



# Universidad Austral de Chile

---

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles

## PROYECTO DE INGENIERÍA, DISEÑO DE LA CANALIZACIÓN DEL ESTERO LEÑA SECA

Tesis para optar al título de  
**Ingeniero Civil en Obras Civiles**

Profesor Patrocinante:  
Sr. Luís Collarte Concha  
Ingeniero Civil, M. Sc. en Ingeniería Civil.  
Especialidad Hidráulica, Mecánica de Suelos

YOCELINE ANDREA MOLINA MARAGAÑO  
VALDIVIA - CHILE  
2011

INDICE DE CONTENIDOS

Capítulo I: Planteamiento del Problema..... 1

1.1 Introducción ..... 1

1.2 Objetivos.....3

1.3 Metodología..... 4

1.4 Descripción del estero Leña Seca ..... 5

Capítulo II: Aspectos Teóricos..... 6

2.1 Generalidades ..... 6

2.2 Canalización, Consideraciones Generales y Elementos Básicos de Diseño..... 7

2.2.1 Perfil Longitudinal ..... 8

2.2.2 Forma de la Sección Transversal ..... 10

2.3 Análisis y Determinación del Eje Hidráulico ..... 11

2.3.1 Análisis cualitativo del eje hidráulico ..... 12

2.3.2 Determinación y Análisis cuantitativo del eje hidráulico ..... 16

2.4 Diseño de Canales..... 18

2.4.1 Revestimiento y Rugosidad ..... 18

2.4.2 Velocidad del flujo..... 21

2.4.3 Pendiente del Canal..... 23

2.4.4 Borde Libre o revancha..... 23

2.4.5 Sección Hidráulicamente Óptima ..... 23

2.4.6 Curvas y Radios de Curvatura Mínimos en Canales ..... 24

Capítulo III: Estudio Hidrológico del estero Leña Seca y Caudales de diseño ..... 27

3.1 Generalidades ..... 27

3.2 Análisis Hidrológico del Estero Leña Seca ..... 27

3.2.1 Análisis Estadístico de las Lluvias..... 28

3.2.2 Determinación de las Curvas IDF..... 28

3.2.3 Tiempos de Concentración ..... 31

3.2.4 Hietogramas e Hidrogramas..... 31

3.3 Caudal..... 32

3.3.1 Caudal Aportado por las Lluvias de Diseño ..... 32

3.3.2 Caudal Base ..... 33

3.3.3 Caudales de Diseño:..... 36

Capitulo IV: Levantamiento Topográfico ..... 37

4.1 Generalidades ..... 37

4.2 Nivelación de los Perfiles del Canal a Diseñar..... 38

4.2.1 Descripción del Entorno ..... 38

4.2.2 Nivelación del Perfil longitudinal del Canal..... 39

4.2.3 Nivelación de Perfiles transversales ..... 41

Capitulo V:Diseño y Estudio Hidráulico del Canal ..... 43

5.1 Generalidades ..... 43

5.2 Funcionamiento del Programa HEC- RAS..... 44

5.3 Análisis Hidráulico de los Canales propuestos en el estudio Hidrológico ..... 47

5.3.1 Análisis de Alternativa 1: Canal de Pasto..... 52

5.3.2 Análisis de Alternativa 2: Canal de Hormigón ..... 59

5.3.3 Análisis de Alternativa 3: Canal de Mampostería ..... 68

5.3.4 Conclusiones Sobre el Estudio Hidráulico de las Secciones Propuestas ..... 76

5.4 Diseño y Análisis Hidráulico del Canal Definitivo ..... 77

5.4.1 Trazado Longitudinal..... 77

5.4.2 Definición de Pendientes ..... 78

5.4.3 Análisis Hidráulico ..... 80

5.4.5 Diseño Estructural y Obras Complementarias ..... 87

5.4.5.1 Diseño estructural de secciones ..... 87

5.4.5.2 Diseño de obras complementarias ..... 88

Capitulo VI: Presupuesto ..... 90

6.1 Generalidades ..... 90

6.2 Análisis de costo ..... 90

6.2.1 Costos unitarios..... 90

6.2.2 Presupuesto ..... 92

Capitulo VII : Resultados y Conclusiones ..... 93

Bibliografía .....95

ANEXOS .....97

ANEXO1: Levantamiento topográfico Nivelación de Perfil Longitudinal y Perfiles Transversales..... 98

ANEXO 2: Estudio Hidráulico de los Canales Propuestos ..... 110

A2.1 Análisis Hidráulico de los Canales propuestos ..... 111

A2.1.1 Alternativa 1: Canal Revestido de Pasto..... 111

A2.1.2 Alternativa2: Canal Revestido de Hormigón..... 117

A2.1.3 Alternativa 3: Canal Revestido de Mampostería ..... 123

ANEXO 3: Diseño y Estudio Hidráulico de la alternativa definitiva ..... 129

A3.1 Curvaturas Calculadas para el Eje del Canal ..... 130

A3.2 Análisis hidráulico ..... 131

ANEXO 4: Nociones Básicas de Hidráulica..... 138

A4.1 Hidráulica De Canales Abiertos..... 139

A4.1.1 Propiedades Geométricas de los Canales Abiertos..... 140

A4.1.2	Energía de flujo.....	141
A4.1.3	Flujo Crítico .....	143
A4.1.4	Ecuación de Cantidad de movimiento o Ecuación de la Momenta ....	146
A4.1.5	Pérdidas de Carga .....	148
A4.1.6	Resalto .....	150
A4.1.7	Flujo uniforme .....	152
A4.1.8	Flujo Gradualmente Variado .....	154
A4.1.9	Clasificación de los Esguimientos y de los Lechos.....	156
ANEXO 5: Especificaciones Técnicas .....		159
A5.1	Especificaciones Técnicas Generales y Especiales.....	160
A5.1.1	Trazado, Perfiles y Pendientes .....	161
A5.1.2	Movimientos de Tierra.....	163
A5.1.3	Recubrimiento de Pasto .....	164
A5.1.4	Obras de Desvío y Protección Temporal .....	165
A5.2	Especificaciones Técnicas Especiales (ETE).....	165
A5.2.1	Instalación de Faenas, Trazado y Replanteo.....	165
A5.2.2	Escarpe y Retiro de Excedentes .....	166
A5.2.3	Excavación Masiva y Retiro de Excedentes .....	166
A5.2.4	Suministro, Transporte y Confección de Terraplén y Rellenos .....	167
A5.2.5	Obras de Hormigón, Mampostería y Alcantarillas .....	168
ANEXO 6: Planos .....		175

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Perfil longitudinal del cauce sin canalización.....	9
Figura 2.2	Perfil longitudinal del cauce rectificado. ....	9
Figura 2.3	Secciones transversales a lo largo del cauce.....	10
Figura 2.4	Sección transversal tipo. ....	10
Figura 2.5	Evolución de la sección Transversal en una Canalización. ....	11
Figura 2.6	Clasificación de los perfiles de flujo.....	15
Figura 2.7	Cambios de Pendiente.....	15
Figura 2.8	Tramo de canal para la deducción de los métodos de paso. ....	16
Figura 2.9	Elementos de una curva circular.....	26
Figura 3.1	Esquema y designación de cuencas. ....	27
Figura 3.2	Curvas IDF para duraciones menores de 1 hora. ....	30
Figura 3.3	Modelo del estero Leña Seca en el programa. ....	32
Figura 3.4	Parámetros de una sección tipo para el cálculo de él caudal base. ....	34
Figura 4.1	Eje longitudinal del canal.....	39
Figura 5.1	Datos a ingresa el HEC-RAS.....	45
Figura 5.2	Ejemplo de Trazado ingresado en HEC-RAS.....	46
Figura 5.3	Ejemplo de ingreso de secciones en HEC-RAS.....	46
Figura 5.4	Gráfico de velocidades a lo largo del canal de pasto. ....	53
Figura 5.5	Número de Froude para las secciones del canal de pasto. ....	54
Figura 5.6	Altura máxima de escurrimiento a lo largo del canal de pasto. ....	55
Figura 5.7	Parámetros que definen el funcionamiento hidráulico de la caída vertical.....	56
Figura 5.8	Flujo en la sección de la cubeta. ....	57
Figura 5.9	Eje hidráulico y nivel de escurrimiento. ....	58
Figura 5.10	Gráfico de la altura hidráulica en las secciones a lo largo del canal.....	60
Figura 5.11	Flujo en la sección con problemas de desbordamiento.....	61
Figura 5.12	Gráfico de velocidades para el canal de Hormigón. ....	62
Figura 5.13	Gráfico de N° de Froude para el canal de Hormigón.....	63
Figura 5.14(a)	Eje hidráulico para 10 años de periodo de retorno.....	65
Figura 5.14(b)	Eje hidráulico para 50 años de periodo de retorno.....	66
Figura 5.14(c)	Eje hidráulico para 100 años de periodo de retorno.....	67
Figura 5.15	Flujo en la sección con problemas de desbordamiento.....	68
Figura 5.16	Altura máxima del flujo a lo Largo del canal de Mampostería. ....	69
Figura 5.17	Gráfico de velocidades para el canal de Mampostería.....	70
Figura 5.18	Gráfico de N° de Froude para el canal de Mampostería. ....	71
Figura 5.19(a)	Eje hidráulico para 10 años de periodo de retorno.....	73
Figura 5.19(b)	Eje hidráulico para 50 años de periodo de retorno.....	74
Figura 5.19(c)	Eje hidráulico para 100 años de periodo de retorno.....	75
Figura 5.20	Trazado natural del Estero Leña seca. ....	77
Figura 5.21	Trazado ingresado en Hec - Ras. ....	81
Figura 5.22	Gráfico de velocidades en el canal.....	83
Figura 5.23	Gráfico de Número de Froude. ....	84
Figura 5.24	Eje hidráulico del canal diseñado.....	85
Figura 5.25	Gráfico de alturas crítica y máxima a lo largo del canal.....	86
Figura A3.1	Diseño definitivo – Sección 1 en km-0.....	134
Figura A3.2	Diseño definitivo – Sección 2 en km-0.281.....	134
Figura A3.3	Diseño definitivo – Sección 3 en km-0.375.....	134
Figura A3.4	Diseño definitivo – Sección 4 en km-0.468.....	134
Figura A3.5	Diseño definitivo – Sección 5 en km-0.5981.....	135
Figura A3.6	Diseño definitivo – Sección 6 en km-1.038.....	135
Figura A3.7	Diseño definitivo – Sección 7 en km-1.162.....	135

Figura A3.8 Diseño definitivo – Sección 8 en km-1.267 ..... 135

Figura A3.9 Diseño definitivo –Sección 9 en km-1.355 ..... 136

Figura A3.10 Diseño definitivo – Sección 10 en km-1.667 ..... 136

Figura A3.11 Diseño definitivo – Sección 11 en km-1.850..... 136

Figura A3.12 Diseño definitivo – Sección 12 en km-1.893..... 136

Figura A3.13 Diseño definitivo – Sección 13 en km-2.008..... 137

Figura A3.14 Diseño definitivo –Sección14 en km 2.148 ..... 137

Figura A4.1 Energía de un flujo en canales abiertos..... 142

Figura A4.2 Curva de energía específica. .... 143

Figura A4.3 Volumen de control..... 146

Figura A4.4 Fuerzas de presión actuando sobre un volumen de control. .... 146

Figura A4.5 Curvas de Fuerza Especifica complementada con la curva de Energía específica. .  
..... 148

Figura A4.6 Singularidades donde se producen pérdidas de carga. .... 149

Figura A4.7 Resalto en un Tramo de Canal. .... 152

Figura A4.8 Establecimiento de flujo uniforme en un canal largo. .... 153

Figura A4.9 Perfil de flujo en una Longitud dx. .... 155

# INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Clasificación de los escurrimientos y lechos.....	12
Tabla 2.2	Clasificación y tipos de perfiles de flujo en canales. ....	14
Tabla 2.3	Valores del coeficiente de rugosidad n para ser empleados en la fórmula de Manning.....	21
Tabla 2.4	Velocidades Máximas Permitidas en Canales.....	22
Tabla 2.5	Velocidades máximas (y números de Froude máximos) recomendadas.....	22
Tabla 2.6	Secciones hidráulicamente óptimas.....	24
Tabla 2.7	Radio mínimo en canales abiertos para $Q > 10 \text{ m}^3/\text{s}$ . ....	25
Tabla 2.8	Radio de curvatura mínimo para un caudal $Q < 20 \text{ m}^3/\text{seg}$ . ....	25
Tabla 3.1	Resumen de datos de precipitaciones máximas (mm) en 24 hrs. ....	29
Tabla 3.2	Coeficiente de frecuencia. ....	29
Tabla 3.3	Coeficientes de duración (CD) y precipitaciones.....	29
Tabla 3.4	Intensidades (mm/hr) para distintos periodos de retorno. ....	30
Tabla 3.5	Tiempos de Concentración Area Rural. ....	31
Tabla 3.6	Tiempos de Concentración Área urbana. ....	31
Tabla 3.7	Cálculo de flujo base. ....	33
Tabla 3.8	Formulas para el cálculo de velocidades.....	34
Tabla 3.9	Caudales bases en los puntos de medición.....	35
Tabla 3.10	Caudales base en los puntos de medición. ....	35
Tabla 3.11	Caudales bases para las distintas secciones del cauce. ....	36
Tabla 3.12	Caudales de diseño para los distintos periodos de retorno.....	36
Tabla 5.1	Pendientes adoptadas en el diseño inicial.....	47
Tabla 5.2	Forma y dimensión de las secciones para el canal revestido de pasto. ....	49
Tabla 5.3	Forma y dimensión de las secciones para el canal revestido de hormigón. ....	50
Tabla 5.4	Forma y dimensión de las secciones para el canal revestido de mampostería. ....	51
Tabla 5.5	Resumen del cálculo de la cubeta y gradas de bajada. ....	56
Tabla 5.6	Pendientes obtenidas en terreno y pendientes adoptadas en el diseño. ....	79
Tabla 5.7	Forma y dimensión de las secciones para el canal definitivo revestido de pasto. ....	80
Tabla 5.8	Perfiles de flujo a lo largo del canal. ....	82
Tabla 5.9	Recomendaciones sobre espesores de revestimientos en canales. ....	87
Tabla 5.10	Espesores para el revestimiento. ....	87
Tabla 5.11	Dimensión y tipo de alcantarillas. ....	88
Tabla 5.12	Cantidad de agua para los morteros. ....	89
Tabla A1.1	Nivelación del Perfil Longitudinal.....	99
Tabla A1.2	Nivelación de perfiles transversales de terreno ....	100
Tabla A2.1	Canal de pasto - cota de las secciones ingresadas en HEC-RAS.....	111
Tabla A2.2	Canal de pasto - Cota de las caídas ingresadas en Hec-ras.....	113
Tabla A2.3	Canal de pasto - cálculos hidráulicos en HEC-RAS.....	114
Tabla A2.4	Canal de pasto - velocidad calculada en HEC-RAS. ....	115
Tabla A2.5	Canal de pasto - Número de Froude Calculado en HEC-RAS. ....	115
Tabla A2.6	Canal de pasto-altura del agua Calculada en HEC-RAS. ....	116
Tabla A2.7	Canal de Hormigón - Cotas de las secciones ingresadas en Hec-Ras.....	117
Tabla A2.8	Canal de Hormigón -Cálculos hidráulicos en HEC-RAS. ....	119
Tabla A2.9	Canal de Hormigón - Velocidades calculadas en HEC-RAS. ....	121
Tabla A2.10	Canal de Hormigón - Número de Froude calculado en HEC-RAS. ....	122
Tabla A2.11	Canal de Hormigón - Altura del agua calculada en HEC-RAS. ....	122
Tabla A2.12	Canal de Mampostería - Cota de las secciones ingresadas en Hec-Ras.....	123
Tabla A2.13	Canal de Mampostería - Cálculos hidráulicos en HEC-RAS. ....	125
Tabla A2.14	Canal de Mampostería - Velocidades calculadas en HEC-RAS.....	127
Tabla A2.15	Canal de Mampostería - Número de Froude calculado en HEC-RAS.....	128

Tabla A2.16 Canal de Mampostería - Altura del agua calculada en HEC-RAS. .... 128

Tabla A3.1 Diseño definitivo - curvaturas del trazado. .... 130

Tabla A3.2 Diseño definitivo - Cotas ingresadas a Hec – Ras. .... 131

Tabla A3.3 Diseño definitivo - Resumen de parámetros calculados en Hec- Ras..... 133

Tabla A3.4 Diseño definitivo - Velocidades y n° de Froude calculados en Hec-Ras ..... 133

Tabla A4.1 Singularidades y su Forma de Análisis. .... 150

Tabla A4.2 Clasificación de los escurrimientos y lechos. .... 157



# Resumen

Esta tesis esta enfocada principalmente al diseño de una alternativa de canalización para el estero Leña Seca ubicado en la ciudad de Valdivia, el propósito de este estudio es encontrar una mejor forma de conducción de sus aguas, ya que en la actualidad presenta problemas de desbordamiento en épocas de invierno provocando que los sectores cercanos se vean afectados.

El proyecto de canalización incluyó: el estudio topográfico del terreno a través del levantamiento de perfiles longitudinal y transversales; el diseño y análisis hidráulico para lo cual se uso los caudales calculados anteriormente en la tesis titulada: "Formulación y Evaluación de Alternativas para el Saneamiento del estero Leña Seca-valdivia"; y además se realizo un presupuesto estimativo de las obras a realizar

# Abstract

This thesis is focused principally on the design of an alternative of channeling for the tideland Dry Leña Seca located in Valdivia's city, the intention of this study is to find a better way of conduction of his waters, as has now overflow problems winter or causing nearby areas to be affected.

The project of channeling included: the topographic study of the area across the longitudinal raising of profiles and cross streets; the design and hydraulic analysis for which I use the flows calculated previously in the qualified thesis: " Formulation and Evaluation of Alternatives for the Reparation of the tideland Leña Seca stream - valdivia "; and in addition I realize a judging budget of the works to realizing.

---

# Capítulo I

---

## Planteamiento del Problema

### 1.1 Introducción

Debido al tipo, origen y cantidad de caudal a transportar, las corrientes naturales están sometidas continuamente a procesos de erosión, agradación, cambios de curso y desbordamiento. La magnitud y frecuencia de estos procesos dependen de las características pluviométricas de la zona, de la geomorfología de las hoyas vertientes y de los cauces. Los principales factores que actúan en la generación de los caudales sólidos y líquidos que llegan a los cauces naturales y son transportados por ellos están relacionados con:

**1. Las Características de la lluvia:**

Intensidad, Duración, Frecuencia y Distribución temporal

**2. Las Características de la cuenca:**

Área, Longitud, Pendiente, Elevación media, Capacidad de almacenamiento, Clase y uso del suelo.

**3. Erosión pluvial:**

La magnitud de la erosión pluvial depende del régimen de lluvias y de la geomorfología de la hoya vertiente.

**4. Dinámica de los cauces:**

La dinámica de los cauces depende de su caracterización hidráulica, la cual se basa en los siguientes aspectos: Geometría del cauce, Régimen de flujo, Viscosidad del agua, Capacidad de transporte de sedimentos, Posibilidad de desbordamientos.

Para mejorar la conducción de una corriente y así controlar los procesos antes mencionados existe la posibilidad de llevar a cabo la canalización del cauce natural, el canal a construir puede ser excavado o revestido, y su diseño dependerá de factores como la topografía, el tipo de suelo, velocidades de flujo y caudales a transportar.

En la ciudad de Valdivia se encuentra el estero Leña seca, el cual presenta problemas de desbordamiento en época de lluvias, provocando la inundación de los terrenos

aledaños a él. Para solucionar el problema y poder habilitar los terrenos con el fin de usarlos como posible emplazamiento de viviendas, es necesario desarrollar un proyecto de canalización. En primera instancia se desarrollo la tesis: “Formulación y Evaluación de Alternativas para el Saneamiento del estero Leña Seca-Valdivia”, dicho trabajo se enfocó principalmente a todo lo relacionado con el estudio hidrológico, determinando los caudales de diseño para varios periodos de retorno (10, 50 y 100 años) , y se calcularon 3 alternativas de secciones transversales con distintos tipos de revestimiento, además de proponer un trazado para el perfil longitudinal del canal que encauce las aguas del estero Leña Seca.

Sin embargo para considerar que el estudio y diseño de una alternativa de encauzamiento para las aguas del estero esta completa, no sólo debe tomarse en cuenta el estudio hidrológico como referente de diseño, sino que también es necesario determinar las condiciones hidráulicas del cauce, revisar las condiciones del terreno mediante el levantamiento topográfico de perfiles longitudinal y transversales, y así finalmente poder determinar si las diferentes alternativas de secciones propuestas en el estudio anterior son las adecuadas.

## **1.2 Objetivos**

Los objetivos propuestos para esta tesis son:

### **1.2.1 Objetivos Generales**

Realizar el proyecto de ingeniería de la canalización del estero Leña Seca, tomando en cuenta cada una de las etapas que conlleva una obra de encauzamiento, esto es: desarrollar el trabajo en terreno necesario, al igual que el estudio y cálculo hidráulico.

Logrando este propósito al hacer uso de los caudales calculados en el estudio hidrológico del estero y tomando como referencia las secciones diseñadas en él.

### **1.2.2 Objetivos Particulares**

1. Realizar la nivelación topográfica del perfil longitudinal y de perfiles transversales en los puntos de interés, y así definir la sección más adecuada para la canalización del cauce del estero.
2. Obtención y comparación del eje hidráulico para los canales propuestos en el estudio hidrológico y para el canal diseñado finalmente.
3. Diseño de la sección definitiva del Canal y del revestimiento. Eligiendo la opción que otorgue mayores beneficios: hidráulicos, estructurales y económicos
4. Diseño de las obras complementarias tales como puentes, alcantarillas, etc. en caso de ser necesarias.

## 1.3 Metodología

Como se mencionó en los objetivos la principal tarea a realizar es el diseño definitivo de un canal que se encargue de encauzar y conducir en forma eficiente las aguas del estero Leña Seca.

Para alcanzar los objetivos propuestos se contempla un trabajo en terreno consistente en una inspección de las condiciones de la zona en estudio, para luego proceder con la nivelación de los perfiles longitudinal y transversal del canal. Una vez efectuado el trabajo topográfico y con ello la obtención de los datos sobre el área, el paso siguiente será procesar y analizar esta información.

Con los datos recogidos en el levantamiento topográfico se deberán hacer los planos con los detalles que sean necesarios en los cuales se muestre, el dibujo del perfil longitudinal y perfiles transversales del terreno, así como también el perfil longitudinal y perfiles transversales de la canalización.

Para el análisis hidráulico se hará uso del programa computacional HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System), desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Con este programa se calculará el eje hidráulico con todas las variables importantes involucradas, considerando como datos de flujo los caudales calculados para los periodos de retorno de 10, 50 y 100 años.

Una vez que se estudió tanto la topografía como las condiciones hidráulicas se estará en condiciones de decidir cual de las opciones propuestas (secciones y revestimientos) es la que mejor conduce las aguas del estero y además otorga los mayores beneficios en el aspecto económico, y en caso de encontrar que existe una mejor opción, realizar el diseño definitivo de la obra.

## 1.4 Descripción del estero Leña Seca

El estero Leña Seca recorre cerca de 3,4 km y nace a un costado del sector Corvi, específicamente en la población los Jardines de San Cristóbal a la altura de la calle Ignacio de la Carrera, pasando por la población los Jazmines y por el interior del campamentos los Girasoles, hasta desembocar en el río Calle-Calle.

La cuenca del estero recibe el aporte de las aguas lluvias de toda el área urbana adyacente, que abarca una superficie de 1.15 km<sup>2</sup>. Además existe el aporte de aguas provenientes de una zona rural ubicada al norte del estero, cuya superficie alcanza los 1.08km<sup>2</sup> y que se encuentra cubierta principalmente por vegetación y plantaciones forestales. (Valenzuela, 2007)

El cauce del Estero Leña Seca esta constituido de tierra, maleza y material arrastrado por la corriente, el fondo posee un aspecto fangoso y las secciones transversales a lo largo del tramo en análisis en su mayoría tienen poca altura, siendo sus riberas principalmente de tierra y pasto, salvo en el tramo ubicado al interior del Campamento los Girasoles donde el cauce se encuentra resguardado lateralmente por gaviones cuya altura es cercana a 1m extendiéndose esta protección una distancia aproximada de 300m.

---

# Capítulo II

---

## Aspectos Teóricos

### 2.1 Generalidades

Los canales de drenaje de aguas en zonas urbanas son elementos importantes del sistema y tienen un efecto marcado sobre el área en el cual se desarrollan. Es por lo tanto necesario considerar su diseño con especial atención desde las primeras etapas del proyecto (MINVU, 1996).

En el diseño se deben considerar los antecedentes del sistema natural de drenaje en el lugar, las oportunidades de aprovechamiento del espacio destinado al cauce, la magnitud y frecuencia de los caudales generados por las aguas lluvias, y la existencia de gastos permanentes. Para decidir la conveniencia de desarrollar cauces abiertos de drenaje, es también importante considerar la descarga segura de las aguas conducidas por el canal. La factibilidad debiera establecer claramente el trazado de la canalización y decidir el tipo de cauce para cada uno de los tramos, así como las cuencas aportantes en las secciones principales (MINVU, 1996).

Para el dimensionamiento de un canal se requiere disponer de antecedentes hidrológicos, del terreno, del proyecto de urbanización o del entorno ya urbanizado, de manera de estimar las dimensiones principales de la obra de acuerdo a los criterios propuestos.

Como antecedentes hidrológicos es necesario conocer las precipitaciones para estimar los caudales afluentes de crecidas de 2, 5, 10 y 100 años de periodo de retorno, tanto en condiciones naturales como con la zona totalmente desarrollada. También se deben estimar los caudales base, aportados por otras fuentes y los gastos mínimos que pueden escurrir fuera de las temporadas de lluvias.

En relación al terreno es esencial disponer de información topográfica detallada para trazar el canal, determinar las pendientes necesarias por tramo, establecer las servidumbres y conocer los espacios disponibles para la sección completa del canal. Además es necesario conocer las características de los suelos para estimar costos de excavación y necesidades de relleno. En base a los antecedentes disponibles y con los criterios establecidos se debe determinar el trazado en planta del canal, las pendientes de fondo por tramo, las velocidades medias del escurrimiento y las características de la sección transversal (MINVU, 1996).

Una vez establecidas las condiciones de escurrimiento normal es necesario determinar las obras especiales que se requieran para acomodar el canal a las condiciones del terreno, estas pueden ser: caídas, angostamientos, ensanches, cruces, alcantarillas, puentes y similares. Con esta información se calcula un eje hidráulico de toda la canalización y se establece la necesidad de protecciones en secciones especiales (MINVU, 1996).

## **2.2 Canalización, Consideraciones Generales y Elementos Básicos de Diseño**

La selección definitiva del tipo de canalización y sus características se basa en una serie de factores multidisciplinarios y consideraciones, las cuales incluyen aspectos hidráulicos, estructurales, ambientales, sociológicos y económicos (MINVU, 1996):

Entre los aspectos hidráulicos se cuentan los que definen las dimensiones principales como son la pendiente de la canalización, el caudal máximo, la producción de sedimentos de la cuenca, el ancho disponible, la topografía del terreno.

Como estructurales se considera la disponibilidad de materiales, la existencia de zonas de relleno o depósito de materiales de excavación, los esfuerzos de corte, las filtraciones y fuerzas de empuje, las presiones y fluctuaciones de presión, y otras solicitaciones menores.

Desde el punto de vista ambiental es interesante observar las características del barrio, los requerimientos estéticos de la comunidad, las necesidades de nuevas áreas verdes, el diseño de calles y tráfico local, políticas municipales, hábitat natural, necesidades de la flora y fauna local. También debe tomarse en cuenta el comportamiento social del vecindario, la población infantil, el tráfico de peatones y las necesidades recreacionales.

Desde el punto de vista económico además de los costos de construcción es importante la vida esperada del proyecto, las necesidades de mantención, reparación, y la accesibilidad.

Antes de la elección de un tipo de canalización en particular se recomienda revisar las diferentes áreas mencionadas, de manera que el canal seleccionado maximice los beneficios en la mayor cantidad de aspectos posibles. Siempre que sea posible el canal debiera tener características de bajas velocidades, ser ancho y poco profundo, y tener una apariencia y funcionamiento natural. La primera etapa en esta selección debiera determinar si la



canalización se desea o es necesaria. En muchos casos un sistema de drenaje natural bien establecido con sus espacios de inundación asociados puede ser una excelente solución si se protegen y conservan razonablemente tanto de la erosión, como de problemas típicos en los espacios públicos de muchas ciudades de Chile como es el vandalismo, el depósito de basuras y escombros y el aprovechamiento para otros fines. Por lo tanto, antes de decidir la canalización de un cauce natural, o la construcción de un canal de drenaje, es necesario considerar si el valor de los terrenos recuperados justifican no sólo el costo de la canalización sino su mantención futura y los riesgos de uso de esos terrenos, así como si el nuevo canal entrega beneficios mayores, a la comunidad o ambientales, que los que puede proveer el sistema natural existente. (MINVU, 1996)

Cuando se trata de la canalización de un cauce natural es importante tener claras las condiciones de este respecto del terreno, es decir conocer la forma que posee su perfil longitudinal tanto en planta como en elevación, al igual que la forma natural de las secciones a lo largo de su recorrido.

### **2.2.1 Perfil Longitudinal**

Generalmente en los cursos de agua el perfil longitudinal, refleja gráficamente la capacidad erosiva de este en sus partes principales (superior, media e inferior) a través del estudio de la pendiente que presenta.

Al considerar el diseño de una obra de encauzamiento para un curso de agua hay que tomar en cuenta el perfil longitudinal que presenta el cauce revisando mapas o planos topográficos existentes. Una vez que se obtuvo la información el paso siguiente es definir el trazado que tendrá el canal encargado de la conducción de las aguas, este puede seguir el perfil del cauce natural o bien puede rectificar o desplazar dicho perfil en los tramos en que el cauce se encuentre muy deteriorado y no facilite la construcción y el funcionamiento correcto de la obra. Para el diseño de la rasante se debe tener en cuenta la pendiente del fondo, esta debe ser en lo posible igual a la pendiente natural promedio del terreno, si esto no es posible debido a fuertes pendientes, se proyectan caídas o saltos de agua.

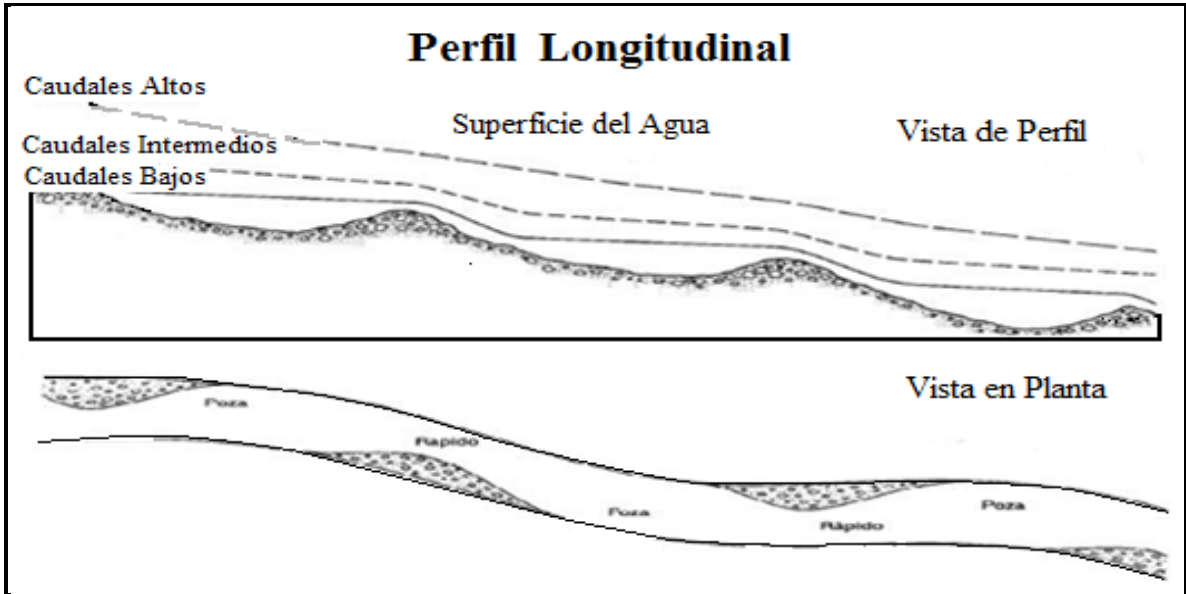


Figura 2.1 Perfil longitudinal del cauce sin canalización.  
(García, s.f)

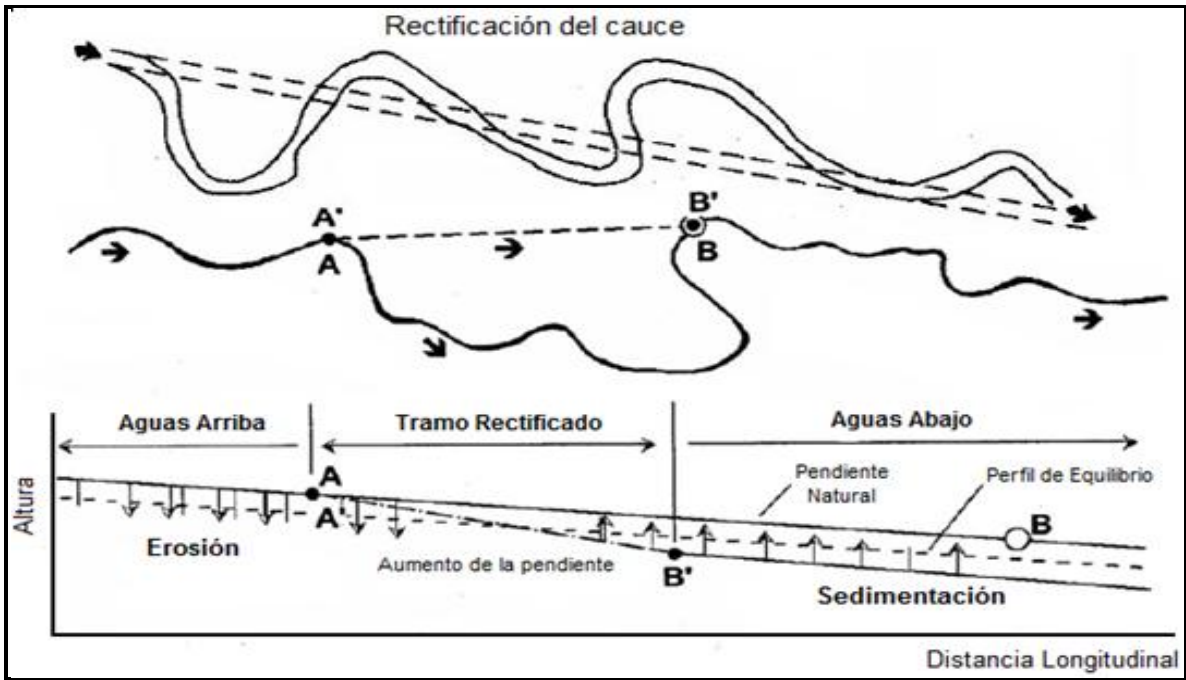


Figura 2.2 Perfil longitudinal del cauce rectificado.  
(García, s.f)

Definido el trazado del canal, se proceden a dibujar el perfil longitudinal de dicho trazado, las escalas más usuales son de 1:1000 o 1:2000 para el sentido horizontal y 1:100 o 1:200 para el sentido vertical, normalmente la relación entre la escala horizontal y vertical es de 1 a 10.

2.2.2    Forma de la Sección Transversal

Las secciones transversales a lo largo de un cauce natural presentan formas irregulares y asimétricas, a menudo varían desde aproximadamente una parábola hasta aproximadamente un trapecio. Para corrientes sujetas a crecidas frecuentes, el canal puede constar de una sección principal de canal que conduce los caudales normales y una o más secciones laterales de canal para acomodar los caudales de desborde. Es por esto que a la hora de definir y calcular las secciones transversales óptimas de una canalización, se debe identificar y diagnosticar la situación actual de las obras existentes y las condiciones en las que se encuentra el perfil transversal del cauce, además de realizar el levantamiento topográfico de estos perfiles, pudiendo decidir así los tramos en que el canal seguirá el curso natural y en cuales no. En las figuras 2.3, 2.4 y 2.5 se muestran la forma que generalmente presentan las secciones transversales de un curso natural de agua.

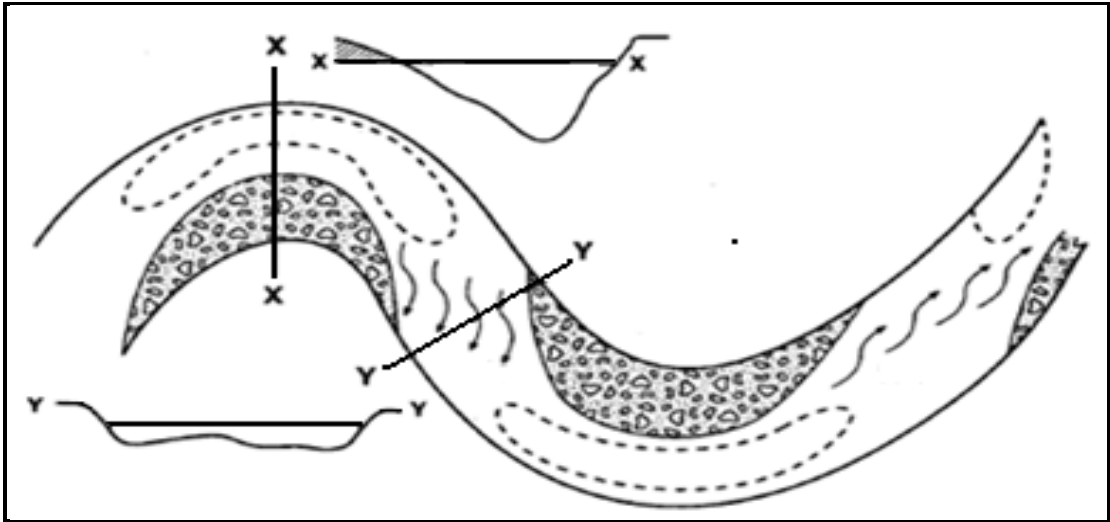


Figura 2.3 Secciones transversales a lo largo del cauce.  
(García, s.f)

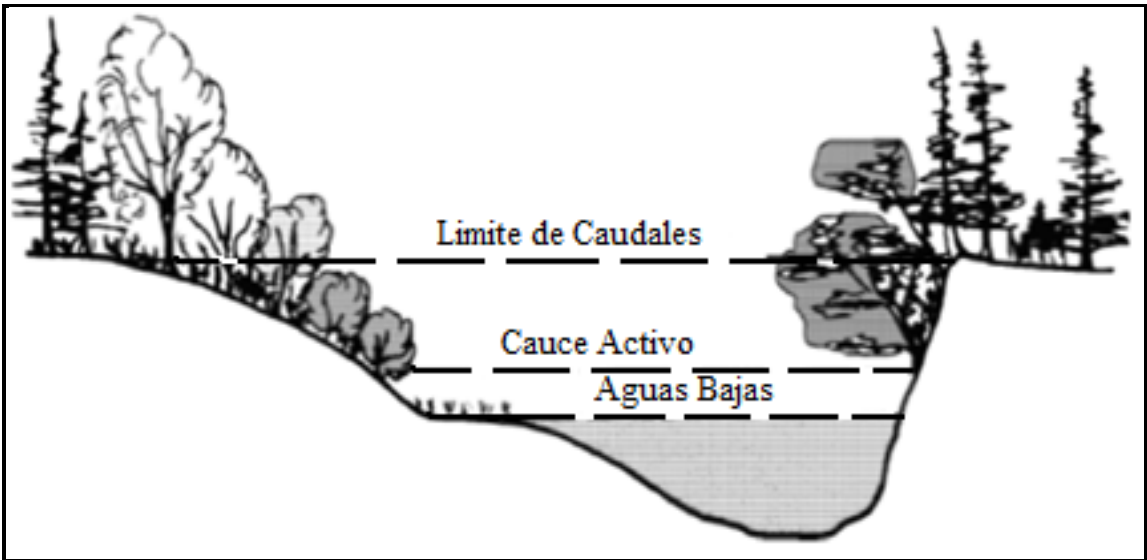


Figura 2.4 Sección transversal tipo.  
(García, s.f)

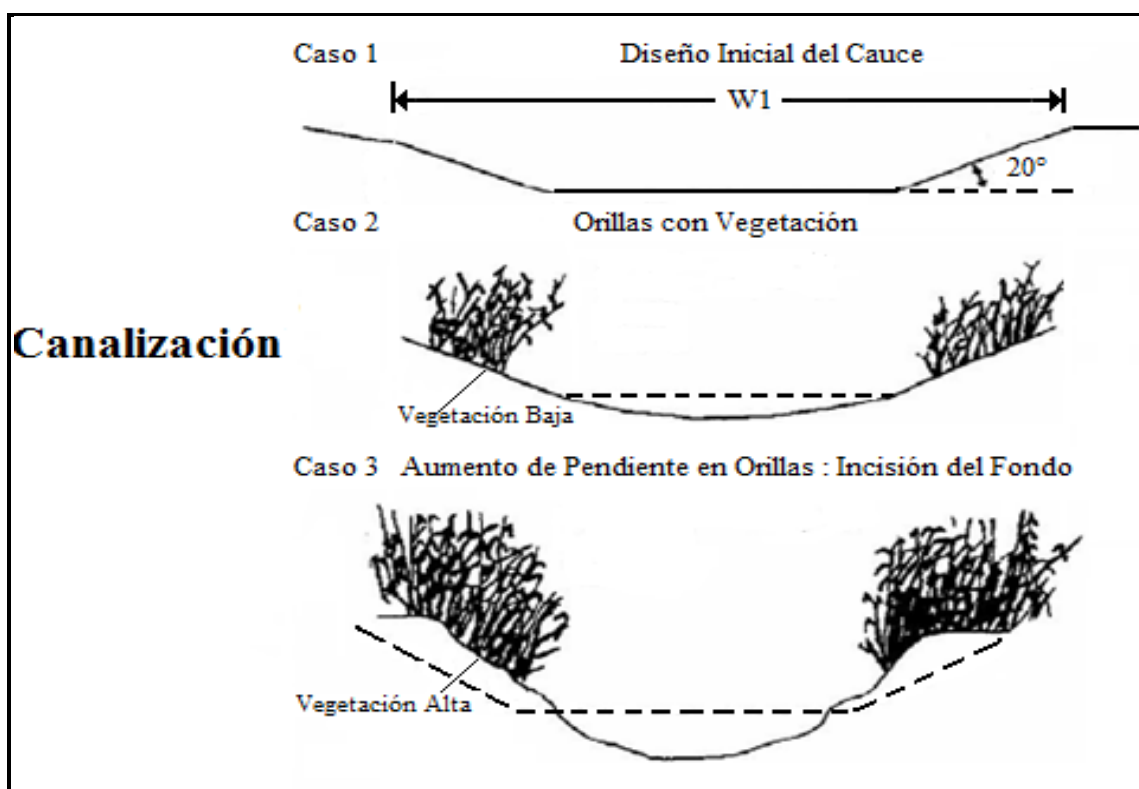


Figura 2.5 Evolución de la sección Transversal en una Canalización.  
(García, s.f)

El objetivo de los perfiles transversales es obtener la forma exacta de la sección transversal de la obra, y así hacer el cálculo del volumen de excavaciones o terraplenes. Por lo tanto es necesario determinar las cotas de una serie de puntos a ambos lados del eje longitudinal. Se escogen estos puntos de manera que representen en detalle el relieve del terreno, de ahí que se deben tomar en cuenta puntos donde hay un quiebre notable de la pendiente.

## 2.3 Análisis y Determinación del Eje Hidráulico

En canalizaciones abiertas, el análisis e interpretación del eje hidráulico generado se realiza de acuerdo a dos criterios: uno cualitativo y otro cuantitativo. Entre las variables cualitativas están: Chezy-Manning generalizado (Pendiente Crítica. Corrientes peraltadas y deprimidas), tipos de escurrimiento, sección de control (alturas de control). Y entre las variables cuantitativas están: método de paso directo, método de paso a estándar

2.3.1 Análisis cualitativo del eje hidráulico

Las corrientes o escurrimientos se pueden clasificar en ríos o torrentes, dependiendo esta clasificación, del valor de la profundidad respecto de la profundidad critica o también de comparar la velocidad de escurrimiento con la velocidad critica, tabla 2.1.

En un lecho de forma, rugosidad y pendiente dadas, si se considera la profundidad normal o profundidad que tomaría la corriente en movimiento uniforme (Anexo4), y se comprara con la profundidad critica se pude decir que existen lechos de pendiente suave y lechos con pendiente fuerte, así son pendientes suaves los lechos que dan ríos en movimiento uniforme y pendientes fuertes los que dan torrentes uniformes. Cabe mencionar que en cualquier clase de pendiente puede escurrir un río o un torrente fuera del movimiento uniforme. (Domínguez, 1959)

	Clasificación
Escurrimiento	Río
	$h > h_c$ o $V < V_c$
	Torrente
	$h < h_c$ o $V > V_c$
Lecho	Pendiente Suave
	$h_n > h_c$
	Pendiente Fuerte
	$h_n < h_c$

Tabla 2.1 Clasificación de los escurrimientos y lechos.

De la ecuación de manning se tiene que la velocidad crítica esta dada por la siguiente expresión:

$$V_c = \sqrt{g \cdot \frac{A}{l}}$$

Ec (2.1)

La pendiente crítica esta dada por:

$$i_c = \frac{Q^2 \cdot n^2}{A_c^2 \cdot R_c^{\frac{4}{3}}}$$

Ec (2.2)

En la ecuación 2.2  $A_c$  y  $R_c$  representan la sección de escurrimiento y el radio hidráulico respectivamente en función de la altura crítica.

En el caso de un flujo gradualmente variado (Anexo4), la clasificación de los casos y la forma que puede tomar el eje hidráulico, se hace en base a suponer la invariabilidad de la forma del lecho, su rugosidad, y la pendiente en el tramo a estudiar. Considerando la ecuación fundamental de escurrimiento gradualmente variado (Ec2.3) se puede obtener la forma y los valores del eje hidráulico:

– Valor de  $\frac{dh}{dx}$  ecuación fundamental de escurrimiento gradualmente variado:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i - J}{1 - \frac{V^2 \cdot L}{g \cdot A}} \quad \text{Ec (2.3)}$$

Donde:

$V$  : velocidad media de escurrimiento

$A$  : sección de escurrimiento

$L$  :ancho superficial

- altura normal ( $h_n$ )
- altura crítica ( $h_c$ )
- pendiente del fondo del canal ( $i$ )
- pendiente de energía ( $J$ ), calculada con la ecuación de manning

$$J = \frac{n^2 \cdot Q^2}{A^2 \cdot R^{\frac{4}{3}}} \quad \text{Ec (2.4)}$$

En la tabla 2.2 y en las figuras 2.6 y 2.7, se resumen las formas que puede tomar el eje hidráulico dependiendo del valor de los distintos factores que influyen en el escurrimiento.

Clasificación de las corrientes			
Tipo de corriente	Condiciones		
Peralzada	$J < i$ $h > h_n$		
Uniformes	$J = i$ $h = h_n$		
Deprimidas	$J > i$ $h < h_n$		
Tipos de perfiles de flujo Gradualmente Variado			
Valores de $\frac{dh}{dx}$	Condiciones	Tipos de Perfil de flujo	
$\frac{dh}{dx} > 0$	$J < i$ $V < V_c$	Río Peralzado	
	$J > i$ $V > V_c$	Torrente deprimido	
$\frac{dh}{dx} < 0$	$J < i$ $V > V_c$	Torrente Peralzado	
	$J > i$ $V < V_c$	Río deprimido	
$\frac{dh}{dx} = 0$	$J = i$	Escurrecimiento uniforme	
Perfiles de flujo en los distintos tipos de pendiente			
Pendiente	Condiciones	Perfil del flujo	Tipo de curva
Pendiente suave	$h > h_n$	Río peraltado	Remanso
	$h_n > h > h_c$	Río deprimido	Caída
	$h_c > h$	Torrente deprimido	Remanso
Pendiente fuerte	$h < h_n$	Torrente deprimido	Remanso
	$h_c > h > h_n$	Torrente peraltado	Caída
	$h > h_c$	Río peraltado	Remanso

Tabla 2.2 Clasificación y tipos de perfiles de flujo en canales.

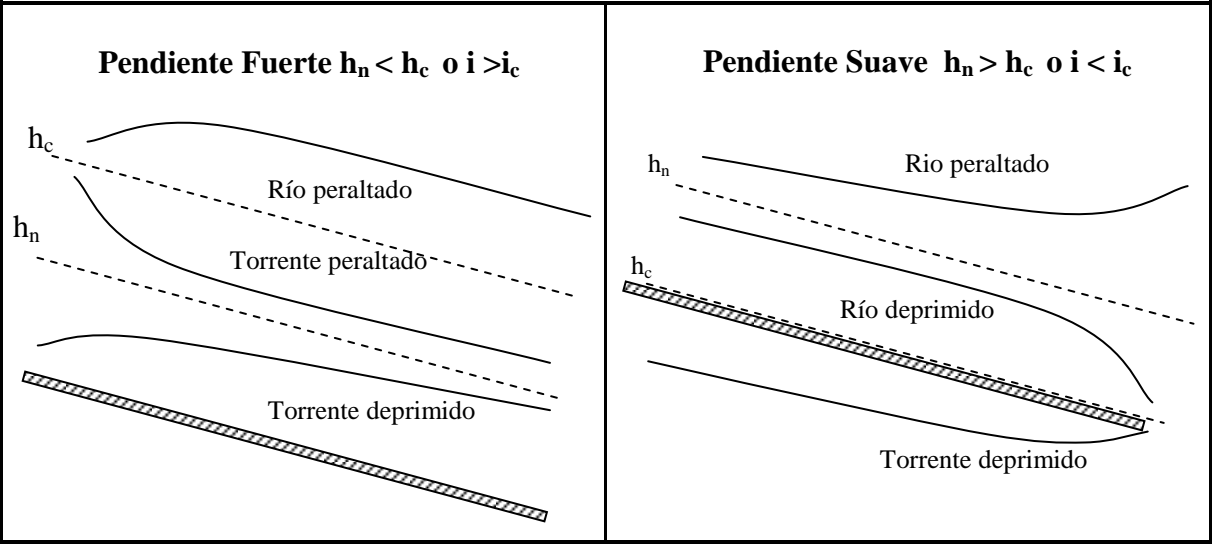


Figura 2.6 Clasificación de los perfiles de flujo

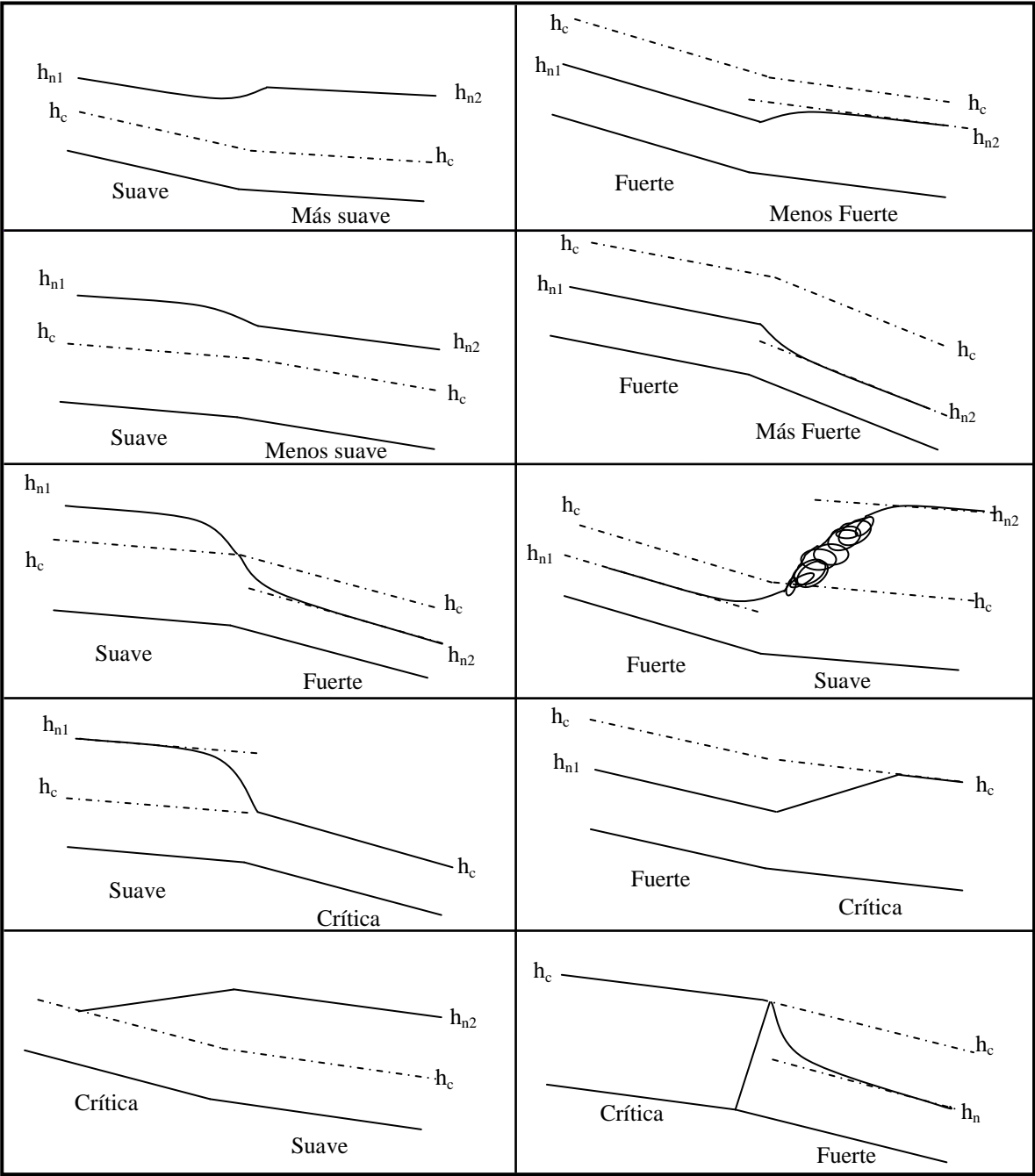


Figura 2.7 Cambios de Pendiente.



### 2.3.2 Determinación y Análisis cuantitativo del eje hidráulico

El cálculo de los perfiles de flujo gradualmente variado involucra el conocer la ecuación de la curva del eje hidráulico que se obtendría de la integración de la expresión mostrada en la ecuación 2.3. En esta ecuación sería necesario introducir previo a la integración los valores de  $V$ ,  $V_c$ , y  $J$ , reemplazándolas por expresiones en función de  $h$ . Esto llevaría a simplificaciones que obligan a separarse de la realidad llegando a ecuaciones complicadas poco reales; por eso se procede con mayor exactitud al cálculo de puntos del eje hidráulico, por medio de aplicaciones escalonadas de la ecuación general de movimiento variado. (Domínguez, 1959

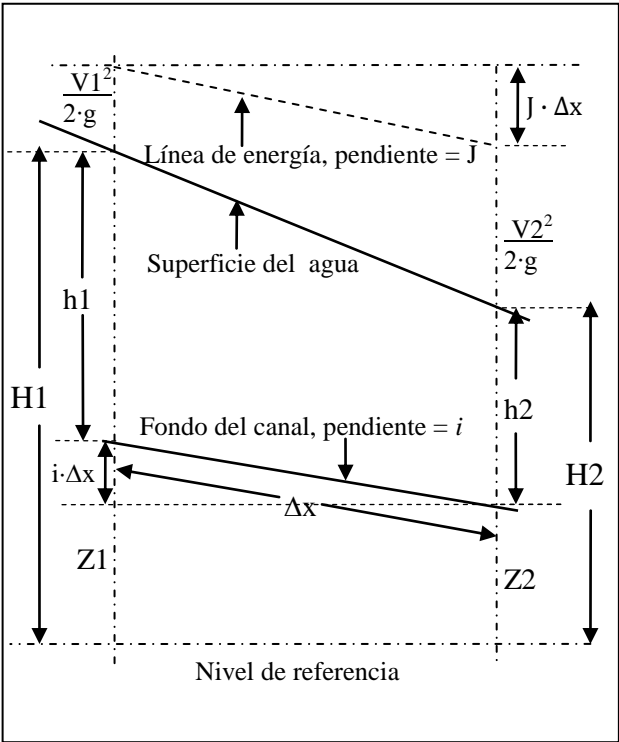


Figura 2.8 Tramo de canal para la deducción de los métodos de paso.  
(Ven te Chow, 1994)

Los métodos mas usados en el cálculo de las alturas del eje hidráulico son: el “*método de paso directo*” y el “*método de paso estándar*”, en general un método de paso se caracteriza por dividir el canal en tramos cortos y llevar a cabo cálculos paso a paso desde un extremo del tramo hasta el otro. En ambos métodos los pasos de cálculo deben realizarse hacia aguas arriba si el flujo es sub-crítico y hacia aguas abajo si es supercrítico ya que los pasos de cálculo efectuados en la dirección contraria tienden inevitablemente a un resultado que diverge del perfil de flujo correcto.

La figura 2.8 ilustra un tramo de canal corto de longitud  $\Delta x$ . Para el “*Método de paso directo*” se tiene que:

Al igualar las alturas de energía totales en los extremos de las secciones 1 y 2 puede escribirse lo siguiente:

$$Z_1 + h_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + h_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + \int_{x_1}^{x_2} J \cdot dx$$

Recordando que la energía con respecto al fondo del canal es:

$$E = h + \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Reemplazando en la expresión de la energía total se tiene:

$$\Delta E = Z_1 - Z_2 - \int_{x_1}^{x_2} J \cdot dx$$

En la figura 2.8 se puede ver que la diferencia ( $Z_1 - Z_2$ ) es igual a  $i \cdot \Delta x$ . Para calcular el valor de la integral  $\int J \cdot dx$ , si el  $\Delta E$  no es muy grande, puede considerarse para  $J$  el valor promedio de esta en el tramo considerado, así se obtiene:

$$\Delta E = i \cdot \Delta x - J_m \cdot \Delta x$$

Resolviendo para  $\Delta x$ :

$$\Delta x = \frac{\Delta E}{i - J_m} \quad \text{Ec (2.5)}$$

Partiendo con valores conocidos de  $h, \Omega, V$ , en una sección, se puede con la ecuación 2.5, calcular la distancia hacia aguas arriba o hacia aguas abajo, a la que se produce otra altura que también es conocida, y luego otra partiendo de ésta y así sucesivamente (Domínguez, 1959).

Los puntos de partida son fáciles de encontrar, ya sea por singularidades o porque existe en algún punto movimiento uniforme o porque existe algún cambio de forma del lecho, de rugosidad en sus paredes o de pendiente (ver figura 2.7).

Otro aspecto que hay que considerar es si  $\Delta x < 0$  indica que se esta avanzando hacia aguas arriba y si  $\Delta x > 0$  se esta avanzando en dirección de aguas abajo.

Si se elije para el cálculo del eje hidráulico el “Método de paso estándar” este funciona haciendo los cálculos mediante pasos de estación a estación en las cuales se han determinado las características hidráulicas, en tal caso la distancia entre las secciones es conocida y el procedimiento consiste en determinar la profundidad de flujo de las estaciones.

Para explicar el método es necesario referir la posición de la superficie del agua con respecto a un nivel de referencia horizontal como muestra la figura 2.8 en donde la superficie del agua de ambas secciones se puede representar como:

$$H_1 = h_1 + i \cdot \Delta x + Z_2 \quad \text{Ec (2.6)}$$

$$H_2 = h_2 + Z_2 \quad \text{Ec (2.7)}$$

Considerando la pérdida por fricción como:

$$h_f = J \cdot \Delta x$$

Donde la pendiente J se toma como el promedio  $J_m$  de las pendientes en las dos secciones extremas.

$$J_m = \frac{J_1 + J_2}{2}$$

Remplazando en  $h_f$  se obtiene:

$$h_f = J_m \cdot \Delta x \quad \text{Ec (2.8)}$$

Al sustituirse las expresiones anteriores en la relación de conservación de la energía puede escribirse lo siguiente:

$$H_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = H_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + h_f \quad \text{Ec (2.9)}$$

## 2.4 Diseño de Canales

La mayoría de los canales artificiales revestidos y construidos pueden resistir la erosión de manera satisfactoria, y por consiguiente se consideran no erosionables. En el diseño de este tipo de canales, factores como la velocidad máxima permisible y la fuerza tractiva permisible no hacen parte del criterio que deben ser considerados. Simplemente el diseñador calcula las dimensiones del canal artificial mediante ecuaciones de flujo y luego decide las dimensiones finales en base a la eficiencia hidráulica o reglas empíricas de sección óptima, aspectos prácticos constructivos y economía. Los factores que se consideran en el diseño son: la clase del material que conforma el cuerpo del canal, la cual determina el coeficiente de rugosidad; la velocidad mínima permisible, para evitar la depositación si el agua mueve limos o basuras; la pendiente del fondo del canal y las pendientes laterales; el borde libre; y la sección más eficiente, ya sea determinada hidráulica o empíricamente. (Ven Te Chow, 1994)

### 2.4.1 Revestimiento y Rugosidad

Entre Los materiales más utilizados para formar el revestimiento de un canal están: hormigón, mampostería, acero, entre otros. La selección del material depende sobretodo de la disponibilidad y el costo de esté, método de construcción y el propósito para el cual se utilizará el canal.

El propósito del revestimiento de un canal, en la mayoría de los casos, es prevenir la erosión, pero ocasionalmente puede ser el de evitar las pérdida por infiltración. En canales

revestidos, la velocidad máxima permisible, es decir la velocidad máxima que no causará erosión, puede no considerarse siempre y cuando el agua no transporte arena, grava o piedras. (Ven Te Chow, 1994)

Según la guía de diseño “Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos” del MINVU. Los canales artificiales sin ningún tipo de revestimiento no deben considerarse como alternativa para situaciones de drenaje urbano. Desde este punto de vista se consideran como alternativa los casos descritos a continuación (MINVU, 1996)

- 1) **Canal natural.** Consiste en un cauce excavado por la naturaleza antes que ocurra el proceso de urbanización, a menudo, aunque no siempre, son razonablemente estables. A medida que se urbaniza la cuenca tributaria, se pueden presentar problemas de erosión y puede ser necesario algún grado de control de fondo y protección localizada de taludes.
- 2) **Canales revestidos de pasto.** Entre los diferentes tipos de canales construidos, o modificaciones de cauces naturales, los canales revestidos de pasto son los favoritos para zonas urbanas. Proveen de capacidad de almacenamiento, menores velocidades y beneficios de usos múltiples. Sin embargo algunas secciones pueden requerir revestimientos para minimizar la erosión y los inconvenientes de mantención.
- 3) **Canales con vegetación en el fondo.** Se trata de un subconjunto de los canales revestidos de pasto pero diseñados para mantener una vegetación húmeda más permanente o ciertos tipos de vegetación local de zonas húmedas en el fondo del canal. En algunas áreas pueden requerir revestimientos para protegerlos de la erosión.
- 4) **Canales revestidos de hormigón o albañilería.** Los canales con revestimientos de hormigón o albañilería generalmente usados para soportar velocidades altas del flujo, no se recomiendan como parte de sistemas de drenaje urbano. Sin embargo en condiciones especiales o en tramos cortos en las cuales las velocidades pueden ser importantes y no se dispone de espacio para desarrollar otras soluciones alternativas este tipo de canal puede ofrecer ventajas.

Asociado a la forma del canal y al material con el que se revestirá se encuentra la determinación del coeficiente de rugosidad, el cual es un indicador de la resistencia al flujo en un canal. En general no existe un método exacto para determinar el valor del coeficiente de

rugosidad(n) de un canal, en realidad, el valor de este es muy variable y depende de un cierto número de factores, Entre los que ejercen mayor influencia están: (*Ven Te Chow, 1994*)

- **Rugosidad Superficial**, la cual se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que forma el perímetro mojado y que producen un efecto retardador del flujo. Por lo general éste se considera como el único factor para la selección de un coeficiente de rugosidad.
- **Vegetación**, esta reduce la capacidad del canal y retarda el flujo. El efecto depende por completo de la altura, la densidad, la distribución y el tipo de vegetación, tomando mayor importancia en el diseño de pequeños canales de drenaje.
- **Irregularidad del Canal**, incluye irregularidades en el perímetro mojado y variaciones en la sección transversal, tamaño y forma de esta a lo largo del canal
- **Alineamiento del Canal**, curvas suaves con radios grandes producirán valores de rugosidad relativamente bajo, en tanto que curvas bruscas con meandros severos lo incrementarán.
- **Sedimentación y Socavación**, en general la sedimentación puede cambiar un canal muy irregular en un canal relativamente uniforme y disminuir el coeficiente de rugosidad, en tanto que la socavación puede hacer lo contrario incrementando su valor
- **Obstrucción**,
- **Tamaño y Forma del Canal**
- **Nivel y Caudal**
- **Cambio Estacional**
- **Material en Suspensión**

En general en Chile para el diseño de canales se usan los coeficientes de rugosidad propuestos por el manual de carretas o los valores propuestos por el MINVU en la guía de diseño antes mencionada. (Tabla 2.3)

Tipo de Canal y Superficie	Mínimo	Normal	Máximo
A.- Canales contruidos			
Revestimiento metálico, de acero, sin pintar	0,011	0,012	0,014
Revestimiento metálico, pintado	0,012	0,013	0,017
Metal corrugado, alcantarillas corrugadas	0,021	0,024	0,030
Cemento y mortero afinado	0,011	0,013	0,015
Asfalto suave, bien terminado	0,012	0,014	0,015
Concreto con moldaje	0,013	0,015	0,017
Ladrillos, sin cantería	0,012	0,015	0,018
Mampostería de piedra emboquillada	0,017	0,025	0,030
Piedras sueltas, enrocados menores	0,020	0,030	0,035
B.- Canales excavados o dragados			
En tierra, rectos y uniformes recién contruidos	0,016	0,018	0,020
Profundos , con vegetación y plantas acuáticas	0,030	0,035	0,040
En roca irregulares	0,035	0,050	0,060
C.- Cauces naturales			
De poca pendiente, limpios y rectos	0,025	0,030	0,035
Poca pendiente, rectos pero piedras, plantas	0,075	0,100	0,150
De montaña, sin vegetación con ripios	0,030	0,040	0,050
De montaña con peñascos y ripios, sin plantas	0,040	0,050	0,070
D.- Zonas inundadas			
Pastizales, planicies, pastos corto	0,030	0,035	0,050
Zonas cultivadas, cultivos anuales	0,030	0,040	0,050
Matorrales y pocos árboles	0,045	0,070	0,110
Arboles densos, bosques, suelo limpio	0,040	0,070	0,100
Arboles y matorrales, ramas	0,100	0,120	0,160

Tabla 2.3 Valores del coeficiente de rugosidad n para ser empleados en la fórmula de Manning.  
 (MINVU, 1996)

### 2.4.2 Velocidad del flujo

La velocidad del agua generalmente está limitada por los valores que producen erosión en el revestimiento, lo que depende del tipo de material en suspensión. Si no es muy abrasivo, se pueden aceptar 3 a 4 m/s, en tanto que con un agua limpia se puede llegar a 12 m/s sin daños importantes. En este último caso, se requieren exigentes terminaciones en el hormigón. Sin embargo, cuando el hormigón no es armado se exigen velocidades no superiores a 2,5 m/s por razones estructurales.

Con respecto a la velocidad mínima, lo que se trata es evitar el depósito de sedimentos y el crecimiento de plantas acuáticas en el canal. Por lo general, esto se cumple en forma aceptable para velocidades superiores a 0,75 m/s. En la tabla 2.4 se muestran las velocidades máximas permitidas de acuerdo al material de revestimiento.

Material	Velocidad (m/s)
Suelo arenoso muy suelto	0,30 – 0,45
Arena gruesa o suelo arenoso suelto	0,46 – 0,60
Suelo arenoso promedio	0,61 – 0,75
Suelo franco arenoso	0,76 – 0,83
Suelo franco de aluvión o ceniza volcánica	0,84 – 0,90
Césped de crecimiento ralo o débil	0,9
Suelo franco pesado o franco arcilloso	0,90 - 1,20
Suelo con vegetación regular	1,22
Suelo arcilloso o cascajoso	1,20 – 1,50
Césped vigoroso, denso y permanente	1,52 – 1,83
Conglomerados, cascajo cementado, pizarra blanda	1,80 – 2,40
Roca dura	3,00 – 4,50
Hormigón	4,51 – 6,00

Tabla 2.4 Velocidades Máximas Permitidas en Canales.  
(Pizarro et al, s/f)

En la tabla 2.5 se indican las velocidades máximas y numero de *froude* máximos que se permiten en chile para canales diseñados con revestimiento de pasto que se usan en el diseño de canales destinados al drenaje urbano.

Cubierta de pasto	Velocidad máxima m/s (número de Froude)	
	Suelos cohesivo	Suelos no cohesivos
Sin vegetación	1,2 (0,5)	0,7 (0,3)
Pastos de jardín, mezclas nativas	2,1 (0,8)	1,5 (0,6)
Pastos naturales, alfalfa	1,3 (0,5)	0,9 (0,3)

Tabla 2.5 Velocidades máximas (y números de Froude máximos) recomendadas.  
(MINVU, 1996)

### **2.4.3 Pendiente del Canal**

La pendiente longitudinal del fondo de un canal generalmente esta dada por la topografía y por la altura de energía requerida para el flujo del agua. En muchos casos, la pendiente también depende del propósito del canal. Por otra parte las pendientes laterales de un canal dependen principalmente de la clase de material, así como también de factores como: el método de construcción, la condición de pérdida por infiltración, los cambios climáticos, el tamaño del canal etc.

### **2.4.4 Borde Libre o revancha**

El borde libre de un canal es la distancia vertical desde la parte superior del canal hasta la superficie del agua en la condición de diseño. Esta distancia debe ser lo suficientemente grande para prevenir que ondas o fluctuaciones en la superficie del agua causen reboses por encima de los lados.

No existe una regla universalmente aceptada para el cálculo del borde libre, debido a que la acción de las ondas o las fluctuaciones en la superficie del agua en un canal puede crearse por caucas incontrolables. Ondas pronunciadas y fluctuaciones en la superficie se esperan en canales donde la velocidad es muy alta y la pendiente muy empinada, de tal manera que el flujo se vuelve inestable, o en curvas donde la alta velocidad y el ángulo de deflexión pueden causar superficies de agua con súper elevaciones en el lado convexo de la curva, o en canales donde la velocidad de flujo se aproxima al estado critico. (*Ven Te Chow, 1994*).

En el diseño es común el uso de revanchas que varíen entre un 5% y un 30% de la profundidad del agua, con un mínimo del orden de 15 cm. Para seleccionar una revancha en el rango indicado es necesario tener en consideración el tamaño del canal, la velocidad del agua, las curvas, los posibles aportes extras durante las lluvias, la existencia de obras de descargas de seguridad, las fluctuaciones del nivel debidas a los movimientos de las compuertas, entre otros factores.

### **2.4.5 Sección Hidráulicamente Óptima**

La conductividad de una sección de canal se incrementa con el aumento en el radio hidráulico o la disminución en el perímetro mojado. Entonces desde un punto de vista hidráulico, la sección de canal que posea el menor perímetro mojado para un área determinada tiene la máxima conductividad; tal sección se conoce como sección hidráulicamente óptima. (*Ven Te Chow, 1994*)



En general una sección de canal debe diseñarse para cumplir con una eficiencia hidráulica optima pero debe modificarse para tener en cuenta aspectos constructivos. Desde el punto de vista práctico la sección óptima es la de área mínima para un caudal determinado pero no necesariamente la mínima excavación.

Para el cálculo de las dimensiones de la sección se deben seguir los siguientes pasos: estimar rugosidad (n) y pendientes (s), usar la ecuación de manning. Con respecto a la sección transversal, la más económica en cantidad de material es aquella que tenga el menor perímetro mojado, resultando así la semicircular. Sin embargo, por razones de técnicas constructivas y de empalme hidráulico, las secciones más usadas son las trapeciales y rectangulares. Ver tabla 2.6


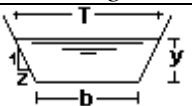
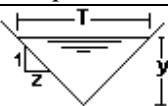
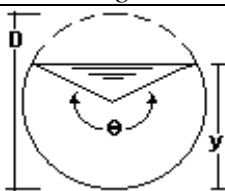
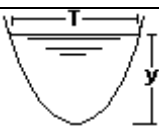
Sección transversal	Área <i>A</i>	Perímetro mojado <i>P</i>	Radio hidráulico <i>R</i>	Ancho superficial <i>T</i>	Profundidad hidráulica <i>D</i>
 Rectangular	$b \cdot y$	$b + 2y$	$\frac{b \cdot y}{b + 2y}$	$b$	$y$
 Trapezoidal	$(b + zy) \cdot y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy) \cdot y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy) \cdot y}{b + 2zy}$
 Triangular	$z \cdot y^2$	$2y \cdot \sqrt{1 + z^2}$	$\frac{z \cdot y}{2 \cdot \sqrt{1 + z^2}}$	$2 \cdot z \cdot y$	$\frac{y}{2}$
 Circular	$\frac{(\theta - \sin \theta) \cdot D^2}{8}$	$\frac{\theta \cdot D}{2}$	$(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}) \cdot \frac{D}{4}$	$2 \cdot \sqrt{y(D - y)}$	$\frac{(\theta - \sin \theta) \cdot D^2}{16 \cdot \sqrt{y(D - y)}}$
 Parabólica	$\frac{2}{3}T \cdot y$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2 \cdot T^2 \cdot y}{3T + 8y^2}$	$T$	$\frac{2}{3} \cdot y$

Tabla 2.6 Secciones hidráulicamente óptimas.

### 2.4.6 Curvas y Radios de Curvatura Mínimos en Canales

En el diseño de canales, el cambio brusco de dirección se sustituye por una curva cuyo radio no debe ser muy grande, y debe escogerse un radio mínimo, dado que al trazar curvas con radios mayores al mínimo no significa ningún ahorro de energía, es decir la curva

no será hidráulicamente más eficiente, en cambio sí será más costoso al darle una mayor longitud o mayor desarrollo (Condori, 2004).

Capacidad del canal	Radio mínimo
Hasta 10 m <sup>3</sup> /s	3 x ancho de la base
De 10 a 14 m <sup>3</sup> /s	4 x ancho de la base
De 14 a 17 m <sup>3</sup> /s	5 x ancho de la base
De 17 a 20 m <sup>3</sup> /s	6 x ancho de la base
De 20 m <sup>3</sup> /s a mayor	7 x ancho de la base

Tabla 2.7 Radio mínimo en canales abiertos para Q > 10 m<sup>3</sup>/s.  
(Condori, 2004)

Capacidad del canal	Radio mínimo
20 m <sup>3</sup> /s	100 m
15 m <sup>3</sup> /s	80m
10 m <sup>3</sup> /s	60m
5 m <sup>3</sup> /s	20m
1 m <sup>3</sup> /s	10m
0.5 m <sup>3</sup> /s	5m

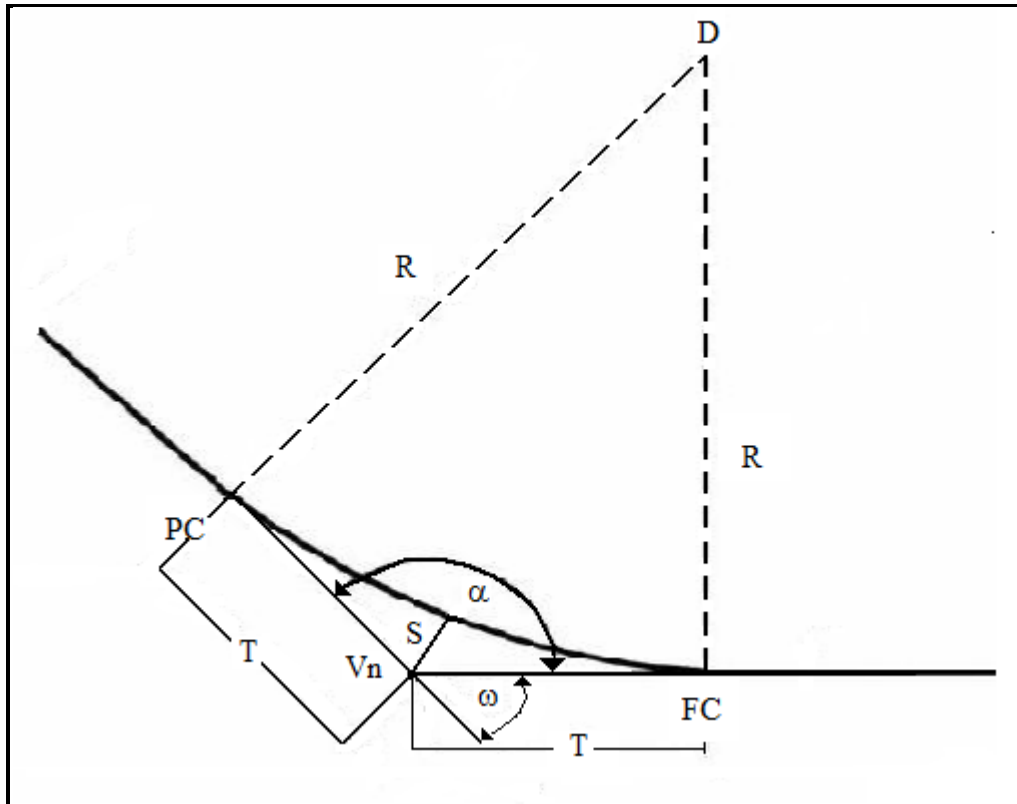
Tabla 2.8 Radios de curvatura mínimo para un caudal Q<20 m<sup>3</sup>/seg.  
(Harvey, 2004)

El diseño en planta de una canal o de una vía esta formado por tramos rectos empalmados entre si por curvas. Las curvas más ampliamente usadas son las curvas circulares simples (figura 2.9), cuyos elementos componentes se describirán a continuación de acuerdo a lo señalado por el manual de carreteras.

De la figura 2.9 se tienen los siguientes componentes:

- **V<sub>n</sub>** : Vértice, punto de intersección de dos alineaciones consecutivas del trazado.
- **α** : Angulo entre dos alineaciones, medido a partir de la alineación de entrada, en el sentido de los punteros del reloj, hasta la alineación de salida.
- **ω** : Angulo de Deflexión entre ambas alineaciones, que se repite como ángulo del centro subtendido por el arco circular.
- **R** : Radio de Curvatura del arco de círculo (m)

- **T** : Tangentes, distancias iguales entre el vértice y los puntos de tangencia del arco de círculo con las alineaciones de entrada y salida (m). Determinan el principio de curva PC y fin de curva FC.
- **S** : Bisectriz, distancia desde el vértice al punto medio, MC, del arco de círculo (m)
- **D** : Desarrollo, longitud del arco de círculo entre los puntos de tangencia PC y FC (m)



Con  $\omega$  y  $\alpha$  en grados centesimales  
 Figura 2.9 Elementos de una curva circular.

Para el cálculo de los elementos de la curva se utilizan las siguientes relaciones:

$$\omega = |\alpha - 200| \quad \text{Ec (2.10)}$$

$$D = \frac{\pi \cdot R \cdot \omega}{200} \quad \text{Ec (2.11)}$$

$$T = R \cdot \tan \frac{\omega}{2} \quad \text{Ec (2.12)}$$

$$S = R \cdot \left( \sec \frac{\omega}{2} - 1 \right) \quad \text{Ec (2.13)}$$

# Capítulo III

## Estudio Hidrológico del estero Leña Seca y Caudales de diseño

### 3.1 Generalidades

Los datos y valores de caudal que se usaran, son los calculados en la tesis titulada “Formulación y Evaluación de alternativas para el saneamiento del estero Leña Seca-Valdivia”, realizada previamente. En ella se detalla el procedimiento utilizado para llevar a cabo el estudio hidrológico del estero, y también se describe el procedimiento para encontrar el caudal base que escurre por él.

A lo largo del capítulo 3 se resume la forma en como se hizo el estudio hidrológico y los resultados obtenidos en este, además de mostrar el valor de los caudales de diseño.

### 3.2 Análisis Hidrológico del Estero Leña Seca

Para el análisis hidrológico, el área abarcada en el estudio posee una superficie total de 2.578 km<sup>2</sup> dividida en una zona rural (1.5 km<sup>2</sup>) y otra urbana (1.08 km<sup>2</sup>). Cada una de estas superficies a su vez fue dividida en 6 micro-cuencas como se muestra en figura 3.1.

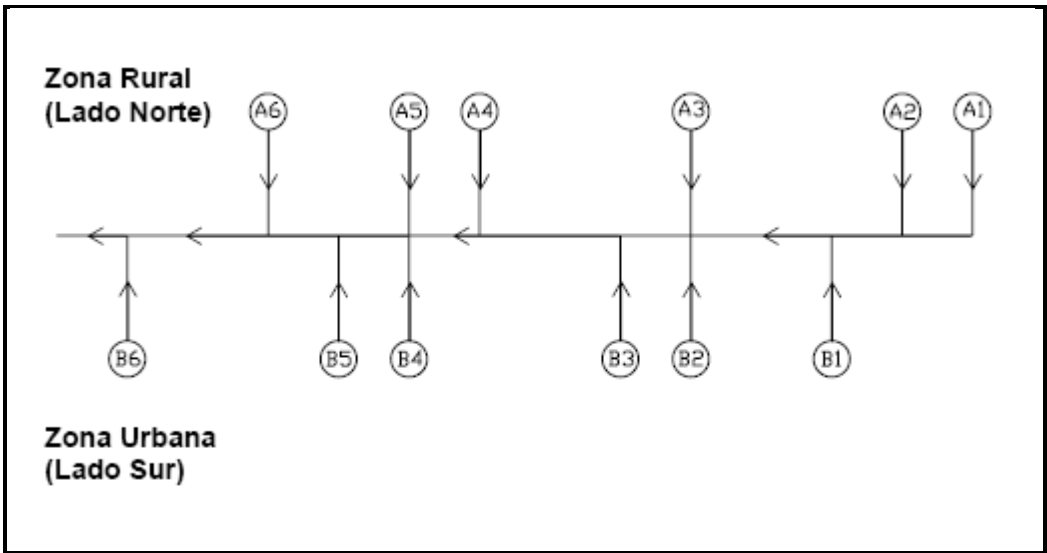


Figura 3.1 Esquema y designación de cuencas.  
(Valenzuela, 2007).

El estudio hidrológico se dividió en tres partes (Valenzuela, 2007):

- Análisis estadístico de las lluvias para determinar los coeficientes de frecuencia y lluvias de diseño del proyecto. Tecnológico
- Determinación de las curvas IDF (intensidad, duración y frecuencia) y los hidrogramas de crecidas de las distintas sub-cuencas aportantes al estero.
- Modelación en el programa HEC-HMS\*, para estudiar el tránsito de los hidrogramas a través del estero, y con ello encontrar los caudales aportantes de cada sub-cuenca.

### **3.2.1 Análisis Estadístico de las Lluvias**

Los estudios de precipitaciones analizan el régimen de lluvias en la región a partir de los datos de estaciones pluviométricas, este análisis comprende la variabilidad de la precipitación en el tiempo, su distribución sobre el área de estudio, la cuantificación de los volúmenes de agua que caen sobre la zona y las magnitudes y frecuencias de los aguaceros intensos. Para el análisis del Estero Leña Seca se contó con datos estadísticos de lluvias diarias de algunas de las estaciones cercanas al área, así se obtuvo información de lluvias máximas en 24 horas de las estaciones meteorológicas de Llancahue e Isla Teja, otorgadas por la Dirección General de Aguas y el Instituto de Geología de la Universidad Austral de Chile, respectivamente (*Valenzuela, 2007*).

Con los datos otorgados por las estaciones meteorológicas se procedió a realizar un análisis estadístico de la serie de datos de lluvias diarias máximas anuales, adoptándose tres distribuciones: Log-Normal, Valores Extremos y Log-Pearson III. (*Valenzuela, 2007*). Así se obtuvo las lluvias de diseño y los coeficientes de frecuencias para distintos periodos de retorno 10, 50 y 100 años en este caso.

### **3.2.2 Determinación de las Curvas IDF**

Las curvas IDF son la representación grafica de la relación existente entre la intensidad, la duración y la frecuencia (periodos de retorno) de las precipitaciones. Estas son útiles para estimar indirectamente el escurrimiento que proviene de cuencas pequeñas en función de la lluvia.

En el caso del estero Leña Seca para la construcción de las curvas IDF de la ciudad de Valdivia se usaron los siguientes datos:

- 1) datos de precipitaciones máximas (mm) según distribución Log Pearson tipo III, para distintos periodos de retorno T.

Periodo de Retorno (años)						
Estación	2	5	10	20	50	100
Llancahue	75.05	96.28	110.81	125.15	144.41	159.46

Tabla 3.1 Resumen de datos de precipitaciones máximas (mm) en 24 hrs.  
(Valenzuela, 2007)

- 2) Coeficientes de frecuencia para la ciudad de Valdivia, estación Llancahue.

Periodos de Retorno (años)						
Estación	2	5	10	20	50	100
Llancahue	0.68	0.87	1.00	1.13	1.3	1.44
MINVU	0.7	0.89	1	1.11	1.24	1.34

Tabla 3.2 Coeficiente de frecuencia.  
(Valenzuela, 2007)

- 3) Coeficientes de duración (CD) y precipitaciones para distintos periodos de retorno.

		Periodos de Retorno					
Duración minutos	CD	2	5	10	20	50	100
7	0.38	4.91	6.33	7.41	8.48	9.90	10.97
10	0.46	5.97	7.70	9.01	10.32	12.04	13.35
11	0.48	6.28	8.09	9.46	10.83	12.65	14.02
16	0.58	7.53	9.71	11.35	13.00	15.18	16.82
20	0.64	8.33	10.74	12.56	14.39	16.80	18.62
30	0.76	9.91	12.78	14.95	17.12	19.98	22.15
40	0.86	11.14	14.36	16.79	19.23	22.45	24.89
50	0.94	12.15	15.66	18.32	20.98	24.49	27.14
60	1.00	13.02	16.78	19.63	22.48	26.24	29.09

Tabla 3.3 Coeficientes de duración (CD) y precipitaciones.  
(Valenzuela, 2007)

- 4) Cálculo de las intensidades para distintas duraciones y periodos de retorno. ver tabla 3.4.

Periodos de Retorno						
Duración Horas	2	5	10	20	50	100
0.1167	42.10	54.27	63.47	72.68	84.85	94.06
0.1667	35.85	46.21	54.05	61.89	72.26	80.10
0.1833	34.23	44.12	51.61	59.10	68.99	76.48
0.2667	28.23	36.40	42.57	48.74	56.91	63.08
0.3333	25.00	32.23	37.69	43.16	50.39	55.86
0.5000	19.83	25.56	29.90	34.23	39.97	44.30
0.6667	16.71	21.54	25.19	28.84	33.67	37.33
0.8333	14.58	18.79	21.98	25.17	29.39	32.57
1.0000	13.02	16.78	19.63	22.48	26.24	29.09

Tabla 3.4 Intensidades (mm/hr) para distintos periodos de retorno.  
(Valenzuela, 2007).

La figura 3.2 muestra el gráfico de las curvas IDF para la ciudad de Valdivia con la duración en las abscisas, y las intensidades en la ordenada. (Valenzuela, 2007)

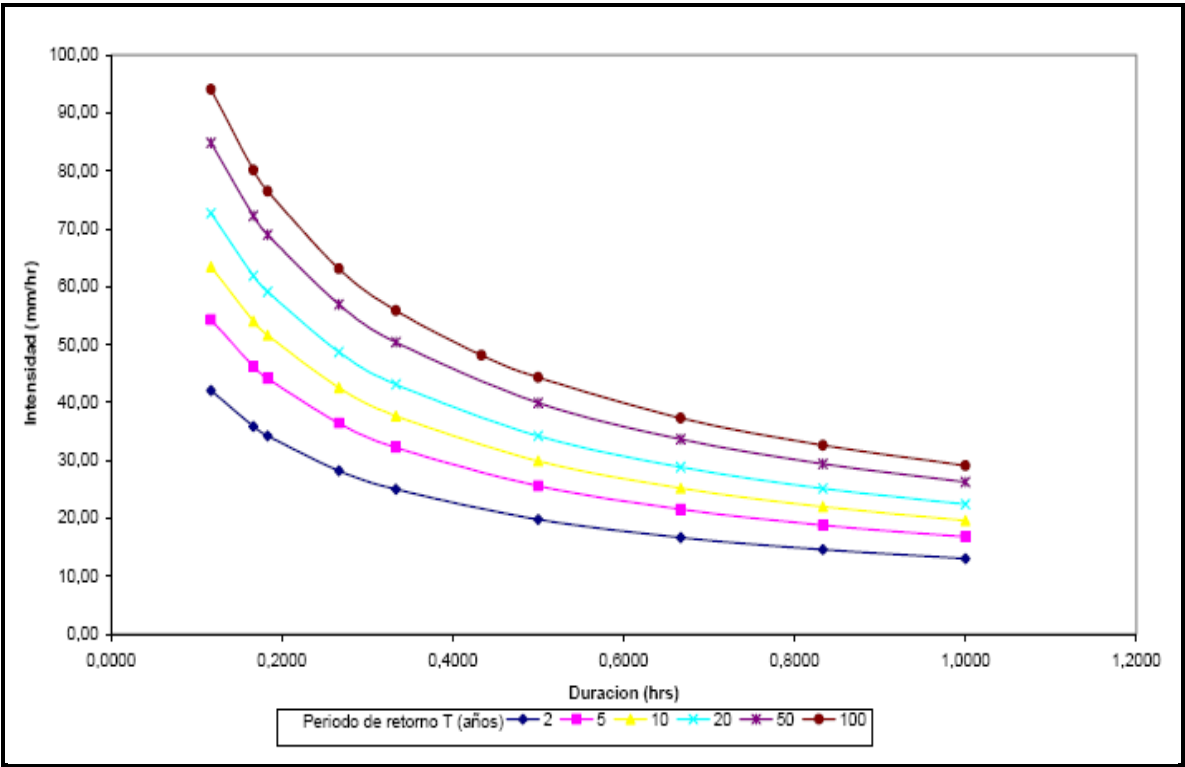


Figura 3.2 Curvas IDF para duraciones menores de 1 hora.  
(Valenzuela, 2007)

3.2.3 Tiempos de Concentración

En las tablas 3.5 y 3.6 se muestran los tiempos de concentración correspondientes a la zona rural y la zona urbana respectivamente. En ellas lo descrito como longitud del cauce se refiere a la trayectoria que debe tomar la gota más alejada hidráulicamente de la cuenca hasta llegar al punto de control o de aforo, S representa la pendiente promedio de la cuenca.

Sub Cuenca	Longitud del cauce (m)	S (m/m)	Tc <sub>min</sub> promedio	Tc <sub>min</sub> (Kirpich)	Tc <sub>min</sub> (Kerby's)	Tc <sub>min</sub> (Brasnby Williams)	Tc <sub>min</sub> (Federal Aviation Agency)
A1	969.02	0.09	30.80	9.80	35.90	25.70	36.90
A2	494.63	0.17	16.60	4.60	24.30	11.80	21.40
A3	865.35	0.09	28.50	9.00	36.60	22.20	34.80
A4	1055.35	0.10	32.25	10.10	39.10	27.30	37.20
A5	249.22	0.12	12.05	3.10	19.10	7.10	17.00
A6	652.80	0.12	22.70	6.50	30.00	17.90	27.50

Tabla 3.5 Tiempos de Concentración Area Rural.  
(Valenzuela, 2007)

Sub Cuenca	Longitud del cauce (m)	S (m/m)	Tc <sub>min</sub> (Kirpich)	Tc <sub>min</sub> (Kerby's)	Tc <sub>min</sub> (Brasnby Williams)	Tc <sub>min</sub> (Federal Aviation Agency)	Tc <sub>min</sub> promedio
B1	1251.60	0.005	36.3	22.4	58.5	87.00	50
B2	1076.04	0.005	32.3	20.9	57.5	80.70	50
B3	1233.48	0.005	35.9	22.3	56.8	86.40	46
B4	317.73	0.005	12.6	11.8	17.5	43.80	15
B5	615.09	0.005	21.0	16.1	32.5	61.00	27
B6	106.21	0.005	5.4	28.7	5.7	31.70	17

Tabla 3.6 Tiempos de Concentración Área urbana.  
(Valenzuela, 2007)

3.2.4 Hietogramas e Hidrogramas

Un hietograma es un gráfico que muestra la distribución temporal de la lluvia en ciertos intervalos de tiempo.

Debido a que en el estudio hidrológico del estero Leña Seca no se contó con hietogramas de tormentas medidos en una estación pluviométrica, se procedió a confeccionar estos a partir de las curvas IDF, seleccionando el tiempo de concentración de la cuenca como la duración de la lluvia de diseño y usando el programa SMADA\*. (Valennzuela, 2007)

En los tiempos de concentración, se observó que hay dos grupos de tiempo: uno con tiempos que fluctúan entre 12 a 32 minutos, que corresponden a la zona rural; y otro con



tiempos entre 15 a 50 minutos, que corresponden a la zona urbana. Es por ello que para la confección de los hietogramas de diseño se utilizaron dos tiempos base de 32 y 50 minutos, para cada zona respectivamente. Estos hietogramas se generaron con el programa SMADA\*, con una distribución SCS tipo A1, para los periodos de retorno de 10, 50 y 100 años (Valenzuela, 2007).

Con los hietogramas de lluvias de diseño calculados, se procedió entonces a transformar las lluvias en escorrentía y así obtener las crecidas de diseño (Valenzuela, 2007).

Para el cálculo de las crecidas de diseño se usó el método de los Hidrogramas de Crecida, el cual grafica el caudal  $Q$  que aporta una cuenca en función del tiempo.

### 3.3 Caudales

#### 3.3.1 Caudal Aportado por las Lluvias de Diseño

Un método empleado para conocer el caudal provenientes de las precipitaciones es el tránsito de hidrogramas en un río o canal, que consiste en analizar cómo evoluciona este a medida que la precipitación recorre el cauce. Es decir, el caudal se conoce en un punto aguas abajo del cauce a partir de un hidrograma conocido de aguas arriba.

Para los caudales de diseño aportados por las lluvias, se tomaron los hidrogramas de crecidas calculados y se hicieron transitar mediante el método de Muskingum-Cunge, usando el programa HEC-HSM. En la figura 3.3 se muestra la distribución usada para el tránsito en el estero Leña seca. (Valenzuela, 2007).

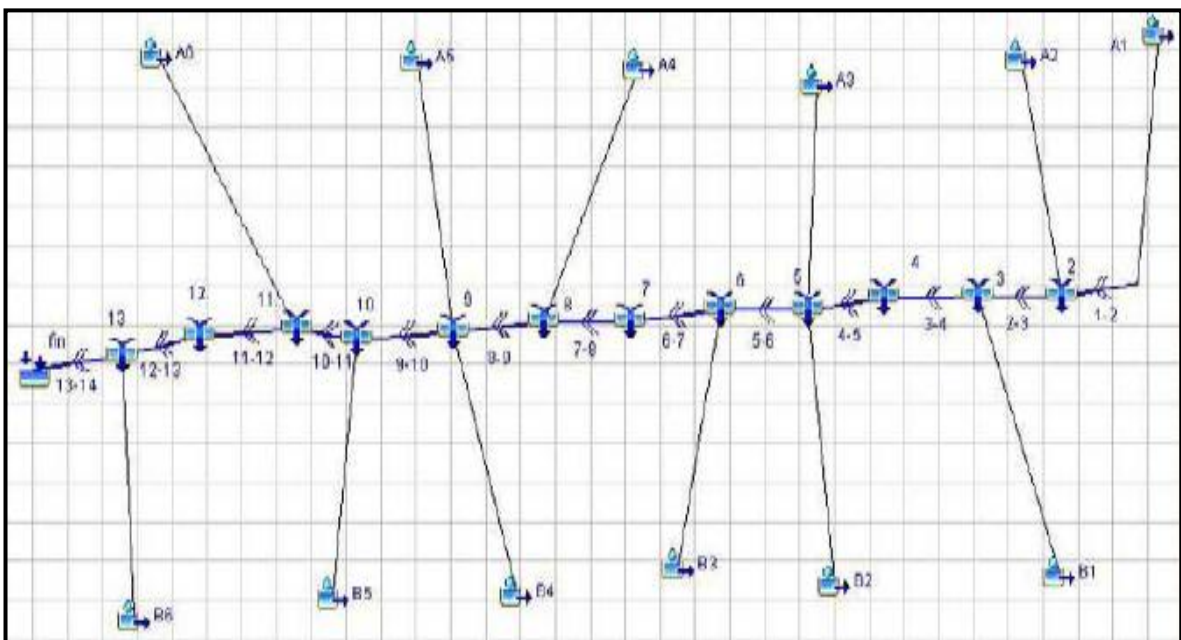


Figura 3.3 Modelo del estero Leña Seca en el programa.  
(Valenzuela, 2007)

3.3.2 Caudal Base

El aforo del flujo base, se realizó mediante un molinete. Para ello se hicieron mediciones en 4 puntos del canal en los kilómetros 0.213, 0.485, 1.396 y 2.395. Estos registros consistieron en la medición de las revoluciones en un tiempo de 50 segundos. Los resultados se muestran en la tabla 3.7.

Medición 1 (km 0.213)					
D (cm)	0	30	60	90	114
H (cm)	8	10	9,5	9	8
Rev. en t=50 seg	-	140	138	0	-
	-	134	137	0	-
n	-	2.800	2.760	0.000	-
	-	2.680	2.740	0.000	-
v(m/seg)	0	0.332	0.328	0.219	0
	0	0.319	0.326	0.217	0
Medición 2 (km 0.485)					
D (cm)	0	30	60	90	102
H (cm)	10.5	11	12	11	10
Rev. en t=50 seg	-	156	140	127	-
	-	160	140	121	-
n	-	3.120	2.800	2.540	-
	-	3.200	2.800	2.420	-
v(m/seg)	0	0.368	0.332	0.304	0
	0	0.377	0.332	0.290	0
Medición 3 (km 1.396)					
D (cm)	0	40	80	125	-
H (cm)	15	22	23	23	-
Rev. en t=50 seg	-	175	78	-	-
	-	172	85	-	-
n	-	3.500	1.560	-	-
	-	3.440	1.700	-	-
v(m/seg)	0	0.410	0.195	0	-
	0	0.403	0.211	0	-
Medición 4 (km 2.395)					
D (cm)	0	50	100	150	242
H (cm)	55	60	55	49	32
Rev. en t=50 seg	-	51	184	85	-
	-	58	182	88	-
n	-	1.020	3.680	1.700	-
	-	1.160	3.640	1.760	-
v(m/seg)	0	0.136	0.430	0.211	0
	0	0.151	0.425	0.217	0

Tabla 3.7 Cálculo de flujo base.  
(Valenzuela, 2007)

- Donde:
- D: Distancia desde el origen hasta el punto de medición (ver figura 3.4).
  - H: Profundidad del agua en el punto de medición (ver figura 3.4).
  - V: Velocidad en el punto de medición (m/seg).
  - n: Revoluciones por segundo.

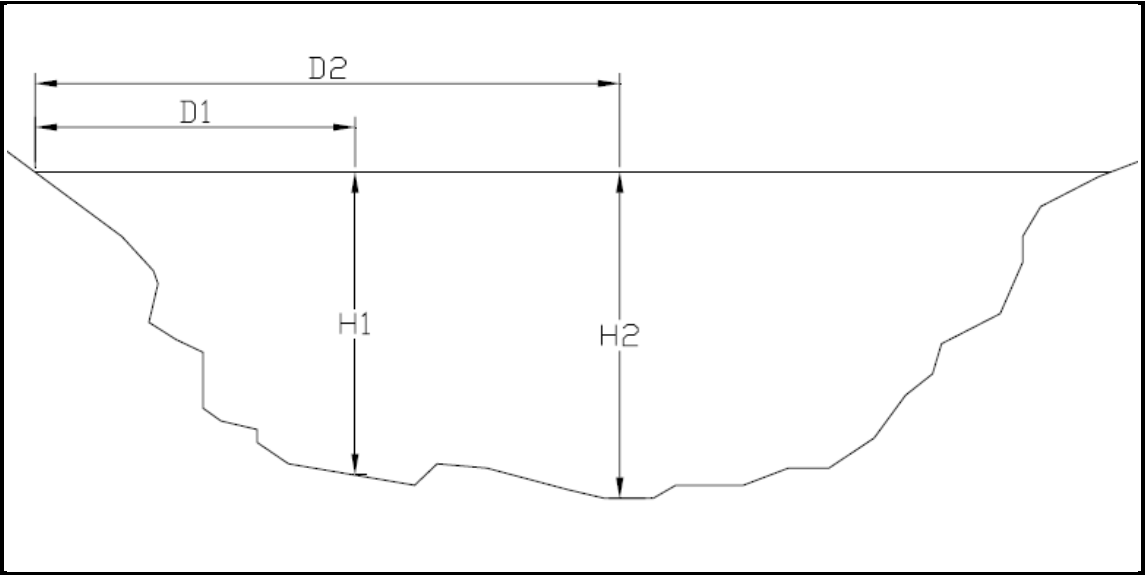


Figura 3.4 Parámetros de una sección tipo para el cálculo de él caudal base.  
(Valenzuela, 2007)

Las velocidades se calcularon según las fórmulas que se encuentran en el Operating & Maintenace Instruction Manual With Calibration Chart del molinete usado en la medición, y que se mencionan a continuación:

Rotation speed, n (rev/seg)		Flow Speed, v(m/seg)
Min	Max	
0.26	0.97	V=0.034+0.091n
0.97	4.71	V=0.023+0.1105n
4.71	27.86	V=0.039+0.1071n

Tabla 3.8 Formulas para el cálculo de velocidades.  
(Valenzuela, 2007)

El caudal en el punto de aforo, se calculó sumando los caudales aportantes por cada medición a lo ancho de la sección (Valenzuela, 2007). Estos resultados se encuentran en la tabla 3.9:

Medición 1 (Km 0.213)						
Punto	D (m)	Profundidad (cm)	Velocidad (m/seg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal Q m <sup>3</sup> /seg
1	0	8	0.000	127.5	0.013	0.000
2	30	10	0.326	290.625	0.029	0.009
3	60	9.5	0.327	285.00	0.029	0.009
4	90	9	0.218	241.875	0.024	0.005
5	114	8	0.000	99.00	0.010	0.000
Total						0.024
Medición 2 (Km 0.485)						
Punto	D (m)	Profundidad (cm)	Velocidad (m/seg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal Q m <sup>3</sup> /seg
1	0	10.5	0.000	159.375	0.016	0.000
2	30	11	0.372	331.875	0.033	0.012
3	60	12	0.332	352.50	0.035	0.012
4	90	11	0.297	233.25	0.023	0.007
5	102	10	0.000	61.50	0.006	0.000
Total						0.031
Medición 3 (Km 1.396)						
Punto	D (m)	Profundidad (cm)	Velocidad (m/seg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal Q m <sup>3</sup> /seg
1	0	15	0.000	335.00	0.034	0.000
2	40	22	0.406	850.00	0.085	0.035
3	80	23	0.203	972.50	0.097	0.020
4	125	23	0.000	517.50	0.052	0.000
Total						0.054
Medición 4 (Km 2.395)						
Punto	D (m)	Profundidad (cm)	Velocidad (m/seg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal Q m <sup>3</sup> /seg
1	0	65	0.000	1406.25	0.141	0.000
2	50	60	0.143	2937.50	0.294	0.042
3	100	55	0.427	2743.75	0.274	0.117
4	150	49	0.214	3321.00	0.332	0.071
5	242	32	0.000	1667.50	0.167	0.000
Total						0.23

Tabla 3.9 Caudales bases en los puntos de medición.  
(Valenzuela, 2007)

Para encontrar el caudal en los otros puntos de interés para el estero (tabla 3.8) se interpolaron los caudales obtenidos de la medición (Valenzuela, 2007):

Medición	Caudal Q m <sup>3</sup> /seg
1 (Km 0.213)	0.024
2(Km 0.485)	0.031
3 (Km 1.396)	0.054
4 (Km 2.395)	0.23

Tabla 3.10 Caudales base en los puntos de medición.  
(Valenzuela, 2007)

Sección	Km	Q <sub>base</sub> (m <sup>3</sup> /seg)
1-2	0	0.026
2-3	0.281	0.028
3-4	0.375	0.031
4-5	0.468	0.035
5-6	0.598	0.047
6-7	1.038	0.054
7-8	1.162	0.054
8-9	1.267	0.067
9-10	1.355	0.123
10-11	1.667	0.156
11-12	1.850	0.156
12-13	1.893	0.188
13-14	2.008	0.23

Tabla 3.11 Caudales bases para las distintas secciones del cauce.  
 (Valenzuela, 2007)

**3.3.3 Caudales de Diseño:**

El caudal de diseño se calculo como la suma entre el caudal base y los caudales provenientes de las lluvias, para estos últimos de tomaron en cuenta los siguientes periodos de retorno: T=10, T=50 y T=100 años (Valenzuela, 2007).

Tramo	Periodos de retorno						
	10		50		100		
	Qm <sup>3</sup> /seg		Qm <sup>3</sup> /seg		Qm <sup>3</sup> /seg		
	Canal de Hormigón	Canal De mampostería	Canal de Hormigón	Canal De mampostería	Canal de Hormigón	Canal de mampostería	Canal de pasto
1-2	0.166	0.166	0.436	0.436	0.576	0.576	0.576
2-3	0.218	0.218	0.668	0.668	0.918	0.918	0.918
3-4	1.701	1.701	2.801	2.801	3.331	3.331	3.331
4-5	1.705	1.705	2.805	2.805	3.335	3.335	3.335
5-6	2.147	2.147	3.647	3.647	4.397	4.397	4.397
6-7	3.893	3.864	6.194	6.184	7.274	7.274	7.174
7-8	3.894	3.854	6.184	6.164	7.264	7.274	7.164
8-9	3.937	3.897	6.387	6.367	7.557	7.557	7.467
9-10	4.313	4.223	6.983	6.933	8.243	8.243	8.013
10-11	4.896	4.766	7.856	7.746	9.186	9.206	8.856
11-12	4.906	4.776	7.946	7.826	9.306	9.306	8.986
12-13	4.938	4.798	7.968	7.848	9.338	9.328	8.998
13-14	5.020	4.850	8.140	7.960	9.520	9.510	9.120

Tabla 3.12 Caudales de diseño para los distintos periodos de retorno.

---

## Capítulo IV

---

# Levantamiento Topográfico

### 4.1 Generalidades

La topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la Tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales. El conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de puntos y posteriormente su representación en un plano es lo que se llama comúnmente “Levantamiento”

El primer objetivo de un levantamiento topográfico es determinar la posición relativa de uno o más puntos sobre un plano horizontal. A tal efecto, se miden las distancias y los ángulos (o direcciones) horizontales, lo que se conoce como planimetría. El segundo objetivo es la determinación de cotas y alturas de uno o más puntos en relación a un plano horizontal definido, lo que se conoce como altimetría.

La metodología precisa para determinar cotas y desniveles consiste en medir directamente distancias verticales, lo que se conoce como nivelación directa, geométrica o por alturas, en una nivelación la superficie de referencia que se adopta es la del nivel medio del mar y sólo en casos justificados se puede permitir otra.

La nivelación directa o geométrica, permite conocer rápidamente la diferencia de nivel entre dos puntos por medio de lectura directa de distancias verticales haciendo uso del nivel topográfico y la mira vertical. Sin embargo existen otros métodos de menor precisión para determinar desniveles, como la nivelación trigonométrica la cual recurre a la medida de ángulos verticales y distancias horizontales obteniendo indirectamente el valor buscado, generalmente este tipo de nivelación se utiliza para determinar desniveles entre puntos distantes y se debe considerar cuando corresponda, los efectos de la refracción y de la curvatura terrestre para corregir los resultados. También existe la nivelación barométrica, la cual mediante lecturas de presión atmosférica en los puntos de interés permite determinar las diferencias de cota, ésta es usada generalmente en trabajos de exploración o reconocimiento, o en estudios preliminares en que los desniveles son muy grandes como es el caso de lugares montañosos.

En el presente capítulo se describe el procedimiento realizado en el estero leña seca para obtener el levantamiento del perfil longitudinal y perfiles transversales del terreno para el trazado propuesto que seguirá el canal que encauzara las aguas del estero.

## 4.2 Nivelación de los Perfiles del Canal a Diseñar

Una de las aplicaciones más usuales e importantes de la nivelación geométrica, es la obtención de perfiles del terreno, a lo largo de una obra de Ingeniería o en una dirección dada. Entre las obras que se pueden mencionar están:

- Las obras hidráulicas: canales, acueductos, tranques, represas
- Vías de comunicación, transporte: caminos, ferrocarriles
- Obras de edificación en general

Generalmente, la sección transversal de las obras mencionadas, tiene un eje de simetría, o bien un eje de referencia. Este se llama **eje Longitudinal** del trazado y es la línea formada por la proyección horizontal de la sucesión de todos los ejes de simetría o referencia de la sección transversal. Si se unen todas las proyecciones y lo llevamos a un plano vertical, se llamara **Perfil Longitudinal**. Para obtener el perfil longitudinal, primero se debe estacar el eje de simetría en terreno, para luego obtener las cotas de este eje a través de una nivelación geométrica.

### 4.2.1 Descripción del Entorno

Antes de definir el trazado que seguirá el canal encargado de la conducción de las aguas del estero Leña seca, el primer paso fue hacer un recorrido a lo largo del cauce natural para observar así las condiciones del estero y del entorno alrededor de él.

El sector específico en donde nace el estero Leña Seca se encuentra a un costado de la intersección entre la calle Ignacio de la Carrera con la Avenida Pedro Castel blanco Agüero, siendo posible divisar el cauce luego de atravesar un conjunto de casas que se encuentran emplazadas en el cerro por donde escurre el incipiente estero. Principalmente en el lugar existe abundante vegetación y maleza dificultando el acceso al cauce y su visibilidad.

En general el cauce presenta irregularidades en ciertos tramos, algunas de estas son perdidas de la visibilidad de las aguas debido a la presencia de la maleza y la vegetación del

lugar, otra irregularidad es que existen tramos en que el cauce principal se divide en varias ramas, para luego volver a ser un cauce uniforme. A la vez presenta tramos en que el cauce natural se muestra relativamente ordenado, siguiendo sus aguas una trayectoria bastante definida. Otra característica es la abundante presencia de basura depositada tanto en las orillas, como también en el lecho del estero, los tramos en los que se aprecia mayor cantidad de basura es en las cercanías de su inicio, así como también en su parte media en donde existe un campamento en el cual no existe una urbanización.

**4.2.2 Nivelación del Perfil longitudinal del Canal**

Los instrumentos usados en la nivelación del perfil del terreno fueron: el nivel de precisión, una huincha, mira de aluminio, todos pertenecientes al Instituto de Obras Civiles de la Universidad Austral de Chile. Los valores de las cotas y los planos del perfil longitudinal y transversal del terreno se presentan en el anexo1 y anexo6 respectivamente.

Para llevar a cabo la nivelación del perfil longitudinal que seguirá la canalización del estero, se tomo como referencia el eje longitudinal propuesto para el canal en el estudio hidrológico, mostrado en la figura 4.1. En general el eje del canal seguirá la dirección del estero, salvo en ciertos tramos donde se hizo necesario la rectificación del cauce, recorriendo aproximadamente un total de 2.1km

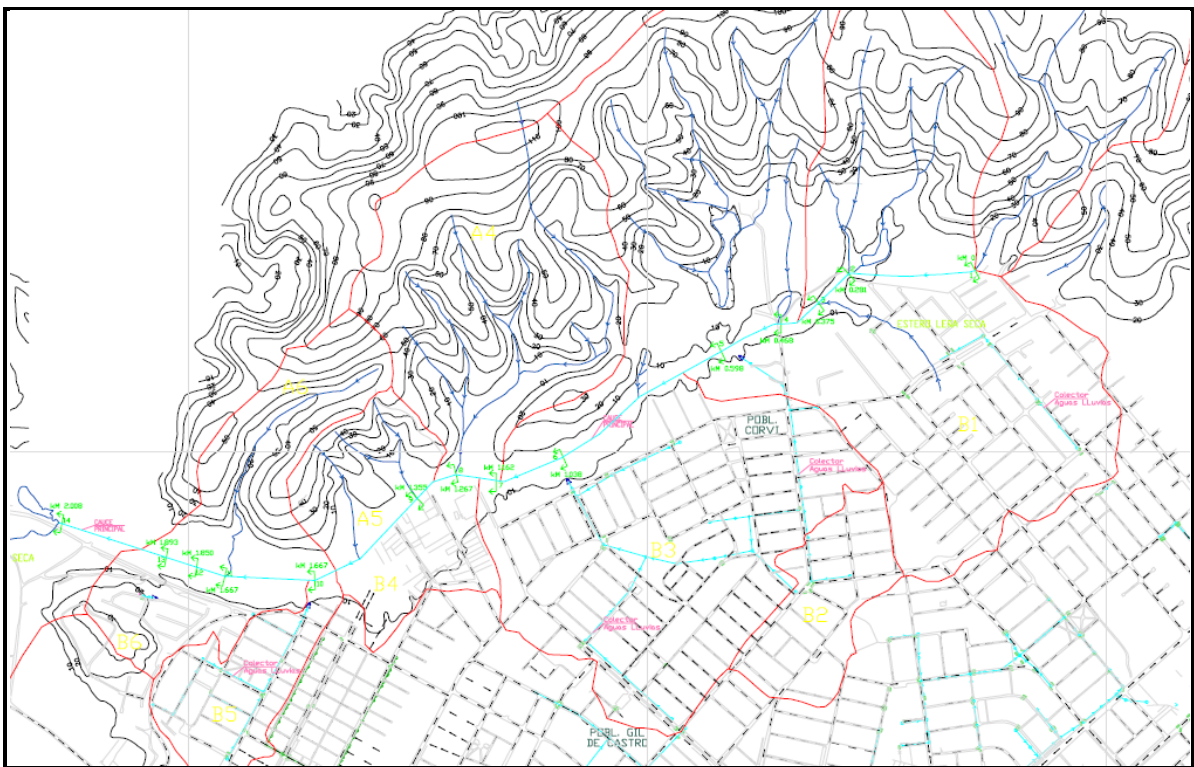


Figura 4.1 Eje longitudinal del canal.  
(Valenzuela, 2007)



Como se dijo antes, el estero leña seca nace a unos metros de la intersección entre la calle Ignacio de la Carrera con la Avenida Pedro Castelblanco Agüero, específicamente las aguas descienden desde un pequeño cerro, escurriendo débilmente en varias ramas a través de él, haciéndose el estero uniforme y fuerte a medida que avanza aguas abajo.

En general el terreno en donde se encuentra el estero muestra tramos bastante parejos con pendientes uniformes y sin grandes desniveles, lo que ayudó a hacer más fácil el recorrido, sin embargo el inconveniente más relevante que se presentó durante el levantamiento, fue el difícil acceso en ciertos tramos ya que como se mencionó existe una gran presencia de vegetación dificultando la instalación del instrumento y la visibilidad para las lecturas.

El primer punto a nivelar designado como kilometro 0, se ubicó a los pies del cerro en donde el terreno se mostraba de poca pendiente y el estero tomaba una forma mas unificada sin embargo el cauce seguía siendo confuso mostrando varias ramificaciones. El segundo punto de referencia se posiciono a 30m del anterior, aquí el entorno presentaba una abundante maleza y arbustos dificultando el acceso al terreno, por ello se siguió una trayectoria recta para ordenar el recorrido del cauce. Los siguientes 5 puntos del trazado siguen la dirección del punto anterior y se ubicaron en un sector en que, a un costado hay plantaciones forestales y al otro un par de viviendas, aquí el estero presentaba varias ramificaciones y el terreno estaba un tanto fangoso, recorriendo en total 140m.

En los siguientes 8 puntos se siguió la dirección del estero recorriendo un tramo de unos 240 m. A partir de ahí, se nivelaron 6 puntos (138 m) que siguieron una trayectoria en línea recta hasta llegar a la intersección del estero con la calle José Victorino Lastarria, en la entrada de un recinto de carabineros (km-0.553). Los siguientes 6 puntos medidos siguieron la dirección del estero ya que aquí el cauce se presenta bastante definido abarcando unos 165m, desde esa distancia se presento un problema debido a que la vegetación se hace mucho más abundante impidiendo, el acceso, la visibilidad y la instalación del instrumento para realizar las lecturas, sin embargo mediante la exploración de este tramo se aprecio que el cauce es bastante regular siguiendo una trayectoria uniforme y recta, por ello el siguiente punto a nivelar se tomó a 135 m del anterior, en el interior del hogar de carabineros, donde la vegetación disminuía haciendo mas fácil las lecturas, desde este punto se hicieron lecturas cada 30m y otra a 65m, logrando obtener la cota de cuatro puntos del eje. Pero nuevamente se presenta abundante vegetación y el terreno demasiado pantanoso, además de sumar la presencia de viviendas muy cercanas a una de las orillas, las que dificultaron la visibilidad y la instalación de los instrumentos, debiendo entonces hacer una inspección y recorrido del tramo, llegando a la conclusión que a simple vista el terreno no presenta grandes desniveles y

el cauce del estero esta bien definido pero se observó bastante sinuoso logrando medir una distancia de 124m donde se instalo el instrumento y se midieron puntos hasta llegar a la intersección del estero con la avenida Dr.Clemente Holzapfel, donde se ubicó el siguiente punto, aquí el estero atraviesa el campamento Girasoles, mostrando un cauce definido debido a que en toda la extensión del campamento presenta una trayectoria mas bien recta con poca curvatura y sus orillas están protegidas con gaviones este tramo abarca aproximadamente 500m. Desde ahí en adelante el cauce se vuelve algo sinuoso pero con sus orillas bien definidas.

Al terminar el recorrido del campamento, se avanzó unos 180m nivelando una serie de puntos del eje del canal que siguió la trayectoria del estero. Al finalizar este tramo nuevamente la vegetación impidió la instalación de los instrumentos debiendo tomar la misma medida que en los dos casos anteriores, haciendo una inspección visual del terreno logrando concluir que no se presenta cambios en su relieve que sean significativos, tomándose la decisión de ubicar la siguiente lectura a 280m de la anterior. Concluyendo así el levantamiento en la intersección del estero con el camino Los Lagos como se dijo antes.

#### **4.2.3 Nivelación de Perfiles transversales**

Los perfiles transversales se tomaron frente a cada estaca que indica el trazado del eje longitudinal del canal, en total se midieron 56 perfiles, cada uno con una longitud de 12m y se nivelaron 7 puntos incluido el que representa el estacado del eje longitudinal, las estacas estaban separadas entre si por una distancia de 2 m

Los primeros 4 perfiles se nivelaron siguiendo el eje longitudinal propuesto para el canal ya que como se explicó antes en los primeros 80m el cauce natural no estaba bien definido. A contar del perfil número 5 hasta el perfil 17 recorriendo aproximadamente 350m, se niveló estos perfiles siguiendo la dirección del estero, sin embargo el eje longitudinal del canal se traslado paralelamente unos 3 metros del eje longitudinal del cauce natural.

A partir del perfil 17 al perfil 25 recorriendo una distancia de aproximadamente 200m, los perfiles transversales se tomaron a lo largo del eje longitudinal del canal, el cual rectifica el eje longitudinal del estero.

De ahí en adelante el cauce del estero se vuelve bastante sinuoso y además se pierde su visibilidad, es por ello que desde el cruce del estero con la calle José Victorino Lastarria hasta el cruce con la avenida Dr. Clemente Holzapfel los perfiles transversales fueron levantados siguiendo la trayectoria del eje longitudinal propuesto para el canal, salvo que a lo

largo de este tramo, aproximadamente a la altura del cruce del estero con la calle San Francisco de Mostazal el cauce del estero se muestra bastante uniforme, decidiéndose seguir la trayectoria de este y levantar perfiles transversales, cubriendo una distancia aproximada de 120 m, y abarcando desde el perfil 30 hasta 33

A partir del cruce con la avenida Dr. Clemente Holzapel, los perfiles transversales se levantaron siguiendo el cauce del estero, en un tramo que cubrió aproximadamente 500m coincidiendo con la porción del estero que cruza el campamento los Girasoles. Una vez que se llegó al final del campamento, se siguió la trayectoria del cauce natural hasta el cruce de este con el camino Los Lagos, recorriendo unos 450m levantando desde el perfil 47 hasta 56

---

## Capítulo V

---

# Diseño y Estudio Hidráulico del Canal

## 5.1 Generalidades

El estero Leña Seca recibe el aporte de las aguas lluvias, de toda el área abarcada por la población adyacente, la cual alcanza una superficie de  $1,5 \text{ km}^2$ , afectando una población de aproximadamente 3.454 habitantes. La cuenca del estero, además de componerse por esta zona urbana, también recibe el aporte de aguas proveniente de una zona rural ubicada al norte del estero, cuya superficie alcanza los  $1,08 \text{ km}^2$  cubierta principalmente por bosque y plantaciones forestales.

Hay que mencionar que el estero Leña Seca funciona como drenaje natural de las aguas lluvias que escurren tanto en la cuenca urbana como en la rural. El problema que se presenta, es que en periodos en los cuales las precipitaciones son más intensas se ve sobrepasada su capacidad de conducción provocando el desborde de las aguas.

El uso de canales abiertos en sistemas de drenaje urbano de aguas lluvias tiene ventajas significativas por su excelente relación costo-capacidad. Además presentan oportunidades de usos múltiples como recreación, aportes estéticos y al paisaje, mantención de condiciones naturales y un cierto volumen de regulación para crecidas importantes.

Entre los inconvenientes a considerar están las necesidades de espacio y los costos de mantención. Un diseño cuidadoso puede minimizar los inconvenientes y aumentar los beneficios. Este tipo de conducciones solo debe considerarse para conducir aguas limpias. Siendo el cauce ideal para el drenaje urbano el natural, desarrollado por la acción de la naturaleza después de un largo periodo de modo que puede considerarse en condiciones estables. En general cuanto más se parezca un canal artificial a uno natural mejor será el canal artificial.

En muchas zonas que están por urbanizarse, los cauces naturales son tan pequeños que no se aprecian a simple vista. Sin embargo, prácticamente siempre existe la posibilidad de seguir la trayectoria que tendría el flujo en condiciones naturales, lo que puede ser una buena guía para la ubicación de canales de drenaje. Un buen criterio de planificación urbana siempre debe ser capaz de reflejar incluso estas pequeñas redes de drenaje natural para reducir costos de desarrollo y minimizar los problemas de drenaje posteriores. En algunos casos la utilización

del sistema de drenaje natural en forma inteligente puede evitar la necesidad de construir costosas redes de colectores subterráneos para el drenaje de aguas lluvias. (MINVU, 1996)

Existen casi infinitas posibilidades de elección para el tipo de canalización, considerando las alternativas de condiciones hidráulicas, diseño ambiental, impacto social y requerimientos del proyecto. Sin embargo desde un punto de vista práctico las elecciones básicas que se deben adoptar inicialmente consideran si debe ser un canal revestido, o para altas velocidades, un canal con pasto, canal con vegetación natural o un cauce natural existente previamente.

El presente capítulo describe la metodología considerada en el diseño de la alternativa de encauzamiento para el estero, en forma general esta se divide en dos partes, la primera parte será analizar el eje hidráulico de los canales propuestos en la tesis “Formulación y Evaluación de alternativas para el saneamiento del estero Leña- Seca-Valdivia” y la segunda parte será el diseño definitivo del canal y el cálculo de su eje hidráulico. Como se mencionó previamente para el análisis hidráulico de los canales propuestos y del canal definitivo, se usará el programa computacional HEC-RAS, con el objetivo de obtener resultados más precisos.

## **5.2 Funcionamiento del Programa HEC- RAS**

En un canal o contorno abierto el eje hidráulico es el lugar geométrico formado por los puntos de la superficie libre del agua y equivale a la línea piezométrica. Existen varias formas y software, para su cálculo, en este caso se usó el programa HEC-RAS.

El HEC-RAS es un software que fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers). El programa modela la hidráulica de escurrimientos de cauce abierto bajo el supuesto de escurrimiento unidimensional, tanto en regímenes de río como de torrente. Este modelo de libre acceso ha sido usado y validado en diversos estudios, tanto en el país como en el extranjero, y se ha convertido en el estándar internacional para trazar ejes hidráulicos. (Vergara, 2006).

El sistema HEC-RAS contiene tres opciones para realizar análisis hidráulicos unidimensionales, estas son: (1) cálculos de perfiles hidráulicos en flujos permanentes; (2) simulaciones de flujo no permanente; y (3) cálculos de transporte de sedimento en fondos y paredes erosionables. Todos estos tres componentes utilizarán una misma representación geométrica de datos, y similares rutinas de cálculo geométrico e hidráulico.

El objetivo principal del programa HEC-RAS es calcular alturas de agua en todas las localidades de interés para determinados caudales. Los datos necesarios para realizar estos cálculos están divididos de la forma que muestra la figura 5.1:

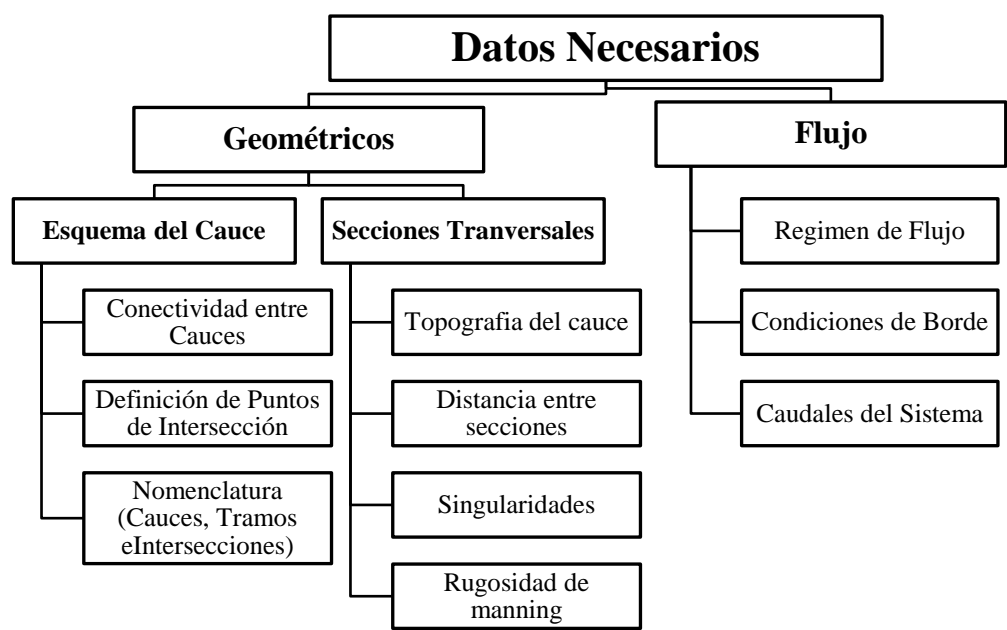


Figura 5.1 Datos a ingresa el HEC-RAS.

Para el cálculo del eje hidráulico, HEC-RAS utiliza el método del “Paso Estándar” explicado en la sección 2.3.2, el cual entrega la cota de aguas por sobre un nivel de referencia para secciones transversales conocidas. En general el modelo realiza sus cálculos a partir de una sección transversal con condiciones iniciales conocidas o supuestas y siguen aguas arriba para flujo sub-crítico o aguas abajo para flujo supercrítico, en casos donde el régimen de flujo cambia de sub-crítico a supercrítico, o viceversa, el usuario debe ejecutar el programa en modo de régimen de flujo mixto.

Si el flujo es de régimen sub-crítico (río) se requieren condiciones de borde en la última sección de aguas abajo y para régimen supercrítico (torrente) se requieren condiciones de borde en la primera sección de aguas arriba y si se usa régimen mixto, HEC-RAS necesita ambas condiciones de borde. Las condiciones de borde que se pueden ingresar son:

- Nivel de agua conocido
- Altura critica
- Altura normal: exige introducir la pendiente del tramo de influencia
- Curva de gasto

El ingreso de los datos geométricos consta de dos partes, la primera es el trazado del cauce donde se indica el nombre del canal y el nombre del tramo. La segunda parte es el ingreso de las secciones transversales, en donde el primer paso es escribir una referencia en

números para su ubicación en el trazado, en el programa la numeración va aumentando aguas arriba, de modo que el número 1 estará al final (aguas abajo). Debido a que en el estudio hidrológico la sección 1 estaba ubicada aguas arriba, al ingresar los datos al programa esta se enumeró como 14 y lo que en el diseño propuesto se enumeró como km 0 en el programa este aparecerá como km 2.140. El segundo paso en el ingreso de secciones es definir la geometría de la sección, para ello se deben ingresar elevaciones con respecto a un nivel de referencia, en este caso se usó como dato las elevaciones obtenidas en el levantamiento topográfico. Y por último como dato de flujo se consideró canales con flujo mixto.

Las figuras 5.2 y 5.3 ilustran un ejemplo de trazado y del ingreso de secciones respectivamente.

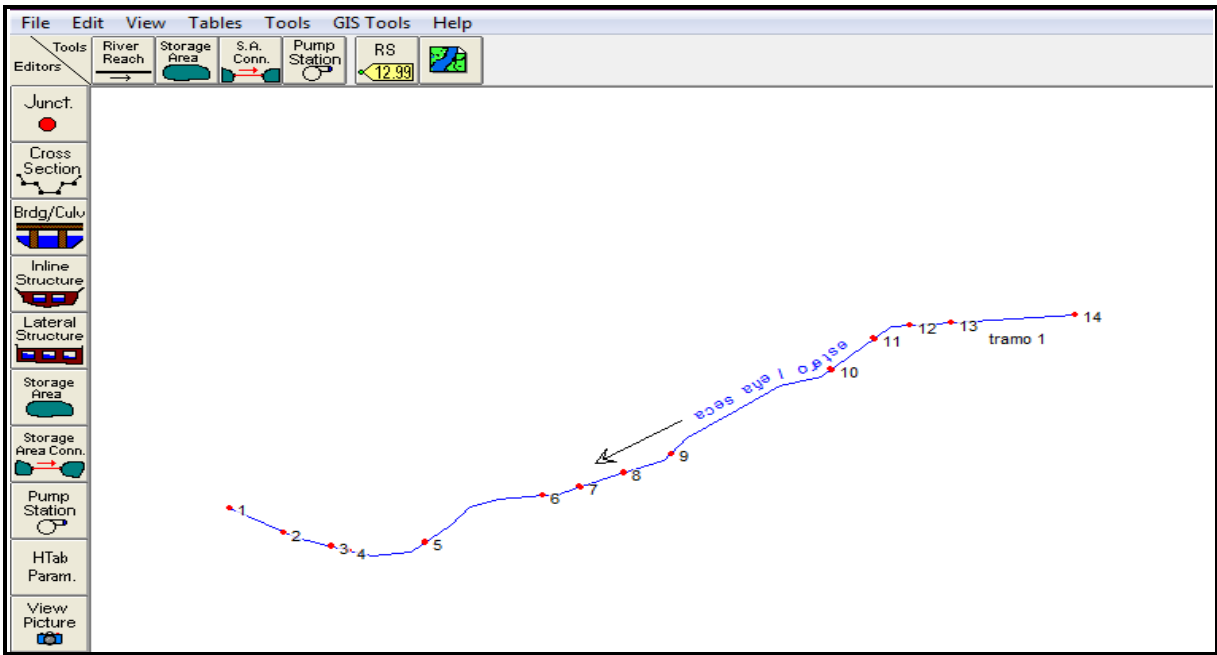


Figura 5.2 Ejemplo de Trazado ingresado en HEC-RAS.

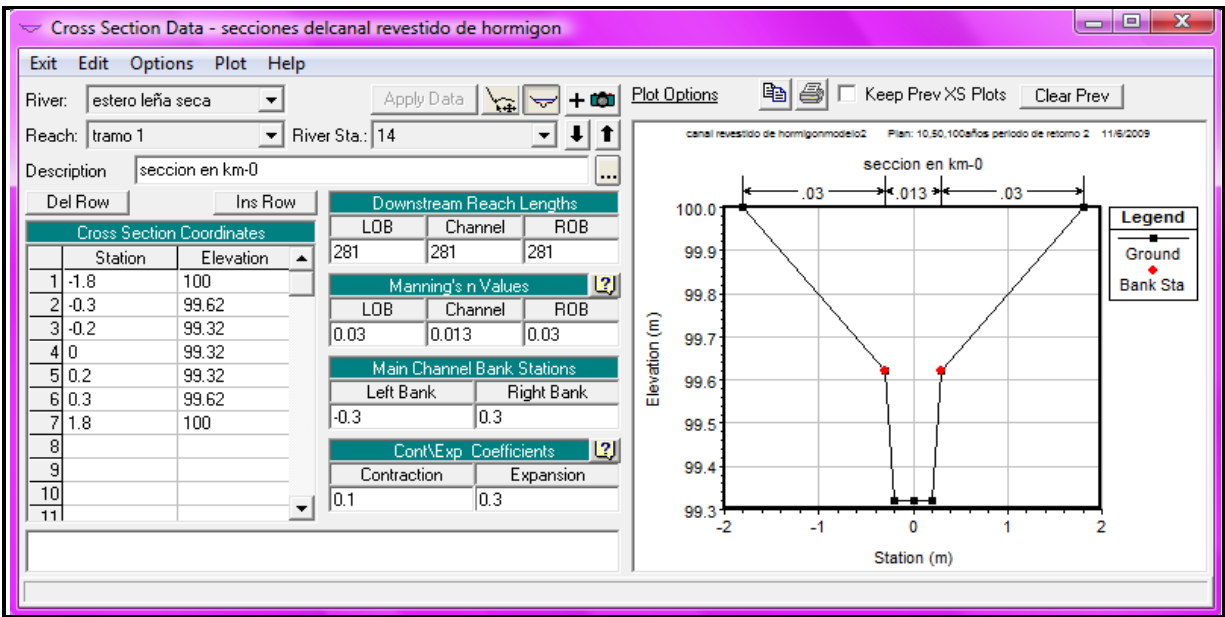


Figura 5.3 Ejemplo de ingreso de secciones en HEC-RAS.

### 5.3 Análisis Hidráulico de los Canales propuestos en el estudio Hidrológico

El diseño realizado en la tesis que abordó el estudio hidrológico considero 3 alternativas de revestimiento para las secciones del canal, consistiendo estas en un canal de hormigón, otro de mampostería de piedra y un canal revestido de pasto. Se analizará el eje hidráulico de las tres alternativas, pero se pondrá mayor atención en la última nombrada, ya que de acuerdo a lo señalado en el documento del MINVU: “Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos” que dice: “Entre los diferentes tipos de canales construidos, o modificaciones de cauces naturales, los canales revestidos de pasto se pueden considerar como el más deseable para ser empleado como cauce abierto en el drenaje urbano de aguas lluvias. Ofrece varias ventajas sobre los demás tipos, entre las cuales está el proveer de un buen volumen de almacenamiento, tener bajas velocidades, presentar espacio para el desarrollo de flora y fauna local, su buena adaptación estética y paisajista al entorno, así como la posibilidad de obtener beneficios adicionales para recreación y generación de áreas verdes. El diseño debe considerar tan importante como los aspectos hidráulicos, las condiciones estéticas y paisajísticas, el control de la erosión y de la sedimentación.”

Los valores adoptados para los diferentes parámetros involucrados en el diseño de cada canal se describen a continuación

**1. Pendiente :**

Recordando que en el estudio hidrológico el Estero Leña seca se dividió en 13 tramos, las pendientes adoptadas en cada tramo son las de la tabla 5.1

Tramo	Km	Largo del tramo (m)	Pendiente i canal de hormigón y canal de mampostería (m/m)	Pendiente i canal de pasto(m/m)
1-2	0	281	0.016	0.001
2-3	0.281	94	0.006	0.006
3-4	0.375	93	0.006	0.006
4-5	0.468	130	0.006	0.006
5-6	0.598	440	0.006	0.006
6-7	1.038	124	0.006	0.006
7-8	1.162	105	0.004	0.004
8-9	1.267	88	0.004	0.004
9-10	1.355	312	0.004	0.004
10-11	1.667	183	0.004	0.004
11-12	1.850	43	0.004	0.004
12-13	1.893	115	0.002	0.002
13-14	2.008	140	0.002	0.002

Tabla 5.1 Pendientes adoptadas en el diseño inicial.  
(Valenzuela, 2007)



## **2. Rugosidad y Revestimiento**

Para las alternativas de revestimiento de hormigón y mampostería se usó una rugosidad de 0.013 para el canal principal y para las áreas inundables una rugosidad de 0.03 correspondiente a un revestimiento de pasto.

Luego para un canal revestido de pasto el coeficiente de rugosidad va a depender del largo al cual se corte el césped, el tipo de pasto, así como de la profundidad relativa del flujo. En este caso se empleo en el diseño un valor igual a 0.03 recomendado en el manual de diseño para drenaje urbano del MINVU, para situaciones de canales rectos, sin matorrales, maleza ni árboles al interior de la sección mojada.

## **3. Lluvias y Caudales de Diseño**

En canales con revestimiento de pasto, el caudal de diseño debe considerar todos los aspectos generados por una lluvia con un periodo de retorno seleccionado de acuerdo a lo siguiente (*MINVU, 1996*):

$T = 100$  años, si el canal fuera parte de una red de drenaje desarrollada.

$T = 200$  años, si no forma parte de una red desarrollada.

La tabla 3.9 contiene los valores de los caudales calculados para cada tramo y tipo de revestimiento. En el diseño del canal de mampostería y en el de hormigón se uso el caudal de 10 años de periodo de retorno, para una altura de diseño  $H_1$  y los de  $T=50$  y 100 años, para una altura diseño  $H_2$ . Mientras que para el canal de pasto solo se uso el caudal correspondiente a 100 años de periodo de retorno.

## **4. Secciones**

La sección transversal para los canales diseñados en hormigón y mampostería es de forma trapecial y consta de dos partes, la primera parte es el canal principal revestido en estos materiales y la segunda es el área de inundación revestida de pasto. Mientras que el canal revestido de pasto, consta de un canal principal de sección trapecial y un canal de fondo de sección rectangular revestida de hormigón encargado de conducir los flujos menores y el flujo base. En las tablas 5.2, 5.3, 5.4 se ilustran forma y dimensión de las diferentes secciones a lo largo del canal.

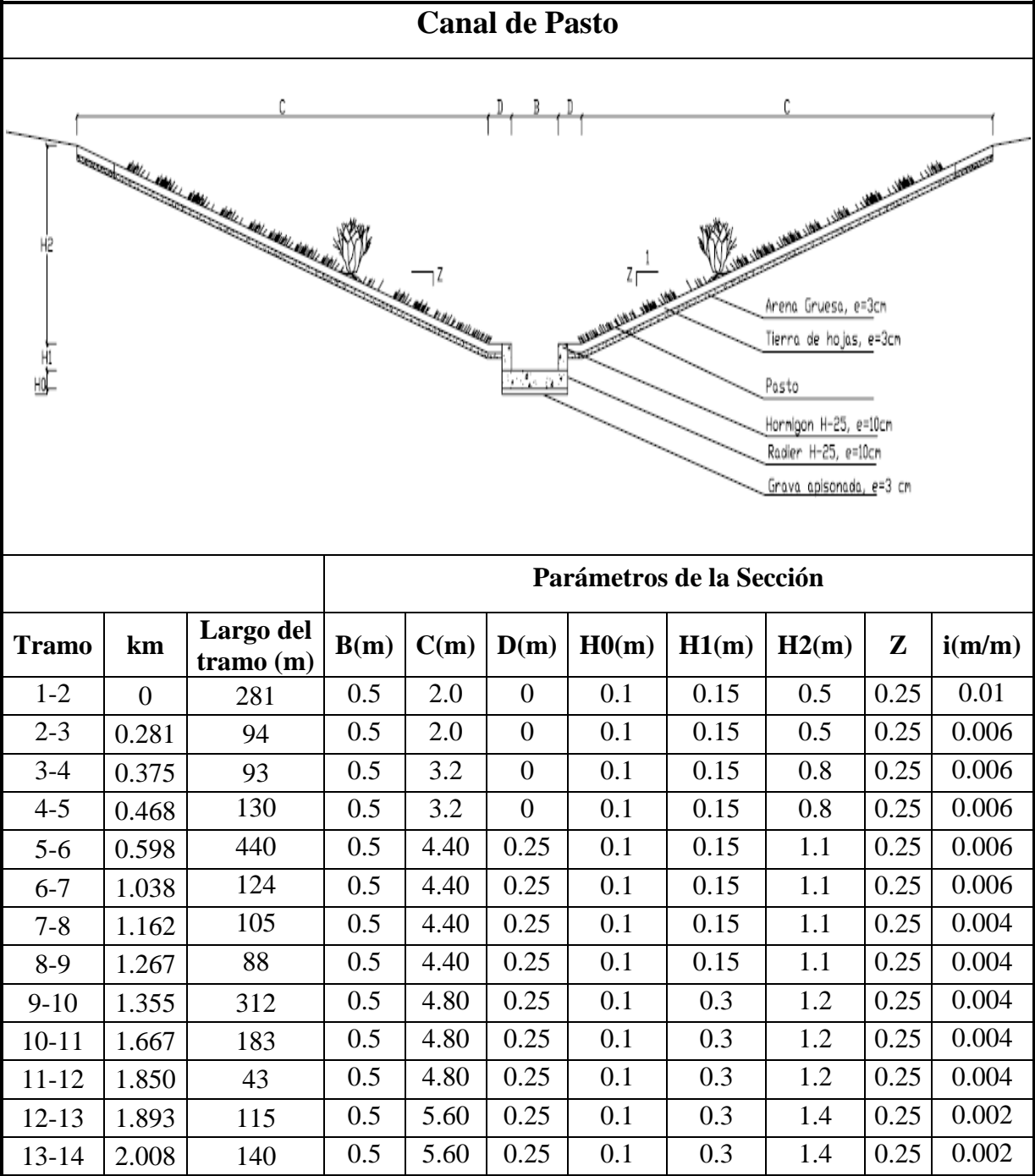


Tabla 5.2 Forma y dimensión de las secciones para el canal revestido de pasto.  
(Valenzuela, 2007)

En el canal de pasto, para el diseño del canal de fondo se puede usar un caudal del orden 2% al 10% del gasto de la crecida de 100 años de periodo de retorno. Si el flujo resultante para el canal de fondo es mayor que 20 l/s se recomienda considerar un canal protegido, estos canales de fondo o de flujos menores están muy expuestos a la erosión por ello que se considera más adecuado un revestimiento de hormigón.

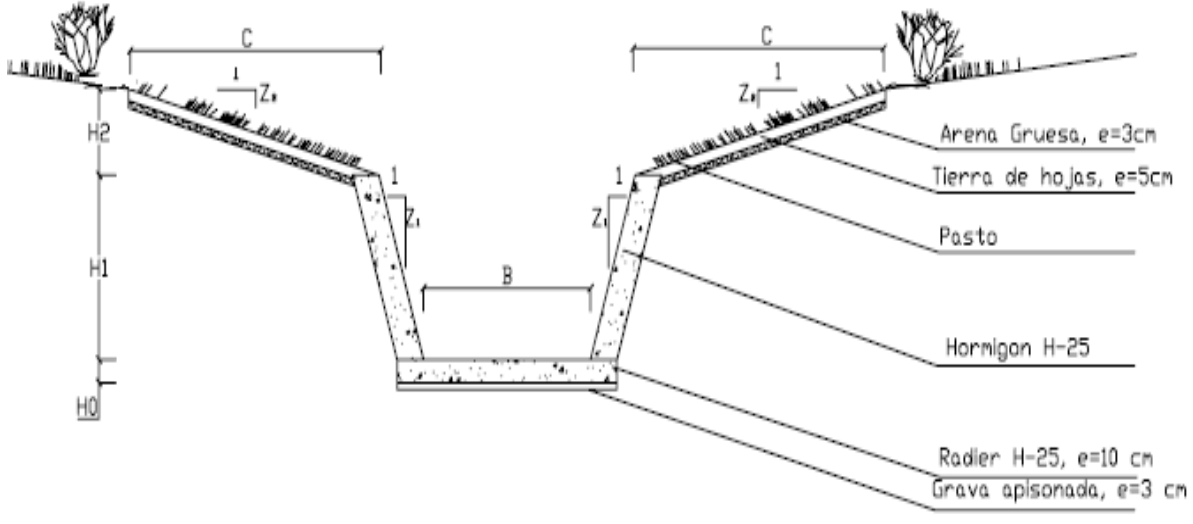
Canal de Hormigón										
										
			Parámetros de la Sección							
Tramo	km	Largo del tramo(m)	B(m)	C(m)	H0(m)	H1(m)	H2(m)	Z1	Z2	i(m/m)
1-2	0	281	0.4	1.50	0.1	0.3	0.38	3.0	0.25	0.016
2-3	0.281	94	0.4	1.50	0.1	0.3	0.38	3.0	0.25	0.006
3-4	0.375	93	0.8	1.50	0.1	0.7	0.38	3.0	0.25	0.006
4-5	0.468	130	1.0	1.50	0.1	0.8	0.38	3.0	0.25	0.006
5-6	0.598	440	1.0	1.50	0.1	0.8	0.38	3.0	0.25	0.006
6-7	1.038	124	1.4	1.50	0.1	1.0	0.38	3.0	0.25	0.006
7-8	1.162	105	1.4	1.50	0.1	1.0	0.38	3.0	0.25	0.004
8-9	1.267	88	1.4	1.50	0.1	1.0	0.38	3.0	0.25	0.004
9-10	1.355	312	1.4	1.50	0.1	1.0	0.38	3.0	0.25	0.004
10-11	1.667	183	1.4	1.50	0.1	1.0	0.38	3.0	0.25	0.004
11-12	1.85	43	1.4	1.50	0.1	1.0	0.38	3.0	0.25	0.004
12-13	1.893	115	1.6	1.50	0.1	1.2	0.38	3.0	0.25	0.002
13-14	2.008	140	1.6	1.50	0.1	1.2	0.38	3.0	0.25	0.002

Tabla 5.3 Forma y dimensión de las secciones para el canal revestido de hormigón.  
 (Valenzuela, 2007)

Canal de Mampostería										
			Parámetros de la Sección							
Tramo	km	Largo del tramo (m)	B(m)	C(m)	H0(m)	H1(m)	H2(m)	Z1	Z2	i(m/m)
1-2	0	281	0.5	2.0	0.1	0.4	0.5	3.0	0.25	0.016
2-3	0.281	94	0.5	2.0	0.1	0.4	0.5	3.0	0.25	0.006
3-4	0.375	93	0.8	2.0	0.1	0.8	0.5	3.0	0.25	0.006
4-5	0.468	130	1.2	2.0	0.1	0.9	0.5	3.0	0.25	0.006
5-6	0.598	440	1.2	2.0	0.1	0.9	0.5	3.0	0.25	0.006
6-7	1.038	124	1.6	2.0	0.1	1.2	0.5	3.0	0.25	0.006
7-8	1.162	105	1.6	2.0	0.1	1.2	0.5	3.0	0.25	0.004
8-9	1.267	88	1.6	2.0	0.1	1.2	0.5	3.0	0.25	0.004
9-10	1.355	312	1.8	2.0	0.1	1.3	0.5	3.0	0.25	0.004
10-11	1.667	183	1.8	2.0	0.1	1.3	0.5	3.0	0.25	0.004
11-12	1.85	43	1.8	2.0	0.1	1.3	0.5	3.0	0.25	0.004
12-13	1.893	115	2.0	2.0	0.1	1.5	0.5	3.0	0.25	0.002
13-14	2.008	140	2.0	2.0	0.1	1.5	0.5	3.0	0.25	0.002

Tabla 5.4 Forma y dimensión de las secciones para el canal revestido de mampostería.  
 (Valenzuela, 2007)

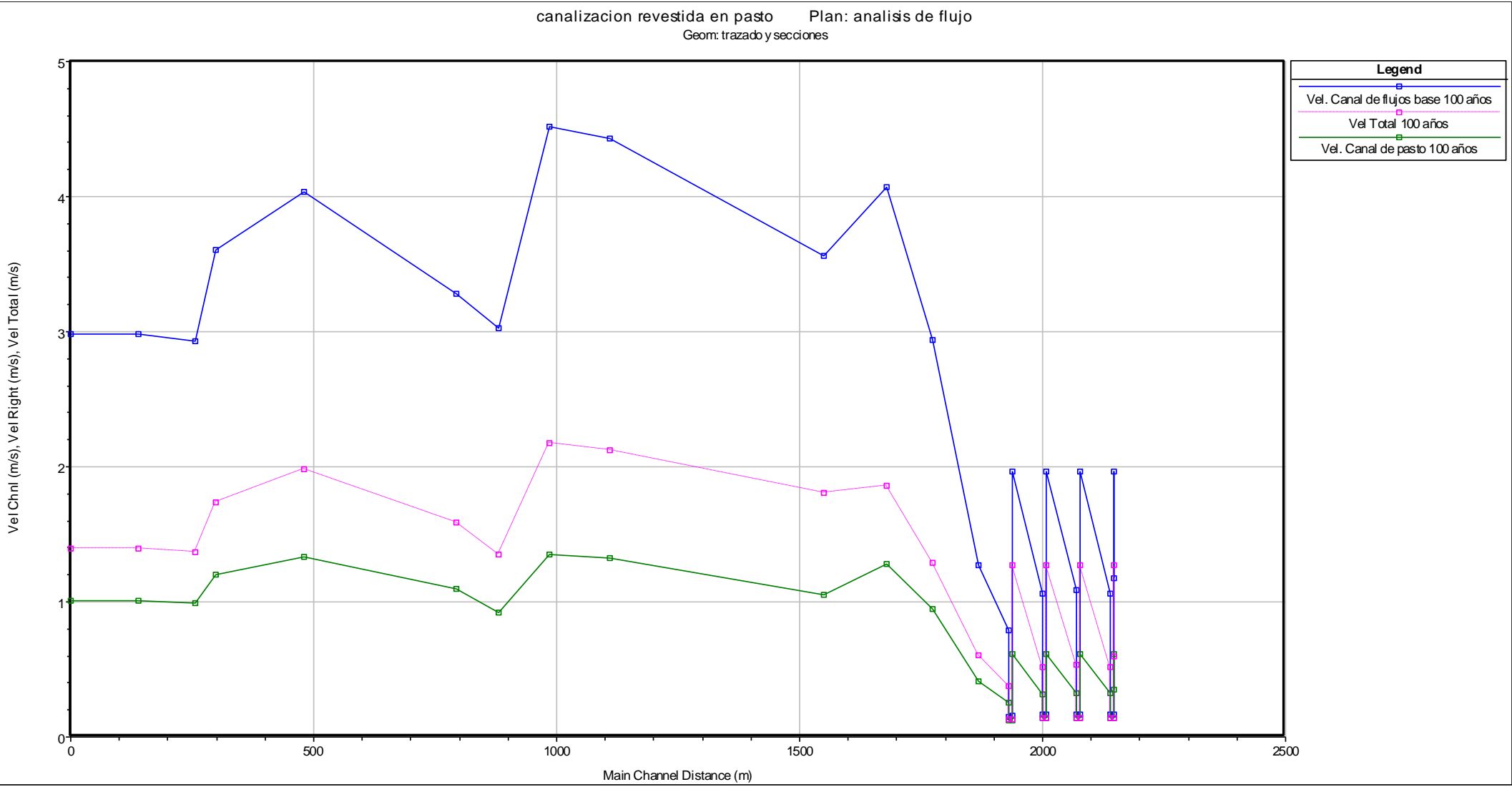
### 5.3.1 Análisis de Alternativa 1: Canal de Pasto

De acuerdo a los resultados arrojados del análisis hidráulico realizado por HEC-RAS se pudo apreciar que el canal de pasto no cumple en ciertas secciones con los requisitos de velocidad señalados en la tabla 2.5, en donde se considera para un suelo cohesivo con pasto de jardín una velocidad máxima de 2.1 m/s y número de Froude menor o igual a 0.8.

En la figura 5.4 se muestra la velocidad a lo largo del canal, la curva de color rosado representa la velocidad media de escurrimiento y se puede observar que en el tramo canalizado la velocidad no sobrepasa los 2.1 m/s, pero si se observa el gráfico correspondiente al número de Froude de la figura 5.5, este sobrepasa el máximo de 0.8 en varios puntos, por lo tanto no se cumpliría con la condición de régimen sub-crítico que se recomienda para el diseño.

Si se analiza la distribución de velocidades en las secciones de acuerdo a la rugosidad, se puede observar en la figura 5.4 que la porción revestida de pasto posee velocidades menores a 2 m/s a lo largo del canal, lo que estaría dentro de las velocidades permitidas que se señalan en la tabla 2.5. En cuanto a la porción revestida de hormigón correspondiente al canal de flujos base, la velocidad de escurrimiento debe estar entre 4.5 m/s y 6 m/s como se recomienda en la tabla 2.4 y en el gráfico de velocidades (figura 5.4) la curva de color azul muestra que la velocidad no sobrepasa los 5 m/s.

En lo referente a la altura de escurrimiento, esta se muestra en los gráficos de la figura 5.6, en los cuales la curva de azul representa la altura media de escurrimiento, y la línea de color negro representa la altura crítica de la sección



La línea de color azul representa la velocidad del flujo en el canal de flujo base, la línea verde corresponde a la velocidad en la zona revestida de pasto y la línea de color rosado representa la velocidad media del flujo en el canal

Figura 5.4 Gráfico de velocidades a lo largo del canal de pasto.

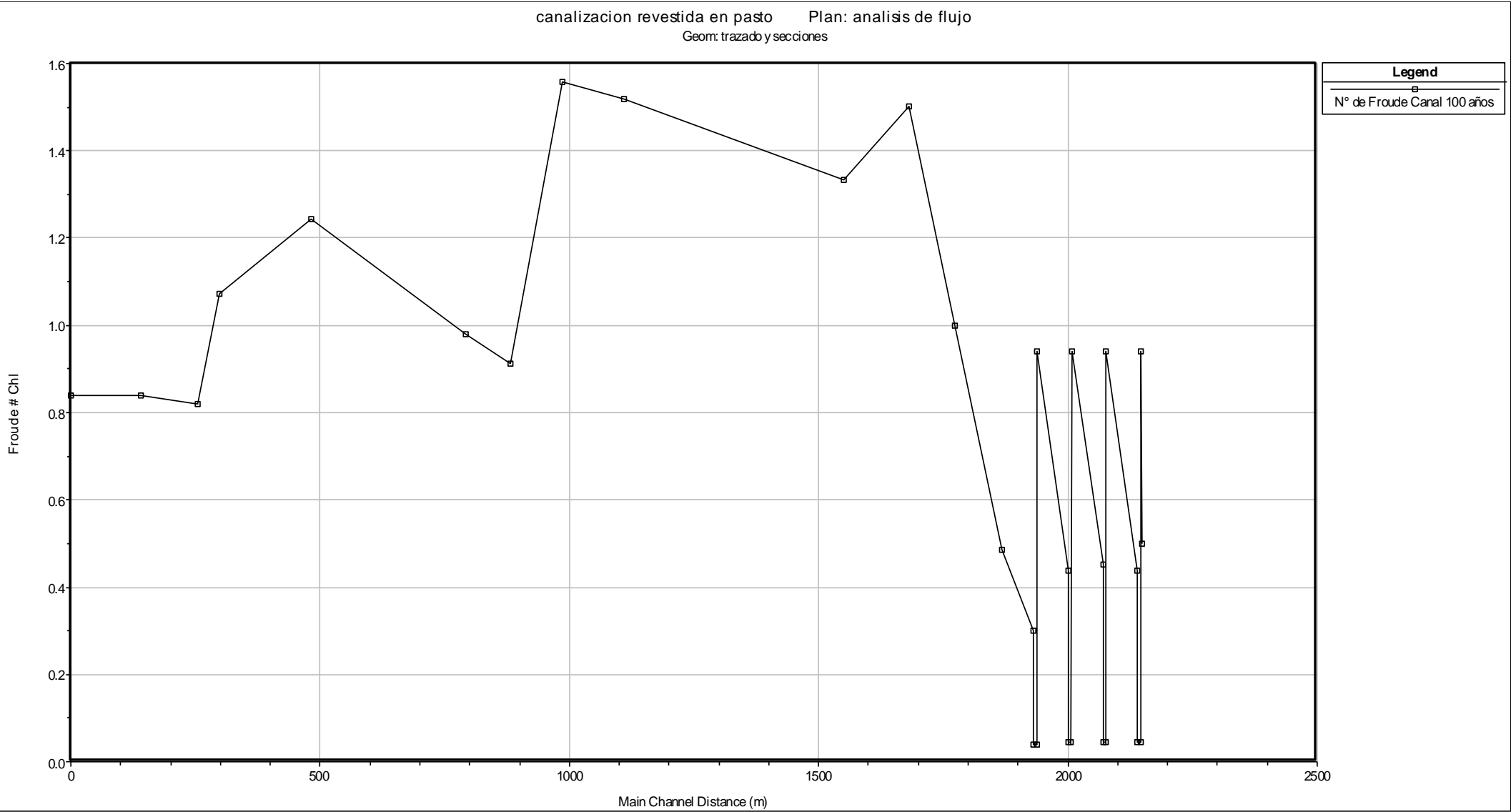
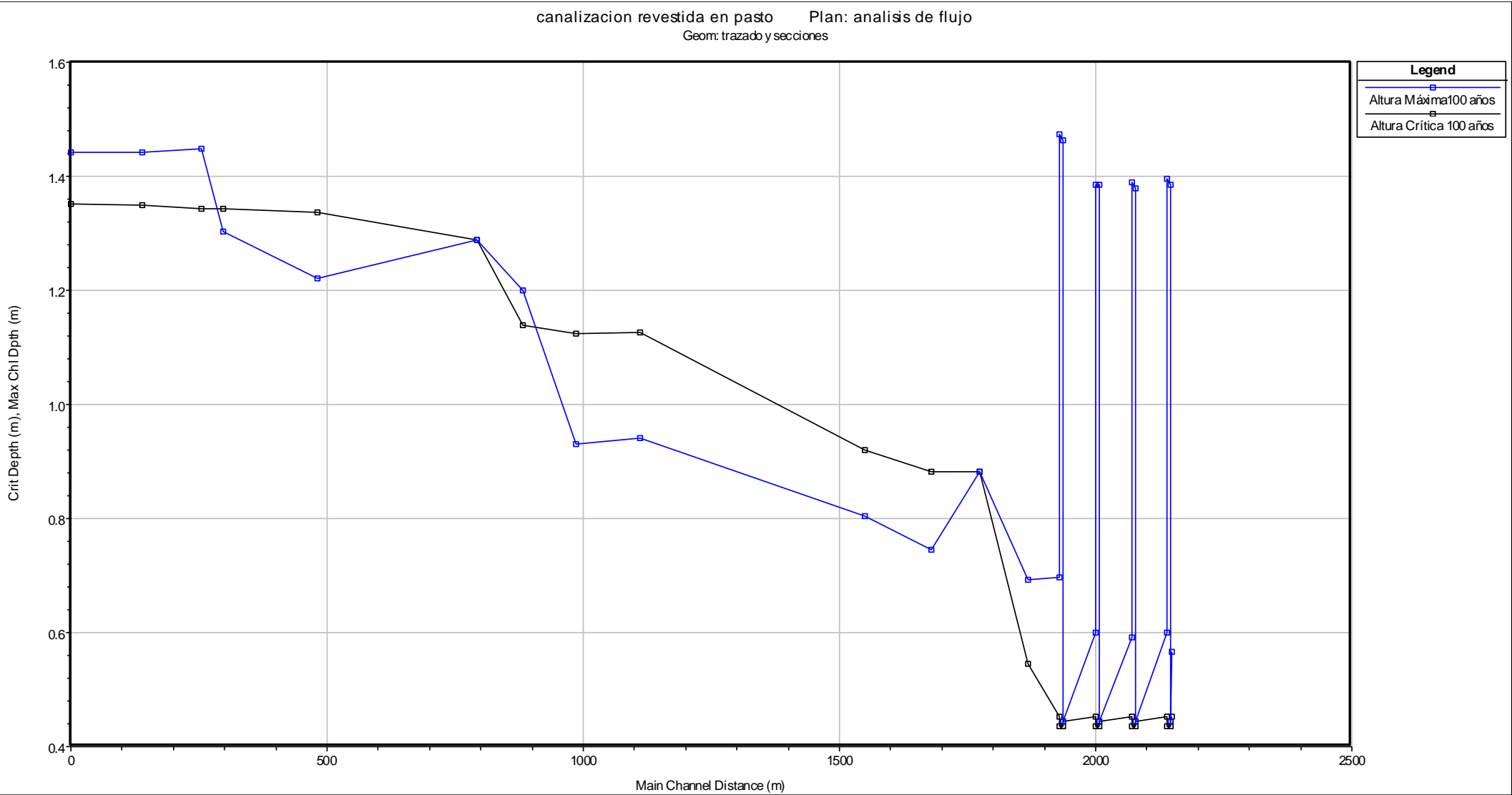


Figura 5.5 Número de Froude para las secciones del canal de pasto.



Las Curvas de color azul y negra representan la altura de escurrimiento máxima y altura crítica respectivamente

Figura 5.6 Altura máxima de escurrimiento a lo largo del canal de pasto.



Del gráfico en la figura 5.6 se puede observar que en el único tramo que se presentan problemas con el nivel de escurrimiento es el tramo 1-2 descrito en la tabla 5.2, esto ocurre debido a que existen 4 caídas, las que fueron diseñadas según lo dispuesto en el manual de diseño para drenaje urbano del MINVU (ver figura 5.7)

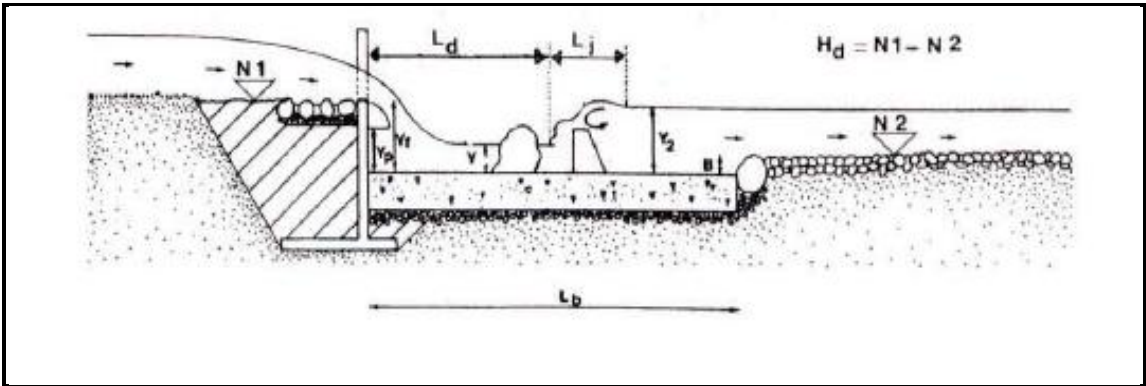


Figura 5.7 Parámetros que definen el funcionamiento hidráulico de la caída vertical. (MINVU, 1996)

Donde:

$L_j$ : longitud del resalto

$L_b$ : longitud de la cubeta.

$L_d$ : longitud de la lámina vertiente Longitud desde la pared vertical hasta el punto de choque del chorro en el piso, en metros.

$Y_p$ : Profundidad del agua bajo la lámina de agua, inmediateamente aguas abajo del vertedero, en metros.

$Y_1$ : profundidad del escurrimiento en la cubeta justo en el punto donde la lamina hace contacto con ella, en metros.

$Y_2$ : profundidad del cauce (altura aguas abajo), requerida para provocar que el resalto se forme en el punto indicado, en metros

Los parámetros con los que fueron diseñados las caídas son los de la tabla 5.5

Condiciones Hidráulicas de la sección sin caída vertical										
Sección	Q(m3/seg) canal principal	Q(m3/seg) Canal Flujo Bases	Base canal principal (m)	Altura canal principal	Base canal flujos bases	altura canal flujos bases	Hd	Hn canal principal	Hn canal flujos bases	
1-2	0.576	0.026	0.5	0.5	0.5	0.15	0.4	0.31244	0.0539	
Condiciones Hidráulicas canal flujos bases										
B	Yf	Dt	Ld	Yp	Y1	Y2	Pcub+Hn	Djt	Lbt	Lmin
0.3	0.701	0	0.363	0.125	0.019	0.14	0.354	0	0.867	4.000
Condiciones Hidráulicas canal Principal										
B	Yf	Dt	Ld	Yp	Y1	Y2	Pcub+Hn	Djt	Lbt	Lmin
0.78	1.181	0.115	2.83	0.733	0.215	1.092	1.092	0	6.762	4.000

Tabla 5.5 Resumen del cálculo de la cubeta y gradas de bajada. (Valenzuela, 2007)

De acuerdo al cálculo hidráulico la altura correspondiente al parámetro Y2, dio como resultado 1.32 m y según la tabla 5.5 este debería tener un valor de 1.092m, además en la figura 5.8 se puede apreciar que la sección de la cubeta es insuficiente para contener el flujo, sobrepasando la cota máxima de la sección.

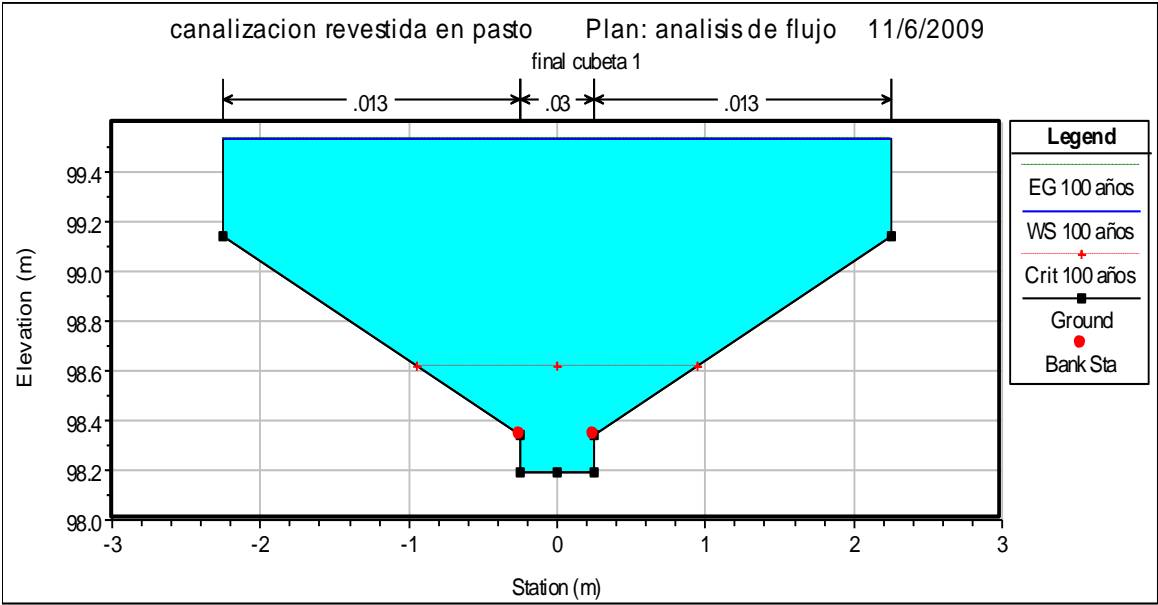
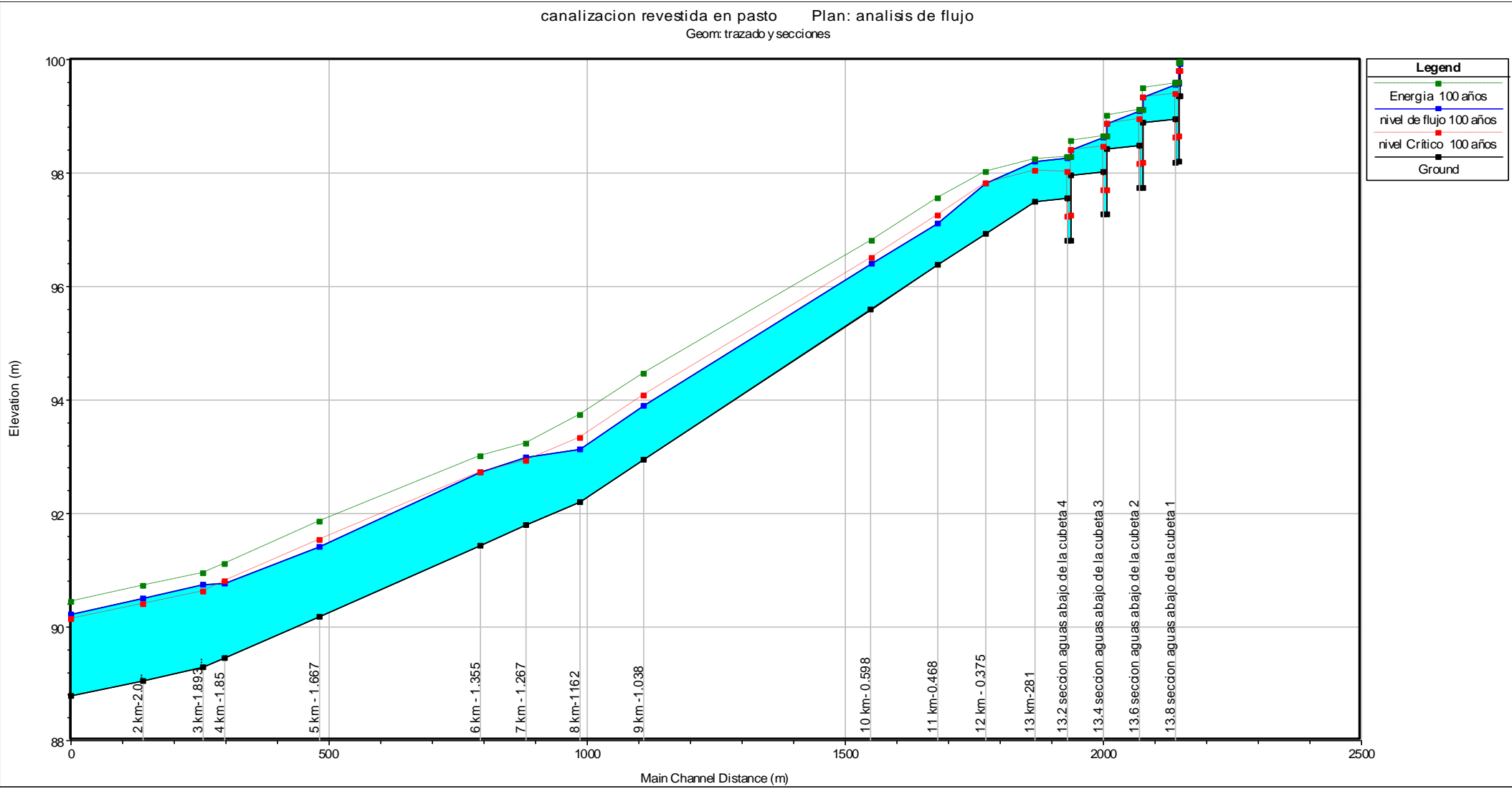


Figura 5.8 Flujo en la sección de la cubeta.

Para terminar de analizar el comportamiento del flujo en el canal es necesario observar el eje hidráulico calculado en el programa (figura 5.9), hay que recordar que en esta figura la sección 1 corresponde a la sección 14 de la tabla 5.2.

En el gráfico se puede apreciar que el flujo al inicio del canal, donde se encuentran las caídas sobrepasa la altura crítica de escurrimiento, sin embargo avanzando hacia aguas abajo el flujo alcanza la altura crítica produciéndose una caída hidráulica a partir del km-0.375 estabilizándose más o menos en el km-0.468 desde aquí el flujo se vuelve super-crítico hasta el km-1.162 donde se produce un resalto hidráulico. En la sección 9 ubicada en el km-1.365 nuevamente se alcanza la altura crítica y se comienza con flujo super-crítico hasta la sección 11 km-1.850 donde se produce un resalto hidráulico. Desde la sección 12 hasta el final del canal, el flujo es sub-crítico.



Las líneas de color azul, rojo y verde, representan: el nivel del flujo en la sección completa del canal, altura crítica y la línea de energía respectivamente

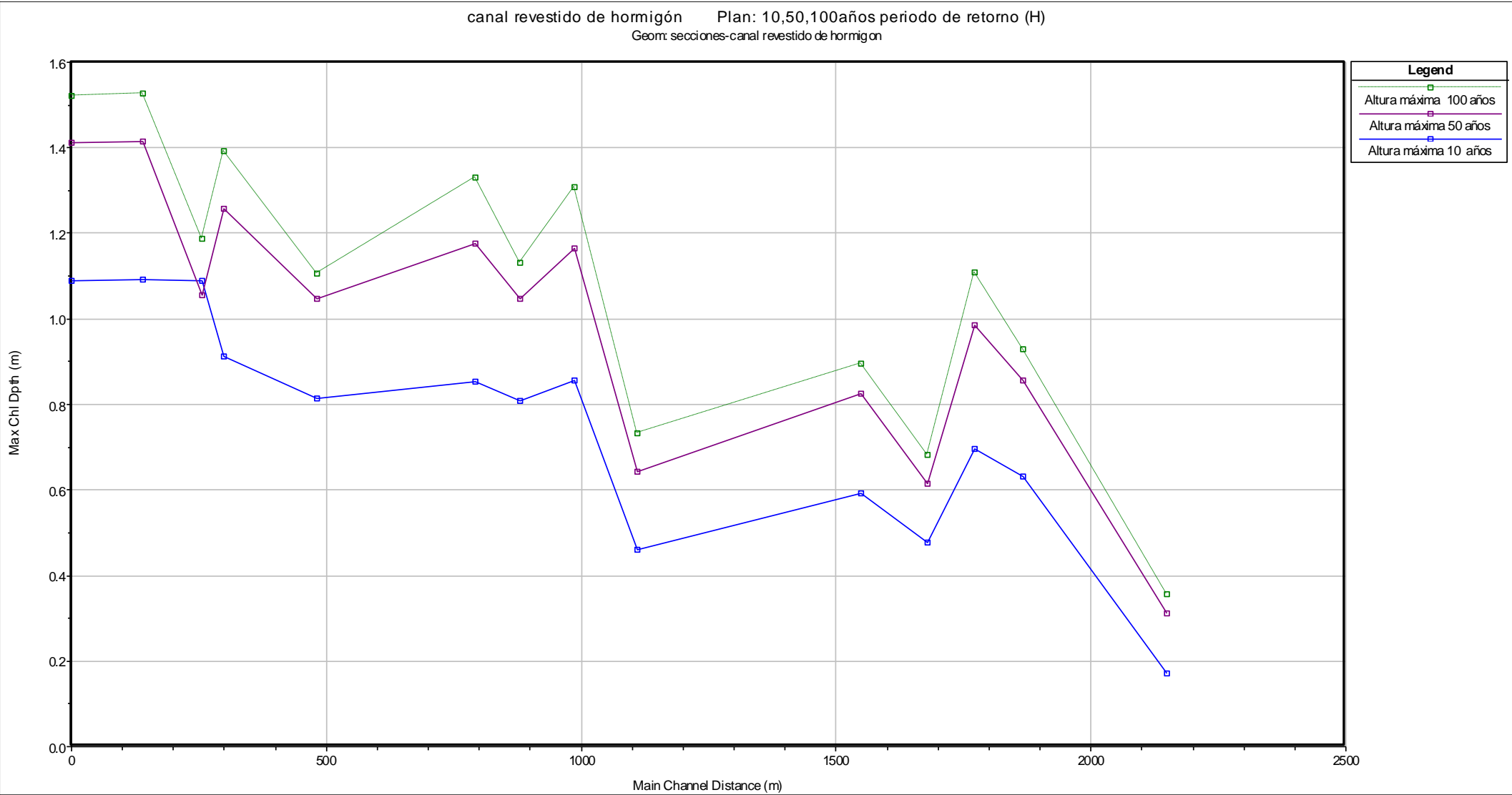
Figura 5.9 Eje hidráulico y nivel de escurrimiento.

### 5.3.2 Análisis de Alternativa 2: Canal de Hormigón

Este canal se analizó para crecidas con periodos de retorno de 10,50 y 100 años, de acuerdo al diseño la altura H1 debería bastar para conducir sin problemas el flujo generado por las precipitaciones con periodo de retorno de 10 años y la altura H2 contener el flujo generado en 50 y 100 años, el valor de estas alturas la muestra la tabla 5.3.

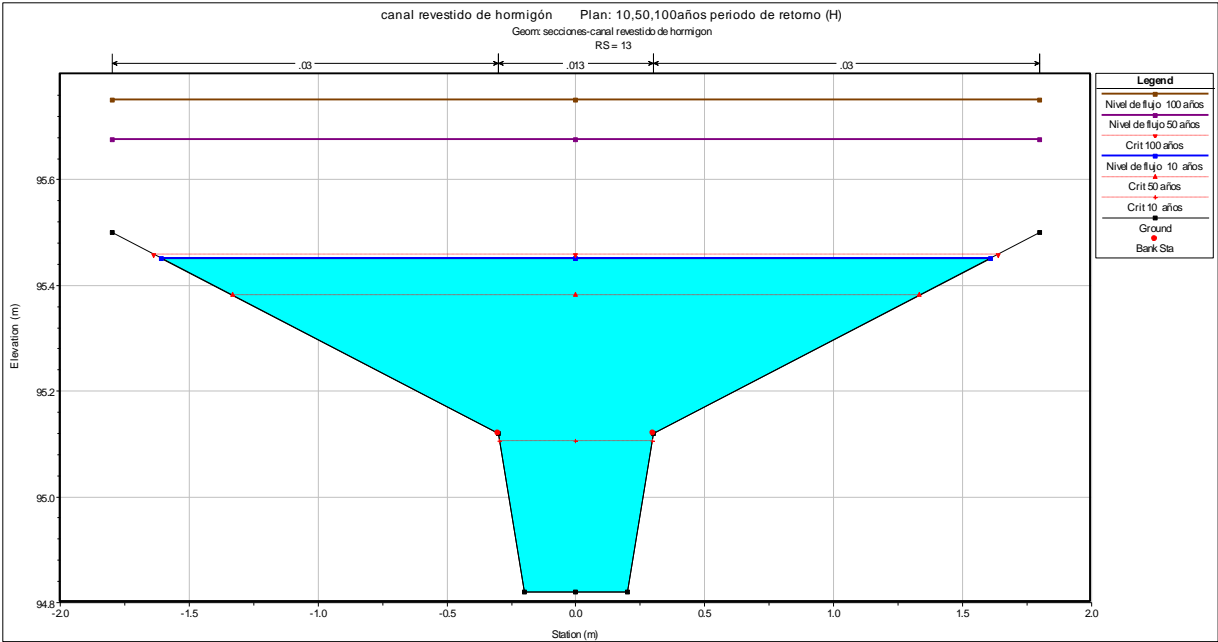
La figura 5.10 muestra el gráfico de alturas de flujo en la secciones a lo largo del canal, obtenido a través del análisis en HEC-RAS. Hay que recordar que el punto tomado como 0 en el grafico corresponde al km-2.148 del tramo 13-14 de la tabla 5.3

Del gráfico Se puede observar que la única sección que presentaría problemas es la sección 2 (sección 13 en HEC- RAS) del tramo 1-2 porque de acuerdo a la tabla 5.3 el valor de H1 es 0.3m y H2= 0.38m y según el gráfico de la figura 5.10 , la altura del flujo seria 0.86 m, para 50 años de periodo de retorno y de 0.93m para 100 años, ambas son mayores que la suma de H1 mas H2 , esto queda mas claro en la figura 5.11, donde se evidencia que para los caudales generados por 50 y 100 años la altura H2 es insuficiente para contener la totalidad del flujo.



Las líneas de color, azul, lila y verde, representan la altura máxima del flujo en el canal para 10, 50, 100 años de periodo de retorno respectivamente

Figura 5.10 Gráfico de la altura hidráulica en las secciones a lo largo del canal.



Las líneas de color, azul, lila y café, representan el nivel del flujo para 10, 50, 100 años de periodo de retorno respectivamente

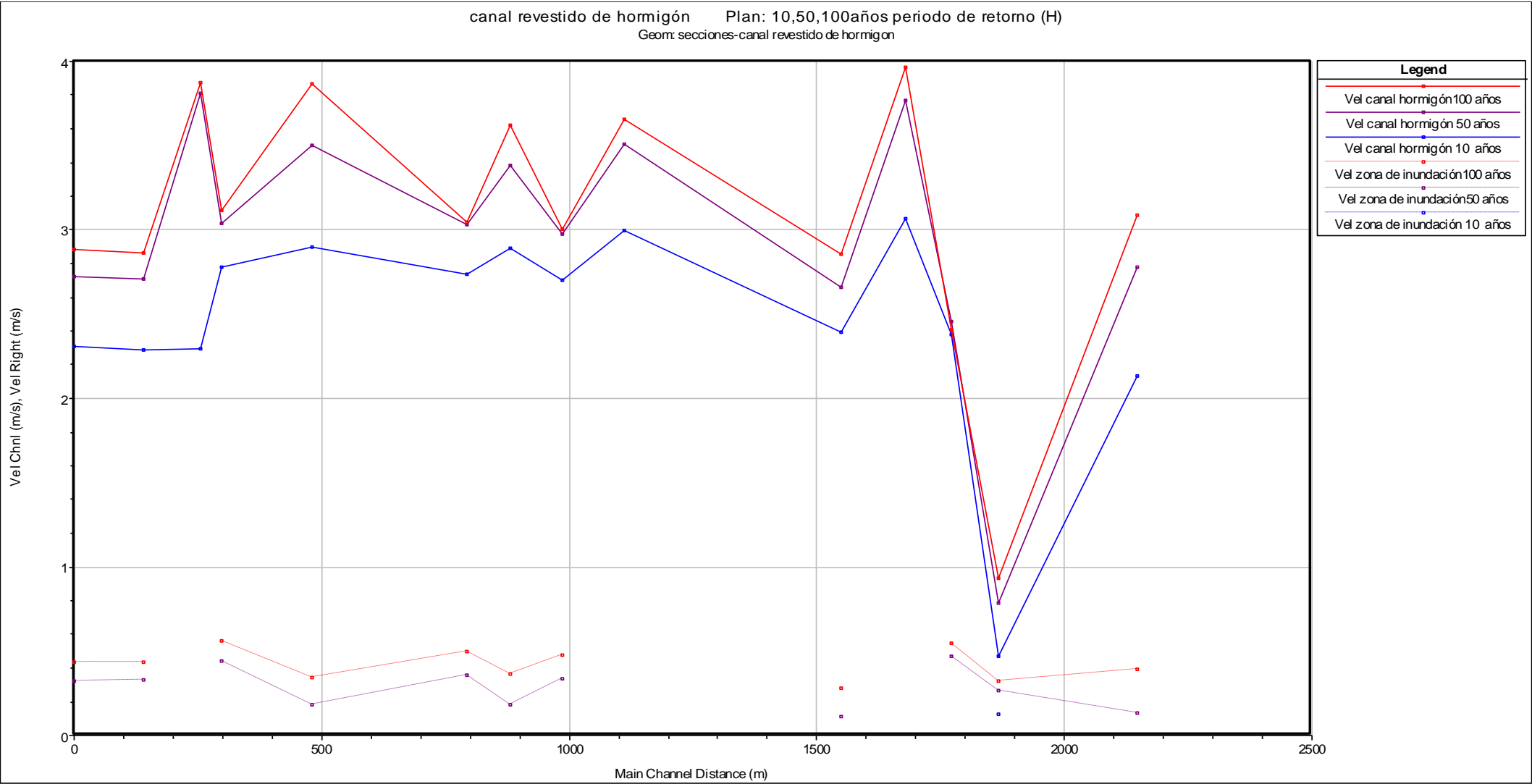
Figura 5.11 Flujo en la sección con problemas de desbordamiento.

Otras variables a analizar son la velocidad y el número de froude, ya que para canales usados como obras para el drenaje de aguas lluvias se recomienda priorizar el escurrimiento sub-critico. En las figuras 5.12 y 5.13 de ilustran los gráficos de velocidad y número de froude respectivamente.

En la tabla 2.5 se señala que la velocidad máxima de flujo permitida en canales revestidos de hormigón debe estar entre 4.5 m/s y 6 m/s y observando las curvas en el gráfico de velocidades se puede notar que en el canal principal esta no sobrepasa los 5 m/s por lo tanto no se presentan problemas de erosión. Con respecto a las áreas de inundación para el flujo de 10 años de periodo de retorno la única sección que circula por estas aéreas es la sección 13, pero la velocidad es pequeña con un valor de 0.12m/s, y para los periodos de retorno de 50 y 100 años se observa que los valores de las velocidades son menores a los máximos permitidos en revestimiento de pasto señalados en la tabla 2.6.

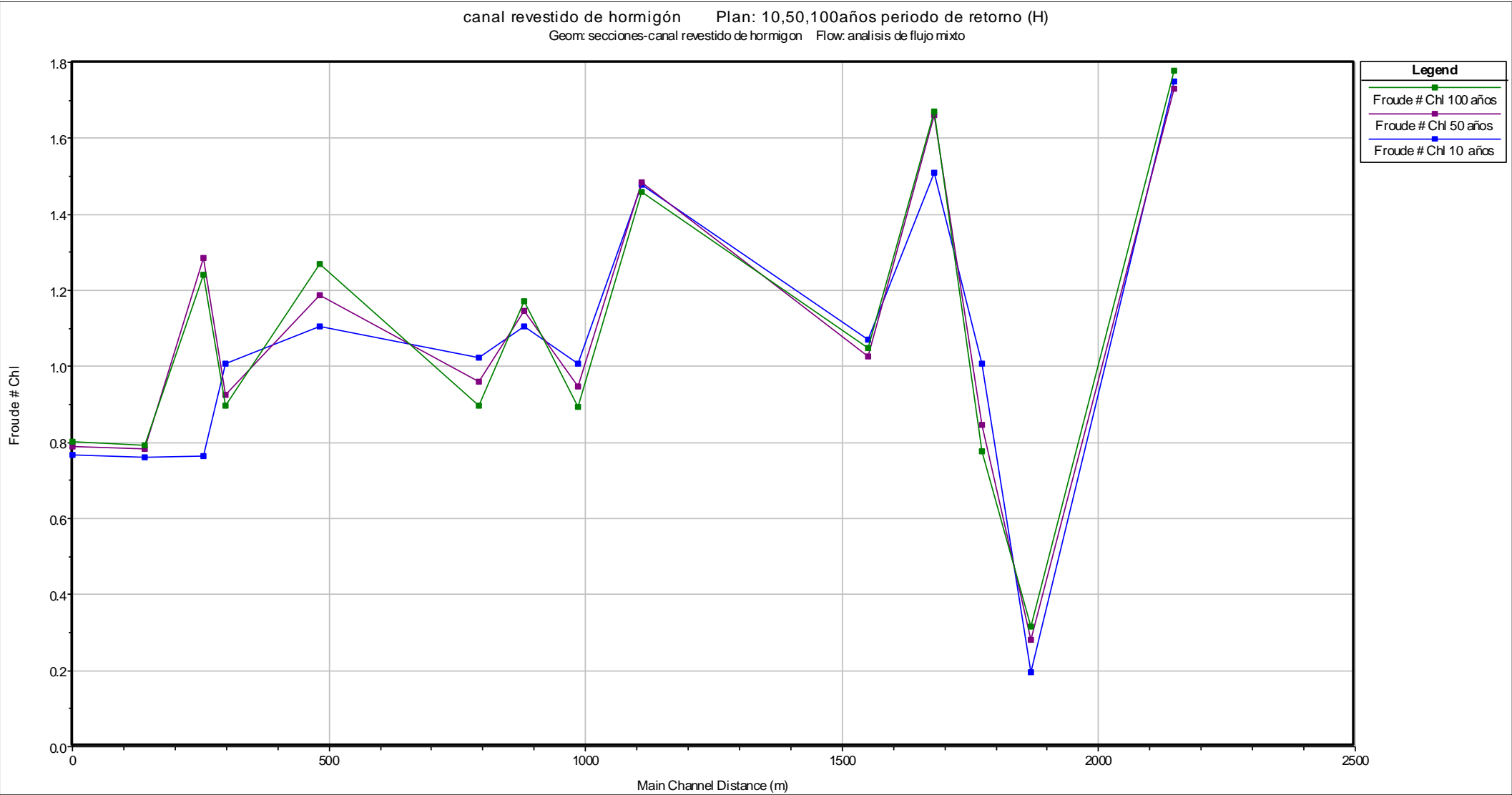
Considerando el perfil de velocidades desarrollado en el tramo se observa que este tiene algunos picks que se deben a los cambios de sección y por sobre todo a los puntos donde existen cambios de régimen, al cambiar de régimen Sub-crítico a super-crítico ocurren los aumentos de velocidad y de super-crítico a Sub-crítico cuando existen los resaltos hidráulicos.

Se puede observar del grafico de número de froude que en gran parte del canal este tiene un valor mayor a 1 lo que nos indica escurrimiento supercrítico.



Las líneas continuas de color, azul, lila y roja, representan la velocidad del flujo en el canal de hormigón para 10, 50, 100 años de periodo de retorno respectivamente, las líneas segmentadas lila y roja corresponden a la velocidad en la zona de inundación para 50 y 100 años respectivamente

Figura 5.12 Gráfico de velocidades para el canal de Hormigón.



Las líneas de color, azul, lila y verde, representan el número de Froude en la sección completa del canal para 10, 50, 100 años de periodo de retorno respectivamente

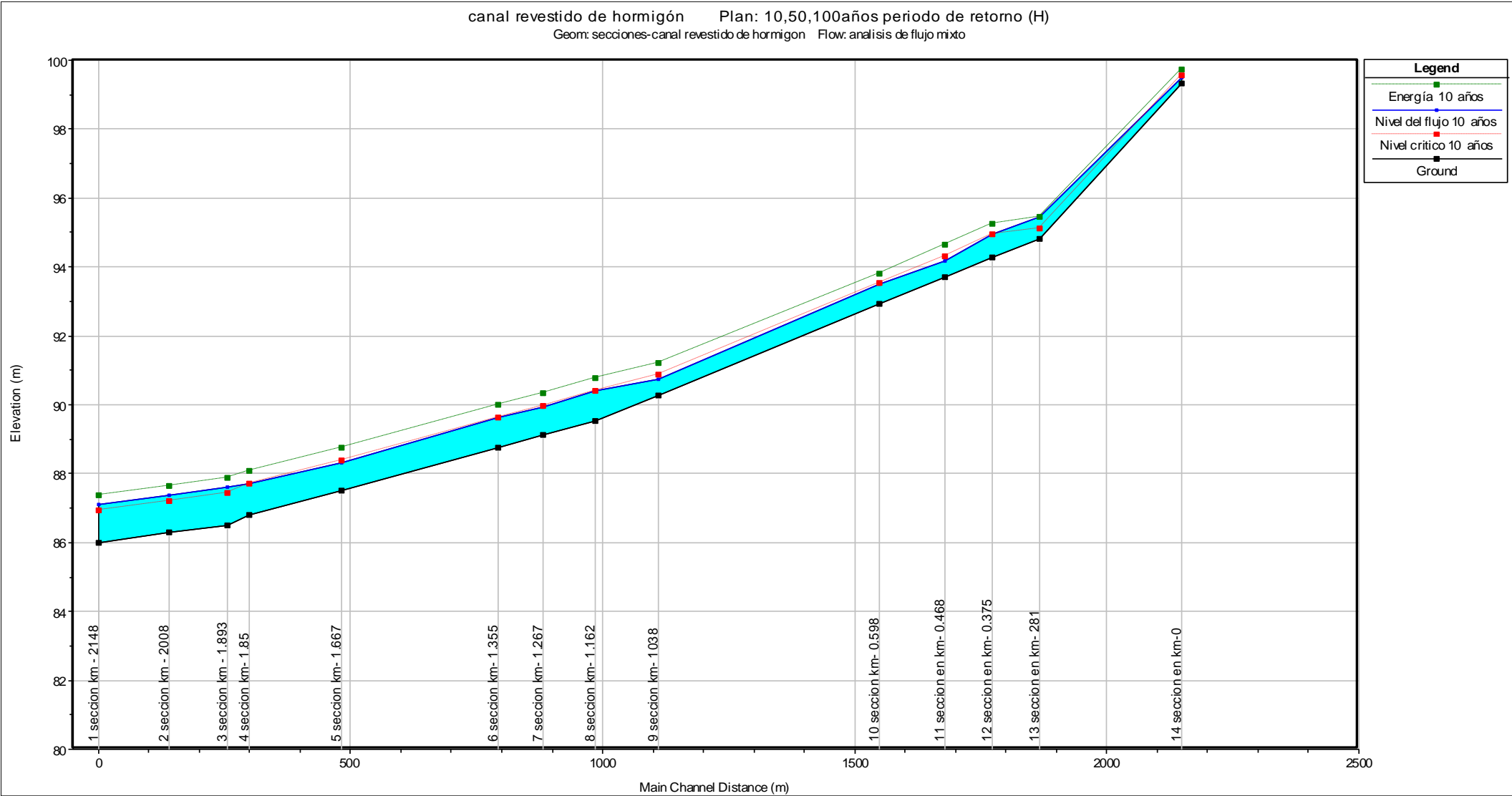
Figura 5.13 Gráfico de N° de Froude para el canal de Hormigón.



Por último hay que analizar el eje hidráulico del canal, el cual se muestra en las figuras 5.14 (a), 5.14 (b) ,5.14 (c) para cada periodo de retorno considerado. Del análisis del eje hidráulico se puede decir que existen resaltos hidráulicos a lo largo de este en todos los periodos de retorno.

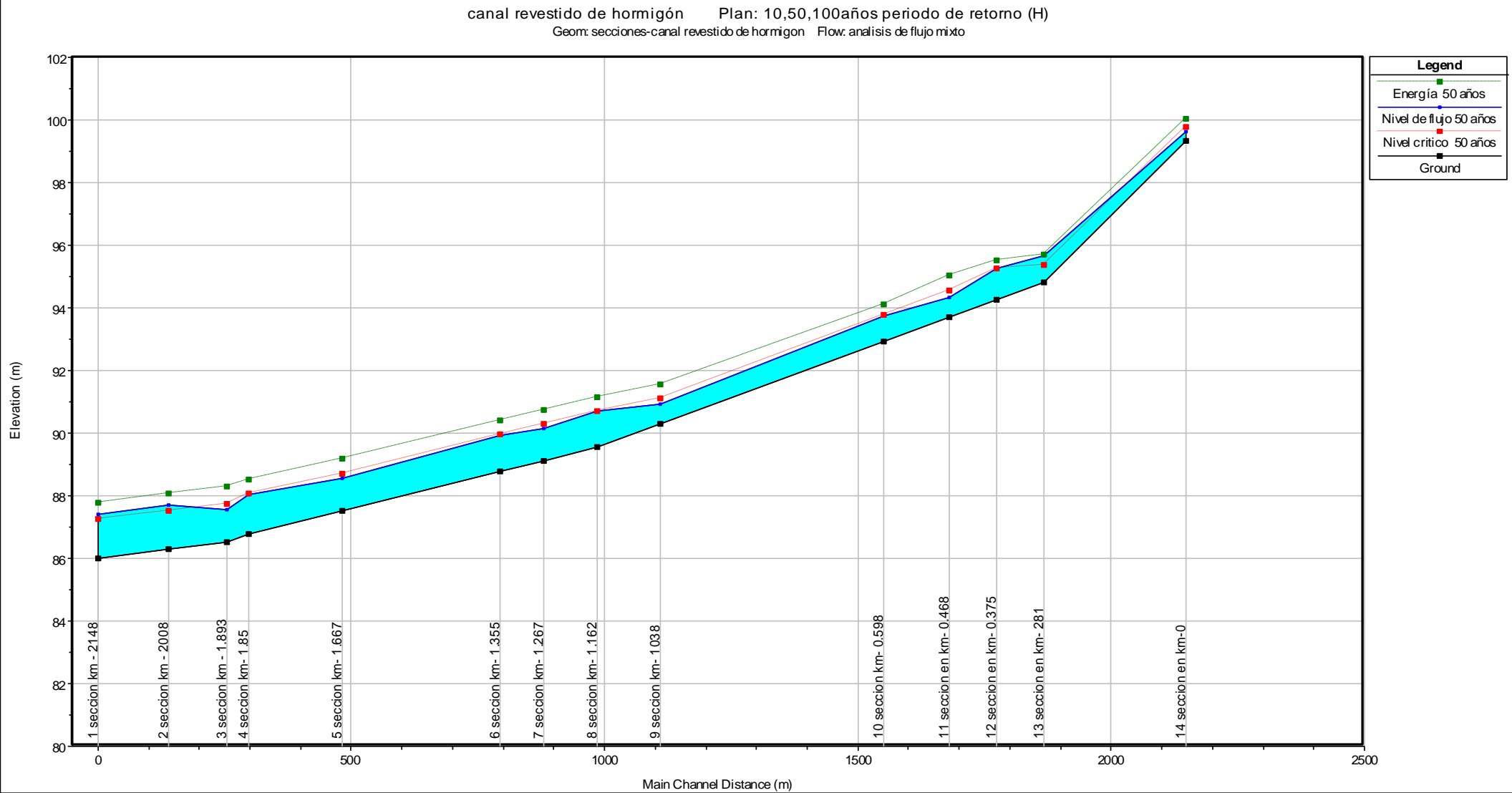
Si se observa la figura 5.14 (a), (b), (c) existen resaltos entre: secciones del km-0 y el km-0.281 y entre las secciones ubicadas en el km-1.893 y la del km-2.008.

En los 3 ejes hidráulicos predomina la tendencia a flujo super-crítico, salvo en las secciones ubicadas al principio y las del final del canal. En consecuencia el canal presenta un flujo mixto, producto de los cambios de sección y ensanches y debido a la variación del caudal a lo largo del canal



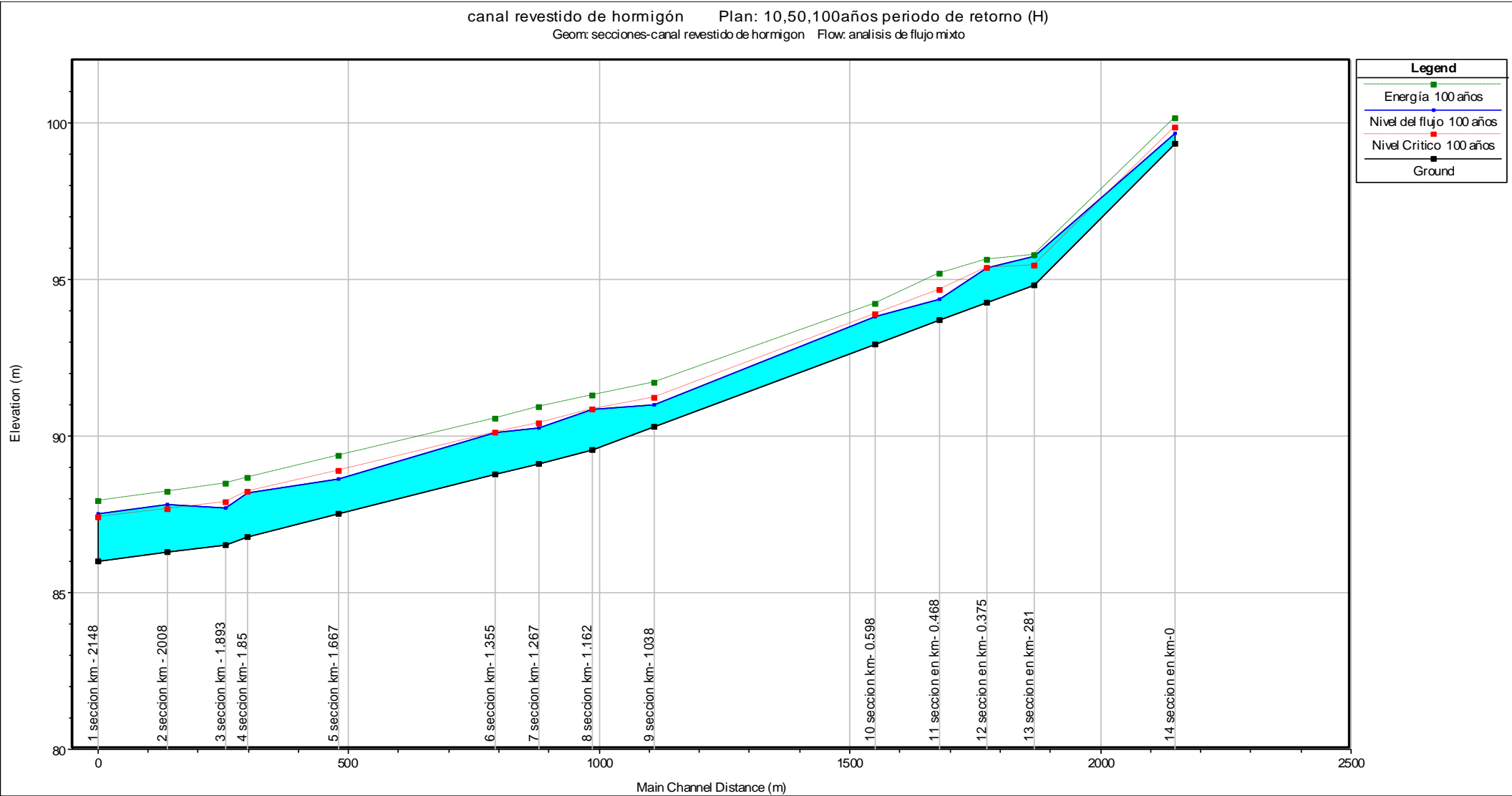
Las líneas de color azul, rojo y verde, representan: el nivel del flujo en la sección completa del canal, altura crítica y la línea de energía respectivamente

Figura 5.14 Eje hidráulico para 10 años de periodo de retorno.



Las líneas de color azul, rojo y verde, representan: el nivel del flujo en la sección completa del canal, altura crítica y la línea de energía respectivamente

Figura 5.15 Eje hidráulico para 50 años de periodo de retorno.



Las líneas de color azul, rojo y verde, representan: el nivel del flujo en la sección completa del canal, altura crítica y la línea de energía respectivamente

Figura 5.16 Eje hidráulico para 100 años de periodo de retorno.

5.3.3 Análisis de Alternativa 3: Canal de Mampostería

Este canal se diseño bajo los mismos supuestos de altura y periodos de retorno del canal de hormigón. Por lo tanto se analizara las mismas variables que en el punto anterior. En las figuras 5.15 y 5.16, 5.17 Y 5.18 se muestran los gráficos a lo largo del canal de altura hidráulica, velocidad y número de froude obtenidos del análisis en Hec- Ras

En el gráfico de la figura 5.16 Se puede observar que la única sección que presentaría problemas es la sección 2 (sección 13 en HEC- RAS) del tramo 1-2 porque de acuerdo a la tabla 5.4 el valor de H1 es 0.4m y H2 = 0.5m y según el gráfico de la figura 5.10 , la altura del flujo seria 0.93m, para 100 años de periodo de retorno siendo mayor que la suma de H1 mas H2 , esto queda mas claro en la figura 5.15, donde se evidencia que para los caudales generados por 100 años la altura H2 es insuficiente para contener la totalidad del flujo.

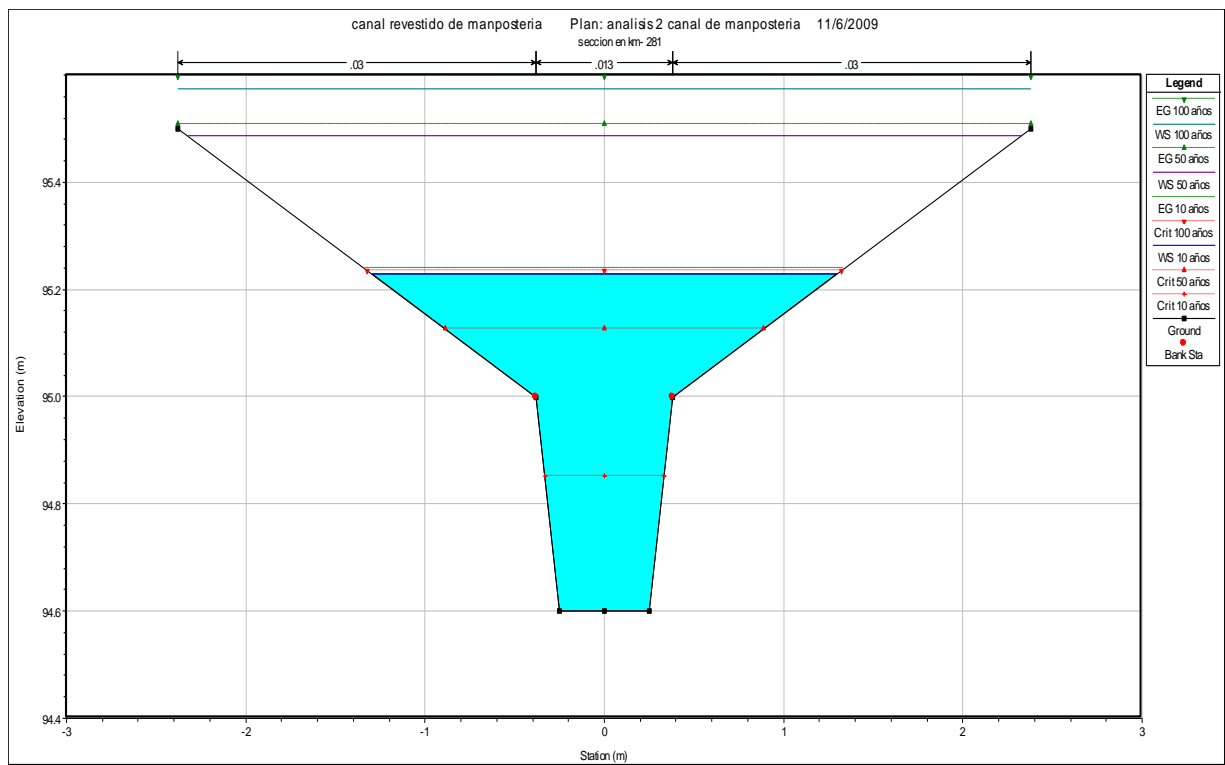
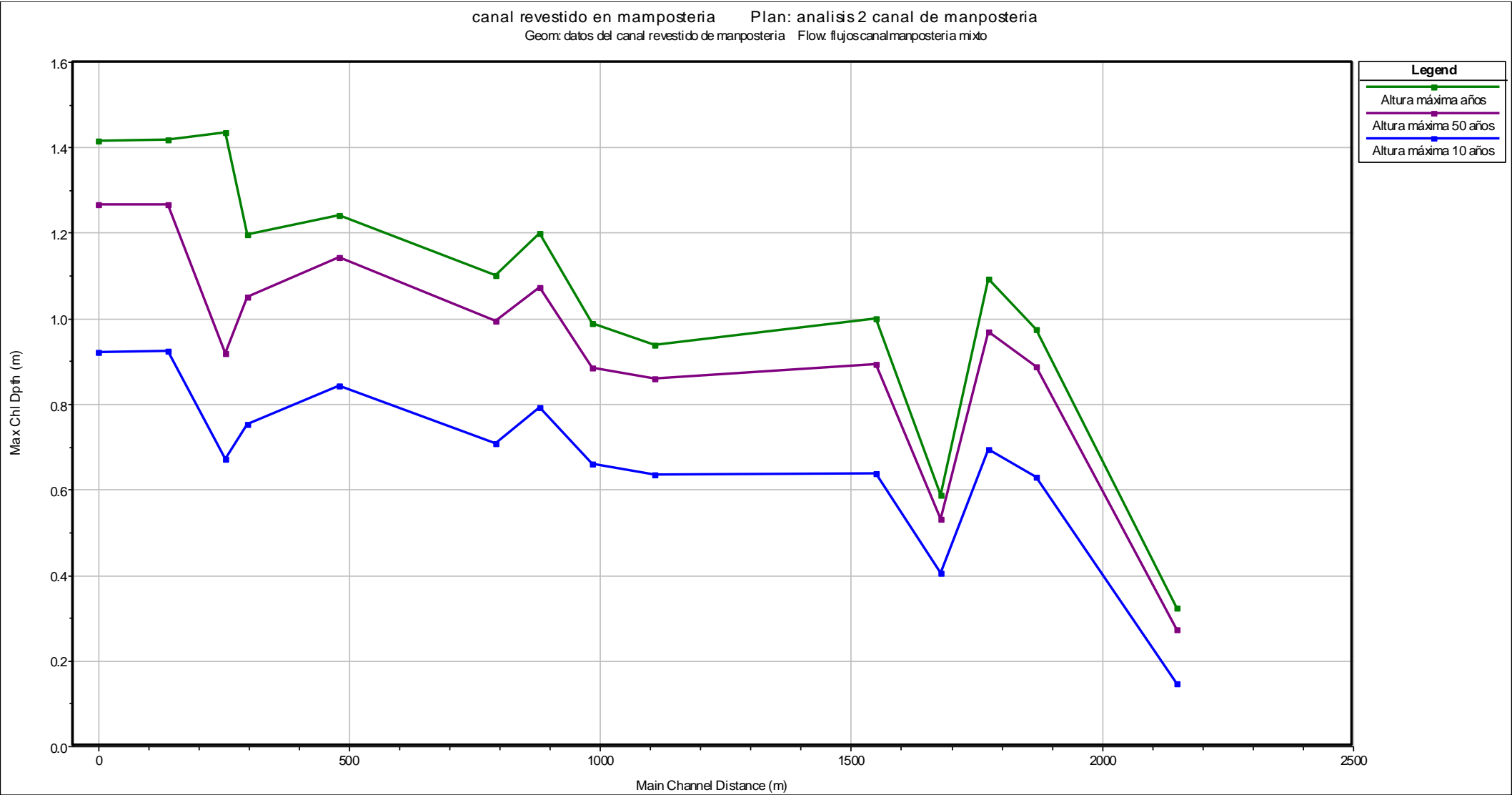
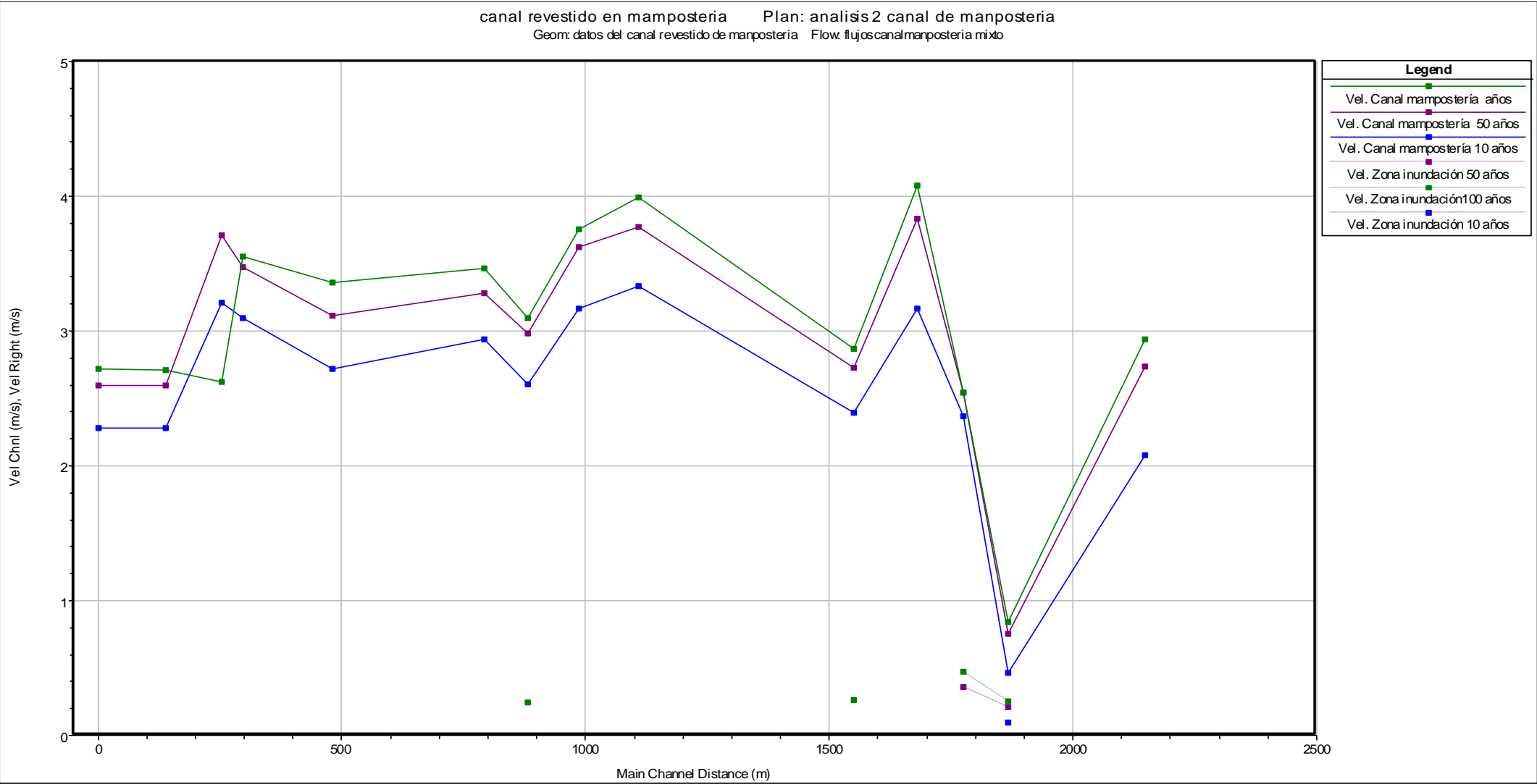


Figura 5.17 Flujo en la sección con problemas de desbordamiento.



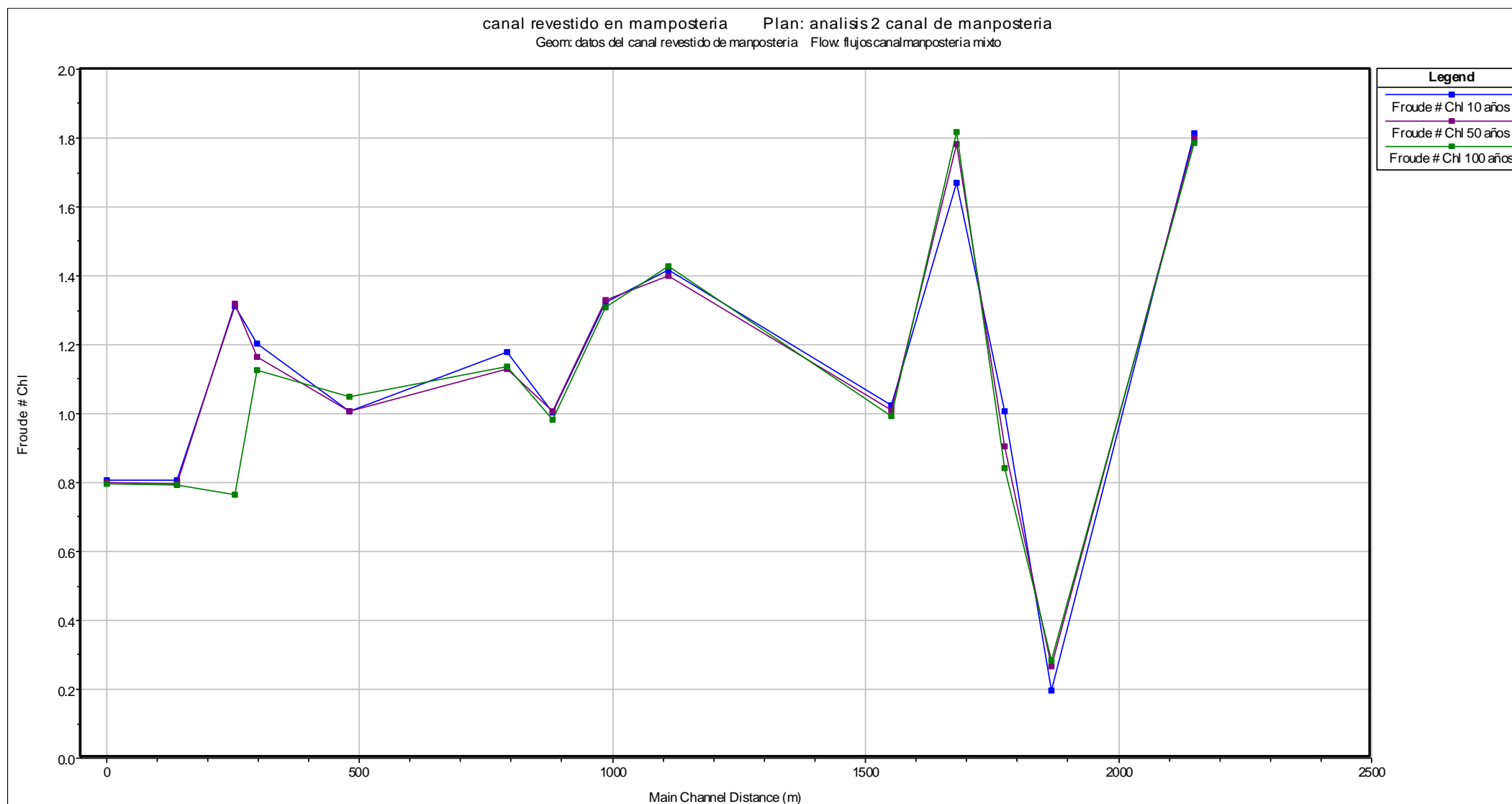
Las líneas continuas de color, azul, lila y verde, representan altura máxima del flujo en el canal para 10, 50, 100 años de periodo de retorno respectivamente y las líneas punteadas la altura critica

Figura 5.18 Altura máxima del flujo a lo Largo del canal de Mampostería.



Las líneas continuas de color, azul, lila y verde, representan la velocidad del flujo en canal para 10, 50 y 100 años de periodo de retorno respectivamente y las líneas segmentadas lila y verde corresponden a la velocidad en la zona de inundación para 50 y 100 años respectivamente

Figura 5.19 Gráfico de velocidades para el canal de Mampostería.



Las líneas de color, azul, lila y verde, representan el número de Froude de las secciones a lo largo del canal para 10, 50, 100 años de periodo de retorno respectivamente

Figura 5.20 Gráfico de N° de Froude para el canal de Mampostería.



Con respecto a la velocidad esta se encuentra dentro de los rangos señalados en la tabla 2.6, que aconseja velocidades entre 3m/s y 4.5m/s, además el gráfico muestra que la velocidad del flujo en la zona de inundación es bastante baja y casi no se hace uso de ella.

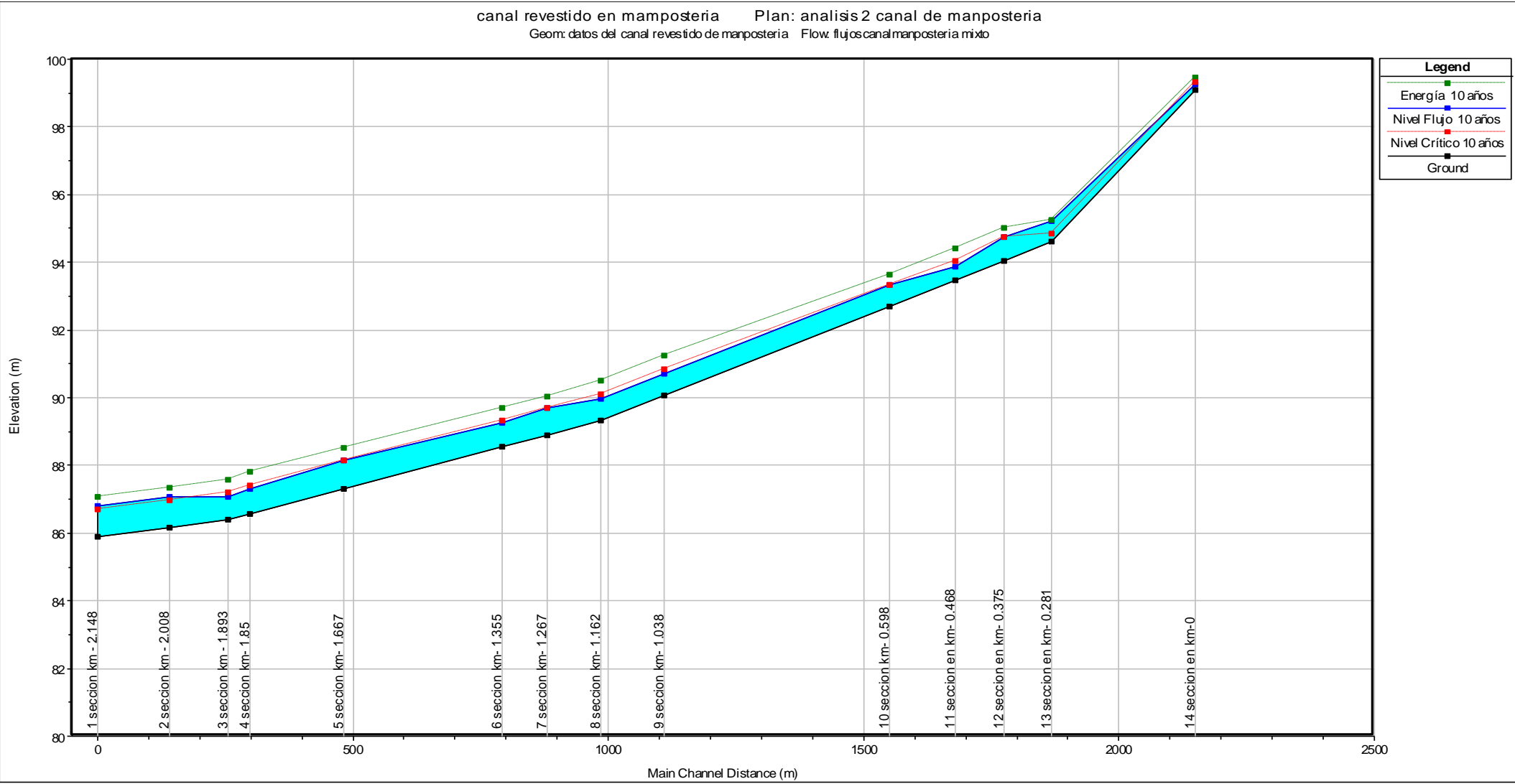
De los gráficos de velocidad y número de froude, se puede decir que los picks que presentan estos se deben a los cambios de regímenes y a las singularidades como cambios de sección y ensanches, a raíz de esto en algunos puntos los gráficos para cada periodo de retorno se cruzan entre si.

Como se hizo en las otras dos alternativas se analizará el eje hidráulico a lo largo del canal para los 3 periodos de retorno, ilustrados en las figuras 5.19 (a), 5.19 (b), 5.19(c)

Si se observa la figura 5.19(a),(b),(c) existe resalto entre: las secciones 13(km-0.281) y 14(km-0) para los 3 periodos de retorno y entre la secciones 2(km-2.008) y 3(km-1.893) en el flujo de 10 y 50 años, para el flujo de 100 años ocurre un resalto entre secciones de los km-1.893 y km-1.850.

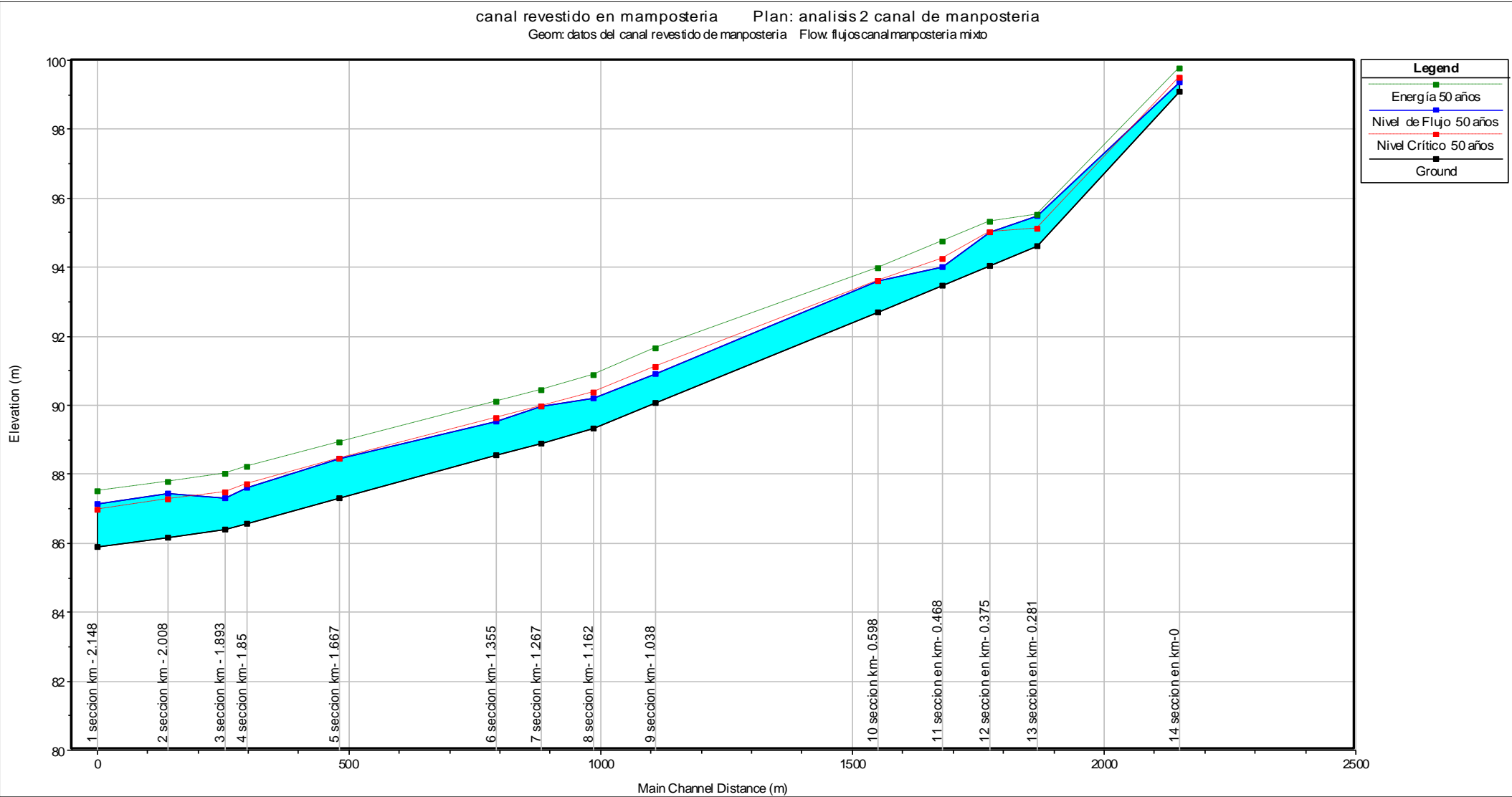
Al igual que en el canal revestido de hormigón en los 3 ejes hidráulicos predomina la tendencia a flujo super-crítico, salvo en las secciones ubicadas al principio y las del final del canal. En consecuencia el canal presenta un flujo mixto, producto de los cambios de sección y ensanches y debido a la variación del caudal a lo largo del canal

En el anexo 2 se muestran los valores de las variables analizadas y del trazado del eje hidráulico para los 3 canales. (Pasto, hormigón y mampostería)



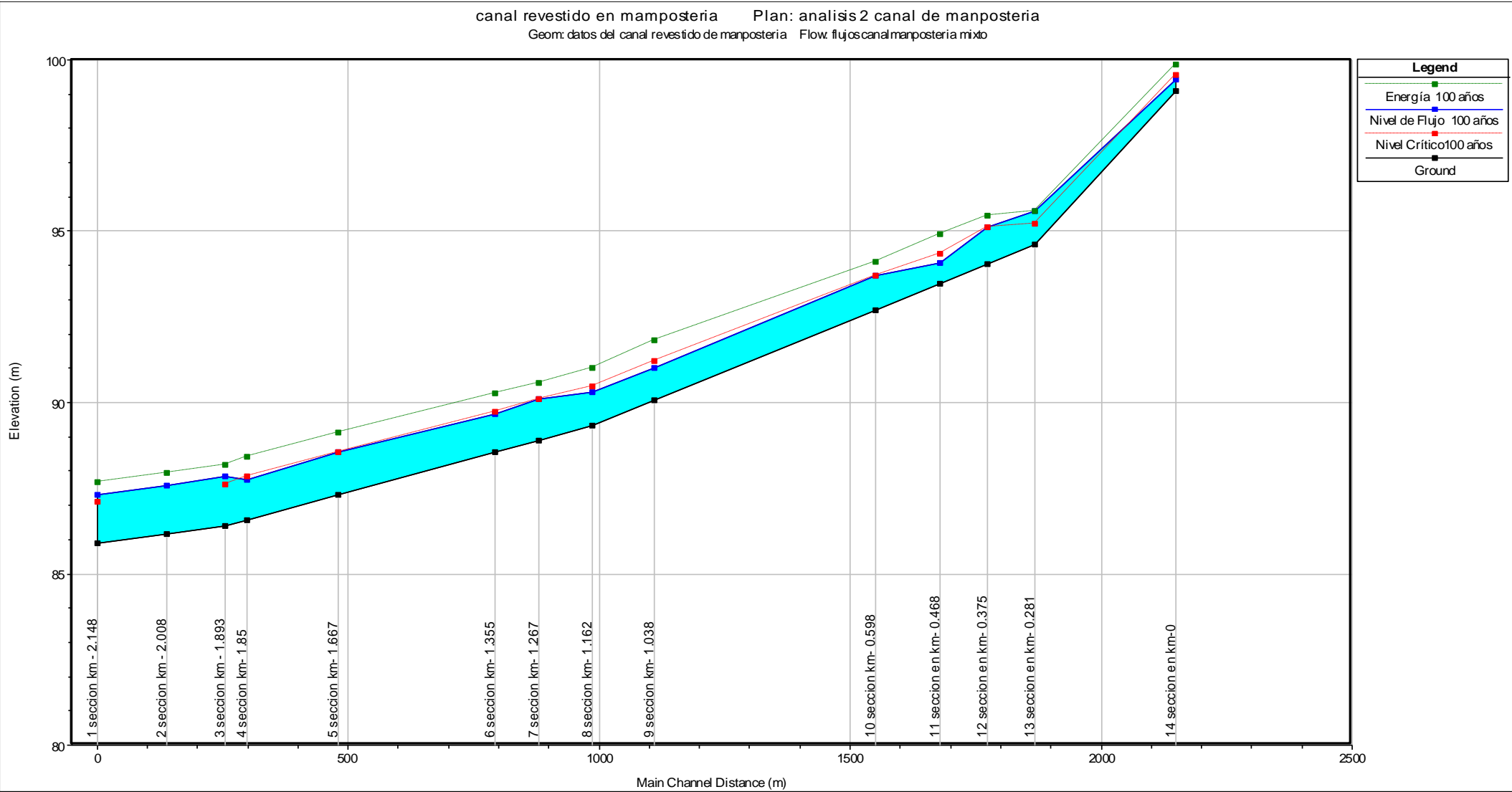
Las líneas de color azul, rojo y verde, representan: el nivel del flujo en la sección completa del canal, altura crítica y la línea de energía respectivamente

Figura 5.21 Eje hidráulico para 10 años de periodo de retorno.



Las líneas de color azul, rojo y verde, representan: el nivel del flujo en la sección completa del canal, altura crítica y la línea de energía respectivamente

Figura 5.22 Eje hidráulico para 50 años de periodo de retorno.



*Las líneas de color azul, rojo y verde, representan: el nivel del flujo en la sección completa del canal, altura crítica y la línea de energía respectivamente*

Figura 5.23 Eje hidráulico para 100 años de periodo de retorno.

#### **5.3.4 Conclusiones Sobre el Estudio Hidráulico de las Secciones Propuestas**

Del estudio hidráulico realizado a los 3 canales propuestos, se puede concluir que presentan problemas de desbordamiento en las secciones ubicadas al principio del canal.

En cuanto a la alternativa de mampostería se puede concluir que las secciones están algo sobredimensionadas, ya que de acuerdo a los resultados para la altura de flujo, en solo dos secciones se hace uso de la zona de inundación en los periodos de retorno de 50 y 100 años, por lo que esta zona sería innecesaria, sin embargo las secciones de mampostería poseen alturas que sobrepasan los 1.5 m, estas alturas de sobre un metro alterarían bastante la sección natural del cauce, ya que por mediciones hechas en terreno las alturas de las secciones del cauce fluctúan entre 0.3m a 1.1 m, siendo las predominantes las alturas menores a 1m. Por otra parte se recomienda mantener un flujo sub-crítico y en el canal revestido de mampostería predomina el flujo super-crítico,

En lo referente a la alternativa revestida de hormigón, las secciones del canal y la zona de inundación son usadas eficientemente, la altura H1 cumple muy bien la función de contener los flujos para 10 años de periodo de retorno, en tanto que la zona inundable recibe los desbordes de los flujos de 50 y 100 años de periodo de retorno viéndose sobrepasada un par de veces. Sin embargo la altura de la zona revestida de hormigón es similar a la altura en condiciones naturales del estero, por lo que una canalización en este tipo implicaría una mayor intervención a las condiciones naturales de entorno. En cuanto al comportamiento del flujo a pesar de no sobrepasar las velocidades máximas permitidas predomina el flujo super-crítico.

El canal de pasto presenta desbordamientos, a raíz del diseño de caídas verticales en que la zona en donde debería estabilizarse el flujo es de sección insuficiente. Sin embargo en las otras secciones no se presentan desbordamientos usando de forma eficiente la zona de inundación. Otro factor a considerar es que existen problemas con el tipo de régimen de flujo presentando un flujo mixto y predominando el flujo super-crítico con números de Froude mayores al recomendado por el MINVU. Debido a que el MINVU recomienda que una solución revestida en pasto es una buena opción para canalizar un cauce natural y usarlo como drenaje de aguas lluvia, se elegirá esta opción para re-diseño, ya que presenta mayores ventajas como: el uso de la zona de inundación como posible zona recreacional, conservación de las condiciones naturales alrededor del cauce, menor altura de flujo, etc.



2,1 km., partiendo desde el punto considerado como el de nacimiento, hasta llegar al cruce del estero con el camino que se conoce como Los Lagos (se intercepta con la ruta T-35)

En resumen en lo referente al trazado serán un total de 15 tramos rectos unidos a través de curvas circulares simples, calculadas según lo descrito en el capítulo 2 sección 2.4.6 considerando los radios de curvaturas mínimos recomendados en la tabla 2.8, hay que tener presente que cuanto más suaves sean las curvas horizontales es mejor para el funcionamiento del canal. El eje del canal no debiera tener curvas con un radio menor a dos veces el ancho superficial con flujo máximo. Además para facilitar el trazado en los tramos del estero en los que el cauce era irregular y muy sinuoso se optó por rectificar el tramo.

El anexo 3 contiene una tabla resumen con los valores de cada parámetro involucrado en el cálculo de las curvaturas adoptadas.

#### **5.4.2 Definición de Pendientes**

Con los datos de la nivelación y de obtener el perfil longitudinal del eje del canal, se pudo concluir que el terreno no presenta desniveles exageradamente grandes sino que, mas bien las cotas medidas, van cambiando gradualmente, esto queda en evidencia en el plano contenido en el anexo 6.

Debido a que el canal definitivo estará revestido de pasto, las pendientes fueron adoptadas de acuerdo a lo especificado en el documento del MINVU donde se señala que para que un canal revestido de pasto funcione bien su pendiente debe estar entre 0.001 y 0.006, y en caso de que el terreno presente pendientes mayores se debe recurrir al diseño de caídas, sin embargo para este caso se decidió cambiar la pendiente del primer tramo, ya que de acuerdo al diseño anterior este presentaba 4 caídas, pero de los datos aportados por el levantamiento topográfico se prescindió de ellas.

Como en el estudio hidrológico el estero se dividió en 13 tramos, de acuerdo a las cuencas aportantes. Para el diseño y estudio hidráulico de la alternativa definitiva se mantendrá esta división. En la tabla 5.6 se especifican las nuevas pendientes adoptadas en cada tramo y se compara con las calculadas en el terreno.

Tramo	km	Largo del tramo (m)	Pendiente i Canal de pasto (m/m)	Pendiente i Calculada en Terreno (m/m)
1-2	0	281	0.006	0.0092
2-3	0.281	94	0.006	0.0014
3-4	0.375	93	0.004	0.0075
4-5	0.468	130	0.004	-0.0044
5-6	0.598	440	0.004	0.0011
6-7	1.038	124	0.004	-0.0002
7-8	1.162	105	0.003	0.0050
8-9	1.267	88	0.003	-0.0109
9-10	1.355	312	0.003	0.0040
10-11	1.667	183	0.004	-0.0279
11-12	1.850	43	0.004	0.0527
12-13	1.893	115	0.004	0.0527
13-14	2.008	140	0.004	0.0527

Nota: se considera positiva la pendiente en donde la inclinación del fondo favorece el escurrimiento del agua.

Tabla 5.6 Pendientes obtenidas en terreno y pendientes adoptadas en el diseño.

Las secciones transversales estarán compuesta de dos partes, la primera será un canal destinado a transportar los flujos bases, y la segunda un canal o zona de inundación encargada de evacuar las crecidas inusuales. Estas secciones se diseñaron de acuerdo a las recomendaciones señaladas en el documento MINVU, mencionado anteriormente.

Para definir las dimensiones de las secciones, en primera instancia se recurrió a la ecuación de Manning, usando como criterio la sección hidráulicamente optima. Así se obtuvo un parámetro con el cual decidir las dimensiones finales. De acuerdo a lo recomendado para canales revestidos de pasto se considero una velocidad máxima de 2.1 m/s y un flujo sub-crítico a lo largo del canal

Los valores adoptados para los parámetros involucrados en el diseño fueron los siguientes:

- Caudal:** Para el canal de inundación se considero el caudal generado por una lluvia con periodo de retorno de 100 años, y para el canal de flujos base se calculo un caudal correspondiente al 3% del anterior.
- Revestimiento y Rugosidad :**
  - Para el canal de inundación , se considero una rugosidad con valor de 0,03 y de acuerdo a la tabla 2.4 este valor corresponde a: “Pastizales, planicies, pastos cortos”



- Para el canal de flujos bases, se adopto un valor de 0.013 que según la tabla 2.4 corresponde a: “revestimiento de concreto construido con moldajes”.

En la tabla 5.7 se detallan las dimensiones de cada sección y en el anexo 6 se encuentra el plano correspondiente con los detalles estructurales.

Diseño definitivo: Canal de Pasto								
Tramo	km	Largo tramo (m)	Pendiente	H1 (m)	H2(m)	C (m)	B(m)	Z
1-2	0	281	0.006	0.2	0.4	2.0	0.5	5
2-3	0.281	94	0.006	0.2	0.7	3.5	0.5	5
3-4	0.375	93	0.004	0.2	0.7	3.5	0.5	5
4-5	0.468	130	0.004	0.2	0.7	3.5	0.5	5
5-6	0.598	440	0.004	0.2	1.0	5.0	0.5	5
6-7	1.038	124	0.004	0.4	1.0	5.0	0.5	5
7-8	1.162	105	0.003	0.4	1.1	5.0	0.5	5
8-9	1.267	88	0.003	0.4	1.1	5.0	0.5	5
9-10	1.355	312	0.003	0.4	1.1	5.0	0.5	5
10-11	1.667	183	0.003	0.4	1.1	5.0	0.5	5
11-12	1.85	43	0.003	0.4	1.1	5.0	0.5	5
12-13	1.893	115	0.003	0.4	1.1	5.0	0.5	5
13-14	2.008	140	0.003	0.4	1.1	5.0	0.5	5

Tabla 5.7 Forma y dimensión de las secciones para el canal definitivo revestido de pasto.

### 5.4.3 Análisis Hidráulico

El análisis hidráulico se realizó mediante el programa Hec –Ras, considerando el caso de flujo mixto y altura normal de escurrimiento como condición de borde.

En la figura 5.21 se ilustra el esquema de trazado que se siguió para el análisis, además de mostrar los puntos donde se ingresaron secciones y la dirección que siguió el flujo a lo largo del canal. Para el análisis, el programa ordena las secciones desde aguas abajo hacia

aguas arriba, por lo tanto al punto14 le corresponde la sección 1 y el flujo del tramo1 considerados en el estudio hidrológico.

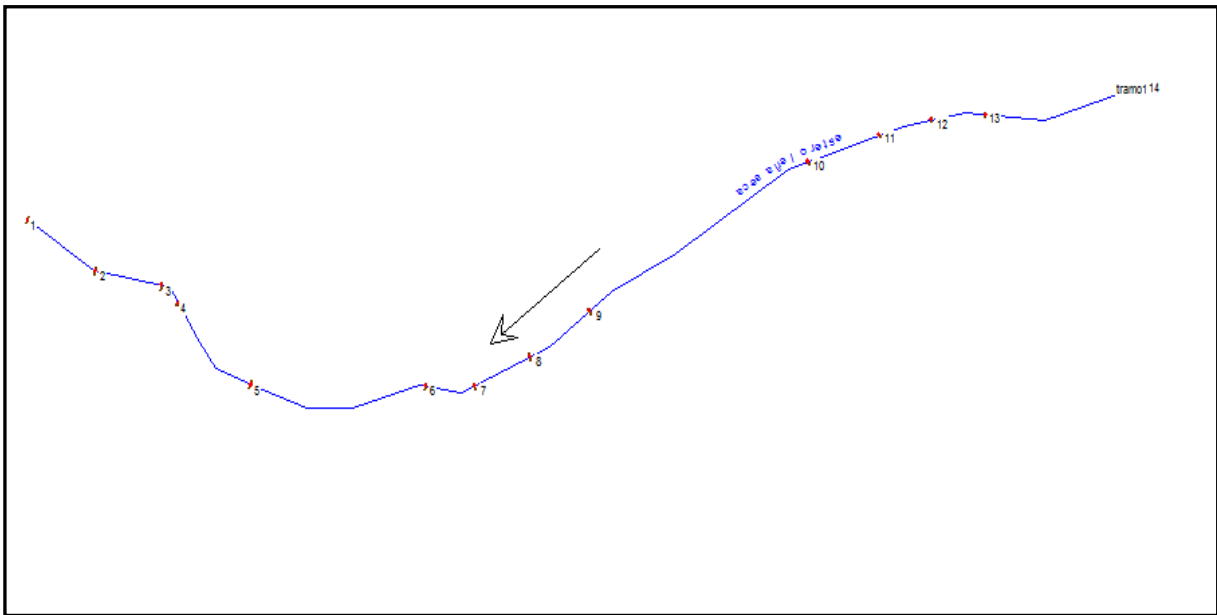


Figura 5.25 Trazado ingresado en Hec - Ras.

Los datos analizados por el programa, arrojaron como resultado que el canal diseñado posee mayormente un flujo sub-critico, las secciones no presentan desbordamientos a lo largo del canal, además de cumplir con los valores máximos de velocidad y de número de froude, como muestran los gráficos en las figuras 5.22 y 5.23 respectivamente.

Del gráfico en la figura 5.22 se puede concluir que la velocidad máxima promedio representada de color lila no sobrepasa los 1.5m/s, siendo menor que el máximo de 2.1m/s, y en cuanto a la velocidad en el canal de flujos base, esta es menor que 3m/s lo que esta dentro de lo permitido para un revestimiento de hormigón.

De acuerdo al gráfico del número de froude, la única sección que presenta flujo super-critico, es la sección ubicada al inicio del canal, esta podría considerarse una sección de transición debido a ubicarse en las cercanías del nacimiento del estero, sin embargo no presenta un gran problema ya que la velocidad es moderada.

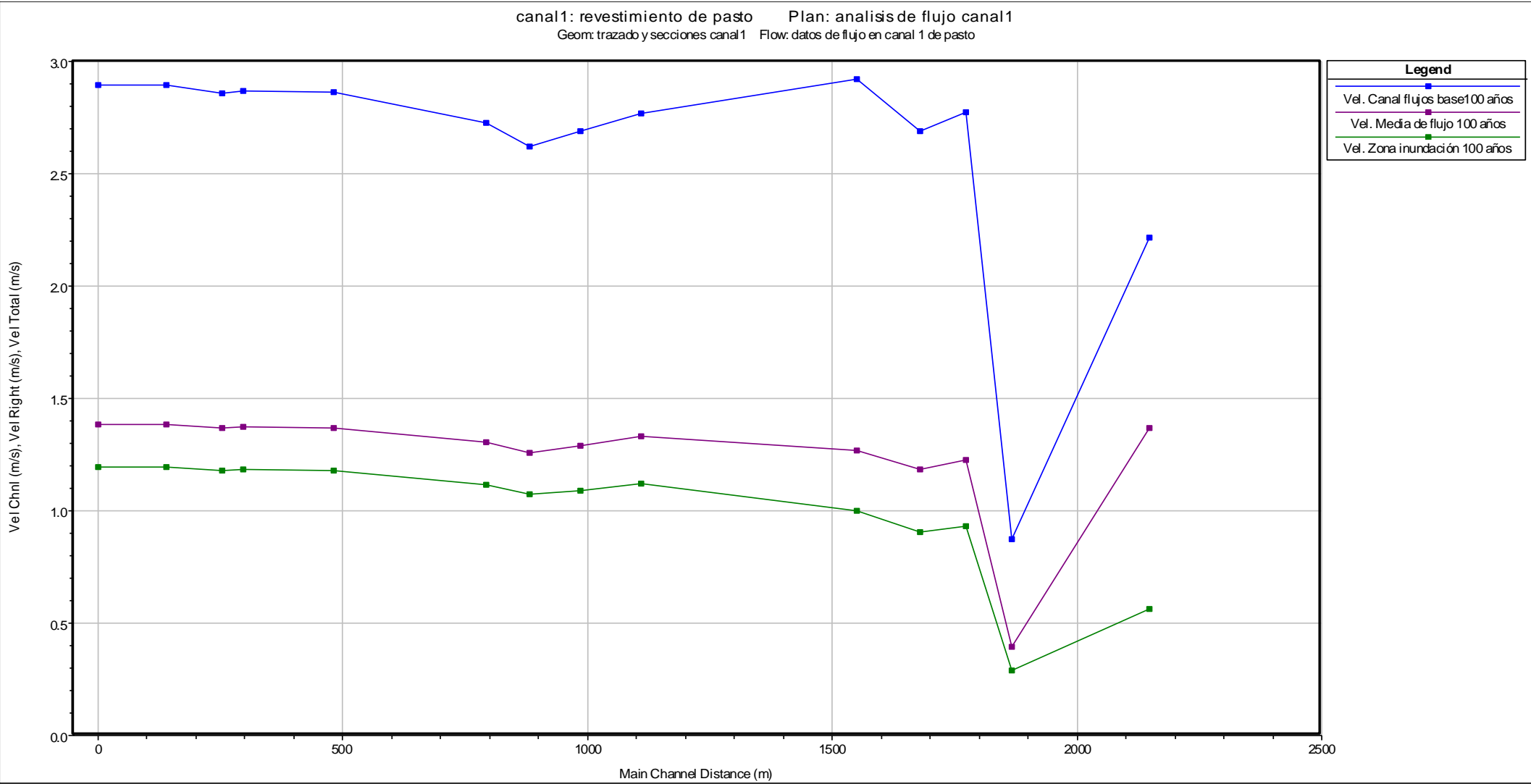
En cuanto al eje hidráulico este se presenta bastante uniforme , cambiando la altura del agua en forma gradual a medida que se avanza aguas abajo y crece el caudal transportado por en el canal, presentándose solo una singularidad, un resalto hidráulico al final del tramo1. Los componentes del eje hidráulico y las alturas de agua representativas se muestran en las figuras 5.24 y 5.25.

El anexo 3 contiene las tablas con los valores de cada una de las variables involucradas en el análisis hidráulico.

La tabla 5.8 muestra el análisis cualitativo del eje hidráulico que se ilustra en la figura 5.24

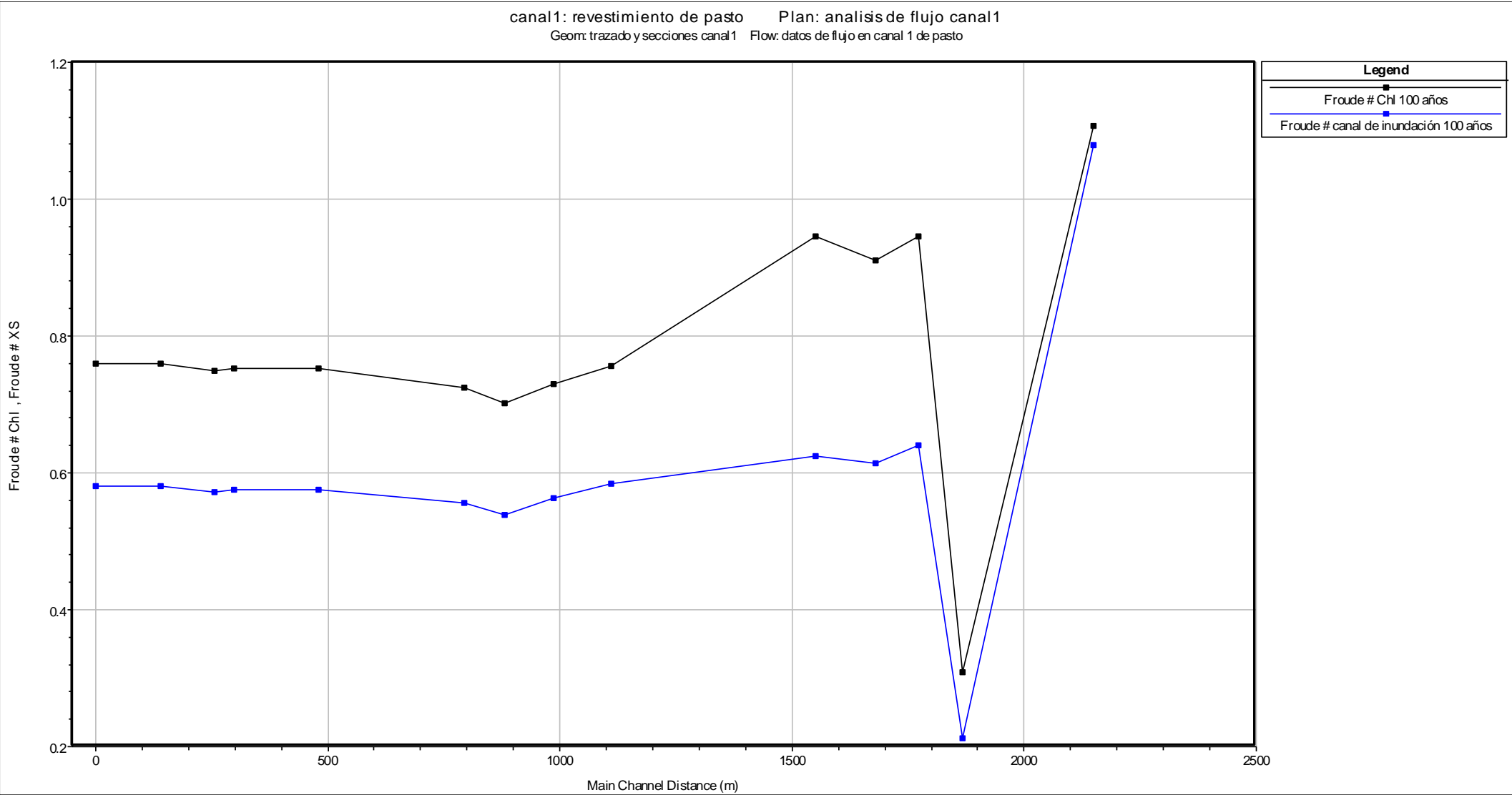
Tramo	Longitud (m)	Caudal (m³/s)	Hn (m)	Hc (m)	H (m)	Tipo de pendiente	Pendiente m/m	Pendiente de la línea de energía	Perfil de flujo
1-2	281	0.576	0.26	0.47	0.41	Fuerte	0.006	0.00609	Torrente peraltado
2-3	94	0.918	0.30	0.56	0.82	Fuerte	0.006	0.000369	Rio peraltado
3-4	93	3.331	0.46	0.88	0.88	Fuerte	0.004	0.0034	Flujo crítico
4-5	130	3.335	0.46	0.88	0.89	Fuerte	0.004	0.0031135	Rio peraltado
5-6	440	4.397	0.50	0.96	0.97	Fuerte	0.004	0.003284	Rio peraltado
6-7	124	7.174	0.76	1.28	1.37	Fuerte	0.004	0.003046	Rio peraltado
7-8	105	7.164	0.79	1.28	1.39	Fuerte	0.003	0.002829	Rio peraltado
8-9	88	7.467	0.80	1.30	1.42	Fuerte	0.003	0.002595	Rio peraltado
9-10	312	8.013	0.81	1.33	1.44	Fuerte	0.003	0.002761	Rio peraltado
10-11	183	8.856	0.83	1.36	1.47	Fuerte	0.003	0.002959	Rio peraltado
11-12	43	8.986	0.83	1.37	1.48	Fuerte	0.003	0.002958	Rio peraltado
12-13	115	8.998	0.83	1.37	1.48	Fuerte	0.003	0.002921	Rio peraltado
13-14	140	9.120	1.48	1.37	1.48	Fuerte	0.003	0.00300	Rio uniforme

Tabla 5.8 Perfiles de flujo a lo largo del canal.



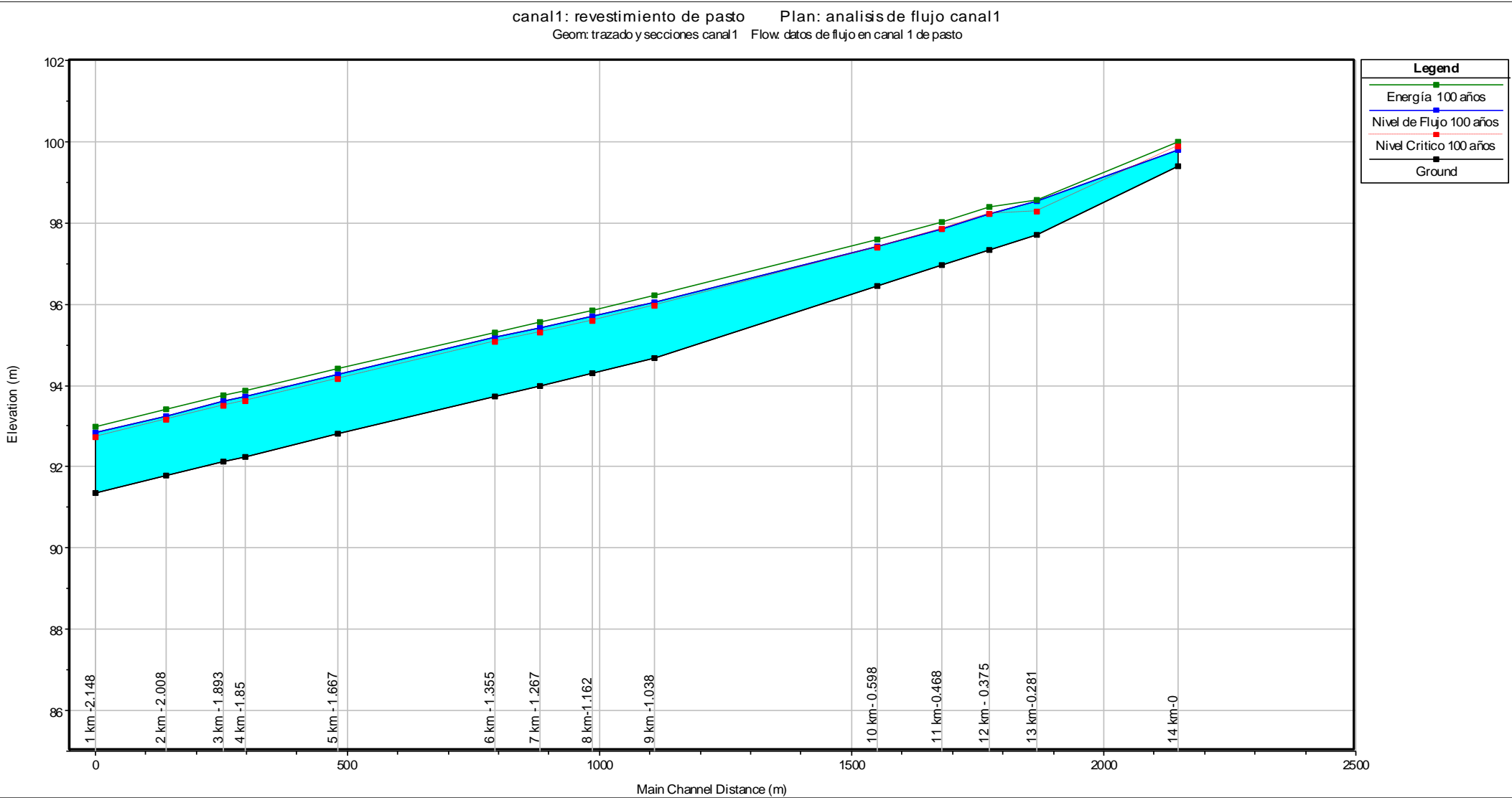
La línea de color verde representa la velocidad en el canal de inundación, la línea de color lila representa la velocidad promedio en el canal y la línea de color azul representa la velocidad en el canal de flujos menores

Figura 5.26 Gráfico de velocidades en el canal.



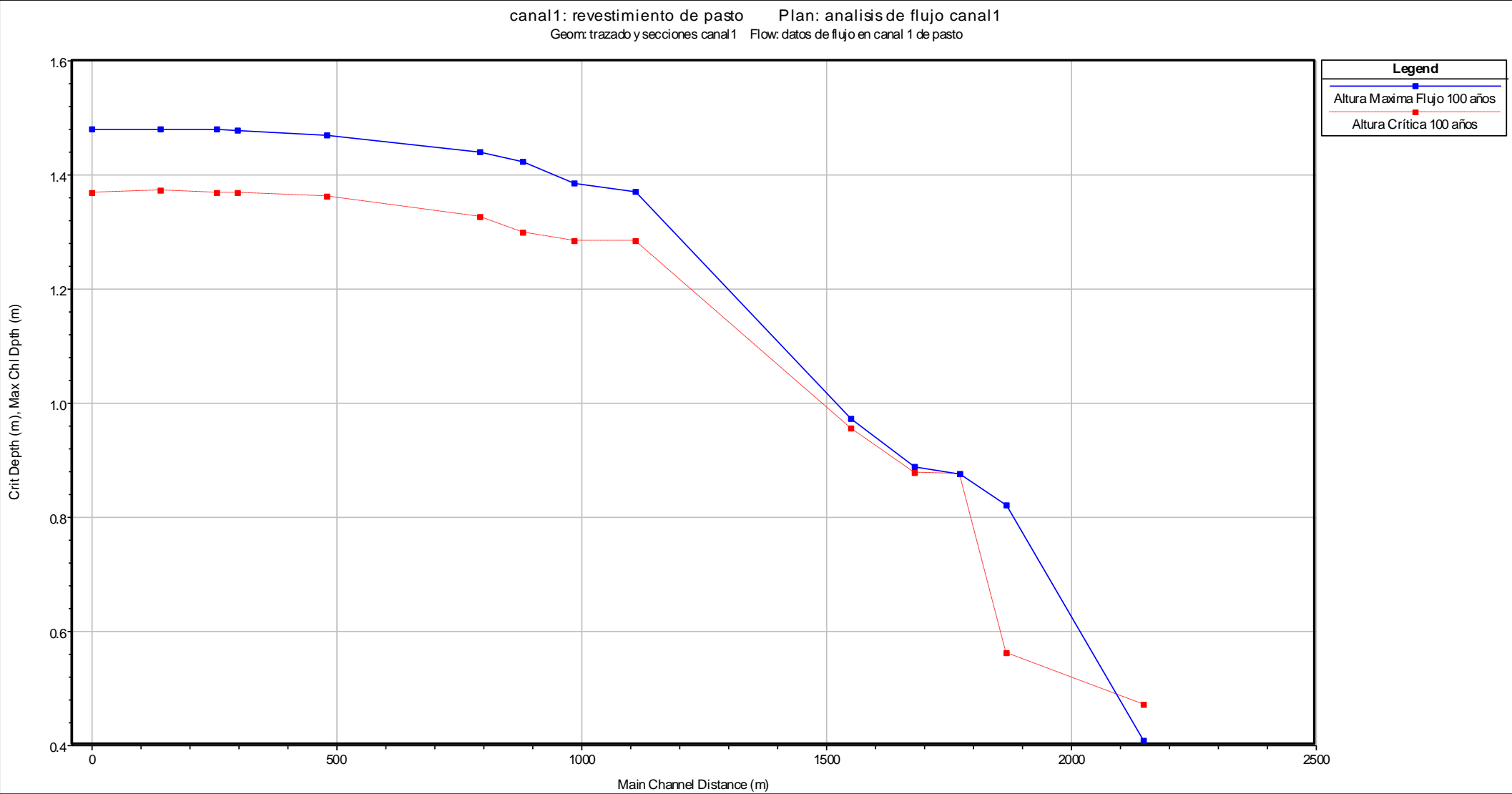
La curva de color azul representa el número de Froude en la sección completa del canal y la curva de color negro es el número de Froude en el canal de flujos base

Figura 5.27 Gráfico de Número de Froude.



La línea de color negro representa el nivel del fondo del canal, la línea de color rojo representa el nivel crítico del flujo, la línea de color azul el nivel de flujo, y la línea verde el nivel de energía

Figura 5.28 Eje hidráulico del canal diseñado.



La Curva de color azul, representa la altura máxima de agua y la curva de color rojo la altura crítica a lo largo del canal

Figura 5.29 Gráfico de alturas crítica y máxima a lo largo del canal.

5.4.5     Diseño Estructural y Obras Complementarias

5.4.5.1    Diseño estructural de secciones

El diseño estructural de las secciones del canal consta de dos partes, la primera consiste en diseñar el canal de flujos bases y la segunda en diseñar la de inundación.

a) Canal de flujos bases

El canal central se diseñará en hormigón, de acuerdo a las recomendaciones señaladas en el manual de carreteras y en el manual titulado “Concepto de Diseño Estructural de Obras de Riego” emitido por la *Comisión Nacional de riego*.

Tipo	Velocidad media m/s	Espesor (cm)		Armadura
		Taludes	Fondo	
Asfáltico	2.5 2.5-3	5 8	5-8 8-10	Ninguna ninguna
Concreto	3 3-5 Mayor a 5	5-10 10-13 15 0 más	5-10 10-15 18 o más	Malla alambre 15x15 Malla $\phi$ 10 a 30 cm Malla $\phi$ 10 a 25cm

Tabla 5.9 Recomendaciones sobre espesores de revestimientos en canales.  
(Manual de carreteras. Vol 3, 2008)

Capacidad (m <sup>3</sup> / s)	Espesor (cm)	
	Hormigón	Asfalto
0 – 5	6	5
5 – 10	7	7
Sobre15	8	10

Tabla 5.10 Espesores para el revestimiento.

Como el canal de flujos bases transporta un caudal menor a los 5 m<sup>3</sup>/ s y de acuerdo al estudio hidráulico, la velocidad en este canal es menor a 3 m/s se usara un hormigón H25 sin armar con espesor de 10 cm, el hecho que no lleve armadura de refuerzo, es debido a que este canal es pequeño y no transporta un gran caudal.

Para definir el revestimiento (pasto) del canal de inundación se siguió las recomendaciones expuestas en el manual del MINVU: “*TÉCNICAS ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONES DE AGUAS LLUVIAS EN SECTORES URBANOS*”. En el cual se señala que: “En general para conseguir un buen revestimiento de pasto se debe preparar una buena



base, con una capa vegetal firme formada por residuos de cultivos o tierra de hojas para proteger las semillas del pasto mientras este se establece. Seleccionar una mezcla de semillas simple que se adecue a las condiciones del cauce, formada por semillas de buena calidad, con pastos de origen conocido y adaptables al lugar”.

De acuerdo a lo anterior, para el canal de inundación se usara primero una capa de arena gruesa con espesor 5cm y sobre esta una capa de tierra de hojas con espesor de 10cm, sobre la cual se sembrara el pasto de la especie “*Poa Compresa*”, recomendada en la Tabla 5.1.1.1.- del manual MINVU antes mencionado

**5.4.5.2 Diseño de obras complementarias**

A lo largo del trazado, el canal cruza varias calles que sirven de acceso a recintos privado, así como también a lugares que son altamente transitados por las personas que viven cercanas a las orillas del Estero Leña Seca. Se usara como alternativa de cruce, alcantarillas las cuales se diseñaron de acuerdo a lo recomendado en el volumen tres del manual de carretas.

Para el dimensionamiento de las alcantarillas, se uso los nomogramas que aparecen en el manual de carreteras correspondiente al criterio de diseño de “alcantarilla con control de entrada” considerando el caudal generado por las precipitaciones con periodo de retorno de 50 años.

En resumen será 4 atravesos diseñados de alcantarillas de tubo simple de acero corrugado, con muro de boca de entrada y salida contruidos en mampostería, el diseño de estos muros se realizo de acuerdo a las recomendaciones del manual de carretera, volúmenes 4 y 5.

km	Q (m <sup>3</sup> /s)	Tipo atravesio	Diámetro tubo (mm)	Tipo de tubo	Largo Atravesio (m)
0.5535	3.647	Tubo simple	1000	Corrugado	5
0.854	3.647	Tubo simple	1200	Corrugado	4
1.338	6.387	Tubo simple	1500	Corrugado	4
1.530	6.983	Tubo simple	1500	Corrugado	4

Tabla 5.11 Dimensión y tipo de alcantarillas.

Para el diseño de la entrada y salida de las alcantarillas se usara muro frontal de elevación vertical y dispuesto perpendicularmente al eje del cauce .el diseño de los muros de boca se realiza de acuerdo a las especificaciones señalas en el manual de carreteras volumen- 4 figura 4.101.001 para muro de mampostería.

En el diseño de muros de mampostería se usaran elementos con las siguientes características:

- las piedras a utilizar, deberán tener una altura mínima que será de 0,20 m y su volumen no será inferior a 25 litros.
- Al menos el 50% del volumen total de la estructura se construirá con piedras que dispongan de un volumen no inferior a 30 litros
- El ancho de las piedras será aproximadamente 1,5 veces su altura, y su largo será aproximadamente 1,5 veces su ancho, y en ningún caso se aceptarán piedras de volumen superior a 0,40 m<sup>3</sup>.
- El mortero para asentar y unir las piedras y repasar las juntas deberá ser de proporción 1:3 (cemento:arena) en peso. Sólo se podrá mezclar a mano cuando el volumen a preparar sea inferior a 0,25 m<sup>3</sup>; en los demás casos, la mezcla deberá prepararse en hormigonera.
- La dosis de agua para preparar el mortero dependerá del módulo de finura, estando la arena en condición de superficie saturada seca, de acuerdo con la Tabla 5.2

Modulo Finura	Agua (l/m <sup>3</sup> )
Mayor que 2,8	240
2,8 a 2,4	260
Menor que 2,4	320

Tabla 5.12 Cantidad de agua para los morteros.  
(Manual de Carreteras vol 5, 2008)

El anexo 6 se adjunta el plano con los detalles de cada diseño y los detalles de las secciones.

# Capítulo VI

## Presupuesto

### 6.1 Generalidades

Como se ha dicho anteriormente el aspecto económico de un proyecto es un factor determinante a la hora de decidir si se lleva a cabo o no la construcción de las obras. Para comprobar si la canalización del estero Leña seca es un proyecto viable económicamente se realizó un presupuesto estimativo. Dentro de las partidas del presupuesto se consideraron las siguientes:

- 5 **Limpieza y Escarpe:** En esta partida se contemplará una limpieza a lo largo del cauce del estero para limpiar y quitar la basura y la capa vegetal que se encuentra tanto en el fondo como en los bordes.
- 6 **Excavación:** el cálculo de volúmenes de excavación se hizo de acuerdo al estudio topográfico y de acuerdo al volumen que entreguen la cubicación de movimiento de tierra.
- 7 **Relleno compactado:** El relleno compactado será en los lugares donde corresponda de acuerdo al estudio topográfico y al volumen que entreguen la cubicación de movimiento de tierra.
- 8 **Colocación de moldajes**
- 9 **Hormigonado:** será un hormigón simple , ya que son estructuras que no están sometidas a esfuerzos de flexo-tracción

### 6.2 Análisis de costo

#### 6.2.1 Costos unitarios

El análisis de costo unitario se hizo tomando como referencia los rendimientos de cada partida señalados en el manual ONDAC

tem			Cantidad	Unidad	C. Unit.	Subtotal
1	limpieza y escarpe		1	m <sup>3</sup>		
		bulldozer D-6D	0.02	hr	25000	\$500
		jornalero	0.01	dia	8500	\$85
		leyes sociales	33	%	28	\$28
					Total \$	\$613

ítem			Cantidad	Unidad	C. Unit.	Subtotal
2	Excavación y emparejamiento		1	m³		
		bulldozer cat-D-8-K	0.04	hr	40000	\$1600
		cargador cat 950-e	0.04	hr	27000	\$1080
		jornalero	0.025	día	8500	\$212.5
		leyes sociales	33	%	70	\$50
					Total \$	\$2943

ítem			Cantidad	Unidad	C. Unit.	Subtotal
3	Relleno compactado y perfilamiento		1	m³		
		bulldozer cat-D-8K	0.007	hr	36000	\$252
		motoniveladora cat 146	0.007	hr	25000	\$175
		rodillo dinapac ca25-D	0.025	hr	15000	\$375
		camión algibe	0.007	hr	7000	\$49
		jornalero	0.1	día	8500	\$850
		leyes sociales	33	%	281	\$281
					total	\$1982

ítem			Cantidad	Unidad	C. Unit.	Subtotal
4	siembra de césped		1	m <sup>2</sup>		
		picado -harneado	1	m <sup>2</sup>	700	\$700
		tierra de hoja e =10cm	0.004	m <sup>3</sup>	4790	\$19
		arena gruesa e =5cm	0.005	m <sup>3</sup>	6000	\$30
		césped	0.05	m <sup>2</sup>	8500	\$425
		r desgaste de herramientas	5	%	35	\$35
		jardinero + jornal	0.03	día	19500	\$585
		leyes sociales	33	%	193	\$193
					total	\$1987

ítem			Cantidad	Unidad	C. Unit.	Subtotal
5	capa de grava apisonada e=10		1	m³		
		grava o ripio e=10cm	0.025	m³	9990	\$250
		jornalero	0.022	día	8500	\$187
		leyes sociales	33	%	62	\$62
					total	\$498

ítem			Cantidad	Unidad	C. Unit.	Subtotal
6	radier e=10cm		1	m³		
		ripio	0.025	m³	9990	\$250
		arena gruesa	0.018	m³	12000	\$216
		cemento	6	saco	3150	\$18900
		perdidas	6.4	%	1239	\$1239
		albañil + ayudante	0.06	día	20000	\$1200
		leyes sociales	33		396	\$396
					total	\$22201

ítem			Cantidad	Unidad	C. Unit.	Subtotal
7	hormigón -h25		1	m3		
		betonera 11p 7.5hp mes=208h	0.05	dia	10500	\$525
		ripio	0.8	m3	9990	\$7992
		arena gruesa	0.6	m3	12000	\$7200
		cemento	5	saco	3150	\$15750
		Perdida	5	%	1547	\$1547
		concretero	0.9	dia	8500	\$7650
		leyes sociales	33	%	2525	\$2525
					total	\$42664

ítem			Cantidad	Unidad	C. Unit.	Subtotal
8	moldaje					
		terciado 12mm	0.12	placa	12490	\$1499
		pino bruto seco 2x2	0.32	uni	960	\$307
		pino bruto seco 1x2	0.38	uni	500	\$190
		clavo 3"x10	0.04	kg	945	\$38
		carpintero mas ayudante	0.05	dia	15000	\$750
		leyes sociales	33	%	248	\$248
					total	\$3031

### 6.2.2 Presupuesto

	partida	unidad	cantidad	costo unitario	subtotal
1	Escarpe y Limpieza	m <sup>3</sup>	1850	\$ 613	\$ 1.134.143
2	Excavación	m <sup>3</sup>	9560	\$ 2,943	\$ 28.130.300
3	relleno compactado	m <sup>3</sup>	3058	\$ 1,982	\$ 6.059.427
4	césped	m <sup>2</sup>	20500	\$ 1,987	\$ 40.737.805
5	grava apisonada e=10cm	m <sup>3</sup>	107.4	\$ 498	\$ 53.535
6	Radier e=10cm	m <sup>3</sup>	107.4	\$ 22,201	\$ 2.384.404
7	Hormigón H-25	m <sup>3</sup>	85.92	\$ 42,664	\$ 3.665.657
8	Moldajes	m <sup>2</sup>	430	\$ 3,031	\$ 1.303.459
				total	\$ 83.468.729

Nota: los costos se calcularon en pesos

---

## Capítulo VII

---

### Resultados y Conclusiones

El principal propósito que se perseguía con este estudio era determinar la factibilidad de llevar a cabo la canalización del Estero Leña Seca pensando en la urbanización de los terrenos cercanos a él y de poder usarlo como una posible alternativa de drenaje para las aguas lluvias.

Desde el punto de vista hidráulico, la canalización propuesta tiene un correcto funcionamiento, a pesar de ser un régimen mixto prevalece la condición de régimen sub-crítico, presentando una velocidad media menor a 1.5m/s lo que es bastante bajo, pudiendo ayudar esta condición a impedir un gran arrastre de materiales, esto es algo ventajoso ya que como se dijo en capítulos anteriores, en el lecho y orillas del estero existe gran presencia de basura, matorrales, arbustos, etc.

Según recomendaciones del manual: *“Técnicas Alternativas Para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos”* del mientras más se asemeje el trazado de la canalización a la trayectoria natural del cauce mejor será su funcionamiento. En cuanto a este punto el canal diseñado en gran parte de su trazado sigue la trayectoria natural del flujo, salvo en los tramos en que se mostraba sinuoso donde se optó por rectificar, con respecto a las rectificaciones se tuvo que poner atención y diseñar cuidadosamente en los lugares donde el trazado cruzaba propiedades privadas, para así minimizar la invasión a estos terrenos, ya que para la posible construcción esto podría ayudar con los propietarios.

En cuanto a las dimensiones del canal, la zona inundable revestida de pasto presenta un ancho considerable a partir del km-0.598 siendo 5m en cada talud, esto podría representar un problema a la hora de construir en el tramo donde se ubica el campamento girasoles, ya que en este sector existe un distanciamiento en promedio de 60cm entre las orillas del estero y las viviendas producto de la presencia de Gaviones.

Del análisis hidráulico se pudo concluir que para los 100 años de periodo de retorno la zona de inundación es usada en su totalidad, lo que favorece la infiltración recargando la napa subterránea minimizando el impacto hidrológico, por otro lado la velocidad máxima en esta zona es de 1.2m/s (Ver Figura 5.22) lo que no provocaría problemas de erosión.

Para el canal de flujos menores se realizó un cálculo hidráulico considerando un caudal igual al 3% del flujo correspondiente a 100 años de periodo de retorno, este 3% es mayor al caudal base calculado con mediciones en el estero, procedimiento que se describió en el capítulo 3. En la tabla 7.1 se muestra el valor de los distintos parámetros del cálculo hidráulico

Sección	n	I(m/m)	B(m)	H (m)	Q (m³/s)	h <sub>r</sub> (m)	V (m/s)	F
1	0.013	0.006	0.5	0.2	0.026	0.064	0.817	1.034
2	0.013	0.006	0.5	0.2	0.028	0.067	0.838	1.035
3	0.013	0.004	0.5	0.2	0.099	0.182	1.086	0.812
4	0.013	0.004	0.5	0.2	0.100	0.184	1.089	0.812
5	0.013	0.004	0.5	0.2	0.132	0.225	1.173	0.790
6	0.013	0.004	0.5	0.4	0.215	0.326	1.321	0.739
7	0.013	0.003	0.5	0.4	0.215	0.364	1.180	0.625
8	0.013	0.003	0.5	0.4	0.224	0.376	1.191	0.620
9	0.013	0.003	0.5	0.4	0.240	0.397	1.208	0.612
10	0.013	0.003	0.5	0.4	0.266	0.432	1.233	0.600
11	0.013	0.003	0.5	0.4	0.270	0.437	1.236	0.598
12	0.013	0.003	0.5	0.4	0.270	0.437	1.236	0.598
13	0.013	0.003	0.5	0.4	0.274	0.442	1.240	0.596
14	0.013	0.003	0.5	0.4	0.274	0.442	1.240	0.596

Tabla 7.1 Parámetros de flujo para el canal de flujos menores.

Al observar la tabla 7.1 se puede ver que en condiciones normales el canal de flujos base se ve mínimamente sobrepasado, esto no sería problema si se quiere considerar la zona de inundación para otros usos como es el de área recreacional, pudiéndose aprovechar en la época estival como parque, cubriendo así la necesidad de aéreas verdes que presentaría la construcción de viviendas.

# Bibliografía

ARUMI, R. s.f. “Especificaciones Técnicas Para Proyectos de Canales” fac. ing agrícola universidad de Concepción.

CASANOVA, L. 2005 “Topografía Plana” (Disponible en <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/lnova/>, visitado en noviembre 2008)

MANUALES DE LA COMISION NACIONAL DE RIEGO (Disponible en : [http://www.cnr.gob.cl/opensite\\_20050412122828.aspx#20050418171454](http://www.cnr.gob.cl/opensite_20050412122828.aspx#20050418171454), visitado en 2010 )

CONDORI, H. 2004 “Diseño de Canales”. (Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos19/canales/canales.htm>. Consultado en noviembre 2008)

DOMINGUEZ, F. 1959 “HIDRAULICA”

US ARMY CORPS OF ENGINEERS, sf. Manual de usuario de HEC-RAS (Disponible en <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/userman/index.html>. Consultado en junio 2009)

GOOGLE EARTH. 2009

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (MINVU). 1996. “Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos”. Cap 4 “Obras de Almacenamiento”

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP). 2008. “Manual de Carreteras”. Vol 2, “Procedimientos de Estudios Viales”

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP). 2008. “Manual de Carreteras”. Vol 3, “Instrucciones y Criterios de diseño”

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP). 2008. “Manual de Carreteras”. Vol 4, “Planos de Obras Tipo”

TORRES, A; VILLATE, E. “Topografía” 4 eds. 2001. ed. Pearson Universitaria



VALENZUELA, H. 2007. Formulación y Evaluación de Alternativas para el Saneamiento del Estero Leña Seca-Valdivia Tesis ing. Civil. Valdivia Univ. Austral de Chile, Fac. cien. Ing. 132 p.

VENTE CHOW, Ph. D. "Hidráulica de canales abiertos" eds. 2004. ed. McGraw - Hill

# **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

### **Levantamiento topográfico: Nivelación de Perfil Longitudinal y Perfiles Transversales**

Tabla A1.1 Nivelación del Perfil Longitudinal.

PTO	DIST.	ACUMULAD.	L. ATRÁS	L. INTERM.	L. ADELAN.	DIF. (+)	DIF. (-)	COTA	ESTACION
1	0	0	1.375			0	0	100.000	1
2	30	30			2.285		-0.910	99.090	1
3	30	60	2.540				-0.255	98.835	2
4	20	80		2.970			-0.430	98.660	2
5	20	100		3.050			-0.510	98.580	2
6	20	120			2.545		-0.005	99.085	2
7	20	140	1.725			0.820		99.905	3
8	20	160			2.750		-1.025	98.060	3
9	30	190	1.010			1.740		99.800	4
10	40	230		1.450			-0.440	97.620	4
11	30	260		1.650			-0.640	97.420	4
12	21	281		1.660			-0.650	97.410	4
13	29	310			1.685		-0.675	97.385	4
14	30	340	1.160			0.525		97.910	5
15	35	375		1.341			-0.181	97.204	5
16	15	390		1.450			-0.290	97.095	5
17	40	430			2.370		-1.210	96.175	5
18	38	468	2.600				-0.230	95.945	6
19	20	488		1.780		0.820		96.995	6
20	20	508		1.190		1.410		97.585	6
21	20	528		0.960		1.640		97.815	6
22	30	558			1.250	1.350		97.525	6
23	20	578	0.955			0.295		97.820	7
24	20	598		1.123			-0.168	97.357	7
25	20	618		1.290			-0.335	97.190	7
26	40	658			2.240		-1.285	96.240	7
27	30	688	1.975			0.265		96.505	8
28	30	718	2.210				-0.235	96.270	9
29	135	853	1.240			0.970		97.240	10
30	30	883	1.840				-0.600	96.640	11
31	30	913		1.780		0.060		96.700	11
32	30	943		1.720		0.120		96.760	11
33	30	973		1.82		0.020		96.660	11
34	65	1038			1.840	0.000		96.640	11
35	124	1162	3.320				-1.480	95.160	12
36	31	1193	3.280			0.040		95.200	13
37	10	1203			3.190	0.090		95.250	13
38	50	1253	3.070			0.120		95.370	14
39	50	1303			3.090		-0.020	95.230	14
40	52	1355	2.590			0.500		95.730	15
41	40	1395		2.790			-0.200	95.030	15
42	48	1443			3.210		-0.620	94.610	15
43	40	1483	2.910			0.300		94.910	16
44	62	1545		2.890		0.020		94.630	16
45	50	1595			3.000		-0.090	94.520	16
46	50	1645	3.075				-0.075	94.445	17
47	22	1667		3.166			-0.091	94.429	17
48	16	1683			3.270		-0.195	94.325	17
49	30	1713	1.940			1.330		95.655	18
50	30	1743			1.950		-0.010	94.315	18
51	40	1783	2.690				-0.740	93.575	19
52	40	1823			2.980		-0.290	94.025	19
53	40	1863	1.920			1.060		95.085	20
54	30	1893		3.170			-1.250	92.775	20
55	115	2008			0.86	1.060		95.085	20
56	140	2148	3.440				-2.580	92.505	21

**Tabla A1.2 Nivelación de perfiles transversales de terreno**

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
1	100	1.345	100.030	1
1	100	1.360	100.015	1
1	100	1.260	100.115	1
1	100	1.375	100.000	1
1	100	1.365	100.010	1
1	100	1.120	100.255	1
1	100	0.865	100.510	1

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
2	99.090	2.415	98.960	1
2	99.090	2.350	99.025	1
2	99.090	2.485	98.890	1
2	99.090	2.285	99.090	1
2	99.090	2.305	99.070	1
2	99.090	2.225	99.150	1
2	99.090	2.165	99.210	1

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
3	98.835	2.760	98.615	2
3	98.835	2.650	98.725	2
3	98.835	2.670	98.705	2
3	98.835	2.540	98.835	2
3	98.835	2.590	98.785	2
3	98.835	2.430	98.945	2
3	98.835	2.320	99.055	2

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
4	98.660	2.130	99.5	2
4	98.660	2.550	99.080	2
4	98.660	2.145	99.485	2
4	98.660	2.970	98.660	2
4	98.660	3.000	98.630	2
4	98.660	3.050	98.580	2
4	98.660	3.130	98.5	2

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
5	98.580	2.550	99.080	2
5	98.580	2.800	98.830	2
5	98.580	2.405	99.225	2
5	98.580	3.050	98.580	2
5	98.580	3.060	98.570	2
5	98.580	3.135	98.495	2
5	98.580	3.220	98.410	2

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
6	99.085	2.465	99.165	2
6	99.085	2.505	99.125	2
6	99.085	2.540	99.090	2
6	99.085	2.545	99.085	2
6	99.085	2.410	99.220	2
6	99.085	2.550	99.080	2
6	99.085	2.555	99.075	2

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
7	99.905	1.425	100.205	3
7	99.905	1.575	100.055	3
7	99.905	1.500	100.130	3
7	99.905	1.725	99.905	3
7	99.905	1.720	99.910	3
7	99.905	1.865	99.765	3
7	99.905	2.005	99.625	3

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
8	98.060	2.710	98.100	3
8	98.060	2.730	98.080	3
8	98.060	2.710	98.100	3
8	98.060	2.750	98.060	3
8	98.060	2.740	98.070	3
8	98.060	2.770	98.040	3
8	98.060	2.790	98.020	3

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
9	99.800	0.950	99.860	4
9	99.800	0.980	99.830	4
9	99.800	0.980	99.830	4
9	99.800	1.010	99.800	4
9	99.800	0.970	99.840	4
9	99.800	0.980	99.830	4
9	99.800	0.950	99.860	4

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
10	97.620	1.370	97.700	4
10	97.620	1.410	97.660	4
10	97.620	1.465	97.605	4
10	97.620	1.450	97.620	4
10	97.620	1.425	97.645	4
10	97.620	1.350	97.720	4
10	97.620	1.250	97.820	4

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
11	97.420	1.840	97.230	4
11	97.420	1.745	97.325	4
11	97.420	1.965	97.105	4
11	97.420	1.650	97.420	4
11	97.420	1.620	97.450	4
11	97.420	1.615	97.455	4
11	97.420	1.580	97.490	4

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
12	97.404	1.795	97.275	4
12	97.404	1.727	97.343	4
12	97.404	1.877	97.193	4
12	97.404	1.660	97.410	4
12	97.404	1.633	97.438	4
12	97.404	1.611	97.459	4
12	97.404	1.563	97.508	4

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
13	97.385	1.675	97.395	4
13	97.385	1.680	97.390	4
13	97.385	1.645	97.425	4
13	97.385	1.685	97.385	4
13	97.385	1.665	97.405	4
13	97.385	1.600	97.470	4
13	97.385	1.515	97.555	4

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
14	97.910	1.160	97.910	5
14	97.910	1.160	97.910	5
14	97.910	1.100	97.970	5
14	97.910	1.160	97.910	5
14	97.910	1.090	97.980	5
14	97.910	1.050	98.020	5
14	97.910	0.940	98.130	5

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
15	97.258	0.966	97.579	5
15	97.258	1.154	97.391	5
15	97.258	1.094	97.451	5
15	97.258	1.341	97.204	5
15	97.258	1.156	97.389	5
15	97.258	1.147	97.398	5
15	97.258	0.953	97.592	5

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
16	97.095	1.480	97.065	5
16	97.095	1.465	97.080	5
16	97.095	1.405	97.140	5
16	97.095	1.450	97.095	5
16	97.095	1.510	97.035	5
16	97.095	1.520	97.025	5
16	97.095	1.590	96.955	5

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
17	96.175	2.150	96.395	5
17	96.175	2.260	96.285	5
17	96.175	2.100	96.445	5
17	96.175	2.370	96.175	5
17	96.175	2.310	96.235	5
17	96.175	2.375	96.170	5
17	96.175	2.380	96.165	5

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
18	95.945	2.520	96.025	6
18	95.945	2.560	95.985	6
18	95.945	2.630	95.915	6
18	95.945	2.600	95.945	6
18	95.945	2.550	95.995	6
18	95.945	2.600	95.945	6
18	95.945	2600	95.945	6

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
19	96.995	2.090	96.685	6
19	96.995	1.935	96.840	6
19	96.995	2.350	96.425	6
19	96.995	1.780	96.995	6
19	96.995	1.700	97.075	6
19	96.995	1.850	96.925	6
19	96.995	1.920	96.855	6

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
20	97.585	1.270	97.505	6
20	97.585	1.230	97.545	6
20	97.585	1.470	97.305	6
20	97.585	1.190	97.585	6
20	97.585	1.125	97.650	6
20	97.585	1.100	97.675	6
20	97.585	1.010	97.765	6

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
21	97.815	1.380	97.395	6
21	97.815	1.170	97.605	6
21	97.815	1.310	97.465	6
21	97.815	0.960	97.815	6
21	97.815	0.890	97.885	6
21	97.815	0.820	97.955	6
21	97.815	0.680	98.095	6

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
22	97.525	1.270	97.505	6
22	97.525	1.260	97.515	6
22	97.525	1.930	96.845	6
22	97.525	1.250	97.525	6
22	97.525	1.150	97.625	6
22	97.525	1.170	97.605	6
22	97.525	1.090	97.685	6

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
23	97.820	1.885	96.890	7
23	97.820	1.420	97.355	7
23	97.820	2.200	96.575	7
23	97.820	0.955	97.820	7
23	97.820	1.040	97.735	7
23	97.820	0.950	97.825	7
23	97.820	0.945	97.830	7

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
24	97.143	1.652	96.828	7
24	97.143	1.387	97.093	7
24	97.143	2.122	96.358	7
24	97.143	1.123	97.357	7
24	97.143	1.025	97.455	7
24	97.143	1.060	97.420	7
24	97.143	0.997	97.483	7



PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
25	97.190	2.010	96.470	7
25	97.190	1.650	96.830	7
25	97.190	2.340	96.140	7
25	97.190	1.290	97.190	7
25	97.190	1.305	97.175	7
25	97.190	1.465	97.015	7
25	97.190	1.640	96.840	7

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
26	96.240	3.250	95.230	7
26	96.240	2.745	95.735	7
26	96.240	3.080	95.400	7
26	96.240	2.240	96.240	7
26	96.240	2.000	96.480	7
26	96.240	2.000	96.480	7
26	96.240	1.760	96.720	7

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
27	96.505	5.065	92.415	8
27	96.505	3.020	94.460	8
27	96.505	1.950	95.530	8
27	96.505	0.975	96.505	8
27	96.505	1.840	95.640	8
27	96.505	1.790	95.690	8
27	96.505	2.605	94.875	8

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
28	96.270	3.170	95.310	9
28	96.270	2.690	95.790	9
28	96.270	2.565	95.915	9
28	96.270	2.210	96.270	9
28	96.270	2.225	96.255	9
28	96.270	2.230	96.250	9
28	96.270	2.250	96.230	9

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
29	97.240	2.410	96.070	10
29	97.240	1.825	96.655	10
29	97.240	1.470	97.010	10
29	97.240	1.240	97.240	10
29	97.240	1.205	97.275	10
29	97.240	1.240	97.240	10
29	97.240	1.240	97.240	10

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
30	96.640	1.690	96.790	11
30	96.640	1.765	96.715	11
30	96.640	1.740	96.740	11
30	96.640	1.840	96.640	11
30	96.640	1.795	96.685	11
30	96.640	1.815	96.665	11
30	96.640	1.790	96.690	11

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
31	96.700	1.920	96.560	11
31	96.700	1.850	96.630	11
31	96.700	1.720	96.760	11
31	96.700	1.780	96.700	11
31	96.700	1.650	96.830	11
31	96.700	1.760	96.720	11
31	96.700	1.740	96.740	11

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
32	96.760	2.230	96.250	11
32	96.760	1.975	96.505	11
32	96.760	1.940	96.540	11
32	96.760	1.720	96.760	11
32	96.760	1.740	96.740	11
32	96.760	1.850	96.630	11
32	96.760	1.980	96.500	11

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
33	96.660	2.130	96.350	11
33	96.660	1.975	96.505	11
33	96.660	1.940	96.540	11
33	96.660	1.820	96.660	11
33	96.660	1.775	96.705	11
33	96.660	1.870	96.610	11
33	96.660	1.920	96.560	11

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
34	96.640	1.693	96.787	11
34	96.640	1.767	96.713	11
34	96.640	1.742	96.738	11
34	96.640	1.840	96.640	11
34	96.640	1.576	96.904	11
34	96.640	1.640	96.840	11
34	96.640	1.439	97.041	11

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
35	95.160	2.419	96.061	12
35	95.160	2.869	95.611	12
35	95.160	2.864	95.616	12
35	95.160	3.320	95.160	12
35	95.160	2.695	95.785	12
35	95.160	2.700	95.780	12
35	95.160	2.080	96.400	12

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
36	95.200	1.250	97.230	13
36	95.200	1.270	97.210	13
36	95.200	1.270	95.710	13
36	95.200	3.280	95.200	13
36	95.200	1.100	97.380	13
36	95.200	1.090	97.390	13
36	95.200	1.070	97.410	13

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
37	95.250	1.300	97.140	13
37	95.250	1.865	96.575	13
37	95.250	1.520	96.920	13
37	96.750	3.190	95.250	13
37	95.250	1.180	97.260	13
37	95.250	0.850	97.590	13
37	95.250	0.970	97.470	13

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
38	94.370	0.730	96.710	14
38	94.370	1.650	95.790	14
38	94.370	1.630	95.810	14
38	94.370	3.070	94.370	14
38	94.370	1.650	95.790	14
38	94.370	1.630	95.810	14
38	94.370	0.690	96.750	14

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
39	95.230	1.670	97.460	14
39	95.230	1.880	97.250	14
39	95.230	1.830	97.300	14
39	95.230	3.900	95.230	14
39	95.230	1.880	97.250	14
39	95.230	1.830	97.300	14
39	95.230	1.600	97.530	14

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
40	95.730	1.150	97.170	15
40	95.730	1.570	96.750	15
40	95.730	1.565	96.755	15
40	95.730	2.590	95.730	15
40	95.730	1.570	96.750	15
40	95.730	1.565	96.755	15
40	95.730	1.040	97.280	15

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
41	95.030	1.050	96.770	15
41	95.030	1.670	96.150	15
41	95.030	1.605	96.215	15
41	95.030	2.790	95.030	15
41	95.030	1.670	96.150	15
41	95.030	1.605	96.215	15
41	95.030	0.920	96.900	15

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
42	94.610	0.870	96.950	15
42	94.610	1.640	96.180	15
42	94.610	2.650	95.170	15
42	94.610	3.210	94.610	15
42	94.610	1.770	96.050	15
42	94.610	1.650	96.170	15
42	94.610	0.990	96.830	15

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
43	94.910	1.990	95.830	16
43	94.910	2.200	95.620	16
43	94.910	1.580	96.240	16
43	94.910	2.910	94.910	16
43	94.910	2.200	95.620	16
43	94.910	1.580	96.240	16
43	94.910	0.750	97.070	16

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
44	94.630	1.360	96.160	16
44	94.630	1.825	95.695	16
44	94.630	1.740	95.780	16
44	94.630	2.890	94.630	16
44	94.630	1.825	95.695	16
44	94.630	1.740	95.780	16
44	94.630	1.190	96.330	16

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
45	94.520	2.000	95.520	16
45	94.520	2.250	95.270	16
45	94.520	1.900	95.620	16
45	94.520	3.000	94.520	16
45	94.520	2.250	95.270	16
45	94.520	1.900	95.620	16
45	94.520	1.300	96.220	16

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
46	94.445	1.725	95.795	17
46	94.445	2.100	95.420	17
46	94.445	2.075	95.445	17
46	94.445	3.075	94.445	17
46	94.445	2.100	95.420	17
46	94.445	2.075	95.445	17
46	94.445	1.675	95.845	17

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
47	94.429	1.623	95.972	17
47	94.429	2.645	94.950	17
47	94.429	2.683	94.912	17
47	94.429	3.166	94.429	17
47	94.429	2.645	94.950	17
47	94.429	2.683	94.912	17
47	94.429	1.899	95.696	17

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
48	94.325	1.450	96.145	17
48	94.325	2.110	95.485	17
48	94.325	2.220	95.375	17
48	94.325	3.270	94.325	17
48	94.325	2.110	95.485	17
48	94.325	2.220	95.375	17
48	94.325	1.670	95.925	17

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
49	95.655	1.690	95.905	18
49	95.655	1.565	96.030	18
49	95.655	1.550	96.045	18
49	95.655	1.940	95.655	18
49	95.655	1.370	96.225	18
49	95.655	1.980	95.615	18
49	95.655	1.520	96.075	18

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
50	94.315	1.950	94.615	18
50	94.315	1.650	94.615	18
50	94.315	2.050	94.215	18
50	94.315	1.950	94.315	18
50	94.315	1.650	94.615	18
50	94.315	2.050	94.215	18
50	94.315	2.350	94.115	18

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
51	93.575	0.910	95.355	19
51	93.575	1.550	94.715	19
51	93.575	1.590	94.675	19
51	93.575	2.690	93.575	19
51	93.575	1.550	94.715	19
51	93.575	1.590	94.675	19
51	93.575	1.090	95.175	19

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
52	94.025	0.900	96.105	19
52	94.025	1.690	95.315	19
52	94.025	1.580	95.425	19
52	94.025	2.980	94.025	19
52	94.025	1.690	95.315	19
52	94.025	1.580	95.425	19
52	94.025	0.780	96.225	19

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
53	95.08	1.160	95.845	20
53	95.08	1.390	95.615	20
53	95.08	1.440	95.565	20
53	95.08	1.920	95.085	20
53	95.08	1.390	95.615	20
53	95.08	1.440	95.565	20
53	95.08	1.260	95.745	20

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
54	92.775	2.107	93.838	20
54	92.775	2.639	93.306	20
54	92.775	2.666	93.279	20
54	92.775	3.170	92.775	20
54	92.775	2.639	93.306	20
54	92.775	2.666	93.279	20
54	92.775	2.162	93.782	20

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
55	95.085	2.799	93.146	20
55	95.085	1.829	94.116	20
55	95.085	1.867	94.078	20
55	95.085	0.860	95.085	20
55	95.085	1.829	94.116	20
55	95.085	1.867	94.078	20
55	95.085	2.874	93.071	20

PERFIL	COTA LONG.	PUNTO	COTA	ESTACION
56	92.505	2.820	93.125	21
56	92.505	3.410	92.535	21
56	92.505	3.435	92.510	21
56	92.505	3.440	92.505	21
56	92.505	3.410	92.535	21
56	92.505	3.435	92.510	21
56	92.505	2.870	93.075	21

## **ANEXO 2**

### **Estudio Hidráulico de los Canales Propuestos**

A2.1 Análisis Hidráulico de los Canales propuestos

A2.1.1 Alternativa 1: Canal Revestido de Pasto

Tabla A2.1 Canal de pasto - cota de las secciones ingresadas en HEC-RAS

N° de Sección en HEC- RAS	Tramo	Sección	KM	Largo del Tramo	Pendiente	X	Y
13	1-2	2	0.281	281	0.001	-2.25	98.15
						-0.25	97.65
						-0.25	97.50
						0	97.50
						0.25	97.50
						0.25	97.65
						2.25	98.15
12	2-3	3	0.375	94	0.006	-3.45	97.882
						-0.25	97.082
						-0.25	96.932
						0	96.932
						0.25	96.932
						0.25	97.082
						3.45	97.882
11	3-4	4	0.468	93	0.006	-3.45	97.324
						-0.25	96.524
						-0.25	96.374
						0	96.374
						0.25	96.374
						0.25	96.524
						3.45	97.324
10	4-5	5	0.598	130	0.006	4.90	96.844
						-0.5	95.744
						-0.25	95.744
						-0.25	95.594
						0	95.594
						0.25	95.594
						0.25	95.744
						0.5	95.744
						4.9	96.844
9	5-6	6	1.038	440	0.006	-4.9	94.204
						-0.5	93.104
						-0.25	93.104
						-0.25	92.954
						0	92.954
						0.25	92.954
						0.25	93.104
						0.5	93.104
						4.9	94.204
8	6-7	7	1.162	124	0.006	-4.9	93.46
						-0.5	92.36
						-0.25	92.36
						-0.25	92.21
						0	92.21
						0.25	92.21
						0.25	92.36
						0.5	92.36
						4.9	93.46



Tabla A2.1 Canal de pasto - cota de las secciones ingresadas en HEC-RAS

7	7-8	8	1.267	105	0.004	-4.9	93.04
						-0.5	91.94
						-0.25	91.94
						-0.25	91.79
						0	91.79
						0.25	91.79
						0.25	91.94
						0.5	91.94
						4.9	93.04
6	8-9	9	1.355	88	0.004	-5.3	92.94
						-0.5	91.74
						-0.25	91.74
						-0.25	91.44
						0	91.44
						0.25	91.44
						0.25	91.74
						0.5	91.74
						5.3	92.94
5	9-10	10	1.667	312	0.004	-5.3	91.69
						-0.5	90.49
						-0.25	90.49
						-0.25	90.19
						0	90.19
						0.25	90.19
						0.25	90.49
						0.5	90.49
						5.3	91.69
4	10-11	11	1.85	183	0.004	-5.3	90.96
						-0.5	89.76
						-0.25	89.76
						-0.25	89.46
						0	89.46
						0.25	89.46
						0.25	89.76
						0.5	89.76
						5.3	90.96
3	11-12	12	1.893	43	0.004	-6.1	90.99
						-0.5	89.59
						-0.25	89.59
						-0.25	89.29
						0	89.29
						0.25	89.29
						0.25	89.59
						0.5	89.59
						6.1	90.99
2	12-13	13	2.008	115	0.002	-6.1	90.76
						-0.5	89.36
						-0.25	89.36
						-0.25	89.06
						0	89.06
						0.25	89.06
						0.25	89.36
						0.5	89.36
						6.1	90.76
1	13-14	14	2.148	140	0.002	-6.1	90.48
						-0.5	89.08
						-0.25	89.08
						-0.25	88.78
						0	88.78
						0.25	88.78
						0.25	89.08
						0.5	89.08
						6.1	90.48

Tabla A2.2 Canal de pasto - Cota de las caídas ingresadas en Hec-ras.

Cubeta	Distancia (m)	X (m)	Y
1	1.3	-2.25	99.15
		-0.25	98.35
		-0.25	98.2
		0	98.2
		0.25	98.2
		0.25	98.35
		2.25	99.15
	8	-2.25	99.14
		-0.25	98.34
		-0.25	98.19
		0	98.19
		0.25	98.19
		0.25	98.34
		2.25	99.14
2			
	70	-2.25	98.69
		-0.25	97.89
		-0.25	97.74
		0	97.74
		0.25	97.74
		0.25	97.89
		2.25	98.69
	76.7	-2.25	98.68
		-0.25	97.88
		-0.25	97.73
		0	97.73
		0.25	97.73
		0.25	97.88
		2.25	98.68
3			
	140	-2.25	98.22
		-0.25	97.42
		-0.25	97.27
		0	97.27
		0.25	97.27
		0.25	97.42
		2.25	98.22
	146.7	-2.25	98.22
		-0.25	97.42
		-0.25	97.27
		0	97.27
		0.25	97.27
		0.25	97.42
		2.25	98.22
4			
	210	-2.25	97.76
		-0.25	96.96
		-0.25	96.81
		0	96.81
		0.25	96.81
		0.25	96.96
		2.25	97.76
	216.7	-2.25	97.75
		-0.25	96.95
		-0.25	96.8
		0	96.8
		0.25	96.8
		0.25	96.95
		2.25	97.75

N° Sección del canal	Sección en Hec-ras	Perfil	Q Total (m3/s)	Cota del Fondo (m)	Cota del Agua (m)	Cota Crítica	Cota de la Línea de Energía(m)	Pendiente de la Línea de Energía(m/m)	Área de Escurrimiento(m <sup>2</sup> )	Ancho Sección Mojada (m)
1		100 años	0.58	99.35	99.87	99.75	99.9	0.00111	0.8	3.44
Inicio Caída 1	13.9	100 años	0.58	99.35	99.75	99.75	99.88	0.007801	0.38	1.56
	13.82	100 años	0.58	98.2	99.53	98.63	99.54	0.000009	3.8	4.5
	13.81	100 años	0.58	98.19	99.53		99.54	0.000008	3.85	4.5
	13.8	100 años	0.58	98.95	99.51	99.35	99.53	0.000641	0.97	3.81
Inicio Caída 2	13.7	100 años	0.58	98.89	99.29	99.29	99.42	0.0078	0.38	1.56
	13.62	100 años	0.58	97.74	99.07	98.17	99.07	0.000009	3.78	4.5
	13.61	100 años	0.58	97.73	99.07		99.07	0.000009	3.83	4.5
	13.6	100 años	0.58	98.49	99.05	98.89	99.07	0.000684	0.95	3.77
Inicio Caida3	13.5	100 años	0.58	98.42	98.82	98.82	98.95	0.007804	0.38	1.56
	13.42	100 años	0.58	97.27	98.6	97.7	98.61	0.000009	3.81	4.5
	13.41	100 años	0.58	97.27	98.6		98.61	0.000009	3.81	4.5
	13.4	100 años	0.58	98.02	98.58	98.42	98.6	0.000639	0.97	3.81
Inicio Caida4	13.3	100 años	0.58	97.96	98.36	98.36	98.49	0.007804	0.38	1.56
	13.22	100 años	0.58	96.81	98.18	97.24	98.18	0.000008	3.95	4.5
	13.21	100 años	0.58	96.8	98.18		98.18	0.000008	3.99	4.5
	13.2	100 años	0.58	97.56	98.16		98.18	0.000423	1.12	4.11
2	13	100 años	0.92	97.5	98.08		98.12	0.00142	1.01	3.91
3	12	100 años	3.33	96.93	97.7	97.7	97.87	0.003151	1.89	5.41
4	11	100 años	3.34	96.37	97.02	97.14	97.38	0.009093	1.3	4.46
5	10	100 años	4.4	95.59	96.36	96.38	96.58	0.004411	2.18	5.89
6	9	100 años	7.17	92.95	93.8	93.91	94.19	0.006186	2.73	6.59
7	8	100 años	7.16	92.21	93.07	93.17	93.44	0.00587	2.77	6.65
8	7	100 años	7.47	91.79	92.88	92.77	93.03	0.001543	4.55	8.53
9	6	100 años	8.01	91.44	92.59	92.59	92.83	0.003003	3.87	7.78
10	5	100 años	8.86	90.19	91.3	91.37	91.65	0.004688	3.55	7.44
11	4	100 años	8.99	89.46	90.63	90.65	90.91	0.003349	4.03	7.94
12	3	100 años	9	89.29	90.56	90.48	90.75	0.001918	4.9	8.77
13	2	100 años	9.12	89.06	90.33		90.53	0.002	4.87	8.75
14	1	100 años	9.12	88.78	90.05	89.98	90.25	0.002001	4.87	8.75

Tabla A2.3 Canal de pasto - cálculos hidráulicos en HEC-RAS.

N° Sección del canal	Sección en Hec-ras	Distancia (m)	Velocidad (m/s)		
			En zona de inundación	Canal de flujos base	Media de escurrimiento
1	14	2148	0.81	0.52	0.59
Inicio Caída 1	13.9	2146.88	1.87	1.17	1.27
	13.82	2146.75	0.17	0.09	0.14
	13.81	2140.05	0.16	0.09	0.14
	13.8	2139.93	0.67	0.42	0.52
Inicio Caída 2	13.7	2077.13	1.87	1.17	1.27
	13.62	2077	0.17	0.09	0.14
	13.61	2070.3	0.16	0.09	0.14
	13.6	2070.18	0.68	0.43	0.54
Inicio Caida3	13.5	2007.13	1.87	1.17	1.27
	13.42	2007	0.16	0.09	0.14
	13.41	2000.3	0.16	0.09	0.14
	13.4	2000.18	0.67	0.42	0.52
Inicio Caida4	13.3	1937.13	1.87	1.17	1.27
	13.22	1937	0.16	0.08	0.13
	13.21	1930.3	0.16	0.08	0.13
	13.2	1930.18	0.57	0.36	0.38
2	13	1867	1.01	0.64	0.61
3	12	1773	1.92	1.14	1.29
4	11	1680	2.83	1.73	1.86
5	10	1550	2.27	1.45	1.81
6	9	1110	2.94	1.85	2.12
7	8	986	2.88	1.82	2.18
8	7	881	1.79	1.11	1.35
9	6	793	2.33	1.33	1.59
10	5	481	2.82	1.62	1.98
11	4	298	2.5	1.43	1.74
12	3	255	2.04	1.15	1.37
13	2	140	2.08	1.17	1.40
14	1	0	2.08	1.17	1.40

Tabla A2.4 Canal de pasto - velocidad calculada en HEC-RAS.

N° Sección de canal	Sección en Hec-ras	Distancia (m)	N° Froude canal central	N° de Froude sección
1	14	2148	0.23	0.48
Inicio Caída 1	13.9	2146.88	0.59	0.97
	13.82	2146.75	0.02	0.05
	13.81	2140.05	0.02	0.05
	13.8	2139.93	0.18	0.38
Inicio Caída 2	13.7	2077.13	0.59	0.97
	13.62	2077	0.02	0.05
	13.61	2070.3	0.02	0.05
	13.6	2070.18	0.18	0.39
Inicio Caida3	13.5	2007.13	0.59	0.97
	13.42	2007	0.02	0.05
	13.41	2000.3	0.02	0.05
	13.4	2000.18	0.18	0.38
Inicio Caida4	13.3	1937.13	0.59	0.97
	13.22	1937	0.02	0.05
	13.21	1930.3	0.02	0.05
	13.2	1930.18	0.15	0.32
2	13	1867	0.27	0.57
3	12	1773	0.42	0.95
4	11	1680	0.69	1.51
5	10	1550	0.56	1.06
6	9	1110	0.67	1.31
7	8	986	0.66	1.28
8	7	881	0.35	0.72
9	6	793	0.43	0.94
10	5	481	0.53	1.15
11	4	298	0.45	1
12	3	255	0.35	0.78
13	2	140	0.35	0.8
14	1	0	0.35	0.8

Tabla A2.5 Canal de pasto - Número de Froude Calculado en HEC-RAS.

Nº Sección en Canal	River	Reach	Sección en Hec -Ras	Distancia (m)	Altura Hidráulica	
					Altura crítica	Altura máxima
1	estero leña seca	tramo1	14	2148	0.45	0.57
Inicio Caída 1	estero leña seca	tramo1	13.9	2146.88	0.44	0.44
	estero leña seca	tramo1	13.82	2146.75	0.44	1.39
	estero leña seca	tramo1	13.81	2140.05	0.44	1.4
	estero leña seca	tramo1	13.8	2139.93	0.45	0.6
Inicio Caída 2	estero leña seca	tramo1	13.7	2077.13	0.44	0.44
	estero leña seca	tramo1	13.62	2077	0.44	1.38
	estero leña seca	tramo1	13.61	2070.3	0.44	1.39
	estero leña seca	tramo1	13.6	2070.18	0.45	0.59
Inicio Caída3	estero leña seca	tramo1	13.5	2007.13	0.44	0.44
	estero leña seca	tramo1	13.42	2007	0.44	1.39
	estero leña seca	tramo1	13.41	2000.3	0.44	1.39
	estero leña seca	tramo1	13.4	2000.18	0.45	0.6
Inicio Caída4	estero leña seca	tramo1	13.3	1937.13	0.44	0.44
	estero leña seca	tramo1	13.22	1937	0.44	1.46
	estero leña seca	tramo1	13.21	1930.3	0.44	1.47
	estero leña seca	tramo1	13.2	1930.18	0.45	0.7
2	estero leña seca	tramo1	13	1867	0.55	0.69
3	estero leña seca	tramo1	12	1773	0.88	0.88
4	estero leña seca	tramo1	11	1680	0.88	0.75
5	estero leña seca	tramo1	10	1550	0.92	0.8
6	estero leña seca	tramo1	9	1110	1.13	0.94
7	estero leña seca	tramo1	8	986	1.13	0.93
8	estero leña seca	tramo1	7	881	1.14	1.2
9	estero leña seca	tramo1	6	793	1.29	1.29
10	estero leña seca	tramo1	5	481	1.34	1.22
11	estero leña seca	tramo1	4	298	1.34	1.3
12	estero leña seca	tramo1	3	255	1.34	1.45
13	estero leña seca	tramo1	2	140	1.35	1.44
14	estero leña seca	tramo1	1	0	1.35	1.44

Tabla A2.6 Canal de pasto-altura del agua Calculada en HEC-RAS.

A2.1.2 Alternativa2: Canal Revestido de Hormigón

Tabla A2.7 Canal de Hormigón - Cotas de las secciones ingresadas en Hec-Ras.

N° de Sección en HEC- RAS	Tramo	Sección	KM	Largo Del Tramo	Pendiente	X	Y
14	1-2	1	0	281	0.016	-1.80	100
						-0.3	99.62
						-0.2	99.32
						0	99.32
						0.2	99.32
						0.3	99.62
						1.8	100
13	2-3	2	281	281	0.016	-1.80	95.50
						-0.3	95.12
						-0.2	94.82
						0	94.82
						0.2	94.82
						0.3	95.12
						1.8	95.50
12	3-4	3	0.375	94	0.006	-2.13	95.34
						-0.63	94.96
						-0.4	94.26
						0	94.26
						0.4	94.26
						0.63	94.96
						2.13	95.34
11	4-5	4	0.468	93	0.006	-2.27	94.882
						-0.77	94.502
						-0.5	93.702
						0	93.702
						0.5	93.702
						0.77	94.502
						2.27	94.882
10	5-6	5	0.598	130	0.006	-2.27	94.102
						-0.77	93.722
						-0.5	92.922
						0	92.922
						0.5	92.922
						0.77	93.722
						2.27	94.102
9	6-7	6	1.038	440	0.006	-2.53	91.662
						-1.03	91.282
						-0.7	90.282
						0	90.282
						0.7	90.282
						1.03	91.282
						2.53	91.662
8	7-8	7	1.162	124	0.006	-2.53	90.918
						-1.03	90.538
						-0.7	89.538
						0	89.538
						0.7	89.538
						1.03	90.538
						2.53	90.918

Tabla A2.7 Canal de Hormigón - Cotas de las secciones ingresadas en Hec-Ras.

7	8-9	8	1.267	105	0.004	-2.53	90.498
						-1.03	90.118
						-0.7	89.118
						0	89.118
						0.7	89.118
						1.03	90.118
						2.53	90.498
6	9-10	9	1.355	88	0.004	-2.53	90.146
						-1.03	89.766
						-0.7	88.766
						0	88.766
						0.7	88.766
						1.03	89.766
						2.53	90.146
5	10-11	10	1.667	312	0.004	-2.53	88.898
						-1.03	88.518
						-0.7	87.518
						0	87.518
						0.7	87.518
						1.03	88.518
						2.53	88.898
4	11-12	11	1.85	183	0.004	-2.53	88.166
						-1.03	87.786
						-0.7	86.786
						0	86.786
						0.7	86.786
						1.03	87.786
						2.53	88.166
3	12-13	12	1.893	43	0.004	-2.7	88.094
						-1.2	87.714
						-0.8	86.514
						0	86.514
						0.8	86.514
						1.2	87.714
						2.7	88.094
2	13-14	13	2008	115	0.002	-2.7	87.864
						-1.2	87.484
						-0.8	86.284
						0	86.284
						0.8	86.284
						1.2	87.484
						2.7	87.864
1	13-14	14	2148	140	0.002	-2.7	87.584
						-1.2	87.204
						-0.8	86.004
						0	86.004
						0.8	86.004
						1.2	87.204
						2.7	87.584

N° de Sección en el canal	Reach	Sección en Hec-Ras	Perfil	Q Total (m3/s)	Cota del Fondo (m)	Cota del Agua (m)	Cota Crítica (m)	Cota de la Línea de Energía (m)	Pendiente de la Línea de Energía (m/m)	Área de flujo (m2)	Ancho Sección Mojada (m)
1	tramo 1	14	10 años	0.17	99.32	99.49	99.56	99.72	0.016017	0.08	0.51
1	tramo 1	14	50 años	0.44	99.32	99.63	99.78	100.02	0.016030	0.16	0.69
1	tramo 1	14	100 años	0.58	99.32	99.68	99.85	100.16	0.016015	0.2	1.06
2	tramo 1	13	10 años	0.22	94.82	95.45	95.11	95.46	0.000159	0.78	3.22
2	tramo 1	13	50 años	0.67	94.82	95.68	95.38	95.69	0.000287	1.58	3.6
2	tramo 1	13	100 años	0.92	94.82	95.75	95.46	95.78	0.000358	1.85	3.6
3	tramo 1	12	10 años	1.70	94.26	94.96	94.96	95.24	0.004440	0.72	1.26
3	tramo 1	12	50 años	2.80	94.26	95.25	95.25	95.54	0.002742	1.4	3.51
3	tramo 1	12	100 años	3.33	94.26	95.37	95.37	95.63	0.002211	1.89	4.26
4	tramo 1	11	10 años	1.70	93.70	94.18	94.32	94.66	0.008822	0.55	1.32
4	tramo 1	11	50 años	2.80	93.70	94.32	94.54	95.04	0.010828	0.74	1.42
4	tramo 1	11	100 años	3.33	93.70	94.38	94.66	95.19	0.011035	0.84	1.46
5	tramo 1	10	10 años	1.71	92.92	93.52	93.54	93.81	0.004498	0.71	1.4
5	tramo 1	10	50 años	2.81	92.92	93.75	93.76	94.11	0.004166	1.47	3.09
5	tramo 1	10	100 años	3.34	92.92	93.82	93.88	94.23	0.004217	1.2	2.3
6	tramo 1	9	10 años	2.15	90.28	90.74	90.87	91.20	0.007501	0.72	1.7
6	tramo 1	9	50 años	3.65	90.28	90.93	91.11	91.55	0.007654	0.87	1.76
6	tramo 1	9	100 años	4.40	90.28	91.01	91.21	91.70	0.007441	1.2	1.88
7	tramo 1	8	10 años	3.89	89.54	90.39	90.40	90.77	0.003574	1.44	1.97
7	tramo 1	8	50 años	6.19	89.54	90.70	90.70	91.15	0.003020	2.18	3.36
7	tramo 1	8	100 años	7.27	89.54	90.85	90.85	91.29	0.002576	2.74	4.49

Tabla A2.8 Canal de Hormigón -Cálculos hidráulicos en HEC-RAS.



8	tramo 1	7	10 años	3.89	89.12	89.93	89.98	90.35	0.004298	1.35	1.93
8	tramo 1	7	50 años	6.18	89.12	90.16	90.28	90.75	0.004618	1.84	2.43
8	tramo 1	7	100 años	7.26	89.12	90.25	90.42	90.91	0.004678	2.07	3.1
9	tramo 1	6	10 años	3.94	88.77	89.62	89.63	90	0.003685	1.44	1.96
9	tramo 1	6	50 años	6.39	88.77	89.94	89.96	90.41	0.003085	2.22	3.45
9	tramo 1	6	100 años	7.56	88.77	90.1	90.12	90.56	0.002578	2.84	4.67
10	tramo 1	5	10 años	3.94	87.52	88.33	88.38	88.76	0.004287	1.36	1.94
10	tramo 1	5	50 años	6.39	87.52	88.56	88.71	89.19	0.004948	1.83	2.42
10	tramo 1	5	100 años	7.56	87.52	88.62	88.87	89.39	0.005538	1.99	2.9
11	tramo 1	4	10 años	4.31	86.79	87.7	87.7	88.09	0.00359	1.55	2
11	tramo 1	4	50 años	6.98	86.79	88.04	88.06	88.51	0.002802	2.52	4.09
11	tramo 1	4	100 años	8.24	86.79	88.18	88.22	88.65	0.002526	3.14	5.06
12	tramo 1	3	10 años	4.9	86.51	87.6	87.43	87.87	0.001979	2.14	2.33
12	tramo 1	3	50 años	7.86	86.51	87.57	87.74	88.31	0.005593	2.06	2.3
12	tramo 1	3	100 años	9.19	86.51	87.7	87.89	88.47	0.005268	2.37	2.39
13	tramo 1	2	10 años	4.91	86.28	87.38	87.21	87.64	0.001963	2.15	2.33
13	tramo 1	2	50 años	7.95	86.28	87.7	87.52	88.07	0.001972	3.09	4.09
13	tramo 1	2	100 años	9.31	86.28	87.81	87.67	88.22	0.001954	3.61	4.99
14	tramo 1	1	10 años	4.94	86	87.09	86.93	87.37	0.002001	2.14	2.33
14	tramo 1	1	50 años	7.97	86	87.41	87.24	87.79	0.002001	3.08	4.06
14	tramo 1	1	100 años	9.34	86	87.53	87.4	87.94	0.002	3.58	4.94

Tabla A2.8 Canal de Hormigón -Cálculos hidráulicos en HEC-RAS.

N° de Sección en el canal	River	Sección en Hec-Ras	Distancia (m)	Velocidad (m/s) – 10 años			Velocidad (m/s) – 50 años			Velocidad (m/s) – 100 años		
				Zona de inundación	Canal central	Media	Zona de inundación	Canal central	Media	Zona de inundación	Canal central	Media
1	estero leña seca	14	2148		2.13	2.13	0.14	2.78	2.77	0.39	3.09	2.91
2	estero leña seca	13	1867	0.12	0.47	0.28	0.26	0.79	0.42	0.32	0.93	0.50
3	estero leña seca	12	1773		2.38	2.38	0.47	2.45	2.00	0.55	2.41	1.76
4	estero leña seca	11	1680		3.06	3.06		3.77	3.77		3.97	3.97
5	estero leña seca	10	1550		2.39	2.39	0.39	2.71	2.47	0.28	2.86	2.78
6	estero leña seca	9	1110		3	3.00		4.2	4.20		3.65	3.65
7	estero leña seca	8	986		2.7	2.70	0.34	2.97	2.84	0.48	3	2.66
8	estero leña seca	7	881		2.89	2.89	0.18	3.38	3.37	0.36	3.62	3.51
9	estero leña seca	6	793		2.74	2.74	0.36	3.03	2.88	0.5	3.04	2.66
10	estero leña seca	5	481		2.9	2.90	0.19	3.5	3.49	0.34	3.87	3.79
11	estero leña seca	4	298		2.78	2.78	0.44	3.04	2.77	0.56	3.12	2.62
12	estero leña seca	3	255		2.29	2.29		3.81	3.81		3.87	3.87
13	estero leña seca	2	140		2.29	2.29	0.33	2.71	2.57	0.43	2.86	2.58
14	estero leña seca	1	0		2.31	2.31	0.33	2.72	2.59	0.43	2.89	2.61

Tabla A2.9 Canal de Hormigón - Velocidades calculadas en HEC-RAS.

			N° de froude 10 años		N° de froude 50 años		N° de froude 100 años	
N° de Sección en el canal	Sección en Hec-Ras	Distancia (m)	Canal central	Sección completa	Canal central	Sección completa	Canal central	Sección completa
1	14	2148	1.75	1.75	1.73	1.85	1.78	2.15
2	13	1867	0.2	0.18	0.28	0.2	0.32	0.22
3	12	1773	1.01	1.01	0.85	1.01	0.78	0.85
4	11	1680	1.51	1.51	1.66	1.66	1.67	1.67
5	10	1550	1.07	1.07	0.94	1.14	1.05	1.23
6	9	1110	1.48	1.48	1.91	1.91	1.46	1.46
7	8	986	1.01	1.01	0.95	1.13	0.89	1.09
8	7	881	1.11	1.11	1.15	1.24	1.17	1.37
9	6	793	1.02	1.02	0.96	1.15	0.9	1.09
10	5	481	1.1	1.1	1.19	1.28	1.27	1.46
11	4	298	1.01	1.01	0.93	1.13	0.9	1.06
12	3	255	0.76	0.76	1.29	1.29	1.24	1.24
13	2	140	0.76	0.76	0.78	0.94	0.79	0.97
14	1	0	0.77	0.77	0.79	0.95	0.8	0.98

Tabla A2.10 Canal de Hormigón - Número de Froude calculado en HEC-RAS.

			Altura del Flujo (m) 10 años		Altura del Flujo (m) 50 años		Altura del Flujo (m) 100 años	
N° de Sección en el canal	Sección en Hec-Ras	Distancia (m)	Crítica	Altura máxima	Crítica	Altura máxima	Crítica	Altura máxima
1	14	2148	0.24	0.17	0.46	0.31	0.53	0.36
2	13	1867	0.29	0.63	0.56	0.86	0.64	0.93
3	12	1773	0.7	0.7	0.99	0.99	1.11	1.11
4	11	1680	0.62	0.48	0.84	0.62	0.96	0.68
5	10	1550	0.62	0.59	1.02	1	0.96	0.9
6	9	1110	0.59	0.46	0.82	0.55	0.92	0.73
7	8	986	0.86	0.86	1.16	1.16	1.31	1.31
8	7	881	0.86	0.81	1.16	1.05	1.31	1.13
9	6	793	0.86	0.85	1.19	1.18	1.36	1.33
10	5	481	0.86	0.81	1.19	1.05	1.36	1.11
11	4	298	0.91	0.91	1.27	1.26	1.44	1.39
12	3	255	0.92	1.09	1.23	1.06	1.38	1.19
13	2	140	0.92	1.09	1.24	1.41	1.39	1.53
14	1	0	0.92	1.09	1.24	1.41	1.39	1.52

Tabla A2.11 Canal de Hormigón - Altura del agua calculada en HEC-RAS.

A2.1.3 Alternativa 3: Canal Revestido de Mampostería

Tabla A2.12 Canal de Mampostería - Cota de las secciones ingresadas en Hec-Ras.

N° de Sección en HEC- RAS	Tramo	Sección en el canal	km	Largo del Tramo	Pendiente	X	Y
14	1-2	1	0	281	0.016	-2.38	100
						-0.38	99.50
						-0.25	99.10
						0	99.10
						0.25	99.10
						0.38	99.50
						2.38	100
13	2-3	2	281	281	0.016	-2.38	95.50
						-0.38	95.00
						-0.25	94.60
						0	94.60
						0.25	94.60
						0.38	95.00
						2.38	95.50
12	3-4	3	0.375	94	0.006	-2.67	95.34
						-0.67	94.84
						-0.4	94.04
						0	94.04
						0.4	94.04
						0.67	94.84
						2.67	95.34
11	4-5	4	0.468	93	0.006	-2.90	94.882
						-0.9	94.382
						-0.6	93.482
						0	93.482
						0.6	93.482
						0.9	94.382
						2.90	94.882
10	5-6	5	0.598	130	0.006	-2.90	94.102
						-0.9	93.602
						-0.6	92.702
						0	92.702
						0.6	92.702
						0.9	93.602
						2.90	94.102
9	6-7	6	1.038	440	0.006	-3.2	91.762
						-1.2	91.162
						-0.8	90.062
						0	90.062
						0.8	90.062
						1.2	91.162
						3.2	91.762
8	7-8	7	1.162	124	0.006	-3.2	91.018
						-1.2	90.418
						-0.8	89.318
						0	89.318
						0.8	89.318
						1.2	90.418
						3.2	91.018

Tabla A2.12 Canal de Mampostería - Cota de las secciones ingresadas en Hec-Ras

7	8-9	8	1.267	105	0.004	-3.2	90.598
						-1.2	89.998
						-0.8	88.898
						0	88.898
						0.8	88.898
						1.2	89.998
						3.2	90.598
6	9-10	9	1.355	88	0.004	-3.33	90.346
						-1.33	89.846
						-0.9	88.546
						0	88.546
						0.9	88.546
						1.33	89.846
						3.33	90.346
5	10-11	10	1.667	312	0.004	-3.33	89.098
						-1.33	88.598
						-0.9	87.298
						0	87.298
						0.9	87.298
						1.33	88.598
						3.33	89.098
4	11-12	11	1.85	183	0.004	-3.33	88.366
						-1.33	87.866
						-0.9	86.566
						0	86.566
						0.9	86.566
						1.33	87.866
						3.33	88.366
3	12-13	12	1.893	43	0.004	-3.5	88.394
						-1.5	87.894
						-1	86.394
						0	86.394
						1	86.394
						1.5	87.894
						3.5	88.394
2	13-14	13	2008	115	0.002	-3.5	88.164
						-1.5	87.664
						-1	86.164
						0	86.164
						1	86.164
						1.5	87.664
						3.5	88.164
1	13-14	14	2148	140	0.002	-3.5	87.884
						-1.5	87.384
						-1	85.884
						0	85.884
						1	85.884
						1.5	87.384
						3.5	87.884

Nº de Sección en el canal	Reach	Sección en Hec-Ras	Perfil	Q Total (m3/s)	Cota del Fondo (m)	Cota del Agua (m)	Cota Crítica. (m)	Cota de la Línea de Energía (m)	Pendiente de la Línea de Energía (m/m)	Área de flujo (m2)	Ancho Sección Mojada (m)
1	tramo 1	14	10 años	0.17	99.1	99.25	99.31	99.47	0.016017	0.08	0.59
1	tramo 1	14	50 años	0.44	99.1	99.37	99.49	99.75	0.016021	0.16	0.68
1	tramo 1	14	100 años	0.58	99.1	99.42	99.57	99.86	0.016011	0.2	0.71
2	tramo 1	13	10 años	0.22	94.6	95.23	94.85	95.24	0.000167	0.64	2.59
2	tramo 1	13	50 años	0.67	94.6	95.49	95.13	95.51	0.000269	1.57	4.65
2	tramo 1	13	100 años	0.92	94.6	95.57	95.24	95.6	0.000294	1.99	4.76
3	tramo 1	12	10 años	1.7	94.04	94.73	94.73	95.02	0.0044	0.72	1.27
3	tramo 1	12	50 años	2.8	94.04	95.01	95.01	95.34	0.003327	1.2	2.7
3	tramo 1	12	100 años	3.33	94.04	95.13	95.13	95.45	0.002757	1.58	3.67
4	tramo 1	11	10 años	1.71	93.48	93.88	94.04	94.4	0.010222	0.54	1.47
4	tramo 1	11	50 años	2.81	93.48	94.01	94.24	94.76	0.011666	0.73	1.55
4	tramo 1	11	100 años	3.34	93.48	94.07	94.33	94.92	0.01218	0.81	1.59
5	tramo 1	10	10 años	2.15	92.7	93.34	93.35	93.63	0.003894	0.9	1.62
5	tramo 1	10	50 años	3.65	92.7	93.59	93.59	93.97	0.003839	1.34	1.79
5	tramo 1	10	100 años	4.4	92.7	93.7	93.72	94.12	0.003559	1.57	2.6
6	tramo 1	9	10 años	3.86	90.06	90.7	90.85	91.26	0.006483	1.16	2.06
6	tramo 1	9	50 años	6.18	90.06	90.92	91.12	91.64	0.006409	1.64	2.22
6	tramo 1	9	100 años	7.27	90.06	91	91.23	91.81	0.006684	1.82	2.28
7	tramo 1	8	10 años	3.85	89.32	89.98	90.1	90.49	0.005695	1.21	2.08
7	tramo 1	8	50 años	6.16	89.32	90.2	90.37	90.87	0.005776	1.7	2.24
7	tramo 1	8	100 años	7.27	89.32	90.31	90.48	91.02	0.005637	1.94	2.32

Tabla A2.13 Canal de Mampostería - Cálculos hidráulicos en HEC-RAS.

8	tramo 1	7	10 años	3.9	88.9	89.69	89.69	90.04	0.003288	1.49	2.18
8	tramo 1	7	50 años	6.37	88.9	89.97	89.97	90.42	0.003347	2.13	2.38
8	tramo 1	7	100 años	7.56	88.9	90.1	90.1	90.59	0.00308	2.47	3.06
9	tramo 1	6	10 años	4.22	88.55	89.25	89.33	89.69	0.004399	1.44	2.27
9	tramo 1	6	50 años	6.93	88.55	89.54	89.62	90.09	0.004104	2.11	2.46
9	tramo 1	6	100 años	8.24	88.55	89.65	89.73	90.26	0.0042	2.38	2.53
10	tramo 1	5	10 años	4.77	87.3	88.14	88.14	88.52	0.003229	1.75	2.36
10	tramo 1	5	50 años	7.75	87.3	88.44	88.44	88.93	0.003294	2.49	2.56
10	tramo 1	5	100 años	9.21	87.3	88.54	88.57	89.11	0.003599	2.74	2.62
11	tramo 1	4	10 años	4.78	86.57	87.32	87.41	87.81	0.004611	1.54	2.3
11	tramo 1	4	50 años	7.83	86.57	87.62	87.72	88.23	0.004398	2.25	2.49
11	tramo 1	4	100 años	9.31	86.57	87.76	87.84	88.4	0.004137	2.62	2.59
12	tramo 1	3	10 años	4.8	86.39	87.07	87.19	87.59	0.005247	1.49	2.45
12	tramo 1	3	50 años	7.85	86.39	87.31	87.48	88.01	0.005336	2.11	2.61
12	tramo 1	3	100 años	9.33	86.39	87.83	87.6	88.18	0.001844	3.56	2.96
13	tramo 1	2	10 años	4.85	86.16	87.09	86.97	87.35	0.001999	2.13	2.61
13	tramo 1	2	50 años	7.96	86.16	87.43	87.26	87.77	0.001996	3.07	2.84
13	tramo 1	2	100 años	9.51	86.16	87.58		87.96	0.001995	3.5	2.94
14	tramo 1	1	10 años	4.85	85.88	86.81	86.69	87.07	0.002002	2.13	2.61
14	tramo 1	1	50 años	7.96	85.88	87.15	86.98	87.49	0.002001	3.06	2.84
14	tramo 1	1	100 años	9.51	85.88	87.3	87.11	87.68	0.002003	3.5	2.94

Tabla A2.13 Canal de Mampostería - Cálculos hidráulicos en HEC-RAS.

N° de Sección en el canal	River	Sección en Hec-Ras	Distancia (m)	Velocidad (m/s) – 10 años			Velocidad (m/s)– 50 años(m/s)			Velocidad (m/s) – 100 años(m/s)		
				Zona de inundación	Canal central	Media	Zona de inundación	Canal central	Media	Zona de inundación	Canal central	Media
1	estero leña seca	14	2148		2.08	2.08	0.14	2.78	2.74		2.74	2.94
2	estero leña seca	13	1867	0.1	0.46	0.34	0.26	0.79	0.43	0.21	0.76	0.46
3	estero leña seca	12	1773		2.37	2.37	0.47	2.45	2.34	0.36	2.55	2.10
4	estero leña seca	11	1680		3.18	3.17		3.77	3.83		3.84	4.08
5	estero leña seca	10	1550		2.4	2.39	0.39	2.71	2.73		2.73	2.80
6	estero leña seca	9	1110		3.33	3.33		4.2	3.77		3.77	3.99
7	estero leña seca	8	986		3.17	3.17	0.34	2.97	3.62		3.62	3.75
8	estero leña seca	7	881		2.61	2.61	0.18	3.38	2.99		2.99	3.06
9	estero leña seca	6	793		2.94	2.94	0.36	3.03	3.28		3.28	3.46
10	estero leña seca	5	481		2.72	2.72	0.19	3.5	3.11		3.11	3.36
11	estero leña seca	4	298		3.09	3.09	0.44	3.04	3.47		3.47	3.55
12	estero leña seca	3	255		3.21	3.21		3.81	3.71		3.71	2.62
13	estero leña seca	2	140		2.28	2.28	0.33	2.71	2.60		2.6	2.71
14	estero leña seca	1	0		2.28	2.28	0.33	2.72	2.60		2.6	2.72

Tabla A2.14 Canal de Mampostería - Velocidades calculadas en HEC-RAS.



			N° de froude 10 años		N° de froude 50 años		N° de froude 100 años	
N° de Sección en el canal	Sección en Hec-Ras	Distancia (m)	Canal central	Sección completa	Canal central	Sección completa	Canal central	Sección completa
1	14	2148	1.81	1.81	1.8	1.8	1.79	1.79
2	13	1867	0.2	0.22	0.27	0.23	0.28	0.23
3	12	1773	1.01	1.01	0.9	1.12	0.84	1.02
4	11	1680	1.68	1.68	1.79	1.79	1.83	1.83
5	10	1550	1.03	1.03	1.01	1.01	0.99	1.15
6	9	1110	1.41	1.41	1.4	1.4	1.43	1.43
7	8	986	1.33	1.33	1.33	1.33	1.31	1.31
8	7	881	1	1	1.01	1.01	0.98	1.09
9	6	793	1.18	1.18	1.13	1.13	1.14	1.14
10	5	481	1.01	1.01	1.01	1.01	1.05	1.05
11	4	298	1.2	1.2	1.17	1.17	1.13	1.13
12	3	255	1.31	1.31	1.32	1.32	0.76	0.76
13	2	140	0.81	0.81	0.8	0.8	0.79	0.79
14	1	0	0.81	0.81	0.8	0.8	0.8	0.8

Tabla A2.15 Canal de Mampostería - Número de Froude calculado en HEC-RAS.

			Altura del agua (m) 10 años		Altura del agua (m) 50 años		Altura del agua (m) 100 años	
N° de Sección en el canal	Sección en Hec-Ras	Distancia (m)	Crítica	Altura Máxima	Crítica	Altura Máxima	Crítica	Altura Máxima
1	14	2148	0.21	0.15	0.39	0.27	0.47	0.32
2	13	1867	0.25	0.63	0.53	0.89	0.64	0.97
3	12	1773	0.69	0.69	0.97	0.97	1.09	1.09
4	11	1680	0.56	0.40	0.76	0.53	0.85	0.59
5	10	1550	0.64	0.64	0.89	0.89	1.02	1.00
6	9	1110	0.79	0.63	1.05	0.86	1.16	0.94
7	8	986	0.79	0.66	1.05	0.88	1.16	0.99
8	7	881	0.79	0.79	1.07	1.07	1.20	1.20
9	6	793	0.78	0.71	1.07	0.99	1.19	1.10
10	5	481	0.84	0.84	1.14	1.14	1.27	1.24
11	4	298	0.85	0.75	1.15	1.05	1.28	1.19
12	3	255	0.80	0.67	1.09	0.92	1.21	1.43
13	2	140	0.80	0.92	1.10	1.27		1.42
14	1	0	0.80	0.92	1.10	1.26	1.23	1.42

Tabla A2.16 Canal de Mampostería - Altura del agua calculada en HEC-RAS.

## **ANEXO 3**

### **Diseño y Estudio Hidráulico de la alternativa definitiva**

A3.1 Curvaturas Calculadas para el Eje del Canal

Datos	curva1	curva2	curva3	curva4	curva5	curva6	curva7	curva8	curva9	curva10	curva 11	curva12	curva 13	curva 14	
R(m)=	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
a (°)=	218.00	212.00	124.00	206.00	163.00	208.00	147.00	185.00	199.00	198.00	217.00	152.00	63.00	214.00	
a (grad)=	242.22	235.56	137.78	228.89	181.11	231.11	163.33	205.56	221.11	220.00	241.11	168.89	181.11	237.78	
Parámetros	curva1	curva2	curva3	curva4	curva5	curva6	curva7	curva8	curva9	curva10	curva11	curva 12	curva13	curva 15	
w(g)	42.22	35.56	62.22	28.89	18.89	31.11	36.67	5.56	21.11	20.00	41.11	31.11	18.89	37.78	
T (m)	3.44	2.87	10.63	4.62	2.99	4.99	5.92	0.87	3.35	3.17	6.69	4.99	2.99	6.11	
S (m)	0.58	0.40	2.65	0.53	0.22	0.61	0.86	0.02	0.28	0.25	1.09	0.61	0.22	0.91	
D (m)	6.63	5.59	19.55	9.08	5.93	9.77	11.52	1.75	6.63	6.28	12.92	9.77	5.93	11.87	

Tabla A3.1 Diseño definitivo - curvaturas del trazado.

### A3.2 Análisis hidráulico

Para el análisis hidráulico se ingresaron como dato geométrico las cotas de cada una de las secciones en los puntos más representativos de estas. Recordando que la sección 14 corresponde a la sección en el punto de inicio del canal mostrado en el plano del trazado del anexo 5

N° de Sección en el canal	Sección en Hec-Ras	x	y
1	14	-2.25	100
		-0.25	99.6
		-0.25	99.4
		0	99.4
		0.25	99.4
		0.25	99.6
		2.25	100
2	13	-3.75	98.614
		-0.25	97.914
		-0.25	97.714
		0	97.714
		0.25	97.714
		0.25	97.914
		3.75	98.614
3	12	-3.75	98.238
		-0.25	97.538
		-0.25	97.338
		0	97.338
		0.25	97.338
		0.25	97.538
		3.75	98.238
4	11	-3.75	97.866
		-0.25	97.166
		-0.25	96.966
		0	96.966
		0.25	96.966
		0.25	97.166
		3.75	97.866
5	10	-5.25	97.646
		-0.25	96.646
		-0.25	96.446
		0	96.446
		0.25	96.446
		0.25	96.646
		5.25	97.646
6	9	-5.25	96.086
		-0.25	95.086
		-0.25	94.686
		0	94.686
		0.25	94.686
		0.25	95.086
		5.25	96.086
7	8	-5.75	95.814
		-0.25	94.714
		-0.25	94.314
		0	94.314
		0.25	94.314
		0.25	94.714
		5.75	95.814

Tabla A3.2 Diseño definitivo - Cotas ingresadas a Hec – Ras.

8	7	-5.75	95.499
		-0.25	94.399
		-0.25	93.999
		0	93.999
		0.25	93.999
		0.25	94.399
		5.75	95.499
9	6	-5.75	95.235
		-0.25	94.135
		-0.25	93.735
		0	93.735
		0.25	93.735
		0.25	94.135
		5.75	95.235
10	5	-5.75	94.299
		-0.25	93.199
		-0.25	92.799
		0	92.799
		0.25	92.799
		0.25	93.199
		5.75	94.299
11	4	-5.75	93.75
		-0.25	92.65
		-0.25	92.25
		0	92.25
		0.25	92.25
		0.25	92.65
		5.75	93.75
12	3	-5.75	93.621
		-0.25	92.521
		-0.25	92.121
		0	92.121
		0.25	92.121
		0.25	92.521
		5.75	93.621
13	2	-5.75	93.276
		-0.25	92.176
		-0.25	91.776
		0	91.776
		0.25	91.776
		0.25	92.176
		5.75	93.276
14	1	-5.75	92.856
		-0.25	91.756
		-0.25	91.356
		0	91.356
		0.25	91.356
		0.25	91.756
		5.75	92.856

Tabla A3.2 Diseño definitivo - Cotas ingresadas a Hec – Ras.

N° de Sección en el canal	Sección en Hec-RAS	Periodo de retorno	Q Total (m³/s)	Cota del flujo (m)	Cota del estado critico (m)	Nivel de energía critica (m)	Nivel de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Perímetro mojado (m)	Área de flujo (m²)	Altura critica (m)	Altura de flujo (m)
1	14	100 años	0.58	99.81	99.87	99.98	100.01	0.006009	3.03	0.42	0.47	0.41
2	13	100 años	0.92	98.54	98.28	98.39	98.55	0.000369	7.23	2.34	0.56	0.82
3	12	100 años	3.33	98.21	98.21	98.38	98.38	0.0034	7.78	2.72	0.88	0.88
4	11	100 años	3.34	97.85	97.84	98.01	98.01	0.003135	7.92	2.81	0.88	0.89
5	10	100 años	4.4	97.42	97.4	97.59	97.59	0.003284	8.77	3.46	0.96	0.97
6	9	100 años	7.17	96.06	95.97	96.19	96.21	0.003046	11.19	5.39	1.28	1.37
7	8	100 años	7.16	95.7	95.6	95.82	95.84	0.002829	11.35	5.55	1.28	1.39
8	7	100 años	7.47	95.42	95.3	95.52	95.55	0.002595	11.73	5.94	1.3	1.42
9	6	100 años	8.01	95.18	95.06	95.29	95.32	0.002761	11.91	6.13	1.33	1.44
10	5	100 años	8.86	94.27	94.16	94.4	94.42	0.002959	12.21	6.46	1.36	1.47
11	4	100 años	8.99	93.73	93.62	93.86	93.88	0.002958	12.28	6.54	1.37	1.48
12	3	100 años	9	93.6	93.49	93.73	93.75	0.002921	12.32	6.58	1.37	1.48
13	2	100 años	9.12	93.26	93.15	93.39	93.41	0.003	12.32	6.58	1.37	1.48
14	1	100 años	9.12	92.84	92.72	92.97	92.99	0.003	12.32	6.58	1.37	1.48

Tabla A3.3
 Diseño definitivo - Resumen de parámetros calculados en Hec- Ras

N° de Sección en el canal	Periodo de retorno	Sección en Hec-Ras	Distancia (m)	N° de Froude de la sección	N° de Froude en el canal de flujos base	Velocidad canal central (m/s)	Velocidad en zona de inundación (revestimiento de pasto) (m/s)	Velocidad media de la sección (m/s)
1	100 años	14	2148	1.08	1.11	2.22	0.56	1.37
2	100 años	13	1867	0.21	0.31	0.88	0.29	0.39
3	100 años	12	1773	0.64	0.95	2.77	0.93	1.23
4	100 años	11	1680	0.61	0.91	2.69	0.9	1.19
5	100 años	10	1550	0.62	0.95	2.92	1	1.27
6	100 años	9	1110	0.58	0.76	2.77	1.12	1.33
7	100 años	8	986	0.56	0.73	2.69	1.09	1.29
8	100 años	7	881	0.54	0.70	2.62	1.07	1.26
9	100 años	6	793	0.56	0.73	2.73	1.12	1.31
10	100 años	5	481	0.58	0.75	2.86	1.18	1.37
11	100 años	4	298	0.58	0.75	2.87	1.18	1.37
12	100 años	3	255	0.57	0.75	2.86	1.18	1.37
13	100 años	2	140	0.58	0.76	2.89	1.2	1.39
14	100 años	1	0	0.58	0.76	2.89	1.2	1.39

Tabla A3.4
 Diseño definitivo - Velocidades y n° de Froude calculados en Hec-Ras

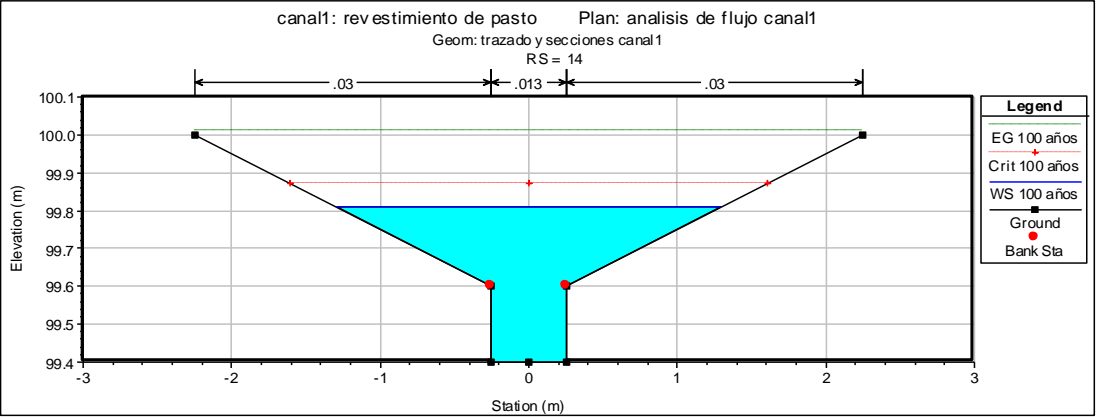


Figura A3.1 Diseño definitivo – Sección 1 en km-0

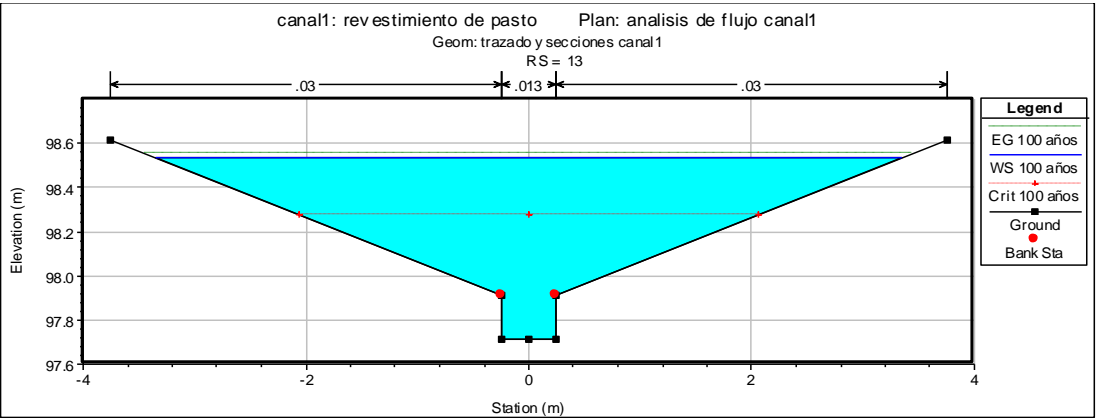


Figura A3.2 Diseño definitivo – Sección 2 en km-0.281

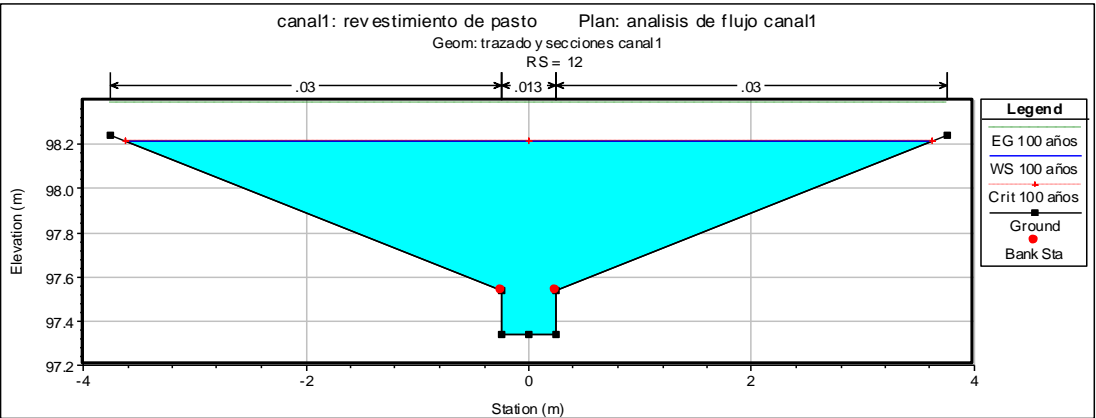


Figura A3.3 Diseño definitivo – Sección 3 en km-0.375

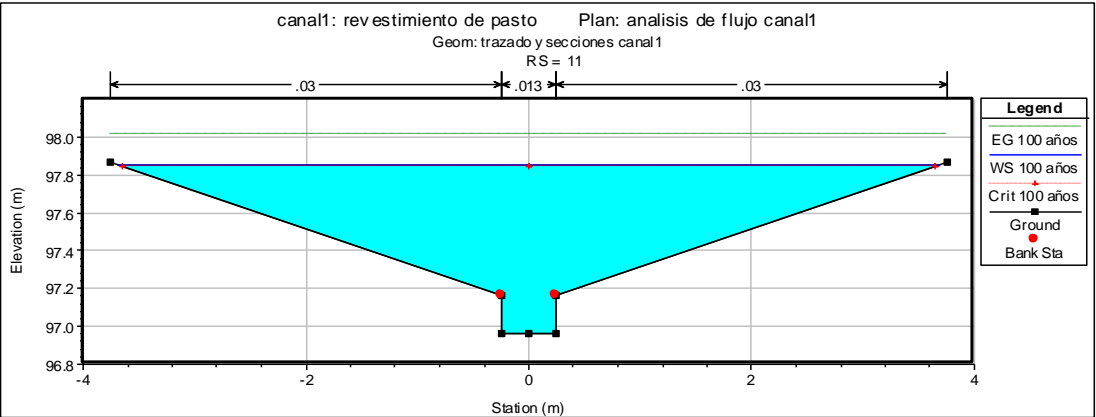


Figura A3.4 Diseño definitivo – Sección 4 en km-0.468

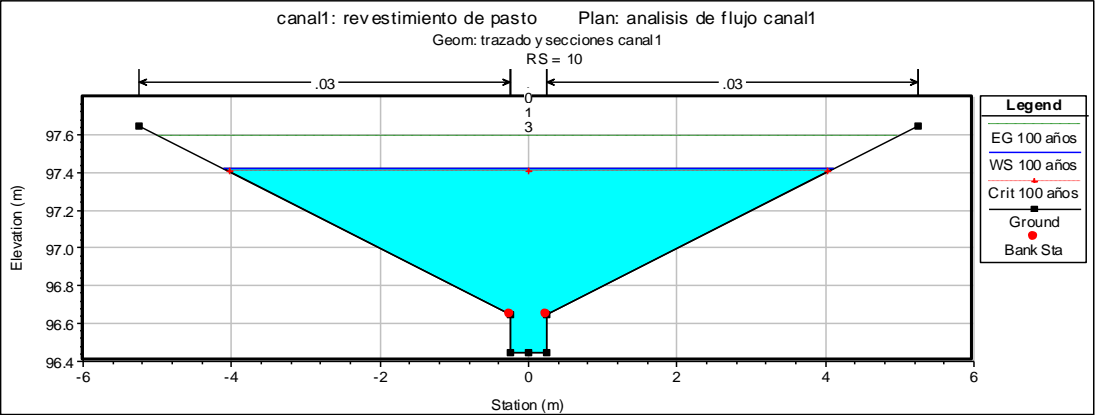


Figura A3.5 Diseño definitivo- Sección 5 en km-0.5981

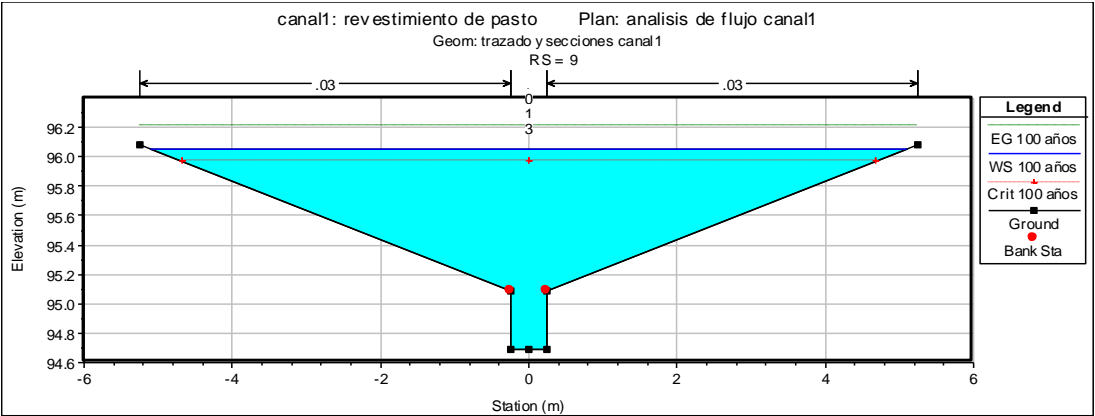


Figura A3.6 Diseño definitivo – Sección 6 en km-1.038

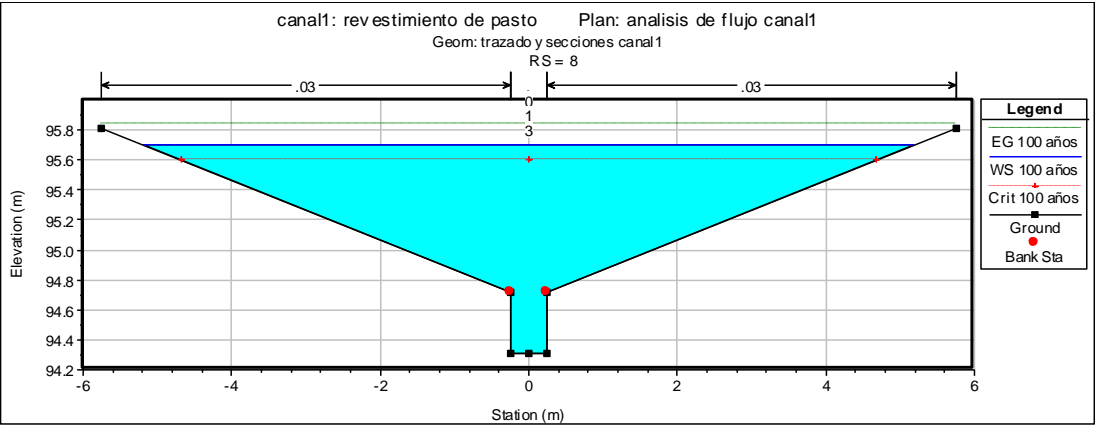


Figura A3.7 Diseño definitivo – Sección 7 en km-1.162

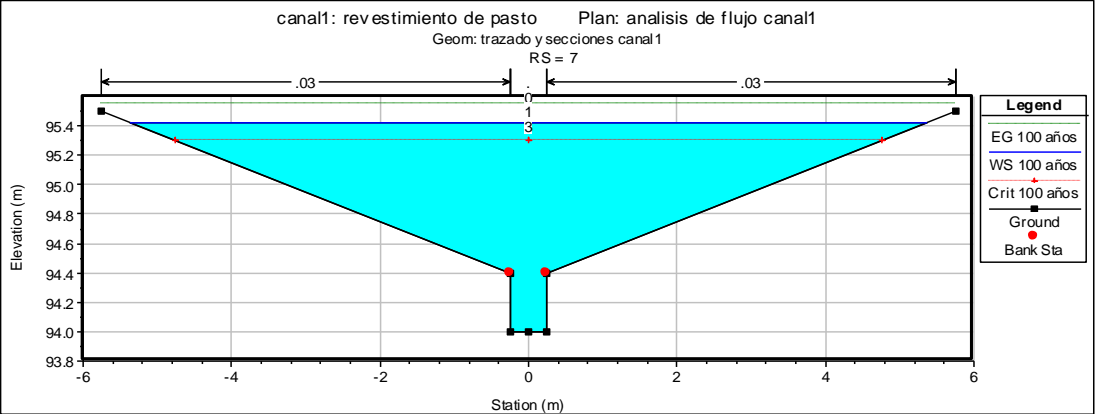


Figura A3.8 Diseño definitivo – Sección 8 en km-1.267



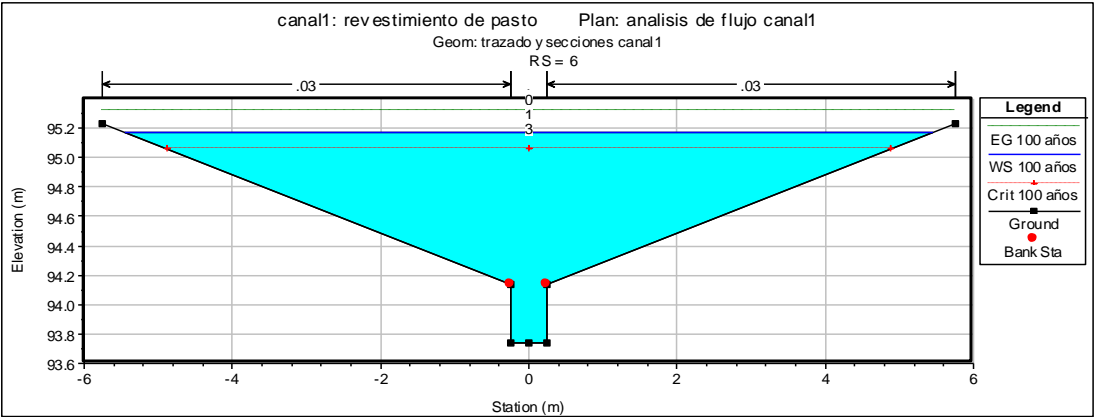


Figura A3.9    Diseño definitivo - Sección 9 en km-1.355

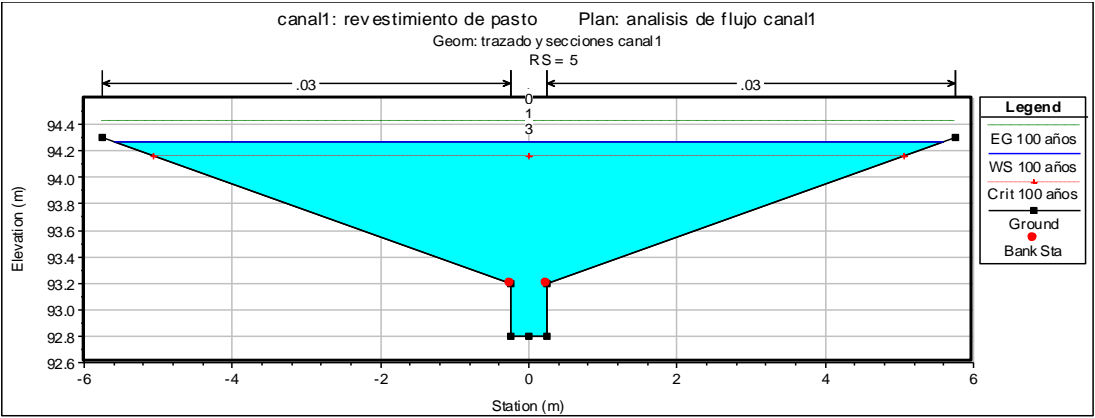


Figura A3.10    Diseño definitivo - Sección 10 en km-1.667

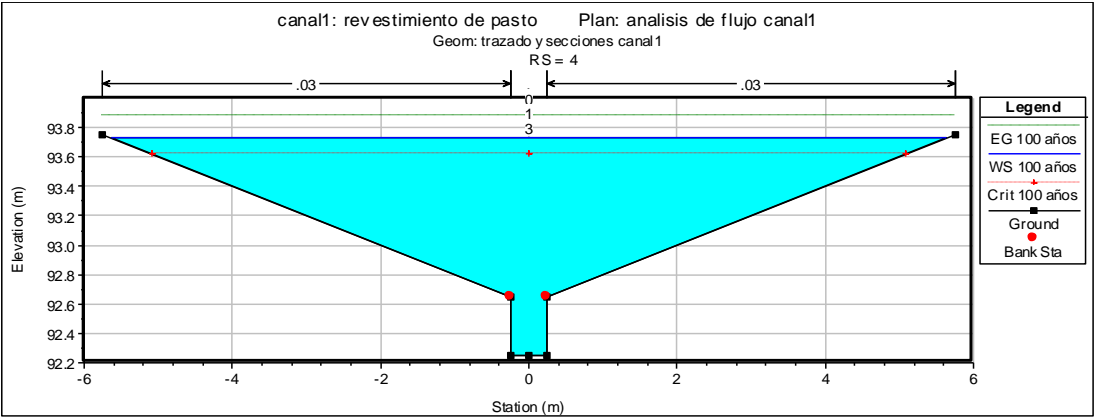


Figura A3.11    Diseño definitivo - Sección 11 en km-1.850

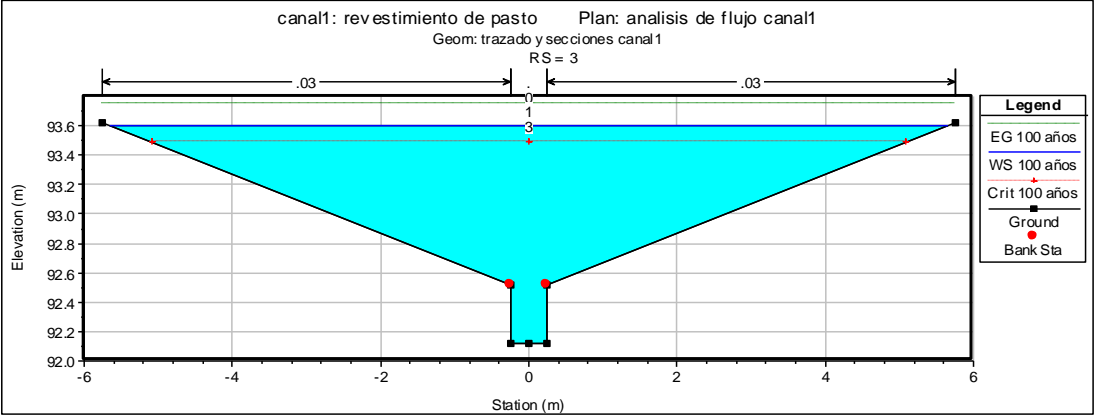


Figura A3.12    Diseño definitivo – Sección 12 en km-1.893

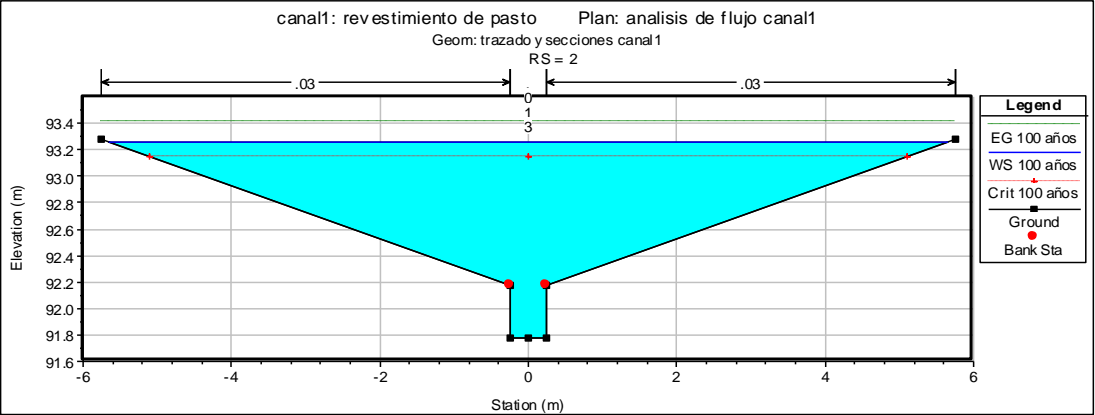


Figura A3.13 Diseño definitivo - Sección 13 en km-2.008

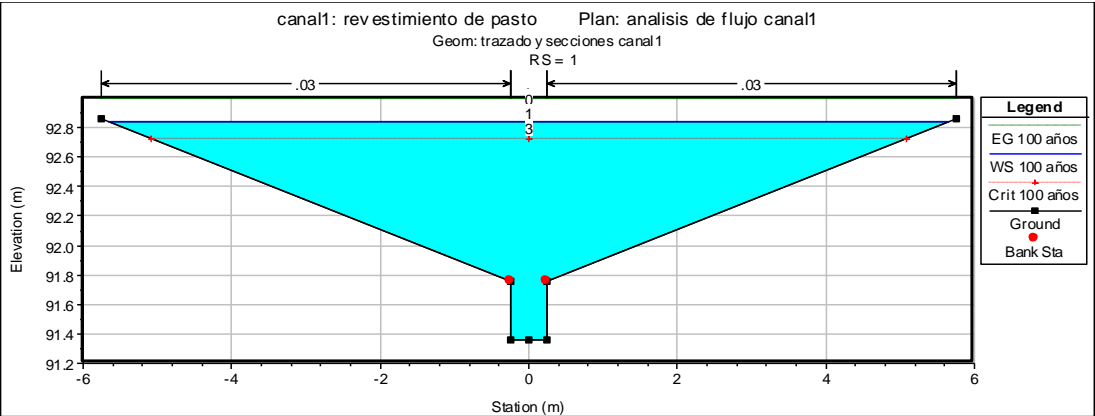


Figura A3.14 Diseño definitivo - Sección14 en km 2.148

## **ANEXO 4**

### **Nociones Básicas de Hidráulica**

## A4.1 Hidráulica De Canales Abiertos

El flujo de agua en un conducto puede ser flujo en canal abierto o flujo en tubería. Estas dos clases de flujos son similares en muchos aspectos pero se diferencian en que el flujo en canal abierto debe tener una superficie libre, en tanto que el flujo en tubería no la tiene. (*Ven Te Chow, 1994*)

Las condiciones de flujo en canales abiertos se complican por el hecho de que la composición de la superficie libre puede cambiar con el tiempo y con el espacio, y también por el hecho de que la profundidad de flujo, el caudal, las pendientes del fondo del canal y la superficie libre son interdependientes.

El flujo en canales puede clasificarse en muchos tipos y describirse de varias maneras. La siguiente clasificación se hace de acuerdo con el cambio en la profundidad de flujo con respecto al tiempo y al espacio: (*Ven Te Chow, 1994*)

- **Flujo Permanente**, Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad del flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración.
- **Flujo no Permanente**, si la profundidad cambia con el tiempo.
- **Flujo Uniforme**, este considera el espacio como criterio, Se dice que el flujo en canales abiertos es uniforme si la profundidad del flujo es la misma en cada sección del canal
- **Flujo Variado**: ocurre si la profundidad de flujo cambia a lo largo del canal, puede clasificarse además como rápidamente variado o gradualmente variado. El flujo es rápidamente variado si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias comparativamente cortas; de otro modo, es gradualmente variado. Un flujo rápidamente variado también se conoce como fenómeno local.

Los flujos uniforme y variado pueden ser permanentes o no permanentes, El flujo uniforme permanente es el tipo de flujo fundamental que se considera en la hidráulica de canales abiertos. En general el flujo en canales se puede clasificar de la siguiente manera: (*Ven Te Chow, 1994*)

**A) Flujo Permanente**

1. Flujo Uniforme
2. Flujo Variado:
  - a) Flujo Gradualmente Variado
  - b) Flujo Rápidamente Variado

**B) Flujo no Permanente**

2. Flujo Uniforme no Permanente "raro"
3. Flujo no Permanente (es decir, flujo variado no permanente)
  - a) Flujo Gradualmente Variado no Permanente
  - b) Flujo Rápidamente Variado no Permanente

**A4.1.1 Propiedades Geométricas de los Canales Abiertos**

Un canal construido con una sección transversal invariable y una pendiente de fondo constante se conoce como canal prismático. De otra manera, el canal es no prismático. (*Ven te Chow, 1994*)

A menudo los canales se diseñan con secciones de figuras geométricas regulares, el trapecio es la forma mas común para canales con banquetas en tierra sin recubrimiento, debido a que proveen las pendientes necesarias para la estabilidad del suelo, el rectángulo y el triángulo son casos especiales del trapecio. Debido a que el rectángulo tiene lados verticales, por lo general se utiliza para canales construidos con materiales estables, como mampostería, roca, metal o madera. La sección triangular solo se utiliza para pequeñas asqueas, cunetas o a lo largo de carreteras y trabajos de laboratorio. (*Ven te Chow, 1994*).

Los elementos geométricos usados en el diseño de canales son propiedades de una sección de canal que pueden ser definidos por completo por la geometría de la sección y la profundidad del flujo. Estos elementos que se utilizan con amplitud en el cálculo de flujo son:

- **Profundidad de flujo (y):** Es la distancia vertical desde el punto mas bajo de una sección del canal hasta la superficie libre.
- **Nivel:** Es la elevación o distancia vertical medida desde un nivel de referencia hasta la superficie libre.
- **Ancho Superficial (L):** Es el ancho de la sección del canal de la superficie libre.

- **Área Mojada (A):** Es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección de este.
- **Perímetro Mojado (P):** Es la longitud de la línea de intersección de la superficie de canal mojada y de un plano transversal perpendicular a la dirección del flujo.
- **Radio Hidráulico (R):** Es la relación del área mojada con respecto a su perímetro mojado.

$$R = \frac{A}{P} \quad \text{Ec (A4.1)}$$

- **Profundidad Hidráulica (D):** Es la relación entre el área mojada y el ancho en la superficie

$$D = \frac{A}{T} \quad \text{Ec (A4.2)}$$

- **Factor de Sección (z):** Se usa para el cálculo de flujo crítico, es el producto del área mojada y la raíz cuadrada de la profundidad hidráulica.

$$z = A \cdot \sqrt{D} \quad \text{Ec (A4.3)}$$

#### A4.1.2 Energía de flujo

En hidráulica se sabe que la energía total del agua en metros –kilogramos Por kilogramos de cualquier línea de corriente que pasa a través de una sección de canal puede expresarse como la altura total en metros de agua que es igual a la suma de la elevación por encima del nivel de referencia, la altura de presión y la altura de velocidad, como se muestra en la figura A4.1. En general se puede considerar que la energía total de una sección de canal con respecto a un plano de referencia esta dada por la ecuación A4.4 (*Ven Te Chow, 1994*).

$$H = Z + Y + \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ec (A4.4)}$$

Donde:

H: energía total

Z: cota del terreno de la sección trasversal

V: Velocidad promedio de la sección transversal

g: Aceleración de gravedad.

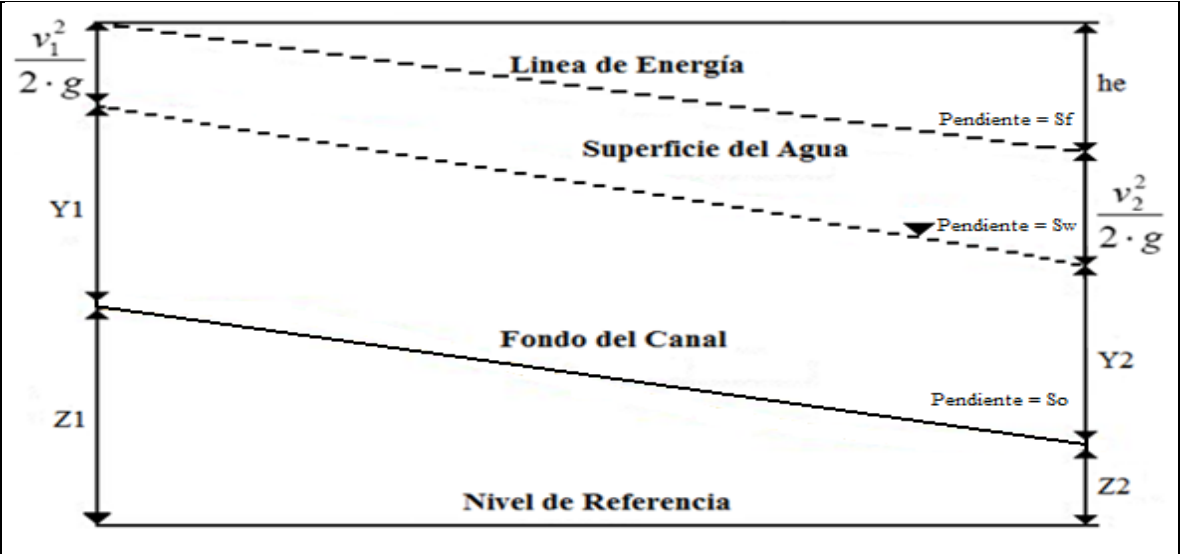


Figura A4.1 Energía de un flujo en canales abiertos.

En general, cada línea de corriente que pasa a través de una sección de canal tendrá una altura de velocidad diferente, debido a la distribución no uniforme de velocidades en flujos reales. Solo en un flujo paralelo ideal con distribución uniforme de velocidades la altura de velocidad puede ser idéntica para todos los puntos de la sección transversal. Sin embargo para propósitos prácticos, puede suponerse que las alturas de velocidad para todos los puntos de la sección del canal son iguales.

Para un canal prismático, la línea que representa la elevación de la altura total del flujo es la línea de energía (ver figura A4.1). La pendiente de esa línea se conoce como gradiente de energía, representada por  $S_f$ , la pendiente de la superficie del agua se representa por  $S_w$  y la pendiente de fondo del canal por  $S_0$ . En un flujo uniforme,  $S_f = S_w = S_0$ . (Ven te Chow, 1994).

Un principio central en cualquier tratamiento de la hidráulica de flujo en canales abiertos es la ley de conservación de energía (Ec A4.5). De acuerdo a esto la altura de energía de la sección1 localizada aguas arriba debe ser igual a la altura de energía total en la sección 2 localizada aguas abajo más la pérdida de energía  $h_f$  entre las secciones.

$$Z_1 + Y_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = Z_1 + Y_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + h_f \tag{Ec (A4.5)}$$

#### A4.1.2.1 Energía específica

En una sección de canal se define la energía específica como la energía medida con respecto al fondo del canal con la expresión siguiente:

$$E = Y + \frac{V^2}{2g} \tag{Ec(A4.6)}$$

Considerando  $V = Q/A$  y reemplazando esta expresión en la formula para energía específica se obtiene:

$$E=Y+\frac{Q^2}{2g\cdot A^2}$$

Ec (A4.7)

Puede apreciarse que, para una sección de canal y un caudal  $Q$  determinados, la energía específica en una sección de canal solo es función de la profundidad de flujo. Cuando la profundidad de flujo se grafica contra la energía específica para una sección, se obtiene la curva de energía específica (figura A4.2). La curva muestra que para una energía determinada, existen dos posibles profundidades, la profundidad baja  $y_1$  y la profundidad alta  $y_2$  las cuales son alternas entre si . En el unto C, la energía específica es mínima correspondiendo al estado crítico del flujo y la profundidad  $y_c$ , en ese punto se conoce como profundidad crítica. Cuando la profundidad de flujo es mayor que la profundidad crítica, la velocidad de flujo es menor que la velocidad crítica para un caudal determinado y, por consiguiente el flujo es sub-crítico. Cuando la profundidad del flujo es menor que la profundidad crítica, la velocidad de este es mayor que la velocidad crítica y ese flujo se denomina super-crítico (*Ven te Chow, 1994*).

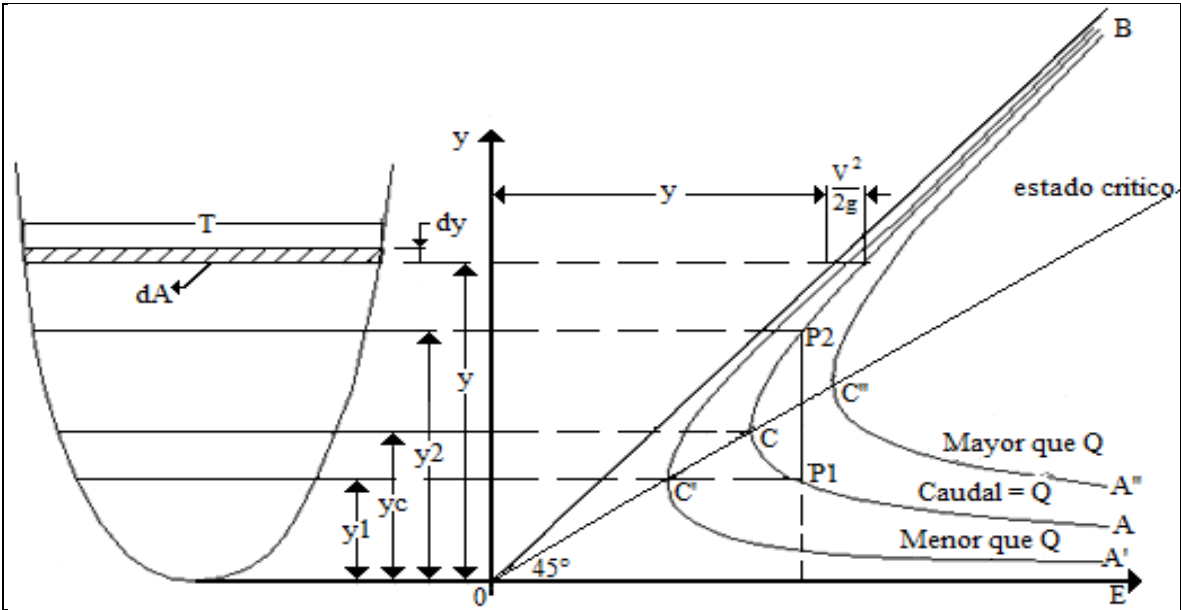


Figura A4.2 Curva de energía específica.  
(*Ven te Chow, 1994*)

### A4.1.3 Flujo Crítico

El estado crítico del flujo a través de una sección de canal se caracteriza por varias condiciones importantes, estas son (*Ven Te Chow, 1994*):

- La energía específica es mínima para un caudal determinado
- El caudal es máximo para una determinada energía específica



- La altura de velocidad es igual a la mitad de la profundidad hidráulica en un canal de baja pendiente
- El número de froude es igual a la unidad y se calcula con la siguiente formula:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot \frac{A}{L}}} \quad \text{Ec (A4.8)}$$

Donde:

V: Es la velocidad media en la sección, en m/s

A: Es la sección transversal de escurrimiento, en m<sup>2</sup>

L: Es el ancho superficial de escurrimiento, en m

g : Aceleración de gravedad que se considera igual a 9,8 m/s<sup>2</sup>

De la condición de energía específica mínima se obtiene la siguiente expresión para el criterio de flujo crítico.

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{D}{2} \quad \text{Ec (A4.9)}$$

Este es el criterio para el flujo crítico, el cual establece que en el estado crítico del flujo la altura de velocidad es igual a la mitad de la profundidad hidráulica. Otra forma de expresar el criterio de flujo crítico es mediante la relación del número de froude igual a la unidad (Ec A4.10):

$$\frac{V}{\sqrt{g \cdot D}} = 1 \quad \text{Ec (A4.10)}$$

Si se utiliza la ecuación A4.10 como criterio para el diseño, deben satisfacerse las siguientes condiciones: flujo paralelo o gradualmente variado y canal con pendiente baja.

Si el estado crítico del flujo existe a través de toda la longitud del canal o a lo largo de un tramo de éste, el flujo en el canal es un flujo critico. Tal como se indica en la ecuación de criterio de flujo crítico, la profundidad del flujo depende de los elementos geométricos A y D de la sección del canal cuando el caudal es constante, la profundidad crítica en un canal prismático con pendiente uniforme será la misma en todas las secciones y el flujo critico es un flujo uniforme. Para esta condición la pendiente del canal que mantiene un determinado caudal con una profundidad uniforme y critica se conoce como pendiente crítica  $S_c$ . (Ven Te Chow, 1994).

Cuando se compara la pendiente que posee el canal con su pendiente crítica puede ocurrir una de las siguientes situaciones:

- 1) Pendiente del canal menor que  $S_c$ , se produce un flujo mas lento de naturaleza sub-crítica y la pendiente del canal se denomina pendiente suave o sub-crítica.
- 2) Pendiente del canal mayor que  $S_c$ , se produce un flujo más rápido de naturaleza supercrítica y se conoce como pendiente fuerte o supercrítica.

Un flujo en estado critico o cerca de él es inestable. Esto se debe a que un pequeño cambio de energía específica en estado crítico, producirá un cambio grande en la profundidad. Hay que notar que cuando el flujo esta cerca del estado crítico, la superficie del agua aparece inestable y ondulada. Por lo general, tales fenómenos son causados por los pequeños cambios en energía debido a las variaciones en la rugosidad del canal, la sección transversal, la pendiente o algunos depósitos de sedimentos o basura. La teoría de flujo crítico tiene dos aplicaciones importantes como son el control de flujo y mediciones de flujos (*Ven Te Chow, 1994*).

#### **A4.1.3.2 Control de Flujo**

El termino control de flujo significa el establecimiento de una condición definitiva de flujo en un canal, o más específicamente, una relación definitiva entre el nivel y el caudal. Cuando el control de flujo se alcanza en una cierta sección de canal, esta sección es una sección de control, regulando el flujo de tal modo que restringe la transmisión de efectos de cambios en sus condiciones ya sea en una dirección aguas arriba o en una dirección de aguas abajo, según el estado de flujo en el canal.

En el estado crítico de flujo, puede establecerse una relación definitiva nivel-caudal, y representarla mediante la ecuación (A4.10). Aquí se muestra que la relación nivel-caudal es teóricamente independiente de la rugosidad del canal y de otras circunstancias no controladas, por consiguiente, una sección de flujo crítico es una sección de control. La localización de la sección de control en un canal prismático por lo general esta gobernada por el estado de flujo, el cual a su vez se determina mediante la pendiente del canal. (*Ven te Chow, 1994*).

#### **A4.1.3.2 Medición del Flujo**

La relación nivel- caudal del flujo crítico da una base teórica para la medición del caudal en canales abiertos. Con base en esto, se han desarrollado varias estructuras para la medición del flujo. En tales estructuras, a menudo la profundidad crítica Se crea mediante la construcción de una pequeña elevación en el fondo del canal, tal como un vertedero, o mediante una contracción en la sección transversal.

**A4.1.4 Ecuación de Cantidad de movimiento o Ecuación de la Momenta**

De acuerdo a la segunda ley de movimiento de newton, el cambio de momentum por unidad de tiempo en el cuerpo de agua en un canal es igual a la resultante de todas las fuerzas externas que actúan sobre el cuerpo.

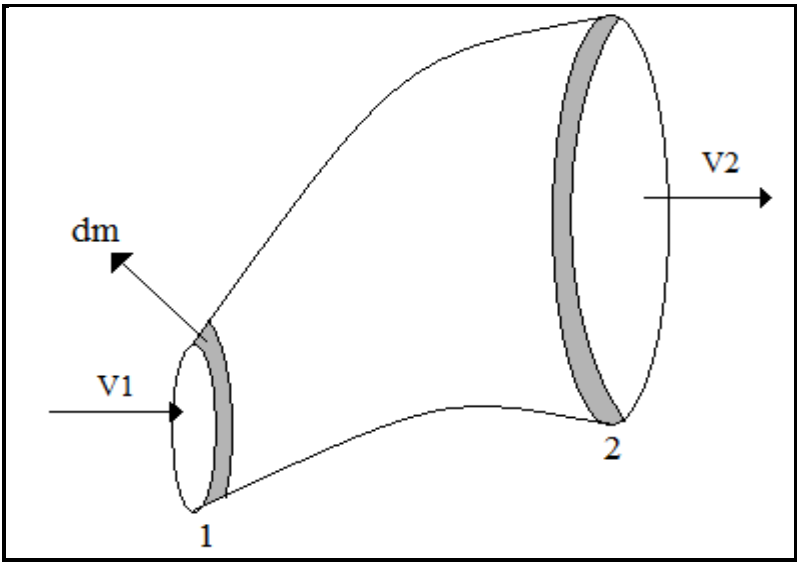


Figura A4.3 Volumen de control.

Si se considera que el elemento de masa  $dm$  (figura A4.3) pasa de la posición 1 a la 2 en un intervalo de tiempo  $dt$  se puede plantear:

$$\overrightarrow{dF} = dm \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} \tag{Ec(A4.11)}$$

Donde  $\overrightarrow{dF}$  es igual a la resultante de las fuerzas externas actuando sobre  $dm$  y  $dv/dt$  es igual a vector aceleración. Por otra parte se tiene:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{dm}{dv} \cdot \frac{dv}{dt} = \rho \cdot Q$$
$$df = \rho \cdot Q \cdot dv$$
$$\vec{F} = \rho \cdot Q \cdot (v_2 - v_1)$$

Con  $dV$  elemento de volumen

Integrando  $df$  y  $dv$  se tiene:

$\tag{Ec(A4.12)}$

Suponiendo el caso en que las únicas fuerzas externas actuantes son las fuerzas debidas a la presión del agua figura (A4.4)

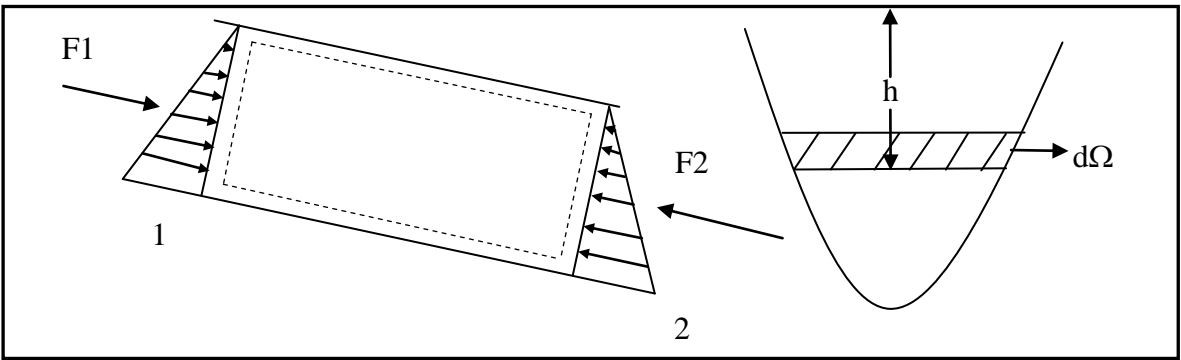


Figura A4.4 Fuerzas de presión actuando sobre un volumen de control.

La fuerza de presión actuante en la sección mostrada en la figura A4.4 es:

$$F = \int \rho \cdot h \cdot d\Omega \quad \text{Con } \rho \cdot h \text{ presión sobre el elemento } d\Omega$$

Sea  $\eta$  la profundidad del centro de gravedad de la sección  $\Omega$  entonces se cumple:

$$\eta\Omega = \int h \cdot d\Omega \quad \text{Luego se tiene que la fuerza debido a la presión es :}$$

$$F = \rho \cdot \eta \cdot \Omega \quad \text{Ec (A4.13)}$$

Considerando la ecuación 2.11 se puede decir que:

$$\vec{F} = \rho \cdot Q \cdot (V_2 - V_1) = F_1 - F_2 \quad \text{Con: } F_1 \text{ y } F_2 \text{ fuerzas hidrostáticas, luego se tiene:}$$

$$\eta_1 \cdot \Omega_1 - \eta_2 \cdot \Omega_2 = \frac{Q}{g} \cdot (V_2 - V_1) \quad \text{Ec(A4.14)}$$

Se sabe que:  $V_1 = Q/A_1$  y  $V_2 = Q/A_2$  Reemplazando la relación anterior en la ecuación 2.13 y ordenando los términos se obtiene la siguiente expresión:

$$\eta_1 \cdot \Omega_1 + \frac{Q^2}{g \cdot \Omega_1} = \eta_2 \cdot \Omega_2 + \frac{Q^2}{g \cdot \Omega_2} \quad \text{Ec (A4.15)}$$

Se observa que los dos lados de la ecuación son análogos y, por consiguiente pueden expresarse para cualquier sección del canal mediante una función general conocida como ecuación de la momenta.

$$M = \eta \cdot \Omega + \frac{Q^2}{g \cdot \Omega} = cte \quad \text{Ec (A4.16)}$$

Esta función consta de dos términos, el primero es la fuerza por unidad de peso del agua y el segundo término es el momentum del flujo que pasa a través de la sección del canal por unidad de tiempo y por unidad de peso del agua. Como ambos términos en esencia son fuerzas por unidad de peso del agua, la momenta también puede conocerse como fuerza específica. La ecuación A4.15 puede expresarse como  $M_1 = M_2$ , esto significa que las fuerzas específicas en las secciones 1 y 2 son iguales siempre y cuando las fuerzas externas y el peso efectivo del agua en el tramo entre las secciones sean insignificantes.

Al graficar la profundidad contra la fuerza específica para una sección de canal y un caudal determinados, se obtiene una curva de fuerza específica (figura A4.5a). La curva tiene dos ramas, AC y BC. La rama AC se aproxima asintóticamente al eje horizontal hacia la derecha y la rama BC aumenta hacia arriba extendiéndose infinitamente hacia la derecha.

Para un determinado valor de la fuerza específica, la curva tiene dos profundidades posibles  $y_1$  y  $y_2$  (alturas conjugadas), dada una altura  $y_1$  de torrente conocida, manteniendo la constancia de la momenta se puede calcular la altura  $y_2$  de río a la cual es capaz de saltar el torrente. En el punto C de la curva las dos profundidades se convierten en una y la fuerza específica es mínima, la profundidad en el valor de la mínima fuerza es igual a la profundidad crítica. (Ven te Chow, 1994)

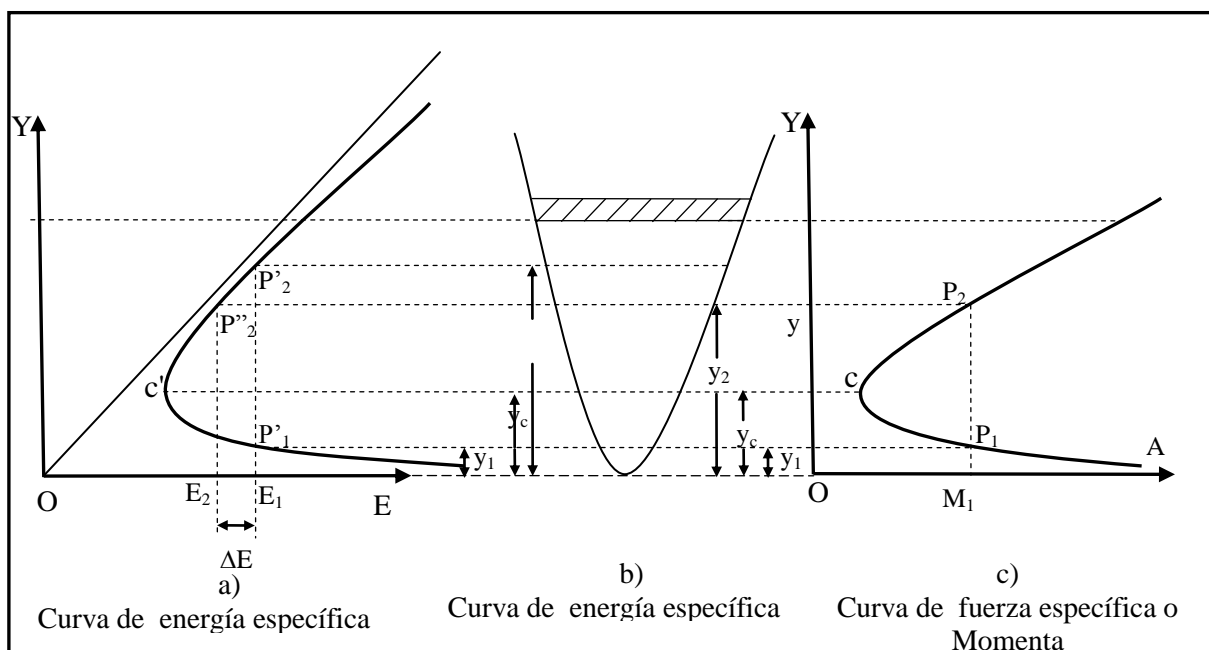


Figura A4.5 Curvas de Fuerza Específica complementada con la curva de Energía específica.  
(Ven Te Chow, 1994)

Si se compara la curva de fuerza específica con la curva de energía específica se tiene que para una determinada energía específica  $E_1$ , La curva de energía indica dos posibles profundidades, un nivel bajo  $y_1$  en la región de flujo super-crítico y un nivel alto  $y'_2$  en el flujo sub-crítico. Por otra parte para un determinado valor de  $M_1$  la curva de fuerza específica también indica dos profundidades posibles  $y_1$  en la región super-crítica y una profundidad seciente  $y_2$  en la región de flujo sub critico. Se supone que el nivel bajo y la profundidad inicial son ambos iguales. Luego las dos curvas indican que la profundidad  $y_2$  es siempre menor que  $y'_2$ , además la curva de energía muestra que el contenido de energía  $E_2$  para la profundidad  $y_2$  es menor que el contenido de energía  $E_1$  para la profundidad  $y'_2$ .

Para mantener un valor constante de  $M_1$ , la profundidad de flujo debe cambiar de  $y_1$  a  $y_2$  con el costo de perder cierta cantidad de energía, que es igual a  $\Delta E = E_1 - E_2$ . Un ejemplo de esto es el resalto hidráulico en un fondo horizontal, en el cual la fuerzas especificas antes y después del resalto son iguales y la perdida de energía es una consecuencia del fenómeno.(Ven Te Chow, 1994)

#### A4.1.5 Pérdidas de Carga

Las singularidades en que se producen perdidas de carga se pueden clasificar en tres tipos, que son:

- Variaciones bruscas de sección o ensanchamientos bruscos (figuras A4.6 a y A4.6 b)
- Variaciones continuas de sección a lo largo de la corriente, que pueden ser disminuciones o aumentos de ella (figuras A4.6 c y A4.6 d )

- Variaciones bruscas o graduales de la dirección de la corriente (codos y curvas) (figuras A4.6f y A4.6d)

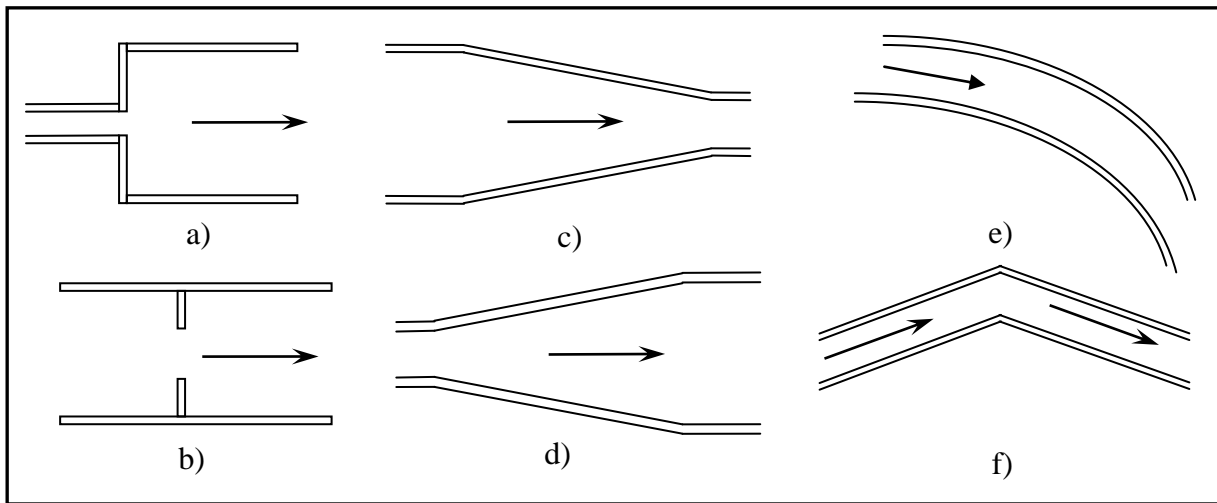


Figura A4.6 Singularidades donde se producen pérdidas de carga.

Todos estos tipos de pérdidas se presentan en singularidades de contornos cerrado y abiertos. El método de cálculo es siempre el mismo y consiste en la aplicación del teorema de las cantidades de movimiento a la masa de fluido limitada por las secciones terminales que encierran el fenómeno. El éxito dependerá únicamente del conocimiento de las fuerzas que actúan sobre esa masa. (Domínguez, 1959).

En contornos abiertos los ensanchamientos se presentan en cuatro formas diferentes: bajada brusca del fondo; bajada brusca del fondo y aumento del ancho simultáneamente; aumento brusco del ancho y por último ensanche de la corriente misma sin variación ninguna del lecho, fenómeno denominado resalto. (Domínguez, 1959).

El fenómeno que interesa y que se denominara ensanche es el que, dadas la forma de la canalización entre una sección de aguas arriba y la altura del liquido aguas abajo de la singularidad, se pide determinar la altura inmediatamente anterior a ella, que depende de esa altura de aguas abajo y de la forma de la singularidad. La altura liquida de aguas abajo que interesa, es una altura de rio y la que ella determina antes de la singularidad puede ser un rio o un torrente. Salvo en el caso del resalto, en que siempre esta última será altura de torrente, en todos los demás casos solamente interesa, antes de la singularidad también un rio.

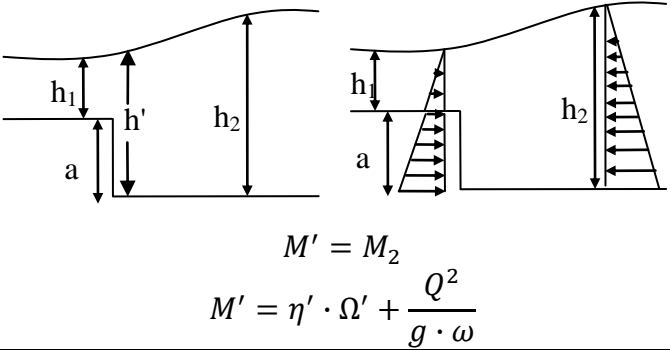
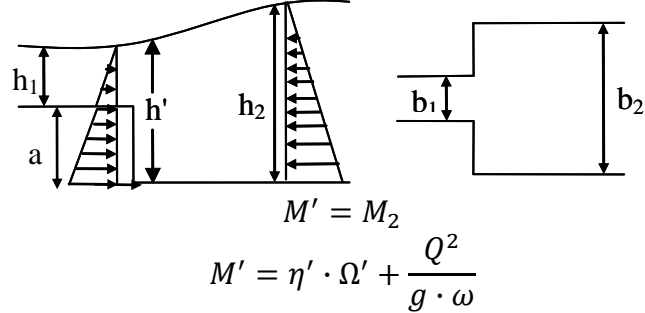
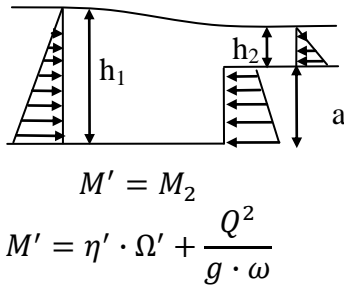
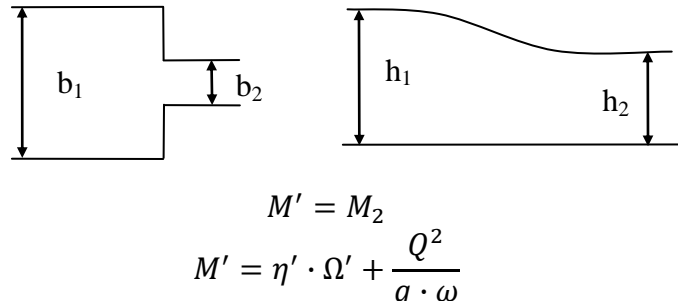
<p>Grada de bajada</p>  <p> <math>M' = M_2</math>  <math>M' = \eta' \cdot \Omega' + \frac{Q^2}{g \cdot \omega}</math> </p>	<p>Con :</p> <p><math>\Omega'</math>: Sección proyectada sobre el canal inmediatamente aguas abajo de la grada.</p> <p><math>\eta'</math>: profundidad del centro de gravedad de la sección <math>\Omega'</math></p> <p><math>\omega</math>: sección aguas arriba de la grada</p>
<p>Grada de bajada y ensanche brusco</p>  <p> <math>M' = M_2</math>  <math>M' = \eta' \cdot \Omega' + \frac{Q^2}{g \cdot \omega}</math> </p>	<p>Con:</p> <p><math>\Omega'</math>: Sección proyectada sobre el canal inmediatamente aguas abajo de la grada de ancho <math>b_2</math>.</p> <p><math>\eta'</math>: profundidad del centro de gravedad de la sección <math>\Omega'</math></p> <p><math>\omega</math>: sección aguas arriba de la grada de ancho <math>b_1</math></p>
<p>Grada de subida</p>  <p> <math>M' = M_2</math>  <math>M' = \eta' \cdot \Omega' + \frac{Q^2}{g \cdot \omega}</math> </p>	<p>Con :</p> <p><math>\Omega'</math>: sección proyectada sobre el canal inmediatamente aguas arriba de la grada con altura <math>h' = h_1 - a</math></p> <p><math>\eta'</math>: profundidad del centro de gravedad de la sección <math>\Omega'</math></p> <p><math>\omega</math>: sección aguas arriba de la grada con altura <math>h_1</math></p>
<p>Angostamiento brusco</p>  <p> <math>M' = M_2</math>  <math>M' = \eta' \cdot \Omega' + \frac{Q^2}{g \cdot \omega}</math> </p>	<p>Con :</p> <p><math>\Omega'</math>: sección proyectada sobre el canal inmediatamente aguas abajo del angostamiento</p> <p><math>\eta'</math>: profundidad del centro de gravedad de la sección <math>\Omega'</math></p> <p><math>\omega</math>: sección aguas arriba de del angostamiento</p>

Tabla A4.1 Singularidades y su Forma de Análisis.

### A4.1.6 Resalto

Las aplicaciones prácticas del resalto hidráulico son muchas; se utiliza para (*Ven Te Chow, 1994*):

- Disipar la energía del agua que fluye sobre presas, vertederos y otras estructuras hidráulicas y prevenir de esta manera la socavación aguas debajo de las estructuras.

- Recuperar altura o aumentar el nivel del agua en el lado de aguas abajo de una canaleta de medición y mantener un nivel alto del agua en el canal de irrigación o de cualquier estructura para distribución de aguas.
- Incrementar el peso sobre la zona de agua abajo en una estructura de mampostería y reducir la presión hacia arriba bajo dicha estructura aumentando la profundidad del agua en su zona de aguas abajo
- Aumentar el caudal por debajo de una compuerta deslizante manteniendo alejada la profundidad de aguas bajo, debido a que la altura efectiva se reducirá si la profundidad de aguas abajo ahoga el resalto.
- Para indicar condiciones especiales de flujo, como la existencia de flujo sub-crítico o la presencia de una sección de control, de tal manera que pueda localizarse una estación de aforo.
- Mezclar químicos utilizados para la purificación de agua y casos similares.
- Airear el agua en sistemas de suministros urbanos.
- Remover bolsas de aire en las líneas de suministros de agua y prevenir el taponamiento por aire.

Un resalto es un fenómeno que consiste en el ensanche brusco de la corriente, sin que exista ningún cambio en el lecho. Puede ser completo, resalto propiamente tal o bien incompleto (*Domínguez, 1959*).

- **Resalto completo**, se presenta en medio de la corriente, sin necesidad de una singularidad inmediata que lo provoque.
- **Resalto incompleto**, esta siempre ligado a alguna singularidad situada aguas arriba de él, que lo produce en combinación con el régimen del canal que la sigue: así se puede decir resalto incompleto a los pies de una grada o al pie de una compuerta.
- **Resalto**, es necesario cuando un régimen de torrente existe por condiciones de aguas arriba y régimen de río por condiciones de aguas abajo. La inspección de la curva de energía indica la posibilidad del paso de un torrente a un río con igual energía, pero como el ensanchamiento brusco corresponde a una pérdida de carga, el torrente se convierte a través del resalto en un río de menor energía.

La teoría del fenómeno se basa en la aplicación del teorema de cantidad de movimiento o momento. La hipótesis de partida es que a lo largo de todo el fenómeno, la cota piezométrica coincide con el nivel libre medio. En cada punto de la superficie libre del remolino que cubre al resalto el nivel oscila rápidamente, pero el término medio de ese nivel puede ser considerado invariable; ese nivel medio es que determina la altura de presión sobre el fondo, especialmente si la pendiente del lecho es pequeña. (*Domínguez, 1959*)



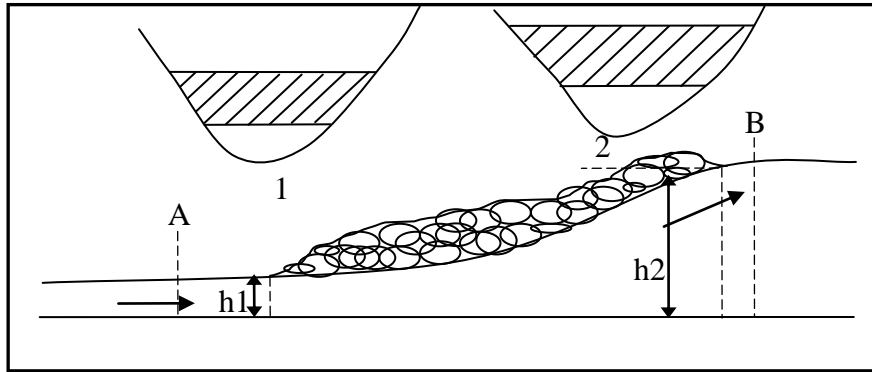


Figura A4.7 Resalto en un Tramo de Canal.

Observando la figura A4.7, en la sección 1 la altura de presión sobre el fondo es  $h_1$ , y en la sección 2  $h_2$ , ambas situadas dentro del fenómeno. El resalto completo comienza en A y termina en B y el incompleto puede comenzar en 1 y terminar en B, como también comenzar en A y terminar en 1 ó 2. Como las secciones 1 y 2 están dentro del fenómeno, a lo largo del resalto completo o incompleto es constante la función de la momenta.

$$M = \eta' \cdot \Omega' + \frac{Q^2}{g \cdot \omega} = cte \quad \text{Ec(A4.17)}$$

Donde:

$\eta'$  : profundidad del centro de gravedad de la sección  $\Omega'$

$\Omega'$  : sección total (incluye vena viva y sección de aguas muertas)

$\omega$  : sección de la vena viva

Considerando la figura A4.7 se puede decir que:

- Si  $M(h_1) = M(h_2)$ , entonces se produce un resalto completo el torrente de altura  $h_1$  salta al río de altura  $h_2$ .
- Si  $M(h_1) > M(h_2)$ , el torrente deberá aumentar su altura para disminuir su momenta, hasta igualar con  $M(h_2)$ .
- Si  $M(h_1) < M(h_2)$ , entonces la momenta de torrente debe aumentar y lo hace de manera que las turbulencias se instalan sobre la vena contraída.
- **Longitud del Resalto**

Según Domínguez la longitud del resalto queda representada por:

$$L_r = 18 \cdot h_c - 20 \cdot h_t \quad \text{Ec (A4.18)}$$

#### A4.1.7 Flujo uniforme

Cuando el flujo ocurre en un canal abierto, el agua encuentra resistencia a medida que fluye aguas abajo. Esta resistencia por lo general es contrarrestada por las componentes de fuerzas gravitacionales que actúan sobre el cuerpo de agua en la dirección del movimiento. Un flujo uniforme se produce si las fuerzas de roce que se oponen al movimiento son idénticas y de sentido contrario a la resultante de las fuerzas de gravedad que provocan el escurrimiento,

sucede así que la aceleración resultante que actúa sobre las moléculas es nula. Se considera que el flujo uniforme tiene las siguientes características principales:

- 1) La profundidad, el área mojada, la velocidad y el caudal en cada sección es constante.
- 2) La línea de energía , la superficie del agua y el fondo del canal son paralelos; es decir sus pendientes son iguales  $S_f = S_w = S_0 = S$

La magnitud de la resistencia, cuando otros factores físicos del canal se mantienen constantes, depende de la velocidad. Si el agua entra al canal con lentitud, la velocidad, y, por consiguiente, la resistencia son pequeñas y la resistencia es sobrepasada por las fuerzas de gravedad, dando como resultado una aceleración de flujo en el tramo de aguas arriba. La velocidad y la resistencia se incrementaran de manera gradual hasta que se alcance un balance entre las fuerzas de resistencia y de gravedad. A partir de ese momento, y de ahí en adelante, el flujo se vuelve uniforme. El tramo de aguas arriba que se requiere para el establecimiento del flujo se conoce como zona transitoria. En esta zona el flujo es acelerado y variado. Si el canal es más corto que la longitud transitoria requerida para las condiciones dadas no puede obtenerse flujo uniforme. Hacia el extremo de aguas abajo del canal la resistencia puede ser excedida de nuevo por las fuerzas gravitacionales y el flujo nuevamente se vuelve variado. (Ven Te Chow, 1994)

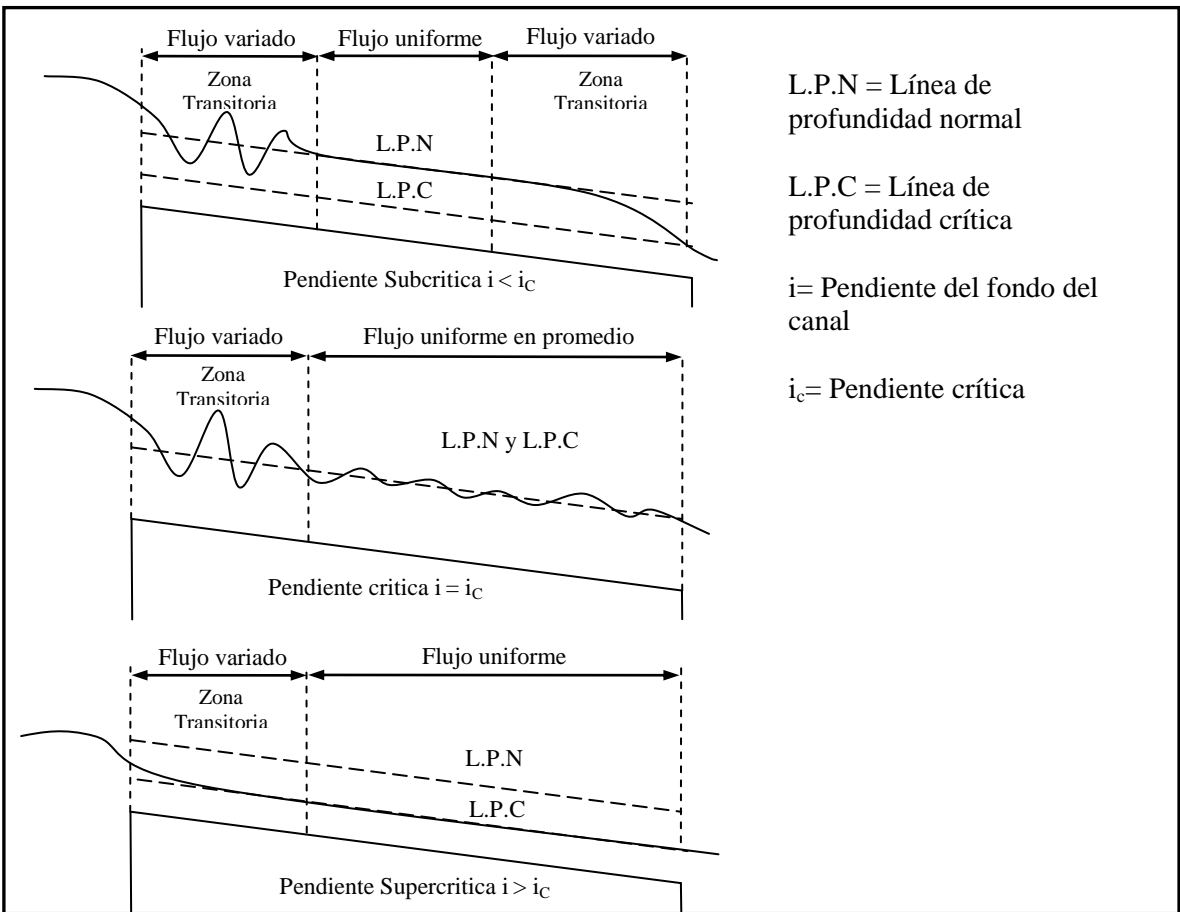


Figura A4. 8 Establecimiento de flujo uniforme en un canal largo.  
(Ven Te Chow, 1994)

En corrientes abiertas, se producen regímenes estratificados (o laminar) y turbulentos con una transición entre ambos, función del numero de Reynolds. En problemas de ingeniería a menudo el flujo más encontrado es el turbulento y partiendo de esa base se han desarrollado las ecuaciones para el cálculo de flujo uniforme. Para los cálculos hidráulicos la velocidad media en un flujo uniforme turbulento en canales abiertos por lo general se expresa aproximadamente por la llamada ecuación de flujo uniforme. La mayor parte de las ecuaciones prácticas de flujo uniforme pueden expresarse de la siguiente manera:

$$V = C \cdot R^x \cdot J^y \quad \text{Ec (A4.19)}$$

Donde  $V$  es la velocidad media en m/s,  $R$  es el radio hidráulico en m,  $J$  es la pendiente de energía;  $x$  e  $y$  son exponentes y  $C$  es un factor de resistencia al flujo.

A partir de la ecuación A4.20 Se han desarrollado una gran cantidad de ecuaciones prácticas de flujo uniforme, pero la más conocida y ampliamente usada es la ecuación de Manning, la cual se puede expresar así :

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec (A4.20)}$$

Donde:

$n$  : Coeficiente de Rugosidad de Manning

$R$  : Radio hidráulico

$J$  : pendiente del plano de energía

La importancia de la fórmula de Manning es que dado el caudal  $Q$ , se puede determinar una altura normal de escurrimiento. En un flujo uniforme en donde se considera  $i$  (pendiente del fondo del canal) igual a  $J$  (pendiente de la línea de energía) la altura normal de escurrimiento se calcula iterando con la relación siguiente:

$$Q = \Omega \cdot V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot \Omega \quad \text{Ec (A4.21)}$$

#### A4.1.8 Flujo Gradualmente Variado

El movimiento permanente en un canal supone la invariabilidad de la forma del lecho, la rugosidad de sus paredes y pendiente en toda la longitud de la corriente, condiciones que no se cumplen fácilmente en la práctica. Ya que los canales presentan siempre singularidades, entradas y salidas de flujo, compuertas, caídas etc., que impiden el movimiento uniforme y dan en cambio el desarrollo de un movimiento variado.

El flujo gradualmente variado, es un flujo permanente cuya profundidad varía de manera gradual a lo largo del canal, entonces se puede establecer la función  $h = h(x)$ , es decir

la posición de la superficie libre en función de la posición. Todas las teorías desarrolladas para este tipo de flujo giran alrededor de las siguientes hipótesis:

2. La pérdida de altura en una sección es igual que la de un flujo uniforme con las mismas características de velocidad y radio hidráulico.
3. La pendiente del canal es pequeña ( $<10\%$ ). Esto quiere decir que la profundidad del flujo puede medirse verticalmente o perpendicularmente al fondo del canal y no se requiere hacer corrección por presión ni por arrastre del aire.
4. El canal es prismático.
5. Los coeficientes de distribución de la velocidad y el de rugosidad son constantes en el tramo considerado.

La ecuación general para el flujo gradualmente variado se obtiene a partir de la ecuación de energía y de la constancia de ésta. La figura A4.9 muestra el perfil de un flujo gradualmente variado en una longitud elemental  $dx$  de un canal abierto. La altura de la línea de energía en la sección aguas arriba, con respecto a la línea de referencia es  $H$ .

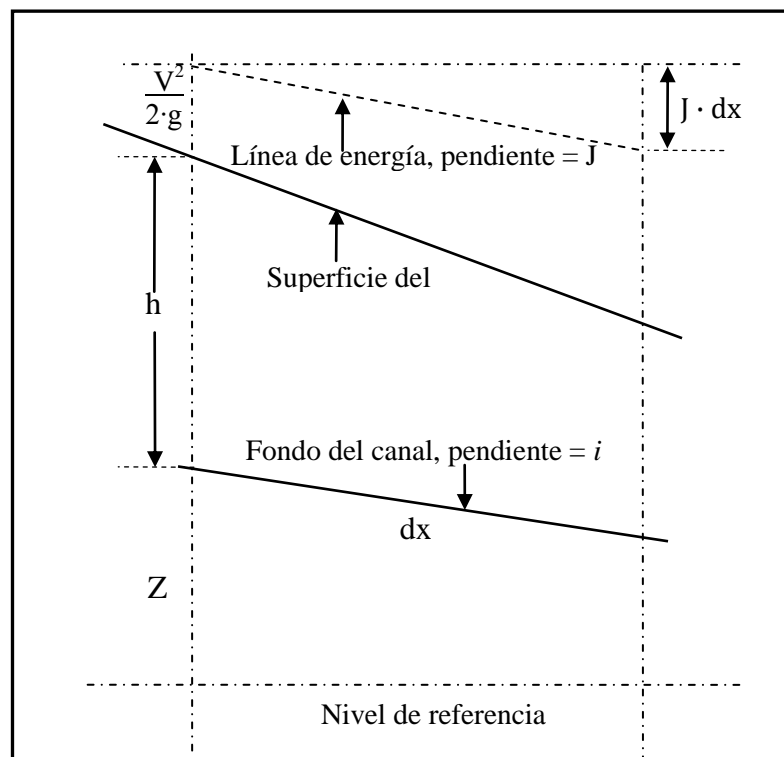


Figura A4.9 Perfil de flujo en una Longitud  $dx$ .

$J$  representa la pendiente de la línea de energía y corresponde a las pérdidas friccionales como consecuencia de la rugosidad del canal. Para deducir la ecuación de flujo gradualmente variado se parte de la ecuación A4.22.

$$= Z + h + \frac{V^2}{2 \cdot g} + \int J \cdot dx = cte \quad \text{Ec (A4.22)}$$

Derivando la expresión de la energía con respecto a la posición se tiene:

$$\frac{dZ}{dx} + \frac{dh}{dx} + \frac{V}{g} \cdot \frac{dV}{dx} + J = 0 \quad \text{Ec (A4.23)}$$

En la ecuación A4.23  $\frac{dZ}{dx}$  representa la variación de la cota del fondo a lo largo del tramo dx. La derivada  $\frac{dh}{dx}$  mide lo que varía el eje hidráulico en la longitud dx, es decir la inclinación o la tangente del ángulo que forma la curva del eje hidráulico con la paralela al fondo. Si  $\frac{dh}{dx} = 0$  indica que el eje hidráulico es paralelo al fondo o sea hay movimiento uniforme y si  $\frac{dh}{dx} = \infty$ , quiere decir que el eje hidráulico es normal al fondo (Domínguez, 1959).

Considerando que:

$$\frac{dZ}{dx} = \sin i \approx -i \quad \frac{dV}{dx} = -\frac{V}{A} \cdot L \cdot \frac{dh}{dx}$$

Reemplazando las expresiones anteriores en la ecuación A4.23 y despejando  $\frac{dh}{dx}$  se obtiene la ecuación fundamental de escurrimiento gradualmente variado:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i - J}{1 - \frac{V^2 \cdot L}{g \cdot A}} \quad \text{Ec (A4.24)}$$

Donde:

V : velocidad media de escurrimiento

A : sección de escurrimiento

L : ancho superficial

Para determinar J, se recurre a la ecuación de Manning en su forma más general resultando así la siguiente expresión para la pendiente de la línea de energía.

$$J = \frac{n^2 \cdot Q^2}{A^2 \cdot R^{\frac{4}{3}}} \quad \text{Ec (A4.25)}$$

#### A4.1.9 Clasificación de los Escurrimientos y de los Lechos

Las corrientes o escurrimientos se pueden clasificar en ríos o torrentes, dependiendo esta clasificación del valor de la profundidad respecto de la profundidad crítica o también de comparar la velocidad de escurrimiento con la velocidad crítica, tabla A4.2.

Si se atiende a la profundidad normal o profundidad que tomaría la corriente en movimiento uniforme en un lecho de forma, rugosidad y pendiente dadas, se puede decir que

son lechos de pendiente suave o pendiente fuerte al comparar su profundidad normal de escurrimiento con la altura de escurrimiento critico. Se puede decir entonces que son pendientes suaves los lechos que dan ríos en movimiento uniforme y pendientes fuertes los que dan torrentes uniformes. Cabe mencionar que en cualquier clase de pendiente puede escurrir un rio o un torrente fuera del movimiento uniforme. Además con solo variar la rugosidad de las paredes, aunque se conserve la forma, dimensiones y pendiente del lecho, puede un lecho de pendiente suave convertirse en pendiente fuerte y viceversa. Igual consideración puede hacerse si solamente varían las dimensiones del lecho, en resumen una misma pendiente puede ser suave o fuerte, según sean las demás circunstancias que influyan en el movimiento uniforme o en la profundidad critica (*Domínguez, 1959*)

	Clasificación
<b>Escurreimiento</b>	Rio
	$h > h_c$ o $V < V_c$
	Torrente
	$h < h_c$ o $V > V_c$
<b>Lecho</b>	Pendiente Suave
	$h_n > h_c$
	Pendiente Fuerte
	$h_n < h_c$

Tabla A4.2 Clasificación de los escurrimientos y lechos.

La velocidad crítica esta dada por la siguiente expresión:

$$V_c = \sqrt{g \cdot \frac{A}{l}} \tag{Ec (A4.26)}$$

El valor de la altura critica para una sección con determinadas condiciones puede calcularse en base a la constancia del caudal  $Q= A \cdot V$ , reemplazando V por la expresión de  $V_c$ .

La pendiente crítica es la que separa las pendientes suaves de las fuertes, es la que da como resultado un escurrimiento crítico en movimiento uniforme y se calcula mediante la ecuación (A4.27)

$$i_c = \frac{Q^2 \cdot n^2}{A_c^2 \cdot R_c^{\frac{4}{3}}} \tag{Ec(A4.27)}$$

En la ecuación A4.27  $A_c$  representa la sección de escurrimiento en función de la altura crítica y  $R_c$  el radio hidráulico en función de la altura critica.

Como el escurrimiento crítico separa los ríos de los torrentes tiene una velocidad igual a la de propagación de las ondas elementales, estas no podrán remontar los torrentes. Las ondas son los vehículos de las variaciones de aguas abajo, por lo tanto, los torrentes serán independientes de aguas abajo y solamente serán regidos por las condiciones de aguas arriba. Los ríos, a la inversa están a merced de las condiciones de aguas abajo. La abertura de una compuerta, la presencia de una caída, etc., no aceleran un torrente aguas arriba de estas singularidades, y en cambio acelerarían a un río, pudiendo a llegar dicho aumento de velocidades hasta producirle escurrimiento crítico. Si en cambio, una singularidad como una barrera, por ejemplo, obliga al retardo de una corriente, y las condiciones del lecho y de aguas arriba dan un torrente, este antes de llegar a la singularidad se transforma en un río por medio de un resalto, pero aguas arriba del resalto, el torrente no se altera.

# **ANEXO 5**

## **Especificaciones Técnicas**



## **A5.1 Especificaciones Técnicas Generales y Especiales**

Las siguientes Especificaciones Técnicas se refieren a las obras a ejecutar en la canalización y encauzamiento del Estero Leña seca, en un tramo que abarca 2.1 km comprendido entre la intersección de las calles Ignacio de la carrera con la avenida Pedro Castelblanco hasta llegar al cruce del estero con el camino Los Lagos, en la ciudad de Valdivia.

Las obras a realizar comprenden específicamente la canalización del estero a través de un canal menor revestido de hormigón y un canal mayor revestido en pasto, además de 4 cruces de caminos proyectados en tubos de acero corrugado con muros de boca de entrada y de salida diseñados en mampostería de piedra.

Las obras descritas deberán ejecutarse de acuerdo a las presentes Especificaciones Técnicas y a los siguientes planos de proyecto:

1. Planta general , Ubicación y Detalles (Lamina 1/1)
2. Planta y Detalles de alcantarillas (Lamina 1/6 - 6/6)
3. Planta y Detalles de ensanche y secciones (Lamina 1/4- 4/4)
4. Perfil Longitudinal y Perfiles Transversales (Lamina 1/3)
5. Perfil Longitudinal y Perfiles Transversales (Lamina 2/3)

La ubicación de las obras se muestra en el plano: Planta general, Ubicación y Detalles (Lamina 1/1) del proyecto, las que previo a su construcción, deberán ser íntegramente replanteadas en terreno por el Contratista. Previo al inicio de las obras, el contratista deberá ser recibido por la Inspección Técnica, quién autorizará explícitamente, por Libro de Obras, el inicio de las faenas.

Será responsabilidad del Contratista cuidar que las obras proyectadas queden emplazadas en los sitios previstos. Cualquier error será de su exclusiva responsabilidad, debiendo ejecutar a su cargo todas las reparaciones que la Inspección Técnica estime necesario por no ajustarse al proyecto.

En caso que las obras a ejecutar se desarrollarán interfiriendo el tránsito normal o el acceso a alguno de los recintos privado o interrumpiendo la vida de los pobladores a su alrededor se deberá tomar todos los resguardos requeridos para asegurar el acceso de las personas y vehículos. En cuanto a la intervención del cauce del estero se deberán proteger las obras en construcción ante eventuales crecidas, debiendo, diseñar, construir, mantener y operar

todas las obras provisionales y desvíos que estime conveniente para garantizar la seguridad de éstas, cuidando en todo momento de no provocar daños a terceros y restituyendo las condiciones originales del terreno a aquéllas que le autorice y/o exija la Inspección Técnica.

El Contratista deberá señalar convenientemente su faena en vías de tránsito público y será de su cargo el trámite y vigilancia de las interrupciones o desvíos de circulación que se produzcan, siendo de su exclusiva responsabilidad cualquier inconveniente causado por una falta de atención a lo expuesto. Además, será de cargo del Contratista los daños que se produzcan a terceros tanto por la acción de las excavaciones, como por el depósito de escombros y materiales.

#### **A5.1.1 Trazado, Perfiles y Pendientes**

Se debe tener en cuenta los siguientes elementos a la hora de realizar el trazado:

- a) **Puntos de referencia.** El constructor deberá colocar los puntos de referencia que sean necesarios para el control de los niveles. Los puntos podrán materializarse en estructuras vecinas o en monolitos especiales de forma tal que sean permanentes y no sufran variaciones. En caso de proyectos de gran extensión, con obras separadas a más de 300m deberán materializarse puntos de referencia adicionales separados a menos de esa distancia.

El constructor deberá velar por la conservación de estos puntos, procurando que no sean afectados por excavaciones u obras posteriores, de manera que se mantengan hasta el final de las faenas. Una vez terminadas estas deberá asignar un punto de referencia a alguna estructura de la obra indicando en ella la cota respectiva. El sistema de cotas será el del IGM de manera de poder relacionar los niveles de la obra con la red de drenaje general del sector.

- b) **Trazado de las obras.** Antes de iniciar los trabajos se procederá al trazado de las obras, el cual se efectuará en base a los planos del proyecto y a los puntos de referencia que hayan sido aprobados por la ITO. El constructor marcará en terreno los puntos adicionales que sean necesarios para poder replantear, por intersección de rectas, en cualquier etapa de las obras los ejes y puntos singulares del trazado.
- c) **Trazado de canales.** el trazado en planta del eje y los niveles del fondo corresponderán a los que se indican en los planos, y se materializará mediante estacas separadas a distancias menores de 20m en los tramos rectos, o los que

indique la ITO expresamente. Salvo que las Especificaciones Técnicas Especiales indiquen tolerancias más exigentes se aceptarán las siguientes:

- El eje longitudinal que define el trazado en planta no debe apartarse del teórico en más de 20cm.
- Las cotas de fondo que definen el perfil longitudinal no deberán apartarse de los niveles teóricos en más de 1cm. Se aceptarán sobreexcavaciones de hasta 5cm, que no afecten a más de 20m de la obra.
- Las líneas que definen el perfil transversal de la sección de canales, una vez terminadas, no deberán apartarse en más de 5cm de las líneas indicadas en los planos, manteniéndose el área de la sección transversal teórica.

- d) **Obras de hormigón.** Los niveles definitivos de los umbrales de obras de hormigón para canales de fondo tendrá tolerancias menores de 3mm, respecto a las teóricas definidas en los planos.

Las dimensiones interiores de obras que estén en contacto con agua no diferirán en más del 1% de la dimensión correspondiente, y en ningún caso en más de 1cm para cada punto singular.

- e) **Obras con escurrimiento hidráulico.** La terminación de las superficies de hormigón será la definida en los Planos del Proyecto o la que exija la ITO. Se limitarán las irregularidades de las superficies de hormigón sobre las cuales habrá escurrimiento hidráulico de acuerdo a los valores que se mencionan a continuación:

- Irregularidades superficiales progresivas no mayores de 25mm cada 1,5m ni brascas mayores de 20mm para paramentos ocultos por rellenos o que no queden en contacto directo con el agua, o a la vista.
- Irregularidades superficiales progresivas no mayores de 10mm cada 1,5m ni brascas mayores de 5mm para superficies con escurrimiento hidráulico de baja velocidad, es decir con menos de 5m/s.
- Para superficies sometidas a escurrimientos de alta velocidad, con valores superiores a 5m/s, se definirá la calidad de la terminación en las Especificaciones Técnicas Especiales

### A5.1.2 Movimientos de Tierra

Este ítem se refiere a las Especificaciones Técnicas que deberán regir los movimientos de tierra requeridos para materializar la canalización y encauzamiento del estero Leña Seca.

Antes de comenzar las faenas de movimiento de tierras debe prepararse la faja en todo el ancho de la sección. Esto incluye labores como corte de árboles, escarpe, limpieza, demoliciones, reubicación de obras, desvío de cauces, cercos, etc. En general los materiales resultantes de estas labores serán llevados a botadero previamente autorizados. Y como en este caso se construye un canal en un cauce existente es necesario desviar el flujo temporalmente, evitando que inunde las faenas.

Por otra parte los rebajes, perfiladuras y encauzamiento deberán alcanzar con exactitud las cotas que muestren los planos, debiéndose respetar estrictamente los niveles, taludes y secciones transversales, cumpliendo con todos los detalles señalados, en el proyecto.

A continuación se detallan las especificaciones técnicas para cada una de las etapas involucradas en el movimiento de tierra

- a) **Escarpe:** Se refiere a las excavaciones de la capa superficial del terreno natural a ejecutar en todas las superficies en que se apoyarán rellenos compactados de los tramos canalizados, sean éstos controlados o no controlados. El escarpe tendrá una profundidad mínima de 0,25m. o el necesario que apruebe la Inspección Técnica y consistirá en la remoción de la totalidad de la capa vegetal existente y/o suelo de mala calidad que impida la fundación de los rellenos, tales como arcillas expansivas (arcillas con  $IP > 20$ ,  $LL \geq 35$ ,  $CBR \leq 3\%$ ), rellenos artificiales contruidos sin control, suelos orgánicos, o material alterado por agentes químicos etc.

La extracción no debe contaminar el material de las capas inferiores y deberá ser transportado a botaderos autorizados. Todos los arbustos y raíces grandes, existentes dentro de las áreas de construcción del canal, deben ser retirados del terreno natural. Las excavaciones hechas para remover árboles, tacones, raíces, etc., deben ser rellanadas y compactadas con materiales locales para darles una terminación superficial similar a los terrenos adyacentes.

- b) **Excavaciones.** Las excavaciones serán las estrictas para lograr la sección transversal de proyecto, con los taludes especificados. Los materiales que se obtengan de esta excavación podrán emplearse en terraplenes de la misma obra,

o de relleno de sectores que lo requieran. El sobrante se llevará a botadero. La excavación de la cuneta para canales de flujos bajos puede hacerse en una segunda etapa, una vez que está perfilada la sección completa.

La excavación de obras de drenaje debe iniciarse desde aguas abajo y procederse hacia aguas arriba, para facilitar el drenaje del frente de trabajo.

Todas las excavaciones deberán ser ejecutadas de acuerdo con las alineaciones, niveles y perfiles longitudinales y transversales indicados en los planos. Para ello, se deberán replantear los ejes y cotas y materializar las áreas de excavación con estacas y lienzas o cualquier otro método propuesto y aceptado por la Inspección.

El Contratista deberá disponer del equipamiento y los medios necesarios para el control y preservación ambiental de la napa, durante todo el lapso que duren faenas constructivas, hasta la recepción definitiva de las obras. Los procedimientos de excavación y la maquinaria a utilizar deberán Planificarse de manera de producir la menor perturbación del terreno adyacente, debiendo éstos ser previamente aprobados por la Inspección.

- c) **Terraplenes.** Para los terraplenes se empleará de preferencia el material proveniente de las excavaciones siempre que tengan un porcentaje de finos superior al 12%, prefiriéndose los materiales arcillosos y limosos. Los materiales se colocan en capas de espesor menor a 20cm, eliminando las piedras de tamaño superior a  $\frac{2}{3}$  el espesor de la capa, regando y compactando hasta la densidad pre especificada en el proyecto. Los terraplenes deben ser contruidos de acuerdo con las alineaciones, perfiles y cotas indicadas en los planos.

Antes de iniciar las obras, se deberá informar a la Inspección, la metodología, maquinaria y equipos, con los cuales se construirán los terraplenes y rellenos.

### **A5.1.3 Recubrimiento de Pasto**

Es importante preparar la superficie de plantación evitando que aparezcan cauces preferenciales, compactando las capas de arena y tierra de hojas y empleando una semilla adecuada a las condiciones del lugar. Debe considerarse la plantación hasta el primer corte del pasto. Antes de esparcir la tierra de hojas debe aprobarse la terminación superficial del lugar en cuanto a cotas, sistema de riego, y todos los elementos que puedan quedar tapados. Además de la correcta colocación y compactación de la capa de arena usada como base.

Para la Siembra del césped, la semilla debe ser aprobada por la inspección técnica de obra antes de proceder al sembrado. Se debe Considerar todas las faenas necesarias hasta lograr el crecimiento del pasto y el primer corte. Si es necesario, resembrar en lugares en los que no haya crecido el pasto.

#### **A5.1.4 Obras de Desvío y Protección Temporal**

Se deberán ejecutar las obras de desvío o de defensas temporales en el cauce, necesarias para la construcción de las estructuras, si es necesario se debe canalizar provisoriamente el cauce de forma de evitar que el escurrimiento de las aguas afecte a las obras en construcción.

Asimismo, el Contratista deberá asegurar en todo momento, el control de las aguas lluvias durante todo el período de construcción, no sólo en relación al control de la escorrentía superficial que ellas puedan producir, sino también en relación con la erosión y socavación de los rellenos y taludes, aun cuando éstos hayan sido previamente recepcionados y aprobados por la Inspección.

### **A5.2 Especificaciones Técnicas Especiales (ETE)**

#### **A5.2.1 Instalación de Faenas, Trazado y Replanteo**

##### **a) Descripción**

Una vez efectuada la recepción del terreno, el contratista deberá iniciar los trabajos necesarios para la realización de las faenas, las que consistirán principalmente, y sin perjuicio de las obras definitivas, en la construcción de las obras provisionales como: la instalación de faenas, bodegas para herramientas y materiales, depósitos de combustibles, talleres de trabajo, recintos para obreros, comedores y servicios higiénicos, oficinas del contratista e Inspección Fiscal.

Para el replanteo, los ejes principales de las obras proyectadas serán replanteados en base a los lineamientos horizontales y verticales de los planos.

##### **b) Ejecución**

Los trabajos topográficos y de trazado se realizarán bajo un profesional o una empresa inscritos en los registros de Consultores del MOP. Los trabajos de topografía y replanteo serán revisados y sujetos a la aprobación de la Inspección técnica.

Los replanteos de los ejes y niveles se realizarán de acuerdo a planos respectivos y los puntos de referencia allí indicados. En el replanteo de los ejes principales se aceptará un error de  $\pm 0,005$  m en coordenadas y cotas. Deberá realizarse en cada etapa del proyecto verificaciones en cuanto al replanteo y emplazamiento de las obras. Y marcar en terreno ya sea con cal, tiza molida y/o cualquier otro elemento las trazas de las excavaciones y se tendrá que considerar su permanencia por efectos de lluvia o viento. Se deberá tener en forma permanente en obra los equipos e instrumentos necesarios para su ejecución como: taquímetros, miras, planos, huinchas, etc.

#### **A5.2.2 Escarpe y Retiro de Excedentes**

**a) Unidad de medida:**

La unidad de medida será  $m^3$  el excavado y retirado.

**b) Descripción**

Incluye todas las actividades, equipos y maquinarias requeridas para la realización del escarpe y retiro de excedentes a botadero. Será de cargo y a costo del Contratista, obtener todos los permisos y autorizaciones de los organismo respectivos para el traslado del material a través de vías públicas, como así también el tipo de camión considerado para su transporte, y trasladado a botadero autorizado previa visación por parte de la Inspección técnica.

**c) Proceso y Disposición Final de Excedentes en Botadero.**

**a) Unidad de Medida**

La unidad de medida será el  $m^3$

**b) Descripción**

Corresponde al proceso y deposición de excedentes provenientes de la excavación superficial del sector donde se materializaron las obras de canalización. El material será depositado en el botadero o sector autorizado, de acuerdo a las normativas internas, de tal manera de evitar cualquier tipo de contaminación. El inicio de esta actividad se realizará una vez obtenidos y verificados los permisos y autorizaciones correspondientes por la Inspección.

#### **A5.2.3 Excavación Masiva y Retiro de Excedentes**

**a) Unidad de Medida**

La unidad de medida será el  $m^3$

**b) Descripción**

Este ítem incluye las actividades, requeridas en la ejecución de excavaciones masivas para el rebaje del lecho del canal de acuerdo a los planos del proyecto por lo tanto el material a retirar corresponde al material proveniente de las excavaciones para la obtención de la cota del proyecto del fondo del canal.

Se realizará la excavación del fondo del canal, simultáneamente con la formación de los terraplenes. Adicionalmente se realizarán excavaciones para formar el talud del terraplén del proyecto entre las cotas de coronamiento y fundación, estas se realizarán con una inclinación en la razón 5:1 (H:V). Las excavaciones deberán respetar todo lo concerniente a cotas, dimensiones y geometría indicadas en los Planos de Proyecto. En caso de detectarse rellenos de escombros, basuras o materiales de desecho, estos deberán ser removidos en su totalidad y dispuestos en botaderos autorizados por la Inspección. Si resultaren materiales, producto de la excavación, de buenas características y libres de elementos contaminados, estos podrán reutilizarse para enrasar zonas bajas previamente escarpadas

**A5.2.4 Suministro, Transporte y Confección de Terraplén y Rellenos**

**a) Unidad de Medida**

La unidad de medida será el m<sup>3</sup> de terraplén o relleno.

**b) Descripción**

Este ítem incluye todas las actividades, equipos y maquinarias requeridas para la ejecución de la confección de los terraplenes y rellenos de la canalización del estero Leña Seca, de acuerdo a lo indicado en los Planos del Proyecto y Especificaciones Técnicas Especiales.

El sello de las excavaciones de las obras a revestir se perfilará y compactará hasta alcanzar como mínimo el 90% de la densidad máxima compactada seca (D.M.C.S) , medida en una profundidad mínima de 0,20 m. Cuando el fondo de dichas excavaciones esté compuesto por suelos orgánicos, inestables o que no puedan ser compactados debido a su contenido de humedad natural, el Inspector Fiscal, podrá autorizar su retiro en un espesor mínimo de 0,12 m, para dar cabida a una capa de material granular que servirá de apoyo al revestimiento. Dicha capa deberá ser compactada hasta alcanzar la mínima densidad antes establecida.



Las superficies de los taludes deberán quedar parejas y estables, sin protuberancias que afecten el espesor mínimo del revestimiento a construir. Estas se compactarán con equipo manual a plena satisfacción del Inspector Fiscal.

## **A5.2.5 Obras de Hormigón, Mampostería y Alcantarillas**

### **A5.2.5.1 Hormigón**

#### **a) Cemento**

El cemento hidráulico deberá cumplir con lo establecido en NCh 148, en cuanto a clases, grados, propiedades químicas, físicas y mecánicas. El cemento deberá cumplir además, con lo estipulado en el Capítulo 6.2, Cementos, en NCh 170.

#### **b) Áridos**

Por lo menos dos semanas antes de empezar cualquier trabajo de hormigón, el Contratista, por escrito, someterá a la aprobación del Inspector Fiscal, la granulometría que propone emplear.

#### **c) Agua**

El agua que se utilice en la confección de hormigones será limpia, exenta de sustancias perjudiciales, y deberá satisfacer los requisitos de la Especificación 8.401.1 del Manual de carreteras-Vol8. Ello será certificado antes de su uso, si el Inspector Fiscal lo solicita. Se deberá poner especial cuidado en el contenido máximo de sales en el agua de amasado para hormigones con armaduras.

#### **d) Procedimientos de Trabajo**

El Contratista dispondrá de los equipos y demás elementos para la confección, colocación y terminación del hormigón. Dichos equipos, incluso los de transporte, estarán en buenas condiciones de funcionamiento y tendrán una capacidad adecuada para llevar a cabo las obras sin interrupciones.

Antes de iniciar la fabricación del hormigón, la planta hormigonera será sometida a la prueba de uniformidad según NCh 1789.

#### **e) Mezclado del Hormigón**

La revoltura se hará a la velocidad recomendada por el fabricante de la máquina y el tiempo de mezclado deberá ser superior a 1 1/2 minutos, contados a partir del momento en que todos los materiales están dentro del tambor

revolvedor y hasta el instante en que se inicie la descarga. Siempre debe realizarse la prueba de la uniformidad, según la NCh 1789, previo a comenzar las faenas de hormigonado.

**f) Transporte**

El transporte del hormigón se deberá efectuar en el tiempo y con los equipos y procedimientos adecuados para mantener las características y homogeneidad que se obtuvo en el proceso de mezclado. El hormigón podrá ser transportado en camiones agitadores o del tipo tolva . En el caso de equipos de mezclado y transporte, se regirá por lo establecido en NCh 1934. El hormigón transportado deberá protegerse adecuadamente de la influencia del clima, en especial de la lluvia y el viento, y heladas en tiempo frío, y, además, cuando la temperatura ambiental supere los 30°C. más agua, ya sea mediante empleo de aditivos u otros métodos existentes previamente.

**g) Preparación del Sitio de Colocación**

Antes de colocar el hormigón se deberá:

- Limpiar y mojar cuidadosamente el sitio de colocación, eliminando los elementos sueltos, los restos de lechada de cemento y otros.
- Verificar la impermeabilidad de dicho sitio para evitar pérdidas por absorción.
- Para revestimientos continuos hormigonados en sitio, se deberán construir juntas de contracción espaciadas entre sí cada 3,0 m como máximo, utilizando tablillas de asbesto cemento u otro material previamente autorizado por la inspección técnica.
- Verificar los moldajes para que cumplan con las condiciones geométricas de los elementos estructurales indicados en los planos del Proyecto, sean estancos, estables, resistentes, tengan los accesos para asegurar un fácil vaciado y un completo llenado
- Revisar que las excavaciones tengan la sección especificada en el Proyecto y estén libres de materiales sueltos o extraños y con las aislaciones que se indiquen en los planos del Proyecto.

**h) Colocación y Compactación**

▪ **Colocación**

Se deberán mantener las dimensiones y la forma geométrica de los elementos a hormigonar, evitando desplazamientos o deformaciones de las armaduras u otros elementos embebidos. El vaciado debe ser continuo y uniforme. Se deberá depositar tan cerca como sea posible de su posición

final, evitando un manipuleo excesivo. El hormigonado se realizará a una velocidad tal, que garantice que el material se encuentre siempre plástico, que fluya fácilmente en los espacios, y no produzca presiones mayores de 0,05 MPa sobre el moldaje.

En el momento de la colocación, se deberán cumplir las siguientes condiciones de temperatura: la temperatura del hormigón deberá ser menor que 35°C según NCh 170 en elementos corrientes y la temperatura ambiente deberá ser mayor que 5°C.

▪ **Compactación**

La compactación se deberá efectuar con los equipos adecuados (ya sean vibradores de inmersión, de superficie u otros) El equipo deberá elegirse según la Tabla 6.1, de acuerdo al asentamiento de cono del hormigón y a las condiciones particulares de la obra.

Docilidad	Asentamiento de cono (cm)	Altura máxima de la capa (cm)	Equipos (1)
Seca	≤ 2	30	Mecánicos de alta potencia
Plástica	3-5	30	Mecánicos corrientes, especiales o sus combinaciones
Blanda	6-9	50	Mecánicos corrientes, especiales o sus combinaciones
fluida	≥	50	Manuales o especiales

Tabla A5.1 Elección del equipo de compactación.  
(Manual de carreteras vol-5, 2008)

- (1): Los equipos mencionados corresponden a los siguientes:
- Equipos mecánicos de alta potencia: vibrador externo, pisón mecánico, pisón de compresión, vibrocompresión y otros.
  - Equipos mecánicos corrientes: vibrador de inmersión, vibrador superficial y otros.
  - Equipos especiales: equipos de vacío, de centrifugado y otro.
  - Equipos manuales: varillas, macetas, paletas y otros.

i) **Terminaciones**

En este tipo de terminación no se aceptarán protuberancias o depresiones superficiales mayores que 5 mm, respecto de la superficie proyectada. Si los requisitos estipulados no se logran totalmente con el moldaje usado en la obra, las superficies en falta deberán ser tratadas mediante arenado a presión u otros procedimientos de abrasión que permitan cumplir las exigencias de suavidad, lisura, textura y color.

j) **Protección y Curado del Hormigón**

La protección y curado del hormigón deberá efectuarse durante el período inicial de endurecimiento con los procedimientos y materiales

adecuados para mantener el hormigón en un ambiente saturado, evitando la pérdida del agua del hormigón; evitar cambios bruscos de la temperatura del hormigón; y preservar el hormigón de acciones externas como viento, lluvia, nieve, cargas y otros.

En ningún caso durante el período de curado, el hormigón deberá sufrir cargas, impactos, vibraciones, tránsito de personas y equipos, materiales y otros, que puedan dañar el hormigón o el material de curado.

Los materiales para iniciar la protección y curado se podrán elegir entre otros, los siguientes:

- compuestos formadores de membranas de curado
- neblina de vapor
- lloviznas tenues de agua.
- telas o tejidos absorbentes que se mantienen continuamente húmedos.
- cualquier material que retenga la humedad sin dañar la superficie del hormigón, como pueden ser láminas plásticas opacas, arena u otro recubrimiento similar.

**k) Moldajes**

El Contratista deberá presentar planos detallados de los moldes que se proponen utilizar, debiendo ser aprobados por la inspección técnica de obra antes de proceder a su confección. Los moldajes podrán ser de madera, acero u otro material (o una combinación de ellos), que garanticen un comportamiento resistente y terminación adecuada de las superficies.

**l) Desmolde y Descimbre**

El retiro de los moldajes deberá realizarse sin producir sacudidas, choques ni destrucción de aristas, en las esquinas o la superficie del hormigón. Cuando el retiro de los moldajes se realice durante el período de curado, las superficies de hormigón que queden expuestas, deberán someterse a las condiciones de curado que corresponda. En general, el descimbre depende de la resistencia que tenga el hormigón y de las características de los elementos estructurales.

**A5.2.5.2 Alcantarillas**

Los ductos de metal corrugado deberán estar constituidos por planchas acanaladas de acero zincado, de los espesores que se indiquen en el Proyecto y que cumplan con lo

establecido en NCh 532. El recubrimiento de zinc en ambas caras, será el especificado en el Proyecto, pero en ningún caso deberá ser inferior a 610 g/m<sup>2</sup>, determinado según lo establecido en NCh 570.

Antes de iniciar la instalación de los ductos, el Contratista solicitará la conformidad de la Inspección técnica de obra en cuanto a la calidad y estado de los elementos. Sólo se aceptarán ductos que se ajusten a lo establecido en NCh 567, sin desperfectos que comprometan la estabilidad y duración de la estructura. Se deberán cumplir además con lo siguiente:

- El espesor mínimo de las láminas de acero y el recubrimiento de zinc, serán los especificados en el Proyecto.
- Los tubos no presentarán bordes mellados o rasgados.
- El zincado no presentará saltaduras, escamas o resquebrajaduras
- Las perforaciones no tendrán rebabas
- Los pernos tendrán sus cabezas bien moldeadas.

**a) Excavación de la zanja y preparación del sello de fundación**

En cualquier tipo de construcción, las zanjas se excavarán hasta una profundidad mínima de 0,12 m por debajo de la base de las alcantarillas, de manera de dar cabida a una cama de apoyo de material granular sobre la cual se colocarán las tuberías. El sello de dichas excavaciones se perfilará con una tolerancia de  $\pm 20$  mm con respecto al plano de fondo establecido, y se compactará en una profundidad mínima de 0,20 m, hasta alcanzar como mínimo el 90% de la D.M.C.S

**b) Instalación del ducto**

Una vez terminados y aprobados por la inspección técnica los trabajos de excavación de zanja se podrá proceder con la instalación de los ductos. El armado de los ductos se iniciará en el punto bajo del tendido, colocando inicialmente el menor número posible de pernos para unirlos. Sólo después de haber montado una sección completa de tubos con apernado parcial, se deberá iniciar la colocación de los pernos restantes, apretando primeramente las tuercas a mano. Siempre se deberá trabajar desde el centro de la costura hacia los bordes. Una vez colocados todos los pernos de una sección, y comprobado que las partes estén bien alineadas y encajadas, se procederá a apretarlos. El apriete deberá alcanzar a 400 N·m, con  $\pm 40$  N·m de tolerancia.

### **A5.2.5.3 Muro de Mampostería de Piedra**

#### **a) Construcción**

El área de emplazamiento de las fundaciones deberá emparejarse, ajustándola a los alineamientos, cotas y dimensiones que se indiquen en el Proyecto. Se deberá eliminar el material suelto y todo material extraño que se encuentre en la superficie de emplazamiento, la cual deberá compactarse de forma tal, que se obtenga en los 0,20 m superiores, una densidad igual o mayor al 90% de la D.M.C.S. Antes de iniciar la construcción del muro, la inspección técnica deberá dar su conformidad a la superficie de fundación.

El área de fundación deberá humedecerse previo a la colocación de una capa de mortero de mínimo 50 mm de espesor. Las piedras deberán ser humedecidas y luego colocadas sobre la capa de mortero, de manera que queden perfectamente estables, no debiéndose en ningún caso acuñar con piedras de menor tamaño. Las piedras de mayor volumen y de altura similar, se colocarán en corridas a lo largo de los extremos del muro, debiendo formar un plano aproximadamente horizontal, tanto en el sentido longitudinal como transversal. Las rocas seleccionadas que presenten caras aproximadamente en ángulo recto, se deberán emplear en las esquinas de la estructura, y las restantes de menor volumen, deberán disponerse en el cuerpo del muro, de manera que su dimensión mayor quede en posición horizontal, y traslapando las juntas de la superficie exterior del muro en la mitad de su longitud o, como mínimo, en 15 cm. Todos los espacios se deberán rellenar con mortero, no debiendo quedar vacíos en ninguna parte. Las juntas horizontales y verticales de las caras expuestas de los muros no deberán tener menos de 5 mm ni más de 30 mm de ancho.

El tamaño de las piedras deberá decrecer con la altura del muro. Estas no se considerarán adecuadamente asentadas, hasta que el mortero no comience a salir por debajo de ellas.

#### **b) Protección y Curado**

La protección y curado de las obras de mampostería de piedra se ajustarán, a lo establecido en el punto 6.7.2.1 Hormigones.

#### **c) Juntas**

Dentro de las 24 horas siguientes a la construcción, las juntas de todas las caras expuestas deberán rasparse y limpiarse para eliminar el mortero suelto.

La obra deberá mantenerse húmeda mientras no se efectúen los trabajos de repaso de juntas.

**d) Limpieza de las Caras Expuestas**

Durante el proceso de construcción y con el mortero aún en estado fresco, se eliminará todo material en exceso adherido a las caras expuestas de las piedras. Estas se mantendrán limpias durante toda la construcción de la obra y hasta su recepción provisoria. En el caso que la inspección técnica lo estime necesario, todas las caras expuestas que aún acusen mortero adherido, deberán limpiarse previo a su recepción, mediante escobillas metálicas y ácido muriático diluido en agua, u otro procedimiento previamente aprobado por la inspección técnica

# **ANEXO 6**

## **Planos**