAUSTRO.

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN.....	12
2 MARCO TEÓRICO.....	14
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
5 CONCLUSIONES.....	115
BIBLIOGRAFÍA.....	119
ANEXOS.....	123

Universidad de Cuenca



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **Pablo Espinoza Girón**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de **Ingeniero Civil**. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Pablo Espinoza Girón

1717433666

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador

Pablo Espinoza

Juan Fernando Lazo

Universidad de Cuenca



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **Pablo Espinoza Girón**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Pablo Espinoza Girón

1717433666

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador

Pablo Espinoza

Juan Fernando Lazo

Universidad de Cuenca



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Juan Fernando Lazo Quevedo, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Juan Fernando Lazo Quevedo

0301853453

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador

Pablo Espinoza

Juan Fernando Lazo

Universidad de Cuenca



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **Juan Fernando Lazo Quevedo**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Juan Fernando Lazo Quevedo

0301853453

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador

Pablo Espinoza

Juan Fernando Lazo

Universidad de Cuenca



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ESTUDIO PARA OPTIMIZACIÓN DE LA CONDUCCIÓN
LABRADO - TUÑI EN LA CENTRAL SAUCAY DEL COMPLEJO
DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA MACHÁNGARA”**

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR:

ING. ESTEBAN PACHECO MSc.

TUTOR:

ING. VERÓNICA CARRILLO

AUTORES:

PABLO ESPINOZA GIRÓN

JUAN FERNANDO LAZO QUEVEDO

**CUENCA-ECUADOR
2012**

Universidad de Cuenca
DEDICATORIA



A mis padres Mónica y Milton, todo lo que soy es gracias a ustedes.

A mi hermana Soledad, no sabría vivir sin ti.

A Lloguito, mi ángel en el cielo.

A mi familia, por todo el amor que me ha dado.

A mis amigos Juan Fernando, Mario, Bruno, Juan Andrés y Cristian; por estar conmigo siempre.

Pablo

A mis padres y mis hermanos.

Juan Fernando



AGRADECIMIENTO

A Dios por acompañarnos y cuidarnos durante toda nuestra vida.

Al Ing. Esteban Pacheco por su ayuda invaluable en la dirección de este trabajo, por su amistad, tiempo y conocimientos brindados.

A la Ing. Verónica Carillo nuestra tutora y amiga, ya que sin su aporte la realización de este trabajo no hubiese sido posible.



Universidad de Cuenca LISTA DE SÍMBOLOS

La siguiente lista ofrece una visión general de los símbolos utilizados en el texto:

α	<i>coeficiente de corrección de velocidad</i>
v	<i>velocidad del agua en m/s</i>
g	<i>aceleración de la gravedad 9.81 m/s²</i>
p	<i>presión del sistema N/m²</i>
γ	<i>peso específico del fluido N/m³</i>
z	<i>elevación</i>
h_L	<i>cabeza de pérdida de energía resultante de la resistencia al flujo</i>
\bar{v}	<i>velocidad media del agua</i>
R	<i>radio hidráulico</i>
S	<i>pendiente del canal</i>
n	<i>coeficiente de rugosidad de Manning</i>
n_b	<i>valor base para canales uniformes</i>
n_1	<i>factor de corrección para las irregularidades de los lados de un canal</i>
n_2	<i>factor de corrección de las variaciones de forma y tamaño de las secciones transversales del canal</i>
n_3	<i>valor para obstrucciones en un canal</i>
n_4	<i>valor para la vegetación y condiciones de flujo en un canal</i>
m	<i>factor de corrección según cuan recto es el canal</i>
d_n	<i>diámetro intermedio de una partícula que iguala o excede al (n)% de partículas</i>
C	<i>coeficiente de Chezy</i>
φ	<i>coeficiente para el sistema de unidades utilizado</i>
f	<i>coeficiente de fricción de Darcy-Weisbac</i>
\bar{u}	<i>velocidad media</i>
N	<i>número de secciones transversales en un canal</i>
h	<i>elevación de la superficie del agua en una sección con respecto a un plano de referencia común a todas las secciones</i>
$(\Delta h_v)_{j-1,j}$	<i>cambio en la carga de velocidad entre las secciones j-1 y j</i>
h_v	<i>Es la carga de velocidad en la sección</i>
k^*	<i>coeficiente para cuantificar la no uniformidad del canal</i>



Universidad de Cuenca

h_f	<i>perdida de energía ocasionada por la fricción de la frontera</i>
$L_{j-1,j}$	<i>distancia entre las secciones j-1 y j</i>
A	<i>área mojada</i>
y	<i>distancia desde la frontera del fondo</i>
k_s	<i>rugosidad ponderada</i>
D	<i>calado del flujo</i>
$u_{0.2}$	<i>velocidad a 0.2 del calado sobre el fondo</i>
$u_{0.8}$	<i>velocidad a 0.8 del calado sobre el fondo</i>
d	<i>diámetro en milímetros de la arena uniforme adherida a los lados y al fondo del canal</i>
P	<i>perímetro mojado</i>
V_f	<i>velocidad de fricción</i>
ψ^*	<i>función que depende de la forma de la sección del canal</i>
k	<i>altura de la rugosidad</i>
R'	<i>radio hidráulico debido a la rugosidad superficial</i>
k_n	<i>tamaño del grano para el que el n % del material es más grueso</i>
Z_n	<i>carga de posición (elevación del canal respecto a un eje de referencia) en un punto n</i>
Y_n	<i>altura del agua en la sección transversal n</i>
α_n	<i>coeficiente de corrección de la energía cinética</i>
h_s	<i>pérdidas de energía</i>
$u_{0.8}$	<i>velocidad a 0.8 del calado sobre el fondo</i>
L	<i>longitud de descarga (entre las secciones) ponderada</i>
\bar{S}_f	<i>pendiente de fricción representativa entre dos secciones</i>
c	<i>coeficiente de expansión o contracción</i>
L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}	<i>longitudes especificadas para el flujo en el borde izquierdo, en el canal principal y en el borde derecho, respectivamente</i>
Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{rob}	<i>promedio aritmético de los flujos entre secciones para el borde izquierdo, el canal principal y en el borde derecho, respectivamente</i>
Q	<i>caudal m^3/s</i>
A_t	<i>área total de la sección</i>
A_{lob}, A_{ch}, A_{rob}	<i>áreas del borde izquierdo, del canal, y del borde derecho respectivamente</i>
K_t	<i>tránsito total de la sección</i>
K_{lob}, K_{ch}, K_{rob}	<i>tránsito del borde izquierdo, canal principal, y borde derecho respectivamente</i>



Universidad de Cuenca

h_{ce}	<i>pérdidas por contracción y expansión</i>
h_u	<i>calado aguas arriba</i>
h_d	<i>calado aguas abajo</i>
C_f	<i>coeficiente de descarga libre</i>
S^*	<i>relación de sumergencia</i>
C_1, C_2	<i>coeficientes de descarga en sumergencia</i>
sp	<i>pendiente ponderada</i>
$s_{1,2,3,\dots,n}$	<i>pendientes por cada tramo</i>
$L_{1,2,3,\dots,n}$	<i>longitudes de cada tramo</i>
L_c	<i>longitud total del canal</i>
P_n	<i>perímetros mojados parciales</i>
R_n	<i>radios hidráulicos parciales</i>
E	<i>carga de entrada de agua</i>
K	<i>coeficiente que considera obstrucciones adicionales de la</i>
<i>reja</i>	
$h_{\Delta v}$	<i>pérdidas por conversión</i>
h_R	<i>pérdidas debido al paso de flujo a través de la reja</i>
Zl	<i>pérdidas totales proyectadas</i>
b	<i>ancho de vertedero en una captación</i>

Siglas

PROMAS	Programa para el Manejo del Agua y del Suelo
ELECAUSTRO	Empresa Electro Generadora del Austro S.A.
ETAPA	Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento de Cuenca



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En el marco de la Ejecución del convenio de Cooperación Institucional celebrado entre la Universidad de Cuenca y la Empresa Electro Generadora del Austro ELECAUSTRO, se decidió realizar un estudio hidráulico con miras a optimizar el desempeño del canal Labrado - Tuñi, que es uno de los canales que abastece a la central hidroeléctrica de Saucay en el Complejo Hidroeléctrico Machángara. Este canal fue construido a principios de la década de 1970, es de hormigón ciclópeo y fue proyectado en sección cuadrada de 1,5 m de lado presentando variaciones a lo largo de sus 7,5 km de longitud. El estudio hidráulico para el canal ha sido identificado como prioritario para el plan de inversión de la Empresa dado que al momento el canal presenta problemas asociados a: ineficiencia de transporte, desbordamiento de agua en periodo húmedo, inestabilidad del terreno, procedimientos inadecuados de captación y evacuación de agua de escorrentía superficial, etc. Todo ello implica, para las actuales condiciones del canal, que se tengan impactos en los procedimientos de operación para la producción hidroeléctrica al no tenerse conocimiento sobre los volúmenes reales de entrega al reservorio en Tuñi. De esta manera, y con el afán de proceder con la rehabilitación del canal, la Empresa ELECAUSTRO en colaboración con el Programa para el Manejo del Agua y del Suelo PROMAS, ha decidido proceder con el estudio que permita caracterizar el desempeño del canal e identificar alternativas de intervención para optimizar el aprovechamiento hidráulico.

1.2. Justificación

El aprovechamiento de los recursos hídricos está sujeto a factores de diversa índole, los cuales conjugados, condicionan el desempeño final y eficiencia de procesos. De manera particular, para un proyecto de generación hidroeléctrica, la producción de energía dependerá en gran medida de la cantidad de agua que circula a través de las turbinas y del programa de operación que se haya proyectado. Lastimosamente, debido a que no se dispone de caudales constantes a lo largo del año, al ser complejo el mercado hidroeléctrico, al no tenerse obras y estructuras completamente eficientes; los proyectos hidroeléctricos se ven afectados enormemente en cuanto a la producción de energía. Por tal motivo, se considera prioritario realizar estudios que permitan: i) mejorar y mantener la infraestructura y ii) optimizar los procedimientos de operación y de control. Los impactos de dichas medidas se traducen en una



Universidad de Cuenca

mejora de los parámetros de eficiencia en generación hidroeléctrica y por ende en la economía de los proyectos y de las inversiones realizadas.

1.3. Objetivo General

Realizar el estudio que permita la rehabilitación del Canal Labrado - Tuñi de la central de generación hidroeléctrica Saucay para optimización de procesos de conducción, control y operación.

1.4. Objetivos Específicos

- Caracterizar el desempeño hidráulico de la conducción desde la presa de El Labrado hasta el tanque de presión de Tuñi
- Identificar alternativas para medición de flujo a lo largo de la conducción
- Realizar un diseño tipo para la captación de aportes intermedios en la conducción
- Implementar un modelo matemático para dar soporte a la toma de decisiones en los procesos de operación y control de flujo



2. MARCO TEÓRICO

2.1. Aspectos fundamentales en el desempeño hidráulico de una conducción

El flujo de agua en un canal abierto se caracteriza por poseer una superficie libre que está sometida a la presión atmosférica. Existen muchas maneras para clasificar el flujo en canales abiertos. Si se toma como criterio el cambio de la profundidad de flujo respecto al tiempo, el flujo se clasifica en permanente y no permanente. Si se toma como criterio el cambio de la profundidad de flujo respecto al espacio, el flujo se clasifica en uniforme y variado; este tipo de flujo puede ser permanente y no permanente según cambie la profundidad con respecto al tiempo. Existe una subdivisión del flujo variado según la velocidad de cambio de la profundidad de flujo con respecto a la distancia en la que este cambio se produce, si la distancia es relativamente corta el flujo es rápidamente variado, ejemplos de este flujo son fenómenos locales tales como resaltos y caídas hidráulicas y si la distancia es larga este es gradualmente variado (Ven Te Chow, 1994; Streeter & Wylie & Bedford, 2000).

Por otro lado, la relación de los efectos de viscosidad y de gravedad con las fuerzas inerciales del flujo gobiernan el estado del mismo. Esta relación permite clasificar al flujo en laminar, turbulento o transicional. Si las fuerzas viscosas son más grandes que las fuerzas inerciales el flujo es laminar, en este tipo de flujo las partículas de agua se mueven en trayectorias suaves definidas o líneas de corriente. Si las fuerzas viscosas son más pequeñas que las fuerzas inerciales el flujo es turbulento, aquí las partículas de agua se mueven en trayectorias irregulares las cuales no son suaves ni fijas (Ven Te Chow, 1994).

2.1.1. Medición de flujo en canales abiertos

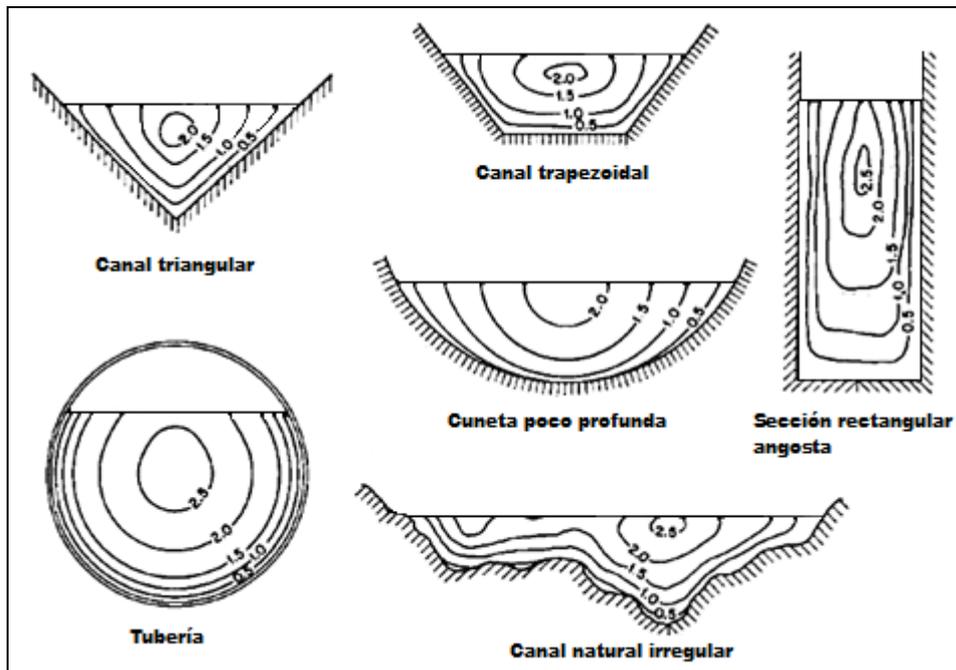
Para la medición del flujo en canales abiertos es necesario conocer la sección transversal del canal en cuestión y medir la velocidad con la que fluye el agua. Debido a la presencia de una superficie libre y a la fricción a lo largo de las paredes del canal, las velocidades en el canal no están uniformemente distribuidas en su sección. La máxima velocidad medida en canales normales ocurre generalmente debajo de la superficie libre a una distancia de 0,05 a 0,25



Universidad de Cuenca

de la profundidad (Ven Te Chow, 1994). En la Figura 2-1 se ilustra la distribución de velocidades para canales con distintos tipos de secciones transversales.

Figura 2-1 Distribución de velocidades en la sección transversal de distintos canales abiertos (Ven Te Chow, 1994)



Otros factores que intervienen en la distribución de velocidades son la rugosidad del canal, la presencia de curvas y la forma inusual de la sección. La presencia de viento en la superficie libre no afecta en mayor medida a la distribución de velocidades.

La velocidad del agua en una sección puede ser medida con diferentes equipos como molinetes, micro molinetes, equipos computarizados modernos, trazadores líquidos o sólidos, flotadores etc.



Universidad de Cuenca

El caudal de agua puede ser calculado en términos de la velocidad media de flujo mediante la siguiente fórmula:

$$Q = v A$$

(2.1)

Dónde Q es el caudal de agua, v es la velocidad media de agua en la sección y A es el área de la sección transversal.

2.1.2. Hidráulica de cauces de montaña

A pesar de la disponibilidad de literatura dedicada a canales y ríos en zonas de montaña, no se ha logrado entenderlos en comparación con el entendimiento al que se ha llegado con canales aluviales de bajo gradiente. Lo que queda claro es que las ecuaciones hidráulicas desarrolladas para canales con lecho de arena y gradientes pequeños no se aplican de una manera exacta a canales de montaña con gradientes empinadas y con material de las paredes y el fondo de granulometría gruesa, ya que estos producen perfiles de velocidad no logarítmicos, flujos críticos y supercríticos localizados que hacen necesario considerar su estudio en un marco de flujo tridimensional (Whol, 1962).

Los complejos sistemas hidráulicos de ríos de montaña probablemente son los menos descritos, y es difícil entender su significado hidráulico una vez que los efectos de pendiente, rugosidad del material y la distribución de las velocidades son cuantificados de manera conjunta en las diferentes etapas de flujo. La investigación realizada en la hidráulica de ríos de montaña ha sido dedicada al desarrollo de ecuaciones que intenten predecir adecuadamente el coeficiente de resistencia como función de la pendiente, el calado, la distribución de partículas y otras características del canal tales como la distribución de las velocidades tanto vertical como horizontal, y su asociación a los esfuerzos ejercidos sobre las paredes del canal.

Las fuerzas viscosas transforman la energía cinética del flujo en un río en calor, lo cual representa una pérdida en el sistema (Roberson y Crowe, 1993). Ecuaciones de energía en ríos cuantifican la transferencia de la misma entre potencial, cinética y calórica que resulta de la pérdida por resistencia al flujo (Julien, 1995). Una versión comúnmente usada es la ecuación de Bernoulli modificada con una cabeza de pérdida de energía:



Universidad de Cuenca

$$\frac{\alpha v_1^2}{2g} + p_1/\gamma + z_1 = \frac{\alpha v_2^2}{2g} + p_2/\gamma + z_2 + h_L$$

(2.2)

En donde α es el coeficiente de corrección de velocidad que varía de 1.03 a 1.36 para canales rectos y prismáticos, v es la velocidad (m/s), g es la gravedad (m/s^2), p es la presión del sistema (N/m^2), γ es el peso específico del fluido en (N/m^3), z es la elevación (m), h_L es la cabeza de pérdida de energía resultante de la resistencia al flujo (m).

Estudio de la resistencia al flujo

La resistencia al flujo está compuesta por la resistencia que produce la forma del grano, bancos de arena, obstrucciones, transporte de sedimentos (Roberson y Crowe, 1993). Las velocidades de flujo varían desde una máxima cerca a la superficie libre a cero en las paredes, los esfuerzos son creados y producen disipación de energía (Tritton, 1988). Objetos en el flujo producen altas presiones aguas arriba y bajas presiones aguas abajo, el gradiente de presiones resultante se opone al flujo y crea pérdidas de energía aguas abajo (Tritton, 1988; Roberson y Crowe, 1993). Todas estas formas de disipación de energía son englobadas dentro de un coeficiente de resistencia como por ejemplo el coeficiente de rugosidad n de Manning. En ríos de montaña de manera particular es muy difícil la estimación precisa de dicho coeficiente.

Las ecuaciones de flujo más comúnmente usadas y que consideran de manera explícita el concepto de un coeficiente de resistencia son:

Manning:

$$v = \frac{R^{2/3} S^{0.49}}{n}$$

(2.3)

Darcy-Weisbach:

$$v = \frac{8.48 R S^{0.64}}{f}$$

(2.4)

Chezy:

$$v = C(RS)^{0.64}$$



Donde v es la velocidad media del agua medida en pies/s, R es el radio hidráulico medido en pies, S es la pendiente del canal, n es el coeficiente de rugosidad de Manning, C es el coeficiente de Chezy y f es el factor de fricción de Darcy-Weisbach. El desarrollo de la ecuación (2.3) se basó en los datos experimentales de Bazin, es la ecuación más utilizada para el cálculo de flujo en canales abiertos ya que es simple y los resultados que se obtienen de su aplicación práctica son generalmente satisfactorios. (Ven Te Chow, 1994)

La ecuación de Chezy es apropiada para el cálculo de flujo uniforme y se relaciona con la ecuación de Manning de la siguiente manera:

$$C = \frac{\varphi}{n} R^{1/6}$$

(2.6)

En donde $\varphi = 1$ si se utiliza unidades del SI y 1.49 si se utiliza unidades del Sistema Inglés

La determinación de un valor adecuado del coeficiente de rugosidad es clave para utilizar la ecuación de Manning o de Chezy en la práctica. El coeficiente n por lo general depende del número de Reynolds del flujo, la rugosidad de las paredes del canal y la forma de la sección transversal del mismo (French, 1988).

Reacomodando la ecuación (2.4) como sigue se obtiene:

$$S = \frac{f v^2}{4R 2g}$$

(2.7)



Universidad de Cuenca

Se obtiene una relación entre el coeficiente de fricción de Manning y coeficiente de Chezy como sigue:

$$n = \varphi R^{1/6} \sqrt{\frac{f}{8g}}$$

(2.8)

En donde $\varphi = 1$ si se utiliza unidades del SI y 1,49 si se utiliza unidades del Sistema Inglés

$$c = \sqrt{\frac{8g}{f}}$$

(2.9)

Adicionalmente sabiendo que el número de Reynolds caracteriza y clasifica el tipo de flujo, en canales dentro de flujo turbulento tenemos: el flujo suave, transicional y completamente rugoso, siendo los límites del flujo transicional $4 \leq R \leq 100$. Se puede establecer el punto en el que comienza el flujo completamente rugoso en términos de n de Manning de acuerdo al siguiente expresión:

$$n^6 \sqrt{RS} = 1.9 \times 10^{-13}$$

(2.10)

Para el caso de canales no lineales y números de Reynolds altos el factor de fricción es independiente de este y cercanamente proporcional a $R^{-1/3}$ (Anónimo, 1963a). de manera particular, y en referencia al coeficiente de rugosidad de Manning, en la estimación de un valor apropiado, el conocimiento cualitativo de los factores que depende el mismo es necesario, ya que como se verá en varias situaciones el valor de n es una función de muchas variables entre las cuales se encuentran:

Superficie rugosa

La superficie del perímetro de un canal es un punto muy importante en la estimación de n . Se dan variaciones dependiendo del material del perímetro; así un material fino produce valores de n bajos, que mayormente no se ven afectados por cambios en el calado, y un material

19



Universidad de Cuenca

más grueso como grava o piedras producen valores más altos de n , sobre todo en calados bajos. En corrientes aluviales, gravas y cantos rodados se acumulan en el fondo provocando así mayor rugosidad que en sus paredes, e incrementado el valor de n sobre todo en calados bajos. En calados altos una parte de la energía del flujo se utiliza para mover las gravas y cantos rodados del fondo, este gasto de energía provoca un incremento de n .

Vegetación

La presencia de vegetación reduce de manera notable la capacidad del canal y retarda el flujo, esto influencia el valor de n , en mayor o menor medida dependiendo del calado de flujo y de las características como su tipo, altura, densidad y distribución, siendo más crítica en canales cuyo mantenimiento no es continuo.

Cambio Estacional

Plantas acuáticas, hierbas y árboles presentes en el canal crecen en mayor o menor medida de acuerdo a las estaciones, la velocidad de este crecimiento produce cambios en el valor de n . estos cambios pueden producir variaciones en otros factores.

La irregularidad de los canales

Se refiere a las variaciones de las secciones transversales de un canal (forma y perímetro mojado) a lo largo de su eje longitudinal. En canales naturales estas variaciones se deben a depósitos de sedimento, bancos de arena, crestas de presiones, fosas y montículos. Las variaciones graduales no producen cambios significativos de n , pero en cambios bruscos las variaciones son importantes.

Obstrucción

Obstrucciones como árboles, desechos, pilotes de puentes, derrumbes, etc. producen cambios en el valor estimado de n , el grado de variación debido a las obstrucciones depende del número, forma, tamaño y distribución de las mismas.

Alineamiento del canal

Curvas severas de radio pequeño incrementan n , no así en curvas de radios mayores en donde la resistencia al flujo es menor. El incremento



Universidad de Cuenca

de la rugosidad en canales no revestidos con velocidades bajas es despreciable. Aumentar el valor de n en una magnitud de 0.002 es una consideración adecuada en la mayor parte de canales con curvas pronunciadas, ya sea que estos sean de hormigón o de cualquier otro material. En corrientes naturales, si existen meandros, estos pueden incrementar el valor de n hasta en un 30% (Ven Te Chow, 1994).

Sedimentación y erosión

Los procesos de sedimentación pueden producir cambios en un canal y cambiar su perímetro de muy irregular a moderadamente uniforme y así disminuir n , este proceso depende de la naturaleza del material depositado; mientras tanto la erosión ocasiona un incremento en el valor de n , aquí también es muy importante el tipo de material por ejemplo un lecho de arena o grava se erosiona más uniformemente que un lecho de arcilla. Para erosionar un canal se necesita energía y esto por consiguiente aumenta el valor de n . Se debe tomar en cuenta si estos procesos están activos o van a estar activos en el futuro.

Nivel del agua y descarga

El valor de n tiene tendencia a disminuir si el nivel de agua y descarga aumenta. Este comportamiento es similar en inundaciones dependiendo de la profundidad de la misma. Si el fondo y las paredes de un canal son suaves y regulares y la pendiente del fondo es uniforme el coeficiente de rugosidad tiende a permanecer constante para todos los niveles. Esta condición se cumple sobre todo en canales artificiales.

Material en suspensión y carga de lecho

En un flujo turbulento totalmente desarrollado en condiciones estables casi uniformes, en dos dimensiones y sobre un lecho deformable, la resistencia al flujo es causada por la presión de succión en los granos de la superficie de lecho (rugosidad del grano), la presión de succión en las ondulaciones del lecho (rugosidad de forma) y la presión de succión en el sedimento transportado sobre la superficie de lecho (Griffiths, 1987). La resistencia de grano representa la rugosidad del lecho del canal que produce pérdidas de energía resultante de la fricción entre el agua y cada una de las partículas del lecho. Conforme el calado aumenta la influencia de las partículas es más pequeña hasta llegar a ser



Universidad de Cuenca

despreciable. Sin embargo los clastos son relativamente superficiales en flujos de ríos de montaña, y esto proporciona más importancia a la resistencia de grano en este tipo de canales que en los que tienen bajas gradientes, incluso durante crecidas.

No se puede generalizar el estudio de estos factores, ya que este depende las condiciones en las que se encuentre el canal y de sus características.

El caudal computado con el método área-pendiente es inversamente proporcional al valor del coeficiente de rugosidad por lo cual la estimación imprecisa del coeficiente de resistencia de flujo puede producir cálculos imprecisos de caudal y calados, por lo cual su selección reviste de importante consideración (Eddins y Zembruski, 1994).

De manera particular, para la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning, se dispone en la literatura de varias expresiones como la siguiente:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m$$

(2.11)

La ecuación (2.11) proviene del Método del Servicio de Conservación de Suelos y se aplica para alcanzar valores de n . El coeficiente de rugosidad es determinado para cada subsección de todas las secciones transversales, y luego se compone un valor. En esta ecuación, n_b es el valor base para canales uniformes, rectos y suaves en materiales naturales (0.028 – 0.70 para lechos de grava); n_1 es un factor de corrección para las irregularidades de los lados (0.0 – 0.02); n_2 corrige las variaciones de forma y tamaño de las secciones transversales del canal (0.0 - 0.015); n_3 es un valor para obstrucciones (0.0 – 0.05); n_4 es un valor para la vegetación y condiciones de flujo (0.002 – 0.1), y m es un factor de corrección según cuan recto es el canal (1.0 – 1.30). Los componentes de la ecuación (2.11) pueden ser estimados visualmente usando las descripciones de Arcement y Schneider (1989).

Limerinos (1970) relaciona n con el radio hidráulico y el tamaño de la partícula basándose en datos de canales de gradientes pequeñas (0.00068 – 0.024) y



Universidad de Cuenca

con gravas pequeñas a boleos medianos (d_{84} de 75 a 2 cm; R/d_{84} de 47.2 a 0.9) como material base para descargas entre 5.62 – 427 m^3/s .

$$n = \frac{0.1129 R^{0.167}}{1.16 + 2.0 \log(R/d_{84})} \quad (2.12)$$

En donde d_{84} es el diámetro intermedio de una partícula que iguala o excede al 84% de partículas (m), R es el radio hidráulico (m).

Bray (1979) usó un conjunto de datos de ríos con lechos de grava, gradientes de 0.00022-0.015, caudales de 5.5 a 8140 m^3/s y R/d_{84} de 85 a 11, y modificó la ecuación (2.12) a:

$$n = \frac{0.113 R^{0.167}}{1.09 + 2.2 \log(R/d_{84})} \quad (2.13)$$

Griffiths (1981) usó un conjunto de datos de ríos con lechos de grava de Nueva Zelanda, gradientes de 0.000085-0.011, caudales de 0.05 a 1540 m^3/s , d_{50} de 0.013 a 0.301 (m) y R/d_{50} de 3 a 53, y llegó a la siguiente ecuación:

$$n = \frac{0.1129 R^{0.167}}{0.76 + 1.98 \log(R/d_{50})} \quad (2.14)$$

Hey (1979) desarrolló una ecuación para ríos de lecho de grava usando datos de ríos del Reino Unido con gradientes de 0.0090-0.031, caudales de 0.995 a 189.82 m^3/s , d_{84} de 0.046 a 0.250 (m) y R/d_{84} de 0.97 a 17.24, y llegó a la siguiente ecuación:

$$n = \frac{0.1129 R^{0.167}}{2.03 \log(a R / 3.5 d_{84})} \quad (2.15)$$

En donde a varía entre 11.1 y 13.46 en función de la forma de la sección transversal del canal.



Universidad de Cuenca

Notando que el factor de fricción de Darcy-Weisbach tiende a subestimar la tasa de cambio de la resistencia al flujo en un sitio de descarga a gradientes más altos, Bathurst (1985) desarrolló una ecuación empírica para el factor de fricción en ríos con lechos de grava, con gradientes de 0.004-0.04, caudales de 0.14 a 195 m^3/s , d_{94} de 0.113 a 0.740 (m) y $R/d_{94} < 10$, y llegó a la siguiente ecuación:

$$n = \frac{0.3193 R^{0.157}}{5.62 \log(R/d_{94}) + 4} \quad (2.16)$$

Ninguno de estos métodos para estimar el coeficiente de resistencia al flujo es diseñado específicamente para canales con gradientes altas. Los datos de campo indican que los valores de n son mucho más grandes en corrientes con altos gradientes y cuyos lechos son de roca y cantos rodados que en corrientes con bajos gradientes y rugosidad parecida. Conforme la gradiente se incrementa, se incrementa también las pérdidas de energía como resultado de la turbulencia y la formación de resaltos hidráulicos aguas abajo por las rocas (Jarret, 1992). Usando datos empíricos de varios canales con gradientes de 0.052-0.002, caudales de 0.34 a 127 m^3/s , d_{94} de 0.1 a 0.8 (m) y R de 0.15 a 2.2 (m), Jarret desarrolló una ecuación que usa el gradiente de energía y el radio hidráulico para obtener n :

$$n = 0.32 S^{0.38} R^{-0.16} \quad (2.17)$$

Jarret (1994) notó que los valores de n calculados de esta manera fueron en promedio 53% más grandes que los valores de n calculados en el campo, y las descargas calculadas usando la ecuación (2.17) varían en concordancia a las mediciones de picos de descarga usando valores de n seleccionados en campo.

Trabajando en canales experimentales con gradientes superiores al 20% y tasas altas de transporte de sedimento, Smart y Jaeggi (1983) desarrollaron la siguiente ecuación empírica:



$$n = \frac{0.3193 R^{0.167}}{5.75 [1 - \exp(-0.05(R/d_{v0})(1/S^{0.5}))]^{0.5} \log(8.2(R/d_{v0}))}$$

(2.18)

Wahl (1994) probó varias de las ecuaciones para n un conjunto de datos compuesto. Él encontró que las ecuaciones subestiman n significativamente en descargas pequeñas (<0.2 veces la media de la descarga anual). En moderadas o grandes descargas (>0.2 veces la media de la descarga anual) las ecuaciones se aproximaron de una manera bastante adecuada.

La extrapolación de cualquiera de estas ecuaciones para descargas más grandes es decir 1.4 veces la media de la descarga anual no está todavía garantizada debido a la falta de datos para este tipo de descargas (Wahl, 1994), especialmente porque el coeficiente de rugosidad es comúnmente relacionado al radio hidráulico y a la descarga (Coon, 1994).

Trabajando específicamente en corrientes pequeñas de montaña (radio hidráulico < 0.25 m, S de 0.02 a 0.016, R/d_{94} de 0.5 a 0.8), Marcus et al. (1992) evaluó algunos métodos para la estimación de n entre otros Limerinos, Jarret, Bathurst y Cowan. Se encontró que los valores observados de rugosidad fueron significativamente subestimados por todas las técnicas excepto la de Jarret que sobreestimó los valores de rugosidad en un 32% de promedio. El subestimar estos valores resultó de una inadecuada localización de los efectos de la resistencia en el flujo producidos por sedimentos de gran tamaño, bajos calados de flujo, pendientes empinadas y turbulencia severa, así también como la tendencia de los observadores a usar valores bajos de n debido a su experiencia en canales con menores gradientes. Marcus et al. (1992) concluyó que la descarga debe ser medida directamente cuando sea posible, en especial durante flujos cuando R/d_{94} es bajo.

Otras fórmulas empíricas se han desarrollado para la determinación de n . El más conocido de éstas es la propuesto por Strickler en 1923 (Simmons y Senturk, 1976).

La expresión a la que Strickler llegó es:

$$n = 0.047d^{1/6}$$

(2.19)



Universidad de Cuenca

En donde d = diámetro en milímetros de la arena uniforme adherida a los lados y al fondo del canal.

La investigación de Strickler motivo en algunos autores estudios posteriores debido a que no concordaban con algunas condiciones del experimento original, así:

1. Henderson (1966) indicando que las investigaciones de Strickler fueron basadas en corrientes con fondos de grava y no en canales medidores de régimen crítico obtuvo la siguiente expresión, en donde las unidades de d no se especificaron.

$$n = 0.034d^{1/6} \quad (2.20)$$

2. Raudkivi (1976)

$$n = 0.042d^{1/8} \quad (2.21)$$

En donde d es medida en metros o

$$n = 0.013d_{65}^{1/6} \quad (2.22)$$

En donde d_{65} es el diámetro del material del fondo en milímetros tal que el 65% del material por peso es menor.

3. Garde y Raju (1978) señalaron que los experimentos de Strickler fueron realizados en corrientes cuyos fondos no tienen ondulaciones y están formados por materiales de granulometría gruesa. La modificación de la ecuación de Strickler proporcionada por estos autores fue:

$$n = 0.039d_{50}^{1/6} \quad (2.23)$$

En donde d_{50} es el diámetro del material del fondo en pies tal que el 50% del material por peso es menor.

4. Subramanya (1982) modifico la ecuación de Strickler a:



Universidad de Cuenca

$$n = 0.047d_{50}^{1/6}$$

(2.24)

En donde d_{50} es el diámetro del material del fondo en metros tal que el 50% del material por peso es menor.

5. Meyer-Peter y Muller (1948) sugirieron la siguiente ecuación:

$$n = 0.038d_{90}^{1/6}$$

(2.25)

En donde d_{90} es el tamaño del fondo en metros tal que el 90% del material por peso es menor.

6. Lane y Carlson (1953) determinaron la siguiente ecuación:

$$n = 0.026d_{75}^{1/6}$$

(2.26)

En donde d_{75} es el diámetro del material del fondo en pulgadas tal que el 75% del material por peso es menor.

En resumen, no existe una ecuación probada y consistentemente precisa para calcular los coeficientes de resistencia en ríos de montaña. Gradientes empinadas, lechos poco graduados, partículas gruesas con diámetros medianos que pueden acortar el calado de flujo, y transiciones localizadas de flujo, todo esto complica la estimación de la resistencia total.

Métodos adicionales para determinación del coeficiente de rugosidad n de Manning

Método del Servicio de Conservación de Suelos

Conocido por sus siglas (SCS) se basa en la selección de un valor básico de n para un canal uniforme, recto y regular en un material nativo y entonces modificar este valor según el estudio independiente de los factores antes descritos (Urquhart, 1975), este método sugiere que la turbulencia del flujo es un indicador del grado de retardo. El método se compone de varios pasos desglosados a partir de la ecuación (2.11) y descritos a continuación:



Paso 1: *Selección de un n básico*: en este paso se parte con la selección de un valor n básico estimado para un canal recto, uniforme y suave en un material nativo. El valor de n seleccionado corresponde a canales sin disturbio alguno, es decir sin vegetación, obstrucciones o cambios en su forma y alineamiento. Los valores básicos de n se muestran en la Tabla 1 en el Anexo A.

Paso 2: *Modificación por vegetación*: en este paso se debe considerar la presencia de vegetación en el canal, entre las consideraciones se debe tomar en cuenta la altura de la vegetación con respecto al calado como la resistencia a flexión de la vegetación, la distribución transversal y longitudinal, la densidad y altura la estación crítica y la disminución del área hidráulica del canal. Los resultados de la SCS se muestran en la Tabla 2 en el Anexo A.

Paso 3: *Modificación para irregularidad en canales*: para este paso se deben considerar tanto los cambios en el área hidráulica como en la sección transversal. Se analiza la magnitud de cambio del área hidráulica con respecto al área promedio, si estos son graduales y uniformes la variación no es significativa no así cuando son abruptos. Cambios en la forma darán grandes valores de modificación en el lado del flujo principal, y si estos se producen en distancias cortas darán como resultados corrientes aguas arriba. En la Tabla 3 de la SCS se dan valores para modificar por este efecto. Esta tabla se encuentra en el Anexo A.

Existe una segunda consideración en este paso y se refiere a la rugosidad de la superficie del perímetro del canal, aquí se compara la superficie real con la superficie suave que se consideró en la estimación inicial del n básico. Estos resultados se especifican más adelante en la Tabla 4 de la SCS en el Anexo A.

Paso 4: *Modificación por obstrucción*: el número y características de las obstrucciones es la base para seleccionar los valores de modificación de este factor. La SCS considera varios tipos de obstrucciones como depósitos, raíces, troncos o ramas. El efecto de una obstrucción está dado por lo siguiente: a) la reducción del área hidráulica y variación en el calado, b) la forma de las obstrucciones producen mayor o menor turbulencia, c) la posición relativa y la separación de las obstrucciones.



Universidad de Cuenca

Los datos recomendados por la SCS se encuentran en la Tabla 5 en el Anexo A.

Paso 5: Modificación por alineamiento del canal: se define l_r = como longitud recta de la distancia bajo consideración y l_m = como longitud del meandro del canal en la longitud considerada. Los valores para modificar este factor se encuentran en la Tabla 6 en el Anexo A.

Paso 6: *Estimación de n*: se llega a la estimación de n mediante la sumatoria de los resultados encontrados en los pasos anteriores.

Método de los valores tabulados del coeficiente de rugosidad de Manning según Ven Te Chow.

La Tabla 7 en el Anexo A es una guía para estimar n según el tipo de material del canal (Ven Te Chow, 1994). Para cada material se especifican valores mínimo, normal y máximo de n . Los datos de la tabla antes mencionada se recomiendan para canales artificiales siempre y cuando estos tengan un buen grado de mantenimiento, si en el futuro la calidad del mantenimiento disminuye se debe incrementar el valor de n dependiendo de las condiciones esperadas. Los valores marcados no negrita son los recomendados para el diseño.

Método de registro fotográfico

El U.S. Geological Survey, mediante un archivo de fotografías de canales con n de Manning conocido y adicionando un sumario de parámetros geométricos e hidráulicos que definen un canal para un gasto específico estableció un método para la estimación del coeficiente de rugosidad. Con este programa se obtuvieron resultados de $\pm 15\%$ de certeza en la obtención de los coeficientes de resistencia bajo diferentes condiciones. (Barnes, 1967).

La elaboración de las fotografías y tablas (Barnes, 1967) se realizaron bajo las siguientes condiciones:

1. El estudio de los sitios se realizó luego de que ocurrió una gran inundación.
2. El caudal pico en el canal especificado, se determinó mediante una medida métrica o por una relación nivel - caudal.
3. Se dispuso de marcas de altura dentro de las orillas, con estas se definió el perfil de la superficie del agua y el caudal pico.



Universidad de Cuenca

4. En las proximidades de la estación de aforo en la cual se determinó el caudal pico el caudal era uniforme.
5. El caudal pico fue confinado dentro de las orillas del canal.

Si se dispone de las propiedades definidas de las orillas, los perfiles de la superficie de agua y las medidas de caudal en más de 2 secciones transversales, se puede determinar n con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\varphi}{Q} \left\{ \frac{(h + h_w)_1 - (h + h_w)_N - \sum_{j=2}^N (k^* \Delta h_w)_{j-1,j}}{\sum_{j=2}^N \frac{L_{j-1,j}}{(AR^{2/3})_{j-1} (AR^{2/3})_j}} \right\}^{1/2} \quad (2.27)$$

En donde n = número de Manning, N =número de secciones transversales, h =elevación de la superficie del agua en una sección con respecto a un plano de referencia común a todas las secciones, además:

$(\Delta h_w)_{j-1,j}$ =cambio en la carga de velocidad entre las secciones $j-1$ y j .

$h_w = \alpha \frac{v^2}{2g}$ Es la carga de velocidad en la sección j .

k^* = coeficiente para cuantificar la no uniformidad del canal. ($k=0$ para orilla uniforme, $k=0.5$ orilla no uniforme).

h_f = perdida de energía ocasionada por la fricción de la frontera.

φ = coeficiente para el sistema de unidades utilizado ($\varphi=1$ para el sistema SI).

$L_{j-1,j}$ = distancia entre las secciones $j-1$ y j .

R = radio hidráulico

A = área mojada

2.2. Modelos matemáticos para simulación de procesos de flujo

Los modelos matemáticos de flujos hidráulicos son programas de computador diseñados para resolver las ecuaciones básicas de mecánica de fluidos. En general se aplican a flujos simples con condiciones de frontera no complicadas para las cuales las ecuaciones básicas pueden integrarse numéricamente y ser



Universidad de Cuenca

significativas. La calibración y validación de modelos computacionales es muy difícil y la mayoría de los modelos en computador se aplica sólo a rangos muy específicos de condiciones de flujo y frontera.

La integración numérica de la ecuación de energía para flujos gradualmente variados en un canal abierto, es una de las formas más simples de modelo matemático (Chanson, 2002).

La precisión de los modelos matemáticos está íntimamente ligada a su costo de explotación, por lo que deben tomarse en cuenta los siguientes factores: exactitud de los datos iniciales, tipo de fenómeno a estudiar, exactitud de las ecuaciones que rigen el fenómeno, forma de aproximar las ecuaciones y evolución del modelo.

2.2.1. Modelo matemático HEC-RAS

El Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros (Hydrologic Engineering Center, HEC) ha desarrollado varios programas hidráulicos de computación. Quizás el más conocido es el programa HEC-2, actualmente reemplazado por el HEC-RAS, el cual es utilizado para calcular los perfiles hidráulicos en canales.

Generalidades del modelo matemático HEC RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) es un software que permite modelar flujo unidimensional estacionario y no estacionario, transporte de sedimentos/lecho móvil y la temperatura del agua.

El sistema HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) contiene cuatro componentes de análisis unidimensional en ríos los cuales son:

1. Cálculos del perfil del flujo estacionario del agua superficial.
2. Simulación del flujo no estacionario.
3. Cálculos del transporte de sedimentos/fondo móvil.
4. Análisis de calidad del agua.

Un elemento clave es que los cuatro componentes utilizan una representación común de datos geométricos y rutinas de cálculo hidráulico y geométrico comunes. Adicionalmente a los cuatro componentes de análisis mencionados



Universidad de Cuenca

el sistema tiene varias características de diseño hidráulico que pueden ser usadas una vez que el perfil básico de agua superficial sea calculado.

Capacidades hidráulicas

HEC - RAS está diseñado para realizar cálculos hidráulicos unidimensionales para una red completa de canales naturales y artificiales. A continuación se realiza una descripción detallada de las capacidades hidráulicas del modelo.

Perfiles del flujo estacionario del agua superficial

Este componente del modelo está destinado al cálculo de los perfiles de agua superficial para el flujo estacionario gradualmente variado. El sistema puede modelar un solo río, un sistema dendrítico o una red completa de canales. El componente de flujo estacionario es capaz de modelar el perfil de agua superficial en régimen subcrítico, supercrítico o mixto.

El proceso básico de cálculo está basado en la solución de la ecuación unidimensional de la energía. Las pérdidas de energía son evaluadas por fricción (Ecuación de Manning) contracción/expansión (coeficiente multiplicado por la diferencia de la carga de velocidad). La ecuación de Momento se utiliza en los casos en los que el perfil de agua superficial varíe rápidamente. Estos casos incluyen cálculos de régimen en flujo mixto (salto hidráulico), hidráulica de puentes, y evaluación de los perfiles en la confluencia de ríos (uniones de corriente).

El efecto de varias obstrucciones tales como puentes, alcantarillas, presas, vertederos y otras estructuras en la zona de inundación debe ser considerado en los cálculos. El sistema de flujo estacionario está diseñado para su aplicación en el control de inundaciones y estudio de riesgos contra inundaciones para evaluar las vías de escorrentía que se presentan durante una inundación. Así mismo la capacidad del modelo está disponible para evaluar el cambio en el perfil del agua superficial debido a las mejoras en los canales, y a los diques.

Características especiales del componente de flujo estacionario incluyen: plan de análisis múltiple, cálculos de múltiples perfiles, análisis de múltiples puentes y/o alcantarillas abiertas, y optimización de la división del flujo en la junta de corrientes, vertederos laterales y presas.

Simulación de flujo no estacionario



Universidad de Cuenca

El modelo es capaz de simular el flujo no estacionario unidimensional a través de una red completa de canales abiertos. La solución de la ecuación de flujo no estacionario fue adaptada del modelo Dr. Robert L. Barkau's UNET (Barkau's. 1992 y HEC, 1997). Este componente de flujo no estacionario fue desarrollado inicialmente para cálculos en régimen de subcrítico.

Los cálculos hidráulicos para secciones transversales, puentes, alcantarillas y otras estructuras que se han desarrollado hidráulicos para el componente de flujo estacionario se incorporaron en el módulo de flujo no estacionario. Adicionalmente este componente tiene la capacidad de modelar áreas de almacenamiento y las conexiones entre las mismas, así como también entre las corrientes que intervienen (llegan o salen del almacenamiento).

Cálculos del transporte de sedimentos/fondo móvil

Este componente del modelo está en capacidad de simular en una dimensión el transporte de sedimentos/fondo móvil resultante de la erosión y depositación en un periodo moderado de tiempo (normalmente años, aunque aplicaciones para un solo evento de inundación pueden ser posibles).

El potencial de transporte de sedimentos se calcula en función del tamaño de la partícula, lo que permite la simulación hidráulica ordenada o clasificada. Las principales características incluyen la capacidad de modelar una red completa de corrientes, dragado de canales, varios diques y alternativas diversas, y el uso de varias ecuaciones diferenciales para el cálculo del transporte de sedimentos.

El modelo está diseñado para simular las tendencias a largo plazo de la erosión y depositación en un curso de agua que resultarían de modificar la frecuencia y duración de la descarga de agua y el escenario, o modificando la geometría del canal. Este sistema puede ser usado para evaluar la depositación en reservorios, diseñar las contracciones del canal necesarias para mantener las profundidades de navegación, predecir la influencia del dragado en la tasa de depositación, estimar la socavación máxima durante un gran evento de inundación, y evaluar la sedimentación en canales fijos.

Análisis de calidad del agua

Este componente del modelo está desarrollado para permitir al usuario realizar análisis de calidad de las aguas fluviales. La versión actual del modelo puede



Universidad de Cuenca

realizar un análisis detallado de la temperatura y el transporte de un número limitado de componentes de la calidad del agua (Algas, Oxígeno Disuelto, demanda Biológica Carbonosa de Oxígeno, Ortofosfato disuelto, Fósforo Orgánico disuelto, Nitrato de Amonio Disuelto, Nitrato de Nitrógeno, Nitrato de Nitrógeno disuelto y Nitrógeno Orgánico disuelto)

Ecuaciones básicas para el cálculo de los perfiles

Flujo Estacionario

HEC-RAS actualmente es capaz de realizar cálculos unidimensionales del perfil superficial del agua para flujo estacionario gradualmente variado en canales naturales o construidos. Se pueden calcular los perfiles superficiales del agua en régimen de flujo subcrítico, supercrítico, y mixto.

Los perfiles se calculan de una sección a la siguiente resolviendo la ecuación de la Energía con un procedimiento iterativo conocido como "método del paso estándar". La ecuación de la Energía se escribe como se indica a continuación.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e$$

(2.28)

Donde:

- | | |
|----------------------|---|
| Z_1, Z_2 | Carga de Posición (elevación del canal respecto a un eje de referencia), para el punto 1 y 2. |
| Y_1, Y_2 | Altura del agua en la sección transversal 1 y 2. |
| α_1, α_2 | Coficiente de corrección de la energía cinética. |
| g | Aceleración de la gravedad. |
| h_e | Pérdidas de energía. |

Las pérdidas (h_e) entre dos secciones transversales están compuestas por pérdidas por fricción y pérdidas por contracción y expansión. La ecuación para las pérdidas de energía es:



$$h_e = L\bar{S}_f + c \left| \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right| \tag{2.29}$$

Donde:

- L Longitud de descarga (entre las secciones) ponderada.
- \bar{S}_f Pendiente de fricción representativa entre dos secciones.
- c Coeficiente de expansión o contracción.

La distancia ponderada entre las secciones, L , se calcula como:

$$L = \frac{L_{lob} \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}} \tag{2.30}$$

Donde

- L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} Longitudes especificadas para el flujo en el borde izquierda, en el canal principal y en el borde derecho, respectivamente.
- Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{rob} Promedio aritmético de los flujos entre secciones para el borde izquierdo, el canal principal y en el borde izquierdo, respectivamente.

Composición del coeficiente n de Manning para el canal principal

El flujo en el canal principal no es subdividido, excepto cuando el coeficiente de rugosidad cambia dentro del área del canal. HEC-RAS prueba la aplicabilidad de la subdivisión de rugosidades dentro de una porción del canal principal de la sección transversal, y si esto no es aplicable, el programa calculará un solo



Universidad de Cuenca

valor compuesto de n para todo el canal principal. El programa determina si la porción de canal principal de la sección transversal puede ser subdividida o si un valor compuesto de n será utilizado basándose en el siguiente criterio:

Si la pendiente lateral del canal principal es más pronunciada que 5H:1V y el canal principal tiene más de un valor de n , una rugosidad compuesta nc será. La pendiente lateral del canal utilizada por HEC-RAS está definida como la distancia horizontal entre estaciones (valores de n) adyacentes dentro del canal principal sobre la diferencia de elevación de estas dos estaciones.

Evaluación de la Carga Media de Energía Cinética

Debido a que HEC-RAS es un programa para perfiles de agua superficial unidimensional, solo una superficie de agua y por lo tanto una sola energía media son calculados en cada sección. Para una elevación de la superficie de agua dada, la energía media se obtiene ponderando la energía de las tres subsecciones de la sección transversal (borde izquierdo, canal principal, borde derecho).

Para el cálculo de la energía cinética media es necesario obtener el coeficiente de la carga de velocidad α , que se calcula de la siguiente manera:

Carga de Energía Cinética Media = Caudal – Carga de Velocidad Ponderada.

$$\alpha \frac{\bar{v}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{v_1^2}{2g} + Q_2 \frac{v_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \quad (2.31)$$

$$\alpha = \frac{\left[Q_1 \frac{v_1^2}{2g} + Q_2 \frac{v_2^2}{2g} \right] 2g}{(Q_1 + Q_2) \bar{v}^2} \quad (2.32)$$

$$\alpha = \frac{[Q_1 v_1^2 + Q_2 v_2^2]}{(Q_1 + Q_2) \bar{v}^2} \quad (2.33)$$

Generalmente



$$\alpha = \frac{[Q_1 v_1^2 + Q_2 v_2^2 + \dots + Q_N v_N^2]}{(Q) \bar{v}^2} \tag{2.34}$$

El coeficiente de velocidad, α , es calculado en base al tránsito en los tres elementos: borde izquierdo, borde derecho y el canal. Se puede también escribir en términos del tránsito y área como se muestra a continuación.

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{K_{lob}^3}{A_{lob}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2} \right]}{K_t^3} \tag{2.35}$$

Donde

- A_t Área total de la sección.
- A_{lob}, A_{ch}, A_{rob} Áreas del borde izquierdo, del canal, y del borde derecho respectivamente.
- K_t Tránsito total de la sección.
- K_{lob}, K_{ch}, K_{rob} Tránsito del borde izquierdo, canal principal, y borde derecho respectivamente.

Evaluación de Pérdidas por Fricción

Las pérdidas por fricción en HEC-RAS son evaluadas como el producto de S_f y L ecuación (2.29), donde S_f es la pendiente por fricción representativa de un tramo y L esta definido por la ecuación (2.30). La pendiente por fricción (gradiente de la línea de energía) de cada sección se calcula de la ecuación de Manning como se indica a continuación.



$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2$$

(2.36)

Algunas Expresiones alternativas para la pendiente por fricción representativa del tramo (\bar{S}_f) que se usan en HEC-RAS se presentan a continuación.

- Ecuación de tránsito promedio.

$$S_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2}\right)^2$$

(2.37)

- Ecuación de la pendiente (fricción) media.

$$S_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2}$$

(2.38)

- Ecuación del promedio geométrico de la pendiente (fricción).

$$S_f = \sqrt{S_{f1} \times S_{f2}}$$

(2.39)

- Ecuación de la media armónica de la pendiente (fricción)

$$S_f = \frac{2(S_{f1} \times S_{f2})}{S_{f1} + S_{f2}}$$

(2.40)

La Ecuación (2.37) es la usada por defecto por el programa; es decir, es usada automáticamente a menos que una ecuación diferente sea definida en la entrada.

Evaluación de las pérdidas por Contracción y Expansión



Universidad de Cuenca

En HEC-RAS las pérdidas por contracción y expansión se calculan con la siguiente ecuación.

$$h_{ce} = c \left| \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right|$$

(2.41)

Donde

c Coeficiente de contracción y expansión.

El programa asume que la contracción ocurre siempre que la carga de velocidad aguas abajo sea mayor que la carga de velocidad aguas arriba. De la misma manera cuando la carga de velocidad agua arriba es mayor que la carga de velocidad aguas abajo, el programa asume que ocurre una expansión.

HEC-GeoRAS

HEC-GeoRAS es un conjunto de herramientas especialmente diseñadas para procesar datos geoespaciales para usarlos con HEC-RAS. La extensión permite crear un archivo para importar a HEC-RAS que contiene los datos de geometría del terreno mediante un modelo digital, incluyendo datos como cauce del río, secciones transversales, bordes, información sobre estructuras hidráulicas, etc.

La interface HEC-Geo RAS proporciona un acceso específico y lógico a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permite al modelador concentrarse en los principios hidráulicos durante el desarrollo del modelo y el análisis. Después de que los resultados son calculados en HEC-RAS, pueden ser post procesados en Geo-RAS (SIG), así las áreas de inundación pueden ser visualizadas conjuntamente con otros resultados relevantes tales como la distribución de velocidad modelada, transporte de sedimentos, etc. Este emplea un enfoque de división para visualizar los conjuntos de datos extremadamente grandes. Geo-RAS puede descomponer terrenos grandes en pequeños cuadros, analizar la conducta y sintetizar los resultados de cada cuadro para crear mapas de los resultados de la modelación en HEC-RAS. El marco geográfico de un análisis hidráulico, combinado con los servicios públicos tales como calles, autopistas, rutas de evacuación, ayudan en la protección de vidas y propiedades durante eventos de inundación.



3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de Estudio

3.1.1. El proyecto Hidroeléctrico Machángara - Conducción Labrado Tuñi

El proyecto Hidroeléctrico Machángara de propiedad de ELECAUSTRO utiliza los recursos hídricos de la cuenca media y alta del río con el mismo nombre, forman parte de este proyecto las centrales hidroeléctricas Saucay, Saymirín I-II y Saymirín III-IV que producen 24, 6.4 y 8 MW respectivamente y son abastecidas de agua por las presas El Labrado y Chanlud.

La presa El Labrado intercepta el río Chulco, su construcción se realizó desde 1969 hasta 1972. Su volumen aproximado de almacenamiento es de 6,000,000 m^3 y forma parte del proyecto Saucay I. Es una presa de gravedad construida en hormigón ciclópeo, su altura máxima es de 13 m sobre los cimientos. Tiene un vertedero de excesos sin estructura de control conformado por 5 vanos de 7.60 m para la evacuación de crecidas. En la parte izquierda de la presa



Universidad de Cuenca

después del vertedero de excesos se encuentra una toma de agua hacia el canal Labrado – Tuñi, esta toma de agua está compuesta por un canal y dos compuertas una para mantenimiento y la otra para despacho.

El canal Labrado – Tuñi lleva el agua desde El Labrado hacia el reservorio Tuñi. El canal es de sección cuadrada de 1.5 m de lado, tiene una longitud de 7869 m, es de hormigón ciclópeo su pendiente promedio es de 0.001 m/m y transporta 1.5 m^3/s .

El reservorio Tuñi tiene una capacidad de almacenamiento de 28,000 m^3 este permite el control horario de caudales despachados hacia Saucay. Cerca al reservorio se encuentra un tanque de presión rectangular de 10 m de longitud y una sección de 3.85 m de base por 6.2 m de altura.

El agua llega a la central Saucay mediante una tubería de presión desde el tanque antes mencionado, la tubería tiene una longitud de 1,320 m y desnivel de 425 m, su diámetro es de 1.060 m y su espesor es de 15 mm.

La central Saucay está a 3124 msnm y contiene 4 turbinas Pelton de eje horizontal para producir 24 MW.

3.1.2. Caracterización general del área de estudio

Hidrología regional para el proyecto

En consideración al recurso hídrico, la importancia de la cuenca alta del río Machángara (Chanlud y El Labrado) radica en los aspectos relacionados a obras de aprovechamiento hidráulico para riego, abastecimiento de agua potable, y generación hidroeléctrica. Una intervención antrópica importante, sobre los procesos hidrológicos naturales, es la regulación de flujo mediante el represamiento de agua en El Labrado, que conjuntamente con la presa de Chanlud forman parte del complejo hidroeléctrico de las centrales en cascada de Saucay y Saymirín.

En este sentido, la Empresa Electro Generadora del Austro ELECAUSTRO ha llevado a cabo esfuerzos para el mejor entendimiento de procesos relacionados al ciclo hidrológico y de oferta de agua a fin de llevar a cabo una gestión adecuada del recurso en términos de explotación-manejo óptimo y sostenible,



Universidad de Cuenca

para lo cual, y en referencia al estudio realizado para el canal Labrado-Tuñi, se dispone de (Estrella y Tobar, 2009):

- Estimación de caudales medios mensuales de ingreso en los embalses de Chanlud y El Labrado.
- Curvas IDF para en las estaciones pluviográficas de Chanlud y El Labrado.
- Estimación de caudales máximos para los sitios antes indicados.
- Estimación de caudales de garantías de interés en las intersecciones entre los cauces de cuatro quebradas principales (afluentes del río Chulco) con el canal Labrado-Tuñi.

En relación al estudio para mejoramiento de las captaciones de interés para incrementación del caudal de transporte del canal, se ha incluido la información relevante a la caracterización hidrológica que ha sido empleada para dimensionamiento de obras (Estrella y Tobar, 2009)

Intensidades de Lluvia

En las dos estaciones antes indicadas y de acuerdo al estudio en mención, se ha establecido una sola curva válida entre 5 minutos y 240 minutos de duración, cuyos parámetros se indican a continuación en la Tabla 3-1:

Tabla 3-1 Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia de la Estación El Labrado (Estrella y Tobar, 2009)

TR	A	B	C
2 años	573,906	0,8468	8,15
3 años	575,877	0,8298	7,87
5 años	578,267	0,8103	7,54
10 años	582,169	0,7865	7,14
15 años	584,906	0,7738	6,93



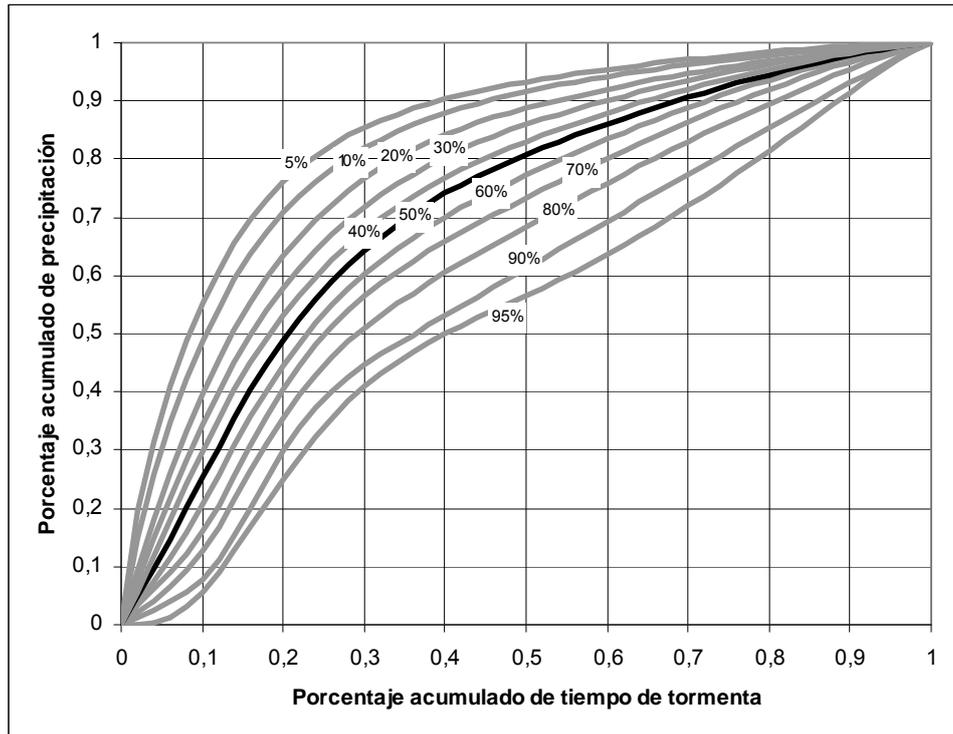
Universidad de Cuenca

20 años	586,547	-	0,7651	6,78
25 años	587,989	-	0,7586	6,67
50 años	592,849	-	0,7395	6,35

Nota del estudio citado: La curva tipo es de la forma $I = A(t + C)^B$ en donde I es la intensidad en milímetros por hora, t es el tiempo en minutos, A y B son parámetros obtenidos por ajuste lineal de mínimos cuadrados entre los logaritmos de la intensidad y los logaritmos del tiempo más C ; este último es un tercer parámetro obtenido maximizando el coeficiente de correlación de la regresión lineal anterior. Se aplica desde la cota 3200 m. s.n.m. Así mismo, se dispone de la caracterización regional del patrón comportamiento para hietogramas aplicable a la zona de estudio y ha sido recomendada, para efectos de determinación de crecidas de diseño, la curva que corresponde a 50% de ocurrencia.

Patrón de Comportamiento Regional

Figura 3-1 Histograma de Precipitación (Estrella y Tobar, 2009)



De manera particular, y para efectos del estudio de obras de captación, se ha derivado información relevante al histograma de precipitación de interés de 50% (percentil 0,5) para El Labrado en el sitio de intersección de la quebrada Cerro Negro, estableciéndose que: para estimación de crecidas para $T = 10$ años y $T = 25$ años, $t_d = t_c = 10,79$ minutos y $t_d = 30$ minutos $> t_c = 10,79$ minutos, se adopte un t_d (tiempo de duración) de 30 minutos por dar un valor mayor del caudal pico, (factor de reducción 0,99). Ver Figuras 2 y 3 en el Anexo A.

Así mismo, se dispone de hidrogramas basados en el análisis de los histogramas más desfavorables para el caso de las quebradas de interés como se indica en las Figuras 4 – 8 en el Anexo A.

Caudales medios mensuales para el estudio

Para el estudio hidráulico de las obras, y para efectos del establecimiento de capacidades y dimensionamiento de captación, se ha considerado los caudales medios que fueran establecidos para las cuatro quebradas a ser captadas en el estudio (Estrella y Tobar, 2009). En función de las características morfológicas, de cobertura vegetal y de comportamiento torrencial y de acuerdo a la hidrología establecida para la zona se ha determinado adecuado una proyección de los caudales medios en términos de las áreas de drenaje de



Universidad de Cuenca

cada una de las quebradas de interés para las captaciones cuyo rango de valores y estadísticas de relevancia se indican a continuación:

Tabla 3-2 Caudales Medios Mensuales de las Quebradas de Interés (Carrillo & Pacheco, 2012)

Caudales Medios												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rondador (l/s)	41,1	59,0	61,0	72,9	70,0	77,2	57,0	46,4	37,3	38,6	42,1	47,8
Cerro Negro (l/s)	27,3	39,2	40,5	48,4	46,5	51,3	37,9	30,8	24,8	25,7	28,0	31,8
Quebrada 3 (l/s)	28,4	40,8	42,2	50,4	48,4	53,4	39,4	32,1	25,8	26,7	29,1	33,1
Ranahuaico (l/s)	31,8	45,6	47,2	56,4	54,2	59,8	44,1	35,9	28,9	29,9	32,6	37,0

Como se puede ver en la tabla anterior el mayor caudal medio proyectado se obtiene para la quebrada Rondador. Sin embargo se puede ver que en el período de marzo a junio de manera generalizada en todas las quebradas, se proyectarían caudales medios de entre 40 a 77 l/s.

Adicionalmente, se indica que de un análisis realizado para cuencas hidrológicas de ecosistemas de páramo se han identificado rendimientos de hasta 20 l/s/km², información que ha permitido confirmar las consideraciones realizadas para los caudales medios (recalcando que se debe tener presente la precisión, la calidad de la información y la incertidumbre en otros procesos hidrológicos).

Caudales máximos

El estudio de caudales máximos de diferentes períodos de retorno para afluentes de interés del río Chulco en El Labrado identificados como Quebrada Rondador, Quebrada Cerro Negro, Quebrada Labrado 3 y Quebrada Ranahuaico ha sido realizado mediante la aplicación de modelización HEC-HMS, USACE (2000) sobre la base de la descripción paramétrica de las condiciones fisiográficas, tipo y uso de suelo, cobertura vegetal, y lluvias intensas (ver detalles en el estudio de la Fuente citada).



Universidad de Cuenca

El resumen con los caudales máximos y los volúmenes totales de los hidrogramas de crecida de los diferentes períodos de retorno para los sitios de interés se presenta a continuación:

Tabla 3-3 Caudales Máximos y Volúmenes Totales Quebrada Rondador (Estrella y Tobar, 2009)

Quebrada Rondador, Labrado		
T (años)	Caudal máximo (m ³ /s)	Volumen escurrido (m ³)
5	2,11	3236
10	2,73	4222
25	3,62	5691
50	4,38	6921

Tabla 3-4 Caudales Máximos y Volúmenes totales Quebrada Cerro Negro (Estrella y Tobar, 2009)

Quebrada Cerro Negro, Labrado		
T (años)	Caudal máximo (m ³ /s)	Volumen escurrido (m ³)
5	1,4	2258
10	1,8	2908
25	2,39	3877
50	2,89	4691

Tabla 3-5 Caudales Máximos y Volúmenes Totales Quebrada 3 (Estrella y Tobar, 2009)

Quebrada Labrado 3, Labrado		
------------------------------------	--	--



Universidad de Cuenca

T (años)	Caudal máximo (m ³ /s)	Volumen escurrido (m ³)
5	1,45	2350
10	1,87	3032
25	2,49	4049
50	3	4901

Tabla 3-6 Caudales Máximos y Volúmenes Totales Quebrada Ranahuaico
(Estrella y Tobar, 2009)

Quebrada Ranahuaico, Labrado		
T (años)	Caudal máximo (m ³ /s)	Volumen escurrido (m ³)
5	1,59	2958
10	2,04	3825
25	2,71	5116
50	3,28	6188

Geología regional

Desde el punto de vista geomorfológico, de acuerdo a las inspecciones realizadas en los sitios de interés, la zona de estudio es producto de deformaciones que obedecen a fuerzas geológicas relacionadas a compresión lateral, intrusiones ígneas y elevación vertical (Bridges, 1990). Se establece de manera adicional que las pendientes presentes obedecen a equilibrio entre procesos de meteorización y de erosión en escalas de tiempo mayores, mientras que en escalas de tiempo menores los procesos de producción de



Universidad de Cuenca

regolitas es quizá mayor que la capacidad de transporte que se identifica en los cauces de estudio.

En términos de la definición que se otorga a cauces de montaña de acuerdo a las características de pendiente y de la variabilidad temporal de eventos, los cauces sujetos de estudio se pueden catalogar como torrentes de lecho de grava “gravel bed” por poseer material de fondo superior a 2 mm y cantos rodados (sujetos de transporte) de mayor tamaño, lo cual tiene una influencia notoria en el comportamiento hidráulico del flujo. Si bien, los estudios recientemente realizados han comprobado que la teoría de flujo que está desarrollada para canales de baja pendiente no es aplicable de manera segura a cauces de montaña (Lang&Musy, 1990; Ergenzinger&Schmidt, 1994) por la dinámica mayor que en cauces de baja pendiente, para el estudio de los cauces de la zona se considera los siguientes hechos establecidos como modelos en cuanto a comportamiento de cauces de montaña:

- Relación entre fuerzas causantes y fuerzas resistentes en el cauce.
- Influencia de eventos de frecuencias bajas.
- Influencia antrópica.

De entre las características presentes en los cauces, y que fueran identificadas en las visitas realizadas, se tiene:

- Régimen estacional marcado de caudales altos (ver caracterización hidrológica de la zona).
- Morfología variable de los cauces por razones de orden geológico, litológico y de aporte de sedimentos.
- Altas pendientes.
- Condiciones de resistencia al flujo considerables en términos de rugosidad del lecho y tortuosidad.
- Alta turbulencia del flujo.
- Movimiento estocástico de sedimentos y transporte de fondo.

3.2. Levantamiento y estructuración de información para el estudio

3.2.1. Nivelación del canal

Aunque inicialmente se disponía de una nivelación, que fuera realizada con anterioridad por ELECAUSTRO, dicha nivelación fue rectificadas y



Universidad de Cuenca

complementada para efectos de considerar recientes cambios y otro tipo de modificaciones como erosión, hundimientos o acumulación de sedimentos en el canal, etc. La actualización de la nivelación se realizó con un nivel convencional de marca Spectra modelo AL124.

Debido a la cantidad de curvas que se presentan en la longitud del canal las visuales no han superan los 150 m y se ha escogido la nivelación directa compuesta como método adecuado.

La nivelación del fondo del canal fue realizada en sentido contrario al abscisado es decir desde el reservorio de Tuñi hacia la presa El Labrado, cabe indicar que el abscisado se realizó con cinta poniendo especial cuidado en los tramos curvos. El primer punto tomado fue en la abscisa 7+750, (a partir de esta abscisa el canal se encuentra embaulado hasta el reservorio de Tuñi). La cota referencial del punto inicial fue tomada mediante GPS. El punto final de la nivelación es el inicio del canal en El Labrado su abscisa es 0+000. Para más detalles se puede ver la libreta y los planos de nivelación en el Anexo B.

3.2.2. Medición y caracterización de las secciones del canal

En el canal de conducción Labrado-Tuñi se realizó la medición de los parámetros físicos del mismo con el fin de caracterizar la sección, estos parámetros fueron:

- Ancho del canal: El ancho de las secciones del canal fue medido cada 50 m y cada que se encontraba un cambio notorio en el mismo.
- Alturas de las paredes: Se tomó la altura de las paredes cada 50 m y en casos especiales como obras de captación o acumulación de sedimentos y piedras que disminuían el alto efectivo de las mismas.
- Condiciones de las paredes y fondo del canal: se realizó un registro observacional del aspecto físico de las secciones es decir el estado del recubrimiento, presencia de vegetación, acumulación de sedimentos o taponamientos, vegetación externa interrumpiendo el flujo del agua, etc.
- Quebradas: Fuentes de agua adicional que ingresan al canal con o sin obra de captación. Aquí se realizó aforos mediante el método de registro volumétrico para determinar el caudal aproximado, en caso de presencia de captaciones se midió su geometría y el estado de la misma.



Universidad de Cuenca

3.3. Estudio en modelo físico para estaciones de aforo en la conducción

Como alternativa para la medición de flujo en el canal, se ha planteado el diseño de aforadores de contracción lateral ya que permite la medición satisfactoria de flujo tanto en condiciones libres y de sumergencia (Robinson, 1960; Hyatt, 1965). Para este tipo de estructura, se requiere el establecimiento de las condiciones de flujo libre y de flujo sumergido.

Para el diseño del aforador de contracción lateral se ha realizado un estudio preliminar con modelo hidráulico de escala reducida que estuviera disponible en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Cuenca, mismo que fuera desarrollado para el análisis y validación de condiciones de flujo. De manera particular se ha ejecutado una validación y calibración de los parámetros presentes en las ecuaciones para condiciones de flujo sumergido para el rango de caudales de interés en el estudio del canal Labrado – Tuñi.

Para el diseño se ha partido de las consideraciones teóricas establecidas en la expresión para flujo libre de un aforador de contracción lateral sin longitud de garganta que tiene la forma:

$$Q_f = C_f h_u^{nf} \quad (3.1)$$

Mientras que para las condiciones de flujo sumergido (Skogerboe et al., 1967b) se tiene:

$$Q_s = C_1 [h_u - h_d]^{nf} / [-(\log S^* + C_2)]^{ns} \quad (3.2)$$

Donde:

h_u , h_d Calados aguas arriba y aguas abajo respectivamente.

C_f Coeficiente de descarga libre.

S^* Relación de sumergencia: h_d / h_u

C_1 , C_2 Coeficientes de descarga en sumergencia.

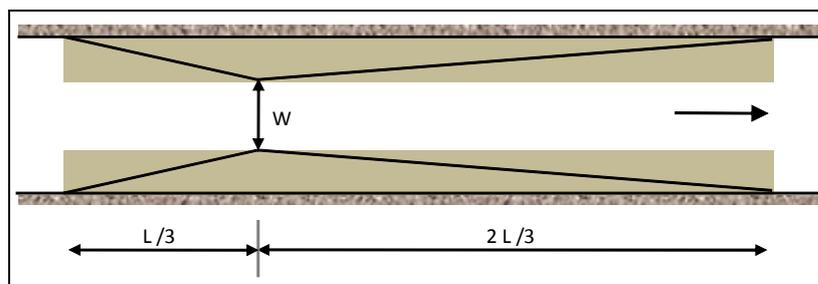


Dimensiones del Modelo

El modelo estudiado corresponde a un aforador de proporciones estándar con inclinaciones de la alineación lateral de: 1/3 a la entrada, y 1/6 para la salida.

Dado que en el laboratorio se cuenta con un canal rectangular de 0,3 m de ancho, para trabajar en el modelo previamente se ha procedido con el escalamiento de las variables y parámetros de flujo de acuerdo a las condiciones esperadas en el canal. Finalmente, la escala de estudio fue seleccionada de acuerdo a la geometría preestablecida para el medido de caudales (ver Figura 3-2), habiéndose obtenido una relación de escala modelo a prototipo de 1:5.

Figura 3-2 Vista en Planta del Modelo Escogido para la Estructura de Medición de Caudales



Ancho de garganta W	0,150 m
Longitud del aforador L	0,675 m

En la Figura 3-3 a continuación se muestra el modelo físico de la estructura de aforo, durante las pruebas realizadas.

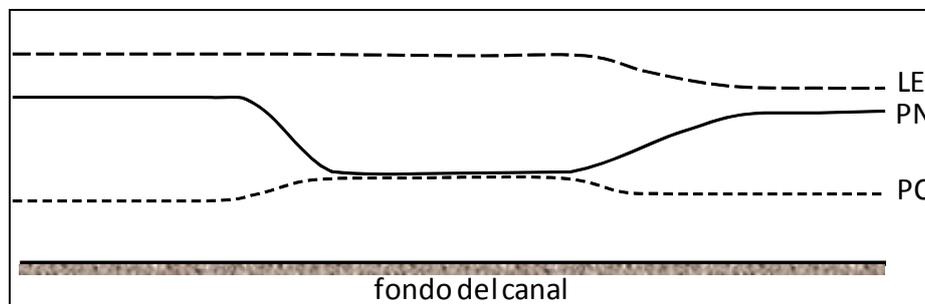
Figura 3-3 Modelo Físico a Escala



Estructura para Flujo Crítico con Reducción Lateral

El principio de funcionamiento de este tipo de estructura indica un aumento del caudal unitario por efecto de la reducción lateral mientras que se produce una reducción en calado a lo largo de la contracción. El porcentaje de contracción deberá permitir llegar a la altura de flujo correspondiente a régimen crítico (Figura 3-4).

Figura 3-4 Estructura de Medición con Reducción Lateral



LE = línea de energía específica

PN = profundidad de la superficie de agua en el canal

PC = profundidad de flujo en régimen crítico



Universidad de Cuenca

3.4. Estudio de rugosidad del canal Labrado-Tuñi

3.4.1. Caracterización del flujo

Para la medición del flujo en el canal se realizaron aforos mediante equipo medidor de la velocidad del agua, de tipo molinete y mediante medidor de velocidad Flow Tracker marca Sontek. El procedimiento contempló tomar tres medidas de velocidad por sección; la primera a un tercio del ancho del canal desde la pared izquierda, la segunda en el centro del canal y la tercera a un tercio del ancho del mismo desde la pared derecha, todas estas mediciones a una altura del 60% del calado desde la superficie libre. Con el área transversal y la velocidad del agua se determina el caudal.

Con este procedimiento se ha logrado obtener el coeficiente de rugosidad de Manning de cada sección del canal donde se realizaron las lecturas de velocidad, en el Capítulo 4 se indica el proceso de asignación de estos coeficientes a todas las secciones según la variación de los factores cambiantes como son la pendiente, el área de la sección y las condiciones físicas de la misma.

3.5. Implementación del modelo matemático (HEC RAS)

La implementación del modelo se ha llevado a cabo en el tramo correspondiente a 7820 m que da inicio al pie de la presa El Labrado hasta el reservorio de Tuñi para lograr lo siguiente:

- Disponer de una herramienta para manejo y control de flujo en el canal Labrado Tuñi.
- Determinar alturas de flujo a lo largo del canal para un rango de caudales de acuerdo a su capacidad de transporte.
- Simular el funcionamiento del canal para eventuales taponamientos.

Como herramienta de control y para la toma de decisiones, el modelo matemático, (HEC–RAS), fue empleado para determinar el comportamiento hidráulico del flujo en el espacio y en el tiempo en consideración de la identificación y control de aspectos relacionados a capacidad de transporte, velocidades de flujo, calados, desbordamiento, etc.

La implementación del modelo se la ha realizado para la geometría presente en la conducción del canal y sobre la base de las consideraciones del perfil



Universidad de Cuenca

longitudinal que fuera obtenido en la nivelación del mismo. Se indica que para la esto ha sido necesario llevar a cabo una depuración de la información topográfica a fin de mejorar la información que requiere el modelo. Es muy importante indicar que también se alimentó el modelo con la información discriminada que se hizo de aspectos relacionados a geometría y cambios de rugosidad.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de la conducción

Análisis de pendiente del canal

Como resultado de la nivelación realizada se ha obtenido la caracterización de la pendiente del fondo del canal, la cota del primer punto es decir la abscisa 7+750 fue leída con GPS en 3416.303 msnm; luego de obtener el desnivel entre esta abscisa y el punto de inicio del canal la abscisa 0+000 se determinó la cota de este el punto final de la nivelación siendo la misma 3424.070 msnm. El desnivel entre los puntos inicial y final del canal es de 7.77 m dando como pendiente promedio 0.001 m/m.

Sin embargo la pendiente a lo largo del canal no es uniforme sino tiene un rango de variación determinado entre 0.000859 y 0.001119 m/m. de manera general, la pendiente al inicio del canal desde El Labrado hasta aproximadamente la abscisa 2+000 es mayor, luego va disminuyendo de manera gradual encontrándose picos en la mitad de la longitud del canal y desde la abscisa 6+000 hasta el final del mismo las pendientes mantienen valores bajos. También se calculó la pendiente ponderada del canal según la ecuación (4.1) obteniéndose un valor de 0.0010, esto para dar igual importancia a las pendientes calculadas por cada kilómetro.

$$sp = \frac{s_1 L_1 + s_2 L_2 + s_3 L_3 + \dots + s_n L_n}{L_t} \quad (4.1)$$

Donde sp es la pendiente ponderada obtenida, $s_{1,2,3,\dots,n}$ son las pendientes por cada tramo, $L_{1,2,3,\dots,n}$ las longitudes respectivas de cada tramo y L_t la longitud total del canal.

En la Tabla 4-1 se presentan los valores de las pendientes del canal por kilómetro:



Tabla 4-1 Pendientes promedio del canal por kilómetro

Abscisa	Pendiente Promedio
0+000 - 1+000	0.001018
1+000 - 2+000	0.001118
2+000 - 3+000	0.000951
3+000 - 4+000	0.000859
4+000 - 5+000	0.001119
5+000 - 6+000	0.001085
6+000 - 7+000	0.000920
7+000 - 7+750	0.000929

Análisis de los aforos realizados

Luego de realizar los aforos en distintas secciones del canal, se generó la información presentada en la Tabla 4-2 en donde se especifica la abscisa en donde se realizó la medición, el rango de velocidades obtenidas y el rango de caudales correspondiente. El detalle completo de los aforos se encuentra en el Anexo B. Adicionalmente se analizó y comparó resultados de aforos realizados por ETAPA en el año 2011 (Ver Anexo B).

Tabla 4-2 Resultados de los aforos realizados en el canal

Abscisa	Velocidades (m/s)	Caudal (m ³ /s)
0+250	0.81 - 0.86	0.40 - 0.43
2+140	0.89 - 1.19	0.54 - 0.68
7+700	0.87 - 1.04	0.44 - 0.52

Estudio de la rugosidad

De los caudales obtenidos en los aforos y utilizando los datos de cada sección como son el área y la pendiente del canal se calculó el coeficiente de rugosidad de Manning para cada medición realizada. Para procesar la información se ha procedido con la ponderación de valores de acuerdo a la ecuación (4.2). Donde n es el valor válido del coeficiente de Manning para la sección en estudio, P es el perímetro mojado de toda la sección, R es el radio hidráulico toda la sección. P_1, P_2 y P_3 son los perímetros mojados parciales de cada medición así también R_1, R_2 y R_3 son los radios hidráulicos parciales, por último n_1, n_2 y n_3 es el valor



Universidad de Cuenca

de Manning obtenido al despejar la ecuación (2.3) para cada una de las mediciones parciales.

$$n = \frac{P (R)^{5/3}}{\frac{P_1 (R_1)^{5/3}}{n_1} + \frac{P_2 (R_2)^{5/3}}{n_2} + \frac{P_3 (R_3)^{5/3}}{n_3}}$$

(4.2)

Al resolver la ecuación (4.2) se obtiene el valor de n para cada aforo, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 4-3 Coeficiente de rugosidad de Manning calculado para las abscisas donde se realizaron los aforos

Abscisa	n de Manning Calculado
0+250	0.02297
2+140	0.02168
7+700	0.01473

Caracterización observacional del canal

A lo largo de la conducción se distinguieron condiciones físicas que han permitido identificar 5 distintos tipos de secciones representativas del canal:

Sección Tipo 1A, en esta sección las paredes del canal están cubiertas casi en su totalidad de una capa de musgo de 0.5 cm de espesor que se desarrolla hasta el calado normal de agua, el estado del hormigón de recubrimiento de las paredes es bueno. El fondo se encuentra erosionado presentando irregularidades, aquí existe poco musgo. Ver Figura 4-1.

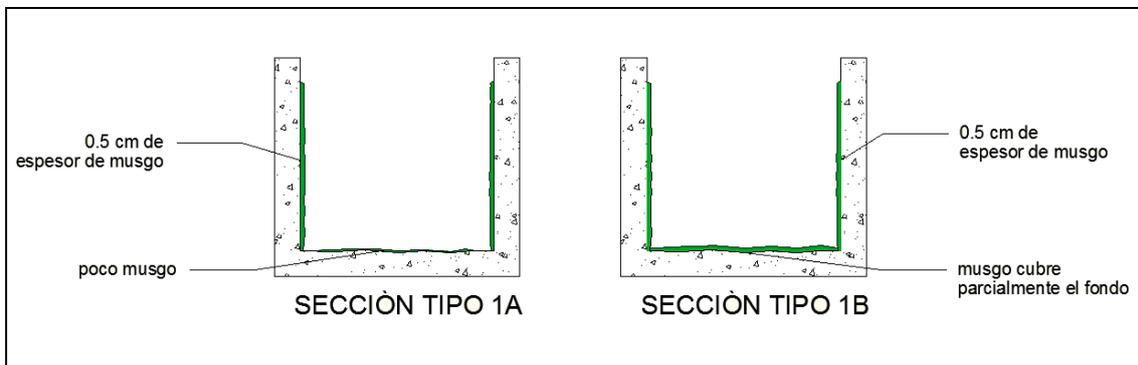
La sección 1B es una variación del tipo de sección antes descrita, aquí se mantienen las condiciones de la sección 1A excepto en el fondo, donde la cantidad de musgo aumenta hasta cubrir parcialmente el mismo. Este tipo de



Universidad de Cuenca

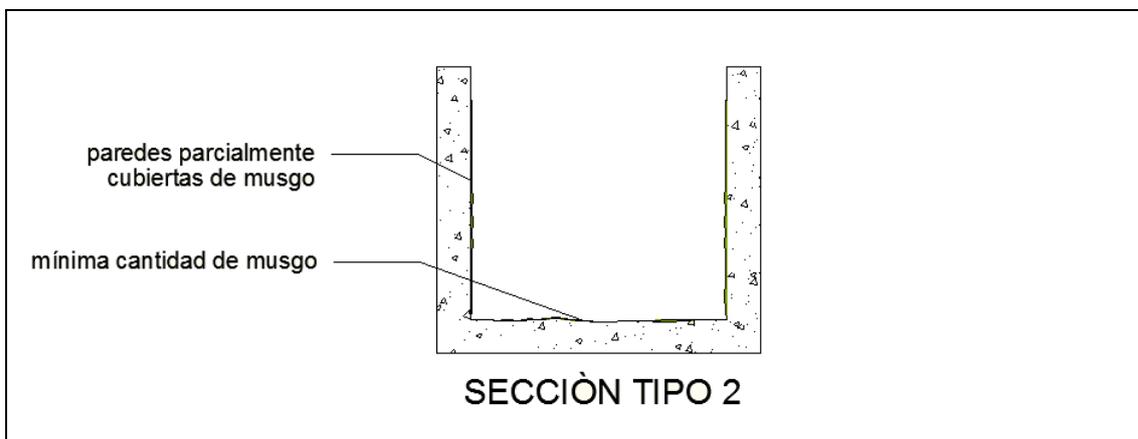
sección no es muy común y en su mayoría se produce en el último tramo. Ver Figura 4-1.

Figura 4-1 Secciones tipo 1A y 1B



Existen tramos en donde el musgo que cubre las paredes es menor al de la secciones tipo 1, es decir no llega a cubrir la superficie en su totalidad, casi no existe musgo en el fondo del mismo, este tipo de sección se la puede observar en mayor medida en el primer kilómetro del canal. A esta sección la llamaremos Sección Tipo 2. Ver Figura 4-2.

Figura 4-2 Sección tipo 2



La sección Tipo 3 se produce en los tramos del canal donde se encuentran captaciones o vertientes sin obra, en esta el musgo que cubre la pared derecha del canal tiene condiciones normales, (sección Tipo 1A) mientras que en la pared izquierda debido a la entrada de agua el musgo es menor. En el fondo no existe musgo o es muy raro y se producen acumulaciones de piedras y arena que acarrea la fuente de agua. Según el tamaño de la vertiente y el estado de la captación podemos diferenciar 2 tipos de sección:

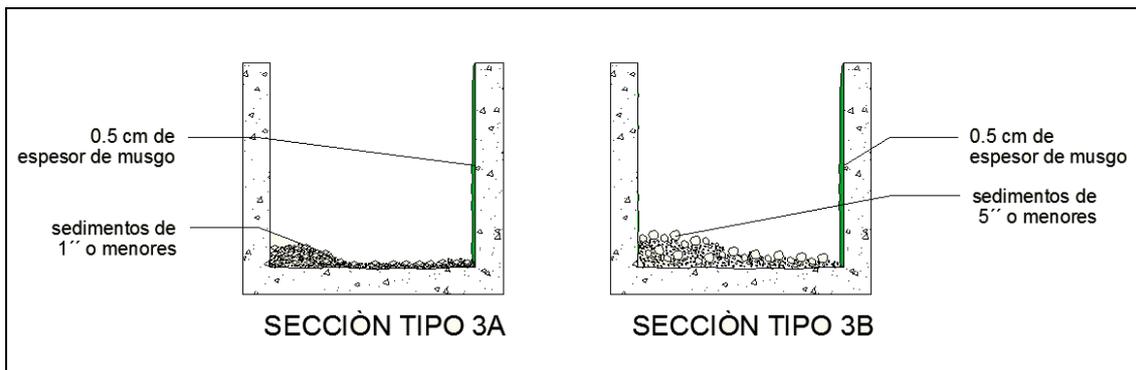


Universidad de Cuenca

Sección Tipo 3A, el tamaño de los sedimentos acumulados en el fondo son de 1 pulgada o menor, esto se observa en vertientes pequeñas o vertientes de mayor tamaño en donde la rejilla de la captación funciona de manera correcta. Ver Figura 4-3.

Sección Tipo 3B, se observaron sedimentos acumulados en el fondo de hasta 10 cm de diámetro, debido a que las rejillas de las captaciones no están en óptimas condiciones de trabajo o la quebrada no dispone de obra de captación. Ver Figura 4-3.

Figura 4-3 Secciones tipo 3A y 3B



Hay tramos en donde la vegetación de los lados del canal cubre los bordes, y en algunos casos toca la superficie del agua, esto altera las condiciones de flujo en cualquier tipo de sección.

En resumen la caracterización del canal por abscisas, en donde se distinguen los diferentes tipos de secciones, el inicio y fin de tramos tapados del mismo, anchos de sección y altura de las paredes se puede observar en el Anexo B.

Esta caracterización, los datos físicos de las secciones, los coeficientes de rugosidad de Manning obtenidos, la pendiente real del fondo del canal son los parámetros necesarios para implementar el modelo matemático HEC - RAS.



Selección del Tipo de Aforador

Para la selección del tipo de estructura de aforo y en consideración de las condiciones de flujo dadas en el canal, de la base teórica que gobierna el desempeño y la funcionalidad se planteó finalmente para el proyecto como alternativas las siguientes:

1. Estructura para flujo crítico con reducción lateral.
2. Estructura de flujo crítico con sobreelevación en el fondo.

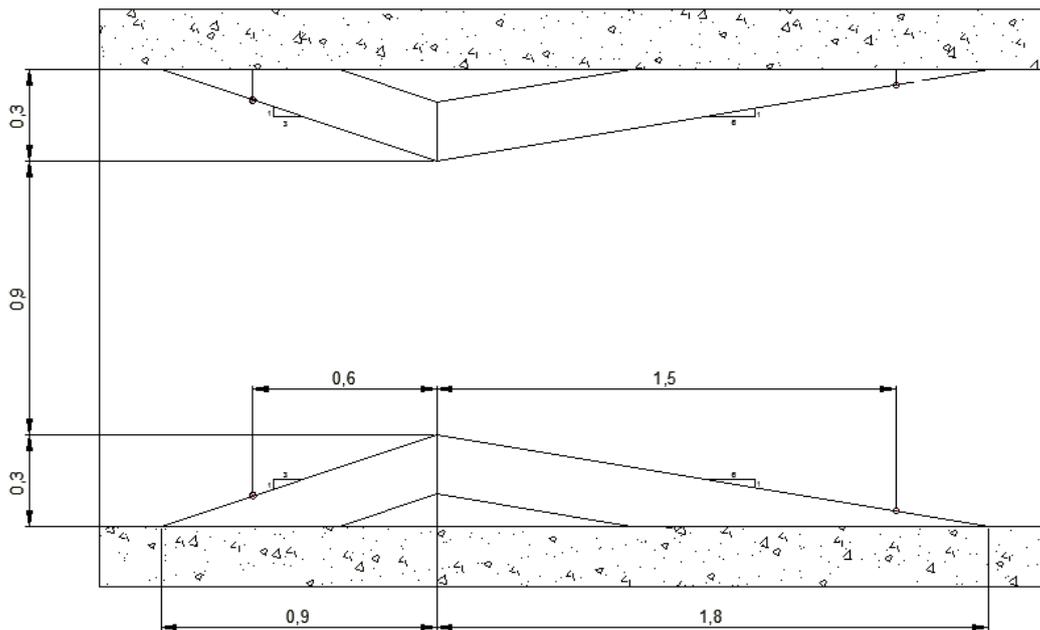
Los tipos señalados presentan transiciones y contracciones hidráulicas; y están categorizados de acuerdo al régimen de flujo que corresponde al estado crítico.

De los tipos de medidor expuestos, se escogió como alternativa de diseño la que corresponde al de contracción lateral puesto que presenta las siguientes ventajas sobre el medidor de sobreelevación:

- Mayor facilidad en la construcción y emplazamiento
- No presenta problemas por sedimentación en el fondo.
- Adicionalmente, dado que se ha demostrado experimentalmente (Skogerboe et al., 1967a) que medidas en la sección de salida (zona de sumergencia) resultan en una mejor calibración de flujo, se concluye que una longitud de garganta no es fundamental en este tipo de aforador.



Figura 4-4 Esquema de las estructuras de aforo. Vista en planta



Una vez seleccionada la alternativa de diseño y en consideración de los principios de energía específica definida como el nivel de la energía relativa al fondo de un canal para un punto en particular, se indica adicionalmente otros aspectos que fueron considerados:

- Régimen de flujo en el canal.
- Configuración geométrica.
- Rango de caudales de trabajo.
- Arquitectura de la estructura de aforo.
- Aspectos constructivos y de rápido emplazamiento.
- Carga de sedimento de fondo.

Se ha establecido que el régimen de flujo en el canal corresponde a condiciones subcríticas con velocidades en el rango de 1,30 a 1,38 m/s (valores promedio a lo largo del canal) para caudales de 1,5 a 3 m³/s respectivamente.

La configuración geométrica del canal en los sitios establecidos para el emplazamiento de los aforadores corresponde a una sección rectangular de base y altura como se muestra en la Tabla 4-4 a continuación. Luego de un



Universidad de Cuenca

estudio que considera aspectos de operación se ha identificado sitios estratégicos para la ubicación de estos aforadores.

Tabla 4-4 Dimensiones de las estructuras de aforo.

Abscisa	Ancho (m)	Altura (m)
0+150	1,42	2,05
2+700	1,50	1,85
5+250	1,50	1,80
7+650	1,50	1,80

Establecimiento de coeficientes hidráulicos para los aforadores diseñados

Para el estudio en modelo se consideró el rango de caudales de 1,0 a 2,8 m³/s correspondientes a las condiciones de flujo esperadas en el prototipo, que equivalen a 17,89 l/s y 50,09 l/s respectivamente, en el modelo físico del aforador empleado. En este sentido, y para los procedimientos de experimentación preconcebidos en el laboratorio se realizó una validación de los coeficientes de las ecuaciones teóricas de descarga para un rango de caudales representativo que permita identificar la validez de la formulación teórica y establecer el procedimiento para ajustar los coeficientes a condiciones de flujo más reales. Por ejemplo, consideraciones de sumersión de la estructura de aforo o condiciones de desempeño en flujo transitorio.

De acuerdo a la formulación de funcionamiento expuesta y de los ensayos realizados, se adoptaron los siguientes coeficientes (calibrados) para la ecuación de flujo en condiciones de sumergencia:

$$\begin{array}{ccc}
 n_s=1.532 & C_s=0.366 & n_f=1,894 \\
 C_f=0.657 & S_t=0.680 &
 \end{array}$$

Dichos coeficientes fueron validados mediante experimentación en modelo, obteniéndose como resultados:

Tabla 4-5 Resultados de la Experimentación en Modelo Físico

Q (l/s)	h _u (m)	H _d (m)	Q calc (l/s)	S	Condición de Flujo a la Salida
------------	-----------------------	-----------------------	-----------------	---	--------------------------------------



Universidad de Cuenca

19,56	0,158	0,059	19,94	0,373	L
19,56	0,158	0,110	19,79	0,696	T
19,56	0,161	0,130	19,41	0,807	S
19,56	0,164	0,144	18,10	0,878	S
19,56	0,174	0,160	18,09	0,919	S
19,56	0,183	0,174	17,03	0,951	S
21,08	0,171	0,063	23,09	0,369	L
21,08	0,171	0,115	22,97	0,674	T
21,08	0,172	0,135	22,39	0,785	S
21,08	0,175	0,155	20,08	0,886	S
21,08	0,180	0,163	20,09	0,906	S
21,08	0,183	0,175	16,39	0,956	S
23,02	0,180	0,069	25,40	0,384	L
23,02	0,180	0,125	25,20	0,696	T
23,02	0,183	0,149	24,53	0,814	S
23,02	0,187	0,168	21,95	0,900	S
23,02	0,194	0,179	21,72	0,924	S

En donde:

- L Condición de flujo a la salida libre.
- T Condición de flujo en la zona de transición entre la descarga libre y descarga en condición de sumergencia.
- S Condición de descarga en sumergencia.



Universidad de Cuenca

Cabe indicar que para el establecimiento de las relaciones finales ha sido necesario definir las condiciones aguas abajo, es decir calado de flujo para los diferentes caudales.

Sin embargo; y de acuerdo a los resultados que fueran obtenidos en la experimentación, ha sido posible establecer que los coeficientes ajustados para las ecuaciones de descarga son apropiados en la medida de que la estructura de medición no trabaja en condiciones cercanas a la sumergencia total, es decir, se esperaría un buen desempeño de las relaciones mientras que S no supere valores del orden de 0,85. La condición final de sumergencia proyectada para el medidor podría ser establecida toda vez que se conozca la información referente a calados de flujo (condición de frontera de funcionamiento del aforador), que es función directa de la rugosidad.

Figura 4-5 Procedimiento de Validación del Desempeño del Medidor de Flujo de Contracción Lateral



Resultado de las alternativas identificadas para implementación de la estructura de medición

- **Alternativa 1: Medidor prefabricado en concreto**

Se procedería a construir el medidor en 4 módulos (por cada lateral), la construcción no reviste complejidad particular ya que se ha establecido que el requerimiento de armadura es la mínima normativa.

Ventajas

- Construcción simple que no requiere personal especializado.



Universidad de Cuenca

- Posibilidad de ser construida en el sitio de emplazamiento.
- Durabilidad.
- Economía.

Desventajas

- Se requiere supervisión técnica durante el proceso constructivo.
 - Se requiere personal técnico para montaje.
 - Requiere maquinaria de elevación para montaje de los componentes.
 - Se requiere la interrupción momentánea de flujo en el canal durante el tiempo que toma el montaje.
-
- **Alternativa 2: Medidor en PRFV (Plásticos Reforzados con Fibra de Vidrio)**

Dicha alternativa se refiere a materiales termofijos en los cuales durante el proceso de formación o moldeo se emplea refuerzo que mejora las características mecánicas del producto como por ejemplo fibra de vidrio. El producto resultante es mecánicamente muy resistente, además de ser inerte a una gran cantidad de compuestos.

Ventajas y otras propiedades

- Versatilidad de la estructura para transporte y colocación (peso específico bajo del orden de 2g/cc).
- Fácil colocación.
- Alta resistencia a la tensión.
- Completamente incombustible.
- Biológicamente inerte.
- Excelente resistencia al intemperismo y a gran cantidad de agentes químicos.
- Excelente estabilidad dimensional.
- Baja conductividad térmica.



Desventajas

- Costo relativamente mayor en comparación con la construcción en concreto.
- Construcción especializada que requiere identificar proveedor.
- Requiere personal especializado para montaje.
- Se requiere la interrupción momentánea de flujo en el canal durante el tiempo que toma el montaje.

Luego del análisis de las alternativas descritas se optó por un medidor prefabricado de concreto debido a los criterios de arquitectura, aspectos constructivos, costo y sencillo emplazamiento.

Los materiales, dimensiones, armadura y detalles de los aforadores se encuentran especificados en el plano en el Anexo B, en donde se encuentra también el presupuesto para la construcción e instalación del mismo.

4.3. Diseño de una estructura tipo para captaciones laterales en cauces de interés del proyecto

Luego de un análisis de geografía, cauces de interés, caudales medios, procesos fluviomorfológicos, se han identificado 4 fuentes potencialmente aprovechables. El diseño ha sido concebido de tal manera que se adapte a las condiciones geomorfológicas e hidráulicas del sector. Este tipo de captación puede aplicarse a futuro a quebradas no consideradas en este estudio y que ELECAUSTRO crea pertinente su construcción.

En la Tabla 4-6 constan las coordenadas identificadas de las intersecciones entre las quebradas de interés antes mencionadas, afluentes del río Chulco, y el canal El Labrado-Tuñi.

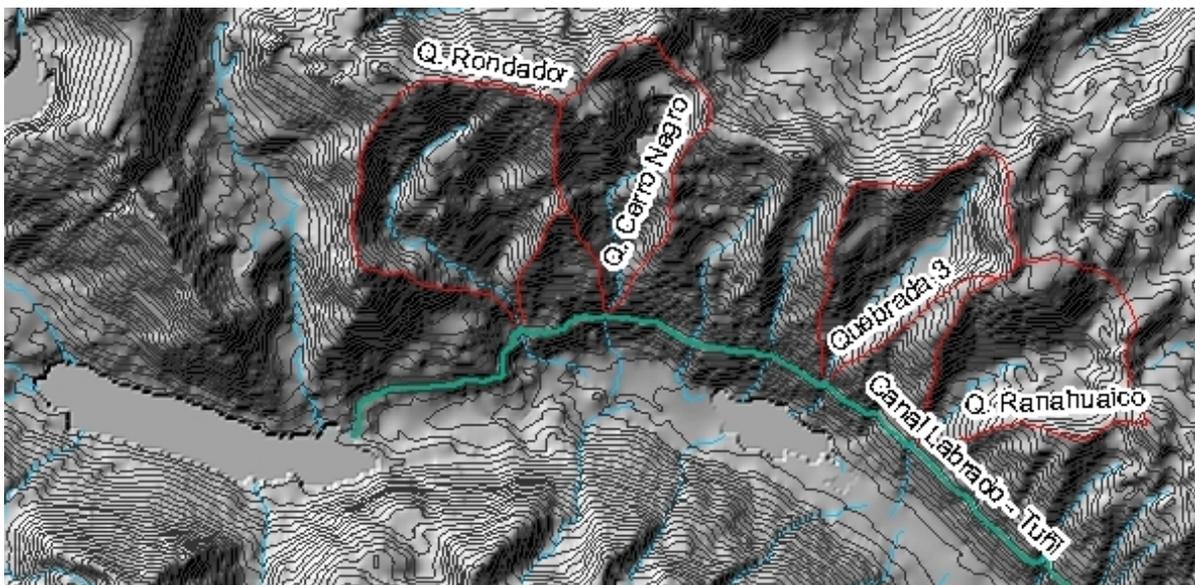
Tabla 4-6 Coordenadas de las intersecciones de las quebradas de interés



Universidad de Cuenca

ESTACIÓN	Coordenadas UTM SAP 56		
	Zona	LONGITUD X	LATITUD y
Q. Rondador	17	715560	9699100
Q. Cerro Negro	17	716053	9699215
Q. Labrado 3	17	717360	9698779
Q. Ranahuaico	17	717886	9698511

Figura 4-6 Modelo Digital del Terreno Sector de Estudio



Para el dimensionamiento de las captaciones para los cauces de interés del estudio se consideró los siguientes aspectos:

- Caudal de captación.
- Caudal de eventos de crecida.



Universidad de Cuenca

- Configuración morfológica típica de los cauces en los sitios de emplazamiento.
- Funcionalidad de la obra y desempeño.
- Economía del proyecto.

El caudal de captación que se estableció para efectos de aumentar el volumen de agua a ser transportado por el canal Labrado-Tuñi, corresponde al análisis de los caudales medios mensuales que se han identificado a partir de la información que consta en el informe hidrológico correspondiente. En este sentido se optó por realizar un diseño de las captaciones tipo para caudales de hasta 77 l/s el cual es el caso de la quebrada Rondador. Cabe indicar adicionalmente que en el diseño se utilizaron criterios para permitir el flujo de caudales ecológicos.

El periodo de retorno considerado de los caudales de crecida es de 25 años. Para el estudio se consideró una tasa de transporte de sedimentos de 14 Kg/s (Evento de crecida, Noviembre quebrada Rondador)

La replicabilidad del diseño de captación tipo es la principal característica buscada. Para esto se realizó el levantamiento topográfico de los puntos de interés y así se pudo caracterizar de manera adecuada los aspectos de forma y condiciones presentes en los cauces.

La captación de flujo, el manejo de sedimentos y el flujo de acarreo en eventos de crecida son aspectos críticos en el desempeño hidráulico de la obra. Dada la alta pendiente que presentan los cauces de estudio, se determinó que una captación en el sector no podrá estar sujeta necesariamente a los criterios convencionales, por lo cual se concibió en términos de los conceptos teóricos establecidos para el diseño de rejillas de entrada y de captaciones con rejilla de fondo; que a su vez permita (sin obstáculos mayores) el flujo de un evento de acarreo para un caudal pico. De esta manera se optó por diseñar una reja transversal de encauzamiento hacia una galería de lecho que se comunica con el canal mediante una estructura de vertimiento.

La estructura de captación fue diseñada bajo los fundamentos teóricos del desarrollo de la ecuación dinámica de flujo espacialmente variado expresada de la siguiente manera en la ecuación (4.3) :



Universidad de Cuenca

$$\frac{dx}{dy} = \frac{2 cK \sqrt{E(E-Y)}}{3y - 2E}$$

(4.3)

En donde E es la carga de entrada (cm).

De la cual se deduce la ecuación (4.4) que nos da el perfil de flujo para la derivación de caudal:

$$x = \frac{1}{cK} \left(y^1 \sqrt{1 - \frac{y^1}{E}} - y \sqrt{1 - \frac{y}{E}} \right)$$

(4.4)

Donde c es un coeficiente que totaliza pérdidas y K es un coeficiente que considera obstrucciones adicionales de la reja.

En el diseño de la reja de entrada se estipuló tomar en cuenta las pérdidas por conversión ($h_{\Delta v}$) y las pérdidas debido al paso de flujo a través de la reja (h_R).

$$Zl = h_g + h_{\Delta v} \#$$

(4.5)

Expresión en la cual Zl representa las pérdidas totales proyectadas.

Las pérdidas de conversión fueron obtenidas de acuerdo a la ecuación (4.6).

$$h_{\Delta v} = \frac{(1 + Ce)\Delta V^2}{2g}$$

(4.6)

Si bien los caudales medios que fueron estipulados en el análisis hidrológico estiman un caudal máximo de 77 l/s, para uniformizar el diseño se tomó un caudal de 100 l/s, así se garantiza el desempeño de la captación tipo y se prevé el taponamiento por gravas que el cauce presenta.

Sobre la base de la información topográfica que fue levantada para los cauces representativos y en términos de la formulación teórica antes expuesta, se procedió al dimensionamiento de la captación proponiéndose los siguientes criterios:



Rejilla de Fondo

Para la rejilla de fondo consideró un espaciamento de 5 cm entre barrotes (este espaciamento está limitado por el ancho disponible de los cauces en estudio); espesor de los barrotes de 2 cm.

Para el cálculo de la longitud de la rejilla de fondo se hizo lo siguiente:

- Se analizó el ancho de la reja de entrada para longitudes de corte de varilla de 30 y 40 cm estos se presenta en la Tabla 4-7:

Tabla 4-7 Cálculo de la Longitud de la Rejilla de Fondo

L total	Proyección H	L r neta	b (m)	#barrotes	b bruto (m)
0,4	0,4	0,3	1,28	19	1,66
0,3	0,3	0,2	2,34	35	3,04

- El ancho b bruto es la suma del ancho neto b más el número de barrotes por su espesor y el espacio entre barrotes.
- El ancho disponible de los cauces limitó el ancho de la rejilla.
- Debido a las condiciones torrenciales que presenta el cauce, y para que la intervención en el mismo sea la mínima se vio necesario disponer de una longitud neta de 20 cm.
- Con la longitud neta de 20 cm el ancho b bruto calculado es de 3,04 m. La rejilla se ubica en la losa superior o de protección. Dicha losa se apoya sobre un tabique central cuyo espesor es de 20 cm, el tabique es continuo hasta el inicio del vertedero.

Retención y Lavado de Sedimento



Universidad de Cuenca

Para el manejo de sedimento fino que acarrea el cauce se dispone de una estructura que dirige el flujo hacia una recámara de captura en la margen derecha del canal que se conecta con un vertedero y una compuerta de lavado hacia la plataforma de evacuación sobre el novel de operación del canal. La plataforma es una loseta de 20 cm de espesor. El agua ingresará al canal mediante un vertedero de 30 cm de altura, cuyo cálculo se presenta a continuación. La carga de agua sobre el vertedero considerada es de 10 cm.

$$Q = 2 * b * 0,1^{1,5}$$

(4.7)

Donde Q es el caudal de la quebrada 77 l/s (caudal máximo medio de las quebradas) y b es el ancho del vertedero. De la ecuación escrita se obtiene que b mínimo del vertedero tipo es 1,2 m. Físicamente se dispone de este espacio, por lo tanto los vertederos a construir no tendrán limitaciones físicas para su construcción según el diseño.

La compuerta que controla el lavado de sedimentos y paso de caudal ecológico se calculó mediante la ecuación (4.8). Se debe indicar que la altura de la compuerta debe ser como mínimo la altura del vertedero antes obtenida (30 cm). Con estos datos se calculó el ancho de la misma:

$$Q = \frac{0,9 * 0,6 * b * 0,2}{\sqrt{2g * 0,25}}$$

(4.8)

El ancho mínimo de la compuerta obtenido es de 32 cm. Para facilidad de construcción y normalizar las compuertas en las 4 quebradas de estudio se optó compuertas de 30 cm de altura por 35 cm de ancho.

Tapas de mantenimiento y operación de compuertas

Para la apertura de la compuerta y su mantenimiento se deben colocar dos tapas de hormigón de 80x80 cm, las mismas nos permiten operar la compuerta así también limpiar la sección donde se encuentra el vertedero. Dichas tapas van colocadas en la losa superior en la sección central.

En el Anexo B se encuentran los detalles de la captación tipo emplazado en la quebrada Rondador, sus elementos, cortes, cantidad de hierro y. En este



Universidad de Cuenca

anexo se encuentra también el presupuesto referencial para la construcción e instalación de la misma.

4.4. Análisis de escenarios para el modelo matemático HEC – RAS implementado.

Simulación y análisis de escenarios de flujo para el canal

La implementación del modelo se llevó a cabo bajo las siguientes condiciones de contorno:

- **Flujo:** Permanente y mixto a fin de considerar regímenes subcríticos, supercríticos y saltos hidráulicos posibles en el tramo de estudio.
- **Caudal:** Los caudales con los que simuló el flujo son los obtenidos en los aforos es decir 1,488 m³/s y 1,835 m³/s; estos caudales son los límites del rango de caudales usualmente despachados desde El Labrado (fuente: ELECAUSTRO). Además se consideró caudales de ingreso en las quebradas tomados el día miércoles 8 de agosto, esto se especifica en la Tabla 4-8 y sus fotografías se encuentran en el Anexo B. Los caudales de ingreso dentro del modelo pueden ser modificados según la época del año.

Tabla 4-8 Caudales de ingreso al canal

Caudales de ingreso al canal		
Abscisa	Nombre	Caudal (l/s)
0+630	S/N	2
1+480	Quebrada Rondador	8
2+068	Quebrada Cerro Negro	6
2+260	S/N	2.5
2+293	S/N	0.6
2+638	S/N	0.5
2+903	Quebrada Cuchihuaico	2



Universidad de Cuenca

3+132	S/N	2
3+520	Quebrada Labrado 3	10
4+206	Quebrada Ranahuaico	3
4+507	S/N	0.5
4+572	S/N	2
4+763	S/N	0.3
6+289	S/N	3
7+429	S/N	0.3
Total		42.7

- **Pendiente del canal:** Ingresando las cotas de cada una de las abscisas del fondo del canal el programa calcula automáticamente su pendiente cabe recalcar que la misma no es uniforme. La libreta de nivelación y alturas del eje del canal se encuentran en el Anexo B.
- **n de Manning:** Luego de analizar los aforos para medición de caudal y la caracterización de las secciones del canal se asignó valores de n a cada uno de los tipos de sección basándonos siempre en los obtenidos, estos valores se comprobaron cuando al hacer simulaciones del modelo con los caudales aforados las alturas en el modelo coincidieron con las medidas en campo. En la Tabla 4-9 se detallan los valores de n de Manning según el tipo de sección del canal.

Tabla 4-9 Valores de n de Manning por tipo de sección del canal

Tipo de Sección	n Manning
1A	0.0175
1B	0.0173
2	0.0229
3A	0.0230
3B	0.0235

En el Anexo B se encuentran detalladas todas las secciones transversales del canal con su respectivo valor de n de Manning.



- **Estructuras en el canal:** El detalle de las estructuras presentes en el canal como vertederos y compuertas se encuentra en la Tabla 4-10, y sus fotografías en el Anexo B.

Tabla 4-10 Estructuras presentes en el canal

Abscisa	Estructura	Ancho (m)
1+388	Vertedero de excesos	9.30
2+055	Compuerta	1.00
3+077	Compuerta	1.00
3+508	Vertedero de excesos	5.60
3+513	Compuerta	1.00
5+354	Compuerta	0.90
6+264	Vertedero de excesos	9.20
6+273	Compuerta	1.00

4.4.1. Escenario 1 Flujo Libre en el Canal

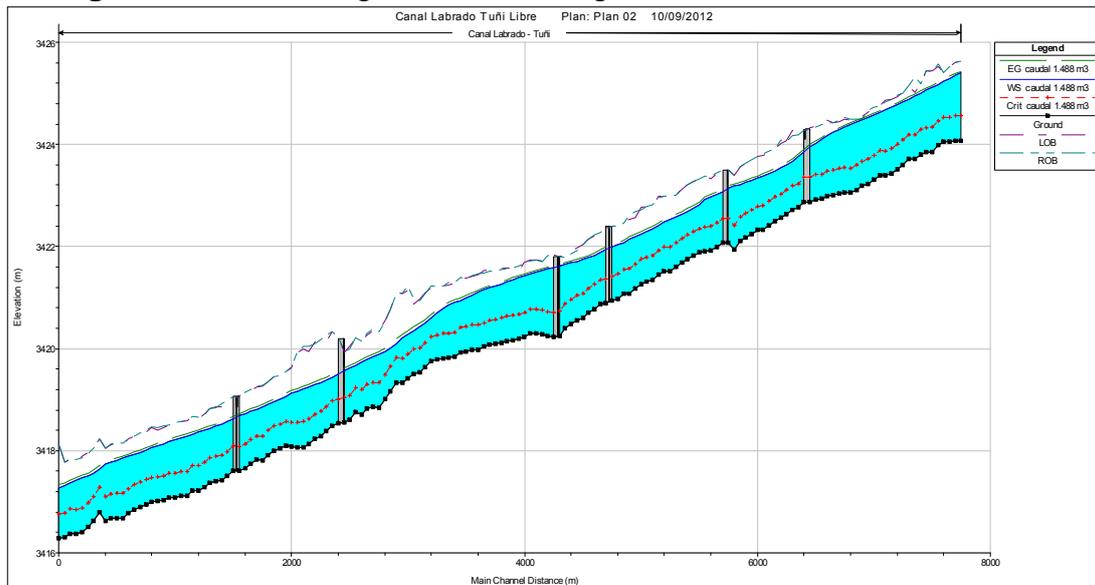
En este escenario se muestran los resultados del modelo en flujo libre, incluyendo todas las condiciones actuales del canal como son el alto de las paredes, anchos variables a lo largo del mismo, estructuras laterales existentes, ingreso de caudales en diferentes abscisas, y con rugosidades asumidas según la caracterización de las secciones, con caudales de 1.488 m³/s y 1.835 m³/s.

Escenario 1 con Caudal de 1.488 m³/s



Universidad de Cuenca

Figura 4-7 Perfil Longitudinal a lo Largo del Canal, Caudal 1.488 m³/s



En la Escenario 1 con Caudal de 1.488 m³/s

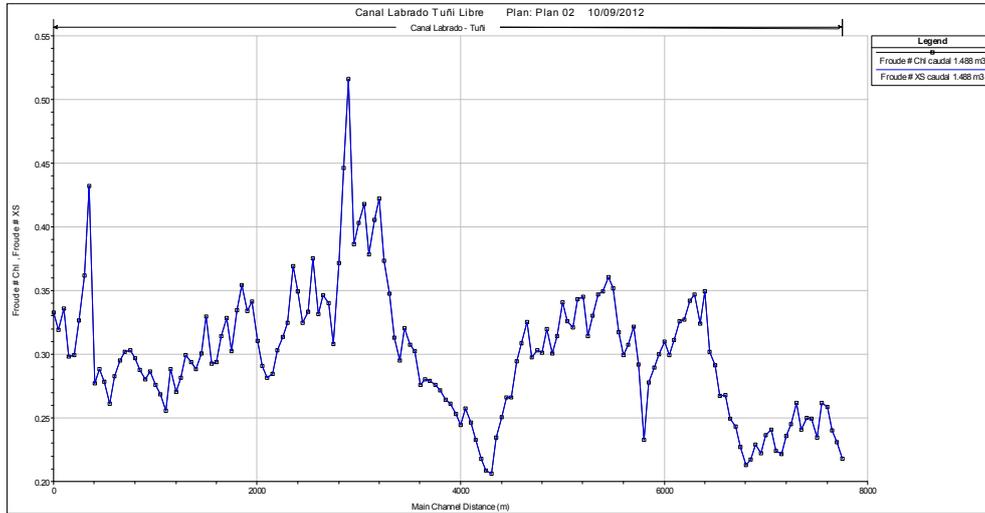
Figura 4-7 se observa el perfil longitudinal del canal a lo largo de su recorrido con todas las estructuras presentes en el mismo, aquí se corrobora el régimen de flujo subcrítico. En la Figura 4-8 se muestran las gráficas de los parámetros de flujo N° de Froude, velocidad y calados de agua a lo largo del perfil longitudinal del canal, el punto cero en el eje de las abscisas corresponde al final del canal (cota más baja, reservorio Tuñi).



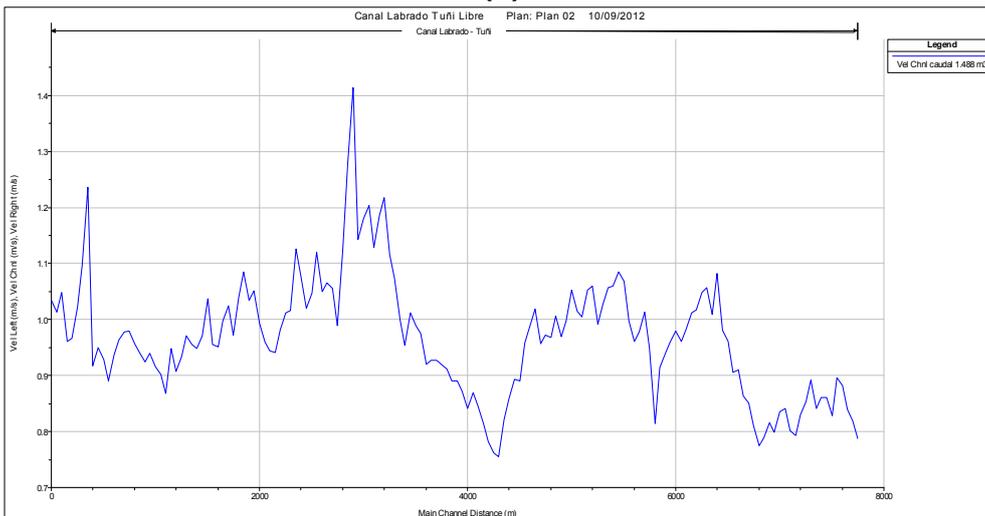
Universidad de Cuenca

Figura 4-8 Parámetros de Flujo a lo Largo del Canal (a) N° de Froude (b) Velocidad (c) Calado, Caudal 1.488 m³/s

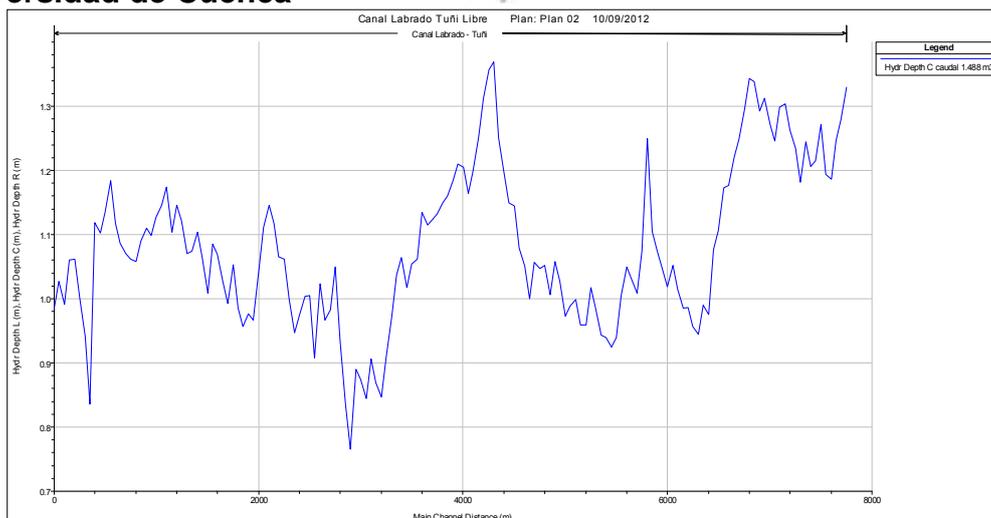
(a)



(b)



(c)



En la Tabla 4-11 se indican los valores correspondientes a los parámetros de número de Froude, velocidad, y calados de agua máximos, mínimos y medios obtenidos a lo largo del perfil longitudinal del canal Labrado – Tuñi.

Tabla 4-11 Parámetros Hidráulicos para un Caudal de 1.488 m³/s. N° de Froude, Velocidad y Calado

Caudal (m ³ /s)	N° de Froude			Velocidades (m/s)			Calados (m)		
	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.
1.488	0.5161	0.2059	0.3002	1.4142	0.7548	0.9669	1.3695	0.765	1.0805

En un estudio previamente realizado por el PROMAS (Carrillo & Pacheco, 2012), en donde se realizó el modelo matemático HEC – RAS del canal se obtuvieron los valores correspondientes a los parámetros de Froude, velocidad, y calados de agua, máximos, mínimos y medios; estos resultados se encuentran en la Tabla 4-12. Cabe indicar que este modelo se realizó con valores constantes tanto de pendiente como de ancho del canal y coeficiente de rugosidad de Manning, es por esto que los resultados obtenidos difieren a los del presente estudio.

Tabla 4-12 Parámetros Hidráulicos para un Caudal de 1.5 m³/s. N° de Froude, Velocidad y Calado

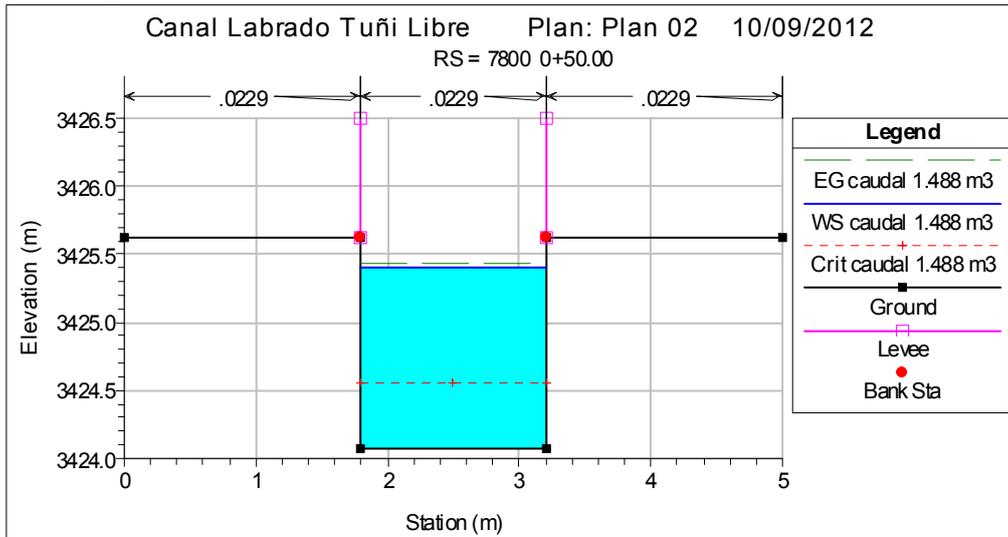
Caudal	N° de Froude			Velocidades (m/s)			Calados (m)		
	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.
1.5									



(m ³ /s)									
1.5	0.55	0.30	0.35	1.43	0.97	1.07	1.07	0.7	0.95

En la Figura 4-9 se indica la sección transversal para la abscisa 0+050 correspondiente a la estación 7800 que es la primera del canal, aquí ocurre el mayor calado de agua que como se puede observar en la Tabla 4-11, es de 1.3695 m.

Figura 4-9 Sección Transversal del Canal, Caudal 1.488 m³/s

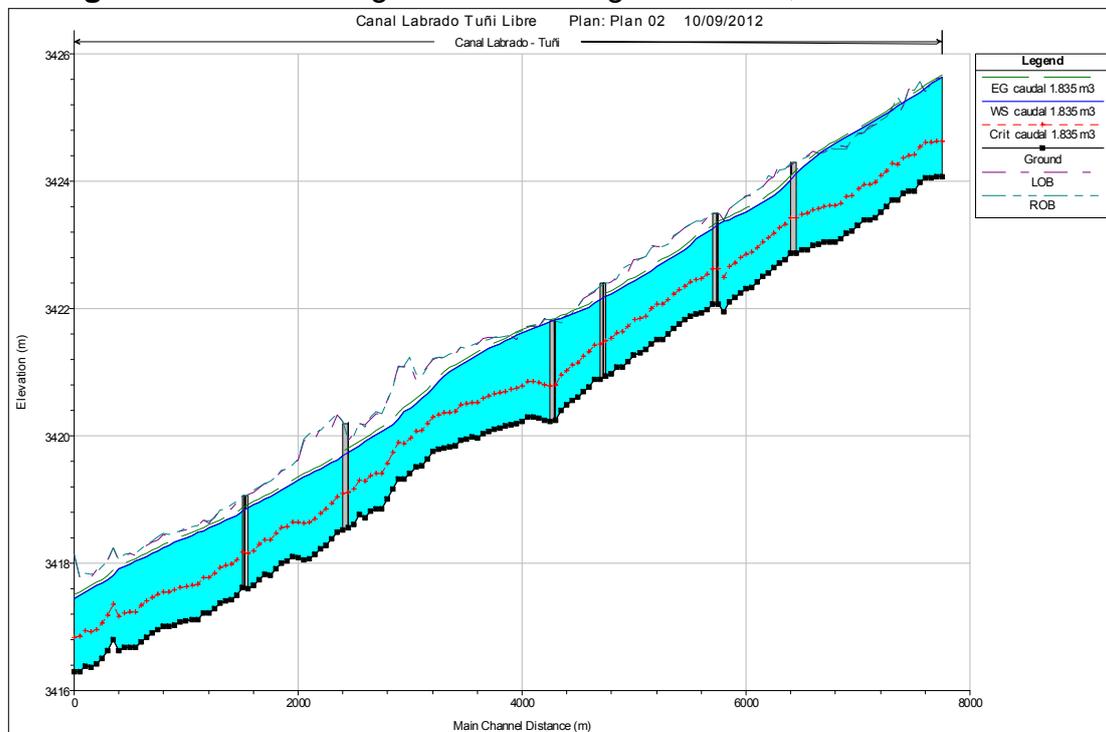


Con las condiciones geométricas planteadas y con los valores de rugosidad asumida para un caudal de 1.488 m³/s, se tiene un borde libre de seguridad de 22 cm, este valor puede variar en los diferentes tramos del canal debido a cambios de pendiente, aportes intermedios de caudales, curvatura del canal, irregularidades en el fondo y paredes del mismo.



Escenario 1 con Caudal de 1.835 m³/s

Figura 4-10 Perfil Longitudinal a lo Largo del Canal, Caudal 1.835 m³/s

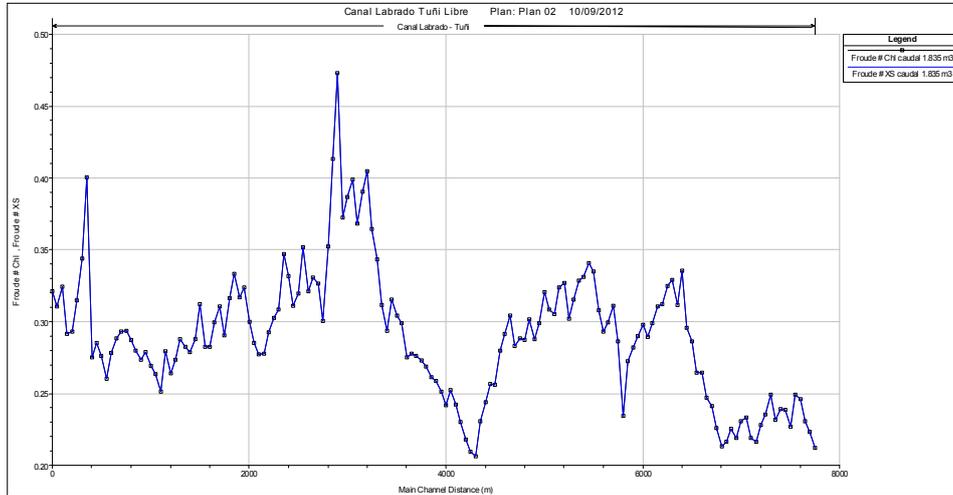


En la Figura 4-10 se observa el perfil longitudinal del canal a lo largo de su recorrido con todas las estructuras presentes en el mismo, aquí se corrobora el régimen de flujo subcrítico. En la Figura 4-11 se muestran las gráficas de los parámetros de flujo N° de Froude, velocidad y calados de agua a lo largo del perfil longitudinal del canal, el punto cero en el eje de las abscisas corresponde al final del canal (cota más baja, reservorio Tuñi).

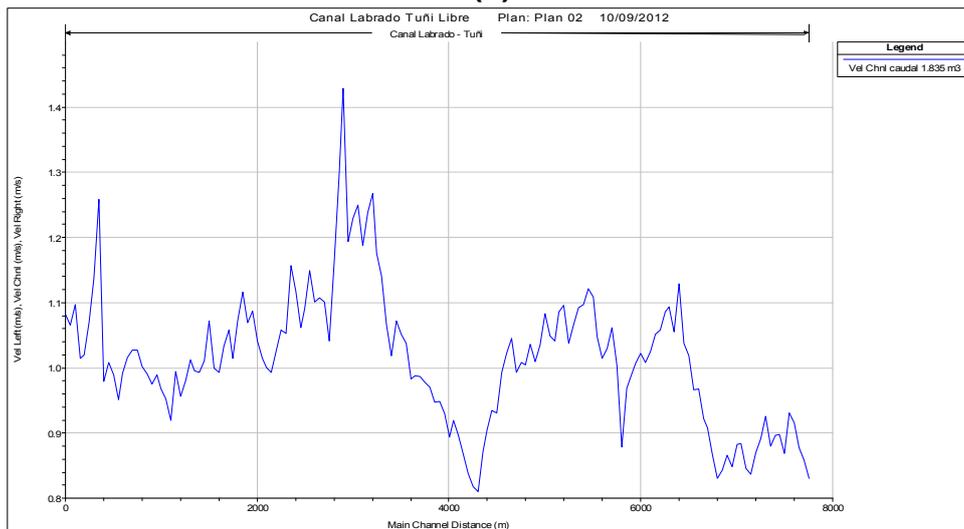


Figura 4-11 Parámetros de Flujo a lo Largo del Canal (a) N° de Froude (b) Velocidad (c) Calado, Caudal 1.835 m³/s

(a)

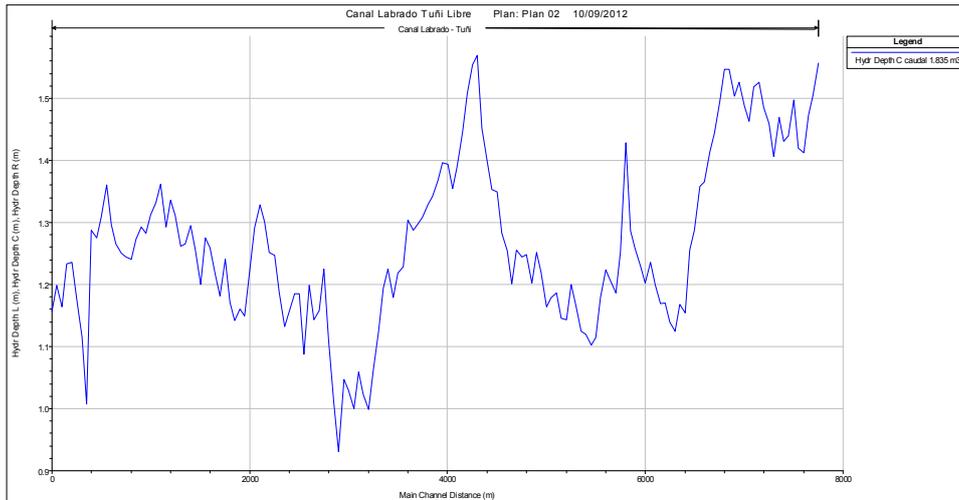


(b)





(c)



En la Tabla 4-13 se indican los valores correspondientes a los parámetros de número de Froude, velocidad, y calados de agua máximos, mínimos y medios obtenidos a lo largo del perfil longitudinal del canal Labrado – Tuñi.

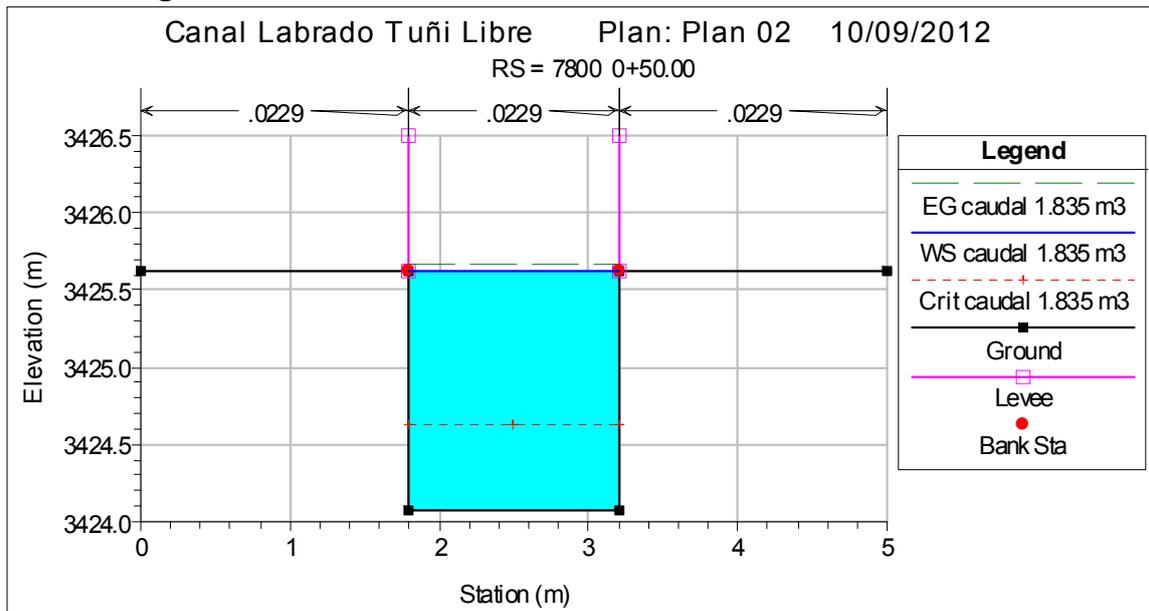
Tabla 4-13 Parámetros Hidráulicos para un Caudal de 1,835 m³/s N° de Froude, Velocidad y Calado

Caudal (m ³ /s)	N° de Froude			Velocidades (m/s)			Calados (m)		
	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.
1.835	0.4728	0.2064	0.2898	1.4289	0.8101	1.0137	1.5692	0.9305	1.2678



Universidad de Cuenca

Figura 4-12 Sección Transversal del Canal, Caudal 1.835 m³/s



En la Figura 4-12 se indica la sección transversal para la abscisa 0+50,00 correspondiente a la estación 7800.

Con las condiciones geométricas planteadas y con los valores de rugosidad asumida para un caudal de 1.835 m³/s, existe desbordamiento de flujo mínimo desde la abscisa 0+200 hasta la abscisa 1+150, con bordes libres que van desde 2 cm en la abscisa 2+000 hasta 36 cm en la abscisa 4 + 750 por lo que se considera este caudal como caudal límite de conducción del canal. Caudales más grandes producirían desbordamiento en otras abscisas provocando pérdidas mayores y considerables, por lo que es necesario elevar las paredes para el transporte de mayor caudal en el canal.

4.4.2. Escenario 2 Simulación del flujo en el Canal con Obstrucciones y Análisis del Desempeño de los Vertederos Laterales

Se realizó la simulación de flujo en caso de que se presenten obstrucciones, con la finalidad de evaluar el desempeño de los vertederos laterales. Las condiciones que se utilizaron en esta simulación son las actuales, es decir no se considera ninguna modificación o mejora. Las abscisas y las longitudes de los vertederos existentes se indican en la Tabla 4-10.



Universidad de Cuenca

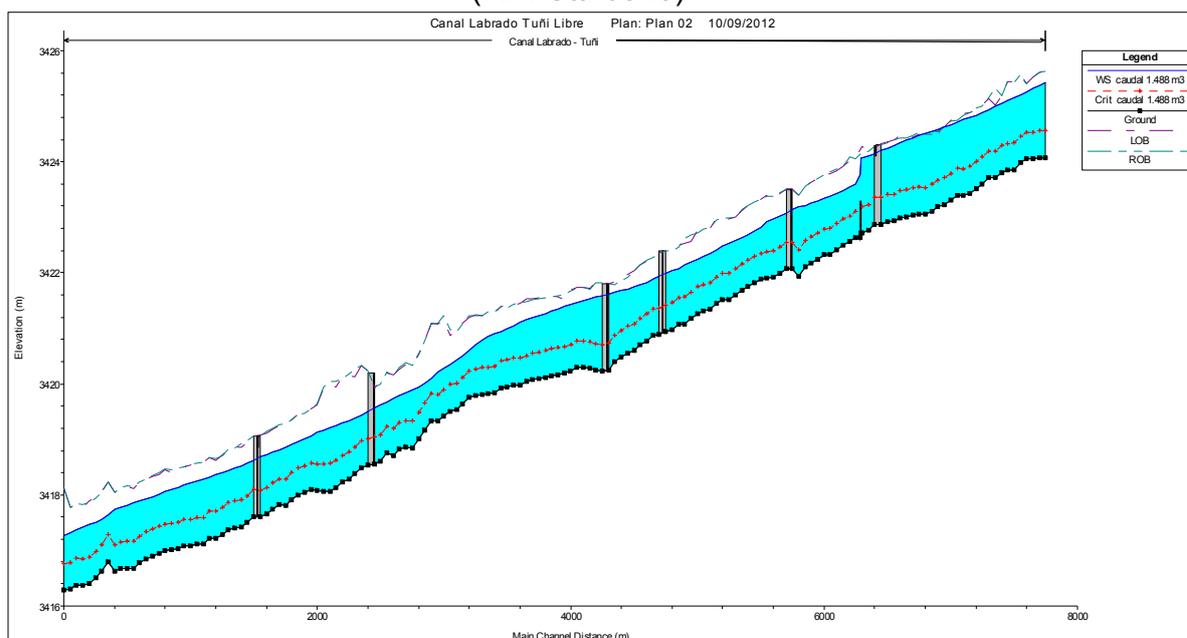
Se analizó el funcionamiento de los vertederos de excesos, para eventuales taponamientos de la sección del canal (reducción del 40% de la sección útil), para el caso de circulación de un caudal de 1.488 m³/s como para el caso del caudal límite de 1.835 m³/s.

Obstrucción Aguas Abajo del Vertedero 1

Caudal de 1.488 m³/s

En la Figura 4-13 se muestra el perfil longitudinal del canal con la obstrucción en la abscisa 1+510 (Riv. Sta 6340) es decir a 110 m del vertedero más cercano (Riv. Sta 6450).

Figura 4-13 Perfil Longitudinal del Canal con Obstrucción en la Abscisa 1+510 (Riv. Sta 6340)



Para las condiciones establecidas actuales, y para un caudal de 1.488 m³/s, con un taponamiento del 40 % de la sección útil del canal, ancho del vertedero de 9.30 m y con un ancho de obstrucción de 1.50 m podemos concluir que de suceder un taponamiento en una longitud mayor o igual a 110 m, la descarga sobre el vertedero será suficiente para que no se produzca desbordamiento a causa de este evento, si es que el deslizamiento ocurre a una distancia menor



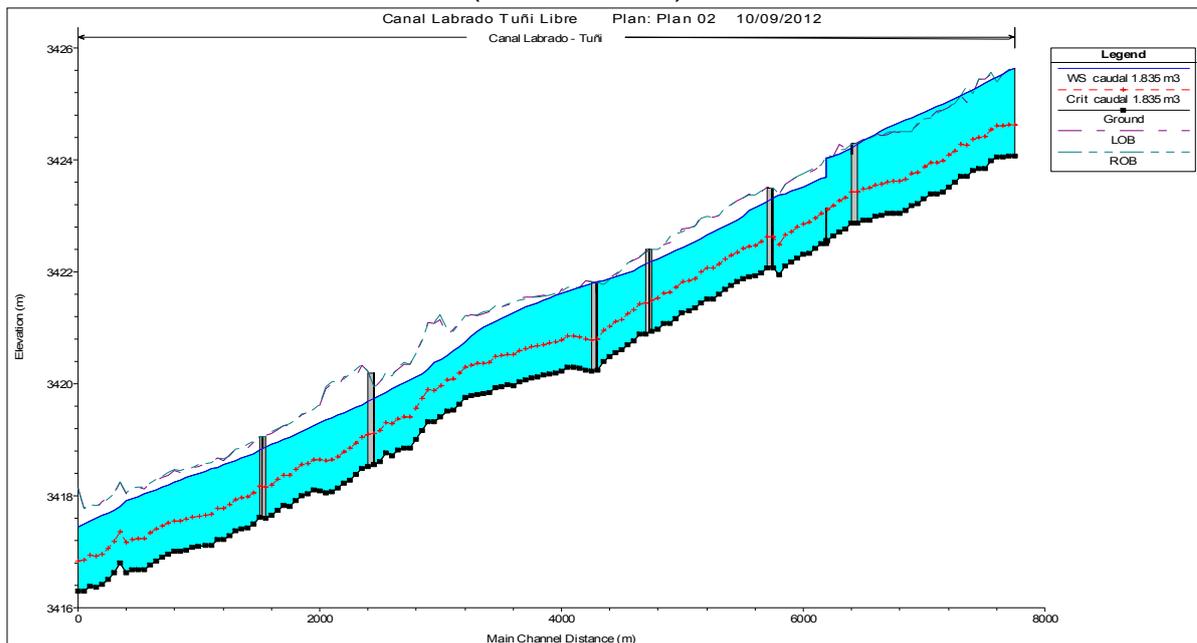
Universidad de Cuenca

a 110 m del vertedero de excesos o la obstrucción supera el 40% del área de la sección existirá desbordamiento de flujo en el canal.

Caudal de 1.835 m³/s

En la Figura 4-14 se muestra el perfil longitudinal del canal con la obstrucción en la abscisa 1+610 (Riv. Sta 6240) es decir a 210 m del vertedero más cercano (Riv. Sta 6450).

Figura 4-14 Perfil Longitudinal del Canal con Obstrucción en la Abscisa 1+610 (Riv. Sta 6240)



Para un caudal de 1.835 m³/s, con un taponamiento del 40 % de la sección útil del canal, ancho del vertedero de 9.30 m y con un ancho de obstrucción de 1.50 m podemos concluir que de suceder un taponamiento en una longitud mayor o igual a 210 m, la descarga sobre el vertedero será suficiente para que no se produzca desbordamiento a causa de este evento, si es que el deslizamiento ocurre a una distancia menor a 210 m del vertedero de excesos o la obstrucción supera el 40% del área de la sección existirá desbordamiento de flujo en el canal.

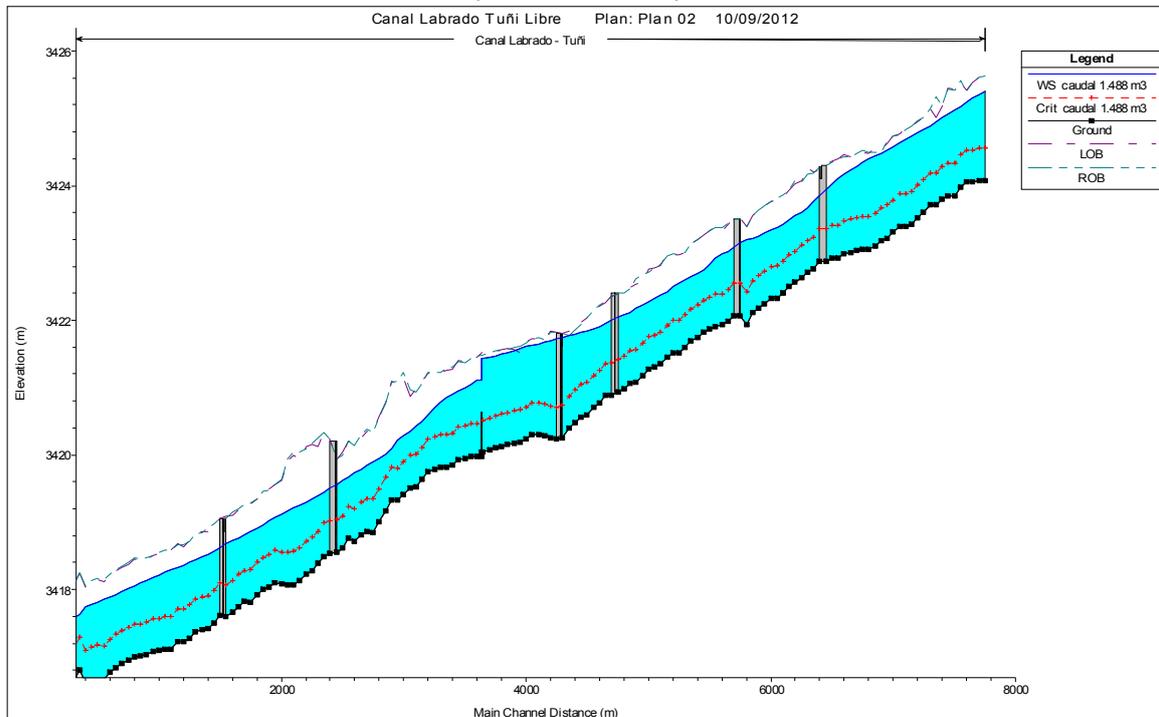


Obstrucción Aguas Abajo del Vertedero 2

Caudal 1.488 m³/s

En la Figura 4-15 se muestra el perfil longitudinal del canal con la obstrucción en la abscisa 4+140 (Riv. Sta 3690) es decir a 610 m del vertedero más cercano (Riv. Sta 4300).

Figura 4-15 Perfil Longitudinal del Canal con Obstrucción en la Abscisa 4+140 (Riv. Sta 3690)



Para las condiciones establecidas actuales y para un caudal de 1.488 m³/s, con un taponamiento del 40 % de la sección útil del canal, ancho del vertedero de 5.60 m y con un ancho de obstrucción de 1.50 m podemos concluir que de



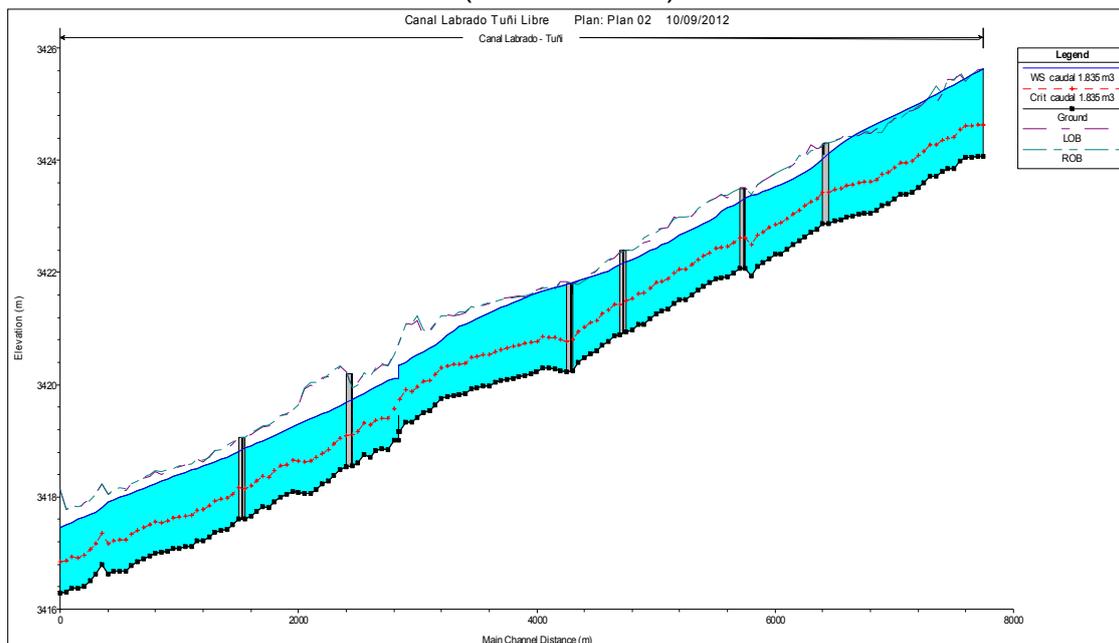
Universidad de Cuenca

sucedier un taponamiento en una longitud mayor o igual a 610 m, la descarga sobre el vertedero será suficiente para que no se produzca desbordamiento a causa de este evento, si es que el deslizamiento ocurre a una distancia menor a 610 m del vertedero de excesos o la obstrucci3n supera el 40% del área de la secci3n no existirá desbordamiento de flujo en el canal.

Caudal 1.835 m³/s

En la Figura 4-16 se muestra el perfil longitudinal del canal con una obstrucci3n del 30% de la secci3n útil en la abscisa 5+040 (Riv. Sta 2840) es decir a 1460 m del vertedero más cercano (Riv. Sta 4300).

Figura 4-16 Perfil Longitudinal del Canal con Obstrucci3n en la Abscisa 5+040 (Riv. Sta 2840)



Para un caudal de 1.835 m³/s, con un taponamiento del 40 % de la secci3n útil del canal, ancho del vertedero de 5.60 m y con un ancho de obstrucci3n de 1.50 m podemos concluir que de suceder un taponamiento entre el vertedero 2 y vertedero 3 existirá desbordamiento de flujo, la descarga sobre el vertedero



Universidad de Cuenca

no será suficiente para que no se produzca desbordamiento a causa de este evento. A causa de este efecto se realizó la simulación con una obstrucción del 30% de la sección útil.

Para el mismo caudal de $1.835 \text{ m}^3/\text{s}$, con un taponamiento del 30% de la sección útil del canal, ancho del vertedero de 5.60 m y con un ancho de obstrucción de 1.50 m podemos concluir que de suceder un taponamiento en una longitud mayor o igual a 1460 m, la descarga sobre el vertedero será suficiente para que no se produzca desbordamiento a causa de este evento, si es que el deslizamiento ocurre a una distancia menor a 1460 m del vertedero de excesos o la obstrucción supera el 30% del área de la sección existirá desbordamiento de flujo en el canal.

Obstrucción Aguas Abajo del Vertedero 3

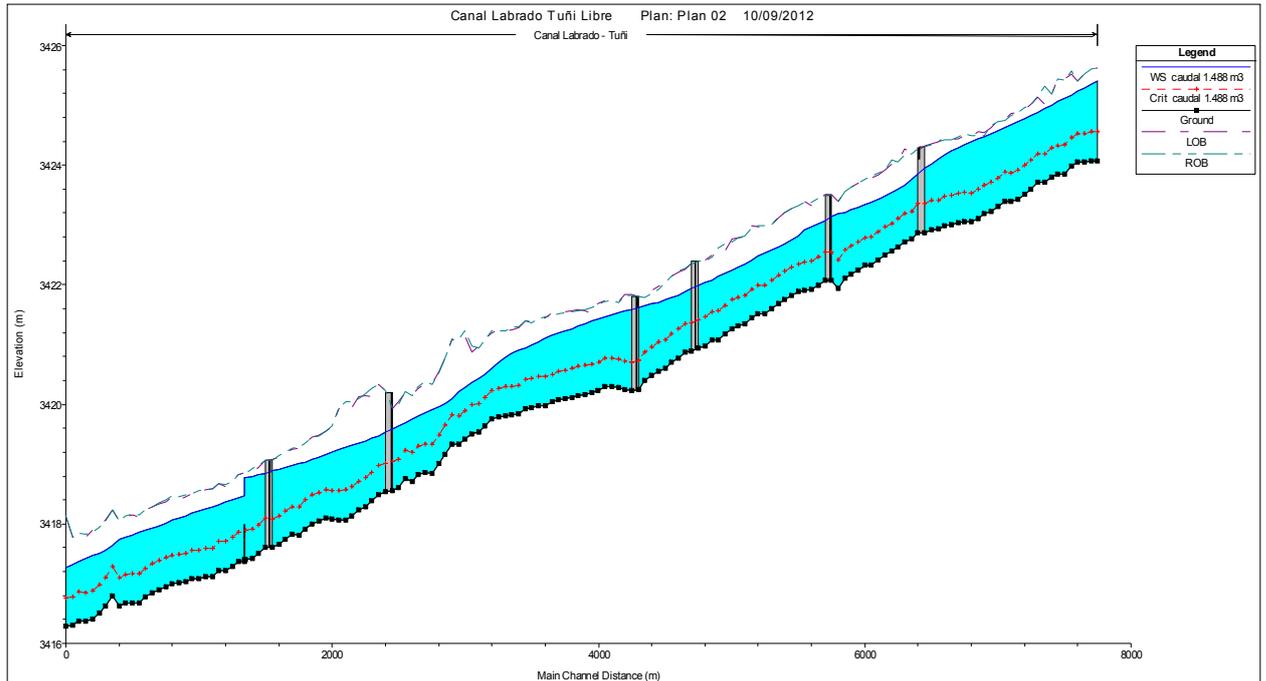
Caudal 1.488 m³/s

En la Figura 4-17 se muestra el perfil longitudinal del canal con la obstrucción en la abscisa 6+460 (Riv. Sta 1390) es decir a 160 m del vertedero más cercano (Riv. Sta 1550).



Universidad de Cuenca

Figura 4-17 Perfil Longitudinal del Canal con Obstrucción en la Abscisa 6+460
(Riv. Sta 1390)



Para las condiciones establecidas actuales y para un caudal de $1.488 \text{ m}^3/\text{s}$, con un taponamiento del 40 % de la sección útil del canal, ancho del vertedero de 9.20 m y con un ancho de obstrucción de 1.50 m podemos concluir que de suceder un taponamiento en una longitud mayor o igual a 160 m, la descarga sobre el vertedero será suficiente para que no se produzca desbordamiento a causa de este evento, si es que el deslizamiento ocurre a una distancia menor a 160 m del vertedero de excesos o la obstrucción supera el 40% del área de la sección existirá desbordamiento de flujo en el canal.

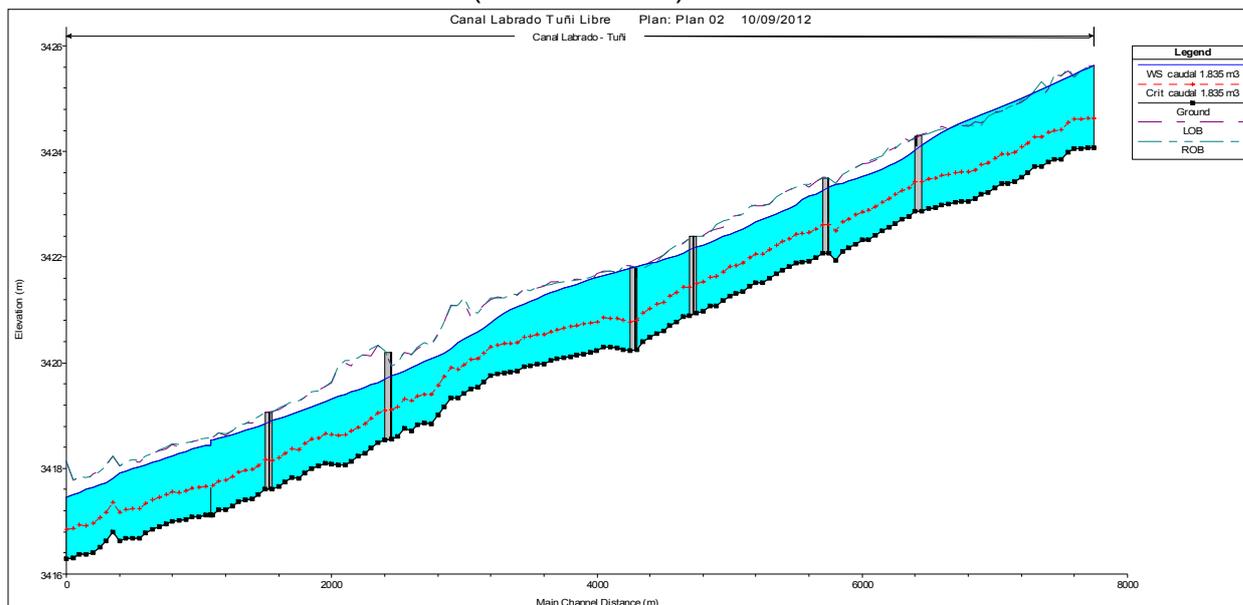
Caudal 1.835 m³/s



Universidad de Cuenca

En la Figura 4-18 se muestra el perfil longitudinal del canal con la obstrucción en la abscisa 6+710 (Riv. Sta 1140) es decir a 410 m del vertedero más cercano (Riv. Sta 1550).

Figura 4-18 Perfil Longitudinal del Canal con Obstrucción en la Abscisa 6+710 (Riv. Sta 1140)



Para un caudal de $1,835 \text{ m}^3/\text{s}$, con un taponamiento del 40 % de la sección útil del canal, ancho del vertedero de 9.20 m y con un ancho de obstrucción de 1.50 m podemos concluir que de suceder un taponamiento en una longitud mayor o igual a 410 m, la descarga sobre el vertedero será suficiente para que no se produzca desbordamiento a causa de este evento, si es que el deslizamiento ocurre a una distancia menor a 410 m del vertedero de excesos o la obstrucción supera el 40% del área de la sección existirá desbordamiento de flujo en el canal.

4.4.3. Escenario 3 Simulación de flujo con el emplazamiento de estaciones de aforo y ampliación de la capacidad de conducción del canal

En este escenario se ha efectuado la simulación con el modelo a fin de contemplar los efectos de remanso que produce el proceso de aforo. Se ha previsto para el canal el emplazamiento de cuatro estaciones para monitoreo y



Universidad de Cuenca

medición de caudal que consisten en aforadores de flujo abierto. La simulación se ha realizado de manera integrada para el efecto simultáneo con aforadores emplazados al inicio, al final y en los tercios medios del canal.

A continuación en la Tabla 4-14 se indican las abscisas y “River Station” de los puntos en donde se colocaría las estructuras de aforo.

Tabla 4-14 Abscisas de Estaciones de Aforo

Aforador	Abscisa	River Station
1	0+150	7700
2	2+700	5150
3	5+250	2600
4	7+650	200

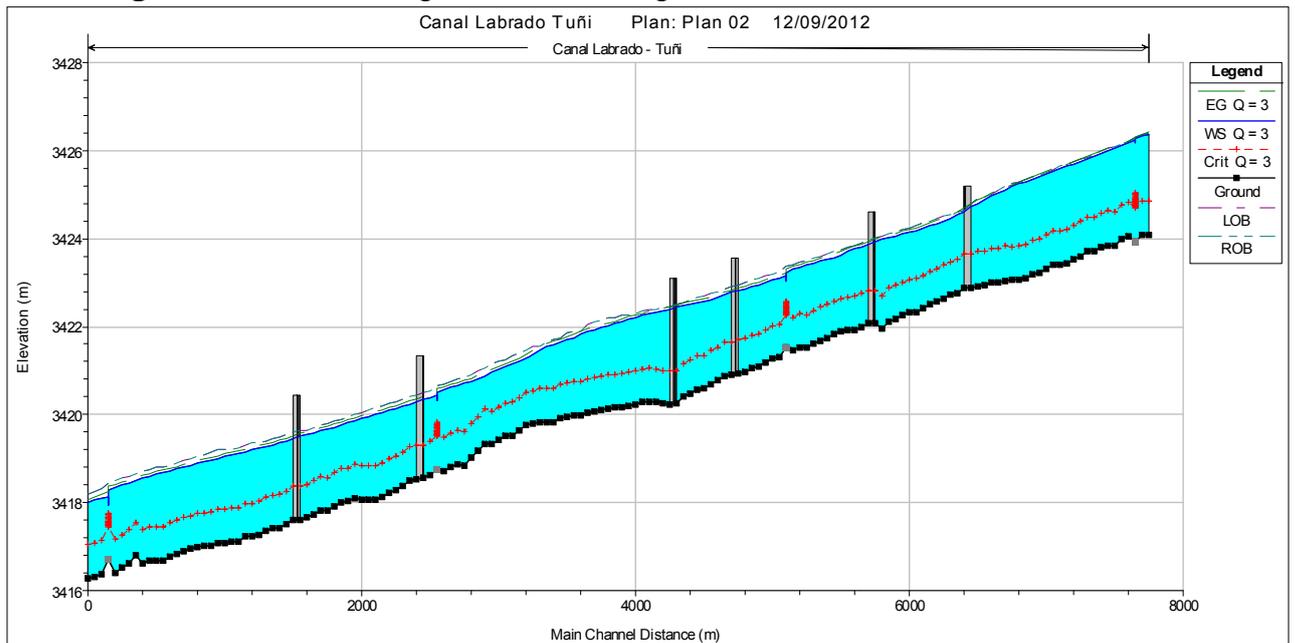
La Figura 4-19 muestra el perfil longitudinal a lo largo del canal en el cual se han colocado estructuras de aforo (abscisas indicadas), se observan también los vertederos laterales y compuertas que, para caudales de $3\text{m}^3/\text{s}$ y menores, y en condiciones normales de flujo no vierten ningún caudal.

Escenario 3 con Caudal de $3\text{ m}^3/\text{s}$



Universidad de Cuenca

Figura 4-19 Perfil Longitudinal a lo Largo del Canal, Caudal $3 \text{ m}^3/\text{s}$

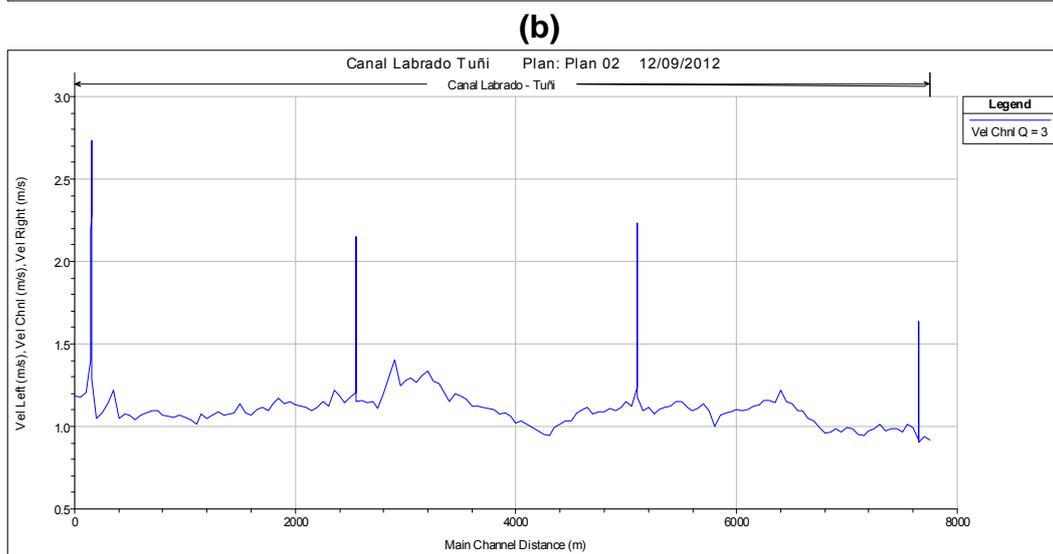
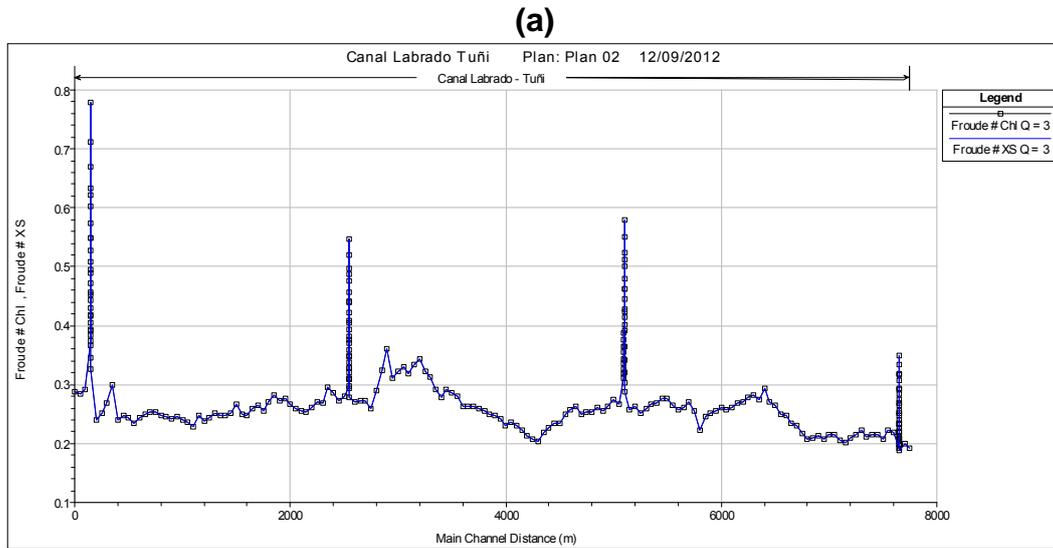


En la Figura 4-19 se observa el perfil longitudinal del canal a lo largo de su recorrido con todas las estructuras presentes en el mismo, aquí se corrobora el régimen de flujo subcrítico. En la Figura 4-20 se muestran las gráficas de los parámetros de flujo N° de Froude, velocidad y calados de agua a lo largo del perfil longitudinal del canal, el punto cero en el eje de las abscisas corresponde al final del canal (cota más baja, reservorio Tuñi).

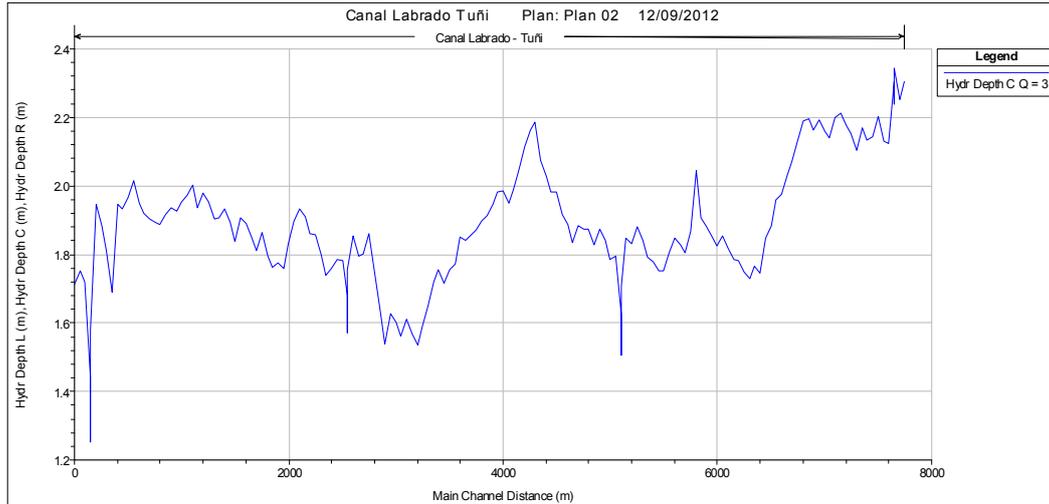


Universidad de Cuenca

Figura 4-20 Parámetros de Flujo a lo Largo del Canal (a) N° de Froude (b) Velocidad (c) Calado, Caudal 3 m³/s



(c)



En la Tabla 4-15 se indican los valores correspondientes a los parámetros de número de Froude, velocidad, y calados de agua máximos, mínimos y medios obtenidos a lo largo del perfil longitudinal del canal Labrado – Tuñi.

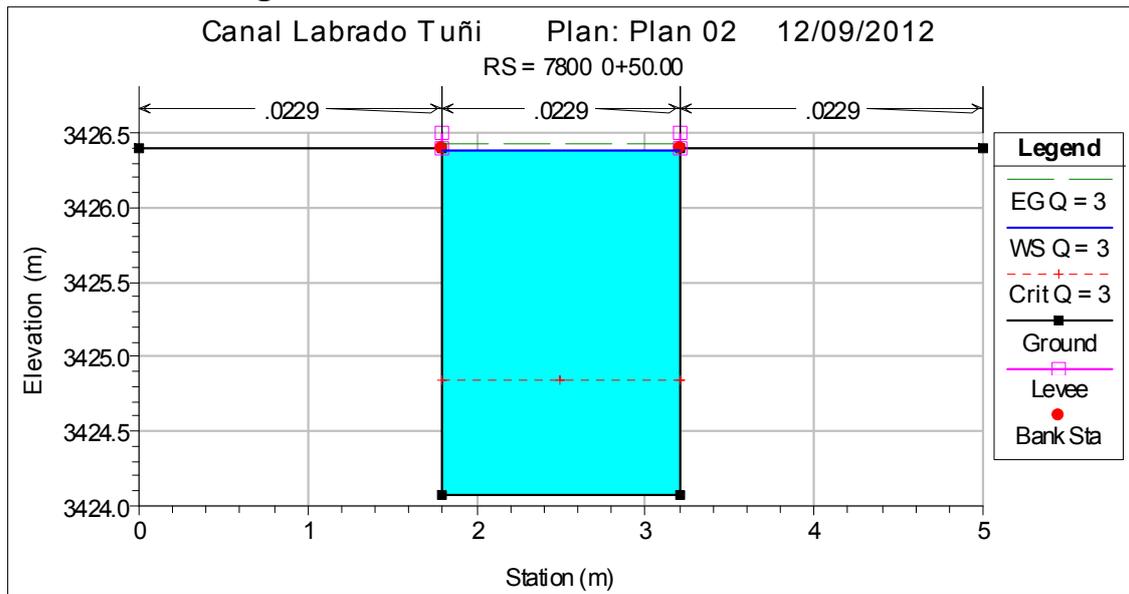
Tabla 4-15 Parámetros Hidráulicos para un Caudal de 3 m³/s. N° de Froude, Velocidad y Calado

Caudal (m ³ /s)	N° de Froude			Velocidades (m/s)			Calados (m)		
	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.
3	0.7799	0.1881	0.3099	2.73	0.9	1.2863	2.34	1.25	1.8306



Universidad de Cuenca

Figura 4-21 Sección Transversal, Caudal 3 m³/s



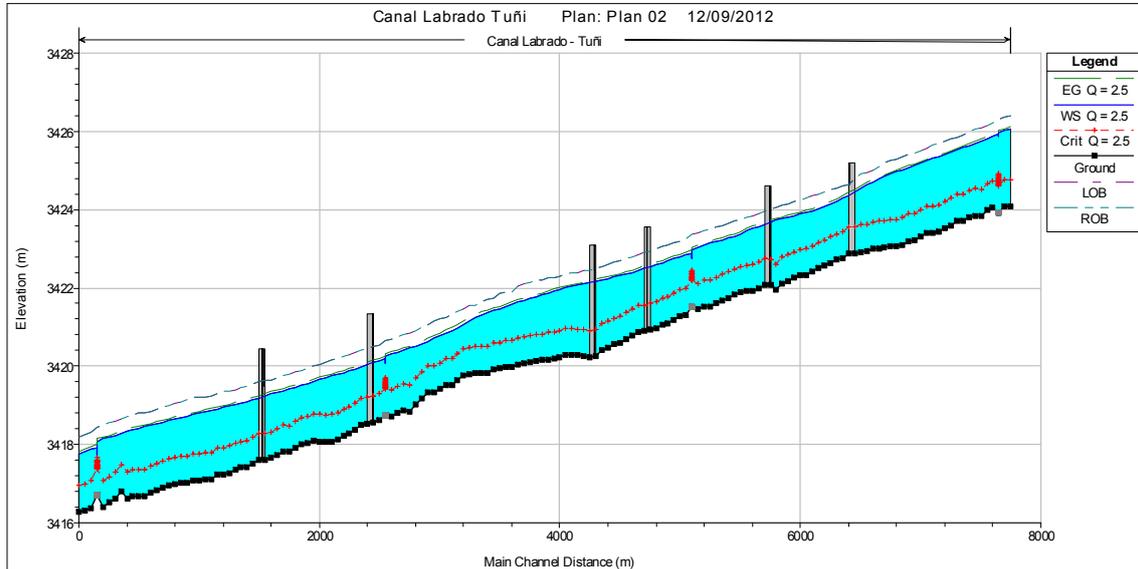
En la Figura 4-21 se indica la sección transversal para la abscisa 0+050 correspondiente a la estación 7800.

Con las condiciones geométricas planteadas y con los valores de rugosidad asumida para un caudal de 3 m³/s no existirá desbordamiento de agua si se elevan las paredes como se especifica en la Tabla 4-20. En los 1350 primeros metros se observa un borde libre de 5 cm, y hasta el final del canal un borde libre de aproximadamente 12 cm.



Escenario 3 con Caudal de 2.5 m³/s

Figura 4-22 Perfil Longitudinal a lo Largo del Canal, Caudal 2.5 m³/s



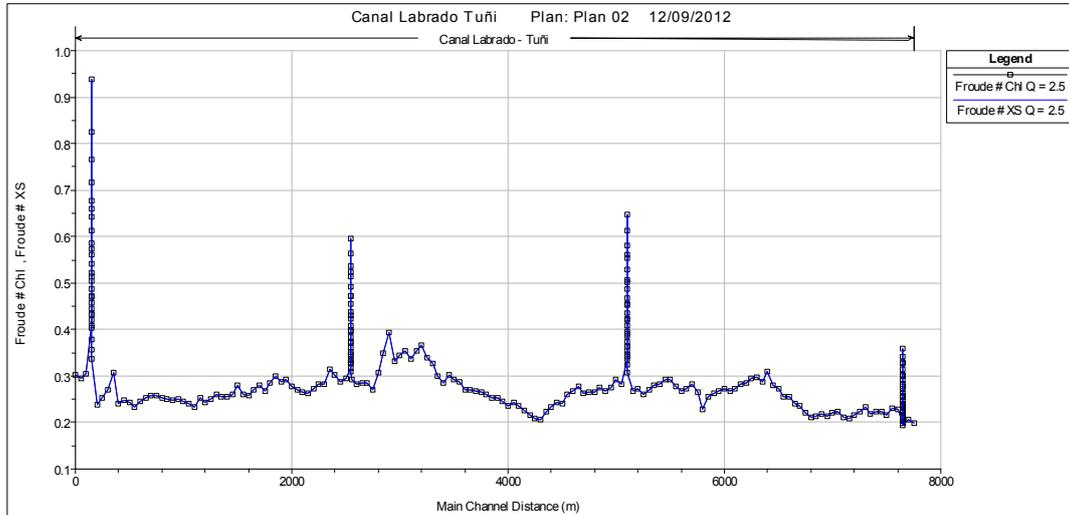
La Figura 4-22 se observa el perfil longitudinal del canal a lo largo de su recorrido con todas las estructuras presentes en el mismo, aquí se corrobora el régimen de flujo subcrítico. En la Figura 4-23 se muestran las gráficas de los parámetros de flujo N° de Froude, velocidad y calados de agua a lo largo del perfil longitudinal del canal, el punto cero en el eje de las abscisas corresponde al final del canal (cota más baja, reservorio Tuñi).



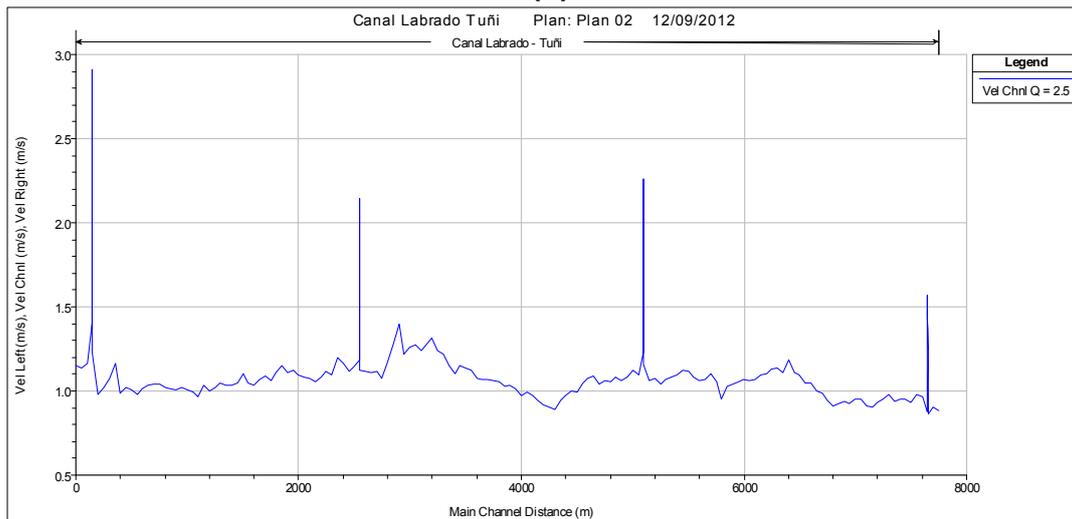
Universidad de Cuenca

Figura 4-23 Parámetros de Flujo a lo Largo del Canal (a) N° de Froude (b) Velocidad (c) Calado, Caudal 2,5 m³/s

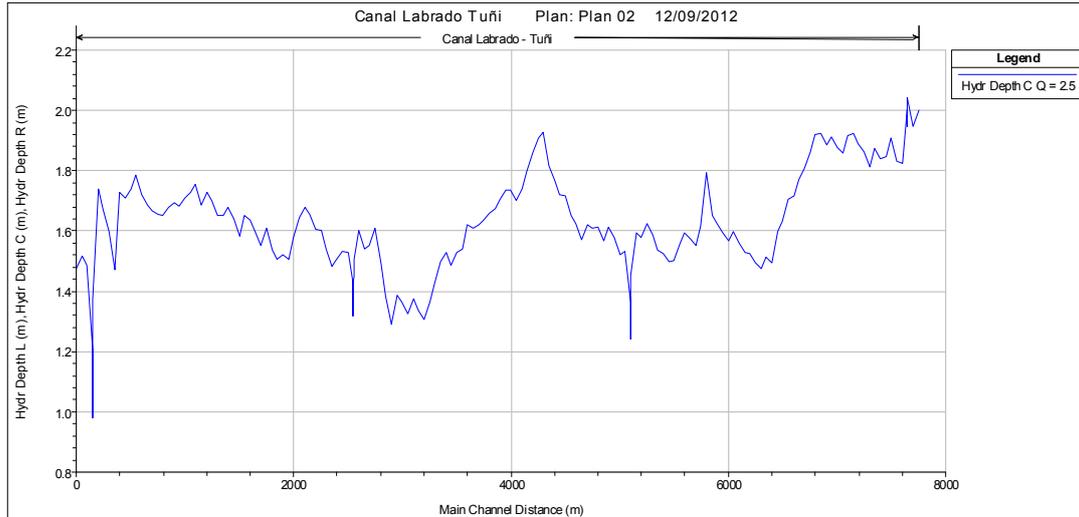
(a)



(b)



(c)



En la Tabla 4-16 se indican los valores correspondientes a los parámetros de número de Froude, velocidad, y calados de agua máximos, mínimos y medios obtenidos a lo largo del perfil longitudinal del canal Labrado – Tuñi.

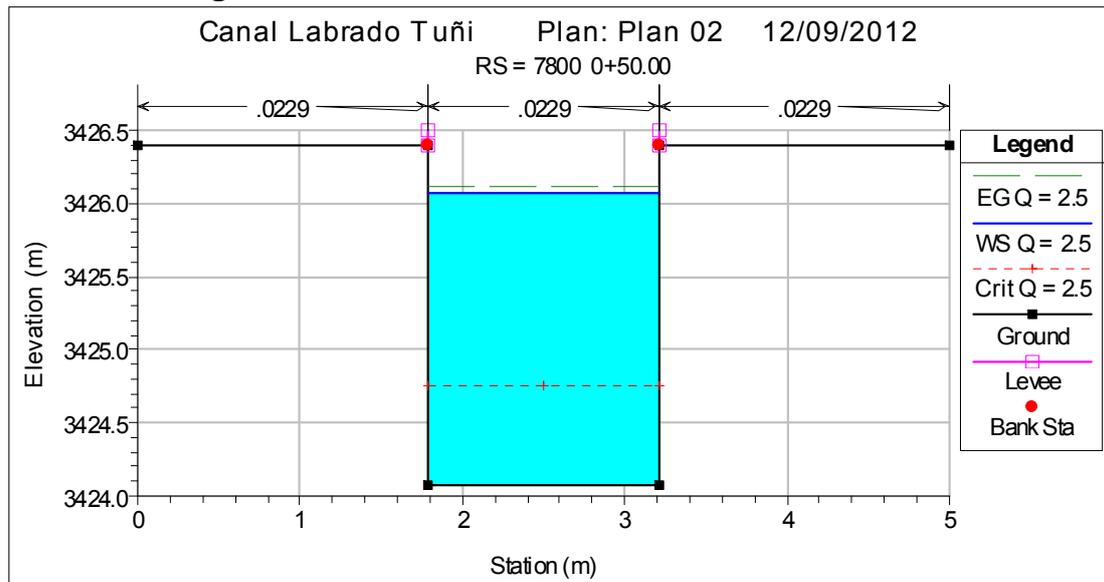
Tabla 4-16 Parámetros Hidráulicos para un Caudal 2.5 m³/s. N° de Froude, Velocidad y Calado

Caudal (m ³ /s)	N° de Froude			Velocidades (m/s)			Calados (m)		
	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.
2,5	0.938	0.19	0.3281	2.91	0.86	1.2560	2.04	0.98	1.5748



Universidad de Cuenca

Figura 4-24 Sección Transversal, Caudal de 2,5 m³/s



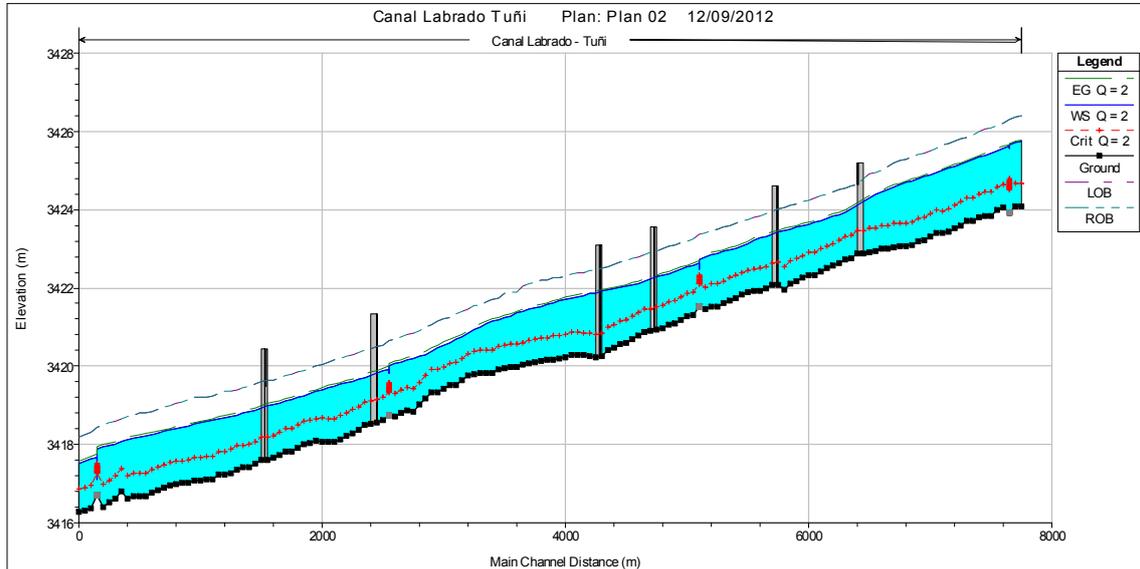
En la Figura 4-24 se indica la sección transversal para la abscisa 0+050 correspondiente a la estación 7800.

Con las condiciones geométricas planteadas y con los valores de rugosidad asumida para un caudal de 2.5 m³/s, no existe desbordamiento de flujo, como se observa en la gráfica del perfil longitudinal, siempre y cuando las paredes sean elevadas para transportar un caudal de 3 m³/s. El calado máximo ocurre en la abscisa 0 + 150 con una altura de 2.04 m, así mismo obteniéndose bordes libres de hasta 42 cm en la abscisa 5+500.



Escenario 3 con Caudal de 2 m³/s

Figura 4-25 Perfil Longitudinal a lo Largo del Canal, Caudal 2 m³/s



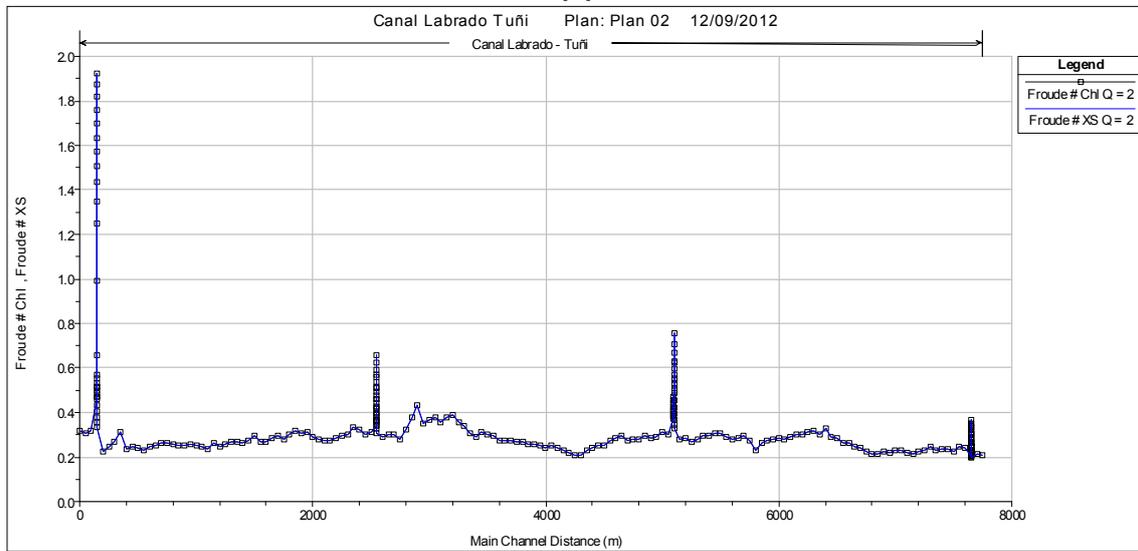
La Figura 4-25 se observa el perfil longitudinal del canal a lo largo de su recorrido con todas las estructuras presentes en el mismo, aquí se corrobora el régimen de flujo subcrítico. En la Figura 4-26 se muestran las gráficas de los parámetros de flujo N° de Froude, velocidad y calados de agua a lo largo del perfil longitudinal del canal, el punto cero en el eje de las abscisas corresponde al final del canal (cota más baja, reservorio Tuñi).



Universidad de Cuenca

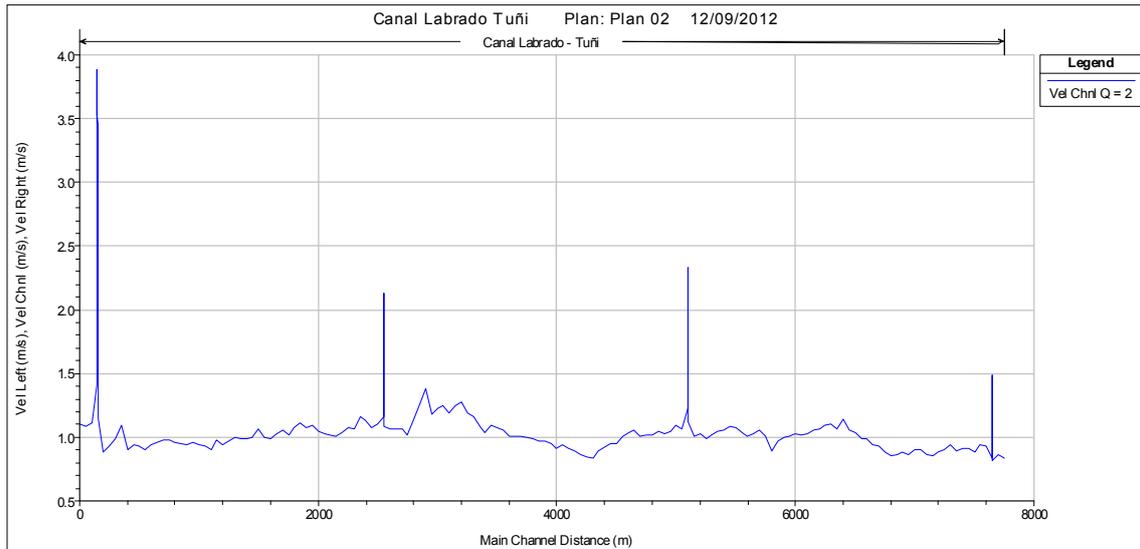
Figura 4-26 Parámetros de Flujo a lo Largo del Canal (a) N° de Froude (b) Velocidad (c) Calado, Caudal 2 m³/s

(a)

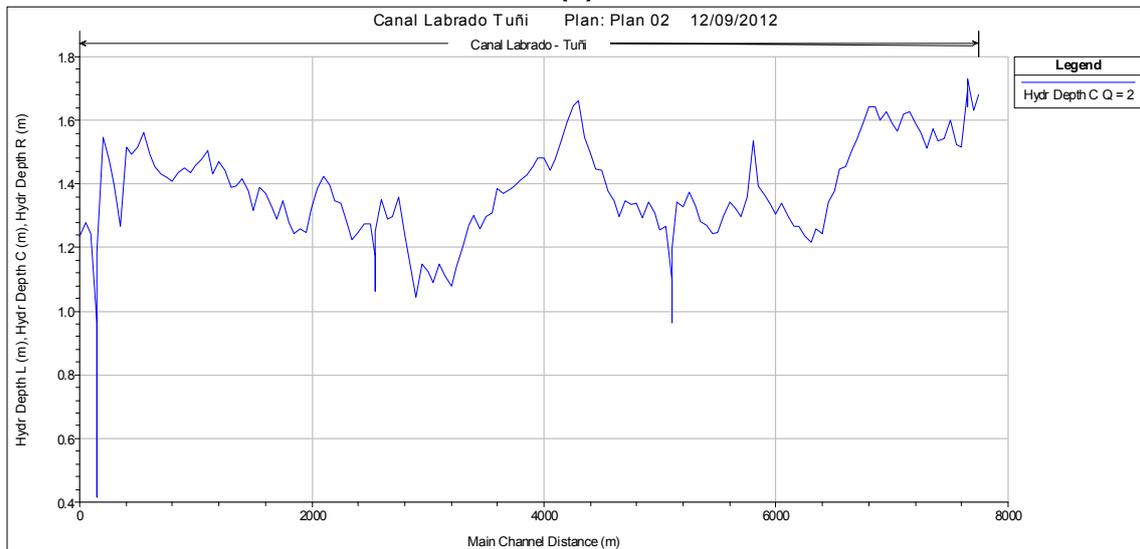




(b)



(c)



En la Tabla 4-17 se indican los valores correspondientes a los parámetros de número de Froude, velocidad, y calados de agua máximos, mínimos y medios obtenidos a lo largo del perfil longitudinal del canal Labrado – Tufi.

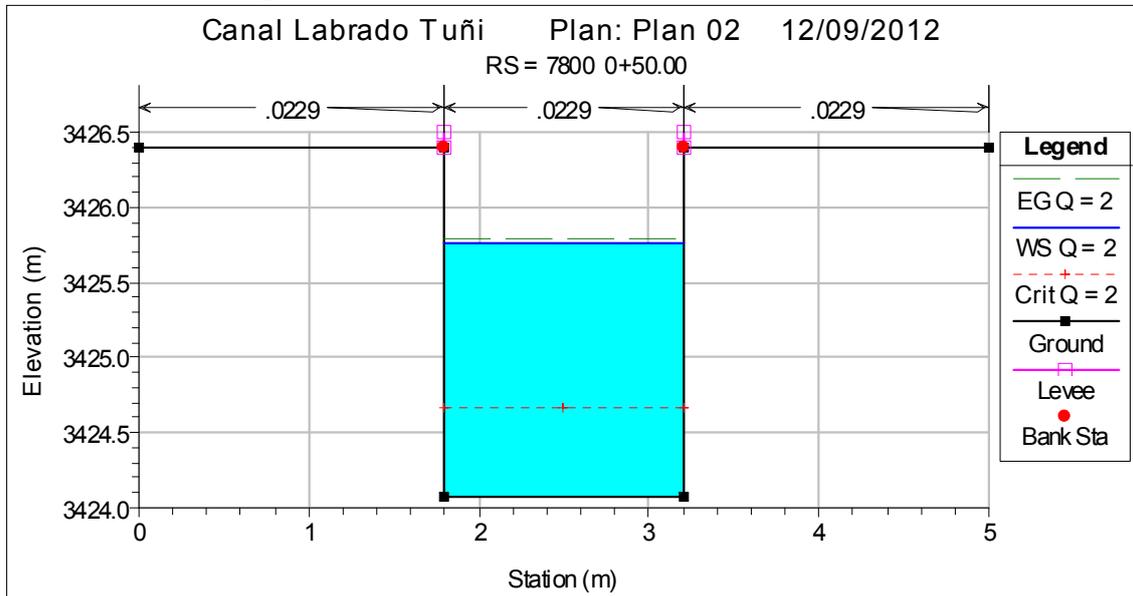
Tabla 4-17 Parámetros Hidráulicos para un caudal de 2 m³/s. N° de Froude, Velocidad y Calado

Caudal (m ³ /s)	N° de Froude			Velocidades (m/s)			Calados (m)		
	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.



2	1.92	0.198	0.3868	3.88	0.81	1.2772	1.73	0.42	1.3017
---	------	-------	--------	------	------	--------	------	------	--------

Figura 4-27 Sección Transversal, Caudal 2 m³/s



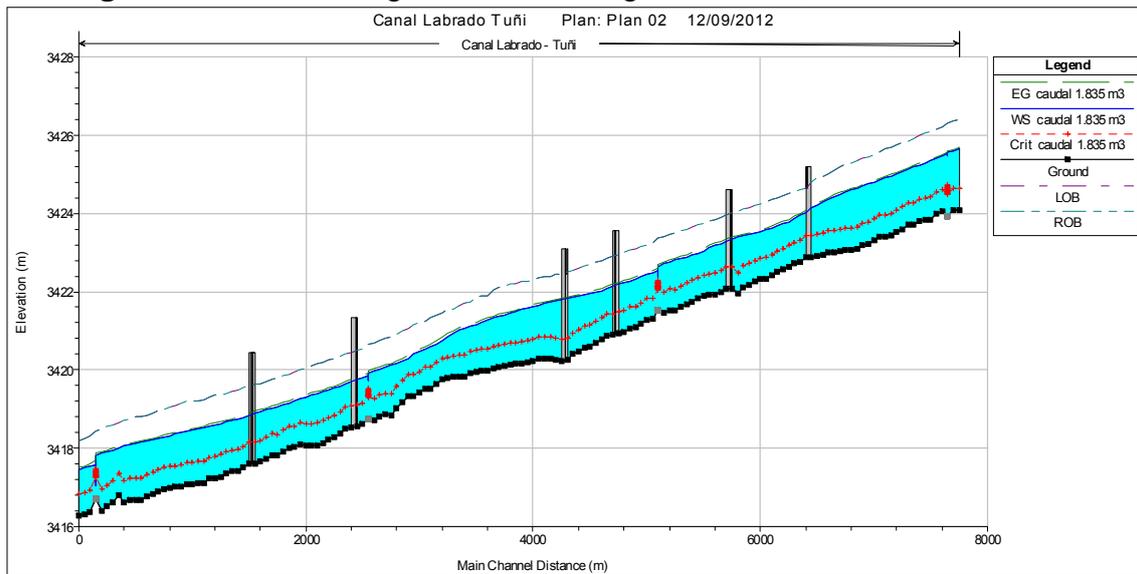
En la Figura 4-27 se indica la sección transversal para la abscisa 0+050 correspondiente a la estación 7800.

Con las condiciones geométricas planteadas y con los valores de rugosidad asumida para un caudal de 2 m³/s, no existe desbordamiento de flujo, como se observa en la gráfica del perfil longitudinal, siempre y cuando las paredes sean elevadas para transportar un caudal de 3 m³/s. El calado máximo ocurre en la abscisa 0 + 150 con una altura de 1.73 m, así mismo obteniéndose un borde libre de 60 cm aproximadamente a lo largo del canal.



Escenario 3 con Caudal de 1.835 m³/s

Figura 4-28 Perfil Longitudinal a lo Largo del Canal, Caudal 1.835 m³/s



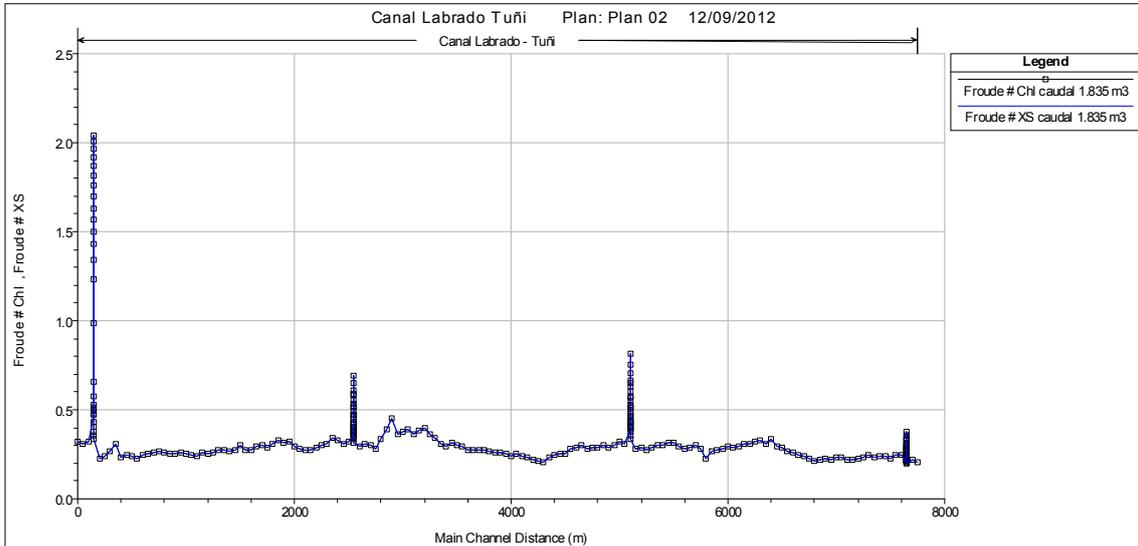
La Figura 4-28 se observa el perfil longitudinal del canal a lo largo de su recorrido con todas las estructuras presentes en el mismo, aquí se corrobora el régimen de flujo subcrítico. En la

Figura 4-29 se muestran las gráficas de los parámetros de flujo N° de Froude, velocidad y calados de agua a lo largo del perfil longitudinal del canal, el punto cero en el eje de las abscisas corresponde al final del canal (cota más baja, reservorio Tuñi).



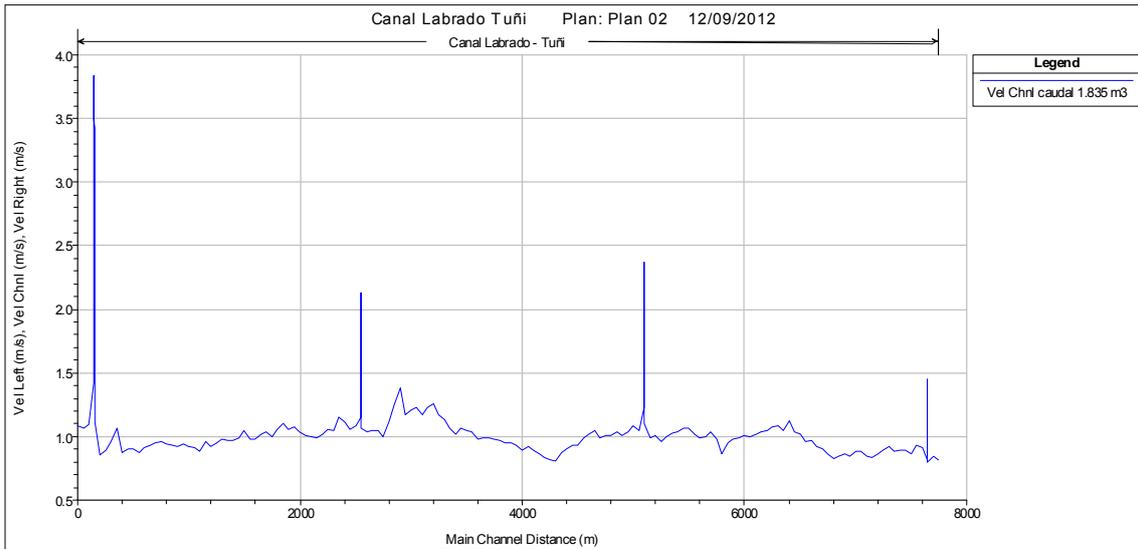
Figura 4-29 Parámetros de Flujo a lo Largo del Canal (a) N° de Froude (b) Velocidad (c) Calado, Caudal 1.835 m³/s

(a)

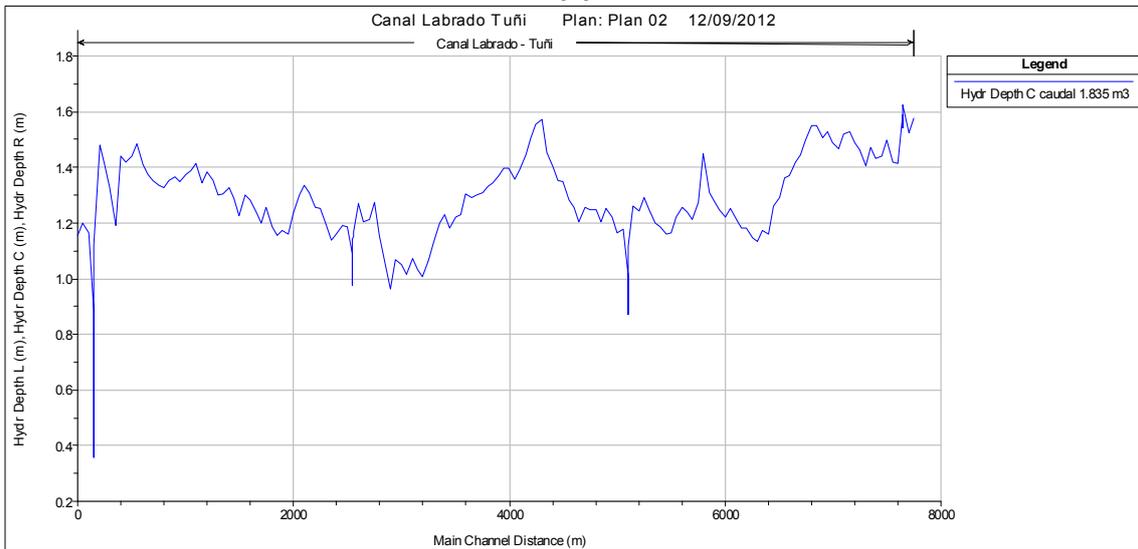




(b)



(c)



En la Tabla 4-18 se indican los valores correspondientes a los parámetros de número de Froude, velocidad, y calados de agua máximos, mínimos y medios obtenidos a lo largo del perfil longitudinal del canal Labrado – Tufi.

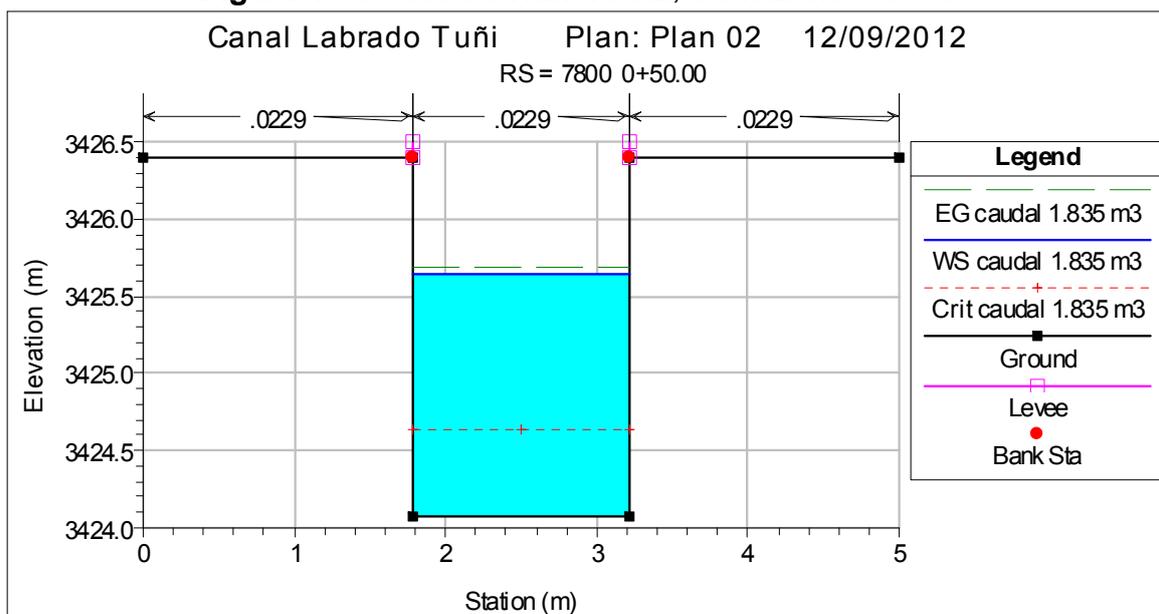


Universidad de Cuenca

Tabla 4-18 Parámetros Hidráulicos para un caudal de 1.835 m³/s. N° de Froude, Velocidad y Calado

Caudal (m ³ /s)	N° de Froude			Velocidades (m/s)			Calados (m)		
	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.
1.835	2.04	0.19	0.4096	3.83	0.8	1.2813	1.62	0.36	1.2114

Figura 4-30 Sección Transversal, Caudal 1.835 m³/s



En la

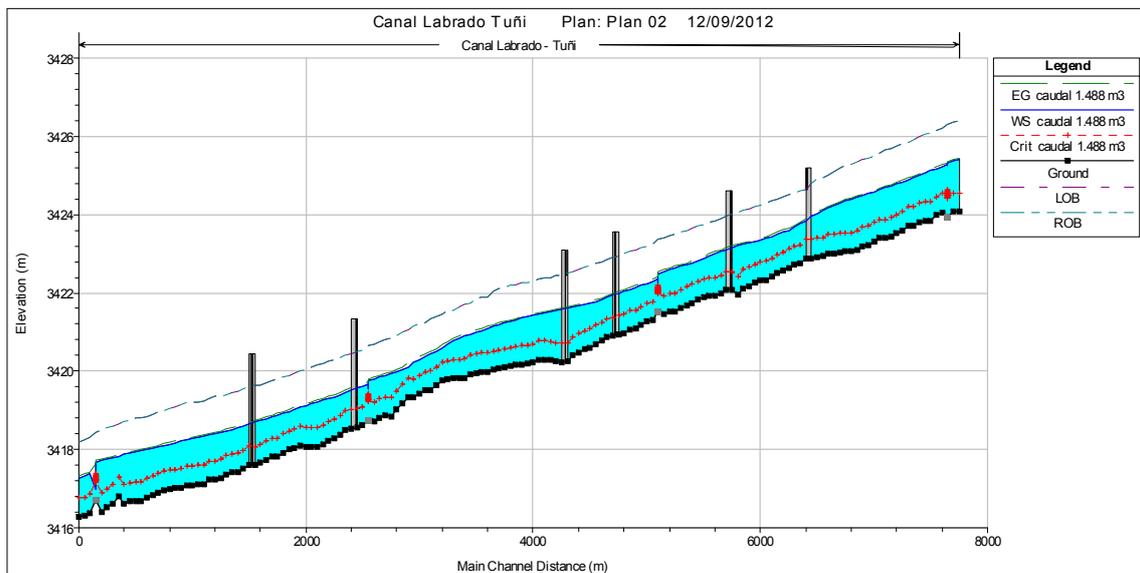
Figura 4-30 se indica la sección transversal para la abscisa 0+050 correspondiente a la estación 7800.

Con las condiciones geométricas planteadas y con los valores de rugosidad asumida para un caudal de 1.835 m³/s, no existe desbordamiento de flujo, como se observa en la gráfica del perfil longitudinal, siempre y cuando las paredes sean elevadas para transportar un caudal de 3 m³/s. El calado máximo ocurre en la abscisa 0 + 150 con una altura de 1.62 m, que coincide con el primer aforador, obteniéndose como mínimo un borde libre de 69 cm en la abscisa 4 + 250.



Escenario 3 con Caudal de 1.488 m³/s

Figura 4-31 Perfil Longitudinal a lo Largo del Canal, Caudal 1.488 m³/s



En la Figura 4-31 se observa el perfil longitudinal del canal a lo largo de su recorrido con todas las estructuras presentes en el mismo, aquí se corrobora el régimen de flujo subcrítico. En la Figura 4-32 se muestran las gráficas de los



Universidad de Cuenca

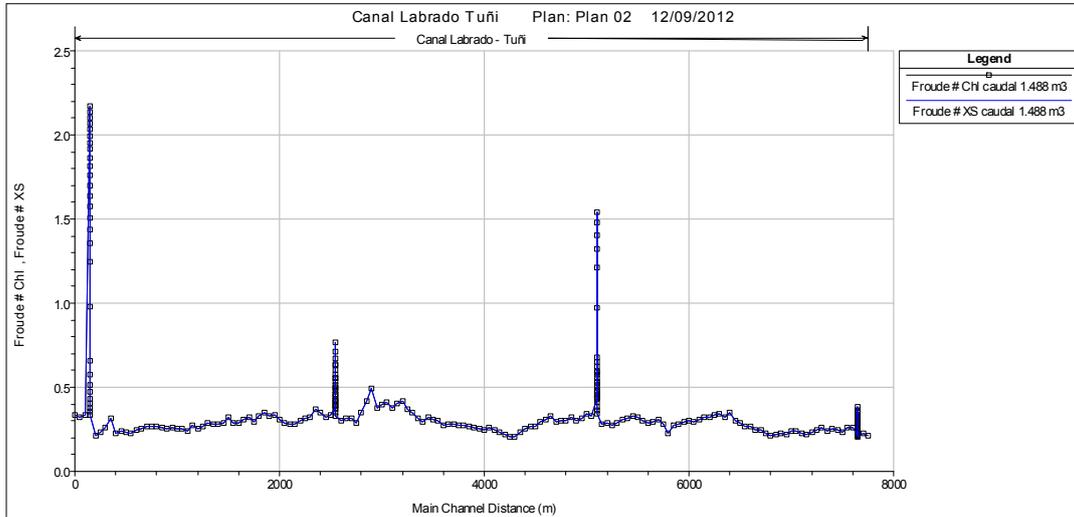
parámetros de flujo N° de Froude, velocidad y calados de agua a lo largo del perfil longitudinal del canal, el punto cero en el eje de las abscisas corresponde al final del canal (cota más baja, reservorio Tuñi).



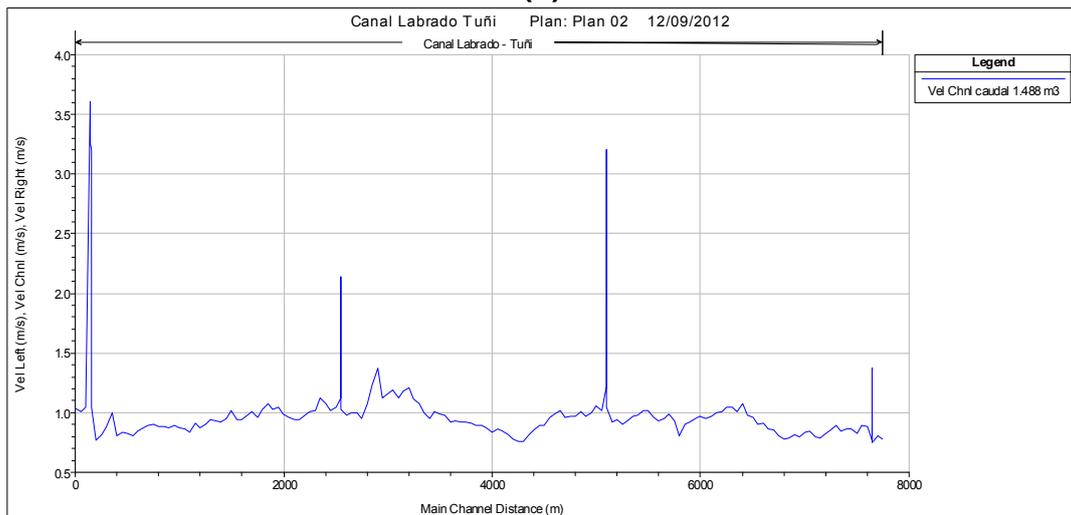
Universidad de Cuenca

Figura 4-32 Parámetros de Flujo a lo Largo del Canal (a) N° de Froude (b) Velocidad (c) Calado, Caudal 1.488 m³/s

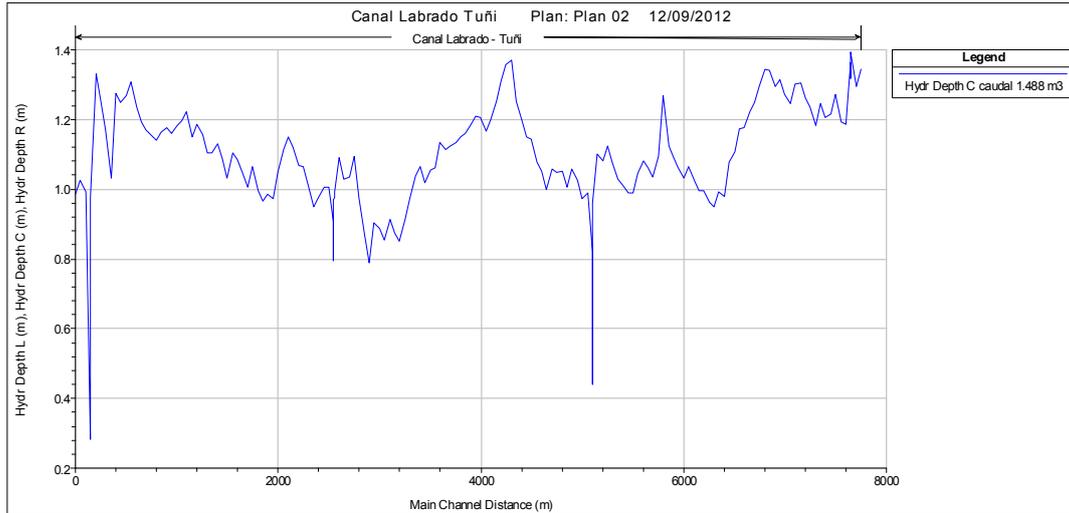
(a)



(b)



(c)



En la Tabla 4-19 se indican los valores correspondientes a los parámetros de número de Froude, velocidad, y calados de agua máximos, mínimos y medios obtenidos a lo largo del perfil longitudinal del canal Labrado – Tuñi.

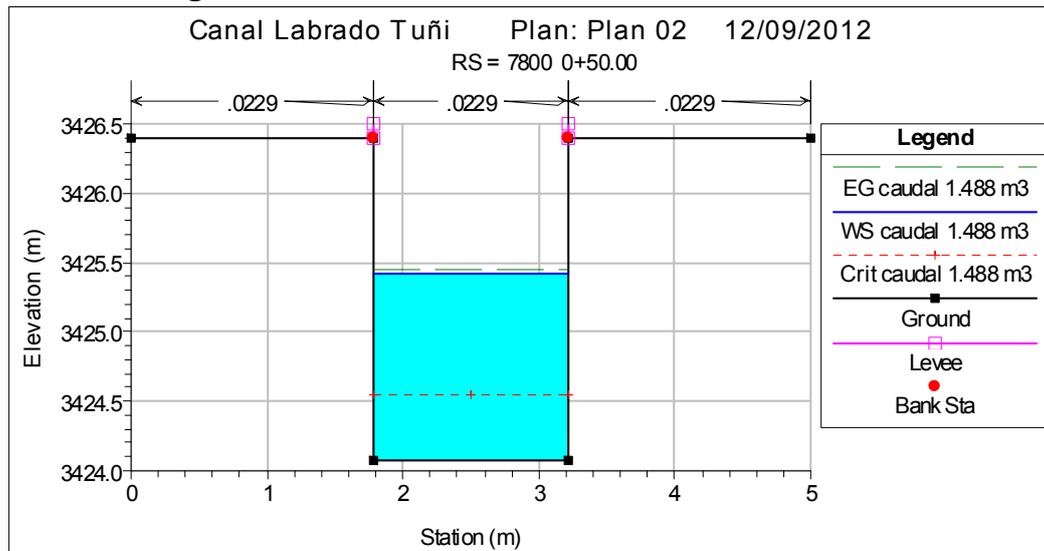
Tabla 4-19 Parámetros Hidráulicos para un Caudal de 1.488 m³/s. N° de Froude, Velocidad y Calado

Caudal (m ³ /s)	N° de Froude			Velocidades (m/s)			Calados (m)		
	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.	Max.	Min.	Media.
1.488	2.16	0.2	0.4608	3.6	0.75	1.2776	1.393	0.28	1.0195



Universidad de Cuenca

Figura 4-33 Sección Transversal, Caudal 1.488 m³/s



En la Figura 4-33 se indica la sección transversal para la abscisa 0+050 correspondiente a la estación 7800.

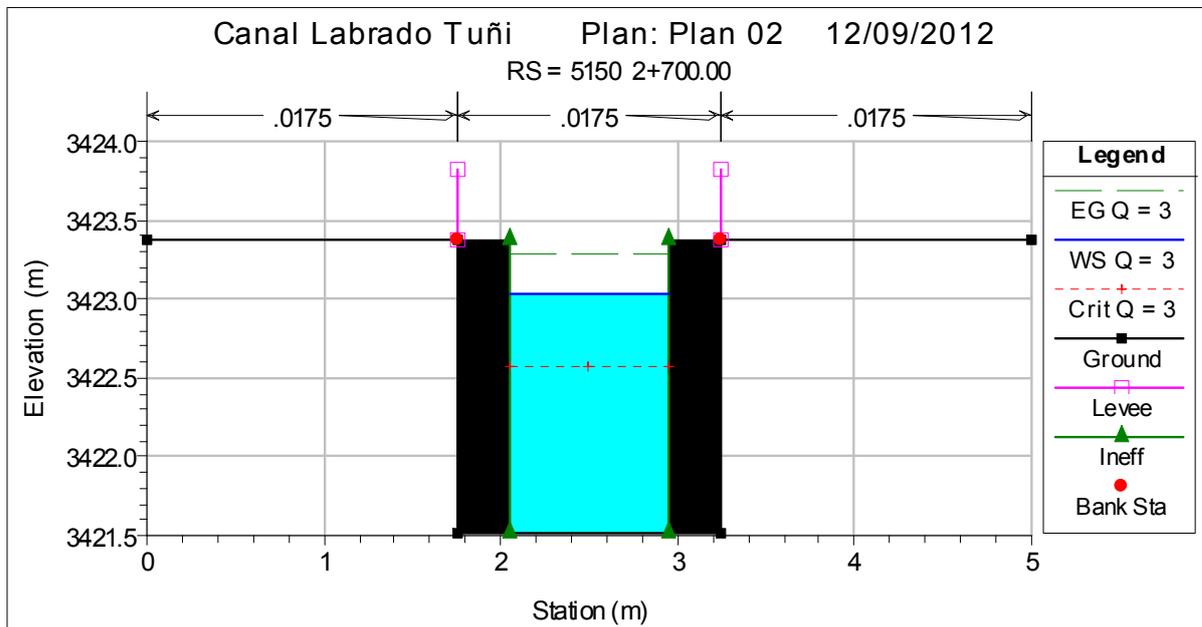
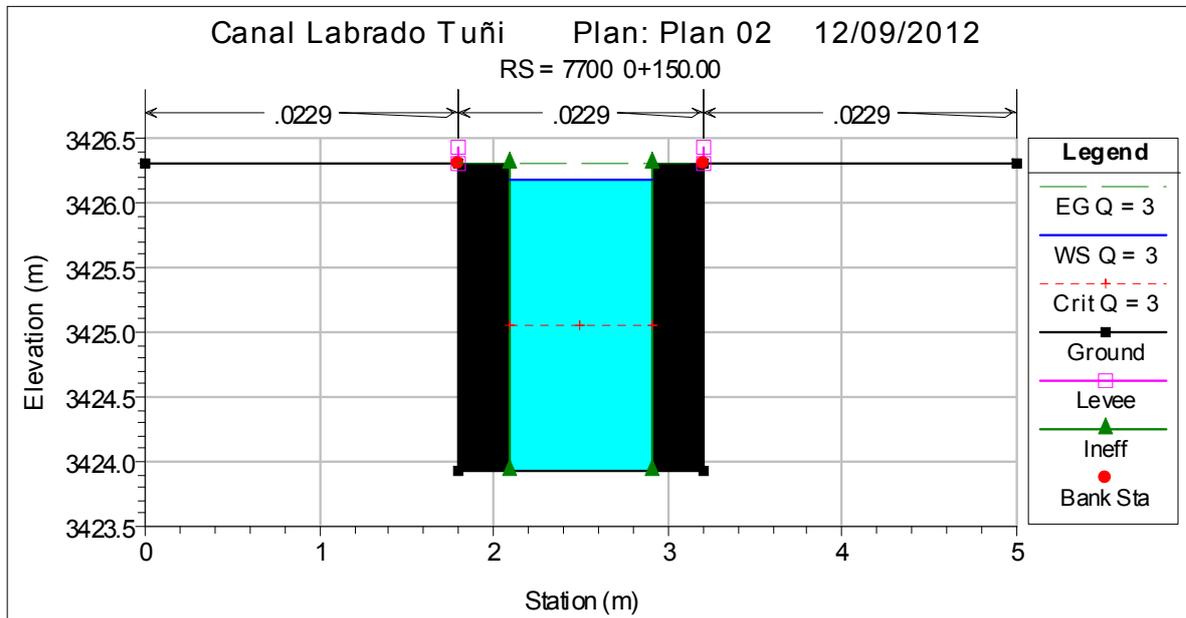
Con las condiciones geométricas planteadas y con los valores de rugosidad asumida para un caudal de 1.488 m³/s, no existe desbordamiento de flujo, como se observa en la gráfica del perfil longitudinal, siempre y cuando las paredes sean elevadas para transportar un caudal de 3 m³/s. El calado máximo ocurre en la abscisa 0 + 150 con una altura de 1.39 m, que coincide con el primer aforador, obteniéndose como mínimo un borde libre de 80cm en la abscisa 4 + 350.

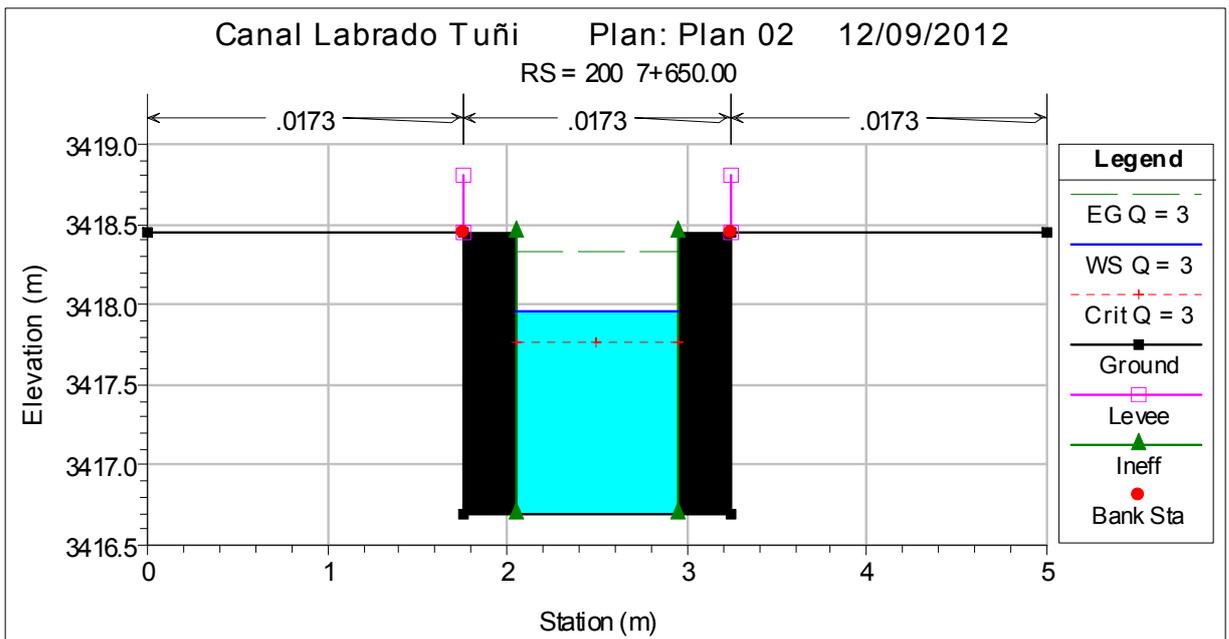
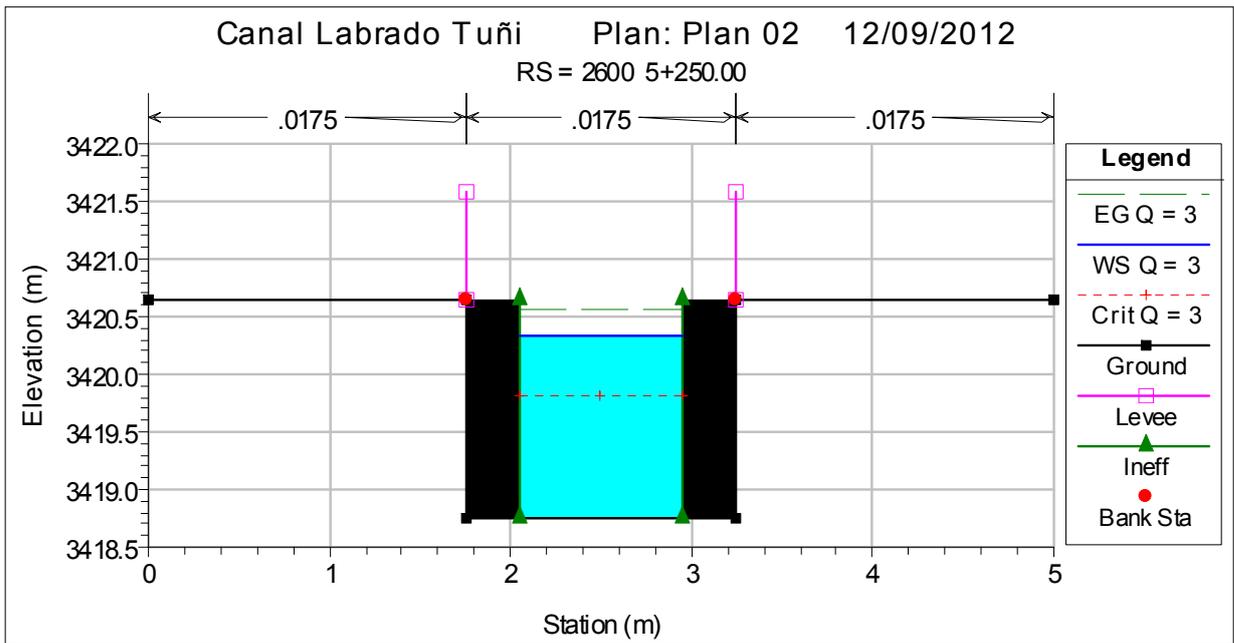
A continuación en la Figura 4-34 se indican la sección transversal producida en la garganta de cada una de las estaciones de aforo. Cabe señalar que para los procedimientos de modelización se han empleado las herramientas disponibles en el modelo a fin de replicar el efecto de variación de sección (definición de áreas inefectivas, interpolación de secciones de flujo, etc.)



Universidad de Cuenca

Figura 4-34 Sección Transversal del Canal en las Estructuras de Aforo, Caudal $3 \text{ m}^3/\text{s}$







4.4.4. Identificación Generalizada del Calado a lo Largo del Canal

Luego de implementar el modelo se ha logrado establecer el requerimiento para la elevación de las paredes del canal y que este transporte $3 \text{ m}^3/\text{s}$, para garantizar que no exista desbordamiento de flujo en el mismo. Las alturas a elevar se indican a continuación en la Tabla 4-20, la tabla completa con todas las abscisas se encuentran en el Anexo B.

Tabla 4-20 Cotas y Alturas a elevar para los Diferentes Tramos del Canal

Abscisa	Cota Paredes Elevadas	Altura promedio a Elevar
0+050	3426.40	0.8
1+300	3424.90	0.8
1+350	3424.80	0.5
1+950	3424.10	0.5
2+000	3424.05	0.6
3+250	3422.75	0.6
3+300	3422.70	0.8
3+500	3422.50	0.8
3+550	3422.45	0.7
4+150	3422.05	0.7
4+200	3421.90	0.5
4+400	3422.70	0.5
4+450	3421.65	0.4
5+000	3420.90	0.4
5+050	3420.85	0.6
5+350	3420.50	0.6
5+400	3420.45	0.3
5+750	3420.10	0.3
5+800	3420.05	0.5
6+100	3419.75	0.5
6+150	3419.70	0.6
6+500	3419.40	0.6
6+550	3419.35	0.7



Universidad de Cuenca

7+400	3418.70	0.7
7+450	3418.65	0.6
7+800	3418.20	0.6

En un estudio previo (Carrillo & Pacheco, 2012), en donde se implementó el modelo matemático HEC – RAS del canal, se obtuvo el requerimiento de altura a elevar de las paredes del mismo con el fin de que no exista desbordamientos cuando este transporte $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Cabe indicar que este modelo se realizó con valores constantes tanto de pendiente como de ancho del canal y coeficiente de rugosidad de Manning, es por esto que los resultados obtenidos difieren a los del presente estudio. En la Tabla 4-21 se indican las alturas antes mencionadas.

Tabla 4-21 Cotas de los bordes y alturas a elevar para los diferentes tramos del canal

Abscisa	Cota Paredes Elevadas	Altura promedio a Elevar
0+050,00	3426.05	0.6
0+250,00	3425.92	0.6
0+250,00	3425.77	0.45
0+900,00	3425.17	0.45
0+900,00	3425.12	0.4
3+850,00	3422.29	0.4
3+850,00	3422.24	0.35
5+350,00	3420.78	0.35
5+350,00	3420.83	0.4
6+200,00	3419.99	0.4
6+200,00	3419.94	0.35
7+800,00	3418.09	0.35

Para abrir el archivo que contiene el modelo matemático HEC – RAS se debe seguir los siguientes pasos, el programa y todos los archivos necesarios se encuentran en el CD adjunto al presente trabajo.

1. Ejecutar el Set up del programa HEC-RAS 4.1.0
2. Abrir el programa HEC-RAS 4.1.0



Universidad de Cuenca

3. En el menú File hacer click en Open Project, escoger y hacer doble click en la carpeta HEC-RAS.
4. Seleccionar la geometría del canal que se desea abrir, doble click en la carpeta de la geometría deseada.
5. En la parte izquierda de la ventana seleccionar el proyecto.
6. Hacer click en el botón OK.

5. CONCLUSIONES

- Se ha realizado un estudio de caracterización del canal Labrado-Tuñi, que conduce agua desde la presa El Labrado hasta el reservorio en Tuñi con una longitud de 7800 m. La conducción que en condiciones normales opera, es decir con caudales que van alrededor de $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ trabaja en un régimen subcrítico.
- Se ha concluido que el aprovechamiento de aportes intermedios de agua existentes en el canal, contribuirían a la generación de energía eléctrica. Un valor estimado de agua que ingresa al canal proveniente de estas quebradas, para el momento del estudio (época seca) está en el orden de 50 l/s . Adicionalmente se ha establecido del estudio hidrológico que el caudal aportado por quebradas en época lluviosa alcanza los 300 l/s .
- La expectativa de conducción en el canal Labrado-Tuñi por parte de ELECAUSTRO estaba alrededor de $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo el estudio ha revelado que el caudal máximo de conducción es de $1.835 \text{ m}^3/\text{s}$, constituyendo el 73.4% del caudal esperado.
- Del estudio realizado en el canal se concluye que existe una gran variabilidad en su estado físico, lo que se refleja en el coeficiente de rugosidad de Manning obtenido y usado para el presente trabajo. Este coeficiente fluctúa desde 0.01473 hasta 0.02297, siendo los valores más altos los que se encuentran cerca a El Labrado, y disminuyendo de una manera gradual hasta llegar al reservorio en Tuñi. El porcentaje de variación entre los valores encontrados es significativo y esta alrededor del 65%.



- Se ha caracterizado la pendiente del canal en toda su longitud (7800 m), siendo la máxima 0.00112 en el tramo que va desde la abscisas 4+000 hasta 5+000, y la mínima desde las abscisas 3+000 hasta 4+000 con un valor de 0.00086. La pendiente promedio y la pendiente ponderada tienen un valor de 0.00100. Las pendientes de los tramos iniciales del canal son relativamente altas, por otro lado las pendientes de los tramos finales son relativamente bajas; en ambos casos sus valores se acercan a los valores máximo y mínimo respectivamente.
- En el trabajo se ha efectuado un estudio en modelo físico de escala reducida para efectos de identificar una alternativa adecuada para el monitoreo y medición de caudales en el canal Labrado – Tuñi.
- Luego del análisis de varias alternativas tanto de materiales como desempeño y funcionalidad, se ha identificado como adecuado el tipo de aforador de contracción lateral y el material seleccionado es prefabricado de concreto por su sencillo emplazamiento y costo referencial más bajo.
- Se ha proyectado un diseño del aforador para que este trabaje en un rango de caudales de 1.5 a 3 m^3/s . Se han ajustado los coeficientes de las ecuaciones de descarga para que la estructura de medición no funcione en condiciones de sumergencia total.
- En el estudio adicionalmente se propone un diseño para captación tipo en cauces de montaña a pesar de las condiciones cambiantes de la zona, se concluye que si es factible diseñar un tipo de captación de fácil replicabilidad, no sin antes un análisis individual en cada quebrada. Al realizar el diseño se buscó que el resultado trabaje adecuadamente y su costo de construcción y mantenimiento no sea excesivo.
- El tipo de captación se adapta tanto a la morfología de los cauces ya que las pendientes son elevadas, como al rango de caudales que estos llevan. Está diseñado para soportar y funcionar



Universidad de Cuenca

adecuadamente con caudales de un período de retorno de 25 años es decir un caudal mayorado de 100 l/s este dato se obtuvo de los estudios hidrológicos disponibles. También se ha tenido en cuenta eventos de crecida con caudales pico ya que aquí se acarrea sedimentos con tasas elevadas, en un orden de 14 kg/s ; la captación tipo está diseñada para evitar posibles taponamientos y tratar estos acarrees impidiendo que los mismos lleguen al canal.

- Finalmente se ha implementado el modelo matemático HEC–RAS para simular el flujo del agua en el canal Labrado - Tuñi, el modelo se constituye en una herramienta útil para ELECAUSTRO ya que dará soporte y seguridad en la toma de decisiones en los procesos de operación y control del flujo.
- Al modelar el flujo del canal en HEC-RAS, se controló las variables como son la pendiente del fondo, el ancho, la altura de las paredes, la velocidad del agua, posibles obstrucciones, y se establece que cualquier tipo de incertidumbre recaería sobre el coeficiente de rugosidad de Manning. En el modelo se asignaron valores de este coeficiente a todas las secciones del canal, manejando un concepto de rugosidad equivalente debido a la no uniformidad de las mismas, futuras mejoras o depuraciones que se deseen realizar en el modelo para acercarlo lo más posible a la realidad deben enfocarse en la n de Manning ya que no existe una ecuación probada y consistentemente precisa para calcular los coeficientes de resistencia en las condiciones que presenta actualmente el canal.
- En la simulación se han considerado tres escenarios principales, el primero fue replicar las condiciones actuales del canal, estas son diferentes pendientes para cada tramo, diferentes coeficientes de rugosidad para cada tipo de sección caracterizada y ancho del canal variable; aquí se obtuvo el caudal máximo de conducción en 1.835 m^3/s , la velocidad máxima encontrada en la simulación de este caudal es 1.43 m/s y la mínima 0.81 m/s . El máximo calado obtenido es 1.57 m y el mínimo es 0.93 m. El número de Froude máximo encontrado es 0.47 y el mínimo 0.21.
- Al comparar la simulación de un caudal de 1.488 m^3/s bajo las condiciones actuales, es decir con pendiente, secciones y n de Manning variables con un caudal de 1.5 m^3/s con una pendiente, secciones y coeficiente de rugosidad constantes se ha concluido que las diferencias producidas en los resultados son significativas, en el calado del agua, las velocidades y el número de Froude, por lo que



Universidad de Cuenca

mientras más parecidas sean las variables en el modelo a la realidad más precisos serán los resultados obtenidos.

- El segundo escenario modelado fue la consideración de posibles obstrucciones en cualquier tramo del canal sin considerar ninguna modificación o mejora. Aquí se ha establecido y evaluado el desempeño de los vertederos existentes y se obtuvo distancias límites de obstrucciones que producirán desbordamientos de flujo en el canal. También se ha considerado variaciones en la magnitud de la obstrucción llegando a definir porcentajes de reducción límites del área útil del canal. Se ha concluido que obstrucciones de gran magnitud ocasionarían el colapso del canal ya que la distancia entre los vertederos es muy grandes y las condiciones en las que se encuentran no son las óptimas.
- En el tercer escenario se ha considerado una ampliación de la capacidad de conducción del canal, también se ha incluido las estructuras de medición de caudal en los puntos previstos. Las variables de flujo, pendiente, ancho del canal y rugosidad son las actuales.
- Mediante la modelización del canal se ha podido establecer las secciones que garanticen la conducción de un caudal de $3 \text{ m}^3/\text{s}$, obteniendo una importante variación con respecto a las alturas de las paredes del mismo. En general se tiene un promedio de 20 cm más entre la simulación real y la simulación que considera las variables de flujo como valores constantes.
- Se ha visto que variaciones en la pendiente del canal y coeficiente de rugosidad de Manning producen cambios significativos en el modelo. Esto las convierte en las variables más relevantes y de más cuidado al momento de llevar a cabo la modelación.



BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo, “Report of the American Society of Civil Engineers’ Task Force on Friction Factors in Open Channels”, *Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Hydraulics Division*, vol 89, No. HY2, March 1963, pp. 97-143.
- Arcement, G.J. Jr. y Schneider V.R., Guide for Selecting Manning’s Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains, *U.S. Geological Survey Water –Supply Paper 2339*, pp. 38, 1989.
- Barnes, H. H., Jr., “Roughness Characteristics of Natural Channels”, U.S. Geological Survey Water – Supply Paper 1849, U.S. Geological Survey, Washington, 1967.
- Bathurst, J. C., Flow Resistance Estimation in Mountain Rivers, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 111, 625-641, 1985.
- Bray, D. I., Estimating Average Velocity in Gravel-Bed Rivers, *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, 105, 1103-1122, 1979.
- Bridges, E. M., *World geomorphology*, Cambridge University press, Cambridge, pp. 260, 1990.
- Carrillo, V., Pacheco, E., *Modelo Matemático Implementado para el Canal Labrado – Tuñi*, PROMAS, Cuenca, Ecuador, 2012.
- Carrillo, V., Pacheco, E., *Diseño de Estructuras de Aforo para el Canal Labrado – Tuñi*, PROMAS, Cuenca, Ecuador, 2012.
- Carrillo, V., Pacheco, E., *Reingeniería para Captaciones del Canal Labrado – Tuñi*, PROMAS, Cuenca, Ecuador, 2012.
- Chanson, H., *Hidráulica del Flujo en Canales Abiertos*, Mc Graw Hill Civil Engineering Series, Primera Edición, New York, 2002.
- Chow, Ven Te, *Hidráulica de Canales Abiertos*, Mc Graw Hill Civil Engineering Series, New York, 1994.
- Coon, W. F., Roughness Coefficients for High-Gradient Channels in New York State, en *Hydraulic Engineering’94*, editado por G.V. Cotroneo y R.R. Rumer, pp. 722-726, Proceed of the 1994 Conference, Hydraulic Division, ASCE, New York, 1994.
- Cowan, W. L., Estimating Hydraulic Roughness Coefficients, *Ag. Engin.*, 37, 473-475, 1956.



Universidad de Cuenca

- Doland, James J. y Chow, Ven Te, "Discussion of River Channel Roughness", por Hans A. Einstein y H.L. Barbarossa, Transactions, vol. 117, *American Society of Civil Engineer*, pp. 1134-1139, 1952.
- Eddins, W. H. y Zembrusky, T. J. Jr., Factors Affecting Accuracy of Slope-Area Discharge Determination of the September 1992 Flood in Raven Fork, Western North Carolina, en *Hydraulic Engineering '44*, editado por G. V. Cotroneo y R. R. Rumer, pp. 645-649, Proceed of the 1994 Conference, Hydraulic Division, ASCE, New York, 1994
- Einstein, Hans A. y Barbarossa, H. L., "River Channel Roughness", Transactions, vol. 117, *American Society of Civil Engineer*, pp. 1121-1132, 1952.
- Ergenzinger, P. y Schmidt K. H., *Dynamics and Geomorphology of Mountain Rivers*, Springer-Verlag, Berlin, 1994.
- Estrella y Tobar, *Estudio Hidrológico de la Cuenca Alta del Río Machángara*, Cuenca, Ecuador, 2009.
- French, R. H., *Hidráulica de Canales Abiertos*, Mc Graw Hill Civil Engineering Series, New York, 1988.
- Garde, R. J. y Ranga Raju, K. G., *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*, Wiley Eastern, New Delhi, 1978.
- Griffiths, G. A., Flow Resistance in Coarse Gravel-Bed Rivers, *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, 107, 899-918, 1981.
- Griffiths, G. A., Form Resistance in Gravel Channels with Mobile Beds, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 115, 340-355, 1987.
- Henderson, F. M., *Open Channel Flow*, The Macmillan Company, New York, 1966.
- Hey, R.D., Flow Resistance in Gravel-Bed Rivers, *Journal of Hydraulics Division*, 105, 365-279, 1979.
- Hyatt, M.L., *Design Calibration and Evaluation of a Trapezoidal Measuring Flume by Model Study*, Unpublished M.S. Thesis, Utah State University, Logan, Utah, 1965.
- Hydrologic Engineering Center (2002b) *HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Version 4.1.0*. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California.
- Jarret, R. D., Hydraulics of Mountain Rivers, en *Channel Flow Resistance: Centennial of Manning's Formula*, editado por B. C. Yen, pp. 287-298, Water Resource Publications, Littleton, CO, 1992.
- Jarret, R. D., Historic-Flood Evaluation and Research Needs in Mountainous Areas, en *Hydraulic Engineering '94*, editado por G. V.



Universidad de Cuenca

- Cotroneo y R. R. Rumer, pp. 875-879, Proceed of the 1994 Conference, Hydraulic Division, ASCE, New York, 1994.
- Julien, P.Y., *Erosion and Sedimentation*, Cambridge University Press, New York, pp. 280, 1995.
 - Keulegan, Garbis H., "Laws of Turbulent Flow in Open Channels", *Journal of Research*, vol. 21, U.S. National Bureau of Standards, pp. 701-741, Diciembre 1938.
 - Krochin, S., *Diseño Hidráulico*, Tercera Edición, Editorial del La Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 1986.
 - Lane, E. W. y Carlson, E. J., "Some Factors Affecting the Stability of Canals Constructed in Coarse Granular Material", *Proceedings of the Minnesota International Hydraulics Convention*, Septiembre 1953.
 - Lang, H. y Musy, A., *Hydrology in Mountains Regions I. Hydrological Measurements; The Water Cycle*, IAHS Publication no. 193, Wallingford, UK, pp. 810, 1990.
 - Limerinos, J.T., Determination of the Manning Coefficient from Measured Bed Roughness in Natural Channels, *U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1898-B*, pp. 47, 1970.
 - Marcus, W. A., Roberts, K., Harvey, L., y Tackman, G., An Evaluation of Methods for Stimating Manning's n in Small Mountains Streams, *Mountain Research and Development*, 12, 227-239, 1992.
 - Meyer-Peter, E. y Muller, R., "Formulas for Bed-Load Transport", *Proceedings of the 3rd Meeting of IAHR*, Stockholm, pp. 39-64, 1948.
 - Nikuradse, J., "Laws of Turbulent Flow in Smooth Pipes", *Verein Deutscher Ingenieure*, Forschungsheft N° 356, Berlín, 1932.
 - Raudviki, A. J., *Loose Boundary Hydraulics*, 2d ed., Pergamon Press, New York, 1976.
 - Roberson, J. A. y Crowe, C.T., *Engineering Fluid Mechanics*, Jhon Wiley and Sons, New York, pp. 823, 1993.
 - Robinson, A.R., Chamberlain A.R., *Trapezoidal Flumes for open Channel Flow Measurement*. Trans. ASAE 382):120-124,128, 1960.
 - Simons, D. B. y Senturk, F., *Sediment Transport Technology*, Water Resources Publications, Fort Collins, Col., 1976.
 - Skogerboe, G. V., Hyatt, M. L., Anderson, R. K., Eggleston, K. O., *Design and Calibration of Submerged Open Channel Flow Measurement Structures: Part 3*, Cutthroat flumes, Rep. WG31-4, Utah Water Research Laboratory, Utah State University, Logan, Utah, 1967a.



Universidad de Cuenca

- Skogerboe, G. V., Hyatt, M. L., England, J. D., Johnson, J. R., *Design and Calibration of Submerged Open Channel Flow Measurement Structures. Part2*, Parshall Flumes. Rep. WG31-3, Utah Water Research Laboratory, College of Engineering Utah State University, Logan, Utah, 1967b.
- Smart, G. M. y Jaeggi, M. N. R., *Sediment Transport on Steep Slopes*, Versuchsanstalt fur Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Mitteilungen 64, Eidgenossische Technische Hochschule Zurich, Suiza, 1983.
- Streeter, V., Wylie, B. y Bedford, K., *Mecánica de Fluidos*, Novena Edición, McGraw-Hill, Bogotá, Colombia, 2000.
- Subramanya, K., *Flow in Open Channels*, vol. 1, Tata McGraw-Hill Publishing Company, New Delhi, 1982.
- Torres Nieto, A. y Villate Bonilla, E., *Topografía*, Cuarta Edición, Norma, Bogotá, 2001.
- Tritton, D.J., *Physical Fluid Dynamics*, Claredon Press, Oxford, pp. 519, 1988.
- Urquhart, W.J., "Hydraulics", *Engineering Field Manual*, U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, 1975.
- Wahl, K. L., Bias in Regression Estimates of Manning's n, en *Hydraulic Engineering '94*, editado por G.V. Cotroneo y R.R. Rumer, pp. 727-731, Proceed of the 1994 Conference, Hydraulic Division, ASCE, New York, 1994.
- Wohl, Ellen, *Mountain Rivers*, American Geophysical Union, Washington DC, 1962
- http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/modelacionhidraulica/modelacion_hidraulica.html



ANEXOS

Anexo A

A1. Tablas Método del Servicio de Conservación de Suelos

Tabla A1 Valores básicos de *n* sugeridos por el Servicio de Conservación de Suelos (Anónimo, 1963b)

Características del canal	<i>n</i> básico
Canales de tierra	0.02
Canales cortados en roca	0.025
Canales de grava fina	0.024
Canales de grava gruesa	0.028

Tabla A2 Factores modificantes por vegetación. Servicio de Conservación de Suelos (Anónimo, 1963b)

Condiciones de vegetación y flujo comparables con:	Grado del efecto en <i>n</i>	Rango de valores modificantes
Crecimientos densos de pastos flexibles o hierbas de los cuales, el pasto bermuda y el pasto azul son ejemplos, en donde el promedio de profundidad del flujo es de 2 a 3 veces la altura de la vegetación.	Bajo	0.005-0.0010
Desvíos causados por pequeños arboles flexibles tales como sauces, algodón silvestres, cedros, en donde el promedio de profundidad del flujo es de 3 a 4 veces la altura de la vegetación.		



Pastos flexibles en donde en donde el promedio de profundidad del flujo es de 1 a 2 veces la altura de la vegetación.

Pastos de tallo corto, hierbas o pequeños arboles con vegetación moderada, en donde el promedio de profundidad del flujo es de 2 a 3 veces la altura de la vegetación.

Medio

0.010-0.025

Crecimiento de matorrales, relativamente densos, parecidos a los sauces de entre 1 y 2 años, en temporadas de poca vegetación, a lo largo de los taludes del canal, con poca vegetación en el lecho del mismo, en donde el radio hidráulico es mayor que 60 cm.

Temporadas de poca vegetación, sauces o arboles de algodón silvestre de entre 8 y 10 años, mezclados con algunas hierbas y matorrales de poco follaje, donde el radio hidráulico es mayor que 60 cm.

Alto

0.025-0.050

Temporada de



Universidad de Cuenca

crecimiento de matorrales de sauces de alrededor de 1 año, mezclados con algunas hierbas con mucho follaje, a lo largo de los taludes del canal, con poca vegetación en el lecho del mismo, en donde el radio hidráulico es mayor que 60 cm.

Pastos flexibles en donde el promedio de la profundidad del flujo es menor que la mitad de la altura de la vegetación.

Temporada de crecimiento de matorrales de sauces de alrededor de 1 año, mezclados con hierbas de mucho follajes a lo largo del lecho del canal; cualquier valor de radio hidráulico arriba de 3 a 4 metros.

Muy Alto

0.050-0.100

Temporada de crecimiento de árboles mezclados con hierbas y matorrales, todos con follaje muy denso; cualquier valor de radio hidráulico arriba de 3 o 4 metros.



Tabla A3 Factores Modificantes por cambios en el tamaño y forma de la sección transversal. Servicio de Conservación de Suelos (Anónimo, 1963b)

Carácter de variaciones en el tamaño y forma de las secciones transversales	Valor modificante
Cambios en el tamaño o forma que ocurren gradualmente.	0.000
Secciones grandes y pequeñas alternándose ocasionalmente o cambios en la forma causando un desplazamiento ocasional del flujo principal de lado a lado.	0.005
Secciones grandes y pequeñas alternándose frecuentemente o cambios en la forma causando un desplazamiento ocasional del flujo principal de lado a lado.	0.010-0.015

Tabla A4 Factores modificantes por canales de superficie irregular. Servicio de Conservación de Suelos (Anónimo, 1963b)

Grado de irregularidad	Superficies comparables con	Valor modificante
Liso	La mejor, de acuerdo con los materiales involucrados.	0.000
Menor	Canales bien dragados; ligeramente erosionados	0.005



	taludes limpios de canales o drenaje de canales.	
Moderada	Canales dragados desde una manera adecuada a escasa; moderadamente empantanados o taludes erosionados de canales o drenaje de canales.	0.010
Severa	Márgenes malamente empantanados de canales o drenaje de canales; deformado, mellado, y superficies irregulares de canales excavados en roca.	0.020

Tabla A5 Factores modificantes por obstrucción. Servicio de Conservación de Suelos (Anónimo, 1963b)

Efecto relativo de obstrucciones	Valor modificante
Despreciable	0.000
Menor	0.010-0.015
Apreciable	0.020-0.030
Severo	0.040-0.060

Tabla A6 Valores modificantes por canales alineados. Servicio de Conservación de Suelos (Anónimo, 1963b)

L_m/L_a	Grado de tortuosidad	Valor modificante
1.0-1.2	Menor	0.00
1.2-1.5	Apreciable	0.15 n^f
>1.5	Severo	0.30 n^f



A2. Valores Tabulados del Coeficiente de Rugosidad de Manning

Tabla A7 Tabla de valores de n (Ven Te Chow, pág. 108)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
A-1. Metal			
a. Latón, liso	0.009	0.010	0.013
b. Acero			
1. Estriado y soldado	0.010	0.012	0.014
2. Riveteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
c. Hierro fundido			
1. Recubierto	0.010	0.013	0.014
2. No recubierto	0.011	0.014	0.016
d. Hierro forjado			
1. Negro	0.012	0.014	0.015
2. Galvanizado	0.013	0.016	0.017
e. Metal corrugado			
1. Subdrenaje	0.017	0.019	0.021
2. Drenaje de aguas lluvias	0.021	0.024	0.030
A-2. No metal			
a. Lucita	0.008	0.09	0.010
b. Vidrio	0.009	0.010	0.013
c. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
d. Concreto			
1. Alcantarilla, recta y libre de basuras	0.010	0.011	0.013
2. Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras	0.011	0.013	0.014
3. Bien terminado	0.011	0.012	0.014
4. Alcantarillado de aguas	0.013	0.015	0.017



Universidad de Cuenca

residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto			
5. Sin pulir, formaleta o encofrado metálico	0.012	0.013	0.014
6. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera lisa.	0.012	0.014	0.016
7. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa.	0.015	0.017	0.020
e. Madera			
1. Machihembrada	0.010	0.012	0.014
2. Laminada, tratada	0.015	0.017	0.020
f. Arcilla			
1. Canaleta común de baldosas	0.011	0.013	0.017
2. Alcantarilla vitrificada	0.011	0.014	0.017
3. Alcantarilla vitrificada, con pozos de inspección, entradas, etc.	0.013	0.015	0.017
4. Subdrenaje vitrificado con juntas abiertas	0.014	0.016	0.018
g. Mampostería en ladrillo			
1. Barnizada o lacada	0.011	0.013	0.015
2. Revestida con mortero de cemento	0.012	0.015	0.017
h. Alcantarillados sanitarios recubiertos con limos y babas de aguas residuales, con curvas y conexiones.	0.012	0.013	0.016
i. Alcantarillado con batea pavimentada, fondo liso	0.016	0.019	0.020
j. Mampostería de piedra, cementada	0.018	0.025	0.030
B. Canales revestidos o desarmables			
B-1. Metal			
a. Superficie lisa de acero			
1. Sin pintar	0.011	0.012	0.014
2. Pintada	0.012	0.013	0.017
b. Corrugado	0.021	0.025	0.030
B-2. No metal			
a. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
b. Madera			
1. Cepillada, sin tratar	0.010	0.012	0.014
2. Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
3. Sin cepillar	0.011	0.013	0.015



Universidad de Cuenca

4. Láminas con listones	0.012	0.015	0.018
5. Forrada con papel impermeabilizante	0.010	0.014	0.017
c. Concreto			
1. Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	0.013	0.015
2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
4. Sin pulir	0.014	0.017	0.020
5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
8. Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	
d. Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de			
1. Piedra labrada, en mortero	0.015	0.017	0.020
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.017	0.020	0.024
3. Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.020	0.024
4. Mampostería de piedra cementada	0.020	0.025	0.030
5. Piedra suelta o riprap	0.020	0.030	0.035
e. Fondo de gravas con lados de			
1. Concreto encofrado	0.017	0.020	0.025
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.020	0.023	0.026
3. Piedra suelta o riprap	0.023	0.033	0.036
f. Ladrillo			
1. Barnizado o lacado	0.011	0.013	0.015
2. En mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
g. Mampostería			
1. Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030
2. Piedra suelta	0.023	0.032	0.035
h. Bloques de piedra labrados	0.013	0.015	0.017
i. Asfalto			
1. Liso	0.013	0.013	
2. Rugoso	0.016	0.016	
j. Revestimiento vegetal	0.030	0.500
C. Excavado o dragado			
a. En tierra, recto y uniforme			
1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020



Universidad de Cuenca

2. Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	0.022	0.025
3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.030
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
b. En tierra, serpenteante y lento			
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.030
2. Pastos con algunas malezas	0.025	0.030	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.030	0.035	0.040
4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.030	0.035
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.040
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040	0.050
c. Excavado con pala o dragado			
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.050	0.060
d. Cortes en roca			
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
2. Afilados e irregulares	0.035	0.040	0.050
e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar			
1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0.050	0.080	0.120
2. Fondo limpio, matorrales en los lados	0.040	0.050	0.080
3. Igual, nivel máximo de flujo	0.045	0.070	0.110
4. Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140
D. Corrientes naturales			
D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
a. Corrientes en planicies			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050



Universidad de Cuenca

5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048	0.055
6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050	0.060
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150
b. Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
D-2. Planicies de inundación			
a. Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
b. Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
c. Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
d. Árboles			
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con	0.050	0.060	0.080



Universidad de Cuenca

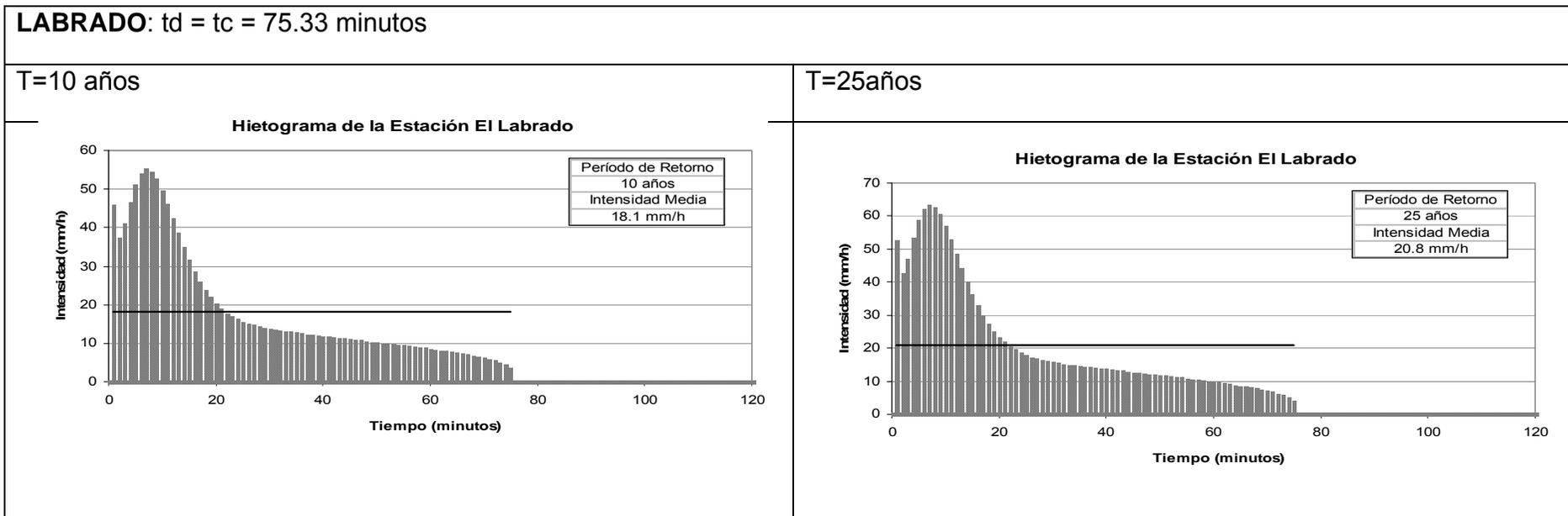
una gran cantidad de retoños			
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
D-3. Corrientes mayores (rancho superficial en nivel de creciente > 100 pies) El valor de n es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.			
a. Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	0.060
b. Sección irregular y rugosa	0.035	0.100

A3. Histogramas de la estación El Labrado y Quebrada Cerro Negro



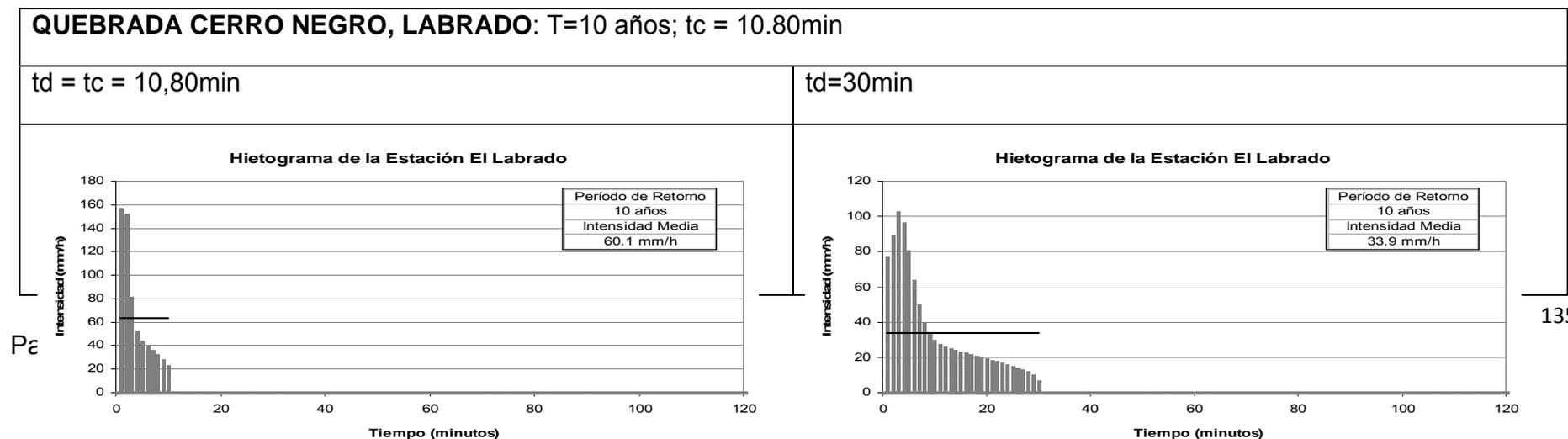
Universidad de Cuenca

Figura A1 Histogramas de la Estación El Labrado para 10 y 25 años



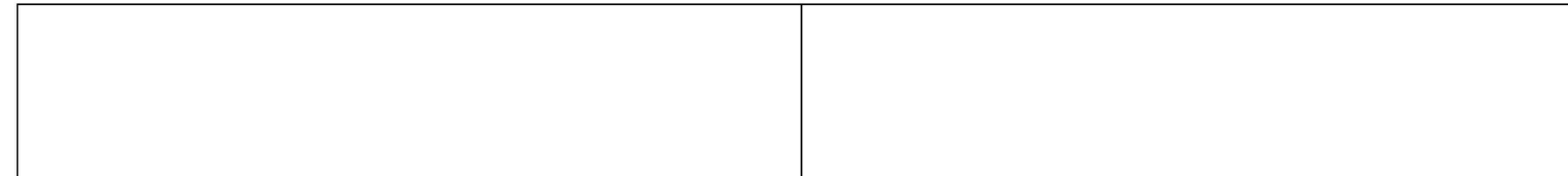
Fuente.- Informe "Actualización del Estudio Hidrológico de la Cuenca Alta del Río Machangara"

Figura A2 Histogramas Quebrada Cerro Negro, Labrado para T=10 años, $t_d=10.8$ y 30 min





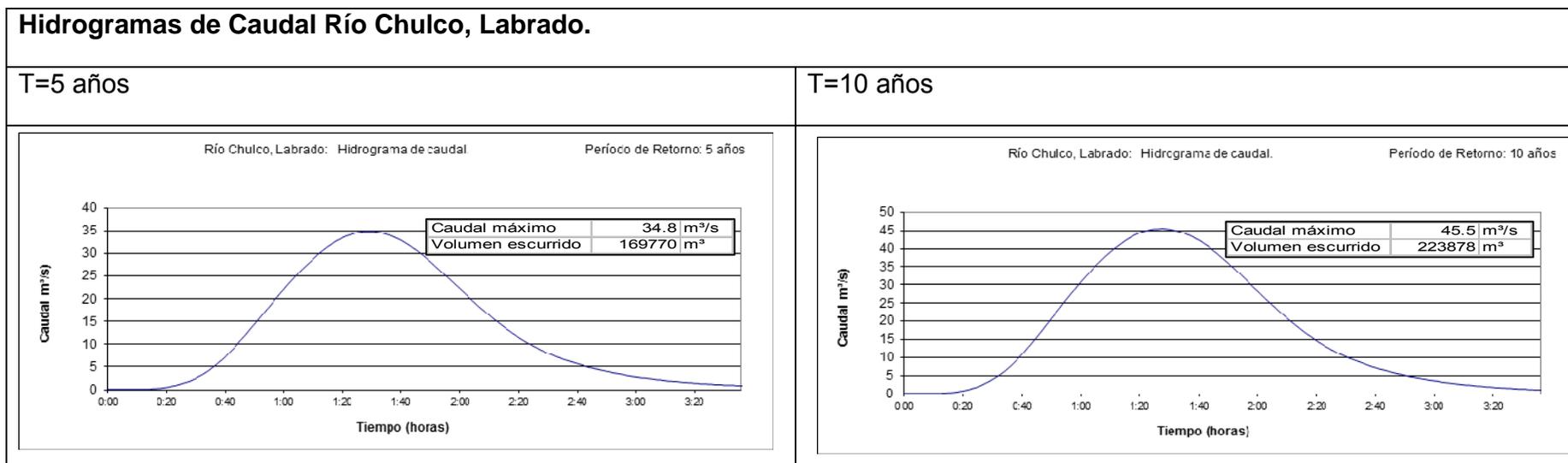
Universidad de Cuenca



Fuente.- Informe “Actualización del Estudio Hidrológico de la Cuenca Alta del Río Machangara”

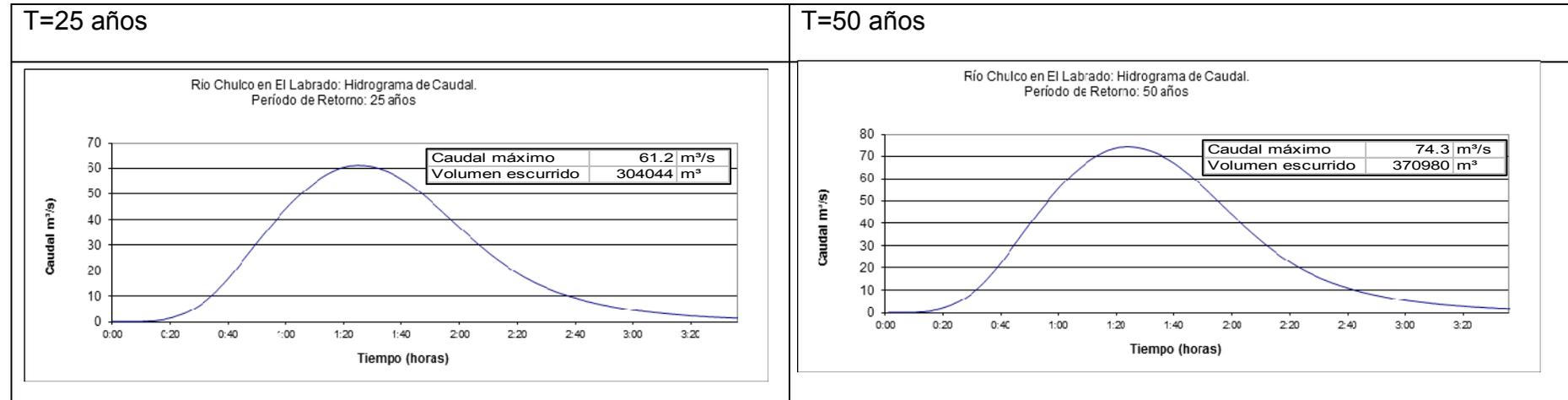
A4. Hidrogramas de Afluentes para el Canal Labrado – Tuñi

Figura A3 Hidrogramas Chulco, Labrado para 5, 10,25 y 50 Años





Universidad de Cuenca



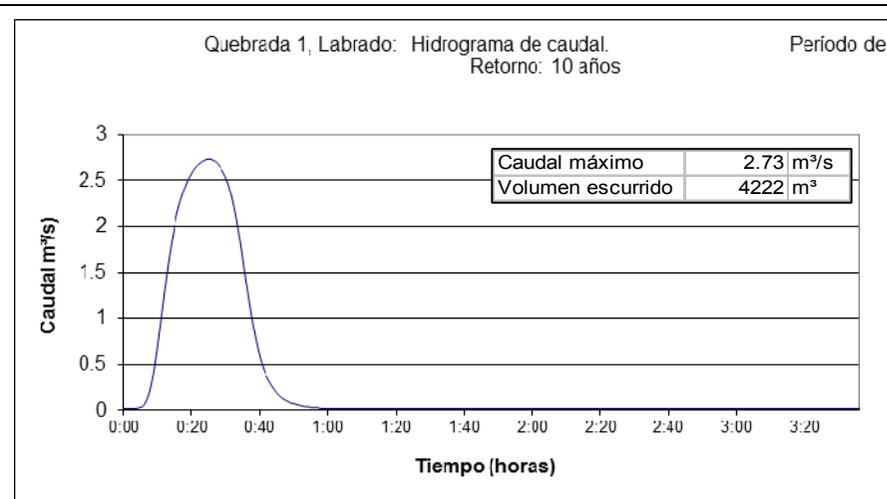
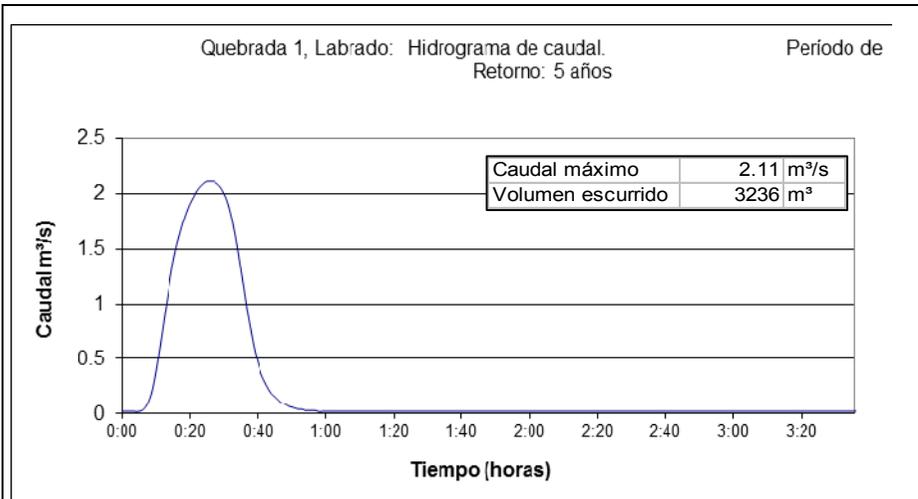
Fuente.- Informe “Actualización del Estudio Hidrológico de la Cuenca Alta del Río Machangara”

Figura A4 Hidrogramas Quebrada Rondador, Labrado para 5,10, 25 y 50 Años

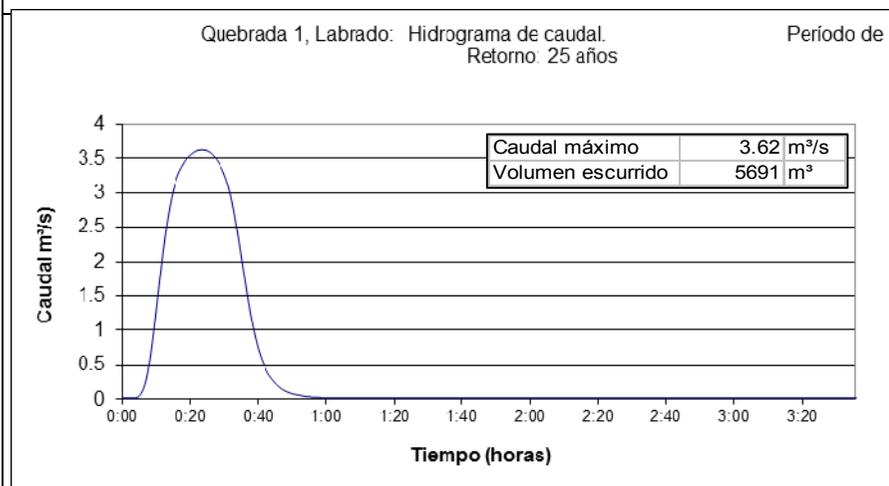
Hidrogramas de Caudal Quebrada Rondador, Labrado.	
T=5 años	T=10 años



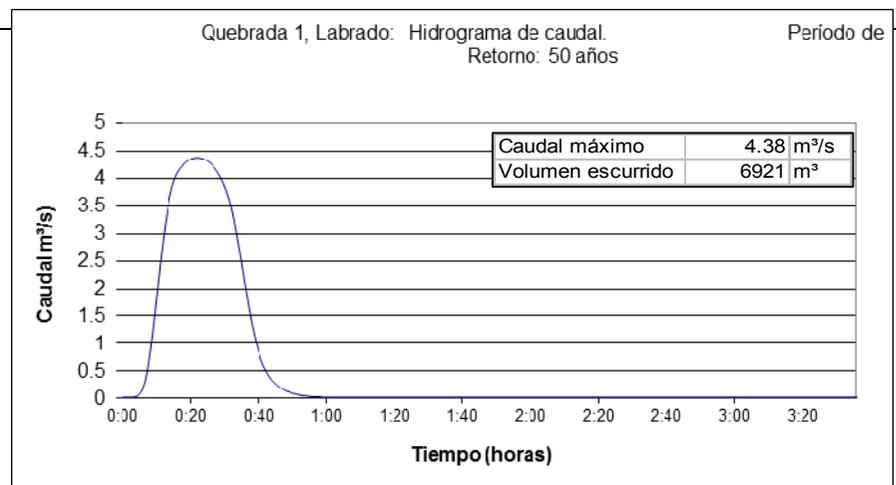
Universidad de Cuenca



T=25 años



T=50 años



Fuente.- Informe "Actualización del Estudio Hidrológico de la Cuenca Alta del Río Machangara"

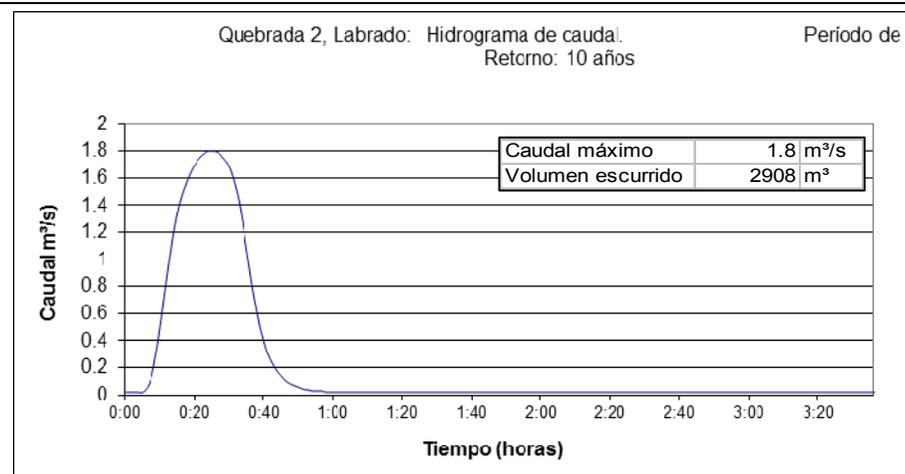
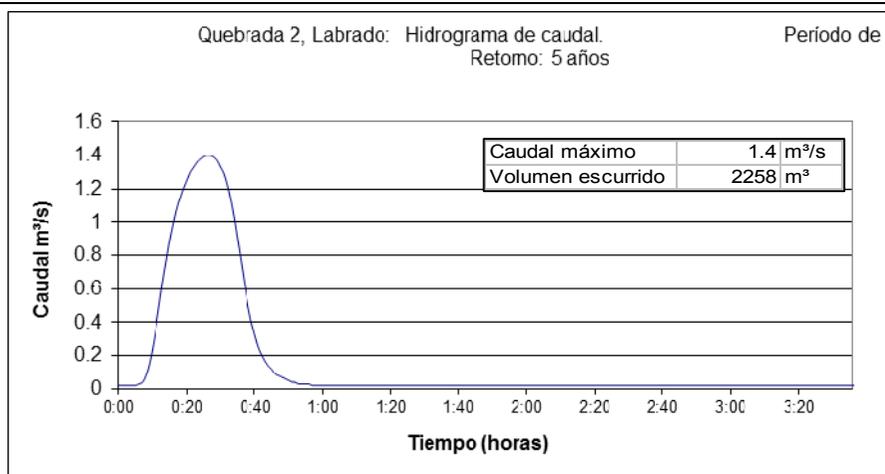


Figura A5 Hidrogramas Quebrada Cerro Negro, Labrado para 5,10, 25 y 50 Años

Hidrogramas de Caudal Quebrada Cerro Negro, Labrado

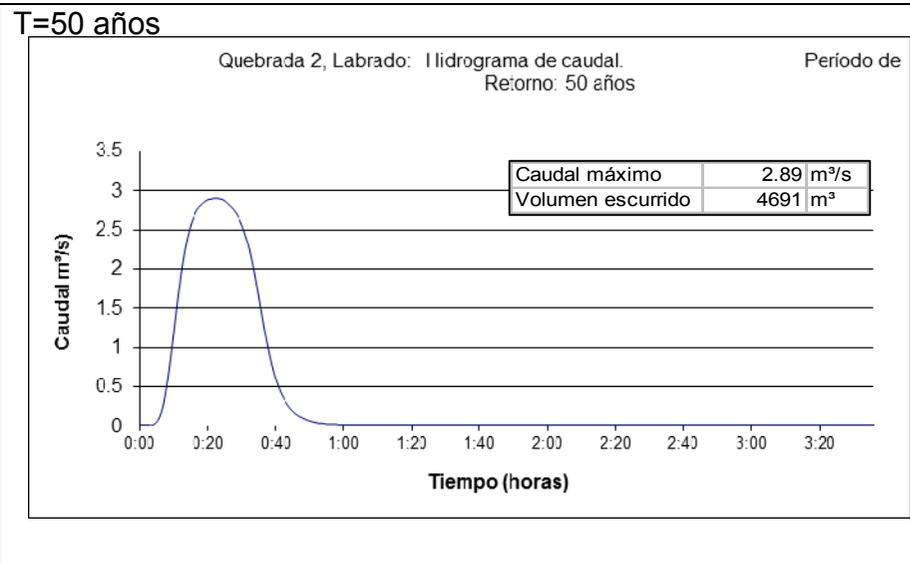
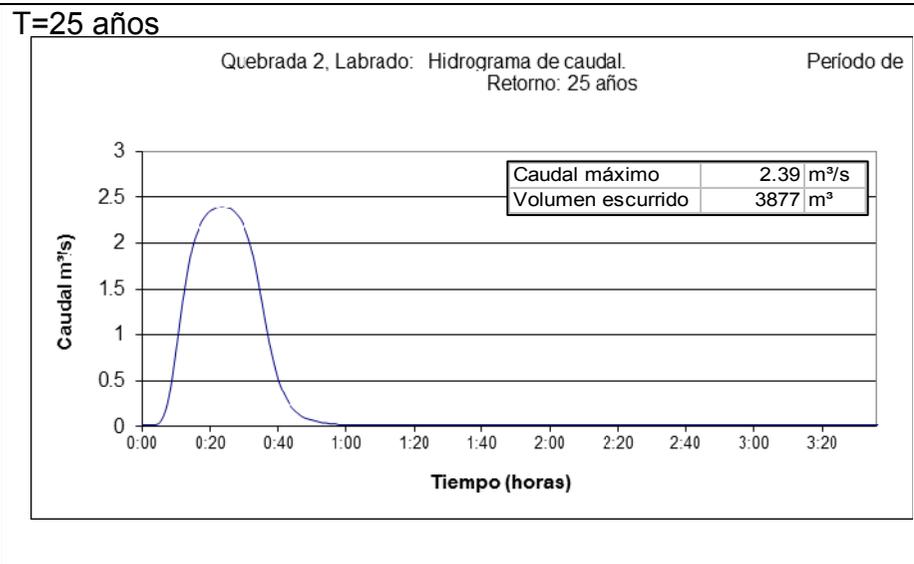
T=5 años

T=10 años





Universidad de Cuenca



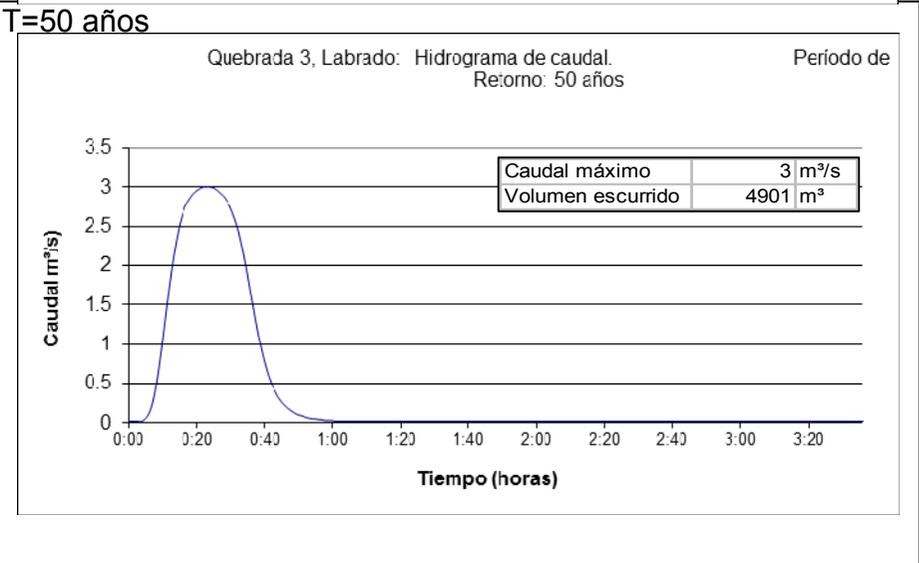
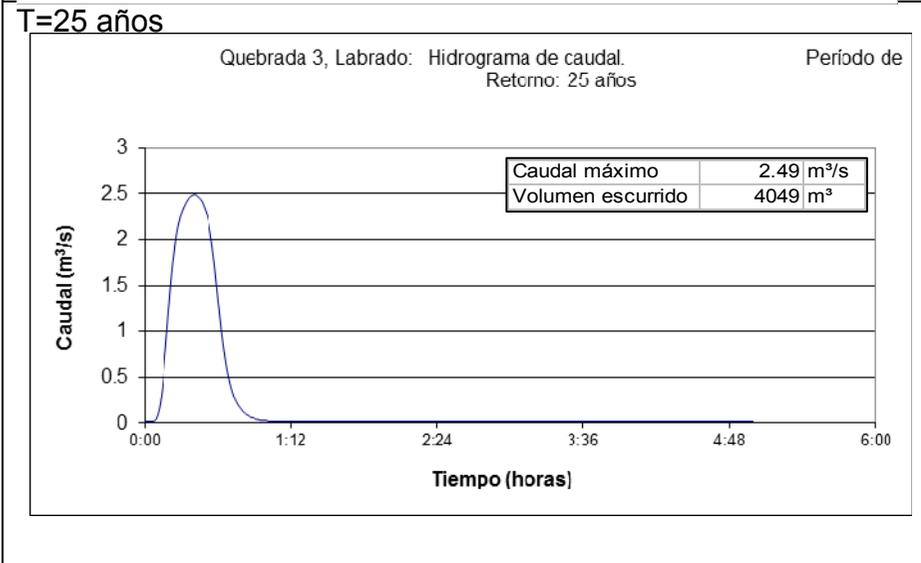
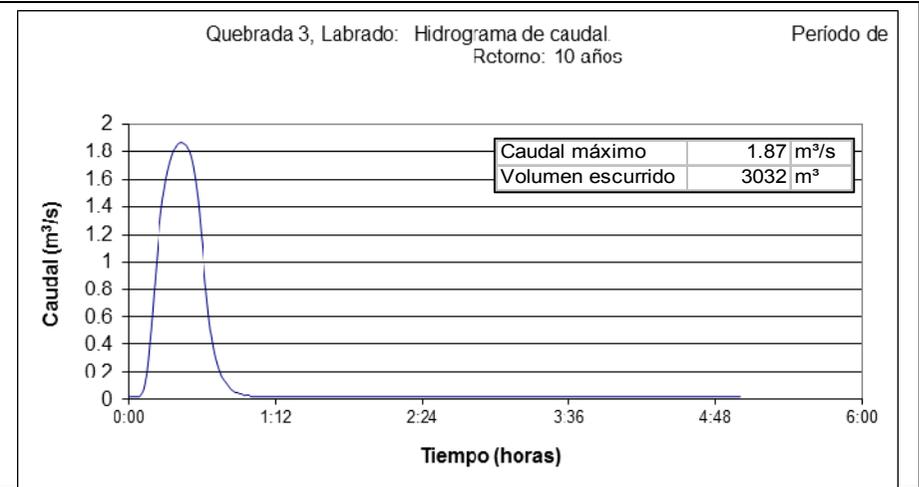
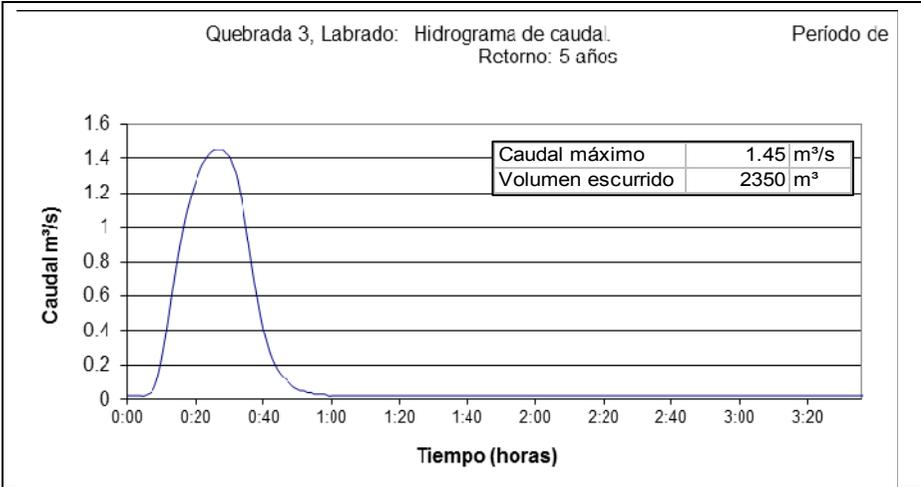
Fuente.- Informe "Actualización del Estudio Hidrológico de la Cuenca Alta del Río Machangara"

Figura A6 Hidrogramas Quebrada 3, Labrado para 5,10, 25 y 50 Años

Hidrogramas de Caudal Quebrada 3, Labrado	
T=5 años	T=10 años



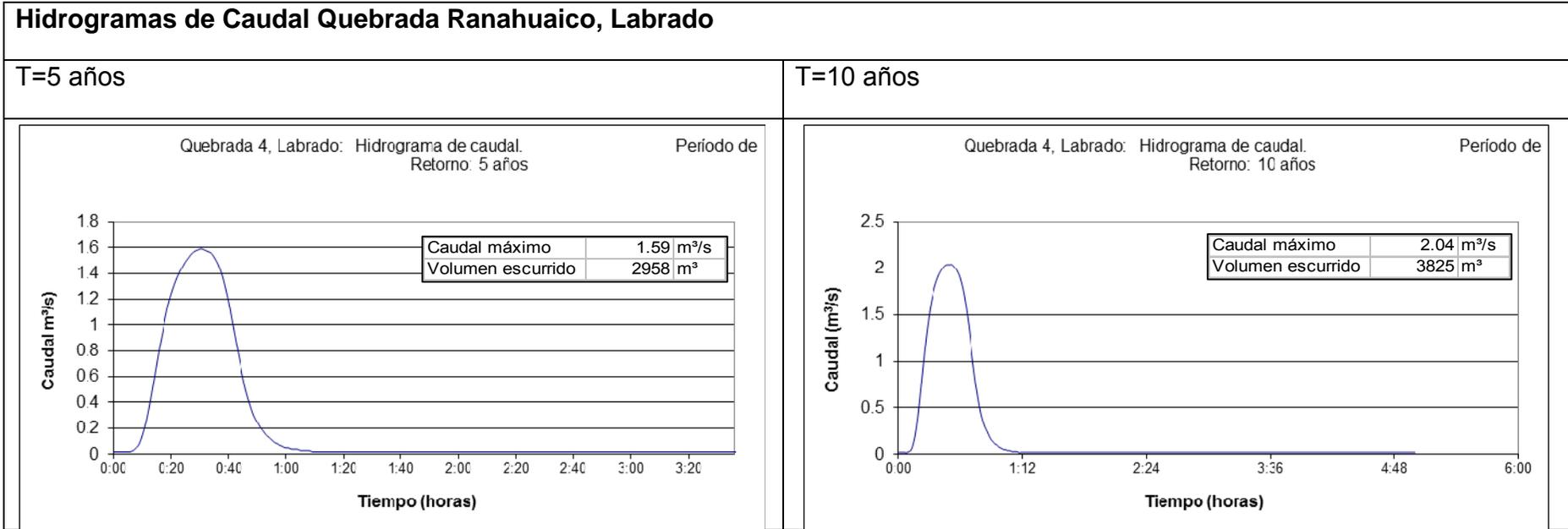
Universidad de Cuenca



Fuente.- Informe "Actualización del Estudio Hidrológico de la Cuenca Alta del Río Machangara"



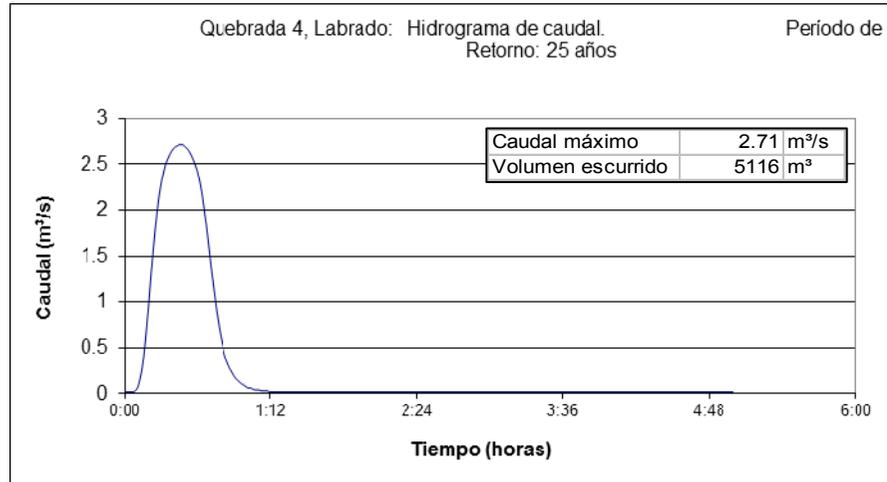
Figura A7 Hidrogramas Quebrada Ranahuaico, Labrado para 5,10, 25 y 50 Años



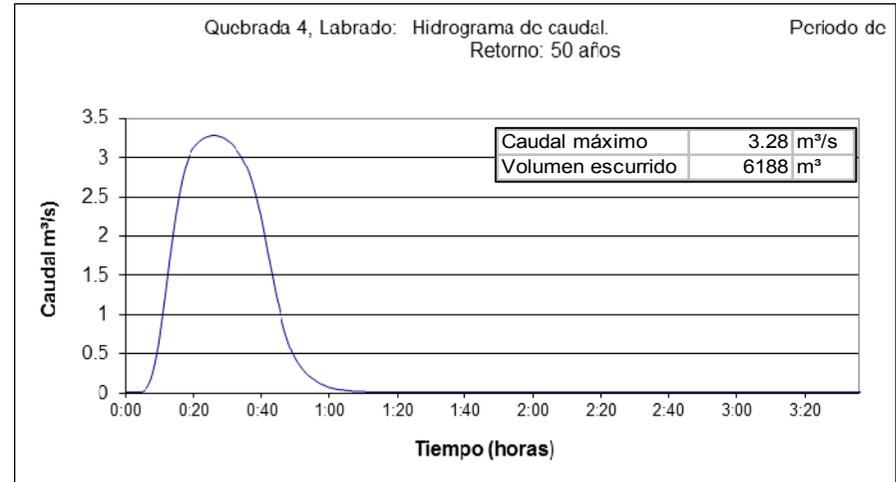


Universidad de Cuenca

T=25 años



T=50 años



Fuente.- Informe "Actualización del Estudio Hidrológico de la Cuenca Alta del Río Machangara"



Universidad de Cuenca
Anexo B

B1. Libreta de nivelación

PUNTO	Lectura atrás	Lectura interior	Lectura adelante	Desnivel	Elevación
7+760	33.81				3416.300
7+750		33.78			3416.303
7+745		33.90			3416.291
7+730		33.66			3416.315
7+705	34.42		33.07	0.07	3416.374
7+665		34.38			3416.378
7+640		34.58			3416.358
7+630		34.54			3416.362
7+615		34.28			3416.388
7+600		34.08			3416.408
7+580		33.60			3416.456
7+510	31.92		32.38	0.20	3416.578
7+430	29.70		28.87	0.31	3416.883
7+420		32.21			3416.632
7+415		32.40			3416.613
7+385		32.20			3416.633
7+375		32.22			3416.631
7+340	31.40		31.64	-0.19	3416.689
7+280		31.45			3416.684
7+240		31.58			3416.671
7+210	37.03		30.65	0.07	3416.764
7+085		35.50			3416.917
7+080	35.60		35.28	0.18	3416.939
7+070		35.55			3416.944
7+060		35.58			3416.941
7+040		35.38			3416.961
7+030		35.34			3416.965
7+010		35.28			3416.971
7+000	36.85		34.99	0.06	3417.000
6+980		37.00			3416.985
6+960		36.32			3417.053
6+945		36.90			3416.995
6+925		36.79			3417.006
6+910		36.94			3416.991
6+890		36.14			3417.071
6+755	35.00		35.80	0.11	3417.105
6+725		34.84			3417.121
6+710		35.05			3417.100
6+695		34.69			3417.136
6+675	32.40		34.13	0.09	3417.192



Universidad de Cuenca

6+650		32.14			3417.218
6+590		32.08			3417.224
6+580		32.15			3417.217
6+550		31.50			3417.282
6+520		31.05			3417.327
6+490	35.12		30.38	0.20	3417.394
6+460		35.04			3417.402
6+430		34.79			3417.427
6+415		35.00			3417.406
6+400		34.91			3417.415
6+385		34.54			3417.452
6+355		34.19			3417.487
6+325		33.58			3417.548
6+290	35.60		32.75	0.24	3417.631
6+280		35.62			3417.629
6+250		35.90			3417.601
6+220		35.53			3417.638
6+195		35.27			3417.664
6+170		35.06			3417.685
6+140		34.29			3417.762
6+110	31.02		33.64	0.20	3417.827
6+080		31.27			3417.802
6+050		31.15			3417.814
6+020		30.86			3417.843
5+990		29.70			3417.959
5+960		29.40			3417.989
5+945	31.90		29.17	0.19	3418.012
5+935		32.08			3417.994
5+920		31.91			3418.011
5+890		31.44			3418.058
5+875	30.75		31.03	0.09	3418.099
5+850		30.70			3418.104
5+720		31.26			3418.048
5+690		30.88			3418.086
5+660		30.72			3418.102
5+630		29.72			3418.202
5+600	33.19		29.40	0.14	3418.234
5+570		33.15			3418.238
5+540		32.50			3418.303
5+525	34.54		31.28	0.19	3418.425
5+500		34.93			3418.386
5+470		34.43			3418.436
5+455		33.89			3418.490
5+350		33.15			3418.564



Universidad de Cuenca

5+300		32.68			3418.611
5+290	30.20		32.47	0.21	3418.632
5+260		30.22			3418.630
5+230		30.14			3418.638
5+210		29.60			3418.692
5+180		29.20			3418.732
5+150	35.65		28.28	0.19	3418.824
5+100		35.32			3418.857
5+070		35.25			3418.864
5+050		35.44			3418.845
4+895		30.47			3419.342
4+845		30.60			3419.329
4+810		29.90			3419.399
4+790		29.67			3419.422
4+750	30.47		28.84	0.68	3419.505
4+735		30.43			3419.509
4+715		30.22			3419.530
4+700		30.25			3419.527
4+660		29.38			3419.614
4+610		28.75			3419.677
4+580		26.63			3419.889
4+560	31.25		27.60	0.29	3419.792
4+540		31.22			3419.795
4+510		31.11			3419.806
4+470		31.05			3419.812
4+440		30.97			3419.820
4+400		30.77			3419.840
4+370		30.05			3419.912
4+350	30.20		29.84	0.14	3419.933
4+320		29.92			3419.961
4+310		30.22			3419.931
4+260		29.77			3419.976
4+240	30.10		29.69	0.05	3419.984
4+220		29.84			3420.010
4+195		30.34			3419.960
4+175	31.57		29.84	0.03	3420.010
4+155		31.30			3420.037
3+925		30.01			3420.166
3+850	28.58		29.82	0.18	3420.185
3+830		28.65			3420.178
3+800		28.15			3420.228
3+780		27.79			3420.264
3+760	30.55		27.48	0.11	3420.295
3+725		30.38			3420.312



Universidad de Cuenca

3+690		30.53			3420.297
3+505		31.43			3420.207
3+490	34.21		30.14	0.04	3420.336
3+475		34.02			3420.355
3+380		32.40			3420.517
3+350		31.97			3420.560
3+320	35.08		31.35	0.29	3420.622
3+295		35.42			3420.588
3+240		34.00			3420.730
3+210		33.83			3420.747
3+170	29.98		33.05	0.20	3420.825
3+160		29.62			3420.861
3+100		29.30			3420.893
3+080	32.27		28.88	0.11	3420.935
3+050		32.18			3420.944
3+025		32.13			3420.949
2+985		31.58			3421.004
2+950	31.43		30.86	0.14	3421.076
2+890		31.35			3421.084
2+880		31.22			3421.097
2+840		30.30			3421.189
2+800		29.52			3421.267
2+770	32.75		29.02	0.24	3421.317
2+730		32.85			3421.307
2+680		32.20			3421.372
2+650		31.45			3421.447
2+620	31.15		30.35	0.24	3421.557
2+600		31.50			3421.522
2+550		31.56			3421.516
2+525		31.23			3421.549
2+475		30.25			3421.647
2+450	31.43		29.82	0.13	3421.690
2+270	32.00		29.15	0.23	3421.918
2+255		32.18			3421.900
2+240		31.98			3421.920
2+190		31.85			3421.933
2+180		31.78			3421.940
2+130		31.01			3422.017
2+100	33.85		30.48	0.15	3422.070
2+075		33.73			3422.082
2+055		33.23			3422.132
2+030		36.26			3421.829
1+940	31.83		33.12	0.07	3422.143
1+915		31.64			3422.162



Universidad de Cuenca

1+795	29.68		30.03	0.18	3422.323
1+765		29.71			3422.320
1+755		29.75			3422.316
1+730	32.11		29.18	0.05	3422.373
1+710		31.91			3422.393
1+690		31.59			3422.425
1+660		30.98			3422.486
1+630		30.69			3422.515
1+580	31.38		29.90	0.22	3422.594
1+550		30.96			3422.636
1+525		30.29			3422.703
1+490		30.10			3422.722
1+470	34.30		29.84	0.15	3422.748
1+445		34.07			3422.771
1+410		32.75			3422.903
1+385	17.02		33.52	0.08	3422.826
1+365		16.91			3422.837
1+350		16.58			3422.870
1+330	25.15		16.23	0.08	3422.905
1+280		24.95			3422.925
1+250		24.93			3422.927
1+215	17.95		24.33	0.08	3422.987
1+200		17.90			3422.992
1+170		17.65			3423.017
1+150		17.75			3423.007
1+110		17.73			3423.009
1+100	18.12		17.45	0.05	3423.037
1+050		18.03			3423.046
1+000		17.97			3423.052
0+950		17.49			3423.100
0+900	19.10		16.58	0.15	3423.191
0+880		19.06			3423.195
0+850		18.82			3423.219
0+800		17.95			3423.306
0+765	37.55		17.20	0.19	3423.381
0+750		37.43			3423.393
0+700		37.50			3423.386
0+650		37.09			3423.427
0+600	37.20		36.19	0.14	3423.517
0+550		36.41			3423.596
0+500	30.52		35.32	0.19	3423.705
0+450		30.48			3423.709
0+400		29.53			3423.804
0+365	38.81		29.00	0.15	3423.857



Universidad de Cuenca

0+350		38.89			3423.849
0+300		38.77			3423.853
0+250	23.92		37.58	0.12	3423.980
0+200		23.99			3423.973
0+180		23.35			3424.037
0+173	23.31	23.32		0.06	3424.040
0+150		23.21			3424.050
0+100		23.11			3424.060
0+050		23.01			3424.070
0+000			23.05	0.03	3424.066

B2. Aforos en el canal

Aforo en la abscisa 0+250

Margen Izquierdo		
Ancho =	0.4667	m
Alto =	1.0670	m
Velocidad V1 =	0.8110	m/s
Vmed =	0.8110	m/s
Area =	0.4979	m ²
Perimetro mojado =	1.5337	m
Pendiente media =	0.0012	m/m
n (manning) =	0.02017731	
Centro		
Ancho =	0.4667	m
Alto =	1.0670	m
Velocidad V1 =	0.8730	m/s
Vmed =	0.8730	m/s
Area =	0.4979	m ²
Perimetro mojado =	1.5337	m
Pendiente media =	0.0012	m/m
n (manning) =	0.01874433	
Margen Derecho		
Ancho =	0.4667	m
Alto =	1.0670	m
Velocidad V1 =	0.8680	m/s
Vmed =	0.8680	m/s
Area =	0.4979	m ²
Perimetro mojado =	0.4667	m



Universidad de Cuenca

Pendiente media =	0.0012	m/m
n (manning) =	0.04167227	

n (manning) ponderado	
n (Gasto total) =	0.02293587
Q total =	1.27072587

Aforo en la abscisa 2+140

Margen Izquierdo		
Ancho =	0.5	m
Alto =	1.18	m
Velocidad		
V1 =	1.097	m/s
V2 =	1.181	m/s
V3 =	1.193	m/s
Vmed =	1.157	m/s
Area =	0.59	m ²
Perimetro mojado =	1.68	m
Pendiente media =	0.0014	m/m
n (manning) =	0.01609753	
Centro		
Ancho =	0.5	m
Alto =	1.18	m
Velocidad		
V1 =	0.954	m/s
V2 =	0.899	m/s
V3 =	0.924	m/s
Vmed =	0.92566667	m/s
Area =	0.59	m ²
Perimetro mojado =	1.68	m
Pendiente media =	0.0014	m/m
n (manning) =	0.02012046	
Margen Derecho		
Ancho =	0.5	m
Alto =	1.18	m
Velocidad		



Universidad de Cuenca

V1 =	1.03	m/s
V2 =	1.004	m/s
V3 =	1.05	m/s
Vmed =	1.028	m/s
Area =	0.59	m ²
Perimetro mojado =	0.5	m
Pendiente media =	0.0014	m/m
n (manning) =	0.04064361	

n (manning) ponderado	
n (Gasto total) =	0.02145799
Q total =	1.83529333

Aforo en la abscisa 7+700

Margen Izquierdo		
Ancho =	0.5	m
Alto =	1.012	m
Velocidad		
V1 =	0.878	m/s
Vmed =	0.878	m/s
Area =	0.506	m ²
Perimetro mojado =	1.512	m
Pendiente media =	0.00063	m/m
n (manning) =	0.01377976	
Centro		
Ancho =	0.5	m
Alto =	1.012	m
Velocidad		
V1 =	1.015	m/s
Vmed =	1.015	m/s
Area =	0.506	m ²
Perimetro mojado =	1.512	m
Pendiente media =	0.00063	m/m
n (manning) =	0.01191983	
Margen Derecho		
Ancho =	0.5	m
Alto =	1.012	m
Velocidad		



Universidad de Cuenca

V1 =	1.044	m/s
Vmed =	1.044	m/s
Area =	0.506	m ²
Perimetro mojado =	0.5	m
Pendiente media =	0.00063	m/m
n (manning) =	0.02423391	

n (manning) ponderado	
n (Gasto total) =	0.01462328
Q total =	1.488122



Universidad de Cuenca

Aforos realizados por ETAPA

ESTACION CANAL LABRADO TUÑI Salida de la Represa de El Labrado

Fecha	H (cm)	Q (m3/s)	Fecha Inicio	Fecha Final	H Inicio	H Final	H Mini	H Maxi	Comentario	Posición Sección
27/09/2011 12:10	120	1.429	27/09/2011 12:10	27/09/2011 12:30	120	120	120	120	aforo realizado en el Canal Labrado Tuñi a la salida de la Represa	0.2
02/11/2011 09:30	62	1.295	02/11/2011 09:30	02/11/2011 09:50	62	62	62	62	aforo realizado en el canal a la salida de la represa de labrado	0.2
02/11/2011 10:40	30	0.208	02/11/2011 10:40	02/11/2011 10:55	30	30	30	30	aforo realizado en el canal Labrado Tuñi salida represa de Labrado	0.2

Perímetro Mojado	Velocidad Media Superficie	Autor Aforo	Autor Procesamiento	Modo Operativo	Modo Procesamiento	Lugar Archivaje	Activado	Ancho (m)	Prof Maxi (m)	Q
1.420	0.790	Ing. Alvarez	Ing. Alvarez	aforo con barras	general	Elecaustro	V	1.420	1.220	1.147594
1.400	1.600	Ing. Alvarez	Ing. Alvarez	aforo con barras	general	Elecaustro	V	1.400	0.640	1.2172



Universidad de Cuenca

1.400	0.540	Ing. Alvarez	Ing. Alvarez	aforo con barras	general	Elecaustro	V	1.400	0.300	0.19278
-------	-------	--------------	--------------	------------------	---------	------------	---	-------	-------	---------

ESTACION CANAL LABRADO TUÑI Llegada al canal de Tuñi

Fecha	H (cm)	Q (m3/s)	Fecha Inicio	Fecha Final	H Inicio	H Final	H Mini	H Maxi	Comentario	Posición Sección
27/09/2011 13:10	120	1.711	27/09/2011 13:10	27/09/2011 13:40	120	120	120	120	aforo realizado en la salida del canal Labrado Tuñi llegada al reservorio de Tuñi	8
02/11/2011 01:07	64	0.428	02/11/2011 01:07	02/11/2011 01:07	64	64	64	64	aforo realizado en la salida del canal Labrado Tuñi y llegada al reservorio de Tuñi	8
02/11/2011 08:35	74	0.622	02/11/2011 08:35	02/11/2011 09:00	74	74	74	74	aforo realizado en el canal Labrado Tuñi salida del canal y llegada al reservorio de Tuñi	8

Perímetro Mojado	Velocidad Media Superficie	Autor Aforo	Autor Procesamiento	Modo Operativo	Modo Procesamiento	Lugar Archivar	Activado	Ancho (m)	Prof Maxi (m)	Q
------------------	----------------------------	-------------	---------------------	----------------	--------------------	----------------	----------	-----------	---------------	---



Universidad de Cuenca

1.440	0.940	Ing Alvarez	Ing Alvarez	aforo con barras	general	Elecaustro	V	1.430	1.220	1.354305
1.410	0.450	Ing Alvarez	Ing Alvarez	aforo con barras	general	Elecaustro	V	1.400	0.700	0.345015
2.040	0.590	Ing Alvarez	Ing Alvarez	aforo con barras	general	Elecaustro	V	1.400	0.740	0.501199



Universidad de Cuenca
B3. Caracterización del canal
Ancho del canal

ABSCISA	ANCHO CANAL
0+000	1.42
0+050	1.42
0+100	1.42
0+150	1.42
0+200	1.42
0+250	1.39
0+300	1.41
0+350	1.42
0+400	1.43
0+450	1.42
0+500	1.41
0+550	1.41
0+600	1.42
0+650	1.44
0+700	1.43
0+750	1.42
0+800	1.40
0+850	1.42
0+900	1.41
0+950	1.41
1+000	1.43
1+050	1.42
1+100	1.40
1+150	1.41
1+200	1.39
1+250	1.40
1+300	1.40
1+350	1.41
1+400	1.41
1+450	1.49
1+500	1.50
1+550	1.49
1+600	1.49
1+650	1.50
1+700	1.50
1+750	1.48
1+800	1.50
1+850	1.49

ABSCISA	ANCHO CANAL
1+950	1.48
2+000	1.47
2+050	1.47
2+100	1.47
2+150	1.49
2+200	1.49
2+250	1.50
2+300	1.50
2+350	1.50
2+400	1.51
2+450	1.51
2+500	1.49
2+550	1.49
2+600	1.48
2+650	1.49
2+700	1.47
2+750	1.50
2+800	1.47
2+850	1.47
2+900	1.47
2+950	1.49
3+000	1.48
3+050	1.48
3+100	1.49
3+150	1.48
3+200	1.45
3+250	1.46
3+300	1.48
3+350	1.47
3+400	1.47
3+450	1.47
3+500	1.47
3+550	1.47
3+600	1.48
3+650	1.49
3+700	1.50
3+750	1.50
3+800	1.50



Universidad de Cuenca

1+900	1.48
-------	------

3+850	1.44
-------	------

ABSCISA	ANCHO CANAL
3+900	1.44
3+950	1.45
4+000	1.45
4+050	1.46
4+100	1.46
4+150	1.47
4+200	1.46
4+250	1.47
4+300	1.46
4+350	1.48
4+400	1.50
4+450	1.47
4+500	1.46
4+550	1.50
4+600	1.48
4+650	1.48
4+700	1.49
4+750	1.50
4+800	1.48
4+850	1.50
4+900	1.41
4+950	1.43
5+000	1.45
5+050	1.47
5+100	1.47
5+150	1.48
5+200	1.42
5+250	1.46
5+300	1.45
5+350	1.49
5+400	1.45
5+450	1.43
5+500	1.50
5+550	1.42
5+600	1.46
5+650	1.45
5+700	1.41
5+750	1.43

ABSCISA	ANCHO CANAL
5+950	1.47
6+000	1.49
6+050	1.49
6+100	1.50
6+150	1.49
6+200	1.50
6+250	1.47
6+300	1.46
6+350	1.48
6+400	1.46
6+450	1.49
6+500	1.47
6+550	1.46
6+600	1.47
6+650	1.46
6+700	1.50
6+750	1.48
6+800	1.48
6+850	1.48
6+900	1.49
6+950	1.49
7+000	1.51
7+050	1.47
7+100	1.46
7+150	1.46
7+200	1.46
7+250	1.45
7+300	1.45
7+350	1.46
7+400	1.49
7+450	1.48
7+500	1.48
7+550	1.49
7+600	1.49
7+650	1.49
7+700	1.47
7+750	1.47



Universidad de Cuenca

5+800	1.47
5+850	1.50
5+900	1.51

Altura y condiciones de las paredes

ABSCISA	ALTURA PAREDES		CONDICIONES PAREDES		CONDICIONES FONDO	OBSERVACIONES	
	DER.	IZQ.	DERECHA	IZQUIERDA			
0+000	1.55	1.55	Poco	Poco	Poco		
0+050	1.55	1.55	Poco	Poco	Poco		
0+100	1.55	1.55	Poco	Poco	Poco		
0+150	1.48	1.48	Tapado				
0+200	1.43	1.44	Moderado	Moderado	Moderado		
0+250	1.59	1.55	Poco	Poco	Poco		
0+300	1.57	1.59	Poco	Poco	Poco		
0+350	1.59	1.60	Poco	Poco	Poco		
0+400	1.39	1.38	Moderado	Moderado	Poco		
0+450	1.61	1.31	Moderado	Moderado	Poco		
0+500	1.44	1.43	Moderado	Moderado	Poco		
0+550	1.41	1.42	Moderado	Moderado	Moderado	Borde izquierdo sin recubrimiento	
0+600	1.44	1.42	Poco	Poco	Poco	Borde izquierdo sin recubrimiento	
0+650	1.45	1.46	Moderado	Moderado	Poco		
0+700	1.45	1.48	Moderado	Moderado	Moderado		
0+750	1.36	1.38	Moderado	Moderado	Moderado		
0+800	1.42	1.43	Moderado	Moderado	Moderado		
0+850	1.44	1.41	Moderado	Moderado	Poco		
0+900	1.31	1.35	Moderado	Moderado	Poco		
0+950	1.40	1.46	Moderado	Moderado	Moderado		
1+000	1.45	1.43	Poco	Poco	Poco		
1+050	1.47	1.45	Poco	Poco	Poco		



Universidad de Cuenca

1+100	1.44	1.41	Moderado	Moderado	Poco	Sedimento en el fondo
1+150	1.42	1.42	Poco	Poco	Poco	Sedimento en el fondo
1+200	1.44	1.48	Moderado	Moderado	Moderado	
1+250	1.46	1.47	Moderado	Moderado	Poco	
1+300	1.43	1.44	Moderado	Moderado	Poco	
1+350	1.43	1.45	Moderado	Moderado	Poco	
1+400	1.40	1.37	Poco	Poco	Nada	Piedras en el fondo
1+450	1.42	1.44	Poco	Poco	Nada	Sedimento en el fondo
1+500	1.45	1.55	Poco	Poco	Nada	Sedimento y piedras en el fondo
1+550	1.41	1.43	Poco	Poco	Nada	Sedimento y piedras en el fondo
1+600	1.52	1.46	Moderado	Moderado	Nada	Sedimento en el fondo
1+650	1.42	1.42	Poco	Poco	Nada	Sedimento y piedras en el fondo
1+700	1.45	1.42	Moderado	Moderado	Poco	Piedras en el fondo
1+750	1.48	1.45	Moderado	Moderado	Poco	
1+800	1.44	1.45	Moderado	Moderado	Nada	Sedimento en el fondo
1+850	1.45	1.45	Tapado			
1+900	1.45	1.45	Tapado			
1+950	1.45	1.45	Tapado			
2+000	1.45	1.45	Tapado			
2+050	1.46	1.45	Moderado	Moderado	Poco	
2+100	1.43	1.45	Poco	Poco	Poco	
2+150	1.45	1.44	Moderado	Moderado	Poco	
2+200	1.45	1.40	Moderado	Moderado	Poco	
2+250	1.46	1.48	Moderado	Moderado	Poco	Sobre borde izquierdo mucha vegetación
2+300	1.45	1.45	Tapado			
2+350	1.45	1.45	Tapado			
2+400	1.45	1.45	Tapado			
2+450	1.45	1.44	Moderado	Moderado	Poco	
2+500	1.41	1.41	Moderado	Moderado	Poco	



Universidad de Cuenca

			do	o			
2+550	1.46	1.45	Moderado	Moderado	Poco		
2+600	1.47	1.45	Moderado	Moderado	Poco		
2+650	1.51	1.54	Moderado	Moderado	Poco		
2+700	1.47	1.46	Moderado	Moderado	Poco		
2+750	1.47	1.47	Moderado	Moderado	Poco		
2+800	1.44	1.49	Moderado	Mucho	Poco		
2+850	1.51	1.41	Moderado	Moderado	Poco		
2+900	1.54	1.45	Moderado	Moderado	Poco		
2+950	1.39	1.41	Moderado	Moderado	Poco		
3+000	1.42	1.44	Moderado	Moderado	Poco		
3+050	1.46	1.45	Moderado	Moderado	Poco		
3+100	1.45	1.47	Poco	Poco	Poco		
3+150	1.39	1.38	Moderado	Moderado	Poco		
3+200	1.45	1.44	Moderado	Moderado	Poco	Sedimento en el fondo	
3+250	1.45	1.45	Tapado				
3+300	1.44	1.44	Moderado	Moderado	Poco	Vegetación sobre bordes	
3+350	1.37	1.40	Moderado	Moderado	Poco		
3+400	1.38	1.42	Tapado				
3+450	1.38	1.44	Tapado				
3+500	1.56	1.55	Poco	Poco	Nada		
3+550	1.59	1.60	Tapado				
3+600	1.57	1.59	Tapado				
3+650	1.43	1.44	Tapado				
3+700	1.44	1.43	Moderado	Moderado	Poco		
3+750	1.42	1.43	Moderado	Moderado	Poco		
3+800	1.43	1.45	Moderado	Moderado	Moderado		
3+850	1.42	1.33	Moderado	Moderado	Poco	Sedimento en el fondo	



Universidad de Cuenca

3+900	1.42	1.40	Tapado			
3+950	1.42	1.43	Tapado			
4+000	1.43	1.44	Tapado			
4+050	1.44	1.45	Tapado			
4+100	1.44	1.47	Tapado			
4+150	1.45	1.49	Moderado	Moderado	Poco	Sedimento en el fondo, sin recubrimiento borde derecho
4+200	1.49	1.48	Moderado	Moderado	Poco	
4+250	1.45	1.43	Moderado	Moderado	Poco	
4+300	1.43	1.44	Moderado	Moderado	Poco	
4+350	1.46	1.47	Moderado	Moderado	Moderado	
4+400	1.46	1.44	Moderado	Moderado	Poco	
4+450	1.47	1.43	Moderado	Moderado	Poco	
4+500	1.42	1.41	Moderado	Moderado	Poco	
4+550	1.44	1.45	Moderado	Moderado	Poco	Sedimento en el fondo
4+600	1.47	1.45	Moderado	Moderado	Nada	Piedras en el fondo
4+650	1.44	1.46	Moderado	Moderado	Nada	Piedras en el fondo
4+700	1.41	1.45	Moderado	Moderado	Nada	Sedimento en el fondo
4+750	1.46	1.36	Moderado	Moderado	Poco	Sedimento en el fondo
4+800	1.82	1.74	Moderado	Moderado	Poco	Borde izquierdo sin recubrimiento
4+850	1.77	1.74	Moderado	Moderado	Poco	
4+900	1.75	1.76	Moderado	Moderado	Poco	
4+950	1.60	1.61	Tapado			
5+000	1.53	1.55	Tapado			
5+050	1.49	1.50	Moderado	Moderado	Poco	
5+100	1.52	1.49	Moderado	Moderado	Nada	Piedras en el fondo
5+150	1.48	1.44	Moderado	Moderado	Nada	Sedimento en el fondo
5+200	1.43	1.46	Moderado	Moderado	Poco	



Universidad de Cuenca

			do	o		
5+250	1.45	1.44	Moderado	Moderado	Poco	
5+300	1.39	1.43	Moderado	Moderado	Poco	
5+350	1.38	1.37	Moderado	Moderado	Moderado	
5+400	1.70	1.70	Tapado			
5+450	1.85	1.84	Moderado	Moderado	Poco	
5+500	1.87	1.74	Moderado	Moderado	Poco	
5+550	1.90	1.87	Moderado	Moderado	Poco	
5+600	1.86	1.90	Moderado	Moderado	Poco	
5+650	1.91	1.80	Moderado	Moderado	Poco	
5+700	1.96	1.93	Moderado	Moderado	Moderado	
5+750	1.88	1.86	Tapado			
5+800	1.55	1.54	Tapado			
5+850	1.45	1.46	Moderado	Moderado	Poco	
5+900	1.43	1.45	Moderado	Moderado	Nada	Sedimento y piedras en el fondo, sin recubrimiento ambos bordes
5+950	1.46	1.45	Moderado	Moderado	Poco	
6+000	1.43	1.43	Moderado	Moderado	Nada	Piedras en el fondo
6+050	1.47	1.45	Moderado	Moderado	Poco	
6+100	1.44	1.43	Moderado	Moderado	Poco	
6+150	1.46	1.44	Moderado	Moderado	Poco	Bordes sin recubrimiento
6+200	1.49	1.45	Moderado	Moderado	Nada	Piedras en el fondo
6+250	1.46	1.48	Moderado	Moderado	Poco	Piedras en el fondo
6+300	1.46	1.46	Tapado			
6+350	1.48	1.45	Moderado	Moderado	Poco	
6+400	1.50	1.44	Moderado	Moderado	Moderado	



Universidad de Cuenca

6+450	1.44	1.45	Moderado	Moderado	Nada	Sedimento en el fondo	
6+500	1.46	1.46	Moderado	Moderado	Moderado		
6+550	1.43	1.45	Poco	Poco	Poco		
6+600	1.44	1.41	Moderado	Moderado	Poco		
6+650	1.45	1.46	Moderado	Moderado	Moderado		
6+700	1.47	1.47	Moderado	Moderado	Poco		
6+750	1.47	1.46	Mucho	Mucho	Moderado		
6+800	1.46	1.44	Tapado				
6+850	1.45	1.43	Tapado				
6+900	1.45	1.42	Tapado				
6+950	1.44	1.40	Mucho	Mucho	Poco	Sedimento y piedras en el fondo	
7+000	1.47	1.45	Moderado	Moderado	Poco		
7+050	1.46	1.42	Moderado	Moderado	Poco		
7+100	1.45	1.43	Tapado				
7+150	1.45	1.44	Tapado				
7+200	1.45	1.45	Tapado				
7+250	1.48	1.45	Mucho	Mucho	Poco		
7+300	1.47	1.46	Tapado				
7+350	1.47	1.44	Moderado	Moderado	Poco	Piedras en el fondo	
7+400	1.43	1.42	Mucho	Mucho	Moderado		
7+450	1.43	1.43	Tapado				
7+500	1.42	1.44	Tapado				
7+550	1.44	1.46	Tapado				
7+600	1.45	1.48	Moderado	Moderado	Poco		
7+650	1.45	1.40	Mucho	Mucho	Moderado		
7+700	1.46	1.44	Mucho	Mucho	Moderado		
7+750	1.48	1.48	Mucho	Mucho	Moderado		



Cotas de fondo y paredes del canal

ABSCISA	ELEVACION	ELEV. PARED DER.	ELEV. PARED IZQ.
0+000	3424.070	3425.620	3425.620
0+050	3424.070	3425.620	3425.620
0+100	3424.060	3425.610	3425.610
0+150	3424.050	3425.530	3425.530
0+200	3423.973	3425.403	3425.413
0+250	3423.980	3425.570	3425.530
0+300	3423.853	3425.423	3425.443
0+350	3423.849	3425.439	3425.449
0+400	3423.804	3425.194	3425.184
0+450	3423.709	3425.319	3425.019
0+500	3423.705	3425.145	3425.135
0+550	3423.596	3425.006	3425.016
0+600	3423.517	3424.957	3424.937
0+650	3423.427	3424.877	3424.887
0+700	3423.386	3424.836	3424.866
0+750	3423.393	3424.753	3424.773
0+800	3423.306	3424.726	3424.736
0+850	3423.219	3424.659	3424.629
0+900	3423.191	3424.501	3424.541
0+950	3423.100	3424.500	3424.560
1+000	3423.052	3424.502	3424.482
1+050	3423.046	3424.516	3424.496
1+100	3423.037	3424.477	3424.447
1+150	3423.007	3424.427	3424.427
1+200	3422.992	3424.432	3424.472
1+250	3422.927	3424.387	3424.397
1+300	3422.917	3424.347	3424.357
1+350	3422.870	3424.300	3424.320
1+400	3422.872	3424.272	3424.242
1+450	3422.766	3424.186	3424.206
1+500	3422.717	3424.167	3424.267



Universidad de Cuenca

1+550	3422.636	3424.046	3424.066
1+600	3422.562	3424.082	3424.022
1+650	3422.496	3423.916	3423.916
1+700	3422.409	3423.859	3423.829
1+750	3422.327	3423.807	3423.777
1+800	3422.316	3423.756	3423.766
1+850	3422.249	3423.699	3423.699
1+900	3422.182	3423.632	3423.632
1+950	3422.108	3423.558	3423.558
2+000	3421.934	3423.384	3423.384
2+050	3422.071	3423.531	3423.521
2+100	3422.070	3423.500	3423.520
2+150	3421.986	3423.436	3423.426
2+200	3421.930	3423.380	3423.330
2+250	3421.907	3423.367	3423.387
2+300	3421.880	3423.330	3423.330
2+350	3421.817	3423.267	3423.267
2+400	3421.753	3423.203	3423.203
2+450	3421.690	3423.140	3423.130
2+500	3421.598	3423.008	3423.008
2+550	3421.516	3422.976	3422.966
2+600	3421.522	3422.992	3422.972
2+650	3421.447	3422.957	3422.987
2+700	3421.346	3422.816	3422.806
2+750	3421.312	3422.782	3422.782
2+800	3421.267	3422.707	3422.757
2+850	3421.166	3422.676	3422.576
2+900	3421.083	3422.623	3422.533
2+950	3421.076	3422.466	3422.486
3+000	3420.983	3422.403	3422.423
3+050	3420.944	3422.404	3422.394
3+100	3420.893	3422.343	3422.363
3+150	3420.886	3422.276	3422.266
3+200	3420.767	3422.217	3422.207
3+250	3420.704	3422.154	3422.154
3+300	3420.595	3422.035	3422.035
3+350	3420.560	3421.930	3421.960
3+400	3420.483	3421.863	3421.903
3+450	3420.398	3421.778	3421.838
3+500	3420.250	3421.810	3421.800
3+550	3420.229	3421.819	3421.829
3+600	3420.253	3421.823	3421.843
3+650	3420.278	3421.708	3421.718



Universidad de Cuenca

3+700	3420.301	3421.741	3421.731
3+750	3420.300	3421.720	3421.730
3+800	3420.228	3421.658	3421.678
3+850	3420.185	3421.605	3421.515
3+900	3420.172	3421.592	3421.572
3+950	3420.152	3421.572	3421.582
4+000	3420.124	3421.554	3421.564
4+050	3420.096	3421.536	3421.546
4+100	3420.068	3421.508	3421.538
4+150	3420.040	3421.490	3421.530
4+200	3419.970	3421.460	3421.450
4+250	3419.980	3421.430	3421.410
4+300	3419.940	3421.370	3421.380
4+350	3419.933	3421.393	3421.403
4+400	3419.840	3421.300	3421.280
4+450	3419.817	3421.287	3421.247
4+500	3419.808	3421.228	3421.218
4+550	3419.794	3421.234	3421.244
4+600	3419.748	3421.218	3421.198
4+650	3419.627	3421.067	3421.087
4+700	3419.527	3420.937	3420.977
4+750	3419.505	3420.965	3420.865
4+800	3419.411	3421.231	3421.151
4+850	3419.330	3421.100	3421.070
4+900	3419.326	3421.076	3421.086
4+950	3419.166	3420.766	3420.776
5+000	3419.005	3420.535	3420.555
5+050	3418.845	3420.335	3420.345
5+100	3418.857	3420.377	3420.347
5+150	3418.824	3420.304	3420.264
5+200	3418.760	3420.190	3420.220
5+250	3418.760	3420.210	3420.200
5+300	3418.611	3420.001	3420.041
5+350	3418.564	3419.944	3419.934
5+400	3418.529	3420.229	3420.229
5+450	3418.494	3420.344	3420.334
5+500	3418.386	3420.256	3420.126
5+550	3418.281	3420.181	3420.151
5+600	3418.234	3420.094	3420.134
5+650	3418.135	3420.045	3419.935
5+700	3418.073	3420.033	3420.003
5+750	3418.061	3419.941	3419.921
5+800	3418.082	3419.632	3419.622



Universidad de Cuenca

5+850	3418.104	3419.554	3419.564
5+900	3418.042	3419.472	3419.492
5+950	3418.004	3419.464	3419.454
6+000	3417.920	3419.350	3419.350
6+050	3417.814	3419.284	3419.264
6+100	3417.819	3419.259	3419.249
6+150	3417.736	3419.196	3419.176
6+200	3417.659	3419.149	3419.109
6+250	3417.601	3419.061	3419.081
6+300	3417.607	3419.067	3419.067
6+350	3417.497	3418.977	3418.947
6+400	3417.415	3418.915	3418.855
6+450	3417.410	3418.850	3418.860
6+500	3417.372	3418.832	3418.832
6+550	3417.282	3418.712	3418.732
6+600	3417.223	3418.663	3418.633
6+650	3417.218	3418.668	3418.678
6+700	3417.124	3418.594	3418.594
6+750	3417.108	3418.578	3418.568
6+800	3417.094	3418.554	3418.534
6+850	3417.081	3418.531	3418.511
6+900	3417.031	3418.481	3418.451
6+950	3417.014	3418.454	3418.414
7+000	3417.000	3418.470	3418.450
7+050	3416.951	3418.411	3418.371
7+100	3416.899	3418.349	3418.329
7+150	3416.837	3418.287	3418.277
7+200	3416.776	3418.226	3418.226
7+250	3416.674	3418.154	3418.124
7+300	3416.686	3418.156	3418.146
7+350	3416.672	3418.142	3418.112
7+400	3416.623	3418.053	3418.043
7+450	3416.807	3418.237	3418.237
7+500	3416.616	3418.036	3418.056
7+550	3416.508	3417.948	3417.968
7+600	3416.408	3417.858	3417.888
7+650	3416.366	3417.816	3417.766
7+700	3416.375	3417.835	3417.815
7+750	3416.303	3417.783	3417.783



Secciones del canal con su respectivo Coeficiente de Rugosidad

ABSCISA	TIPO SECCION	n MANNING
0+000	2	0.0229
0+050	2	0.0229
0+100	2	0.0229
0+150	2	0.0229
0+200	2	0.0229
0+250	2	0.0229
0+300	2	0.0229
0+350	2	0.0229
0+400	2	0.0229
0+450	2	0.0229
0+500	2	0.0229
0+550	2	0.0229
0+600	2	0.0229
0+650	3A	0.0230
0+700	2	0.0229
0+750	2	0.0229
0+800	2	0.0229
0+850	2	0.0229
0+900	2	0.0229
0+950	2	0.0229
1+000	2	0.0229
1+050	2	0.0229
1+100	2	0.0229
1+150	2	0.0229



Universidad de Cuenca

1+200	2	0.0229
1+250	2	0.0229
1+300	2	0.0229
1+350	2	0.0229
1+400	2	0.0229
1+450	2	0.0229
1+500	3A	0.0230
1+550	1A	0.0175
1+600	1A	0.0175
1+650	3A	0.0230
1+700	1A	0.0175
1+750	1A	0.0175
1+800	1A	0.0175
1+850	1A	0.0175
1+900	1A	0.0175
1+950	1A	0.0175
2+000	1A	0.0175
2+050	1A	0.0175
2+100	3A	0.0230
2+150	1A	0.0175
2+200	1A	0.0175
2+250	3A	0.0230
2+300	3A	0.0230
2+350	1A	0.0175
2+400	1A	0.0175
2+450	1A	0.0175
2+500	1A	0.0175
2+550	1A	0.0175
2+600	1A	0.0175
2+650	3A	0.0230
2+700	1A	0.0175
2+750	1A	0.0175
2+800	1A	0.0175
2+850	1A	0.0175
2+900	3A	0.0230
2+950	1A	0.0175
3+000	1A	0.0175
3+050	1A	0.0175
3+100	1A	0.0175
3+150	3A	0.0230
3+200	1A	0.0175
3+250	1A	0.0175
3+300	1A	0.0175



Universidad de Cuenca

3+350	1A	0.0175
3+400	1A	0.0175
3+450	1A	0.0175
3+500	3A	0.0230
3+550	1A	0.0175
3+600	1A	0.0175
3+650	1A	0.0175
3+700	1A	0.0175
3+750	1A	0.0175
3+800	1A	0.0175
3+850	1A	0.0175
3+900	3A	0.0230
3+950	1A	0.0175
4+000	1A	0.0175
4+050	1A	0.0175
4+100	1A	0.0175
4+150	1A	0.0175
4+200	3B	0.0235
4+250	1A	0.0175
4+300	1A	0.0175
4+350	1A	0.0175
4+400	1A	0.0175
4+450	1A	0.0175
4+500	3A	0.0230
4+550	1A	0.0175
4+600	3B	0.0235
4+650	1A	0.0175
4+700	1A	0.0175
4+750	1A	0.0175
4+800	1A	0.0175
4+850	1A	0.0175
4+900	1A	0.0175
4+950	1A	0.0175
5+000	1A	0.0175
5+050	1A	0.0175
5+100	1A	0.0175
5+150	1A	0.0175
5+200	1A	0.0175
5+250	1A	0.0175
5+300	1A	0.0175
5+350	1A	0.0175
5+400	1A	0.0175
5+450	1A	0.0175



Universidad de Cuenca

5+500	1A	0.0175
5+550	1A	0.0175
5+600	1A	0.0175
5+650	1A	0.0175
5+700	1A	0.0175
5+750	1A	0.0175
5+800	1A	0.0175
5+850	1A	0.0175
5+900	1A	0.0175
5+950	1A	0.0175
6+000	1B	0.0173
6+050	1B	0.0173
6+100	1B	0.0173
6+150	1B	0.0173
6+200	1B	0.0173
6+250	1B	0.0173
6+300	3A	0.0230
6+350	1B	0.0173
6+400	1B	0.0173
6+450	1B	0.0173
6+500	1B	0.0173
6+550	1B	0.0173
6+600	1B	0.0173
6+650	1B	0.0173
6+700	1B	0.0173
6+750	1B	0.0173
6+800	1B	0.0173
6+850	1B	0.0173
6+900	1B	0.0173
6+950	1B	0.0173
7+000	1B	0.0173
7+050	1B	0.0173
7+100	1B	0.0173
7+150	1B	0.0173
7+200	1B	0.0173
7+250	1B	0.0173
7+300	1B	0.0173
7+350	1B	0.0173
7+400	1B	0.0173
7+450	3A	0.0230
7+500	1B	0.0173
7+550	1B	0.0173
7+600	1B	0.0173



7+650	1B	0.0173
7+700	1B	0.0173
7+750	1B	0.0173

Tramos del canal con tapa de hormigón

Tramos del canal con Tapa de Hormigón			
Inicio	Fin	Longitud (m)	Observaciones
0+130.0	0+172.5	42.5	Túnel
1+819.0	1+907.3	88.3	
1+941.0	2+017.5	76.5	
2+288.5	2+446.3	157.8	
2+898.0	2+945.5	47.5	
3+082.1	3+098.0	15.9	
3+117.5	3+170.0	52.5	
3+240.2	3+285.6	45.4	
3+295.0	3+312.5	17.5	



Universidad de Cuenca

3+386.0	3+471.0	85.0	
3+512.0	3+680.5	168.5	
3+852.0	4+146.6	294.6	Tapa curva
4+913.8	5+048.5	134.7	
5+345.8	5+371.4	25.6	
5+723.3	5+844.2	120.9	Paredes elevadas, tapa nueva
6+292.3	6+323.0	30.7	
6+605.4	6+642.6	37.2	
6+654.8	6+670.0	15.2	
6+758.0	6+886.0	128.0	
6+899.6	6+906.6	7.0	
7+090.5	7+207.0	116.5	
7+290.2	7+337.5	47.3	
7+434.7	7+509.8	75.1	
Total Tapado		1830.2	

Aportes intermedios de agua en el canal

Caudales de ingreso al canal			
Abscisa	Nombre	Caudal (l/s)	Fotografía



Universidad de Cuenca

0+630		2	
1+480	Quebrada Rondador	8	
2+068	Quebrada Cerro Negro	6	
2+260		2.5	
2+293		0.6	



Universidad de Cuenca

2+638		0.5	
2+903	Quebrada Cuchihuaico	2	
3+132		2	
3+520	Quebrada Labrado 3	10	
4+206	Quebrada Ranahuaico	3	
4+507		0.5	



Universidad de Cuenca

4+572		2	
4+763		0.3	
6+289		3	
7+429		0.3	
Total		42.7	



Estructuras del canal

Abcisa	Estructura	Ancho (m)	Fotografía
1+388	Vertedero de excesos	9.30	
2+055	Compuerta	1.00	
3+077	Compuerta	1.00	
3+508	Vertedero de excesos	5.60	
3+513	Compuerta	1.00	
5+354	Compuerta	0.90	
6+264	Vertedero de excesos	9.20	



Universidad de Cuenca

6+273	Compuerta	1.00
-------	-----------	------

B4. Altura a elevar de paredes para un caudal de 3 m³/s

Abcisas	Elevación real	Elevación necesaria	Altura a elevar
0+050	3425.62	3426.40	0.78
0+100	3425.61	3426.35	0.74
0+150	3425.53	3426.30	0.77
0+200	3425.40	3426.20	0.80
0+250	3425.54	3426.15	0.61
0+300	3425.44	3426.10	0.66
0+350	3425.45	3426.05	0.60
0+400	3425.18	3426.00	0.82
0+450	3425.32	3425.90	0.58
0+500	3425.15	3425.85	0.70
0+550	3425.02	3425.80	0.78
0+600	3424.96	3425.75	0.79
0+650	3424.89	3425.70	0.81
0+700	3424.87	3425.65	0.78
0+750	3424.77	3425.55	0.78
0+800	3424.74	3425.50	0.76
0+850	3424.66	3425.45	0.79
0+900	3424.54	3425.40	0.86
0+950	3424.56	3425.35	0.79
1+000	3424.49	3425.30	0.81
1+050	3424.52	3425.25	0.73
1+100	3424.48	3425.20	0.72
1+150	3424.43	3425.10	0.67
1+200	3424.47	3425.00	0.53
1+250	3424.40	3424.95	0.55
1+300	3424.36	3424.90	0.54
1+350	3424.32	3424.80	0.48
1+400	3424.27	3424.65	0.38
1+450	3424.20	3424.60	0.40
1+500	3424.25	3424.55	0.30
1+550	3424.07	3424.50	0.43
1+600	3424.05	3424.45	0.40
1+650	3423.92	3424.40	0.48
1+700	3423.86	3424.35	0.49
1+750	3423.80	3424.30	0.50
1+800	3423.77	3424.25	0.48
1+850	3423.70	3424.20	0.50



Universidad de Cuenca

1+900	3423.63	3424.15	0.52
1+950	3423.56	3424.10	0.54
2+000	3423.40	3424.05	0.65
2+050	3423.52	3424.01	0.49
2+100	3423.52	3423.95	0.43
2+150	3423.43	3423.90	0.47
2+200	3423.38	3423.85	0.47
2+250	3423.37	3423.80	0.43
2+300	3423.33	3423.75	0.42
2+350	3423.27	3423.70	0.43
2+400	3423.20	3423.65	0.45
2+450	3423.13	3423.60	0.47
2+500	3423.01	3423.55	0.54
2+550	3422.98	3423.50	0.52
2+600	3422.97	3423.45	0.48
2+650	3422.96	3423.40	0.44
2+700	3422.81	3423.37	0.56
2+750	3422.78	3423.25	0.47
2+800	3422.76	3423.20	0.44
2+850	3422.62	3423.15	0.53
2+900	3422.57	3423.10	0.53
2+950	3422.49	3423.05	0.56
3+000	3422.42	3423.00	0.58
3+050	3422.40	3422.95	0.55
3+100	3422.36	3422.90	0.54
3+150	3422.26	3422.85	0.59
3+200	3422.21	3422.80	0.59
3+250	3422.15	3422.75	0.60
3+300	3422.04	3422.70	0.66
3+350	3421.93	3422.65	0.72
3+400	3421.86	3422.60	0.74
3+450	3421.84	3422.55	0.71
3+500	3421.80	3422.50	0.70
3+550	3421.82	3422.45	0.63
3+600	3421.82	3422.45	0.63
3+650	3421.72	3422.40	0.68
3+700	3421.73	3422.40	0.67
3+750	3421.72	3422.35	0.63
3+800	3421.66	3422.30	0.64
3+850	3421.58	3422.25	0.67
3+900	3421.57	3422.25	0.68
3+950	3421.57	3422.20	0.63
4+000	3421.55	3422.20	0.65



Universidad de Cuenca

4+050	3421.54	3422.15	0.61
4+100	3421.51	3422.10	0.59
4+150	3421.49	3422.05	0.56
4+200	3421.45	3421.90	0.45
4+250	3421.41	3421.90	0.49
4+300	3421.37	3421.85	0.48
4+350	3421.39	3421.75	0.36
4+400	3421.28	3421.70	0.42
4+450	3421.29	3421.65	0.36
4+500	3421.22	3421.55	0.33
4+550	3421.23	3421.55	0.32
4+600	3421.20	3421.45	0.25
4+650	3421.09	3421.40	0.31
4+700	3420.94	3421.35	0.41
4+750	3420.87	3421.25	0.38
4+800	3421.15	3421.20	0.05
4+850	3421.10	3421.15	0.05
4+900	3421.08	3421.09	0.01
4+950	3420.78	3421.00	0.22
5+000	3420.56	3420.90	0.34
5+050	3420.35	3420.85	0.50
5+100	3420.35	3420.80	0.45
5+150	3420.26	3420.75	0.49
5+200	3420.17	3420.70	0.53
5+250	3420.20	3420.65	0.45
5+300	3420.04	3420.55	0.51
5+350	3419.93	3420.50	0.57
5+400	3420.23	3420.45	0.22
5+450	3420.33	3420.40	0.07
5+500	3420.13	3420.35	0.22
5+550	3420.18	3420.30	0.12
5+600	3420.13	3420.25	0.12
5+650	3419.94	3420.20	0.26
5+700	3420.04	3420.15	0.11
5+750	3419.92	3420.10	0.18
5+800	3419.62	3420.05	0.43
5+850	3419.56	3420.00	0.44
5+900	3419.47	3419.95	0.48
5+950	3419.45	3419.90	0.45
6+000	3419.35	3419.85	0.50
6+050	3419.28	3419.80	0.52
6+100	3419.25	3419.75	0.50
6+150	3419.18	3419.70	0.52



Universidad de Cuenca

6+200	3419.15	3419.65	0.50
6+250	3419.08	3419.65	0.57
6+300	3419.06	3419.60	0.54
6+350	3418.95	3419.55	0.60
6+400	3418.92	3419.50	0.58
6+450	3418.86	3419.45	0.59
6+500	3418.83	3419.40	0.57
6+550	3418.73	3419.35	0.62
6+600	3418.66	3419.35	0.69
6+650	3418.68	3419.30	0.62
6+700	3418.59	3419.25	0.66
6+750	3418.58	3419.20	0.62
6+800	3418.53	3419.20	0.67
6+850	3418.51	3419.20	0.69
6+900	3418.45	3419.15	0.70
6+950	3418.41	3419.10	0.69
7+000	3418.47	3419.05	0.58
7+050	3418.41	3419.00	0.59
7+100	3418.35	3418.95	0.60
7+150	3418.29	3418.90	0.61
7+200	3418.23	3418.85	0.62
7+250	3418.15	3418.80	0.65
7+300	3418.16	3418.80	0.64
7+350	3418.14	3418.75	0.61
7+400	3418.04	3418.70	0.66
7+450	3418.24	3418.65	0.41
7+500	3418.06	3418.60	0.54
7+550	3417.97	3418.55	0.58
7+600	3417.89	3418.50	0.61
7+650	3417.82	3418.45	0.63
7+700	3417.84	3418.30	0.46
7+750	3417.78	3418.25	0.47
7+800	3418.14	3418.20	0.06



B5. Presupuestos referenciales para las Estructuras de Aforo y la Captación Tipo en la Quebrada Rondador

RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	AFORADORES EN CANAL LABRADO-TUÑI				5,533.67
1	Encofrado Recto, con retirado de cofres, Con tablas de encofrado	m2	81.40	11.27	917.38
2	Acero de Refuerzo (Incluye corte y doblado)	Kg	688.00	2.45	1,685.60
3	Hormigón Simple 280 Kg/cm2	m3	6.04	146.71	886.13
4	Sum,-Ins, Pernos de acero templado 3/4"x30cm	u	80.00	8.32	665.60
5	Regleta aforo	u	8.00	172.37	1,378.96
SUMA TOTAL					5,533.67
IVA 12%					664.04
TOTAL					6,197.71

RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	CAPTACION LABRADO TUÑI – QUEBRADA RONDADOR				
1	Excavación a mano en Terreno Conglomerado, Profundidad entre 0 y 2 m	m3	3.00	15.96	47.88
2	Excavación mecanica en suelo conglomerado de 0 a 2 m de profundidad	m3	12.00	3.86	46.32
3	Encofrado Recto, con retirado de cofres, Con tablas de encofrado	m2	70.00	11.27	788.90
4	Acero de Refuerzo (Incluye corte y doblado)	Kg	773.00	2.45	1,893.85
5	Hormigón Simple 180 Kg/cm2	m3	8.80	133.52	1,174.98
6	Hormigón Simple 280 Kg/cm2	m3	13.16	146.71	1,930.70



Universidad de Cuenca

7	Sum,-Ins, Rejilla Hierro	m2	1.00	159.95	159.95
8	Sum,-Ins, Compuerta 0,35 x 0,30 m	u	1.00	91.69	91.69
9	Sum, Tapa de hormigon 0.80x0.80	u	2.00	36.62	73.24
SUMA TOTAL					6,207.51
IVA 12%					744.90
TOTAL					6,952.41

B6. Planos de Nivelación, Estructuras de Medición de Caudal y Captación Tipo.

B7. CD anexo, contiene Instalador y Modelo Implementado HEC-RAS