



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

## **MANUAL DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO DEL FLUJO GRADUALMENTE VARIADO EN CANALES ABIERTOS**

Rolando Estuardo Sac Castro  
Asesorado por el Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza

Guatemala, junio de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANUAL DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO DEL FLUJO  
GRADUALMENTE VARIADO EN CANALES ABIERTOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ROLANDO ESTUARDO SAC CASTRO**

ASESORADO POR EL ING. LUIS MANUEL SANDOVAL MENDOZA

AL CONFERÍRSE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, JUNIO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

Decano	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Vocal I	Inga. Glenda Patricia García Soria
Vocal II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spinola de López
Vocal III	Ing. Miguel Ángel Dávila Cordón
Vocal IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
Vocal V	Br. José Alfredo Ortiz Herincx
Secretaria	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GERENAL PRIVADO**


Decano	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Examinador	Inga. María del Mar Girón Cordón
Examinador	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
Examinador	Ing. Jeovany Rudamán Miranda Castañón
Secretaria	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **MANUAL DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO DEL FLUJO GRADUALMENTE VARIADO EN CANALES ABIERTOS,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil,  
con fecha de 5 de agosto de 2009

  
Rolando Estuardo Sac Castro

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 8 de Febrero de 2010

Ingeniero

Pedro Antonio Aguilar Polanco

Jefe del Departamento de Hidráulica

Facultad de Ingeniería

Después de revisar el trabajo de graduación del estudiante Rolando Estuardo Sac Castro, quien se identifica con carné No. 2005-11952, titulado MANUAL DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO DEL FLUJO GRADUALMENTE VARIADO EN CANALES ABIERTOS, después de haber hecho las correcciones necesarias lo doy por aprobado y lo autorizo para continuar con el proceso correspondiente.

Sin otro particular, me despido atentamente.

*"ID y Enseñad a Todos"*

Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza

Colegiado No. 6496

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



Guatemala,  
5 de abril de 2010

**FACULTAD DE INGENIERIA**

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Guatemala

Estimado Ingeniero Montenegro.

Atentamente y por este medio, envío a usted, el trabajo de graduación desarrollado por el estudiante ROLANDO ESTUARDO SAC CASTRO, titulado MANUAL DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO DEL FLUJO GRADUALMENTE VARIADO EN CANALES ABIERTOS.

Por lo que, habiendo cumplido con los objetivos y los requisitos de ley del referido trabajo; y existiendo la APROBACIÓN DEL MISMO, por parte del Asesor Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza y habiéndose efectuado todas las observaciones técnicas, el suscrito lo da por APROBADO, solicitándole darle el trámite respectivo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Jefe del Departamento de Hidráulica  
Escuela de Ingeniería Civil



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
USAC



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza y del Jefe del Departamento de Hidráulica, Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco, al trabajo de graduación del estudiante Rolando Estuardo Sac Castro, titulado **MANUAL DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO DEL FLUJO GRADUALMENTE VARIADO EN CANALES ABIERTOS**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, junio de 2010

/bbdeb.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

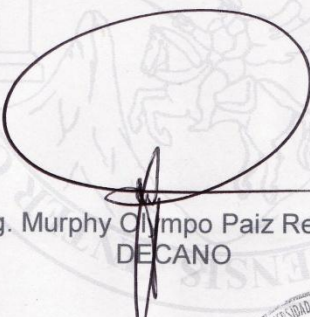


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.196.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **MANUAL DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO DEL FLUJO GRADUALMENTE VARIADO EN CANALES ABIERTOS**, presentado por el estudiante universitario **Rolando Estuardo Sac Castro**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, junio de 2010



/gdech



## **DEDICATORIA A:**

### **Mis padres**

Guillermo y Silvia, por su esfuerzo, consejos y apoyo incondicional brindado a lo largo de mi vida, y porque sin ustedes esta meta no hubiera sido posible.

### **Mis hermanos**

Cintya y Fernando, con cariño especial.

### **Mi familia**

Por toda la ayuda brindada durante estos años.

### **Mis amigos**

Por su amistad y su apoyo brindado en todo momento.

## **AGRACECIMIENTOS A:**

### **DIOS**

Por darme la paciencia y sabiduría para el logro de mis metas, y por las bendiciones dadas a lo largo de mi vida.

### **Mis padres**

Por los años de trabajo y sacrificio, con el fin de sacar adelante a la familia.

### **MIS HERMANOS**

Por compartir conmigo estos momentos.

### **MI FAMILIA Y AMIGOS**

Por sus consejos y apoyo incondicional.

### **ING. LUIS SANDOVAL**

Por brindar su valiosa colaboración para la realización del presente trabajo de graduación.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	III
<b>GLOSARIO</b>	XI
<b>RESUMEN</b>	XIII
<b>OBJETIVOS</b>	XV
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XVII
<b>1. FLUJO GRADUALMENTE VARIADO</b>	1
1.1. Definición	1
1.1.1. Consideraciones generales	2
1.1.2. Ecuación dinámica del flujo gradualmente variado	3
1.2. Curva de remanso	8
1.3. Clasificación y nomenclatura de las curvas de remanso	8
1.4. Propiedades generales de las curvas de remanso	15
1.5. Procedimiento para determinar el tipo de curva de remanso	19
1.6. Sección de control	21
<b>2. MÉTODOS DE CÁLCULO</b>	25
2.1. Método de integración gráfica	25
2.2. Método de integración directa	30
2.2.1. Solución de Bakhmeteff-Ven Te Chow	31
2.3. Método numérico	51
2.3.1. Método de tramos fijos	51
<b>3. PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>	57
3.1. Descripción del equipo	57
3.2. Descripción de la práctica	57
3.3. Desarrollo de la práctica	60

3.4.	Determinación de tirantes normales y tirantes críticos por medio del método algebraico	71
3.5.	Determinación de perfiles de flujo por medio del método de integración gráfica	76
3.6.	Determinación de perfiles de flujo por medio del método de integración directa	
3.6.1.	Solución de Bakhmeteff-Ven Te Chow	87
3.7.	Método numérico	
3.7.1.	Método de tramos fijos	100
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>117</b>
4.1.	Comparación de resultados	117
4.2.	Gráficos comparativos para cada uno de los métodos de cálculo	143
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>153</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>155</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>157</b>
	<b>APÉNDICE</b>	<b>159</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>165</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Flujo gradualmente variado	1
2.	Tramo de longitud $dx$	4
3.	Clasificación de los perfiles de flujo en flujo gradualmente variado	9
4.	Ejemplos de perfiles de flujo	13
5.	Primera propiedad general de las curvas de remanso	16
6.	Segunda propiedad general de las curvas de remanso	17
7.	Tercera propiedad general de las curvas de remanso	18
8.	Ejemplo de una sección de control	23
9.	Tramo de un canal	27
10.	Área bajo la curva	27
11.	Curvas $f(y)$ para diferentes tipos de curvas de remanso	30
12.	Curvas de valores de $N$	45
13.	Curvas de valores de $M$	49
14.	Bosquejo de canal	58
15.	Detalle de sección de canal	59
16.	Gráfico para primer perfil M1 utilizando los datos de ensayo	63
17.	Gráfico para segundo perfil M1 utilizando los datos de ensayo	63
18.	Gráfico para primer perfil M2 utilizando los datos de ensayo	67
19.	Gráfico para segundo perfil M2 utilizando los datos de ensayo	67
20.	Gráfico para primer perfil M3 utilizando los datos de ensayo	70
21.	Gráfico para segundo perfil M3 utilizando los datos de ensayo	70

22. Gráfico comparativo de primer perfil M1 (método de integración gráfica)	144
23. Gráfico comparativo de segundo perfil M1 (método de integración gráfica)	144
24. Gráfico comparativo de primer perfil M1 (solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow )	145
25. Gráfico comparativo de segundo perfil M1 (solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow )	145
26. Gráfico comparativo de primer perfil M1 (método de tramos fijos)	146
27. Gráfico comparativo de primer segundo M1 (método de tramos fijos)	146
28. Gráfico comparativo de primer perfil M2 (método de integración gráfica)	147
29. Gráfico comparativo de segundo perfil M2 (método de integración gráfica)	147
30. Gráfico comparativo de primer perfil M2 (solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow )	148
31. Gráfico comparativo de segundo perfil M2 (solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow )	148
32. Gráfico comparativo de primer perfil M2 (método de tramos fijos)	149
33. Gráfico comparativo de primer segundo M2 (método de tramos fijos)	149
34. Gráfico comparativo de primer perfil M3 (método de integración gráfica)	150
35. Gráfico comparativo de segundo perfil M3 (método de integración gráfica)	150
36. Gráfico comparativo de primer perfil M3 (solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow )	151
37. Gráfico comparativo de segundo perfil M3 (solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow )	151

38.	Gráfico comparativo de primer perfil M3 (método de tramos fijos)	152
39.	Gráfico comparativo de primer segundo M3 (método de tramos fijos)	152
40.	Detalle del canal de laboratorio de Hidráulica	159
41.	Generación de perfil M1	159
42.	Generación de perfil M2	160
43.	Generación de perfil M3	160
44.	Detalle de instrumento de medición de tirantes (limnómetro)	161
45.	Medición de tirantes	161
46.	Aforo volumétrico	162
47.	Lectura del piezómetro ubicado en el tanque calibrado	162

## TABLAS

I.	Clasificación de las curvas de remanso	14
II.	Modelo de cálculo para el método de integración gráfica	29
III.	Valores de N para canales trapezoidales	43
IV.	Valores de M para canales trapezoidales	47
V.	Tabulación para hallar el valor de $y_2$	56
VI.	Tabulación para el método de tramos fijos	56
VII.	Cálculo de caudales para perfiles M1	61
VIII.	Datos obtenidos de los ensayos para los perfiles M1	62
IX.	Cálculo de caudales para perfiles M2	64
X.	Datos obtenidos de los ensayos para los perfiles M2	65
XI.	Cálculo de caudales para perfiles M3	68
XII.	Datos obtenidos de los ensayos para los perfiles M3	69
XIII.	Cálculo del tirante normal para el caudal 1 del perfil M1	72

XIV.	Cálculo del tirante normal para el caudal 2 del perfil M1	72
XV.	Cálculo del tirante normal para el caudal 1 del perfil M2	72
XVI.	Cálculo del tirante normal para el caudal 2 del perfil M2	73
XVII.	Cálculo del tirante normal para el caudal 1 del perfil M3	73
XVIII.	Cálculo del tirante normal para el caudal 2 del perfil M3	73
XIX.	Cálculo del tirante crítico para el caudal 1 del perfil M1	74
XX.	Cálculo del tirante crítico para el caudal 2 del perfil M1	74
XXI.	Cálculo del tirante crítico para el caudal 1 del perfil M2	75
XXII.	Cálculo del tirante crítico para el caudal 2 del perfil M2	75
XXIII.	Cálculo del tirante crítico para el caudal 1 del perfil M3	75
XXIV.	Cálculo del tirante crítico para el caudal 2 del perfil M3	76
XXV.	Valores del tirante normal y tirante crítico para perfil M1	77
XXVI.	Datos del método de integración gráfica para primer perfil M1	79
XXVII.	Datos del método de integración gráfica para segundo perfil M1	80
XXVIII.	Valores del tirante normal y tirante crítico para perfil M2	81
XXIX.	Datos del método de integración gráfica para primer perfil M2	82
XXX.	Datos del método de integración gráfica para segundo perfil M2	83
XXXI.	Valores del tirante normal y tirante crítico para perfil M3	84
XXXII.	Datos del método de integración gráfica para primer perfil M3	85
XXXIII.	Datos del método de integración gráfica para segundo perfil M3	86
XXXIV.	Datos de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow para el primer perfil M1	90
XXXV.	Datos de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow para el segundo perfil M1	91
XXXVI.	Datos de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow para el primer perfil M2	94



XXXVII.	Datos de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow para el segundo perfil M2	95
XXXVIII.	Datos de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow para el primer perfil M3	98
XXXIX.	Datos de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow para el segundo perfil M3	99
XL.	Datos del método de tramos fijos para el primer perfil M1	105
XLI.	Datos del método de tramos fijos para el segundo perfil M1	107
XLII.	Datos del método de tramos fijos para el primer perfil M2	110
XLIII.	Datos del método de tramos fijos para el segundo perfil M2	112
XLIV.	Datos del método de tramos fijos para el primer perfil M3	115
XLV.	Datos del método de tramos fijos para el segundo perfil M3	116
XLVI.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por el método de integración gráfica correspondientes al caudal 1 del perfil M1	118
XLVII.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por el método de integración gráfica correspondientes al caudal 2 del perfil M1	119
XLVIII.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow correspondientes al caudal 1 del perfil M1	120

XLIX.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow correspondientes al caudal 2 del perfil M1	121
L.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio del método de tramos fijos correspondientes al caudal 1 del perfil M1	122
LI.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio del método de tramos fijos correspondientes al caudal 2 del perfil M1	123
LII.	Comparación de resultados para el primer perfil M1	124
LIII.	Comparación de resultados para el segundo perfil M1	125
LIV.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por el método de integración gráfica correspondientes al caudal 1 del perfil M2	127
LV.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por el método de integración gráfica correspondientes al caudal 2 del perfil M2	128
LVI.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow correspondientes al caudal 1 del perfil M2	129
LVII.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow correspondientes al caudal 2 del perfil M2	130
LVIII.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio del método de tramos fijos correspondientes al caudal 1 del perfil M2	131

LIX.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio del método de tramos fijos correspondientes al caudal 2 del perfil M2	132
LX.	Comparación de resultados para el primer perfil M2	133
LXI.	Comparación de resultados para el segundo perfil M2	134
LXII.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por el método de integración gráfica correspondientes al caudal 1 del perfil M3	135
LXIII.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por el método de integración gráfica correspondientes al caudal 2 del perfil M3	136
LXIV.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow correspondientes al caudal 1 del perfil M3	137
LXV.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow correspondientes al caudal 2 del perfil M3	138
LXVI.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio del método de tramos fijos correspondientes al caudal 1 del perfil M3	139
LXVII.	Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio del método de tramos fijos correspondientes al caudal 2 del perfil M3	140
LXVIII.	Comparación de resultados para el primer perfil M3	141
LXIX.	Comparación de resultados para el segundo perfil M3	142
LXX.	Volumen de agua en le tanque en función de la altura del piezómetro	163

LXXI. Funciones de flujo gradualmente variado para pendientes  
positivas

165

## GLOSARIO

<b>Coeficiente de Coriolis (<math>\alpha</math>)</b>	También conocido como coeficiente de energía, es un factor cuyo rango, según datos experimentales, varía desde 1.03 hasta 1.36 para canales prismáticos aproximadamente rectos.
<b>Flujo crítico</b>	Tipo de flujo que se produce cuando el número de Froude es igual a 1.
<b>Flujo permanente</b>	Tipo de flujo en el que sus características hidráulicas permanecen constantes para el intervalo de tiempo bajo consideración y prevalece la distribución hidrostática de presiones sobre la sección de canal.
<b>Flujo subcrítico</b>	Tipo de flujo que se produce cuando el número de Froude es menor que 1.
<b>Flujo supercrítico</b>	Tipo de flujo que se produce cuando en número de Froude es mayor que 1.
<b>Pendiente suave</b>	Se dice que se genera una pendiente suave cuando, para las condiciones hidráulicas (Q) y características del canal (b, T, n, $S_o$ ), se genera un tirante normal ( $y_n$ ) mayor que el crítico ( $y_c$ ); esto es $y_n > y_c$ , también $S_o < S_c$ .

<b>Pendiente crítica</b>	Es aquella pendiente de fondo con la cual se satisface, para las condiciones dadas, que el tirante normal es igual al tirante crítico, esto es normal $y_n = y_c$ , también $S_o = S_c$ .
<b>Pendiente fuerte</b>	Es aquella con la cual, para las condiciones dadas, se produce un tirante normal menor que el tirante crítico, esto es normal $y_n < y_c$ , también $S_o > S_c$ .
<b>Pendiente horizontal</b>	Es aquella en la cual $S_o = 0$ y como consecuencia el tirante normal se hace infinito.
<b>Pendiente adversa</b>	Es aquella en la cual el líquido trabaja en contra de la gravedad, ya que el fondo del canal aumenta en el sentido del flujo, es decir, la pendiente es negativa.
<b>Resalto hidráulico</b>	Fenómeno local, que se presenta en el flujo rápidamente variado, el cual va siempre acompañado por un aumento súbito del tirante y una pérdida de energía bastante considerable, en un tramo corto.

## RESUMEN

Dentro de la diversidad de obras hidráulicas que deben diseñarse para luego llevar a cabo su construcción se encuentran los canales, los cuales tienen diferentes aplicaciones que van desde la captación hasta la evacuación del agua, para lo cual es importante saber los fundamentos básicos sobre la Hidráulica de Canales y conocer los diferentes comportamientos que el flujo presenta a lo largo de su recorrido debido a los cambios de pendiente.

Bajo esos lineamientos, se hace necesario contar con un documento que contenga la información necesaria para modelar algunos perfiles de flujo y poder aplicar los distintos métodos que existen para el análisis de los mismos.

Es por ello que el presente trabajo de graduación contiene la descripción detallada del método de integración gráfica, la solución de Bakhmeteff - Ven Te Chow y el método de tramos fijos, los cuales son utilizados para predecir el comportamiento del flujo gradualmente variado a lo largo de un canal, lo cual se encuentra contenido de forma teórica dentro de los capítulos 1 y 2.

En el capítulo 3 se muestran los datos obtenidos a partir de los ensayos realizados en el canal ubicado en el área del laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, así como el desarrollo para la obtención de los datos calculados para cada tipo de perfil utilizando los diferentes métodos bajo análisis.

En el capítulo 4 se muestra una comparación por medio de tablas y de forma gráfica la información obtenida en los ensayos y de los datos calculados.



## OBJETIVOS

### ❖ General:

Realizar un manual de laboratorio para el estudio del flujo gradualmente variado en canales abiertos, con el fin de ser utilizado como un texto de referencia en los cursos de Hidráulica e Hidráulica de Canales.

### ❖ Específicos:

1. Proponer prácticas de análisis de flujo gradualmente variado para el laboratorio de Hidráulica de Canales.
2. Realizar comparaciones entre los perfiles de flujo que se simularán en el laboratorio de Hidráulica con los perfiles generados utilizando los métodos de integración gráfica, solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow y método de tramos fijos.
3. Establecer teóricamente las características generales de los diferentes métodos bajo análisis.
4. Presentar de una manera clara, sencilla y práctica los diferentes métodos para el análisis de flujo gradualmente variado.

5. Realizar un documento que muestre la aplicación y utilización de los diferentes métodos bajo análisis.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de la gran diversidad de ramas de la Ingeniería, se encuentra la Hidráulica la cual da a conocer al estudiante de Ingeniería Civil los principios físicos del flujo de fluidos, con el fin de brindar soluciones para la conducción de agua en sus diferentes tipos como agua potable, aguas residuales y agua pluvial. Una de las formas más comunes de conducción de agua en diferentes obras civiles son los canales, ya que forman una parte importante por su funcionalidad, la cual se basa en su principio de conducción a través de la gravedad. En el medio es común encontrar obras hidráulicas, como los canales, los cuales deben diseñarse o construirse, para lo cual es importante saber los fundamentos básicos sobre la Hidráulica de Canales y conocer los diferentes comportamientos que éstos puedan presentar a lo largo de su recorrido debido a los cambios de pendiente, pero es muy frecuente que se carezca del conocimiento adecuado, como lo son los diferentes métodos de análisis para el flujo gradualmente variado, lo cual impide llevar a cabo dicho trabajo de forma rápida y ventajosa.

En el siguiente trabajo de graduación se plantea la idea de analizar el comportamiento que tiene el flujo gradualmente variado, cuando es conducido a lo largo de un canal, el cual puede llegar a adoptar ciertas formas ya tipificadas en su desplazamiento. Es por ello que se presenta un enfoque hacia este tipo de flujo para ser estudiado en su recorrido, ya que en el mismo se describen diferentes formas o perfiles, caracterizándose por la variación continua del tirante.

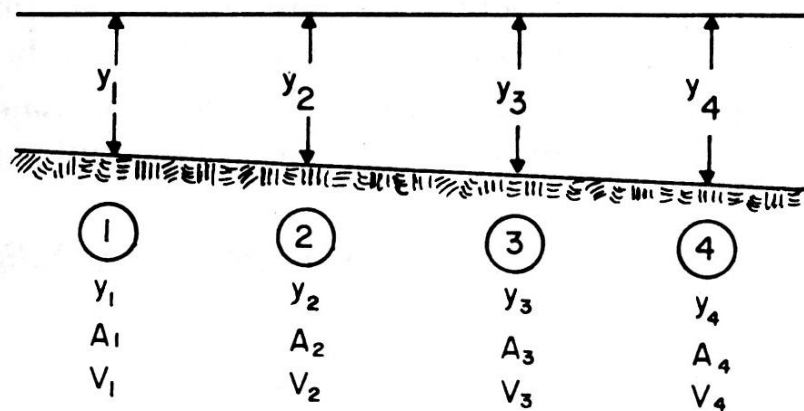
El método de integración directa, la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow y el método de tramos fijos serán los métodos empleados para realizar el análisis del comportamiento del flujo gradualmente variado, para lo cual se cuenta con una descripción detallada de cada uno de ellos, siendo ésta la base teórica en la que se fundamenta el presente trabajo.

# 1. FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

## 1.1 Definición

El flujo gradualmente variado constituye una clase especial del flujo permanente no uniforme, se caracteriza por una variación continua del tirante a lo largo del canal (figura 1). Este tipo de flujo se presenta en la llegada o salida de estructuras hidráulicas tales como represas, compuertas, vertederos, etc.; y en general cuando las condiciones cambian abruptamente, o bien cuando en el recorrido se presenta algún obstáculo que haga variar las condiciones del movimiento.

Figura 1. Flujo gradualmente variado



Fuente: Máximo, Villón, **Hidráulica de canales**, pág. 257

### 1.1.1 Consideraciones generales

Todas las teorías desarrolladas giran alrededor de la siguiente suposición básica:

“La pérdida de altura en una sección es la misma que para el flujo uniforme que tiene la velocidad y el radio hidráulico de la sección”.<sup>1</sup>

De acuerdo con esta suposición, la ecuación del flujo uniforme puede utilizarse para evaluar la pendiente de energía de un flujo gradualmente variado en una sección de canal determinada, de igual forma, el coeficiente de rugosidad, mostrado para el flujo uniforme, será el mismo para el flujo variado.

Además de la anterior suposición básica, también se utilizan las siguientes suposiciones donde se necesite una simplificación adicional en los análisis subsecuentes:

1. El flujo es permanente, es decir, que las características del flujo son constantes en el intervalo de tiempo considerado.
2. Las líneas de corriente son prácticamente paralelas, es decir, que la distribución de presiones es hidrostática en cada sección del canal.
3. La pendiente de fondo del canal es uniforme y pequeña, de tal manera que el tirante de flujo es el mismo, cuando la vertical o normal se toma como referencia al fondo del canal, y además, no ocurre incorporación de aire al interior del flujo.

<sup>2</sup>  
1] **Flujo gradualmente variado.** (ref. de agosto 2009). Disponible en:  
<http://fluidos.eia.edu.co/lhidraulica/guias/flujogradualmentevariado/flujogradualmentevariado.html>

4. El canal es prismático, lo que significa que la forma y la alineación del canal son constantes.
5. La forma de distribución de velocidades en las distintas secciones es constante, de modo que el coeficiente de Coriolis  $\alpha$ , se mantiene constante.
6. El coeficiente de rugosidad es independiente del tirante del flujo y constante en el tramo del canal considerado.

### 1.1.2 Ecuación dinámica del flujo gradualmente variado

Si se considera el perfil de flujo gradualmente variado en la longitud diferencial  $dx$  de un canal abierto (figura 2).

donde;

$E$  = energía total para una sección cualquiera

$dE$  = diferencial de energía o cambio de energía en el  $dx$

$dx$  = longitud diferencial del tramo del canal

$dZ$  = incremento en la altura o carga de posición de la sección  $dx$

$SE$  = pendiente de energía o cargas totales, constantes en el  $dx$  considerado, pero variable a lo largo de la dirección  $x$

$SW$  = pendiente de la superficie libre o eje hidráulico

$So$  = pendiente longitudinal del fondo del canal, constante

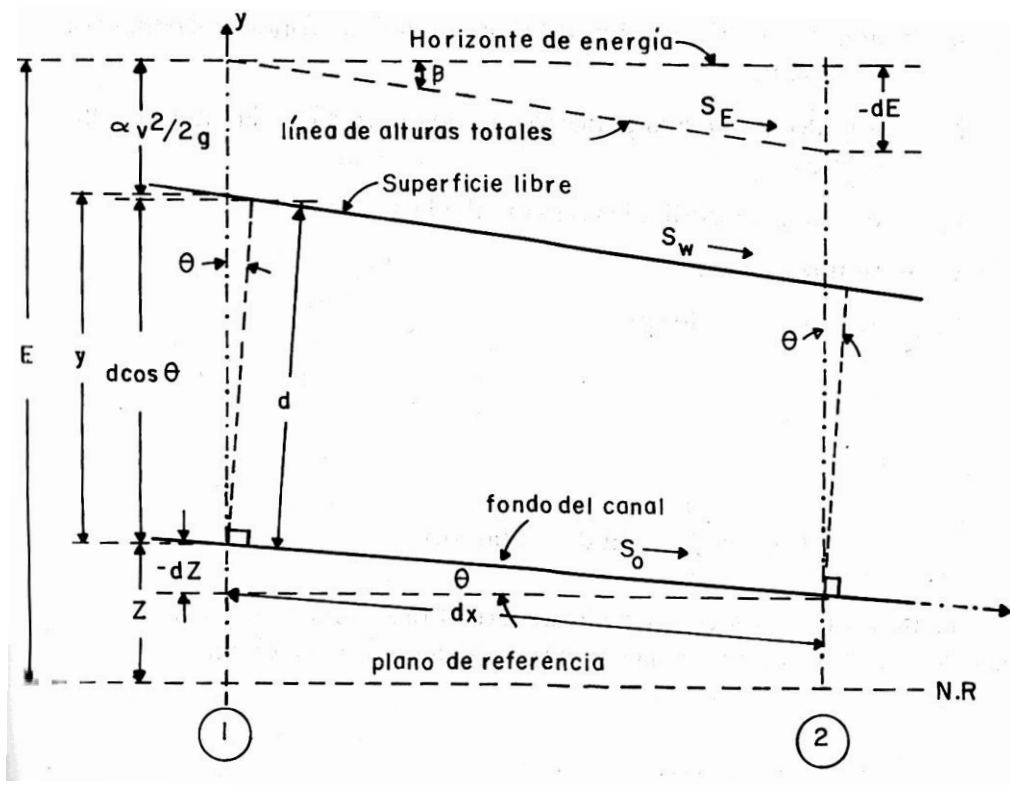
$\Theta$  = ángulo que forma el perfil longitudinal del fondo del canal con la horizontal

B = ángulo que forma el horizonte de energía con la línea de alturas totales  
 totales

d = tirante perpendicular o normal a la sección

y = tirante vertical

Figura 2. Tramo de longitud  $dx$



Fuente: Máximo, Villón, **Hidráulica de canales**, pág. 259

En general se cumple que:

$$S_o \neq S_w \neq S_E$$

$$\theta \neq \beta$$

$$d \cos \theta = y = \frac{P}{\gamma}, \text{ para } \theta = \text{pequeño}$$



Estudiando una sección cualquiera del flujo, como la representada en la sección 1, se obtiene que la carga o energía total sobre el plano de referencia es:

$$E = Z + y + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (1-1)$$

$\alpha$  es el coeficiente de Coriolis que se supone constante en el tramo del canal considerado,  $Z$  es la altura de posición,  $V$  es la velocidad en el tramo y  $g$  es la aceleración de la gravedad.

Tomando el fondo del canal como el eje  $x$ , y diferenciando la ecuación (1-1) con respecto a esta longitud, se tiene:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{dZ}{dx} + \frac{dy}{dx} + \alpha \frac{d}{dx} \left( \frac{V^2}{2g} \right) \quad (1-2)$$

Interpretación de cada uno de los términos:

- a)  $-\frac{dE}{dx} = S_E$  pendiente de la línea de energía, el signo negativo se debe al hecho de que hay disminución de energía útil en el sentido del escurrimiento, luego

$$\frac{dE}{dx} = -S_E \quad (1-3)$$

- b)  $-\frac{dZ}{dx} = tg\theta = sen\theta = S_o$  (para  $\theta =$  pequeño), pendiente de fondo el signo negativo se debe a que  $Z$  decrece a medida que  $x$  crece, es decir,  $S_o$  se supone positiva si la inclinación es descendente hacia aguas abajo ( $Z$  decrece cuando  $x$  crece) y negativa en caso contrario, luego:

$$\frac{dz}{dx} = -S_o \quad (1-4)$$

$$c) \alpha \frac{d}{dx} \left( \frac{V^2}{2g} \right) = \frac{\alpha}{g} v \frac{dv}{dx} = \frac{\alpha}{g} v \frac{dv}{dy} \cdot \frac{dy}{dx} \quad (1-5)$$

de otro lado:

$$\frac{dv}{dx} = \frac{d}{dy} \left( \frac{Q}{A} \right) = \frac{Q}{A^2} \frac{dA}{dy} = -\frac{Q}{A^2} T = \frac{v}{A/T} \quad (1-6)$$

Sustituyendo (1-6) en (1-5), resulta:

$$\alpha \frac{d}{dx} \left( \frac{V^2}{2g} \right) = \alpha \frac{v^2}{gA/T} \frac{dy}{dx} \quad (1-7)$$

Pero en forma general, se tiene que:

$$\alpha \frac{v^2}{gA/T} = F^2 \quad (1-8)$$

luego:

$$\alpha \frac{d}{dx} \left( \frac{V^2}{2g} \right) = -F^2 \frac{dy}{dx} \quad (1-9)$$

Sustituyendo (1-3), (1-4) y (1-9) en (1-2), resulta:

$$-S_E = -S_o + \frac{dy}{dx} - F^2 \frac{dy}{dx}$$

o también:

$$(1 - F^2) \frac{dy}{dx} = S_o - S_E$$

de donde:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_o - S_E}{1 - F^2} \quad \text{o} \quad \frac{dy}{dx} = S_o \frac{1 - \frac{S_E}{S_o}}{1 - F^2} \quad (1-10)$$

De (1-8) en (1-10) se obtiene:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_o - S_E}{1 - \alpha \frac{v^2 T}{gA}} \quad \text{o} \quad \frac{dy}{dx} = S_o \frac{1 - \frac{S_E}{S_o}}{1 - \alpha \frac{v^2 T}{gA}} \quad (1-11)$$

En la práctica se adopta  $\alpha = 1$ , de lo cual se obtiene:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_o - S_E}{1 - \frac{v^2 T}{gA}} \quad \text{o} \quad \frac{dy}{dx} = S_o \frac{1 - \frac{S_E}{S_o}}{1 - \frac{v^2 T}{gA}} \quad (1-12)$$

En (1-12) reemplazando  $v = \frac{Q}{A}$ , de la ecuación de continuidad resulta:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_o - S_E}{1 - \frac{Q^2 T}{gA^3}} \quad \text{o} \quad \frac{dy}{dx} = S_o \frac{1 - \frac{S_E}{S_o}}{1 - \frac{Q^2 T}{gA^3}} \quad (1-13)$$

Las ecuaciones (1-10), (1-11), (1-12) y (1-13) son diferentes formas de representar la ecuación diferencial del flujo gradualmente variado y se denomina con el nombre de ecuación dinámica del flujo gradualmente variado.

Estas ecuaciones representan la pendiente de la superficie del agua con respecto al fondo del canal; el tirante  $y$  se mide a partir del fondo del canal, tomándose este fondo como eje de abscisas ( $x$ ).

## **1.2 Curvas de remanso**

Se llaman curvas de remanso o ejes hidráulicos, a los perfiles longitudinales que adquiere la superficie libre del líquido en un canal cuando se efectúa un escurrimiento bajo las condiciones del flujo gradualmente variado.

Acudiendo a la ecuación (1-13) y basándose en observaciones empíricas se han logrado obtener los diferentes tipos de curvas, cuya forma depende de las condiciones de tirantes y pendientes que se tengan en cada caso.

## **1.3 Clasificación y nomenclatura de las curvas de remanso**

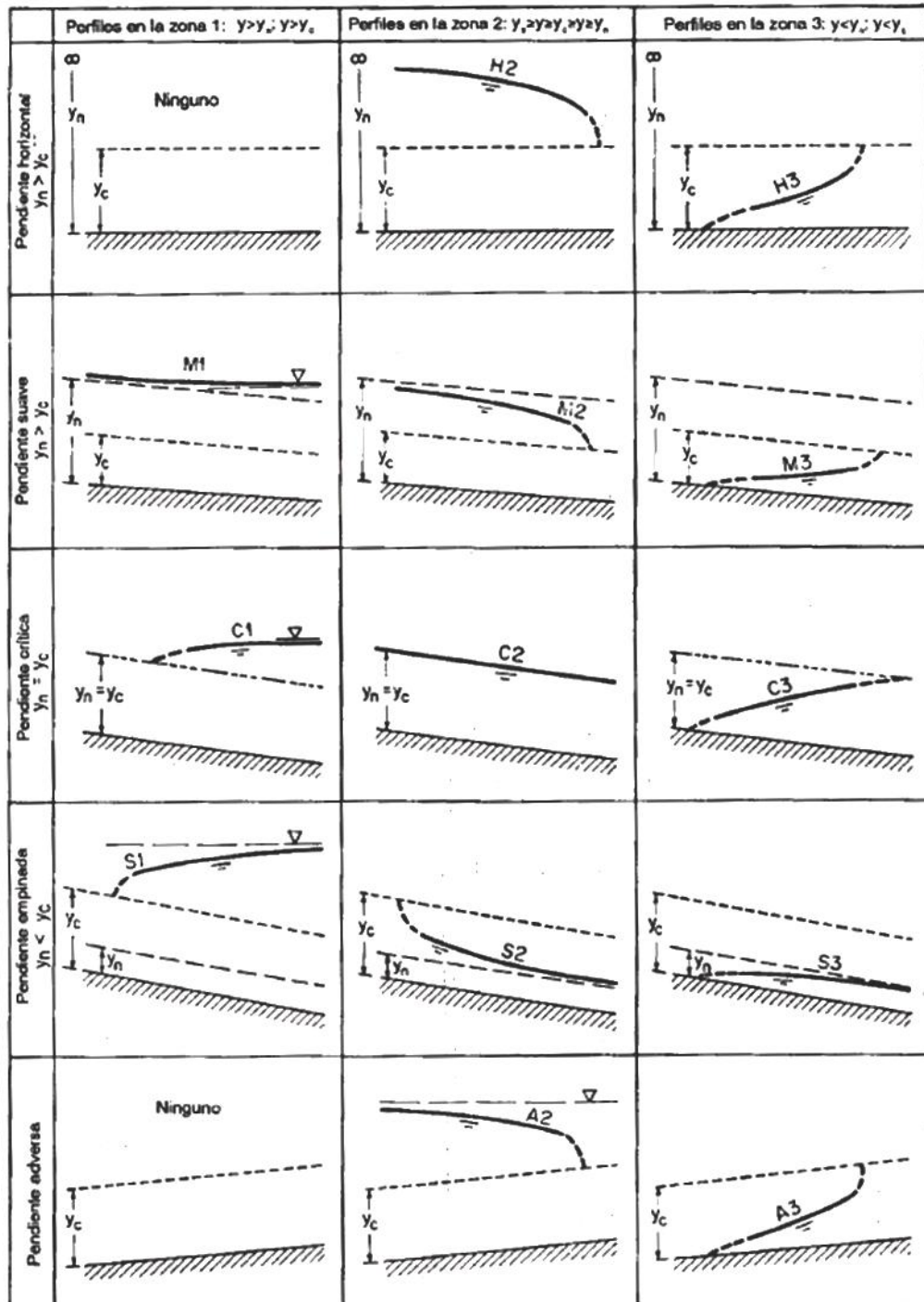
Para un caudal y unas condiciones de canal determinados las líneas de profundidad normal y las líneas de profundidad crítica dividen el espacio de un canal en tres zonas:

Zona 1. El tirante real de escurrimiento posee valores mayores que el normal y el crítico

Zona 2. El tirante real de flujo se encuentra entre el normal y el crítico

Zona 3. El tirante real esta por debajo de los valores del normal y el crítico

Figura 3. Clasificación de los perfiles de flujo en flujo gradualmente variado



Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 221

Luego, los perfiles de flujo pueden clasificarse en trece tipos diferentes de acuerdo con la naturaleza de la pendiente del canal y la zona en la cual se encuentra la superficie del flujo (tabla I). Estos tipos se designan como H2, H3; M1, M2, M3; C1, C2, C3; S1, S2, S3; y A2, A3; donde la letra describe la pendiente: H para horizontal, M para suave (subcrítica), C para crítica, S para empinada (supercrítica) y A para pendiente adversa, y el número representa el número de la zona donde se produce (figura 3). De los trece tipos de perfiles de flujo, doce son para flujo gradualmente variado, y uno, C2, es para flujo uniforme. Como los perfiles cerca de la profundidad crítica y del fondo del canal no pueden definirse con exactitud mediante la teoría de flujo gradualmente variado, éstos se muestran con líneas punteadas. Varios de los perfiles de flujo se analizan a continuación.

*A. Perfiles tipo M.  $S_0 < S_c$  y  $y_n > y_c$ .*

El perfil M1 es el perfil de la superficie más conocido del cual todas las curvas de remanso toman su nombre y es la más importante desde el punto de vista práctico. Se forma encima de la línea de tirante normal. Ocurre cuando el agua es remansada en una corriente por las aguas altas en el canal de aguas abajo, como se muestra en las figuras 4a y 4b

El perfil M2 se forma entre las líneas de tirante normal y crítico. Ocurre en las condiciones ilustradas en las figuras 4 c y 4d y corresponde a un aumento en la anchura o pendiente del canal.

El perfil M3 se forma entre el fondo del canal y la línea de tirante crítico. Termina en un resalto hidráulico, excepto cuando ocurre una bajada en el canal antes que pueda formarse un salto. Los ejemplos de la curva M3 se muestran

en las figuras 4e y 4f (una compuerta de desagüe parcialmente abierta y una disminución en la pendiente del canal, respectivamente).

*B. Perfiles tipo S.  $S_o < S_c$  y  $y_n < y_c$ .*

El perfil S1 empieza en un resalto hidráulico se extiende aguas abajo y se vuelve tangente a una línea horizontal (Fig. 4g y 4h) en condiciones del canal correspondientes a las de las figuras 4a y 4b.

El perfil S2, que se suele llamar curva de abatimiento, se extiende aguas abajo desde el tirante crítico y se vuelve tangente a la línea de tirante normal en las condiciones correspondientes a las de las figuras 4i y 4j.

El perfil S3 es del tipo de transición. Se forma entre dos tirantes normales menores que el tirante crítico en las condiciones correspondientes a las de las figuras 4k y 4l.

*C. Perfiles tipo C.  $S_o = S_c$  y  $y_n = y_c$ .*

Estos perfiles representan las condiciones de transición entre los perfiles M y S, como se muestra en las figuras 4m y 4n.

*D. Perfiles tipo H.  $S_o = 0$  y  $y_n = \infty$ .*

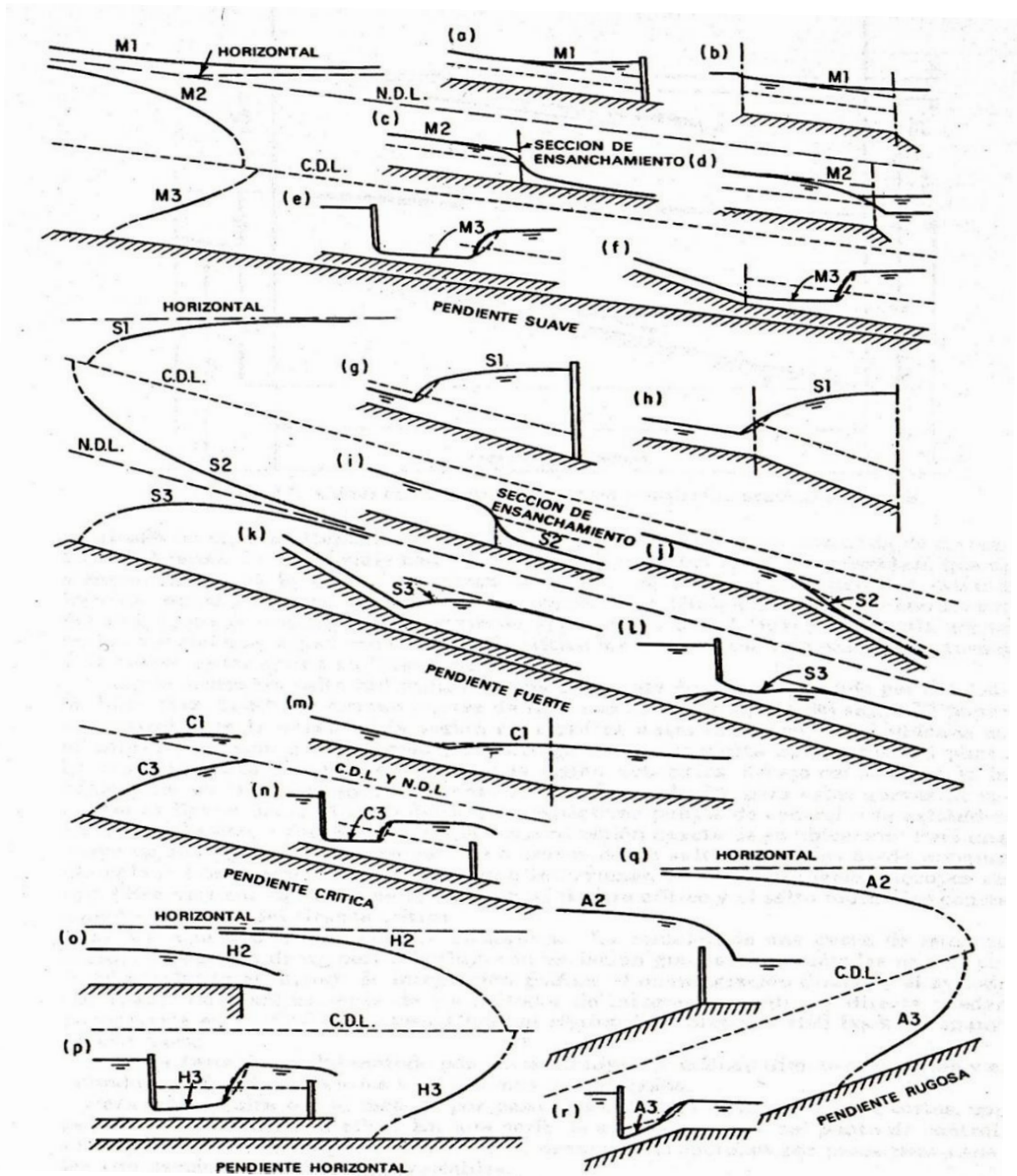
Éstos son los casos limitantes de perfiles M cuando el fondo del canal se vuelve horizontal. Los perfiles H2 y H3 corresponden a los perfiles M2 y M3, pero un perfil H1 no puede establecerse en realidad, debido a que  $y_n$ , es infinito, como se muestra en las figuras 4o y 4p.

*E. Perfiles tipo A.  $S_0 < 0$ .*

El perfil A1 es imposible debido a que el valor de  $y_n$  no es real. Los perfiles A2 y A3 son similares a los perfiles H2 y H3, respectivamente. En general los perfiles tipo A rara vez ocurren. Ejemplos se muestran en las figuras 4q y 4r.



Figura 4. Ejemplos de perfiles de flujo



Fuente: Frederick, Merritt, **Manual del ingeniero civil**, pág. 21-51

Tabla I. Clasificación de las curvas de remanso

Pendiente del canal	Relaciones de tirantes	$\frac{dy}{dx}$	Prof. en el sent. de la corriente	Curva	Tipo de flujo	Forma del perfil y sentido de cálculo
Suave $0 < S < S_c$	$y > y_n > y_c$	$\frac{+}{+} = +$	Aumenta	$M_1$	Subcrítico	
	$y_n > y > y_c$	$\frac{-}{+} = -$	Disminuye	$M_2$	Subcrítico	
	$y_n > y_c > y$	$\frac{-}{-} = +$	Aumenta	$M_3$	Supercrítico	
Crítica $S_n = S_c$ $y_n = y_c$	$y > y_c = y_n$	$\frac{+}{+} = +$	Aumenta	$C_1$	Subcrítico	
	$y_c = y = y_n$		Constante	$C_2$	Uniforme crítico	
	$y_c = y_n > y$	$\frac{-}{-} = +$	Aumenta	$C_3$	Supercrítico	
Fuerte $S > S_c > 0$	$y > y_c > y_n$	$\frac{+}{+} = +$	Aumenta	$S_1$	Subcrítico	
	$y_c > y > y_n$	$\frac{+}{-} = -$	Disminuye	$S_2$	Supercrítico	
	$y_c > y_n > y$	$\frac{-}{-} = +$	Aumenta	$S_3$	Supercrítico	
Horizontal $S = 0$ $y_n = \infty$	$y > y_c$	$\frac{-}{+} = -$	Disminuye	$H_2$	Subcrítico	
	$y_c > y$	$\frac{-}{-} = +$	Aumenta	$H_3$	Supercrítico	
Adversa $S < 0$ $y_n$ no existe	$y < y_c$	$\frac{-}{+} = -$	Disminuye	$A_2$	Subcrítico	
	$y_c < y$	$\frac{-}{-} = +$	Aumenta	$A_3$	Supercrítico	

Fuente: Máximo, Villón, *Hidráulica de canales*, pág. 268

## 1.4 Propiedades generales de las curvas de remanso

Las siguientes propiedades son comunes a todas las curvas:

1. Las curvas que tienden al tirante normal  $y_n$  se acercan a ella asintóticamente.

En efecto la ecuación (1-10):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_E}{1 - F^2}$$

si  $y$  tiende a  $y_n$  el valor de  $S_E$  tiende a  $S_0$  lo que hace que:

$$\lim_{y \rightarrow y_n} (S_0 - S_E) = 0$$

y por lo cual:

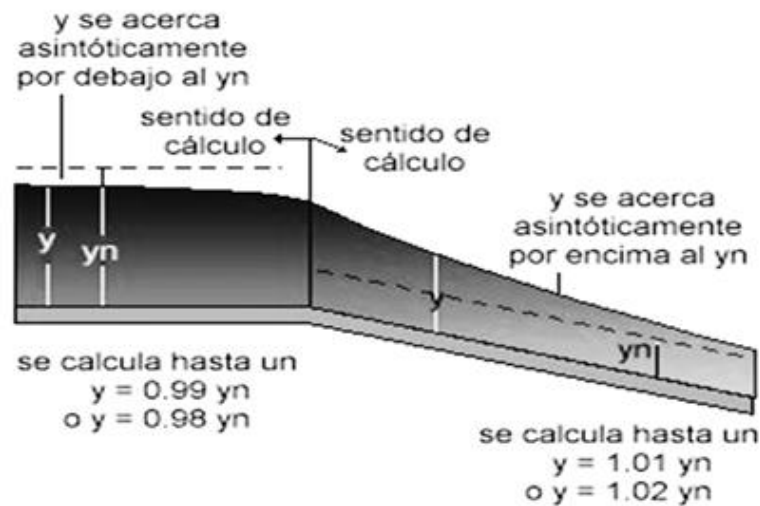
$$\lim_{y \rightarrow y_n} \left( \frac{dy}{dx} \right) = 0$$

Esto significa que el perfil del flujo es paralelo al fondo del canal, es decir, que no puede cortar nunca a la línea del tirante normal pero puede confundirse con ella en régimen uniforme (curvas M1, M2, C3, S2, S3).

Las curvas que tienden al tirante normal se acercan a ella asintóticamente, hacia aguas arriba para pendientes menores que la crítica, y hacia aguas abajo para pendientes superiores a la crítica.

En otras palabras cuando una singularidad rompe la uniformidad del escurrimiento el régimen que se establece lejos de ella es necesariamente uniforme. Una singularidad hará sentir sus efectos hacia aguas arriba en régimen subcrítico y hacia abajo en régimen supercrítico (figura 5).

Figura 5. **Primera propiedad general de las curvas de remanso**



2. Las curvas que tienden al tirante crítico  $y_c$ , se acercan a ella, en este punto, en forma perpendicular a la línea del tirante  $y_c$ .

En efecto, en la ecuación (1-10), si  $y$  tiende a  $y_c$  el valor de  $F$  tiende a 1, lo que hace que:

$$\lim_{y \rightarrow y_c} (1 - F) = 0$$

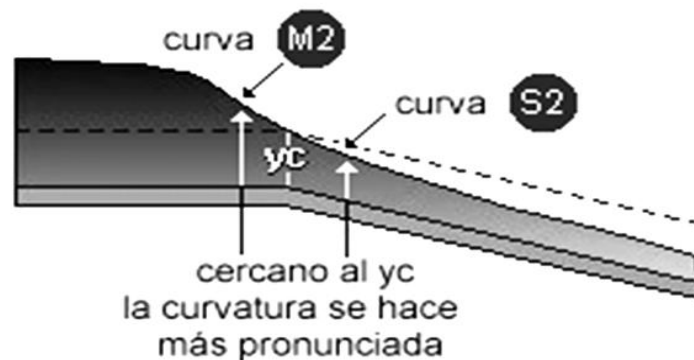
y por lo cual:

$$\lim_{y \rightarrow y_c} \left( \frac{dy}{dx} \right) = \infty$$

Esto es, el perfil del flujo se vuelve vertical en la proximidad de tirante crítico (curvas M2, S2, H2, A2). Esto significa que si el perfil se desarrolla en régimen supercrítico ocurre una discontinuidad, presentándose el resalto hidráulico antes de que  $y$  alcance el valor de  $y_c$  (curvas M3, H3, A3), por lo contrario si el perfil se desarrolla en régimen subcrítico, dicho perfil logra una gran curvatura al aproximarse al valor  $y_c$  para volverse vertical en el punto en que  $y = y_c$  (curvas M2, H2, A2).

En ambos casos, se presenta un flujo rápidamente variado, por eso la ecuación (1-10) y sus derivados no pueden usarse para describir o calcular exactamente el perfil del flujo cerca del tirante crítico (figura 6).

Figura 6. **Segunda propiedad general de las curvas de remanso**



3. Cuando el tirante  $y$  tiende a ser muy grande las curvas tienden a ser tangentes a una horizontal (figura 7).

En efecto, en la ecuación (1-10), si  $y$  tiende a infinito  $S_E$  y  $F^2$  tienden a 0, es decir:

$$\lim_{y \rightarrow \infty} F^2 = \lim_{y \rightarrow \infty} \left( \frac{v}{gA/T} \right)^2 = \lim_{y \rightarrow \infty} \left( \frac{Q}{gA^3/T} \right)^2 = 0$$

$$\lim_{y \rightarrow \infty} F^2 = \lim_{y \rightarrow \infty} \left( \frac{v}{gA/T} \right)^2 = \lim_{y \rightarrow \infty} \left( \frac{Q}{gA^3/T} \right)^2 = 0$$

y por lo cual:

$$\lim_{y \rightarrow \infty} (dx/dy) = S_0$$

que corresponde a una línea horizontal que forma un ángulo  $\theta$  (sen  $\theta = S_0$ ) con el fondo del canal (figura 2). Esto significa que la superficie del agua es asintótica a la horizontal (curvas H2, A2).

Figura 7. Tercera propiedad general de las curvas de remanso



## 1.5 Procedimiento para determinar el tipo de curva de remanso

Este procedimiento permite predecir la forma general del perfil del flujo lo que es de gran ayuda en todos los problemas del diseño de un canal para un flujo gradualmente variado. Los pasos que se siguen son:

1. Dibujar el perfil longitudinal del canal distorsionando las escalas vertical y horizontal. Dado que un canal es una obra esencialmente lineal se deberá tener una escala vertical mucho mayor que la horizontal, para hacer apreciables los cambios que presente la curva de remanso o eje hidráulico.
2. En el perfil longitudinal marcar las singularidades como los cambios de pendiente y diferenciar los distintos tramos que se originan, tanto por cambios de pendiente como por cambios del tipo de material del fondo del canal.
3. Calcular  $y_n$  y dibujar la línea teórica de profundidad normal para cada tramo de acuerdo con los datos particulares en cada uno. Hay que tener presente que de acuerdo con la ecuación de Manning conjugada con la de continuidad:

$$Q = \frac{1}{n} \frac{A^{5/3}}{p^{2/3}} S^{1/2} \rightarrow f(y_n) = \frac{A^5}{p^2} = \left( \frac{Q \cdot n}{S^{1/2}} \right)^3$$

$y_n$  depende de la forma de la sección transversal, de la pendiente y del coeficiente de rugosidad, por lo cual su cálculo será imprescindible toda vez que exista una variación de estos valores.

4. Calcular  $y_c$  y dibujar la línea teórica de profundidad crítica para las secciones transversales que se tengan. Recordar que de acuerdo con la ecuación para el flujo crítico:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A_c^3}{T_c} \rightarrow f(y_c) = \frac{A_c^3}{T_c} = \frac{Q^2}{g}$$

$y_c$  depende únicamente de la forma de la sección transversal, por lo que mientras esta se mantenga constante en todos los tramos, aún cuando la pendiente o el coeficiente de rugosidad varíen, el tirante crítico es el mismo para todos los casos.

5. Definir y ubicar las posibles secciones de control que se presenten a lo largo de los tramos en análisis, entendiéndose como tales aquellas en que la altura de agua depende de consideraciones distintas a las del movimiento gradualmente variado (en el cual el tirante real se calcula en función del caudal), y que determinan puntos conocidos del eje hidráulico, tanto en ubicación, como en valor del tirante real.
6. Establecer las condiciones de pendiente de fondo para cada tramo, comparando el tirante normal y el crítico. Con esto se obtiene la letra de la curva (M, C, S, H o A).
7. Establecer las condiciones de tirantes para cada tramo, comparando el tirante real con el normal y el crítico. Con esto se establece la zona de generación de la correspondiente curva de remanso, por lo tanto se obtiene el número de la curva (1, 2 o 3).



8. A partir de los pasos 6 y 7 definir el tipo de curva, con su letra y número, para con esto determinar su geometría usando el la tabla I. Definida la geometría del perfil y partiendo de la profundidad real en cada sección de control, trazar en cada tramo el perfil continuo.
9. Cuando el flujo es supercrítico en la porción aguas arriba de un tramo pero subcrítico en la porción aguas abajo, el perfil del flujo tiene que pasar la profundidad crítica en algún lugar del tramo; esto se realiza a través de la formación del resalto hidráulico.

## 1.6 Sección de control

Se conoce como sección de control aquella sección particular de un canal, en la que la profundidad del flujo es conocida o puede ser controlada a un nivel requerido. Este tipo de sección se conoce por dos elementos: cuando es posible ubicarla físicamente y además en donde el tirante real se puede calcular en función del caudal.

Una sección crítica es una sección de control debido a que se puede establecer una relación definida entre el tirante crítico y el caudal a partir de la ecuación general del flujo crítico.

Para el caso de una sección rectangular se obtiene que la velocidad crítica es:

$$v_c = \sqrt{gy_c}$$

Por otra parte, si en la superficie libre de un canal se produce una onda superficial, ésta adquiere una celeridad  $c$ , es decir, una velocidad con respecto a la corriente, que aproximadamente es igual a:

$$c = \sqrt{gy}$$

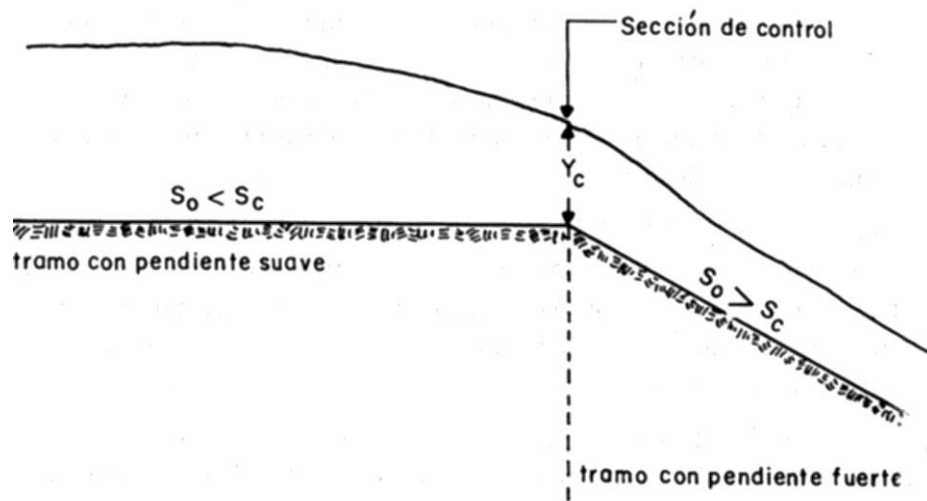
Si se comparan los valores de la velocidad y celeridad, se observa que en el estado crítico, la velocidad es igual a la celeridad de dichas onda. Si el régimen es subcrítico, la velocidad del flujo es menor que la crítica y que la celeridad de dichas ondas, por lo tanto, en este régimen, es posible la transmisión de disturbios hacia aguas arriba; lo contrario acontece con el régimen supercrítico en el que los disturbios solo se transmiten hacia aguas abajo.

Un mecanismo de control como por ejemplo una compuerta puede hacer sentir su influencia hacia aguas arriba, es decir, el régimen subcrítico está sujeto a un control desde aguas abajo. Por el contrario, el régimen supercrítico no puede quedar influenciado por lo que ocurra aguas abajo y solo puede quedar controlado desde aguas arriba.

Para el cálculo del perfil del flujo variado se establece la sección de control que proporcione las condiciones iniciales y se procede a calcular hacia aguas arriba de la sección de control o hacia aguas abajo, según que el régimen en que se desarrolla el perfil sea subcrítico o supercrítico. Estas direcciones de cálculo se indican en la tabla I para todos los tipos de perfiles de flujo.

Algunos ejemplos de secciones de control son las presas, vertederos y compuertas así como también la intersección bien definida de la línea del perfil de flujo y la correspondiente al tirante crítico, esto último ocurre en el punto de cambio de pendiente de dos tramos, el de aguas arriba de pendiente suave y el de aguas debajo de pendiente fuerte, como se muestra en la figura 8.

Figura 8. **Ejemplo de una sección de control**



Fuente: Máximo, Villón, **Hidráulica de canales**, pág. 276



## 2. MÉTODOS DE CÁLCULO

Teniendo definido el tipo de perfil de flujo y los puntos de control se procede al cálculo numérico de los tirantes reales a lo largo del escurrimiento para cada uno de los tramos con pendiente de fondo constante.

Existen varios procedimientos para el cálculo, que en forma general se pueden clasificar en tres métodos básicos:

- a. Método de integración gráfica
- b. Método de integración directa
- c. Método numérico

### 2.1 Método de integración gráfica

Este método está basado en la integración artificial de la ecuación dinámica del flujo gradualmente variado, mediante un procedimiento gráfico.

#### A. Desarrollo del método

La solución se refiere a la integral de la ecuación (1-13)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_E}{1 - \frac{Q^2 T}{gA^3}}$$

la cual se puede expresar en la forma:

$$dx = \frac{1 - \frac{Q^2 T}{g A^3}}{S_0 - S_E} dy \quad (2-1)$$

donde:

Q, g,  $S_0$  son constantes y T, A,  $S_E$  son funciones del tirante y, por lo cual:

$$\frac{1 - \frac{Q^2 T}{g A^3}}{S_0 - S_E} = f(y) \quad (2-2)$$

Luego la ecuación (2-1) se puede escribir como:

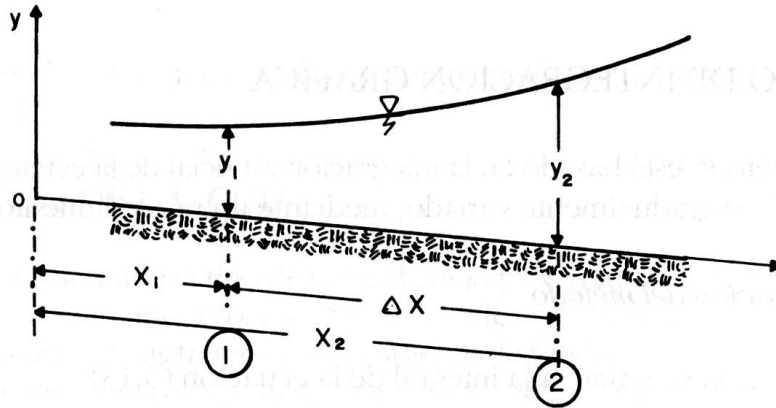
$$dx = f(y) dy \quad (2-3)$$

Considerar las secciones 1 y 2 de un canal a las distancias  $x_1$  y  $x_2$  respectivamente (medidas a partir de un origen arbitrario) y en las cuales se presentan los tirantes  $y_1$ ,  $y_2$  (figura 9).

La distancia de separación de estas dos secciones, a lo largo del canal será:

$$\int_{x_1}^{x_2} dx = \int_{y_1}^{y_2} f(y) dy$$
$$\Delta x = x_2 - x_1 = \int_{y_1}^{y_2} f(y) dy \quad (2-4)$$

Figura 9. Tramo de un canal



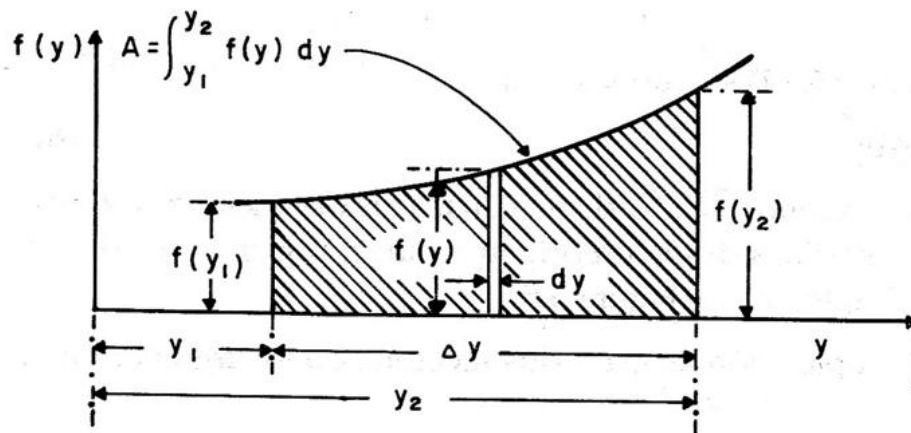
Fuente: Máximo, Villón, **Hidráulica de canales**, pág. 278

Uno de los conceptos elementales del cálculo integral, aplicando la definición de Riemann para la integral definida indica que:

$$\int_{y_1}^{y_2} f(y) dy$$

es el área achurada A (figura 10), formada por la curva, el eje y, y las ordenadas de  $f(y)$  correspondientes a  $y_1$  y  $y_2$ , es decir,  $f(y_1)$  y  $f(y_2)$ :

Figura 10. Área bajo la curva



Fuente: Máximo, Villón, **Hidráulica de canales**, pág. 278

De acuerdo con la ecuación (2-4) el valor de  $\Delta x$  es igual al área sombreada es decir:

$$\Delta x = \int_{y_1}^{y_2} f(y) dy$$

Dicha área puede determinarse por medio de un planímetro, por el uso de la regla de Simpson (considerando el área como un trapecio) o por cualquier otro procedimiento que proporcione la precisión requerida.

El método se aplica a cualquier tipo de perfil de flujo en canales prismáticos, como a los no prismáticos de cualquier forma y pendiente.

#### B. Procedimiento de cálculo

El procedimiento de cálculo para este método es como se explica a continuación:

1. Construir la gráfica  $f(y)$ , para esto se fijan en forma adecuada los tirantes  $y$ , considerando, en lo posible, un incremento constante  $\Delta y$ ; luego para cada valor de  $y$  se calcula el correspondiente  $f(y)$ . Estos cálculos se muestran en la tabla II.

La curva se construye graficando las columnas 1 contra la 9. Como información adicional, en la figura 8 se muestra la forma de las curvas  $f(y)$  para los perfiles de flujo generados en pendiente suave y fuerte.



2. Evaluar las áreas parciales de la curva  $f(y)$  para cada dos valores consecutivos de  $y$ , mediante el planímetro o realizando los cálculos geométricos al asumir a las áreas parciales como trapezios; esto será más aproximado cuanto más pequeño sea el  $\Delta y$ . Las áreas parciales representan las distancias entre dos secciones del canal, es decir,  $\Delta x = A$ , los cuales se colocan en la columna 10 de la tabla II.

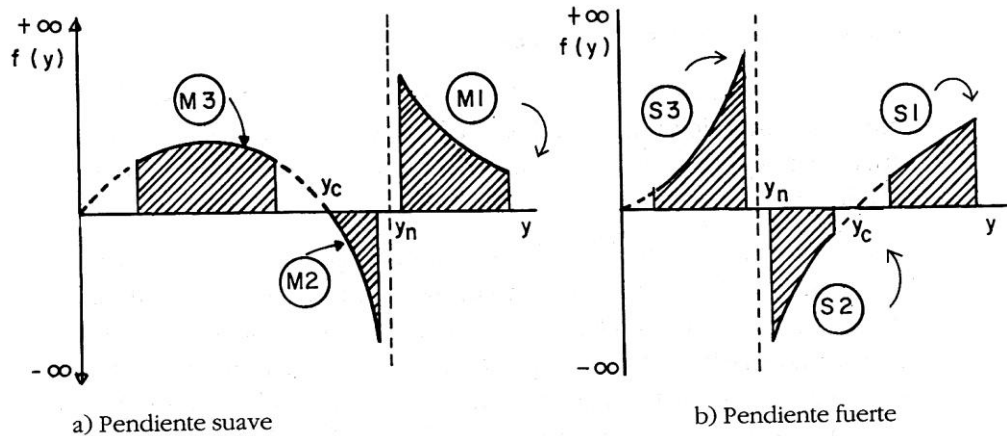
Tabla II. **Modelo de cálculo para el método de integración gráfica**

$y$	$A$	$T$	$R$	$v = \frac{Q}{A}$	$S_E = \left( \frac{nv}{R^{2/3}} \right)^2$
$z$	$i$	$\neg$	$\emptyset$	$f$	⑥
$y$					
$y+\Delta y$					
$1 - \frac{Q^2 T}{gA^3}$	$S_0 - S_E$	$f(y) = \frac{1 - \frac{Q^2 T}{gA^3}}{S_0 - S_E}$	$\Delta x = A$	$x$	
⑦	«	¥	...	⑩	

Fuente: Máximo, Villón, **Hidráulica de canales**, pág. 280

3. Acumular las distancias obtenidas para cada tramo, a partir de la sección de control considerada como punto de inicio de los cálculos; estos valores se colocan en la columna 11 de la tabla II.

Figura 11. Curvas  $f(y)$  para diferentes tipos de curvas de remanso



Fuente: Máximo, Villón, **Hidráulica de canales**, pág. 280

## 2.2 Método de integración directa

La ecuación diferencial de flujo gradualmente variado no puede expresarse explícitamente en términos de  $y$  para todos los tipos de secciones transversales de canal; por consiguiente una integración directa y exacta de la ecuación es casi imposible. Sin embargo, se han hecho muchos intentos para resolver la ecuación para algunos casos especiales o para introducir suposiciones que hacen manejable la ecuación en términos de integración matemática.

### **2.2.1 Solución de Bakhmeteff-Ven Te Chow**

En 1912 Bakhmeteff, inspirado en general por los trabajos de Bresse y Tolkmitt propone una metodología que permite integrar la ecuación para canales en forma cualquiera, introduciendo la llamada función de flujo variado. En años posteriores, se continúa con la idea de Bakhmeteff, eliminando algunas de las limitaciones del método y tratando de lograr un procedimiento de cálculo más directo y seguro, entre los cuales se pueden citar los trabajos de Mononobe (1938), Lee (1947), Von Seggern (1950), Chow (1955).

Una de las hipótesis fundamentales del método es la suposición de que los llamados exponentes hidráulicos se mantienen constantes en el tramo considerado.

#### **A. Desarrollo del método**

Muchos investigadores han sugerido procedimientos para refinar el trabajo originalmente desarrollado por Bakhmeteff; Ven Te Chow en particular, con base en el estudio de muchos de los trabajos expuestos anteriormente, desarrolló un método que permite extender y consolidar la solución de Bakhmeteff, manteniendo la misma forma de la función de flujo variado.

El procedimiento que se presenta a continuación es válido principalmente para cualquier tipo de sección transversal en canales prismáticos.

1. Planteo de la ecuación:

De la ecuación (1-13), se tiene:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_E}{1 - \frac{Q^2 T}{gA^3}}$$

La cual puede expresarse como:

$$dx = \frac{1}{S_0} \cdot \frac{1 - \frac{Q^2 T}{gA^3}}{1 - \frac{S_E}{S_0}} dy \quad (2-5)$$

2. Transformación de la ecuación en términos de  $y$ ,  $y_n$ ,  $y_c$ ,  $N$  y  $M$ :

En la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

Se define como el factor de conducción  $K$  a:

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad (2-6)$$

luego:

$$Q = KS^{1/2} \rightarrow K^2 = \frac{Q^2}{S} \quad (2-7)$$

Bakhmeteff asumió empíricamente que:

$$K^2 = \left( \frac{1}{n} AR^{2/3} \right)^2 = Cy^N \quad (2-8)$$

donde:

C = coeficiente de proporcionalidad

N = exponente hidráulico para cálculos de flujo uniforme que depende de la forma de la sección y del tirante.

La ecuación (2-8) es más aproximada para unas secciones que para otras, pero en la comprobación de la misma, realizada con secciones de las más variadas formas, se ha obtenido un grado de aceptación notable.

De las ecuaciones (2-7) y (2-8), se tiene:

$$K^2 = \frac{Q^2}{S} = Cy^N$$

donde:

$S = S_E$  = pendiente de la línea de energía, es decir:

$$S_E = \frac{Q^2}{Cy_n^N} \quad (2-9)$$

En el caso de un flujo uniforme  $y = y_n$  y  $S_E = S_O$ , luego:

$$S_O = \frac{Q^2}{Cy_n^N} \quad (2-10)$$

Dividiendo (2-9) entre (2-10), se tiene:

$$\frac{S_E}{S_O} = \frac{\frac{Q^2}{cy^N}}{\frac{Q^2}{cy_n^N}}$$

$$\frac{S_E}{S_O} = \left(\frac{y_n}{y}\right)^N \quad (2-11)$$

Se define como factor de sección Z a:

$$Z = A\sqrt{\bar{y}}$$

$$Z = A\sqrt{A/T} \rightarrow Z^2 = \frac{A^3}{T} \quad (2-12)$$

De la ecuación general para el flujo crítico, se tiene:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A_c^3}{T_c} = Z_c^2$$

es decir:

$$Z_c^2 = \frac{Q^2}{g} \quad (2-13)$$

Dividiendo (2-13) entre (2-12), resulta:

$$\frac{Z_c^2}{Z^2} = \frac{\frac{Q^2}{g}}{\frac{A^3}{T}}$$

de donde:

$$\frac{Q^2 T}{g A^3} = \left(\frac{Z_c}{Z}\right)^2 \quad (2-14)$$

Por otra parte, de la ecuación (2-12), desde que el factor de sección Z es una función del tirante, se puede suponer que:

$$Z^2 = \frac{A^3}{T} = C y^M \quad (2-15)$$

Donde:

C = coeficiente de proporcionalidad

M = exponente hidráulico para cálculos de flujo crítico que depende de la forma de la sección y del tirante.

En caso de flujo crítico, se tiene:

$$Z_c^2 = C y_c^M \quad (2-16)$$

Dividiendo (2-16) entre (2-15), resulta:

$$\left(\frac{Z_c}{Z}\right)^2 = \left(\frac{y_c}{y}\right)^M \quad (2-17)$$

Igualando (2-14) y (2-17), se obtiene:

$$\frac{Q^2 T}{g A^3} = \left(\frac{y_c}{y}\right)^M \quad (2-18)$$

Sustituyendo (2-18) y (2-11) en (2-5), resulta:

$$dx = \frac{1}{S_o} \left[ \frac{1 - \left(\frac{y_c}{y}\right)^M}{1 - \left(\frac{y_n}{y}\right)^N} \right] dy \quad (2-19)$$

3. Integración por sustitución:

$$\frac{y}{y_n} = u \rightarrow dy = y_n du \quad (2-20)$$

Luego:

$$\frac{y_n}{y} = \frac{1}{u} \quad (2-21)$$

$$\frac{y_c}{y} = \frac{y_c}{y_n} \cdot \frac{y_n}{y} = \frac{y_c}{y_n} \cdot \frac{1}{u} \quad (2-22)$$

Sustituyendo (2-20), (2-21) y (2-22) en (2-19), se obtiene:

$$dx = \frac{1}{S_o} \left[ \frac{1 - \left(\frac{y_c}{y_n}\right)^M \frac{1}{u^M}}{1 - \frac{1}{u^N}} \right] y_n du$$

$$dx = \frac{y_n}{S_o} \left[ \frac{\left[ u^M - \left(\frac{y_c}{y_n}\right)^M \right] u^{N-M}}{u^N - 1} \right] du$$



$$dx = \frac{y_n}{S_o} \left[ \frac{u^N - \left(\frac{y_c}{y_n}\right)^M \cdot u^{N-M}}{u^N - 1} \right] du$$

Descomponiendo la fracción en una suma algebraica de fracciones, además sumando y restando 1 al numerador del primer sumando, se tiene:

$$dx = \frac{y_n}{S_o} \left[ \frac{u^N - 1 + 1}{u^N - 1} - \left(\frac{y_c}{y_n}\right)^M \frac{u^{N-M}}{u^N - 1} \right] du$$

$$dx = \frac{y_n}{S_o} \left[ 1 + \frac{1}{u^N - 1} - \left(\frac{y_c}{y_n}\right)^M \frac{u^{N-M}}{u^N - 1} \right] du$$

Cambiando el signo de los denominadores, las fracciones cambian de signo:

$$dx = \frac{y_n}{S_o} \left[ 1 - \frac{1}{1-u^N} + \left(\frac{y_c}{y_n}\right)^M \frac{u^{N-M}}{1-u^N} \right] du \quad (2-23)$$

Esta ecuación puede integrarse para toda la longitud  $x$  del perfil del flujo. Debido a que el cambio de tirante en un flujo gradualmente variado generalmente es pequeño, los exponentes hidráulicos  $M$  y  $N$  se pueden suponer dentro de los límites de integración.

Cuando los exponentes hidráulicos son notablemente dependientes de  $y$  en los tirantes del tramo dado, éste deberá subdividirse en otros tramos para realizar la integración; entonces, en cada tramo, los exponentes se pueden considerar constantes. Integrando la ecuación anterior, se tiene:

$$dx = \frac{y_n}{s_o} \left[ u - \int_0^u \frac{du}{1-u^N} + \left( \frac{y_c}{y_n} \right)^M \int_0^u \frac{u^{N-M}}{1-u^N} du \right] + cte \quad (2-24)$$

La primera integral de la ecuación (2-24) depende solo de u y N y se designa por:

$$F(u, N) = \int_0^u \frac{du}{1-u^N} \quad (2-25)$$

la cual se conoce como función de flujo variado de Bakhmeteff. Los valores obtenidos para diferentes valores de u y N se encuentran en la tabla LXXI del anexo, ésta fue preparada por Bakhmeteff en los años 1914-1915.

Chow pudo transformar la segunda integral de la ecuación (2-24):

$$\int_0^u \frac{u^{N-M}}{1-u^N} du \quad (2-26)$$

en la forma de la función de flujo variado, con la siguiente sustitución:

$$a) \quad v = u^{N/J} \rightarrow u = v^{J/N} \rightarrow \begin{cases} u^N = v^J \\ u^{N-M} = v^{(J/N)(N-M)} \\ du = \frac{J}{N} v^{J/N-1} dv \end{cases} \quad (2-27)$$

$$b) \quad J = \frac{N}{N-M+1} \rightarrow \frac{J}{N} (N - M + 1) = 1 \quad (2-28)$$

Sustituyendo (2-27) y (2-28) en (2-26), se tiene:

$$\int_0^u \frac{u^{N-M}}{1-u^N} du = \int_0^v \frac{v^{\frac{J}{N}(N-M)}}{1-v^J} \frac{J}{N} v^{\frac{J}{N}-1} dv = \frac{J}{N} \int_0^v \frac{v^{\frac{J}{N}(N-M)+\frac{J}{N}-1}}{1-v^J} dv$$

pero:

$$\overbrace{\frac{J}{N}(N-M)+\frac{J}{N}}^1 - 1 = \overbrace{\frac{J}{N}(N-M+1)}^1 - 1 = 1 - 1 = 0$$

luego:

$$\int_0^u \frac{u^{N-M}}{1-u^N} du = \frac{J}{N} \int_0^v \frac{v^0}{1-v^J} dv = \frac{J}{N} \int_0^v \frac{dv}{1-v^J} = \frac{J}{N} F(v, J) \quad (2-29)$$

donde:

$$F(v, J) = \int_0^v \frac{dv}{1-v^J}$$

es la misma función de flujo variado de Bakhmeteff excepto que las variables  $u$  y  $N$  se reemplazan por  $v$  y  $J$ , respectivamente.

Sustituyendo (2-26) y (2-29) en (2-24), y usando la notación para las funciones de flujo variado, se tiene:

$$x = \frac{y_n}{s_o} \left[ u - F(u, N) + \left( \frac{y_c}{y_n} \right)^M \cdot \frac{J}{N} F(v, J) \right] + cte \quad (2-30)$$

La ecuación (2-30) proporciona la distancia  $x$  que existe entre la sección considerada y un punto arbitrario. Si se aplica esta ecuación entre dos secciones consecutivas 1 y 2 de características conocidas, es decir, colocando los límites de integración, la distancia  $L$  que existe entre estas dos secciones es:

$$L = x_2 - x_1 = \frac{y_n}{S_o} \{ (u_2 - u_1) - [F(u_2, N) - F(u_1, N)] \} + \left( \frac{y_c}{y_n} \right)^M \frac{J}{N} [F(v_2, J) - F(v_1, J)] \quad (2-31)$$

donde:

$L = x_2 - x_1$  = distancia entre las secciones consecutivas 1 y 2 de características conocidas.

$u = \frac{y}{y_n}$  = relación entre el tirante de una sección cualquiera, y el tirante normal.

$y_n$  = tirante normal.

$y_c$  = tirante crítico.

$S_o$  = pendiente del fondo.

$M$  y  $N$  = exponentes hidráulicos, son función de la geometría de la sección y del tirante de agua.

$F(u, N) = \int_0^u \frac{du}{1-u^N}$  = función del flujo variado, calculado por Bakhmeteff, cuyos valores se muestran en la tabla A del apéndice.

$v$  y  $J$  = variables introducidas por Ven Te Chow, siendo:

$v = u^{N/J}$

$$J = \frac{N}{N-M+1}$$

$F(v, J) = \int_0^v \frac{dv}{1-v^J}$  = función del flujo variado, se calcula con la misma tabla de Bakhmeteff entrando con los valores de v y J en lugar de u y N.

## B. Cálculo de las expresiones de los exponentes hidráulicos N y M

### 1. Cálculo del exponente hidráulico N:

De la ecuación (2-8), se tiene:

$$\frac{1}{n^2} A^2 R^{4/3} = C y^N \quad (2-32)$$

Tomando logaritmos naturales a ambos miembros, resulta:

$$\ln\left(\frac{1}{n^2}\right) + 2 \ln A + \frac{4}{3} \ln R = \ln C + N \ln y \quad (2-33)$$

Derivando con respecto y, se obtiene:

$$2 \frac{1}{A} \frac{dA}{dy} + \frac{4}{3} \frac{1}{R} \frac{dR}{dy} = N \cdot \frac{1}{y} \quad (2-34)$$

pero:

$$\frac{dA}{dy} = T$$

además:

$$\frac{dR}{dy} = \frac{d}{dy} \left( \frac{A}{p} \right) = -Ap^{-2} \frac{dp}{dy} + p^{-1} \frac{dA}{dy} = \frac{T}{p} - \frac{A}{p^2} \frac{dp}{dy}$$

Sustituyendo valores en (2-34), se tiene:

$$\frac{2T}{A} + \frac{4}{3} \cdot \frac{p}{A} \left( \frac{T}{p} - \frac{A}{p^2} \frac{dp}{dy} \right) = \frac{N}{y}$$

$$N = 2y \left[ \frac{T}{A} + \frac{2}{3A} \left( T - \frac{A}{p} \frac{dp}{dy} \right) \right]$$

$$N = \frac{2y}{3A} \left[ 5T - \frac{2A}{p} \frac{dp}{dy} \right] \quad (2-35)$$

Para una sección trapezoidal se cumple que:

$$A = (b + Zy)y$$

$$T = b + 2Zy$$

$$p = b + 2\sqrt{1 + Z^2}y \rightarrow \frac{dp}{dy} = 2\sqrt{1 + Z^2}$$

Con esto, la ecuación (2-35), toma la forma:

$$N = \frac{2y}{3(b + Zy)y} \left[ 5(b + 2Zy) - \frac{2(b + Zy)y}{b + 2\sqrt{1 + Z^2}y} \cdot 2\sqrt{1 + Z^2} \right]$$

$$N = \frac{10}{3} \left[ \frac{b + 2Zy}{b + Zy} \right] - \frac{8}{3} \left[ \frac{\sqrt{1 + Z^2}y}{b + 2\sqrt{1 + Z^2}y} \right]$$

dividiendo ambos miembros de las fracciones entre b, se obtiene:

$$N = \frac{10}{3} \left[ \frac{b+2Z(y/b)}{b+Z(y/b)} \right] - \frac{8}{3} \left[ \frac{\sqrt{1+Z^2}(y/b)}{1+2\sqrt{1+Z^2}(y/b)} \right] \quad (2-36)$$

Esta ecuación indica que N no es constante sino que varía con el tirante. En la tabla III se muestran los valores de N para secciones rectangulares (Z=0) y trapezoidales; la figura 12 permite calcular estos valores para secciones rectangulares, trapezoidales y circulares.

Tabla III. Valores de N para canales trapezoidales

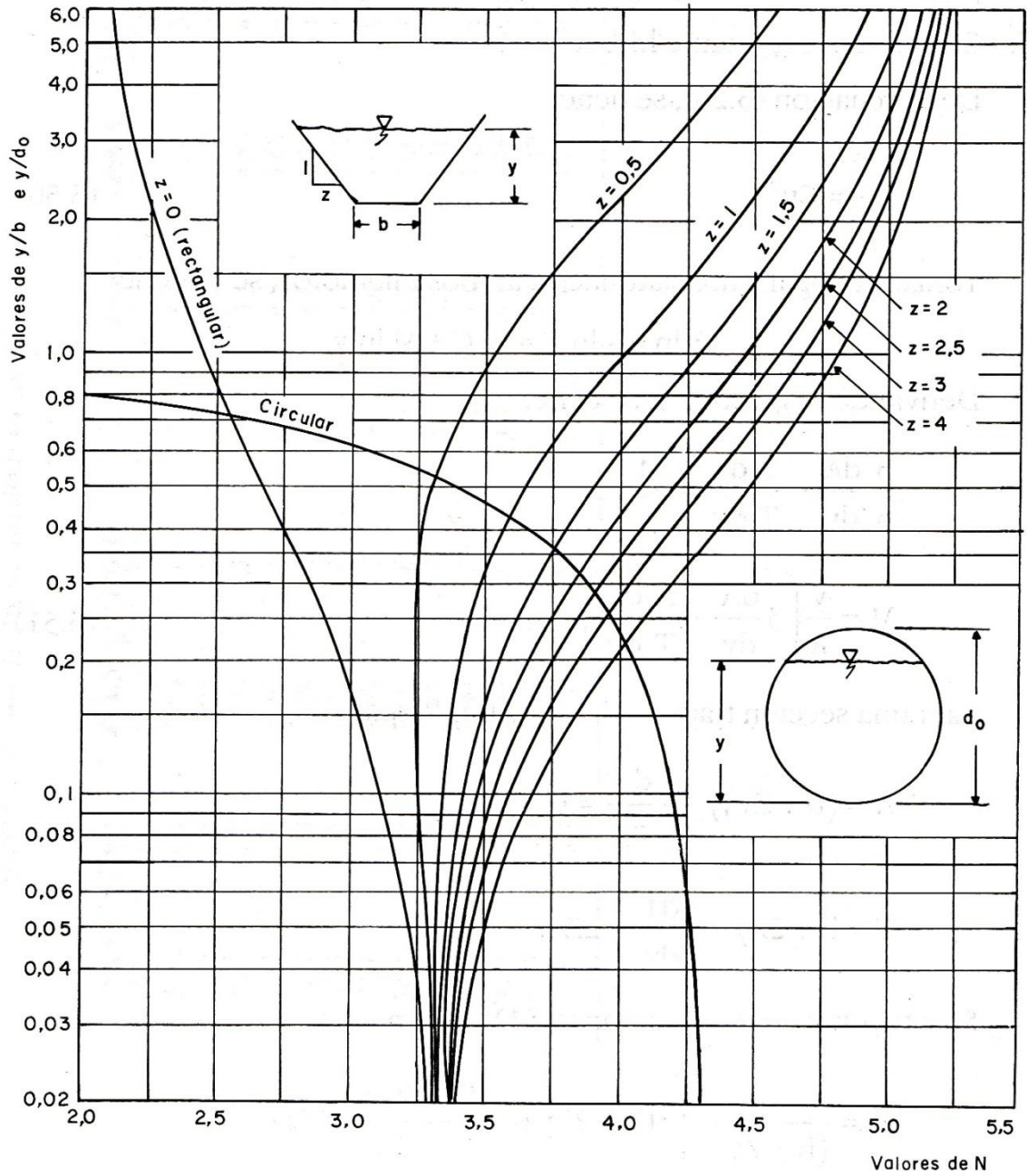
Y/b	Z=0	Z=0.5	Z=1.0	Z=1.5	Z=2.0
0.20	2.95	3.22	3.41	3.54	3.66
0.40	2.74	3.26	3.58	3.80	3.96
0.60	2.61	3.34	3.74	4.00	4.18
0.80	2.51	3.43	3.89	4.16	4.34
1.00	2.44	3.52	4.01	4.29	4.47
1.50	2.33	3.73	4.25	4.52	4.67
2.00	2.27	3.91	4.42	4.65	4.80
2.50	2.22	4.05	4.55	4.76	4.89
3.00	2.19	4.17	4.64	4.84	4.95
3.50	2.17	4.27	4.71	4.90	5.00
4.00	2.15	4.36	4.77	4.94	5.03
4.50	2.13	4.43	4.82	4.98	5.06
5.00	2.12	4.49	4.87	5.01	5.09

<b>Y/b</b>	<b>Z=2.5</b>	<b>Z=3.0</b>	<b>Z=3.5</b>	<b>Z=4.0</b>
0.20	3.75	3.84	3.92	3.98
0.40	4.09	4.20	4.29	4.36
0.60	4.32	4.42	4.51	4.58
0.80	4.47	4.57	4.65	4.72
1.00	4.59	4.68	4.75	4.81
1.50	4.78	4.85	4.91	4.96
2.00	4.89	4.95	5.00	5.04
2.50	4.97	5.02	5.06	5.09
3.00	5.02	5.07	5.10	5.13
3.50	5.06	5.10	5.13	5.16
4.00	5.09	5.13	5.16	5.18
4.50	5.11	5.15	5.17	5.19
5.00	5.13	5.17	5.19	5.21

Adaptado de: Máximo, Villón, **Hidráulica de canales**, pág 304



Figura 12. Curvas de valores de N



Fuente: Máximo, Villón, **Hidráulica de canales**, pág. 306

2. Cálculo del exponente hidráulico M:

De la ecuación (2-15), se tiene:

$$\frac{A^3}{T} = Cy^M \quad (2-37)$$

Tomando logaritmos naturales ambos miembros, se obtiene:

$$3 \ln A - \ln T = \ln C + M \ln y$$

Derivando respecto a  $y$ , se tiene:

$$\frac{3}{A} \frac{dA}{dy} - \frac{1}{T} \frac{dT}{dy} = \frac{M}{y}$$

$$M = \frac{y}{A} \left( 3 \frac{dA}{dy} - \frac{A}{T} \frac{dT}{dy} \right) \quad (2-38)$$

Para una sección trapezoidal, se cumple que:

$$A = (b + Zy)y \rightarrow \frac{dA}{dy} = b + 2Zy$$

$$T = b + 2Zy \rightarrow \frac{dT}{dy} = 2Z$$

Sustituyendo en la ecuación (2-38), se tiene:

$$M = \frac{y}{(b + Zy)y} \left[ 3(b + 2Zy) - \frac{(b + Zy)y}{b + 2Zy} (2Z) \right]$$

$$M = \frac{3(b + 2Zy)^2 - 2Zy(b + Zy)}{(b + 2Zy)(b + Zy)}$$

Dividiendo ambos miembros de la fracción entre  $b^2$ , se tiene:

$$M = \frac{3[1+2Z(y/b)]^2 - 2Z(y/b)[1+Z(y/b)]}{[1+2Z(y/b)][1+Z(y/b)]} \quad (2-39)$$

Esta ecuación indica que si  $Z=0$  (sección rectangular)  $M=3$ , pero, para una sección trapezoidal  $M$  varía con el tirante.

En la tabla IV se muestran valores de  $M$  para secciones trapezoidales y la figura 13 permite calcular estos valores para secciones trapezoidales y circulares.

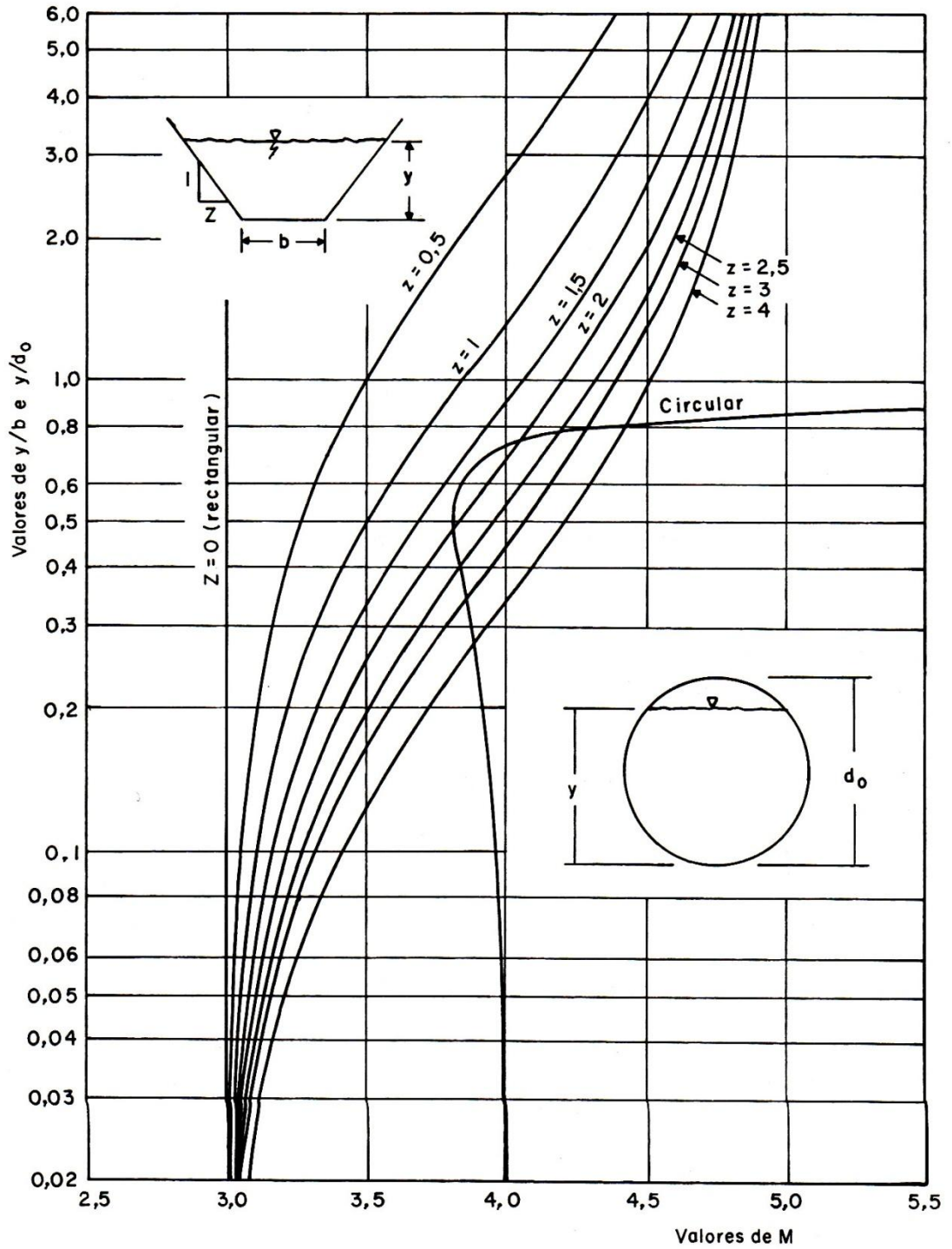
Tabla IV. Valores de  $M$  para canales trapezoidales

<b>Y/b</b>	<b>Z=0</b>	<b>Z=0.5</b>	<b>Z=1.0</b>	<b>Z=1.5</b>	<b>Z=2.0</b>
0.20	3.00	3.11	3.21	3.32	3.41
0.40	3.00	3.21	3.41	3.58	3.72
0.60	3.00	3.32	3.58	3.78	3.93
0.80	3.00	3.41	3.72	3.93	4.08
1.00	3.00	3.50	3.83	4.05	4.20
1.50	3.00	3.69	4.05	4.26	4.39
2.00	3.00	3.83	4.20	4.39	4.51
2.50	3.00	3.95	4.31	4.49	4.59
3.00	3.00	4.05	4.39	4.55	4.65
3.50	3.00	4.13	4.46	4.61	4.69
4.00	3.00	4.20	4.51	4.65	4.73
4.50	3.00	4.26	4.55	4.68	4.75
5.00	3.00	4.31	4.59	4.71	4.77

<b>Y/b</b>	<b>Z=2.5</b>	<b>Z=3.0</b>	<b>Z=3.5</b>	<b>Z=4.0</b>
0.20	3.50	3.58	3.65	3.72
0.40	3.83	3.93	4.01	4.08
0.60	4.05	4.15	4.22	4.29
0.80	4.20	4.29	4.36	4.42
1.00	4.31	4.39	4.46	4.51
1.50	4.49	4.55	4.61	4.65
2.00	4.59	4.65	4.69	4.73
2.50	4.66	4.71	4.75	4.77
3.00	4.71	4.75	4.78	4.81
3.50	4.75	4.78	4.81	4.83
4.00	4.77	4.81	4.83	4.85
4.50	4.80	4.83	4.85	4.87
5.00	4.82	4.84	4.87	4.88

Adaptado de: Máximo, Villón, **Hidráulica de canales**, pág 308

Figura 13. Curvas de valores de M



Fuente: Máximo, Villón, **Hidráulica de canales**, pág 309

### C. Procedimiento de cálculo

Para determinar el perfil, el canal se divide en un número de tramos, de tal forma que en cada tramo de las secciones 1 y 2 consideradas deben estar a una distancia tal que los exponentes hidráulicos M y N se mantengan constantes.

La longitud de cada tramo se calcula de la ecuación (2-31) a partir de los tirantes conocidos o supuestos en los extremos del tramo.

La aplicación de este procedimiento requiere la siguiente operatoria:

1. Calcular el tirante normal  $y_n$  y el tirante crítico  $y_c$  en el tramo a partir de Q y  $S_0$ .
2. Calcular los exponentes hidráulicos N y M para un tirante promedio a partir de los tirantes en los extremos, es decir, para:

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2}{2}$$
 estos valores se pueden determinar haciendo uso de las ecuaciones (2-36) y (2-39), las tablas III y IV o las figuras 9 y 10. En todos los casos el valor de  $y/b$ , debe ser el de  $\bar{y}/b$ .

3. Calcular  $J = \frac{N}{N-M+1}$
4. Calcular para la sección inicial y final del tramo los valores de:  
$$u = \frac{y}{y_n} \text{ y } v = u^{N/J}$$
5. Calcular las funciones de flujo variado F(u, N) y F(v, J) con ayuda de la tabla LXXI del anexo.
6. Aplicar la ecuación (2-31) para obtener la longitud del tramo que separa las dos secciones extremas.

## 2.3 Método numérico

El método numérico es el que tiene aplicaciones más amplias debido a que es adecuado para el análisis de perfiles de flujo tanto en canales prismáticos como no prismáticos. Se caracteriza porque para el cálculo se divide el canal en pequeños tramos y se calcula cada tramo, uno a continuación del otro.

Existen diversos métodos que permiten integrar en forma numérica la ecuación del flujo permanente gradualmente variado. La aplicabilidad o conveniencia de cada uno depende de las características de la situación particular que se debe resolver.

### 2.3.1 Método de tramos fijos

Este método es aplicable tanto para canales prismáticos como no prismáticos. Se utiliza para calcular el tirante  $y_2$  que se presenta en una sección 2 previamente especificada de un tramo de longitud  $\Delta x$ , a partir del tirante conocido  $y_1$  en la sección 1, y los demás datos.

A. Ecuación del método

$$S_o \Delta x + E_1 = E_2 + \bar{S}_E \Delta x \quad (2-40)$$

Donde:

$$E = y + \frac{v^2}{2g} = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (2-41)$$

$$\bar{S}_E = \frac{S_{E1} + S_{E2}}{2} \quad (2-42)$$

$$S_E = \left( \frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2 = \left( \frac{Q \cdot n}{A(A/p)^{2/3}} \right)^2 = Q^2 \cdot n^2 \left( \frac{p^2}{A^5} \right)^{2/3} \quad (2-43)$$

$\Delta x$  = distancia especificada del tramo desde una sección 1 de características conocidas hasta la sección 2 donde el tirante es desconocido.

## B. Procedimiento de cálculo

Conocidas las características hidráulicas en las secciones 1 y la longitud del tramo  $\Delta x$ , la cual es positiva si los cálculos se realizan hacia aguas abajo, y negativa si los cálculos son hacia aguas arriba de la sección 1, el procedimiento consiste en suponer un valor tentativo del tirante  $y_2$  en la sección 2 y ajustar por tanteos dicho valor hasta que con algún valor supuesto de éste se satisfaga la igualdad de los dos miembros de la ecuación (2-40).

Para ordenar los cálculos es conveniente tabular los resultados como se muestra en la tabla V.

1. Kilometraje que define la sección de cálculo. El valor inicial de  $x$ , puede ser el dato correspondiente al cadenamiento de la sección inicial de la aplicación, o bien en un valor fijado por el calculista, por ejemplo 0, los valores siguientes se obtienen acumulando los  $\Delta x$ .



2. Valor de  $\Delta x$  entre la sección en estudio y la sección anterior, generalmente constante.
3. Pendiente de fondo x columna (2), generalmente constante.
4. Profundidad en la sección. En la fila 1, para un  $y_1$  conocido se calculan los valores de las columnas 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, y 13, los valores de las columnas 14, 15 y 16 no se pueden calcular porque se requieren cálculos con  $y_2$ . En la fila 2, para un  $y_2$  supuesto se calculan los valores de las columnas desde la 5 hasta la 16.
5.  $A = (b + Zy)y$
6.  $p = b + 2\sqrt{1 + Z^2}y$
7.  $R = A/p$
8. Radio hidráulico a la 2/3
9.  $v = Q/A$
10. Carga de velocidad
11.  $E = y + \frac{v^2}{2g}(col(4) + col(10))$

12. Primer miembro de la ecuación (2-40), ( $col(3) + col(11)$ )

$$13. S_E = \left( \frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2$$

14.  $\bar{S}_E = \frac{S_{E1} + S_{E2}}{2}$  promedio de los valores de la col (13), para las filas  
1 y 2

15.  $col(14) \times col(2)$

16. Segundo miembro de la ecuación (2-40) ( $col(11) + col(15)$ ) de la fila  
2

El valor supuesto de  $y_2$  será el adecuado, si el resultado obtenido en la columna (16) para la fila 2 es igual o suficientemente próximo al de la columna (12) para la fila 1. En caso que no lo fuera, toda la línea de cálculos de la fila 2 debe ser eliminada y se deben comenzar nuevamente los cálculos con otro valor tentativo de  $y_2$  hasta que se cumpla con la igualdad de valores de las columnas (16) y (12).

Para las aplicaciones sucesivas el tirante  $y_2$  encontrado se tomará como el correspondiente para  $y_1$  y con este valor conocido se aplicará el mismo procedimiento para calcular el nuevo  $y_2$ , así hasta terminar con los tramos necesarios.

Para simplificar el cálculo de  $y_2$ , resulta conveniente expresar la ecuación (2-40) en  $f(y_2)$ . Así, sustituyendo las ecuaciones (2-41) y (2-47) en (2-40), se obtiene:

$$S_o \Delta x + y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} = y_2 + \frac{Q^2}{2gA_2^2} + \frac{\Delta x}{2} \cdot S_{E1} + \frac{\Delta x}{2} \cdot S_{E2}$$

$$S_o \Delta x + y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} - \frac{\Delta x}{2} S_{E1} = y_2 + \frac{Q^2}{2gA_2^2} + \frac{\Delta x}{2} S_{E2} \quad (2-44)$$

Reemplazando (2-43) en (2-44), resulta:

$$S_o \Delta x + y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} - \frac{\Delta x}{2} Q^2 n^2 \left( \frac{p_1^2}{A_1^5} \right)^{2/3} = y_2 + \frac{Q^2}{2gA_2^2} + \frac{\Delta x}{2} Q^2 n^2 \left( \frac{p_2^2}{A_2^5} \right)^{2/3} \quad (2-45)$$

En la ecuación (2-45) si  $S_o$ ,  $\Delta x$ ,  $y_1$ ,  $Q$  son datos, el primer miembro es un valor constante  $C$ , es decir:

$$C = S_o \Delta x + y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} - \frac{\Delta x Q^2 n^2}{2} \left( \frac{p_1^2}{A_1^5} \right)^{2/3} \quad (2-46)$$

y el segundo miembro es una función de  $y_2$ , con lo cual se tiene:

$$f(y_2) = y_2 + \frac{Q^2}{2gA_2^2} - \frac{\Delta x Q^2 n^2}{2} \left( \frac{p_2^2}{A_2^5} \right)^{2/3} = C \quad (2-47)$$

La ecuación (2-47) se puede resolver por tanteos, dando valores a  $y_2$  y calculando el valor de  $f(y_2)$  para lo cual se puede hacer la siguiente tabla:

Tabla V. Tabulación para hallar el valor de  $y_2$

$y_2$	$f(y_2)$
—	—
—	—
—	—

Fuente: Máximo, Villón, **Hidráulica de canales**, pág 369

La solución adecuada para  $y_2$  será aquella que hace que:

$$f(y_2) = C$$

Tabla VI. Tabulación para el método de tramos fijos

	x ①	$\Delta x$ ②	$S_0 \Delta x$ ③	y ④	A ⑤	P ⑥	R ⑦	$R^{2/3}$ ⑧
Fila 1	0	$\Delta x$	*	$y_1$	*	*	*	*
Fila 2	$\Delta x$		**	$y_2$	**	**	**	**
	v ⑨	$v^2 / 2g$ ⑩	E ⑪	$S_0 \Delta x + E$ ⑫	$S_E$ ⑬	$\bar{S}_E$ ⑭	$\bar{S}_E \Delta x$ ⑮	$E + \bar{S}_E \Delta x$ ⑯
Fila 1	*	*	*	→ *	*	—	—	—
Fila 2	**	**	**	**	**	**	**	** ←

Fuente: Máximo, Villón, **Hidráulica de canales**, pág 367

## **3. PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

### **3.1 Descripción del equipo**

El equipo disponible en el laboratorio para el análisis y reproducción de los perfiles de flujo gradualmente variado está conformado por:

1. Canal de pendiente variable, de sección rectangular. Sus dimensiones y características se presentan en las figuras 14 y 15.
2. Tanque calibrado en litros para la determinación del caudal.
3. Dispositivos para el control de flujo. Se dispone de una compuerta de exclusiva colocada a lo largo del canal.
4. Medidor de aguja (limnómetro) montado sobre una base móvil para determinar la profundidad del flujo.

### **3.2 Descripción de la práctica**

El objetivo de la práctica es reproducir los perfiles de flujo tipo M1, M2 y M3, y luego analizarlos por los métodos descritos en el capítulo 2.

El procedimiento general fijado para el desarrollo de la práctica es el siguiente:

1. Regular la pendiente para poder llevar a cabo la modelación de los perfiles tipo M1, M2 y M3.
2. Establecer un caudal en el canal de pendiente variable y determinar su magnitud mediante aforo volumétrico.
3. Determinar el coeficiente de rugosidad de Manning del canal, en este caso el coeficiente de Manning a utilizar será de 0.013, por considerarse un tabique vidriado.
4. Iniciar la modelación de los diferentes tipos de flujo: M1, M2 y M3. Para lo cual se debe detallar la ubicación y características de los puntos de control, es este caso los puntos de control se realizaron en su mayoría a cada 20 cm, ya que en otras partes del canal hay algunas piezas rigidizantes que obstaculizan la toma de datos, en esos lugares lo que hizo variar la distancia en algunos tramos.

Figura 14. **Bosquejo de canal**

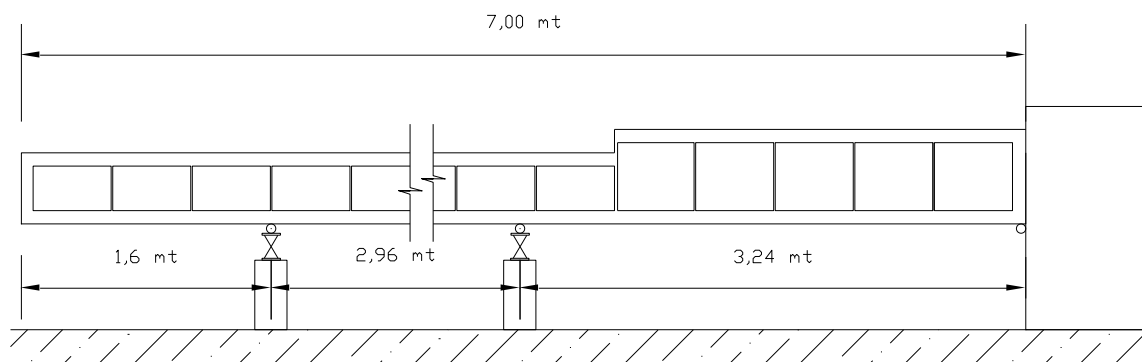
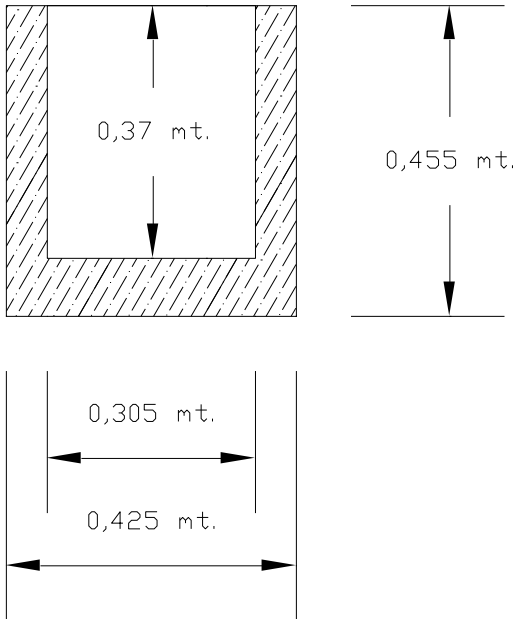


Figura 15. **Detalle de sección del canal**



5. Leer los tirantes para los tramos propuestos con ayuda del limnimetro, tomando en cuenta que la altura real del tirante medido, será la lectura que marca el limnimetro en la superficie del flujo menos la lectura que marca en el fondo del canal.
6. Realizar el aforo volumétrico, para lo cual se debe tomar la lectura del piezómetro colocado en el tanque, luego esta altura se busca en la tabla mostrada en el apéndice, la tabla indicará la cantidad de litros que hay en el tanque, al mismo tiempo que se realice el aforo se debe cronometrar el tiempo, para llevar a cabo el cálculo del caudal.
7. Tabular los datos tomados, tomando en consideración que se deben realizar los ensayos con dos caudales diferentes.

### 3.3 Desarrollo de la práctica

Los ensayos realizados con el fin de generar los distintos tipos de perfiles, en este caso perfiles tipo M1, M2 y M3, se describirán a continuación detallando cada uno de los datos obtenidos.

- Perfil M1

Para la toma de datos, en el caso del perfil M1, se graduaron las pendientes en un 0.2% y un 0.5%, respectivamente, los caudales para cada uno de los casos fueron distintos; el nivel de referencia para conocer el tirante real tiene un valor de 29.6 cm.

La tabla VII muestra el detalle de los datos obtenidos del aforo volumétrico para el perfil M1, en la cual la primera columna muestra el tiempo de llenado del tanque calibrado, en la segunda columna se muestra el volumen en litros obtenidos de la tabla mostrada en el apéndice, la tercera columna indica los caudales los cuales se calculan de la siguiente manera:

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

$$Q_1 = \frac{419.30}{116.98} [lts/s] = 3.5844 \text{ lts/s}$$

$$Q_2 = \frac{429.60}{119.80} [lts/s] = 3.5860 \text{ lts/s}$$



Y por último la cuarta columna indica el caudal promedio, el cual se calcula de la siguiente forma:

$$\bar{Q} = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$$

$$\bar{Q} = \frac{3.5844 + 3.5860}{2} = 3.5852 \text{ lts/s}$$

Tabla VII. **Cálculo de caudales para perfiles M1**

Tiempo (s)	Volumen (lts)	Caudal Q (lts/s)	Caudal promedio Q (lts/s)
116.98	419.30	3.5844	<b>3.5852</b>
119.80	429.60	3.5860	
35.07	412.00	11.7479	<b>11.7014</b>
36.92	430.30	11.6549	

Los datos mostrados en la tabla VIII describen la distancia a la que fueron tomados los diferentes tirantes, la lectura obtenida del limnómetro, además de los tirantes de ensayo, los cuales se calculan a partir de una altura de referencia de 29.6cm (altura del fondo del canal); la columna correspondiente al tirante real (columna 4 y 6) se obtiene de la siguiente manera:

$$h = h_{superficial} - h_{fondo} [cm]$$

$$h = 47.10 - 29.60 = 17.50 \text{ cm}$$

En la tabla VIII se muestran dos series de datos correspondientes para cada uno de los caudales respectivos.

Tabla VIII. Datos obtenidos del ensayo para el perfil M1

distancia horizontal (cm)	distancia horizontal acumulada (cm)	altura toma 1 (cm)	Altura 1 de tirante (cm)	altura toma 2 (cm)	Altura 2 de tirante (cm)
0.00	0.00	47.10	17.50	49.90	20.30
30.00	30.00	47.10	17.50	49.90	20.30
14.00	44.00	47.10	17.50	49.90	20.30
49.00	93.00	47.10	17.50	50.10	20.50
20.00	113.00	47.10	17.50	50.20	20.60
20.00	133.00	47.15	17.55	50.25	20.65
20.00	153.00	47.20	17.60	50.30	20.70
20.00	173.00	47.20	17.60	50.40	20.80
20.00	193.00	47.20	17.60	50.50	20.90
20.00	213.00	47.25	17.65	50.55	20.95
20.00	233.00	47.25	17.65	50.65	21.05
20.00	253.00	47.30	17.70	50.70	21.10
47.00	300.00	47.35	17.75	50.85	21.25
20.00	320.00	47.40	17.80	50.95	21.35
20.00	340.00	47.40	17.80	51.05	21.45
20.00	360.00	47.42	17.82	51.10	21.50
20.00	380.00	47.48	17.88	51.20	21.60
20.00	400.00	47.48	17.88	51.20	21.60
20.00	420.00	47.50	17.90	51.30	21.70
20.00	440.00	47.50	17.90	51.32	21.72
20.00	460.00	47.50	17.90	51.40	21.80
20.00	480.00	47.55	17.95	51.40	21.80
43.00	523.00	47.70	18.10	51.45	21.85

Para visualizar de mejor forma los datos que se obtuvieron de los ensayos del flujo gradualmente variado, se presentan los siguientes gráficos que corresponden a cada tipo de perfil ensayado

Figura 16. Gráfico para primer perfil M1 utilizando los datos de ensayo

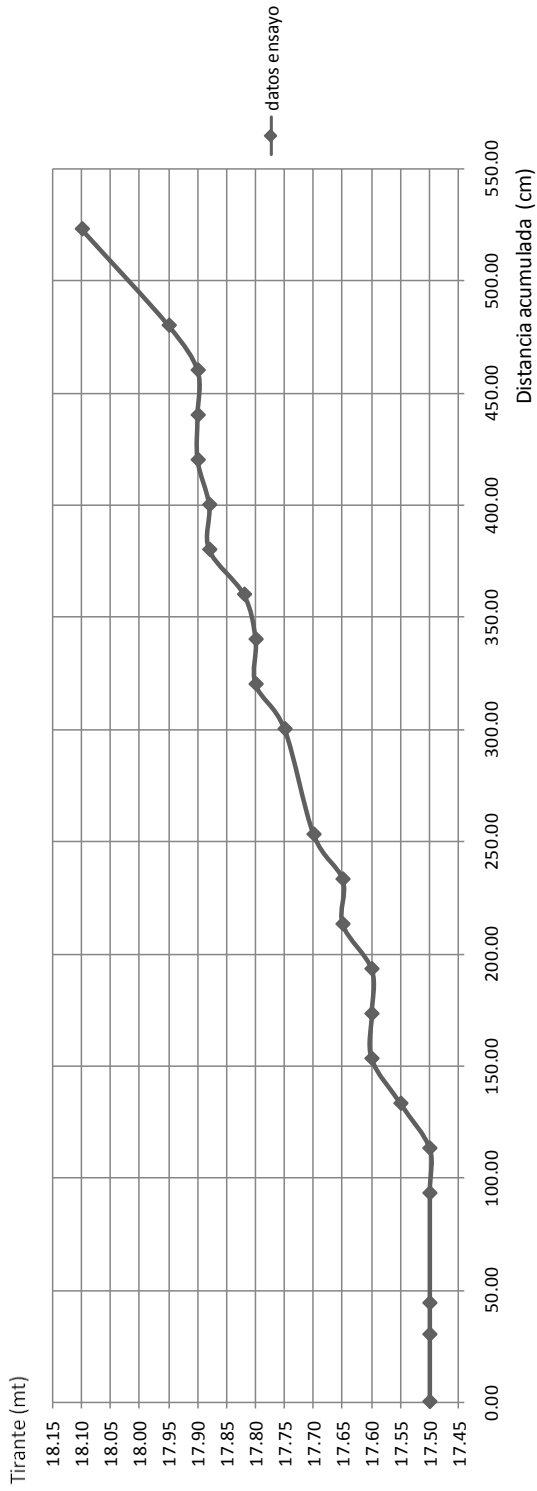
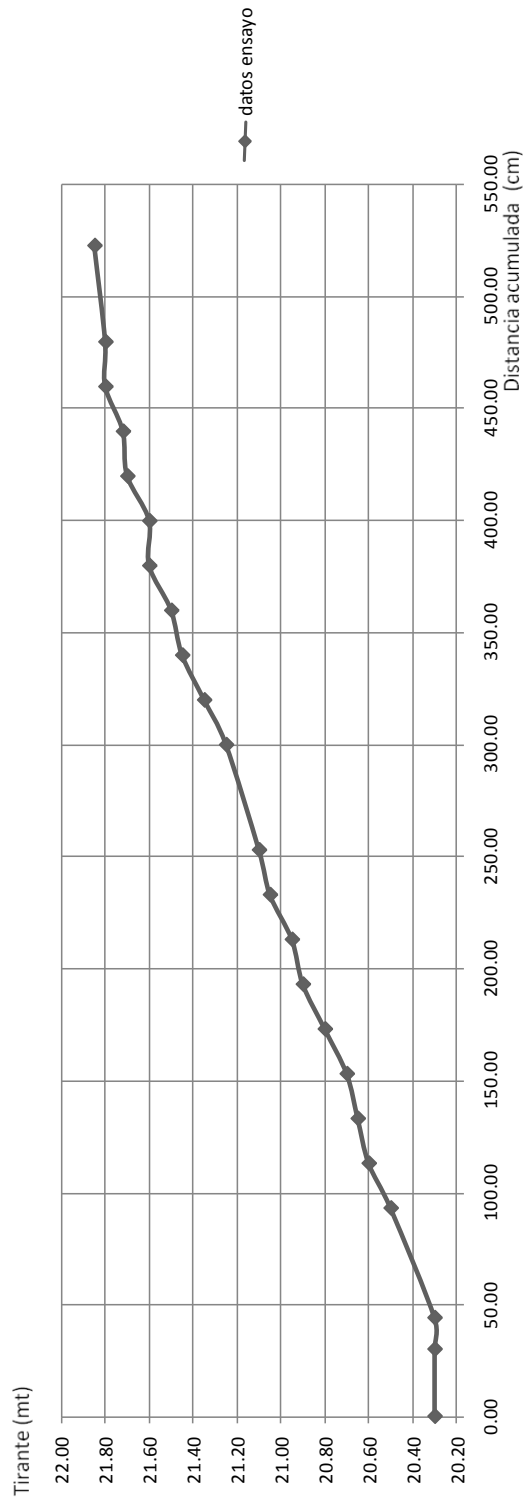


Figura 17. Gráfico para segundo perfil M1 utilizando los datos de ensayo



- Perfil M2

Para la toma de datos en el caso del perfil M2, se graduó la pendiente en un 0.1%, los caudales para cada uno de los casos fueron distintos; el nivel de referencia para conocer el tirante real tiene un valor de 29.6 cm.

La tabla IX muestra el detalle de los datos obtenidos del aforo volumétrico para el perfil M2, en la cual la primera columna muestra el tiempo de llenado del tanque calibrado, en la segunda columna se muestra el volumen en litros obtenidos de la tabla mostrada en el apéndice, la tercera columna indica los caudales, los cuales se calcularon de igual forma que para el caso anterior.

Tabla IX. **Cálculo de caudales para perfiles M2**

Tiempo (s)	Volumen (lts)	Caudal Q (lts/s)	Caudal promedio Q (lts/s)
31.96	453.30	14.1834	<b>14.1890</b>
30.73	436.20	14.1946	
38.09	415.70	10.9136	<b>10.9223</b>
39.10	427.40	10.9309	

Los datos mostrados en la tabla X describen la distancia a la que fueron tomados los diferentes tirantes, la lectura obtenida del limnómetro, además de los tirantes reales, los cuales se calculan a partir de una altura de referencia de 29.6cm (altura del fondo del canal); la columna correspondiente al tirante real (columnas 4 y 6) se obtiene de la siguiente manera:

$$h = h_{superficial} - h_{fondo} [cm]$$

$$h = 38.10 - 29.60 = 8.50 \text{ cm}$$

En la tabla X se muestran dos series de datos correspondientes para cada uno de los caudales respectivos.

**Tabla X. Datos obtenidos del ensayo para el perfil M2**

<b>distancia horizontal (cm)</b>	<b>distancia horizontal acumulada (cm)</b>	<b>altura toma 1 (cm)</b>	<b>Altura 1 de tirante (cm)</b>	<b>altura toma 2 (cm)</b>	<b>Altura 2 de tirante (cm)</b>
0.00	0.00	38.10	8.50	36.80	7.20
30.00	30.00	38.10	8.50	36.80	7.20
14.00	44.00	38.10	8.50	36.70	7.10
49.00	93.00	37.90	8.30	36.60	7.00
20.00	113.00	37.90	8.30	36.50	6.90
20.00	133.00	37.80	8.20	36.40	6.80
20.00	153.00	37.50	7.90	36.40	6.80
20.00	173.00	37.50	7.90	36.30	6.70
20.00	193.00	37.45	7.85	36.20	6.60
20.00	213.00	37.45	7.85	36.20	6.60
20.00	233.00	37.30	7.70	36.10	6.50
20.00	253.00	37.20	7.60	36.10	6.50
47.00	300.00	37.10	7.50	36.00	6.40
20.00	320.00	37.05	7.45	35.90	6.30
20.00	340.00	37.00	7.40	35.80	6.20
20.00	360.00	36.85	7.25	35.80	6.20
20.00	380.00	36.85	7.25	35.70	6.10
20.00	400.00	36.70	7.10	35.60	6.00
20.00	420.00	36.55	6.95	35.50	5.90
20.00	440.00	36.45	6.85	35.40	5.80
20.00	460.00	36.40	6.80	35.20	5.60
20.00	480.00	35.95	6.35	35.10	5.50
43.00	523.00	35.60	6.00	34.70	5.10

Para visualizar de mejor forma los datos que se obtuvieron de los ensayos del flujo gradualmente variado, se presentan los siguientes gráficos que corresponden a cada tipo de perfil ensayado

Figura 18. Gráfico para primer perfil M2 utilizando los datos de ensayo

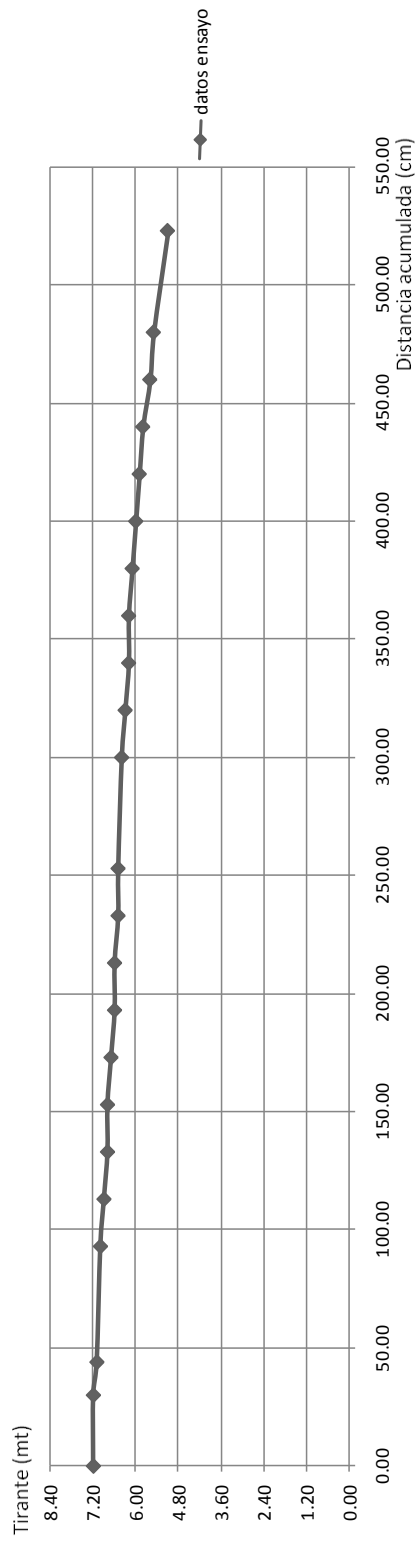
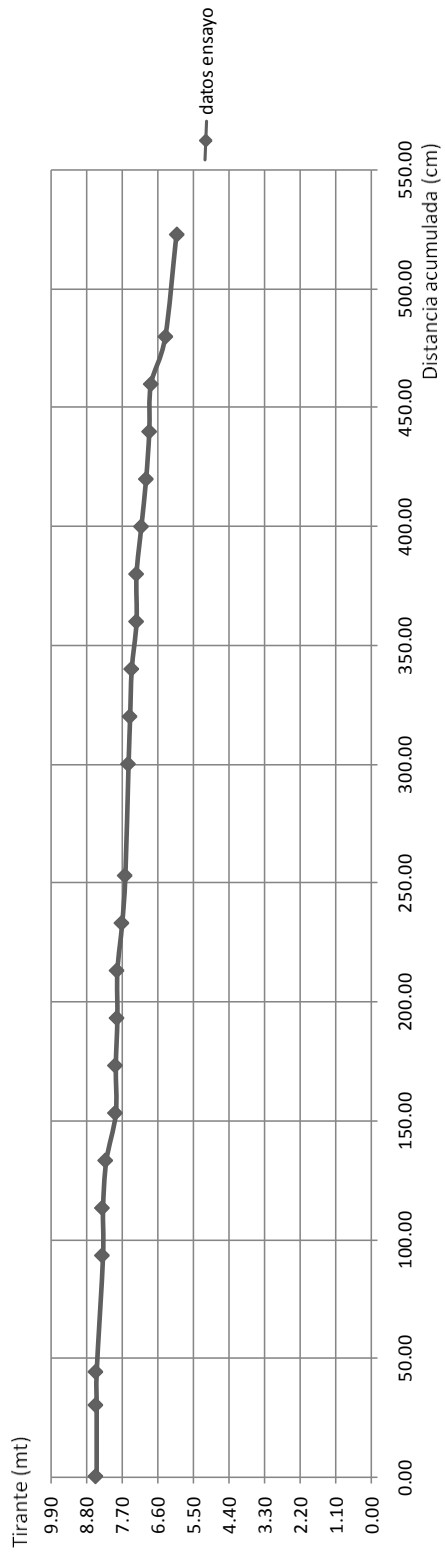


Figura 19. Gráfico para segundo perfil M2 utilizando los datos de ensayo



- Perfil M3

Para la toma de datos en el caso del perfil M3, se graduó la pendiente en un 0.1%, los caudales para cada uno de los casos fueron distintos; el nivel de referencia para conocer el tirante real tiene un valor de 29.6 cm.

La tabla XI muestra el detalle de los datos obtenidos del aforo volumétrico para el perfil M3, en la cual la primera columna muestra el tiempo de llenado del tanque calibrado, en la segunda columna se muestra el volumen en litros obtenidos de la tabla mostrada en el apéndice, la tercera columna indica los caudales, los cuales se calcularon de igual forma que en caso del perfil M1.

Tabla XI. **Cálculo de caudales para perfiles M3**

Tiempo (s)	Volumen (lts)	Caudal Q (lts/s)	Caudal promedio Q (lts/s)
44.29	457.00	10.3184	<b>10.3357</b>
42.21	437.00	10.3530	
31.24	417.10	13.3515	<b>13.3883</b>
31.56	423.70	13.4252	

Los datos mostrados en la tabla XII describen la distancia a la que fueron tomados los diferentes tirantes, y además se muestran dos series de datos correspondientes para cada uno de los caudales respectivos, en este caso los datos tienden a tener una longitud menor que los perfiles M1 y M2 por ser un perfil generado durante el resalto hidráulico.



Tabla XII. Datos obtenidos del ensayo para los perfiles M3

distancia horizontal (cm)	distancia horizontal acumulada (cm)	altura toma 1 (cm)	Altura 1 de tirante (cm)	altura toma 2 (cm)	Altura 2 de tirante (cm)
0.00	0.00	32.20	2.60	31.35	1.75
30.00	30.00	32.20	2.60	31.35	1.75
14.00	44.00	32.20	2.60	31.40	1.80
49.00	93.00	32.35	2.75	31.50	1.90
20.00	113.00	32.35	2.75	31.55	1.95
20.00	133.00	32.50	2.90	31.65	2.05
20.00	153.00	32.60	3.00	31.70	2.10
20.00	173.00	32.60	3.00	31.85	2.25
20.00	193.00	32.60	3.00	31.90	2.30
20.00	213.00	32.70	3.10	31.90	2.30
20.00	233.00	32.82	3.22	31.90	2.30
20.00	253.00	32.90	3.30	32.00	2.40
47.00	300.00	-----	-----	32.15	2.55

Para visualizar de mejor forma los datos que se obtuvieron de los ensayos del flujo gradualmente variado, se presentan los siguientes gráficos que corresponden a cada tipo de perfil ensayado.

Figura 20. Gráfico para primer perfil M3 utilizando los datos de ensayo

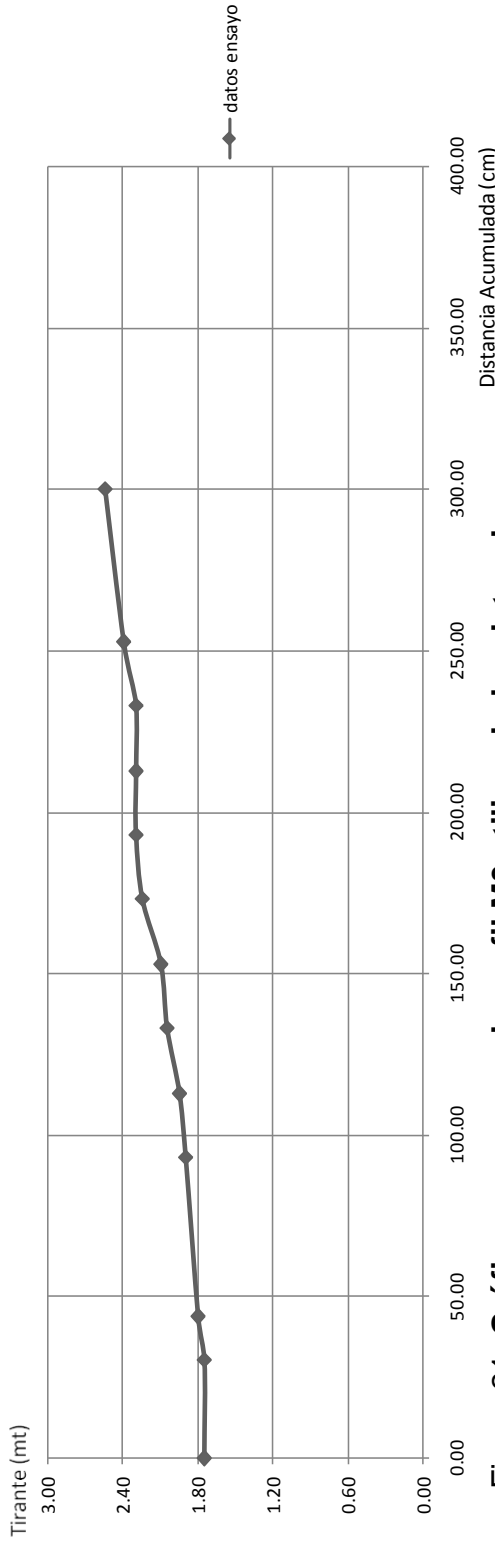
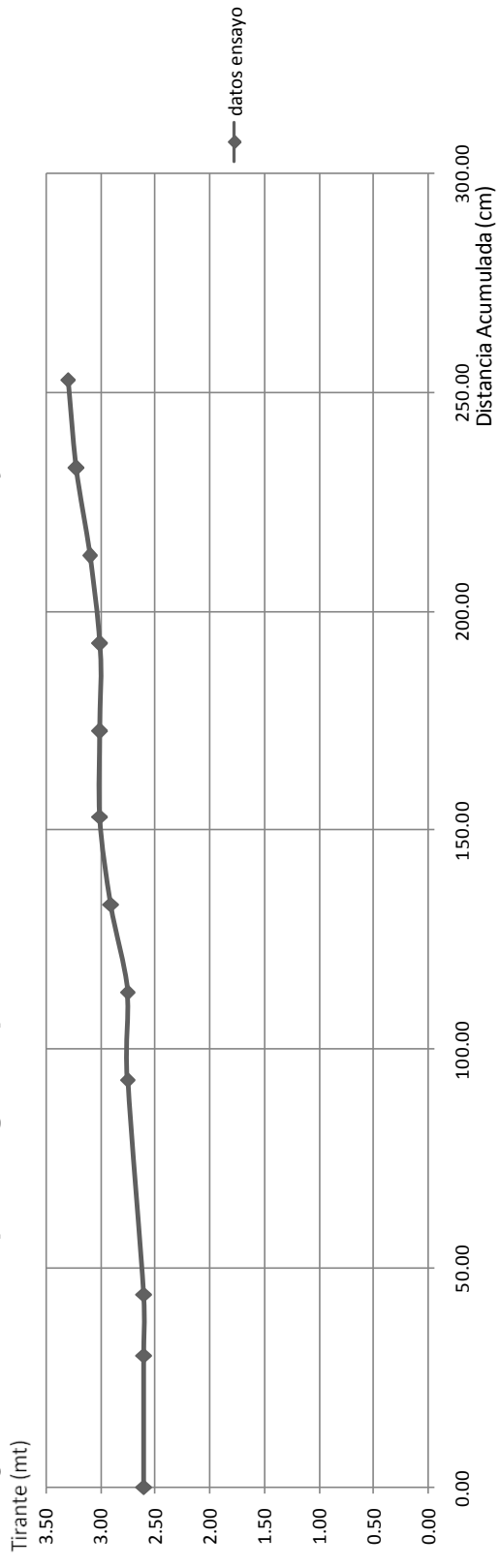


Figura 21. Gráfico para segundo perfil M3 utilizando los datos de ensayo



### 3.4 Determinación de tirantes normales y tirantes críticos por medio del método algebraico

Para llevar a cabo los diferentes métodos de análisis de flujo gradualmente variado es necesario identificar la curva, es decir, conocer el tirante normal ( $y_n$ ) y el tirante crítico ( $y_c$ ), para este caso los tirantes se calcularon por medio del método algebraico; a continuación se describe la forma utilizada para hallar el tirante normal.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

$$\frac{Q \cdot n}{S^{1/2}} = \frac{A^{5/3}}{p^{2/3}}$$

$$\frac{A^5}{p^2} = \left( \frac{Q \cdot n}{S^{1/2}} \right)^3$$

$$f(y) = \frac{(by)^5}{(b+2y)^2} = \frac{(3.5852 \times 0.013)}{0.0001^{1/2}}$$

$$f(y) = \frac{(by)^5}{(b+2y)^2} = 1.1319E - 0.9$$

En las tablas XIII, XIV, XV, XVI, XVII y XVIII se muestran los cálculos realizados para encontrar los valores del tirante normal (valor resaltado) para cada uno de los caudales ensayados.

Tabla XIII. Cálculo del tirante normal para el caudal 1 del perfil M1

Tirante Normal(m)	Área Hidráulica (A) m <sup>2</sup>	Perímetro Mojado (P) m	Caudal (Q) m <sup>3</sup> /s	$((Q*n)/S^{(1/2)})^3$	$A^5/P^2$
0.2	0.061	0.705	0.0035852	1.1319E-09	1.6993E-06
0.1	0.0305	0.505	0.0035852	1.1319E-09	1.0349E-07
0.09	0.02745	0.485	0.0035852	1.1319E-09	6.6256E-08
0.089	0.027145	0.483	0.0035852	1.1319E-09	6.3176E-08
0.07	0.02135	0.445	0.0035852	1.1319E-09	2.2401E-08
<b>0.0361</b>	0.0110105	0.377	0.0035852	1.1319E-09	1.1373E-09

Tabla XIV. Cálculo del tirante normal para el caudal 2 del perfil M1

Tirante Normal(m)	Área Hidráulica (A) m <sup>2</sup>	Perímetro Mojado (P) m	Caudal (Q) m <sup>3</sup> /s	$((Q*n)/S^{(1/2)})^3$	$A^5/P^2$
0.1	0.0305	0.505	0.0117014	9.9561E-09	1.0349E-07
0.08	0.0244	0.465	0.0117014	9.9561E-09	3.9998E-08
0.07	0.02135	0.445	0.0117014	9.9561E-09	2.2401E-08
0.06	0.0183	0.425	0.0117014	9.9561E-09	1.1363E-08
<b>0.0581</b>	0.0177205	0.421	0.0117014	9.9561E-09	9.8492E-09

Tabla XV. Cálculo del tirante normal para el caudal 1 del perfil M2

Tirante Normal(m)	Área Hidráulica (A) m <sup>2</sup>	Perímetro Mojado (P) m	Caudal (Q) m <sup>3</sup> /s	$((Q*n)/S^{(1/2)})^3$	$A^5/P^2$
0.2	0.061	0.705	0.0141890	1.9847E-07	1.6993E-06
0.15	0.04575	0.605	0.0141890	1.9847E-07	5.4758E-07
0.1	0.0305	0.505	0.0141890	1.9847E-07	1.0349E-07
0.11	0.03355	0.525	0.0141890	1.9847E-07	1.5422E-07
0.115	0.035075	0.535	0.0141890	1.9847E-07	1.8547E-07
<b>0.1169</b>	0.0356545	0.539	0.0141890	1.9847E-07	1.9848E-07

Tabla XVI. Cálculo del tirante normal para el caudal 2 del perfil M2

Tirante Normal(m)	Área Hidráulica (A) m2	Perímetro Mojado (P) m	Caudal (Q) m3/s	$((Q*n)/S^{(1/2)})^3$	$A^5/P^2$
0.1	0.0305	0.505	0.0109223	9.0526E-08	1.0349E-07
0.09	0.02745	0.485	0.0109223	9.0526E-08	6.6256E-08
0.091	0.027755	0.487	0.0109223	9.0526E-08	6.9446E-08
0.095	0.028975	0.495	0.0109223	9.0526E-08	8.3350E-08
<b>0.09688</b>	0.0295484	0.499	0.0109223	9.0526E-08	9.0550E-08

Tabla XVII. Cálculo del tirante normal para el caudal 1 del perfil M3

Tirante Normal(m)	Área Hidráulica (A) mt2	Perímetro Mojado (P) m	Caudal (Q) m3/s	$((Q*n)/S^{(1/2)})^3$	$A^5/P^2$
0.2	0.061	0.705	0.0103357	7.6710E-08	1.6993E-06
0.15	0.04575	0.605	0.0103357	7.6710E-08	5.4758E-07
0.1	0.0305	0.505	0.0103357	7.6710E-08	1.0349E-07
0.09	0.02745	0.485	0.0103357	7.6710E-08	6.6256E-08
0.092	0.02806	0.489	0.0103357	7.6710E-08	7.2748E-08
<b>0.09315</b>	0.02841075	0.491	0.0103357	7.6710E-08	7.6687E-08

Tabla XVIII. Cálculo del tirante normal para el caudal 2 del perfil M3

Tirante Normal(m)	Área Hidráulica (A) m2	Perímetro Mojado (P) m	Caudal (Q) m3/s	$((Q*n)/S^{(1/2)})^3$	$A^5/P^2$
0.1	0.0305	0.505	0.0133883	1.6673E-07	1.0349E-07
0.11	0.03355	0.525	0.0133883	1.6673E-07	1.5422E-07
0.12	0.0366	0.545	0.0133883	1.6673E-07	2.2111E-07
0.111	0.033855	0.527	0.0133883	1.6673E-07	1.6014E-07
<b>0.112</b>	0.03416	0.529	0.0133883	1.6673E-07	1.6622E-07

El tirante crítico se determina con la ecuación:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T}$$

$$\frac{3.5852^2}{9.81} = \frac{(by)^3}{b}$$

$$1.3103E - 06 = \frac{(by)^3}{b}$$

En las tablas XIX, XX, XXI, XXII, XXIII y XXIV se muestran los cálculos realizados para encontrar los valores del tirante crítico (valor resaltado) para cada uno de los caudales ensayados.

Tabla XIX. Cálculo del tirante crítico para el caudal 1 del perfil M1

Tirante Critico(m)	Área Hidráulica (A) m2	Espejo de Agua T (m)	Caudal (Q) m3/s	A^3/T	Q^2/g
0.2	0.061	0.305	0.0035852	0.0007442	1.3103E-06
0.15	0.04575	0.305	0.0035852	0.000313959	1.3103E-06
0.1	0.0305	0.305	0.0035852	0.000093025	1.3103E-06
0.04	0.0122	0.305	0.0035852	5.9536E-06	1.3103E-06
<b>0.0242</b>	0.007381	0.305	0.0035852	1.3184E-06	1.3103E-06

Tabla XX. Cálculo del tirante crítico para el caudal 2 del perfil M1

Tirante Critico(m)	Área Hidráulica (A) m2	Espejo de Agua T (m)	Caudal (Q) m3/s	A^3/T	Q^2/g
0.1	0.0305	0.305	0.0117014	0.000093025	1.3957E-05
0.08	0.0244	0.305	0.0117014	4.76288E-05	1.3957E-05
0.06	0.0183	0.305	0.0117014	2.00934E-05	1.3957E-05
0.05	0.01525	0.305	0.0117014	1.1628E-05	1.3957E-05
<b>0.0531</b>	0.0161955	0.305	0.0117014	1.3928E-05	1.3957E-05

Tabla XXI. Cálculo del tirante crítico para el caudal 1 del perfil M2

Tirante Crítico(m)	Área Hidráulica (A) m <sup>2</sup>	Espejo de Agua T (m)	Caudal (Q) m <sup>3</sup> /s	A <sup>3</sup> /T	Q <sup>2</sup> /g
0.2	0.061	0.305	0.0141890	0.0007442	2.0523E-05
0.15	0.04575	0.305	0.0141890	0.000313959	2.0523E-05
0.1	0.0305	0.305	0.0141890	0.000093025	2.0523E-05
0.07	0.02135	0.305	0.0141890	3.1908E-05	2.0523E-05
<b>0.0604</b>	0.018422	0.305	0.0141890	2.0498E-05	2.0523E-05

Tabla XXII. Cálculo del tirante crítico para el caudal 2 del perfil M2

Tirante Crítico(m)	Área Hidráulica (A) m <sup>2</sup>	Espejo de Agua T (m)	Caudal (Q) m <sup>3</sup> /s	A <sup>3</sup> /T	Q <sup>2</sup> /g
0.1	0.0305	0.305	0.0109223	0.000093025	1.2161E-05
0.08	0.0244	0.305	0.0109223	4.76288E-05	1.2161E-05
0.06	0.0183	0.305	0.0109223	2.00934E-05	1.2161E-05
0.05	0.01525	0.305	0.0109223	1.1628E-05	1.2161E-05
<b>0.05075</b>	0.01547875	0.305	0.0109223	1.2159E-05	1.2161E-05

Tabla XXIII. Cálculo del tirante crítico para el caudal 1 del perfil M3

Tirante Crítico(m)	Área Hidráulica (A) m <sup>2</sup>	Espejo de Agua T (m)	Caudal (Q) m <sup>3</sup> /s	A <sup>3</sup> /T	Q <sup>2</sup> /g
0.2	0.061	0.305	0.0103357	0.0007442	1.0890E-05
0.15	0.04575	0.305	0.0103357	0.000313959	1.0890E-05
0.05	0.01525	0.305	0.0103357	1.16281E-05	1.0890E-05
0.049	0.014945	0.305	0.0103357	1.0944E-05	1.0890E-05
<b>0.04892</b>	0.0149206	0.305	0.0103357	1.0891E-05	1.0890E-05

Tabla XXIV. Cálculo del tirante crítico para el caudal 2 del perfil M3

Tirante Crítico(m)	Área Hidráulica (A) m <sup>2</sup>	Espejo de Agua T (m)	Caudal (Q) m <sup>3</sup> /s	A <sup>3</sup> /T	Q <sup>2</sup> /g
0.1	0.0305	0.305	0.0133883	0.000093025	1.8272E-05
0.08	0.0244	0.305	0.0133883	4.76288E-05	1.8272E-05
0.06	0.0183	0.305	0.0133883	2.00934E-05	1.8272E-05
0.05	0.01525	0.305	0.0133883	1.1628E-05	1.8272E-05
<b>0.05813</b>	0.01772965	0.305	0.0133883	1.8273E-05	1.8272E-05

Los valores mostrados en las ecuaciones corresponden al primer caudal del perfil M1, la forma para hallar los tirantes normal y crítico será el mismo para todos los perfiles.

### 3.5 Determinación de perfiles de flujo por medio del método de integración gráfica

Como se describió en el capítulo 2 el método de integración gráfica, constituye una de las tres maneras de calcular los perfiles de flujo gradualmente variado, a continuación se describen cada uno de los pasos que se realizan para llevar a cabo dicho análisis.

- Perfil M1

En la tabla XXV se muestra los valores del tirante normal y crítico para cada uno de los caudales para el perfil M1 con los que se realizaron los ensayos, utilizando el método algebraico que se describió anteriormente.



Tabla XXV. Valores del tirante normal y crítico para el perfil M1

Caudal Q (lts/s)	Tirante normal (cm)	Tirante crítico (cm)
3.5852	3.61	2.42
11.7014	5.81	5.31

Teniendo estos valores se puede saber el tipo de perfil obtenido con los datos tomados del ensayo, en este caso se muestra un perfil M1, ya que se cumple la condición  $y > y_n > y_c$  ( $17.50 > 3.61 > 2.42$ ).

Luego de saber los valores del tirante normal y crítico se procede a iniciar con el método de integración gráfica, el cual se basa en los cambios de altura que presenten los tirantes.

Teniendo identificado el tipo de perfil que se tiene, se sabe si el análisis será aguas arriba o aguas abajo, lo cual indicaría el signo de las distancias obtenidas del método, como también la posición de los tirantes.

La columna uno mostrada en la tabla XXVI indica el valor de los tirantes obtenidos de los ensayos para el perfil M1, generados a partir del primer caudal, el análisis fue hecho aguas abajo por ser un perfil M1. El cálculo de los demás datos de la tabla se muestra a continuación:

$$\text{Columna 2: } 0.1810 \times 0.305 = 0.0552 \text{ m}^2$$

$$\text{Columna 3: } T = b = 0.305 \text{ m}$$

$$\text{Columna 4: } R = \frac{by}{b+2y} = \frac{0.055205}{0.305+2 \times 0.1810} = 0.08276 \text{ m}$$

Columna 5:  $v = \frac{Q}{A} = \frac{3.5852}{0.0552} = 0.06494 \frac{m}{s}$

Columna 6:  $S_E = \left( \frac{n \cdot v}{R^{2/3}} \right)^2 = \left( \frac{0.013 \times 0.06494}{0.1899} \right)^2 = 1.9761E - 05$

Columna 7:  $1 - \frac{Q^2 T}{g A^3} = 1 - \frac{3.9203E-06}{0.001650} = 0.9976$

Columna 8:  $S_o - S_e = 0.002 - 1.9761E - 05 = 0.001980$

Columna 9:  $f(y) = \frac{1 - \frac{Q^2 T}{g A^3}}{S_o - S_e} = \frac{0.9976}{0.001980} = 503.7901$

Columna 10:  $\Delta x = A = \frac{503.7901 + 503.8702}{2} \times (0.1810 - 0.1795) = 0.7755$

Columna 11:  $x = \text{áreas acumuladas}$

Tabla XXVI. Datos del método de integración grafica para el primer perfil M1

Pendiente	0.20%
Q1 (m3/s)	0.0035852
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	Y	A	T	R	v	Se=(n*v/R^(2/3))^2	1-(Q^2*T/(g*A^3))	So-Se	f(Y)=(1-(Q^2*T/(g*A^3)))/So-Se	ΔX=A (d. reales)	x (reales)
1	0.1810	0.05205	0.305	0.08276612	0.06494339	1.97615E-05	0.997624679	0.00198024	503.7901637	0.00	0.00
2	0.1795	0.0547475	0.305	0.082445105	0.0654861	2.01956E-05	0.997564631	0.0019798	503.8702953	0.75574534	0.75574534
3	0.1790	0.054595	0.305	0.08234454	0.06566902	2.03433E-05	0.997544166	0.00197966	503.8975591	0.25194196	1.00768731
4	0.1790	0.054595	0.305	0.08234454	0.06566902	2.03433E-05	0.997544166	0.00197966	503.8975591	0.2	1.20768731
5	0.1790	0.054595	0.305	0.08234454	0.06566902	2.03433E-05	0.997544166	0.00197966	503.8975591	0.2	1.40768731
6	0.1788	0.054534	0.305	0.08230305	0.06574247	2.04029E-05	0.997535916	0.0019796	503.9085436	0.10078061	1.50846792
7	0.1788	0.054351	0.305	0.08217569	0.06596383	2.05829E-05	0.997510942	0.00197942	503.9417111	0.2	1.70846792
8	0.1780	0.05429	0.305	0.08213313	0.06603794	2.06435E-05	0.997502543	0.00197936	503.9529391	0.30235509	2.01082301
9	0.1780	0.05429	0.305	0.08213313	0.06603794	2.06435E-05	0.997502543	0.00197936	503.9529391	0.10078947	2.11161248
10	0.1775	0.0541375	0.305	0.08202652	0.06622397	2.07959E-05	0.997481378	0.0019792	503.9810631	0.2	2.31161248
11	0.1775	0.053985	0.305	0.08191958	0.06641104	2.095E-05	0.997459973	0.00197905	504.0094817	0.25198835	2.56359598
12	0.1765	0.0538325	0.305	0.08181231	0.06659917	2.11057E-05	0.997438325	0.00197889	504.0381991	0.25199764	2.81559362
13	0.1765	0.0538325	0.305	0.08181231	0.06659917	2.11057E-05	0.997438325	0.00197889	504.0381991	0.25201192	3.06760554
14	0.1760	0.05368	0.305	0.08170472	0.06678838	2.12631E-05	0.997416431	0.00197874	504.0672194	0.2	3.26760554
15	0.1760	0.05368	0.305	0.08170472	0.06678838	2.12631E-05	0.997416431	0.00197874	504.0672194	0.25202635	3.5196319
16	0.1760	0.05368	0.305	0.08170472	0.06678838	2.12631E-05	0.997416431	0.00197874	504.0672194	0.2	3.7196319
17	0.1755	0.0535275	0.305	0.0815968	0.06697866	2.14221E-05	0.997394286	0.00197858	504.0965467	0.2	3.9196319
18	0.1750	0.053375	0.305	0.08148855	0.06717002	2.15829E-05	0.997371888	0.00197842	504.1261853	0.25204094	4.17167284
19	0.1750	0.053375	0.305	0.08148855	0.06717002	2.15829E-05	0.997371888	0.00197842	504.1261853	0.25205568	4.42372852
20	0.1750	0.053375	0.305	0.08148855	0.06717002	2.15829E-05	0.997371888	0.00197842	504.1261853	0.2	4.62372852
21	0.1750	0.053375	0.305	0.08148855	0.06717002	2.15829E-05	0.997371888	0.00197842	504.1261853	0.49	5.11372852
22	0.1750	0.053375	0.305	0.08148855	0.06717002	2.15829E-05	0.997371888	0.00197842	504.1261853	0.14	5.25372852
23	0.1750	0.053375	0.305	0.08148855	0.06717002	2.15829E-05	0.997371888	0.00197842	504.1261853	0.3	5.55372852

Tabla XXVII. Datos del método de integración gráfica para el segundo perfil M1

Pendiente	0.50%
Q2 (m3/s)	0.0117014
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	Y	A	T	R	v	Se=(n*v/R^(2/3))^2	1-(Q^2*T/g*A^3)	So-Se	f(Y)=(1-(Q^2*T/g*A^3))/(So-Se)	Δx=A (d. reales)	x (reales)
1	0.2185	0.0666425	0.305	0.08981469	0.17558465	0.000129538	0.985616895	0.00487046	202.3661947	0.00	0.00
2	0.2180	0.06649	0.305	0.08973009	0.17598737	0.000130296	0.985517702	0.0048697	202.3773455	0.10118589	0.10118589
3	0.2180	0.06649	0.305	0.08973009	0.17598737	0.000130296	0.985517702	0.0048697	202.3773455	0.2	0.30118589
4	0.2172	0.066246	0.305	0.08959427	0.17663557	0.000131523	0.985357086	0.00486848	202.395359	0.16190908	0.46309497
5	0.2170	0.066185	0.305	0.08956022	0.17679837	0.000131833	0.985316562	0.00486817	202.3998958	0.4047953	0.50357449
6	0.2160	0.06588	0.305	0.08938942	0.17761688	0.000133395	0.985111679	0.0048666	202.4227835	0.20241134	0.70598583
7	0.2160	0.06588	0.305	0.08938942	0.17761688	0.000133395	0.985111679	0.0048666	202.4227835	0.2	0.90598583
8	0.2150	0.065575	0.305	0.08921769	0.178443	0.000134985	0.984902968	0.00486502	202.4460156	0.2024344	1.10842023
9	0.2145	0.0654225	0.305	0.08913147	0.17885896	0.00013579	0.984797148	0.00486421	202.4577631	0.10122594	1.20964618
10	0.2135	0.0651175	0.305	0.08895833	0.1796967	0.00013742	0.984582522	0.00486258	202.4815254	0.20246964	1.41211582
11	0.2125	0.0648125	0.305	0.08878425	0.18054233	0.00013908	0.984363838	0.00486092	202.5056506	0.20249359	1.61460941
12	0.2110	0.064355	0.305	0.08852132	0.18182581	0.000141623	0.984027989	0.00485838	202.5425359	0.30378614	1.91839555
13	0.2105	0.0642025	0.305	0.0884332	0.1822577	0.000142486	0.983913904	0.00485751	202.5550209	0.10127439	2.01966994
14	0.2095	0.0638975	0.305	0.08825622	0.18312767	0.000144234	0.983682453	0.00485577	202.5802822	0.20256765	2.2223759
15	0.2090	0.063745	0.305	0.08816736	0.18356577	0.00014512	0.983565061	0.00485488	202.5930604	0.10129334	2.32353092
16	0.2080	0.06344	0.305	0.0879889	0.1844483	0.000146915	0.983326877	0.00485309	202.6189177	0.20260599	2.52613691
17	0.2070	0.063135	0.305	0.08780946	0.18533935	0.000148742	0.983084068	0.00485126	202.6451833	0.20263205	2.72876896
18	0.2065	0.0629825	0.305	0.08771936	0.18578812	0.000149668	0.982960894	0.00485033	202.668472	0.10132591	2.83009488
19	0.2060	0.06283	0.305	0.08762901	0.18623906	0.000150602	0.982836522	0.0048494	202.6718661	0.10133258	2.93142746
20	0.2050	0.062525	0.305	0.08744755	0.18714754	0.000152496	0.982584122	0.0048475	202.6989756	0.20268542	3.13411288
21	0.2030	0.061915	0.305	0.08708158	0.18899136	0.000156388	0.982064279	0.00484361	202.7545128	0.40545349	3.53956637
22	0.2030	0.061915	0.305	0.08708158	0.18899136	0.000156388	0.982064279	0.00484361	202.7545128	0.14	3.67956637
23	0.2030	0.061915	0.305	0.08708158	0.18899136	0.000156388	0.982064279	0.00484361	202.7545128	0.3	3.97956637

El procedimiento de cálculo será el mismo para el segundo caudal que se tuvo en el ensayo, los valores obtenidos se muestran en la tabla XXVII.

- Perfil M2

En la tabla XVIII se muestran los valores del tirante normal y crítico para cada uno de los caudales, para el perfil M2, con los que se realizaron los ensayos, utilizando el método algebraico que se describió anteriormente.

Tabla XXVIII. **Valores del tirante normal y crítico para el perfil M2**

Caudal Q (lts/s)	Tirante normal (cm)	Tirante crítico (cm)
14.1890	11.69	6.04
10.9223	9.688	5.075

Teniendo estos valores se puede saber el tipo de perfil obtenido con los datos tomados del ensayo, en este caso se muestra un perfil M2, ya que se cumple la condición  $y_n > y > y_c$  ( $11.69 > 6.04 \geq 6.04$ ).

Luego de saber los valores del tirante normal y crítico se procede a iniciar con el método de integración gráfica, realizando el mismo procedimiento que para el caso anterior.

La columna uno mostrada en la tabla XXIX indica el valor de los tirantes obtenidos de los ensayos para el perfil M2, generados a partir del primer caudal, el análisis fue hecho aguas abajo por ser un perfil M2. Los datos mostrados se calcularon de la misma forma que en el caso anterior.

Tabla XXIX. Datos del método de integración gráfica para el primer perfil M2

Pendiente	0.10%
Q1 (m3/s)	0.014189
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	Y	A	T	R	V	$Se=(n\sqrt{R}^{2/3})^2$	$1-(Q^2\cdot T/g^3A^3)$	So-Se	$f(Y)=(1-(Q^2\cdot T/g^3A^3))/So-Se$	$\Delta x=A$ (d. reales)	x (reales)
1	0.0600	0.0183	0.305	0.04305882	0.77535519	0.006731914	-0.021365397	-0.00573191	3.727445502	0.00	0.00
2	0.0635	0.0193675	0.305	0.04483218	0.73261908	0.005695389	0.138384079	-0.00469539	-29.47233494	-0.04505356	-0.04505356
3	0.0680	0.02074	0.305	0.04702948	0.68413693	0.004659571	0.298369995	-0.00365957	-81.53142248	-0.24975845	-0.29481201
4	0.0685	0.0208925	0.305	0.0472681	0.67914323	0.004560915	0.313622281	-0.00356091	-88.07352003	-0.04240124	-0.33721325
5	0.0695	0.0211975	0.305	0.04774212	0.66937139	0.004372053	0.342825842	-0.00337205	-101.6667978	-0.09487016	-0.43208341
6	0.0710	0.021655	0.305	0.04844519	0.65522974	0.004108403	0.383803953	-0.0031084	-123.4087002	-0.16880662	-0.60089003
7	0.0725	0.0221125	0.305	0.04913889	0.64167326	0.003866169	0.42107691	-0.00286617	-146.9128081	-0.20274113	-0.80363316
8	0.0725	0.0221125	0.305	0.04913889	0.64167326	0.003866169	0.42107691	-0.00286617	-146.9128081	-0.2	-1.00363316
9	0.0740	0.022257	0.305	0.0498234	0.62866637	0.003643197	0.455572904	-0.0026432	-172.3567548	-0.23945217	-1.24308333
10	0.0745	0.0227225	0.305	0.05004956	0.62444713	0.003572819	0.46646112	-0.00257282	-181.3034941	-0.08841506	-1.33149839
11	0.0750	0.022875	0.305	0.05027473	0.62028415	0.003504304	0.477060917	-0.0025043	-190.4963913	-0.09294997	-1.42444837
12	0.0760	0.02318	0.305	0.0507221	0.61212252	0.003372618	0.497432831	-0.00237262	-209.6557059	-0.20007605	-1.62452441
13	0.0770	0.023485	0.305	0.05116558	0.60417288	0.003247671	0.516760178	-0.00224767	-229.9092071	-0.21978246	-1.84430687
14	0.0785	0.0239425	0.305	0.05182359	0.59262817	0.003071953	0.543935864	-0.00207195	-262.523238	-0.36932433	-2.2136312
15	0.0785	0.0239425	0.305	0.05182359	0.59262817	0.003071953	0.543935864	-0.00207195	-262.523238	-0.2	-2.4136312
16	0.0790	0.024095	0.305	0.05204104	0.58887736	0.003016304	0.552540619	-0.0020163	-274.0363104	-0.13413989	-2.54777109
17	0.0790	0.024095	0.305	0.05204104	0.58887736	0.003016304	0.552540619	-0.0020163	-274.0363104	-0.2	-2.74777109
18	0.0820	0.02501	0.305	0.05332623	0.56733307	0.002710036	0.599877168	-0.00171004	-350.7979251	-0.93725135	-3.68502245
19	0.0830	0.025315	0.305	0.05374735	0.56049773	0.00261753	0.614165894	-0.00161753	-379.6935928	-0.36524576	-4.0502682
20	0.0830	0.025315	0.305	0.05374735	0.56049773	0.00261753	0.614165894	-0.00161753	-379.6935928	-0.2	-4.2502682
21	0.0850	0.025925	0.305	0.05457895	0.54730955	0.002445227	0.640765437	-0.00144523	-443.3665893	-0.82306018	-5.07332839
22	0.0850	0.025925	0.305	0.05457895	0.54730955	0.002445227	0.640765437	-0.00144523	-443.3665893	-0.14	-5.21332839
23	0.0850	0.025925	0.305	0.05457895	0.54730955	0.002445227	0.640765437	-0.00144523	-443.3665893	-0.3	-5.51332839

Tabla XXX. Datos del método de integración gráfica para el segundo perfil M2

Pendiente	0.10%
Q1 (m <sup>3</sup> /s)	0.0109223
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Y	A	T	R	v	Se=(n*v/R^(2/3))^2	1-(Qv <sup>2</sup> /gA <sup>3</sup> )	So-Se	f(Y)=(1-(Qv <sup>2</sup> *T/gA <sup>3</sup> ))/So-Se	Δx=A (d. reales)	x (reales)	
1	0.0510	0.015555	0.305	0.03821867	0.70217293	0.00647253	-0.00547253	-2.652765512	0.00	0.00	
2	0.0550	0.016775	0.305	0.04042169	0.65110581	0.005164607	-0.00416461	-51.45105398	-0.10820764	-0.10820764	
3	0.0580	0.01708	0.305	0.04095923	0.63947892	0.00489482	-0.00389482	-65.63042942	-0.05854074	-0.16674838	
4	0.0580	0.01769	0.305	0.042019	0.61742793	0.004410267	-0.00341027	-96.76627329	-0.1623967	-0.32914508	
5	0.0590	0.017995	0.305	0.04254137	0.60696305	0.004192399	-0.0031924	-113.8619009	-0.10531409	-0.43445917	
6	0.0600	0.0183	0.305	0.04305882	0.59684699	0.003988992	-0.00298899	-132.0814648	-0.12297168	-0.55743085	
7	0.0610	0.018605	0.305	0.04357143	0.58706262	0.003798859	-0.00279886	-151.5151746	-0.14179832	-0.69922917	
8	0.0620	0.01891	0.305	0.04407925	0.57759387	0.003620925	-0.00262093	-172.2636563	-0.16188942	-0.86111859	
9	0.0620	0.01891	0.305	0.04407925	0.57759387	0.003620925	-0.00262093	-172.2636563	-0.2	-1.06111859	
10	0.0630	0.019215	0.305	0.04458237	0.56842571	0.00345422	-0.00245422	-194.4394884	-0.18335157	-1.24447016	
11	0.0640	0.01952	0.305	0.04508083	0.55954406	0.003297864	-0.00229786	-218.1690195	-0.20630425	-1.45077441	
12	0.0650	0.019825	0.305	0.04557471	0.55093569	0.003151059	-0.00215106	-243.5945266	-0.23088177	-1.68165619	
13	0.0650	0.019825	0.305	0.04557471	0.55093569	0.003151059	-0.00215106	-243.5945266	-0.2	-1.88165619	
14	0.0660	0.02013	0.305	0.04606407	0.54258818	0.003013082	-0.00201308	-270.8767946	-0.25723566	-2.13889185	
15	0.0660	0.02013	0.305	0.04606407	0.54258818	0.003013082	-0.00201308	-270.8767946	-0.2	-2.33889185	
16	0.0670	0.020435	0.305	0.04654897	0.53448985	0.002883271	-0.00188327	-300.1982122	-0.2855375	-2.62442935	
17	0.0680	0.02074	0.305	0.04702948	0.5266297	0.002761026	-0.00176103	-331.7665124	-0.31598236	-2.94041171	
18	0.0680	0.02074	0.305	0.04702948	0.5266297	0.002761026	-0.00176103	-331.7665124	-0.2	-3.14041171	
19	0.0690	0.021045	0.305	0.04750564	0.51899739	0.002645799	-0.0016458	-365.8193177	-0.34879292	-3.48920463	
20	0.0700	0.02135	0.305	0.04797753	0.51158314	0.002537087	-0.00153709	-402.6296999	-0.38422451	-3.87342914	
21	0.0710	0.021655	0.305	0.04844519	0.50437774	0.002434432	-0.00143443	-442.5130296	-0.42257136	-4.2960005	
22	0.0720	0.02196	0.305	0.04890869	0.4973725	0.002337414	-0.00133741	-485.8354776	-0.46417425	-4.76017476	
23	0.0720	0.02196	0.305	0.04890869	0.4973725	0.002337414	-0.00133741	-485.8354776	-0.3	-5.06017476	

El procedimiento de cálculo será el mismo para el segundo caudal que se tuvo en el ensayo, los valores obtenidos se muestran en la tabla XXX.

- Perfil M3

En la tabla XXXI se muestran los valores del tirante normal y crítico para cada uno de los caudales, para el perfil M3, con los que se realizaron los ensayos, utilizando el método algebraico que se describió anteriormente.

**Tabla XXXI. Valores del tirante normal y crítico para el perfil M3**

<b>Caudal Q (lts/s)</b>	<b>Tirante normal (cm)</b>	<b>Tirante crítico (cm)</b>
10.3357	9.315	4.892
13.3833	11.2	5.813

Teniendo estos valores se puede saber el tipo de perfil obtenido con los datos tomados del ensayo, en este caso se muestra un perfil M3, por que se cumple la condición  $y_n > y_c > y$  ( $9.315 > 4.892 > 2.60$ ).

Luego de saber los valores del tirante normal y crítico se procede a iniciar con el método de integración gráfica, el procedimiento de cálculo será el mismo que el mostrado en los casos anteriores.

La columna uno mostrada en la tabla XXXII indica el valor de los tirantes obtenidos de los ensayos para el perfil M3, generados a partir del primer caudal, el análisis fue hecho aguas arriba por ser un perfil M3. Los datos mostrados en la siguiente tabla, se obtuvieron de la misma forma que en los casos anteriores.



Tabla XXXII. Datos del método de integración gráfica para el primer perfil M3

Pendiente	0.10%
Q1 (m <sup>3</sup> /s)	0.0103357
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Y	A	T	R	v	Se=(n <sup>5</sup> /R <sup>3</sup> ) <sup>2/3</sup>	1-(Q <sup>2</sup> *T/g*A <sup>3</sup> )	So-Se	f(Y)=(1-(Q <sup>2</sup> *T/g*A <sup>3</sup> ))/So-Se	ΔX=A (d. reales)	x (reales)	
1	0.0260	0.00793	0.305	0.0222129	1.30336696	0.045977656	-0.04497766	125.8460008	0.00	0.00	
2	0.0260	0.00793	0.305	0.0222129	1.30336696	0.045977656	-0.04497766	125.8460008	-0.3	-0.3	
3	0.0260	0.00793	0.305	0.0222129	1.30336696	0.045977656	-0.04497766	125.8460008	-0.14	-0.44	
4	0.0275	0.0083875	0.305	0.0232986	1.23227422	0.038565123	-0.03756512	123.2197163	-0.186799288	-0.62679929	
5	0.0275	0.0083875	0.305	0.0232986	1.23227422	0.038565123	-0.03756512	123.2197163	-0.2	-0.82679929	
6	0.0290	0.008845	0.305	0.0243664	1.1685359	0.032667498	-0.0316675	119.9884301	-0.18240611	-1.0092054	
7	0.0300	0.00915	0.305	0.0250685	1.1295847	0.029391382	-0.02839138	117.4857007	-0.118737065	-1.12794246	
8	0.0300	0.00915	0.305	0.0250685	1.1295847	0.029391382	-0.02839138	117.4857007	-0.2	-1.32794246	
9	0.0300	0.00915	0.305	0.0250685	1.1295847	0.029391382	-0.02839138	117.4857007	-0.2	-1.52794246	
10	0.0310	0.009455	0.305	0.0257629	1.09314648	0.02654093	-0.02554093	114.6942584	-0.11608998	-1.64403244	
11	0.0322	0.009821	0.305	0.0265864	1.05240811	0.023589024	-0.02258902	110.9501183	-0.135386626	-1.77941907	
12	0.0330	0.010065	0.305	0.0271294	1.02689518	0.021861793	-0.02086179	108.2067322	-0.08766274	-1.86708181	

Tabla XXXIII. Datos del método de integración gráfica para el segundo perfil M3

Pendiente	0.10%
Q2 (m3/s)	0.0133883
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	Y	A	T	R	v	Se=(n*v/R <sup>2/3</sup> ) <sup>2</sup>	1-(Q <sup>2</sup> *T/g*A <sup>3</sup> )	So-Se	f(Y)=(1-(Q <sup>2</sup> *T/g*A <sup>3</sup> ))/So-Se	ΔX=A (d. reales)	x (reales)
1	0.0175	0.0053375	0.305	0.0156985	2.5083466	0.270509905	-35.64949869	-0.2695099	132.2752822	0.00	0.00
2	0.0175	0.0053375	0.305	0.0156985	2.5083466	0.270509905	-35.64949869	-0.2695099	132.2752822	-0.43	-0.43
3	0.0180	0.00549	0.305	0.0160997	2.43867031	0.247230624	-32.67942507	-0.24623062	132.7187678	-0.066248513	-0.49624851
4	0.0190	0.005795	0.305	0.016895	2.31031924	0.208074216	-27.63659528	-0.20707422	133.4622715	-0.13309052	-0.62933903
5	0.0195	0.0059475	0.305	0.0172892	2.25108029	0.191558163	-25.48977994	-0.19055816	133.7637789	-0.066806513	-0.69614554
6	0.0205	0.0062525	0.305	0.0180708	2.14127149	0.163403005	-21.79925213	-0.162403	134.2293644	-0.133996572	-0.83014212
7	0.0210	0.006405	0.305	0.0184582	2.09028884	0.151372306	-20.20920063	-0.15037231	134.3944315	-0.067155949	-0.89729807
8	0.0225	0.0068625	0.305	0.0196071	1.95093625	0.121661671	-16.24386564	-0.12066167	134.6232448	-0.2	-1.09729807
9	0.0230	0.007015	0.305	0.0199858	1.90852459	0.113497984	-15.14353637	-0.11249798	134.6116249	-0.067308717	-1.16460678
10	0.0230	0.007015	0.305	0.0199858	1.90852459	0.113497984	-15.14353637	-0.11249798	134.6116249	-0.2	-1.36460678
11	0.0230	0.007015	0.305	0.0199858	1.90852459	0.113497984	-15.14353637	-0.11249798	134.6116249	-0.2	-1.56460678
12	0.0240	0.00732	0.305	0.0207365	1.82900273	0.099235466	-13.20850745	-0.09823547	134.4576254	-0.134534625	-1.69914141
13	0.0255	0.0077775	0.305	0.0218469	1.72141434	0.081998172	-10.84572492	-0.08099817	133.9008596	-0.201268864	-1.90041027

El procedimiento de cálculo será el mismo para el segundo caudal que se tuvo en el ensayo, los valores obtenidos se muestran en la tabla XXXIII.

### **3.6 Determinación de perfiles de flujo por medio del método de integración directa**

#### **3.6.1 Solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow**

Como se describió en el capítulo 2, la solución de Bakhmeteff – Ven te Chow es otro de los métodos de para el cálculo de los perfiles de flujo gradualmente variado, este método se basa en encontrar valores a partir de la función del flujo gradualmente variado, teniendo como punto de partida los valores del tirante normal como el tirante crítico, a continuación se describen los pasos para el desarrollo de dicho método.

- Perfil M1

Para el análisis del perfil M1, bajo la solución de Bakhmeteff - Ven te Chow se aplica el siguiente procedimiento:

- a. Se debe calcular el tirante normal y el tirante crítico, en este caso estos valores se muestran en la tabla XXV.

- b. Calcular los exponentes hidráulicos N y M, para un tirante promedio, el cual se calcula a partir de los tirantes en los extremos.

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2}{2} = \frac{0.1810 + 0.1750}{2} = 0.1780$$

Calculado el tirante promedio, los valores de N y M se toman de la tabla III y IV, respectivamente, en este caso los valores de N tuvieron que ser calcularse de la forma siguiente:

$$N = \frac{2y}{3A} \left[ 5T - \frac{2A}{p} \frac{dP}{dy} \right]$$

$$N = \frac{10}{3} - \frac{8}{3} \left[ \frac{(y/b)}{b + 2(y/b)} \right] = \frac{10}{3} - \frac{8}{3} \left[ \frac{0.583607}{0.305 + 2(0.583607)} \right] = 2.61$$

El valor de M es de 3.00 por ser un canal de sección rectangular.

- c. Calcular el valor de J, lo cual se realiza de la siguiente manera:

$$J = \frac{N}{N - M + 1} = \frac{2.61}{2.61 - 3.00 + 1} = 4.2786$$

- d. Calcular los valores de u y v, realizando el siguiente procedimiento:

$$u = \frac{y}{y_n} = \frac{0.1810}{0.0361} = 5.0139$$

$$v = u^{N/J} = 5.0139^{0.61} = 2.6736$$

- e. Calcular las funciones de flujo variado  $F(u, N)$  y  $F(v, J)$  con ayuda de la tabla LXXI del anexo, en este caso los valores para dichas funciones tuvieron que interpolarse para encontrar valores que se ajustaran a los datos calculados.
- f. Teniendo todos los valores de los pasos anteriores se procede a calcular el valor de  $x$ , utilizando la siguiente fórmula:

$$x = \left(\frac{y_n}{S_o}\right) \left[ u - F(u, N) + \left(\frac{y_c}{y_n}\right)^M (J/N)F(v, J) \right]$$

$$x = (18.05)[5.0139 - 0.4764 + 0.301248(1.6393 * 0.01202)] = 89.7472$$

Con el valor de  $x$  se puede saber las distancias acumuladas para toda la serie de datos que se tomaron de los ensayos, encontrando con ello la longitud  $L$  que corresponderá a la longitud total del perfil de flujo, esta longitud  $L$  se calcula de la siguiente forma:

$$L = 89.7472 - 88.9777 = 0.7695 \text{ m}$$

Llevando a cabo todos los pasos descritos se obtuvo la tabla XXXIV en la que se muestran los datos correspondientes al caudal 1 del perfil M1, y en la tabla XXXV se muestran los datos correspondientes al caudal 2 del perfil M1.

Tabla XXXIV. Datos de la solución de Bakhmeteff- Ven Te Chow para el primer perfil M1

Pendiente	0.20%
Q1 (m3/s)	0.0035852
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	Y	u	v	F(u,N)	F(v,J)	Yc/Yn	x	L
1	<b>0.1810</b>	5.0139	2.6736	0.04764	0.01202	0.67036011	89.7472127	0.00
2	<b>0.1795</b>	4.9723	2.6601	0.04872	0.01202	0.67036011	88.9777126	0.76950007
3	<b>0.1790</b>	4.9584	2.6556	0.04908	0.01202	0.67036011	88.7212126	1.02600002
4	<b>0.1790</b>	4.9584	2.6556	0.04908	0.01202	0.67036011	88.7212126	1.02600002
5	<b>0.1790</b>	4.9584	2.6556	0.04908	0.01202	0.67036011	88.7212126	1.02600002
6	<b>0.1788</b>	4.9529	2.6538	0.04922	0.01382	0.67036011	88.6346868	1.11252585
7	<b>0.1788</b>	4.9529	2.6538	0.04922	0.01382	0.67036011	88.6346868	1.11252585
8	<b>0.1782</b>	4.9363	2.6483	0.04966	0.01382	0.67036011	88.3268868	1.42032585
9	<b>0.1780</b>	4.9307	2.6465	0.04980	0.01382	0.67036011	88.2242868	1.52292586
10	<b>0.1780</b>	4.9307	2.6465	0.04980	0.01382	0.67036011	88.2242868	1.52292586
11	<b>0.1775</b>	4.9169	2.6420	0.05016	0.01382	0.67036011	87.9677868	1.77942585
12	<b>0.1770</b>	4.9030	2.6375	0.05052	0.01382	0.67036011	87.7112868	2.03592585
13	<b>0.1765</b>	4.8892	2.6329	0.05088	0.01382	0.67036011	87.4547868	2.29242589
14	<b>0.1765</b>	4.8892	2.6329	0.05088	0.01382	0.67036011	87.4547868	2.29242589
15	<b>0.1760</b>	4.8753	2.6284	0.05124	0.01382	0.67036011	87.1982868	2.54892585
16	<b>0.1760</b>	4.8753	2.6284	0.05124	0.01382	0.67036011	87.1982868	2.54892585
17	<b>0.1760</b>	4.8753	2.6284	0.05124	0.01382	0.67036011	87.1982868	2.54892585
18	<b>0.1755</b>	4.8615	2.6238	0.05160	0.01382	0.67036011	86.9417868	2.80542585
19	<b>0.1750</b>	4.8476	2.6192	0.05196	0.01382	0.67036011	86.6852868	3.06192585
20	<b>0.1750</b>	4.8476	2.6192	0.05196	0.01382	0.67036011	86.6852868	3.06192585
21	<b>0.1750</b>	4.8476	2.6192	0.05196	0.01382	0.67036011	86.6852868	3.06192585
22	<b>0.1750</b>	4.8476	2.6192	0.05196	0.01382	0.67036011	86.6852868	3.06192585
23	<b>0.1750</b>	4.8476	2.6192	0.05196	0.01382	0.67036011	86.6852868	3.06192585

Tabla XXXV. Datos del método de Bakhmeteff- Ven Te Chow para el segundo perfil M1

Pendiente	0.50%
Q2 (m3/s)	0.0117014
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	Y	u	v	F(u,N)	F(v,J)	Yc/Yn	x	L
1	<b>0.2185</b>	3.7608	2.1122	0.07521	0.02057	0.67036011	66.722213	0.00
2	<b>0.2180</b>	3.7522	2.1095	0.07775	0.02057	0.67036011	66.5210755	0.2011375
3	<b>0.2180</b>	3.7522	2.1095	0.07775	0.02057	0.67036011	66.5210755	0.2011375
4	<b>0.2172</b>	3.7384	2.1051	0.07775	0.02057	0.67036011	66.2725385	0.44967451
5	<b>0.2170</b>	3.7349	2.1040	0.07775	0.02057	0.67036011	66.2104043	0.51180876
6	<b>0.2160</b>	3.7177	2.0986	0.07775	0.02057	0.67036011	65.899733	0.82248002
7	<b>0.2160</b>	3.7177	2.0986	0.07775	0.02057	0.67036011	65.899733	0.82248002
8	<b>0.2150</b>	3.7005	2.0931	0.07775	0.02057	0.67036011	65.5890617	1.13315127
9	<b>0.2145</b>	3.6919	2.0903	0.07775	0.02057	0.67036011	65.4337261	1.2884869
10	<b>0.2135</b>	3.6747	2.0848	0.07775	0.02057	0.67036011	65.1230549	1.59915816
11	<b>0.2125</b>	3.6575	2.0793	0.07775	0.02057	0.67036011	64.8123836	1.90982941
12	<b>0.2110</b>	3.6317	2.0710	0.09525	0.02057	0.67036011	64.0305017	2.69171113
13	<b>0.2105</b>	3.6231	2.0682	0.09525	0.02057	0.67036011	63.8751661	2.84704693
14	<b>0.2095</b>	3.6059	2.0627	0.09525	0.02057	0.67036011	63.5644948	3.15771818
15	<b>0.2090</b>	3.5972	2.0599	0.09525	0.02057	0.67036011	63.4091592	3.31305381
16	<b>0.2080</b>	3.5800	2.0543	0.09525	0.02057	0.67036011	63.098488	3.62372507
17	<b>0.2070</b>	3.5628	2.0487	0.09525	0.02057	0.67036011	62.7878167	3.93439632
18	<b>0.2065</b>	3.5542	2.0459	0.09525	0.02057	0.67036011	62.6324811	4.08973195
19	<b>0.2060</b>	3.5456	2.0432	0.09525	0.02471	0.67036011	62.5170492	4.20516386
20	<b>0.2050</b>	3.5284	2.0375	0.09525	0.02471	0.67036011	62.2063779	4.51583512
21	<b>0.2030</b>	3.4940	2.0263	0.09525	0.02471	0.67036011	61.5850354	5.13717763
22	<b>0.2030</b>	3.4940	2.0263	0.09525	0.02471	0.67036011	61.5850354	5.13717763
23	<b>0.2030</b>	3.4940	2.0263	0.09525	0.02471	0.67036011	61.5850354	5.1371776

- Perfil M2

Para el análisis del perfil M2, bajo la solución de Bakhmeteff - Ven te Chow se aplica el mismo procedimiento mostrado en el caso anterior, y sabiendo que los valores del tirante normal y el tirante crítico se muestran en la tabla XXVIII.

El resultado para cada uno de los pasos descritos en el caso anterior se muestran a continuación.

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2}{2} = \frac{0.060 + 0.085}{2} = 0.0725$$

$$N = \frac{2y}{3A} \left[ 5T - \frac{2A}{p} \frac{dP}{dy} \right]$$

$$N = \frac{10}{3} - \frac{8}{3} \left[ \frac{(y/b)}{b + 2(y/b)} \right] = \frac{10}{3} - \frac{8}{3} \left[ \frac{0.237705}{0.305 + 2(0.237705)} \right] = 2.9104$$

El valor de M es de 3.00 por ser un canal de sección rectangular.

$$J = \frac{N}{N - M + 1} = \frac{2.9104}{2.9104 - 3.00 + 1} = 3.1968$$

$$u = \frac{y}{y_n} = \frac{0.0600}{0.1169} = 0.5133$$

$$v = u^{N/J} = 0.5133^{0.9104} = 0.5449$$



Calcular las funciones de flujo variado  $F(u, N)$  y  $F(v, J)$  con ayuda de la tabla LXXI del anexo, en este caso los valores para dichas funciones tuvieron que interpolarse para encontrar valores que se ajustaran a los datos calculados.

Teniendo todos los valores de los pasos anteriores se procede a calcular el valor de  $x$ , utilizando la siguiente fórmula:

$$x = \left(\frac{y_n}{S_o}\right) \left[ u - F(u, N) + \left(\frac{y_c}{y_n}\right)^M (J/N)F(v, J) \right]$$

$$x = (116.9)[0.5133 - 0.51879 + 0.137932(1.0984 * 0.55906)] = 9.2548$$

$$L = 9.2548 - 9.2808 = -0.02602 \text{ m}$$

Llevando a cabo todos los pasos descritos se obtuvo la tabla XXXVI en la que se muestran los datos correspondientes al caudal 1 del perfil M2, y en la tabla XXXVII se muestran los datos correspondientes al caudal 2 del perfil M2.

Tabla XXXVI. Datos del método de Bakhmeteff- Ven Te Chow para el primer perfil M2

Pendiente	0.10%
Q1 (m3/s)	0.014189
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	Y	u	v	F(u,N)	F(v,J)	Yc/Yn	x	L
1	<b>0.0600</b>	0.5133	0.5449	0.51879	0.55906	0.51668092	9.25485964	0.00
2	<b>0.0635</b>	0.5432	0.5737	0.56524	0.58306	0.51668092	9.28088044	-0.0260208
3	<b>0.0680</b>	0.5817	0.6106	0.61469	0.64410	0.51668092	8.05063655	1.20422309
4	<b>0.0685</b>	0.5860	0.6147	0.61469	0.64410	0.51668092	8.01883129	1.23602835
5	<b>0.0695</b>	0.5945	0.6229	0.61469	0.65710	0.51668092	7.75015994	1.5046997
6	<b>0.0710</b>	0.6074	0.6351	0.64014	0.66911	0.51668092	7.61609207	1.63876757
7	<b>0.0725</b>	0.6202	0.6473	0.66658	0.68311	0.51668092	7.55063655	1.70422309
8	<b>0.0725</b>	0.6202	0.6473	0.66658	0.68311	0.51668092	7.40362003	1.85123961
9	<b>0.0740</b>	0.6330	0.6595	0.67958	0.70913	0.51668092	7.11609207	2.13876757
10	<b>0.0745</b>	0.6373	0.6635	0.67958	0.70913	0.51668092	6.72744704	2.5274126
11	<b>0.0750</b>	0.6416	0.6676	0.69358	0.72313	0.51668092	6.6750209	2.57983874
12	<b>0.0760</b>	0.6501	0.6757	0.70703	0.72313	0.51668092	6.6750209	2.57983874
13	<b>0.0770</b>	0.6587	0.6838	0.70703	0.73714	0.51668092	6.53959369	2.71526595
14	<b>0.0785</b>	0.6715	0.6959	0.73593	0.75116	0.51668092	6.53959369	2.71526595
15	<b>0.0785</b>	0.6715	0.6959	0.73593	0.75116	0.51668092	6.15538168	3.09947796
16	<b>0.0790</b>	0.6758	0.6999	0.73593	0.76616	0.51668092	5.77392766	3.48093198
17	<b>0.0790</b>	0.6758	0.6999	0.73593	0.76616	0.51668092	5.77392766	3.48093198
18	<b>0.0820</b>	0.7015	0.7241	0.78093	0.79618	0.51668092	4.93277649	4.32208315
19	<b>0.0830</b>	0.7100	0.7321	0.79682	0.81119	0.51668092	4.93277649	4.32208315
20	<b>0.0830</b>	0.7100	0.7321	0.79682	0.81119	0.51668092	4.93277649	4.32208315
21	<b>0.0850</b>	0.7271	0.7482	0.81282	0.84421	0.51668092	4.81070914	4.4441505
22	<b>0.0850</b>	0.7271	0.7482	0.81282	0.84421	0.51668092	4.21842784	5.0364318
23	<b>0.0850</b>	0.7271	0.7482	0.81282	0.84421	0.51668092	4.21842784	5.0364318

Tabla XXXVII. Datos del método de Bakhmeteff- Ven Te Chow para el segundo perfil M2

Pendiente	0.10%
Q1 (m3/s)	0.0109223
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	Y	u	v	F(u,N)	F(v,J)	Yc/Yn	x	L
1	<b>0.0510</b>	0.5264	0.5436	0.54100	0.56089	0.52384393	6.81030273	0.00
2	<b>0.0550</b>	0.5677	0.5840	0.58850	0.60937	0.52384393	6.91909821	-0.10879549
3	<b>0.0560</b>	0.5780	0.5941	0.61350	0.63384	0.52384393	5.85586804	0.95443469
4	<b>0.0580</b>	0.5987	0.6142	0.63875	0.64684	0.52384393	5.60022027	1.21008246
5	<b>0.0590</b>	0.6090	0.6243	0.65175	0.65984	0.52384393	5.5313525	1.27895022
6	<b>0.0600</b>	0.6193	0.6343	0.66500	0.67232	0.52384393	5.4305495	1.37975323
7	<b>0.0610</b>	0.6296	0.6444	0.67800	0.68632	0.52384393	5.37634113	1.43396159
8	<b>0.0620</b>	0.6400	0.6544	0.69200	0.69932	0.52384393	5.21059337	1.59970936
9	<b>0.0620</b>	0.6400	0.6544	0.69200	0.69932	0.52384393	5.21059337	1.59970936
10	<b>0.0630</b>	0.6503	0.6644	0.70525	0.71279	0.52384393	5.12444976	1.68585296
11	<b>0.0640</b>	0.6606	0.6744	0.71950	0.72679	0.52384393	5.02516547	1.78513726
12	<b>0.0650</b>	0.6709	0.6845	0.73375	0.74126	0.52384393	4.9491414	1.86116133
13	<b>0.0650</b>	0.6709	0.6845	0.73375	0.74126	0.52384393	4.78077719	2.02952553
14	<b>0.0660</b>	0.6813	0.6945	0.74875	0.75574	0.52384393	4.78077719	2.02952553
15	<b>0.0660</b>	0.6813	0.6945	0.74875	0.75574	0.52384393	4.53975299	2.27054973
16	<b>0.0670</b>	0.6916	0.7044	0.76375	0.77074	0.52384393	4.53975299	2.27054973
17	<b>0.0680</b>	0.7019	0.7144	0.77875	0.78574	0.52384393	4.30644403	2.50385869
18	<b>0.0680</b>	0.7019	0.7144	0.77875	0.78574	0.52384393	4.07313507	2.73716765
19	<b>0.0690</b>	0.7122	0.7244	0.79425	0.80121	0.52384393	4.07313507	2.73716765
20	<b>0.0700</b>	0.7225	0.7344	0.79425	0.81668	0.52384393	3.79833027	3.01197246
21	<b>0.0710</b>	0.7329	0.7443	0.82650	0.83316	0.52384393	3.14228007	3.66802265
22	<b>0.0720</b>	0.7432	0.7543	0.84350	0.85016	0.52384393	2.74452992	4.06577281
23	<b>0.0720</b>	0.7432	0.7543	0.84350	0.85016	0.52384393	2.74452992	4.0657728

- Perfil M3

Para el análisis del perfil M3, bajo la solución de Bakhmeteff - Ven te Chow se aplica el mismo procedimiento mostrado en el caso anterior, y sabiendo que los valores del tirante normal y el tirante crítico se muestran en la tabla XXXI.

El resultado para cada uno de los pasos descritos en el caso anterior se muestran a continuación.

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2}{2} = \frac{0.0260 + 0.0330}{2} = 0.0295$$

$$N = \frac{2y}{3A} \left[ 5T - \frac{2A}{p} \frac{dP}{dy} \right]$$

$$N = \frac{10}{3} - \frac{8}{3} \left[ \frac{(y/b)}{b + 2(y/b)} \right] = \frac{10}{3} - \frac{8}{3} \left[ \frac{0.09672}{0.305 + 2(0.09672)} \right] = 3.117$$

El valor de M es de 3.00 por se un canal de sección rectangular.

$$J = \frac{N}{N - M + 1} = \frac{3.1172}{3.1172 - 3.00 + 1} = 2.7901$$

$$u = \frac{y}{y_n} = \frac{0.0260}{0.09315} = 0.2791$$

$$v = u^{N/J} = 0.2791^{1.1172} = 0.2403$$

Calcular las funciones de flujo variado  $F(u, N)$  y  $F(v, J)$  con ayuda de la tabla LXXI del anexo, en este caso los valores para dichas funciones tuvieron que interpolarse para encontrar valores que se ajustaran a los datos calculados.

Teniendo todos los valores de los pasos anteriores se procede a calcular el valor de  $x$ , utilizando la siguiente fórmula:

$$x = \left(\frac{y_n}{S_o}\right) \left[ u - F(u, N) + \left(\frac{y_c}{y_n}\right)^M (J/N)F(v, J) \right]$$

$$x = (93.15)[0.2791 - 0.2814 + 0.144847(0.8950 * 0.24105)] = 2.6974$$

$$L = 2.6974 - 2.7974 = -0.10 \text{ m}$$

Llevando a cabo todos los pasos descritos se obtuvo la tabla XXXVIII en la que se muestran los datos correspondientes al caudal 1 del perfil M3, y en la tabla XXXIX se muestran los datos correspondientes al caudal 2 del perfil M3.

Tabla XXXVIII. Datos del método de Bakhmeteff- Ven Te Chow para el primer perfil M3

Pendiente	0.10%
Q1 (m <sup>3</sup> /s)	0.0103357
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	Y	u	v	F(u,N)	F(v,J)	Yc/Yn	x	L
1	<b>0.0260</b>	0.2791	0.2403	0.28141	0.24105	0.52517445	2.69746024	0.00
2	<b>0.0260</b>	0.2791	0.2403	0.28141	0.24105	0.52517445	2.79746024	-0.1
3	<b>0.0260</b>	0.2791	0.2403	0.28141	0.24105	0.52517445	2.83746024	-0.14
4	<b>0.0275</b>	0.2952	0.2559	0.30200	0.26200	0.52517445	2.88290047	-0.18544024
5	<b>0.0275</b>	0.2952	0.2559	0.30200	0.26200	0.52517445	2.88290047	-0.18544024
6	<b>0.0290</b>	0.3113	0.2715	0.30200	0.28205	0.52517445	3.27503548	-0.57757524
7	<b>0.0300</b>	0.3221	0.2820	0.32241	0.28205	0.52517445	3.37347138	-0.67601114
8	<b>0.0300</b>	0.3221	0.2820	0.32241	0.28205	0.52517445	3.37347138	-0.67601114
9	<b>0.0300</b>	0.3221	0.2820	0.32241	0.28205	0.52517445	3.37347138	-0.67601114
10	<b>0.0310</b>	0.3328	0.2925	0.34300	0.30305	0.52517445	3.7095046	-1.01204436
11	<b>0.0322</b>	0.3457	0.3052	0.34300	0.30305	0.52517445	3.9095046	-1.21204436
12	<b>0.0330</b>	0.3543	0.3137	0.36341	0.32405	0.52517445	4.86155962	-2.16409939

Tabla XXXIX. Datos del método de Bakhmeteff- Ven Te Chow para el segundo perfil M3

Pendiente	0.10%
Q2 (m <sup>3</sup> /s)	0.0133883
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	Y	u	v	F(u,N)	F(v,J)	Yc/Yn	x	L
1	<b>0.0175</b>	0.1563	0.1714	0.16000	0.16000	0.51901786	2.21731072	0.00
2	<b>0.0175</b>	0.1563	0.1714	0.16000	0.16000	0.51901786	2.51731072	-0.3
3	<b>0.0180</b>	0.1607	0.1761	0.16000	0.18000	0.51901786	2.61697457	-0.39966384
4	<b>0.0190</b>	0.1696	0.1854	0.18000	0.18000	0.51901786	2.62697457	-0.40966384
5	<b>0.0195</b>	0.1741	0.1900	0.18000	0.20000	0.51901786	2.63663841	-0.41932768
6	<b>0.0205</b>	0.1830	0.1993	0.18000	0.20000	0.51901786	3.63663841	-1.41932768
7	<b>0.0210</b>	0.1875	0.2039	0.20025	0.20000	0.51901786	3.66863841	-1.45132768
8	<b>0.0225</b>	0.2009	0.2177	0.20025	0.22047	0.51901786	3.70611033	-1.48879961
9	<b>0.0230</b>	0.2054	0.2223	0.20025	0.22047	0.51901786	4.20611033	-1.98879961
10	<b>0.0230</b>	0.2054	0.2223	0.20025	0.22047	0.51901786	4.20611033	-1.98879961
11	<b>0.0230</b>	0.2054	0.2223	0.20025	0.22047	0.51901786	4.20611033	-1.98879961
12	<b>0.0240</b>	0.2143	0.2314	0.22100	0.24100	0.51901786	4.22044928	-2.00313855
13	<b>0.0255</b>	0.2277	0.2452	0.22100	0.24100	0.51901786	4.72044928	-2.50313855

## 3.7 Método numérico

### 3.7.1 Método de tramos fijos

Como se ha descrito en el capítulo 2, el método de tramos fijos es otra opción para el análisis del flujo gradualmente variado, este método se basa en los cambios de distancias que existan entre un tirante y otro, a partir de un tirante inicial conocido.

- Perfil M1

Conociendo las características hidráulicas del tirante 1 y la longitud respectiva, se supone un valor tentativo del tirante 2, el cual estará sujeto a ciertas condiciones, las cuales deberán satisfacerse para poder continuar con el procedimiento, tomando en cuenta que para que este método sea ordenado se utiliza una tabla, de la cual cada uno de sus columnas serán descritas a continuación:

Columna 1: valores correspondientes a una distancia  $x$

Columna 2: diferencia entre las distancias 1 y 2

$$\Delta x = 0 - (-0.3) = 0.3 \text{ m}$$



Columna 3: pendiente del fondo (So) x columna 2

$$-0.002 * 0.3 = -0.006$$

Columna 4: tirante conocido para el primer renglón. Para el caso de los siguientes renglones, los tirantes se deben calcular siempre que cumplan con las condiciones que se describirán más adelante.

Columna 5: área hidráulica de la sección

$$A = by = 0.305 * 0.1810 = 0.05520 \text{ m}^2$$

Columna 6: perímetro mojado de la sección

$$p = b + 2y = 0.305 + 2 * 0.1810 = 0.667 \text{ m}$$

Columna 7: radio hidráulico de la sección

$$R = \frac{A}{p} = \frac{by}{b + 2y} = \frac{0.05520}{0.667} = 0.082766$$

Columna 8: radio hidráulico elevado a la 2/3

$$R^{2/3} = 0.1899$$

Columna 9: cálculo de la velocidad

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.003585}{0.05520} = 0.06494 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Columna 10: carga de velocidad

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{0.06494^2}{2 * 9.81} = 0.0002149$$

Columna 11: cálculo de la energía

$$E = y + \frac{v^2}{2g} (\text{col}(4) + \text{col}(10))$$

$$E = 0.1810 + 0.0002149(0.1810 + 0.0002149) = 0.18103$$

Columna 12: cálculo de primer miembro de la ecuación (2-40),  
(columna (3) + columna (11))

$$S_o \Delta x + E_1 = -0.0006 + 0.18103 = 0.18043$$

Columna 13: cálculo de la pendiente de energía

$$S_E = \left( \frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2 = \left( \frac{0.06494 * 0.013}{0.18991} \right)^2 = 1.9761E - 05$$

Columna 14: cálculo de la pendiente promedio de energía

$$\overline{S_E} = \frac{S_{E1} + S_{E2}}{2} = \frac{1.9761E - 05 + 1.9942E - 05}{2} = 1.9852E - 05$$

Columna 15: (columna (14) x columna (2))

$$\overline{S_E} \Delta x = 1.9852E - 05 \times 0.3 = 5.9555E - 06$$

Columna 16: cálculo del segundo miembro de la ecuación (2-40)  
(columna (11) + columna (15) de la fila 2)

$$0.1804 + 5.9555E - 06 = 0.18041$$

El valor supuesto para el tirante 2 será el adecuado, si el resultado obtenido en la columna (16), para la fila 2, es igual o suficientemente próximo al de la columna (12), para la fila 1. En caso que no lo fuera, toda la línea calculada para el tirante 2 sería eliminada.

Para hacer un poco más sencillo el cálculo del valor del tirante 2, es conveniente utilizar la función (2-47)

$$f(y_2) = y_2 + \frac{Q^2}{2gA_2^2} + \frac{\Delta x \cdot Q^2 \cdot n^2}{2} \left( \frac{p_2^2}{A_2^5} \right)^{2/3} = C$$

$$f(y_2) = 0.1804 + \frac{0.003585^2}{2 * 9.81 * 0.05501^2} + \frac{0.30 \cdot 0.003585^2 \cdot 0.013^2}{2} \left( \frac{0.6657^2}{0.05501^5} \right)^{2/3} = 0.1805$$

El valor de C es 0.1806, por lo que el tirante propuesto cumple con la función, por lo tanto se puede continuar con el método.

El procedimiento para el cálculo de las demás filas será el mismo, teniendo siempre en cuenta que los valores de C deben de ser iguales o suficientemente parecidos, para que se cumpla la condición; los cálculos para las demás filas se muestran en la tabla XL, los cuales corresponden al caudal 1 del perfil M1, en la tabla XLI se muestran los datos correspondientes para el caudal 2 del perfil M1.

Tabla XL. Datos del método de tramos fijos para el primer perfil M1

Pendiente	0.20%
Q1 (m <sup>3</sup> /s)	0.0035852
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	x(m)	Δx	So*Δx	y	A	P	R	R <sup>2</sup> (2/3)	v	v <sup>2</sup> /2g	E	So*Δx+E	SE	SE	SEΔx	E+SEΔx	C	f(Y2) calculado
1	0.00	0.30	-0.0006	<b>0.1810</b>	0.05521	0.6670	0.08277	0.18992	0.06494	0.0002150	0.18104	0.18044	1.9761E-05	-	-	-	0.1806	-
	-0.30	0.30	-0.0006	0.1804	0.05501	0.6657	0.08263	0.18972	0.06517	0.0002165	0.18041	0.17981	1.9942E-05	1.9852E-05	5.9556E-06	0.18042	0.1800	<b>0.1806</b>
2	-0.30	0.30	-0.0006	<b>0.1804</b>	0.05501	0.6657	0.08263	0.18972	0.06517	0.0002165	0.18041	0.17981	1.9942E-05	-	-	-	0.1800	-
	-0.44	0.14	-0.00028	0.17976	0.05483	0.6645	0.08251	0.18952	0.06539	0.0002179	0.17980	0.17952	2.0119E-05	2.0031E-05	2.8043E-06	0.17980	0.1797	<b>0.1800</b>
3	-0.44	0.14	-0.00028	<b>0.1798</b>	0.05483	0.6645	0.08251	0.18952	0.06539	0.0002179	0.17980	0.17952	2.0119E-05	-	-	-	0.1797	-
	-0.93	0.49	-0.00098	0.17946	0.05474	0.6639	0.08244	0.18942	0.06550	0.0002187	0.17950	0.17852	2.0207E-05	2.0163E-05	9.88E-06	0.17951	0.1787	<b>0.1797</b>
4	-0.93	0.49	-0.00098	<b>0.1795</b>	0.05474	0.6639	0.08244	0.18942	0.06550	0.0002187	0.17950	0.17852	2.0207E-05	-	-	-	0.1787	-
	-1.13	0.20	-0.0004	0.1785	0.05443	0.6619	0.08223	0.18910	0.06586	0.0002211	0.17851	0.17811	2.0502E-05	2.0354E-05	4.0709E-06	0.17851	0.1783	<b>0.1787</b>
5	-1.13	0.20	-0.0004	<b>0.1785</b>	0.05443	0.6619	0.08223	0.18910	0.06586	0.0002211	0.17851	0.17811	2.0502E-05	-	-	-	0.1783	-
	-1.33	0.20	-0.0004	0.17806	0.05431	0.6611	0.08215	0.18897	0.06602	0.0002221	0.17810	0.17770	2.0625E-05	2.0563E-05	4.1127E-06	0.17810	0.1779	<b>0.1783</b>
6	-1.33	0.20	-0.0004	<b>0.1781</b>	0.05431	0.6611	0.08215	0.18897	0.06602	0.0002221	0.17810	0.17770	2.0625E-05	-	-	-	0.1779	-
	-1.53	0.20	-0.0004	0.17765	0.05418	0.6603	0.08206	0.18884	0.06617	0.0002232	0.17769	0.17729	2.075E-05	2.0688E-05	4.1375E-06	0.17769	0.1775	<b>0.1779</b>
7	-1.53	0.20	-0.0004	<b>0.1777</b>	0.05418	0.6603	0.08206	0.18884	0.06617	0.0002232	0.17769	0.17729	2.075E-05	-	-	-	0.1775	-
	-1.73	0.20	-0.0004	0.1772	0.05406	0.6595	0.08197	0.18870	0.06632	0.0002242	0.17728	0.17688	2.0876E-05	2.0813E-05	4.1626E-06	0.17728	0.1771	<b>0.1775</b>
8	-1.73	0.20	-0.0004	<b>0.1772</b>	0.05406	0.6595	0.08197	0.18870	0.06632	0.0002242	0.17728	0.17688	2.0876E-05	-	-	-	0.1771	-
	-1.93	0.20	-0.0004	0.17683	0.05393	0.6587	0.08188	0.18857	0.06647	0.0002252	0.17687	0.17647	2.1003E-05	2.0939E-05	4.1879E-06	0.17687	0.1767	<b>0.1771</b>
9	-1.93	0.20	-0.0004	<b>0.1768</b>	0.05393	0.6587	0.08188	0.18857	0.06647	0.0002252	0.17687	0.17647	2.1003E-05	-	-	-	0.1767	-
	-2.13	0.20	-0.0004	0.17642	0.05381	0.6578	0.08180	0.18843	0.06663	0.0002263	0.17646	0.17606	2.1131E-05	2.1067E-05	4.2133E-06	0.17646	0.1762	<b>0.1766</b>
10	-2.13	0.20	-0.0004	<b>0.1764</b>	0.05381	0.6578	0.08180	0.18843	0.06663	0.0002263	0.17646	0.17606	2.1131E-05	-	-	-	0.1762	-
	-2.33	0.20	-0.0004	0.1760	0.05368	0.6570	0.08171	0.18830	0.06678	0.0002273	0.17605	0.17565	2.126E-05	2.1195E-05	4.2391E-06	0.17605	0.1758	<b>0.1762</b>
11	-2.33	0.20	-0.0004	<b>0.1760</b>	0.05368	0.6570	0.08171	0.18830	0.06678	0.0002273	0.17605	0.17565	2.126E-05	-	-	-	0.1758	-
	-2.53	0.20	-0.0004	0.1756	0.05356	0.6562	0.08162	0.18816	0.06694	0.0002284	0.17564	0.17524	2.139E-05	2.1325E-05	4.265E-06	0.17564	0.1754	<b>0.1758</b>

Continúa en página siguiente

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	f(Y2) calculado
	x(m)	$\Delta x$	$So^{\Delta x}$	y	A	p	R	$R^2(2/3)$	v	$v^2(2/g)$	E	$So^{\Delta x}+E$	SE	SE	SE $\Delta x$	E+SE $\Delta x$	C
12	-2.53	0.20	-0.0004	<b>0.1756</b>	0.05356	0.6562	0.08162	0.18816	0.06694	0.0002284	0.17564	0.17524	2.139E-05	-	-	-	0.1754
	-3.00	0.47	-0.00094	0.17519	0.05343	0.6554	0.08153	0.18802	0.06710	0.0002295	0.17523	0.17429	2.1522E-05	2.1456E-05	1.0084E-05	0.17524	0.1745
13	-3.00	0.47	-0.00094	<b>0.1752</b>	0.05343	0.6554	0.08153	0.18802	0.06710	0.0002295	0.17523	0.17429	2.1522E-05	-	-	-	0.1745
	-3.20	0.20	-0.0004	0.1742	0.05314	0.6535	0.08132	0.18771	0.06746	0.0002320	0.17428	0.17388	2.1831E-05	2.1676E-05	4.3352E-06	0.17428	<b>0.1745</b>
14	-3.20	0.20	-0.0004	<b>0.1742</b>	0.05314	0.6535	0.08132	0.18771	0.06746	0.0002320	0.17428	0.17388	2.1831E-05	-	-	-	0.1741
	-3.40	0.20	-0.0004	0.17383	0.05302	0.6527	0.08123	0.18757	0.06762	0.0002331	0.17387	0.17347	2.1966E-05	2.1898E-05	4.3796E-06	0.17387	<b>0.1741</b>
15	-3.40	0.20	-0.0004	<b>0.1738</b>	0.05302	0.6527	0.08123	0.18757	0.06762	0.0002331	0.17387	0.17347	2.1966E-05	-	-	-	0.1737
	-3.60	0.20	-0.0004	0.17342	0.05289	0.6518	0.08114	0.18743	0.06778	0.0002342	0.17346	0.17306	2.2102E-05	2.2034E-05	4.4068E-06	0.17347	<b>0.1737</b>
16	-3.60	0.20	-0.0004	<b>0.1734</b>	0.05289	0.6518	0.08114	0.18743	0.06778	0.0002342	0.17346	0.17306	2.2102E-05	-	-	-	0.1733
	-3.80	0.20	-0.0004	0.1730	0.05277	0.6510	0.08105	0.18729	0.06794	0.0002353	0.17305	0.17265	2.224E-05	2.2171E-05	4.4342E-06	0.17306	<b>0.1732</b>
17	-3.80	0.20	-0.0004	<b>0.1730</b>	0.05277	0.6510	0.08105	0.18729	0.06794	0.0002353	0.17305	0.17265	2.224E-05	-	-	-	0.1728
	-4.00	0.20	-0.0004	0.1726	0.05264	0.6502	0.08096	0.18715	0.06810	0.0002364	0.17264	0.17224	2.2379E-05	2.231E-05	4.4619E-06	0.17265	<b>0.1728</b>
18	-4.00	0.20	-0.0004	<b>0.1726</b>	0.05264	0.6502	0.08096	0.18715	0.06810	0.0002364	0.17264	0.17224	2.2379E-05	-	-	-	0.1724
	-4.20	0.20	-0.0004	0.17219	0.05252	0.6494	0.08087	0.18701	0.06827	0.0002375	0.17223	0.17183	2.2519E-05	2.2449E-05	4.4898E-06	0.17224	<b>0.1724</b>
19	-4.20	0.20	-0.0004	<b>0.1722</b>	0.05252	0.6494	0.08087	0.18701	0.06827	0.0002375	0.17223	0.17183	2.2519E-05	-	-	-	0.1720
	-4.40	0.20	-0.0004	0.1718	0.05239	0.6486	0.08078	0.18687	0.06843	0.0002387	0.17182	0.17142	2.2661E-05	2.259E-05	4.518E-06	0.17183	<b>0.1720</b>
20	-4.40	0.20	-0.0004	<b>0.1718</b>	0.05239	0.6486	0.08078	0.18687	0.06843	0.0002387	0.17182	0.17142	2.2661E-05	-	-	-	0.1716
	-4.60	0.20	-0.0004	0.17137	0.05227	0.6477	0.08069	0.18673	0.06859	0.0002398	0.17141	0.17101	2.2803E-05	2.2732E-05	4.5464E-06	0.17142	<b>0.1716</b>
21	-4.60	0.20	-0.0004	<b>0.1714</b>	0.05227	0.6477	0.08069	0.18673	0.06859	0.0002398	0.17141	0.17101	2.2803E-05	-	-	-	0.1712
	-4.80	0.20	-0.0004	0.17096	0.05214	0.6469	0.08060	0.18659	0.06876	0.0002410	0.17100	0.17060	2.2947E-05	2.2875E-05	4.5751E-06	0.17101	<b>0.1712</b>
22	-4.80	0.20	-0.0004	<b>0.1710</b>	0.05214	0.6469	0.08060	0.18659	0.06876	0.0002410	0.17100	0.17060	2.2947E-05	-	-	-	0.1708
	-5.23	0.43	-0.00086	0.17055	0.05202	0.6461	0.08051	0.18645	0.06892	0.0002421	0.17059	0.16973	2.3093E-05	2.302E-05	9.8986E-06	0.17060	<b>0.1708</b>
23	-5.12	0.20	-0.00041	<b>0.1703</b>	0.05194	0.6456	0.08046	0.18637	0.06901	0.0002427	0.17035	0.16994	2.4281E-05	-	-	-	0.1701

Tabla XLI. Datos del método de tramos fijos para el segundo perfil M1

Pendiente	0.50%
Q2 (m3/s)	0.0117014
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
x(m)	$\Delta x$	$\Delta x$	$\Delta x$	$\Delta x$	$\Delta x$	$\Delta x$	$\Delta x$	$\Delta x$	$\Delta x$	$\Delta x$	$\Delta x$	$\Delta x$	$\Delta x$	$\Delta x$	$\Delta x$	$\Delta x$
1	0.00	0.30	-0.0015	<b>0.2185</b>	0.06664	0.742	0.08981	0.200554	0.175585	0.0015714	0.218846	0.217346	0.00012954	-	-	0.2186
	-0.30	0.30	-0.0015	0.2170	0.06618	0.73898	0.08956	0.200173	0.176807	0.0015933	0.217338	0.215838	0.00013185	0.00013069	3.9208E-05	0.217377
2	-0.30	0.30	-0.0015	<b>0.2170</b>	0.06618	0.73898	0.08956	0.200173	0.176807	0.0015933	0.217338	0.215838	0.00013185	-	-	0.2171
	-0.44	0.14	-0.0007	0.21548	0.06572	0.73596	0.0893	0.199788	0.178046	0.0016157	0.215831	0.215131	0.00013422	0.00013303	1.8625E-05	0.215849
3	-0.44	0.14	-0.0007	<b>0.2155</b>	0.06572	0.73596	0.0893	0.199788	0.178046	0.0016157	0.215831	0.215131	0.00013422	-	-	0.2164
	-0.93	0.49	-0.00245	0.21477	0.0655	0.73454	0.08918	0.199605	0.178634	0.0016264	0.215122	0.212672	0.00013535	0.00013479	6.6045E-05	0.215188
4	-0.93	0.49	-0.00245	<b>0.2148</b>	0.0655	0.73454	0.08918	0.199605	0.178634	0.0016264	0.215122	0.212672	0.00013535	-	-	0.2139
	-1.13	0.20	-0.001	0.2123	0.06475	0.72962	0.08875	0.198968	0.180704	0.0016643	0.212666	0.211666	0.0001394	0.00013738	2.7475E-05	0.212694
5	-1.13	0.20	-0.001	<b>0.2123</b>	0.06475	0.72962	0.08875	0.198968	0.180704	0.0016643	0.212666	0.211666	0.0001394	-	-	0.2130
	-1.33	0.20	-0.001	0.2113	0.06445	0.7276	0.08857	0.198703	0.181568	0.0016803	0.211658	0.210658	0.00014111	0.00014025	2.8051E-05	0.211686
6	-1.33	0.20	-0.001	<b>0.2113</b>	0.06445	0.7276	0.08857	0.198703	0.181568	0.0016803	0.211658	0.210658	0.00014111	-	-	0.2120
	-1.53	0.20	-0.001	0.21029	0.06414	0.72558	0.0884	0.198437	0.18244	0.0016964	0.21065	0.20965	0.00014285	0.00014198	2.8396E-05	0.210678
7	-1.53	0.20	-0.001	<b>0.2103</b>	0.06414	0.72558	0.0884	0.198437	0.18244	0.0016964	0.21065	0.20965	0.00014285	-	-	0.2110
	-1.73	0.20	-0.001	0.2093	0.06383	0.72356	0.08822	0.198169	0.18332	0.0017129	0.209641	0.208641	0.00014462	0.00014374	2.8747E-05	0.20967
8	-1.73	0.20	-0.001	<b>0.2093</b>	0.06383	0.72356	0.08822	0.198169	0.18332	0.0017129	0.209641	0.208641	0.00014462	-	-	0.2100
	-1.93	0.20	-0.001	0.20827	0.06352	0.72154	0.08804	0.197899	0.184209	0.0017295	0.208633	0.207633	0.00014643	0.00014552	2.9105E-05	0.208662
9	-1.93	0.20	-0.001	<b>0.2083</b>	0.06352	0.72154	0.08804	0.197899	0.184209	0.0017295	0.208633	0.207633	0.00014643	-	-	0.2090
	-2.13	0.20	-0.001	0.20726	0.06321	0.71952	0.08786	0.197628	0.185107	0.0017464	0.207625	0.206625	0.00014826	0.00014735	2.9469E-05	0.20864
10	-2.13	0.20	-0.001	<b>0.2073</b>	0.06321	0.71952	0.08786	0.197628	0.185107	0.0017464	0.207625	0.206625	0.00014826	-	-	0.2080
	-2.33	0.20	-0.001	0.2063	0.06291	0.7175	0.08767	0.197355	0.186013	0.0017636	0.206617	0.205617	0.00015013	0.0001492	2.984E-05	0.208647
11	-2.33	0.20	-0.001	<b>0.2063</b>	0.06291	0.7175	0.08767	0.197355	0.186013	0.0017636	0.206617	0.205617	0.00015013	-	-	0.2070
	-2.53	0.20	-0.001	0.20524	0.0626	0.71548	0.08749	0.19708	0.186929	0.001781	0.205609	0.204609	0.00015204	0.00015109	3.0217E-05	0.205639
																<b>0.207036</b>

Continúa en la página siguiente

No.	x(m)	$\Delta x$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	f(Y) calculado
			$S_o \Delta x$	y	A	p	R	$R^2/3$	v	$\sqrt{2}/2g$	E	$S_o \Delta x + E$	SE	SE	SE $\Delta x$	E+SE $\Delta x$	C	
12	-2.53	0.20	-0.001	<b>0.2052</b>	0.0626	0.71548	0.08749	0.19708	0.186929	0.001781	0.205609	0.204609	0.00015204	-	-	-	0.2060	
	-3.00	0.47	-0.00235	0.20423	0.06229	0.71346	0.08731	0.196804	0.187853	0.0017986	0.204601	0.202251	0.00015398	0.00015301	7.1914E-05	0.204672	0.2036	<b>0.206065</b>
13	-3.00	0.47	-0.00235	<b>0.2042</b>	0.06229	0.71346	0.08731	0.196804	0.187853	0.0017986	0.204601	0.202251	0.00015398	-	-	-	0.2036	
	-3.20	0.20	-0.001	0.2019	0.06157	0.70874	0.08687	0.196151	0.190049	0.0018409	0.202245	0.201245	0.00015865	0.00015631	3.1263E-05	0.202276	0.2027	<b>0.203727</b>
14	-3.20	0.20	-0.001	<b>0.2019</b>	0.06157	0.70874	0.08687	0.196151	0.190049	0.0018409	0.202245	0.201245	0.00015865	-	-	-	0.2027	
	-3.40	0.20	-0.001	0.20087	0.06127	0.70674	0.08669	0.195871	0.190995	0.0018593	0.201247	0.200247	0.00016069	0.00015967	3.1934E-05	0.201279	0.2017	<b>0.202745</b>
15	-3.40	0.20	-0.001	<b>0.2009</b>	0.06127	0.70674	0.08669	0.195871	0.190995	0.0018593	0.201247	0.200247	0.00016069	-	-	-	0.2017	
	-3.60	0.20	-0.001	0.19986	0.06096	0.70472	0.0865	0.195587	0.191961	0.0018781	0.200239	0.199239	0.00016279	0.00016174	3.2348E-05	0.200271	0.2007	<b>0.201754</b>
16	-3.60	0.20	-0.001	<b>0.1999</b>	0.06096	0.70472	0.0865	0.195587	0.191961	0.0018781	0.200239	0.199239	0.00016279	-	-	-	0.2007	
	-3.80	0.20	-0.001	0.1989	0.06065	0.7027	0.08631	0.195301	0.192936	0.0018973	0.199231	0.198231	0.00016493	0.00016386	3.2772E-05	0.199264	0.1997	<b>0.200764</b>
17	-3.80	0.20	-0.001	<b>0.1989</b>	0.06065	0.7027	0.08631	0.195301	0.192936	0.0018973	0.199231	0.198231	0.00016493	-	-	-	0.1997	
	-4.00	0.20	-0.001	0.19784	0.06034	0.70068	0.08612	0.195013	0.193921	0.0019167	0.198223	0.197223	0.00016711	0.00016602	3.3204E-05	0.198256	0.1987	<b>0.199773</b>
18	-4.00	0.20	-0.001	<b>0.1978</b>	0.06034	0.70068	0.08612	0.195013	0.193921	0.0019167	0.198223	0.197223	0.00016711	-	-	-	0.1987	
	-4.20	0.20	-0.001	0.19683	0.06003	0.69866	0.08593	0.194723	0.194916	0.0019364	0.197215	0.196215	0.00016933	0.00016822	3.3645E-05	0.197249	0.1977	<b>0.198783</b>
19	-4.20	0.20	-0.001	<b>0.1968</b>	0.06003	0.69866	0.08593	0.194723	0.194916	0.0019364	0.197215	0.196215	0.00016933	-	-	-	0.1977	
	-4.40	0.20	-0.001	0.1958	0.05973	0.69664	0.08573	0.194431	0.195921	0.0019564	0.196207	0.195207	0.0001716	0.00017047	3.4093E-05	0.196241	0.1968	<b>0.197794</b>
20	-4.40	0.20	-0.001	<b>0.1958</b>	0.05973	0.69664	0.08573	0.194431	0.195921	0.0019564	0.196207	0.195207	0.0001716	-	-	-	0.1968	
	-4.60	0.20	-0.001	0.19481	0.05942	0.69462	0.08554	0.194137	0.196937	0.0019768	0.195199	0.194199	0.00017391	0.00017275	3.4551E-05	0.195234	0.1958	<b>0.196804</b>
21	-4.60	0.20	-0.001	<b>0.1948</b>	0.05942	0.69462	0.08554	0.194137	0.196937	0.0019768	0.195199	0.194199	0.00017391	-	-	-	0.1958	
	-4.80	0.20	-0.001	0.1938	0.05911	0.6926	0.08534	0.193842	0.197963	0.0019974	0.194191	0.193191	0.00017626	0.00017509	3.5017E-05	0.194226	0.1948	<b>0.195815</b>
22	-4.80	0.20	-0.001	<b>0.1938</b>	0.05911	0.6926	0.08534	0.193842	0.197963	0.0019974	0.194191	0.193191	0.00017626	-	-	-	0.1948	
	-5.23	0.43	-0.00215	0.19279	0.0588	0.69058	0.08515	0.193544	0.199	0.0020184	0.193183	0.191033	0.00017866	0.00017746	7.6309E-05	0.19326	0.1926	<b>0.194847</b>
23	-5.23	0.43	-0.00215	<b>0.1928</b>	0.0588	0.69058	0.08515	0.193544	0.199	0.0020184	0.193183	0.191033	0.00017866	-	-	-	0.1926	



- Perfil M2

Conociendo las características hidráulicas del tirante 1 y la longitud respectiva, se supone un valor tentativo del tirante 2 el cual estará sujeto a ciertas condiciones, las cuales deberán satisfacerse para poder continuar con el procedimiento, tomando en cuenta que para que este método sea ordenado se utiliza una tabla, cuyas columnas se calculan de la misma manera que se describió en el caso anterior, los datos obtenidos se muestran en la tabla XLII, los cuales corresponden al caudal 1 del perfil M2, en la tabla XLIII se muestran los datos correspondientes para el caudal 2 del perfil M2.

Tabla XLII. Datos del método de tramos fijos para el primer perfil M2

Pendiente	0.10%
Q1 (m3/s)	0.014189
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	x(m)	$\Delta x$	$So^* \Delta x$	y	A	p	R	$R^2(2/3)$	v	$v^2(2/g)$	E	$So^* \Delta x + E$	SE	SE	SE $\Delta x$	E+SE $\Delta x$	C	f(Y2) calculado
1	0.00	0.30	-0.0003	<b>0.0850</b>	0.02593	0.47500	0.05458	0.14389	0.54731	0.01527	0.08653	0.08623	0.002445	-	-	-	0.09960	-
	-0.30	0.30	-0.0003	0.0839	0.02559	0.47280	0.05412	0.14308	0.55449	0.01567	0.08546	0.08516	0.002538	0.0024916	0.00074748	0.08621	0.09889	<b>0.099951</b>
2	-0.30	0.30	-0.0003	<b>0.0839</b>	0.02559	0.47280	0.05412	0.14308	0.55449	0.01567	0.08546	0.08516	0.002538	-	-	-	0.09889	-
	-0.44	0.14	-0.00014	0.0832	0.02538	0.47140	0.05383	0.14257	0.55915	0.01594	0.08478	0.08464	0.002600	0.00256877	0.00035963	0.08514	0.09881	<b>0.099317</b>
3	-0.44	0.14	-0.00014	<b>0.0832</b>	0.02538	0.47140	0.05383	0.14257	0.55915	0.01594	0.08478	0.08464	0.002600	-	-	-	0.09881	-
	-0.93	0.49	-0.00049	0.0817	0.02492	0.46840	0.05320	0.14145	0.56942	0.01653	0.08332	0.08283	0.002739	0.00266911	0.00130787	0.08463	0.09706	<b>0.098897</b>
4	-0.93	0.49	-0.00049	<b>0.0817</b>	0.02492	0.46840	0.05320	0.14145	0.56942	0.01653	0.08332	0.08283	0.002739	-	-	-	0.09706	-
	-1.13	0.20	-0.0002	0.0806	0.02458	0.46620	0.05273	0.14062	0.57719	0.01698	0.08226	0.08206	0.002847	0.002793	0.00005586	0.08282	0.09710	<b>0.097865</b>
5	-1.13	0.20	-0.0002	<b>0.0806</b>	0.02458	0.46620	0.05273	0.14062	0.57719	0.01698	0.08226	0.08206	0.002847	-	-	-	0.09710	-
	-1.33	0.20	-0.0002	0.07979	0.02434	0.46458	0.05238	0.14000	0.58305	0.01733	0.08147	0.08127	0.002931	0.00288926	0.000057785	0.08205	0.09662	<b>0.097410</b>
6	-1.33	0.20	-0.0002	<b>0.0798</b>	0.02434	0.46458	0.05238	0.14000	0.58305	0.01733	0.08147	0.08127	0.002931	-	-	-	0.09662	-
	-1.53	0.20	-0.0002	0.0789	0.02406	0.46280	0.05200	0.13931	0.58962	0.01772	0.08061	0.08041	0.003027	0.00297925	0.000059585	0.08121	0.09612	<b>0.096922</b>
7	-1.53	0.20	-0.0002	<b>0.0789</b>	0.02406	0.46280	0.05200	0.13931	0.58962	0.01772	0.08061	0.08041	0.003027	-	-	-	0.09612	-
	-1.73	0.20	-0.0002	0.0780	0.02379	0.46100	0.05161	0.13861	0.59643	0.01813	0.07974	0.07954	0.003129	0.00307818	0.000061564	0.08036	0.09562	<b>0.096444</b>
8	-1.73	0.20	-0.0002	<b>0.0780</b>	0.02379	0.46100	0.05161	0.13861	0.59643	0.01813	0.07974	0.07954	0.003129	-	-	-	0.09562	-
	-1.93	0.20	-0.0002	0.0771	0.02352	0.45920	0.05121	0.13790	0.60339	0.01856	0.07888	0.07868	0.003236	0.00318228	0.000063646	0.07951	0.09513	<b>0.095980</b>
9	-1.93	0.20	-0.0002	<b>0.0771</b>	0.02352	0.45920	0.05121	0.13790	0.60339	0.01856	0.07888	0.07868	0.003236	-	-	-	0.09513	-
	-2.13	0.20	-0.0002	0.0762	0.02324	0.45740	0.05081	0.13718	0.61052	0.01900	0.07801	0.07781	0.003347	0.00329132	0.000065826	0.07867	0.09466	<b>0.095532</b>
10	-2.13	0.20	-0.0002	<b>0.0762</b>	0.02324	0.45740	0.05081	0.13718	0.61052	0.01900	0.07801	0.07781	0.003347	-	-	-	0.09466	-
	-2.33	0.20	-0.0002	0.0753	0.02296	0.45556	0.05040	0.13644	0.61798	0.01946	0.07712	0.07692	0.003467	0.00340691	0.000068138	0.07781	0.09420	<b>0.095091</b>
11	-2.33	0.20	-0.0002	<b>0.0753</b>	0.02296	0.45556	0.05040	0.13644	0.61798	0.01946	0.07712	0.07692	0.003467	-	-	-	0.09420	-
	-2.53	0.20	-0.0002	0.0743	0.02266	0.45360	0.04996	0.13565	0.62613	0.01998	0.07618	0.07598	0.003601	0.00353373	0.000070675	0.07689	0.09372	<b>0.094642</b>

Continúa en la página siguiente

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
No.	x(m)	$\Delta x$	$\Delta x$	$\Delta x$	A	P	R	R $\lambda^2/3$	V	V $\lambda^2/2g$	E	So $\lambda^3$ +E	SE	SE	SE $\Delta x$	E+SE $\Delta x$	C	f(Y2) calculado
12	-2.53	0.20	-0.0002	<b>0.0743</b>	0.02266	0.45360	0.04996	0.13565	0.62613	0.01998	0.07618	0.07598	0.003601	-	-	-	0.09372	
	-3.00	0.47	-0.00047	0.0722	0.02202	0.44940	0.04900	0.13391	0.64434	0.02116	0.07418	0.07371	0.003913	0.00375688	0.00176573	0.07594	0.09197	<b>0.094280</b>
13	-3.00	0.47	-0.00047	<b>0.0722</b>	0.02202	0.44940	0.04900	0.13391	0.64434	0.02116	0.07418	0.07371	0.003913	-	-	-	0.09197	
	-3.20	0.20	-0.0002	0.0709	0.02161	0.44670	0.04838	0.13276	0.65662	0.02197	0.07289	0.07269	0.004134	0.00402339	0.00080468	0.07369	0.09221	<b>0.093238</b>
14	-3.20	0.20	-0.0002	<b>0.0709</b>	0.02161	0.44670	0.04838	0.13276	0.65662	0.02197	0.07289	0.07269	0.004134	-	-	-	0.09221	
	-3.40	0.20	-0.0002	0.0697	0.02126	0.44440	0.04784	0.13178	0.66745	0.02271	0.07180	0.07160	0.004336	0.00423467	0.00084693	0.07265	0.09177	<b>0.092839</b>
15	-3.40	0.20	-0.0002	<b>0.0697</b>	0.02126	0.44440	0.04784	0.13178	0.66745	0.02271	0.07180	0.07160	0.004336	-	-	-	0.09177	
	-3.60	0.20	-0.0002	0.0685	0.02089	0.44200	0.04727	0.13073	0.67914	0.02351	0.07066	0.07046	0.004561	0.00444825	0.00088965	0.07155	0.09135	<b>0.092465</b>
16	-3.60	0.20	-0.0002	<b>0.0685</b>	0.02089	0.44200	0.04727	0.13073	0.67914	0.02351	0.07066	0.07046	0.004561	-	-	-	0.09135	
	-3.80	0.20	-0.0002	0.0673	0.02053	0.43960	0.04669	0.12967	0.69125	0.02435	0.06953	0.06933	0.004803	0.0046818	0.00093636	0.07047	0.09097	<b>0.092135</b>
17	-3.80	0.20	-0.0002	<b>0.0673</b>	0.02053	0.43960	0.04669	0.12967	0.69125	0.02435	0.06953	0.06933	0.004803	-	-	-	0.09097	
	-4.00	0.20	-0.0002	0.06603	0.02014	0.43706	0.04608	0.12853	0.70455	0.02530	0.06834	0.06814	0.005078	0.00494043	0.00098809	0.06933	0.09062	<b>0.091838</b>
18	-4.00	0.20	-0.0002	<b>0.06603</b>	0.02014	0.43706	0.04608	0.12853	0.70455	0.02530	0.06834	0.06814	0.005078	-	-	-	0.09062	
	-4.20	0.20	-0.0002	0.0646	0.01970	0.43420	0.04538	0.12722	0.72014	0.02643	0.06701	0.06681	0.005415	0.00524661	0.00104932	0.06806	0.09029	<b>0.091574</b>
19	-4.20	0.20	-0.0002	<b>0.0646</b>	0.01970	0.43420	0.04538	0.12722	0.72014	0.02643	0.06701	0.06681	0.005415	-	-	-	0.09029	
	-4.40	0.20	-0.0002	0.0632	0.01927	0.43134	0.04467	0.12589	0.73645	0.02764	0.06568	0.06548	0.005783	0.00559921	0.00111984	0.06680	0.09003	<b>0.091391</b>
20	-4.40	0.20	-0.0002	<b>0.0632</b>	0.01927	0.43134	0.04467	0.12589	0.73645	0.02764	0.06568	0.06548	0.005783	-	-	-	0.09003	
	-4.60	0.20	-0.0002	0.0616	0.01879	0.42820	0.04388	0.12440	0.75522	0.02907	0.06424	0.06404	0.006229	0.00600594	0.00120119	0.06544	0.08985	<b>0.091293</b>
21	-4.60	0.20	-0.0002	<b>0.0616</b>	0.01879	0.42820	0.04388	0.12440	0.75522	0.02907	0.06424	0.06404	0.006229	-	-	-	0.08985	
	-4.80	0.20	-0.0002	0.05995	0.01828	0.42490	0.04303	0.12280	0.77600	0.03069	0.06273	0.06253	0.006749	0.00648852	0.0012977	0.06403	0.08977	<b>0.091317</b>
22	-4.80	0.20	-0.0002	<b>0.05995</b>	0.01828	0.42490	0.04303	0.12280	0.77600	0.03069	0.06273	0.06253	0.006749	-	-	-	0.08977	
	-5.23	0.43	-0.00043	0.0561	0.01711	0.41720	0.04101	0.11893	0.82926	0.03505	0.05929	0.05886	0.008217	0.00748271	0.00321756	0.06251	0.08895	<b>0.092916</b>
23	-5.23	0.43	-0.00043	<b>0.0561</b>	0.01711	0.41720	0.04101	0.11893	0.82926	0.03505	0.05929	0.05886	0.008217	-	-	-	0.08895	

Tabla XLIII. Datos del método de tramos fijos para el segundo perfil M2

Pendiente	0.10%
Q1 (m3/s)	0.0109223
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	x(m)	$\Delta x$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	C	f(Y2) calculado
1	0.00	0.30	-0.0003	<b>0.0720</b>	0.02196	0.449	0.04891	0.13374	0.49737	0.01261	0.07307	0.07277	0.00234	-	-	-	-	0.08396	-
	-0.30	0.30	-0.0003	<b>0.0703</b>	0.02144	0.4456	0.04812	0.13229	0.5084	0.01323	0.0714	0.0711	0.00251	0.00242154	0.00072646	0.07213115	0.08285	<b>0.083902</b>	
2	-0.30	0.30	-0.0003	<b>0.0703</b>	0.02144	0.4456	0.04812	0.13229	0.5084	0.01323	0.0714	0.0711	0.00251	-	-	-	-	0.08285	
	-0.44	0.14	-0.00014	0.0696	0.02123	0.4442	0.04779	0.13169	0.51452	0.01349	0.07072	0.07058	0.00258	0.00254275	0.00035598	0.07107717	0.08277	<b>0.083274</b>	
3	-0.44	0.14	-0.00014	<b>0.0696</b>	0.02123	0.4442	0.04779	0.13169	0.51452	0.01349	0.07072	0.07058	0.00258	-	-	-	-	0.08277	
	-0.93	0.49	-0.00049	0.068	0.02074	0.441	0.04703	0.13029	0.52663	0.01414	0.06916	0.06867	0.00276	0.00267042	0.00130851	0.07046954	0.08097	<b>0.082812</b>	
4	-0.93	0.49	-0.00049	<b>0.0680</b>	0.02074	0.441	0.04703	0.13029	0.52663	0.01414	0.06916	0.06867	0.00276	-	-	-	-	0.08097	
	-1.13	0.20	-0.0002	0.0669	0.0204	0.4388	0.0465	0.12931	0.53529	0.0146	0.06809	0.06789	0.0029	0.00282846	0.00056569	0.06865599	0.08101	<b>0.081794</b>	
5	-1.13	0.20	-0.0002	<b>0.0669</b>	0.0204	0.4388	0.0465	0.12931	0.53529	0.0146	0.06809	0.06789	0.0029	-	-	-	-	0.08101	
	-1.33	0.20	-0.0002	0.066	0.02013	0.437	0.04606	0.1285	0.54259	0.01501	0.06722	0.06702	0.00301	0.00295449	0.0005909	0.0678064	0.08050	<b>0.081307</b>	
6	-1.33	0.20	-0.0002	<b>0.0660</b>	0.02013	0.437	0.04606	0.1285	0.54259	0.01501	0.06722	0.06702	0.00301	-	-	-	-	0.08050	
	-1.53	0.20	-0.0002	0.0651	0.01986	0.4352	0.04562	0.12768	0.55009	0.01542	0.06634	0.06614	0.00314	0.00307498	0.000615	0.0669569	0.08001	<b>0.080837</b>	
7	-1.53	0.20	-0.0002	<b>0.0651</b>	0.01986	0.4352	0.04562	0.12768	0.55009	0.01542	0.06634	0.06614	0.00314	-	-	-	-	0.08001	
	-1.73	0.20	-0.0002	0.0642	0.01958	0.4334	0.04518	0.12685	0.5578	0.01586	0.06547	0.06527	0.00327	0.00320232	0.00064046	0.06611006	0.07953	<b>0.080385</b>	
8	-1.73	0.20	-0.0002	<b>0.0642</b>	0.01958	0.4334	0.04518	0.12685	0.5578	0.01586	0.06547	0.06527	0.00327	-	-	-	-	0.07953	
	-1.93	0.20	-0.0002	0.0633	0.01931	0.4316	0.04473	0.12601	0.56573	0.01631	0.0646	0.0644	0.00341	0.00333701	0.0006674	0.06526609	0.07907	<b>0.079953</b>	
9	-1.93	0.20	-0.0002	<b>0.0633</b>	0.01931	0.4316	0.04473	0.12601	0.56573	0.01631	0.0646	0.0644	0.00341	-	-	-	-	0.07907	
	-2.13	0.20	-0.0002	0.0623	0.019	0.4296	0.04423	0.12507	0.57481	0.01684	0.06363	0.06343	0.00357	0.00348802	0.0006976	0.06433036	0.07858	<b>0.079497</b>	
10	-2.13	0.20	-0.0002	<b>0.0623</b>	0.019	0.4296	0.04423	0.12507	0.57481	0.01684	0.06363	0.06343	0.00357	-	-	-	-	0.07858	
	-2.33	0.20	-0.0002	0.0613	0.0187	0.4276	0.04372	0.12411	0.58419	0.01739	0.06267	0.06247	0.00374	0.00365701	0.0007314	0.06340024	0.07812	<b>0.079069</b>	
11	-2.33	0.20	-0.0002	<b>0.0613</b>	0.0187	0.4276	0.04372	0.12411	0.58419	0.01739	0.06267	0.06247	0.00374	-	-	-	-	0.07812	
	-2.53	0.20	-0.0002	0.0602	0.01836	0.4254	0.04316	0.12305	0.59486	0.01804	0.06161	0.06141	0.00395	0.00384709	0.00076942	0.06238047	0.07764	<b>0.078631</b>	

Continúa en la página siguiente

No.	x(m)	$\Delta x$	So $\Delta x$	y	A	P	R	R $\sqrt{2/3}$	v	v $^2/2g$	E	So $\Delta x+E$	SE	SE $\Delta x$	E+SE $\Delta x$	C	f(Y2) calculado
12	-2.53	0.20	-0.0002	<b>0.0602</b>	0.01836	0.4254	0.04316	0.12305	0.59486	0.01804	0.06161	0.00395	-	-	-	0.07764	
	-3.00	0.47	-0.00047	0.0579	0.01766	0.4208	0.04197	0.12076	0.61849	0.0195	0.05941	0.05894	0.00443	0.00419142	0.00196997	0.07589	<b>0.078439</b>
13	-3.00	0.47	-0.00047	<b>0.0579</b>	0.01766	0.4208	0.04197	0.12076	0.61849	0.0195	0.05941	0.05894	0.00443	-	-	0.07589	
	-3.20	0.20	-0.0002	0.0564	0.0172	0.4178	0.04117	0.11924	0.63494	0.02055	0.05798	0.05778	0.00479	0.00461259	0.00092252	0.07627	<b>0.077427</b>
14	-3.20	0.20	-0.0002	<b>0.0564</b>	0.0172	0.4178	0.04117	0.11924	0.63494	0.02055	0.05798	0.05778	0.00479	-	-	0.07627	
	-3.40	0.20	-0.0002	0.0551	0.01681	0.4152	0.04048	0.11789	0.64992	0.02153	0.05675	0.05655	0.00514	0.00496451	0.0009929	0.07592	<b>0.077143</b>
15	-3.40	0.20	-0.0002	<b>0.0551</b>	0.01681	0.4152	0.04048	0.11789	0.64992	0.02153	0.05675	0.05655	0.00514	-	-	0.07592	
	-3.60	0.20	-0.0002	0.0537	0.01638	0.4124	0.03972	0.1164	0.66687	0.02267	0.05543	0.05523	0.00555	0.00534166	0.00106833	0.07561	<b>0.076921</b>
16	-3.60	0.20	-0.0002	<b>0.0537</b>	0.01638	0.4124	0.03972	0.1164	0.66687	0.02267	0.05543	0.05523	0.00555	-	-	0.07561	
	-3.80	0.20	-0.0002	0.0522	0.01592	0.4094	0.03889	0.11478	0.68603	0.02399	0.05403	0.05383	0.00604	0.00579172	0.00115834	0.07538	<b>0.076791</b>
17	-3.80	0.20	-0.0002	<b>0.0522</b>	0.01592	0.4094	0.03889	0.11478	0.68603	0.02399	0.05403	0.05383	0.00604	-	-	0.07538	
	-4.00	0.20	-0.0002	0.0506	0.01543	0.40616	0.03798	0.11299	0.708	0.02555	0.05253	0.05233	0.00664	0.00633599	0.0012672	0.07527	<b>0.076792</b>
18	-4.00	0.20	-0.0002	<b>0.0506</b>	0.01543	0.40616	0.03798	0.11299	0.708	0.02555	0.05253	0.05233	0.00664	-	-	0.07527	
	-4.20	0.20	-0.0002	0.0488	0.01488	0.4026	0.03697	0.11098	0.73383	0.02745	0.05089	0.05069	0.00739	0.00701231	0.00140246	0.07531	<b>0.076986</b>
19	-4.20	0.20	-0.0002	<b>0.0488</b>	0.01488	0.4026	0.03697	0.11098	0.73383	0.02745	0.05089	0.05069	0.00739	-	-	0.07531	
	-4.40	0.20	-0.0002	0.0468	0.01427	0.3986	0.03581	0.10864	0.76519	0.02984	0.04909	0.04889	0.00838	0.00788637	0.00157727	0.07560	<b>0.077481</b>
20	-4.40	0.20	-0.0002	<b>0.0468</b>	0.01427	0.3986	0.03581	0.10864	0.76519	0.02984	0.04909	0.04889	0.00838	-	-	0.07560	
	-4.60	0.20	-0.0002	0.0445	0.01357	0.394	0.03445	0.10587	0.80474	0.03301	0.04706	0.04686	0.00976	0.0090738	0.00181476	0.07633	<b>0.078484</b>
21	-4.60	0.20	-0.0002	<b>0.0445</b>	0.01357	0.394	0.03445	0.10587	0.80474	0.03301	0.04706	0.04686	0.00976	-	-	0.07633	
	-4.80	0.20	-0.0002	0.0417	0.01272	0.3884	0.03275	0.10235	0.85877	0.03759	0.04468	0.04448	0.0119	0.01083063	0.00216613	0.07790	<b>0.080478</b>
22	-4.80	0.20	-0.0002	<b>0.0417</b>	0.01272	0.3884	0.03275	0.10235	0.85877	0.03759	0.04468	0.04448	0.0119	-	-	0.07790	
	-5.23	0.43	-0.00043	0.0458	0.01397	0.39659	0.03522	0.10745	0.78194	0.03116	0.0482	0.04777	0.00895	0.01042364	0.00448217	0.07461	<b>0.078885</b>
23	-5.23	0.43	-0.00043	<b>0.0458</b>	0.01397	0.39659	0.03522	0.10745	0.78194	0.03116	0.0482	0.04777	0.00895	-	-	0.07461	

- Perfil M3

Conociendo las características hidráulicas del tirante 1 y la longitud respectiva, se supone un valor tentativo del tirante 2 el cual estará sujeto a ciertas condiciones, las cuales deberán satisfacerse para poder continuar con el procedimiento, tomando en cuenta que para que este método sea ordenado se utiliza una tabla, cuyas columnas se calculan de la misma manera que en los casos anteriores, los datos obtenidos se muestran en la tabla XLIV, los cuales corresponden al caudal 1 del perfil M3, en la tabla XLV se muestran los datos correspondientes para el caudal 2 del perfil M3.

Tabla XLIV. Datos del método de tramos fijos para el primer perfil M3

Pendiente	0.10%
Q1 (m <sup>3</sup> /s)	0.0103357
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	x(m)	Δx	So'Δx	y	A	p	R	R <sup>3</sup> (2/3)	v	V <sup>2</sup> (2/g)	E	So'Δx+E	SE	SE	SEΔx	E+SEΔx	C	f(Y2) calculado
1	0.00	0.30	0.0003	<b>0.0260</b>	0.0079	0.3570	0.0222	0.0790	1.3034	0.0866	0.0357	0.0360	0.04597766	-	-	-	0.10599	-
	0.30	0.30	0.0003	0.0285	0.0087	0.3620	0.0240	0.0832	1.1890	0.0721	0.0357	0.0360	0.03449019	0.04023392	0.01207018	0.04781645	0.09569	<b>0.105733</b>
2	0.30	0.30	0.0003	<b>0.0285</b>	0.0087	0.3620	0.0240	0.0832	1.1890	0.0721	0.0357	0.0360	0.03449019	-	-	-	0.09569	-
	0.44	0.14	0.0001	0.0305	0.0093	0.3660	0.0254	0.0864	1.1111	0.0629	0.0364	0.0365	0.02791745	0.03120382	0.00436853	0.04074636	0.09160	<b>0.095373</b>
3	0.44	0.14	0.0001	<b>0.0305</b>	0.0093	0.3660	0.0254	0.0864	1.1111	0.0629	0.0364	0.0365	0.02791745	-	-	-	0.09160	-
	0.93	0.49	0.0005	0.0332	0.0101	0.3714	0.0273	0.0906	1.0207	0.0531	0.0378	0.0383	0.02145668	0.02468707	0.01209666	0.04987937	0.08153	<b>0.091558</b>
4	0.93	0.49	0.0005	<b>0.0332</b>	0.0101	0.3714	0.0273	0.0906	1.0207	0.0531	0.0378	0.0383	0.02145668	-	-	-	0.08153	-
	1.13	0.20	0.0002	0.0369	0.0113	0.3788	0.0297	0.0959	0.9184	0.0430	0.0403	0.0405	0.01548909	0.01847288	0.00369458	0.04402857	0.07854	<b>0.081435</b>
5	1.13	0.20	0.0002	<b>0.0369</b>	0.0113	0.3788	0.0297	0.0959	0.9184	0.0430	0.0403	0.0405	0.01548909	-	-	-	0.07854	-
	1.33	0.20	0.0002	0.0389	0.0119	0.3828	0.0310	0.0987	0.8711	0.0387	0.0419	0.0421	0.01317339	0.01433124	0.00286625	0.04476699	0.07646	<b>0.078897</b>
6	1.33	0.20	0.0002	<b>0.0389</b>	0.0119	0.3828	0.0310	0.0987	0.8711	0.0387	0.0419	0.0421	0.01317339	-	-	-	0.07646	-
	1.53	0.20	0.0002	0.041	0.0125	0.3870	0.0323	0.1014	0.8265	0.0348	0.0436	0.0438	0.01121766	0.01219552	0.0024391	0.04607902	0.07490	<b>0.076941</b>
7	1.53	0.20	0.0002	<b>0.0410</b>	0.0125	0.3870	0.0323	0.1014	0.8265	0.0348	0.0436	0.0438	0.01121766	-	-	-	0.07490	-
	1.73	0.20	0.0002	0.0448	0.0137	0.3946	0.0346	0.1062	0.7564	0.0292	0.0470	0.0472	0.00856741	0.00989254	0.00197851	0.04893544	0.07331	<b>0.074819</b>
8	1.73	0.20	0.0002	<b>0.0448</b>	0.0137	0.3946	0.0346	0.1062	0.7564	0.0292	0.0470	0.0472	0.00856741	-	-	-	0.07331	-
	1.93	0.20	0.0002	0.0511	0.0156	0.4072	0.0383	0.1136	0.6632	0.0224	0.0527	0.0529	0.00576202	0.00716471	0.00143294	0.05418078	0.07314	<b>0.074091</b>
9	1.93	0.20	0.0002	<b>0.0511</b>	0.0156	0.4072	0.0383	0.1136	0.6632	0.0224	0.0527	0.0529	0.00576202	-	-	-	0.07314	-
	2.13	0.20	0.0002	0.0511	0.0156	0.4072	0.0383	0.1136	0.6630	0.0224	0.0528	0.0530	0.00575864	0.00576033	0.00115207	0.05390929	0.07314	<b>0.074092</b>
10	2.13	0.20	0.0002	<b>0.0511</b>	0.0156	0.4072	0.0383	0.1136	0.6630	0.0224	0.0528	0.0530	0.00575864	-	-	-	0.07314	-
	2.33	0.20	0.0002	0.0511	0.0156	0.4072	0.0383	0.1136	0.6629	0.0224	0.0528	0.0530	0.00575864	0.00575526	0.00115139	0.0533918	0.07314	<b>0.074093</b>
11	2.33	0.20	0.0002	<b>0.0511</b>	0.0156	0.4072	0.0383	0.1136	0.6629	0.0224	0.0528	0.0530	0.00575864	-	-	-	0.07314	-
	2.53	0.20	0.0002	0.0511	0.0156	0.4073	0.0383	0.1136	0.6628	0.0224	0.0528	0.0530	0.00575188	0.00575357	0.00115071	0.05392671	0.07314	<b>0.074094</b>
12	2.53	0.20	0.0002	<b>0.0511</b>	0.0156	0.4073	0.0383	0.1136	0.6628	0.0224	0.0528	0.0530	0.00575188	-	-	-	0.07314	-

Tabla XLV. Datos del método de tramos fijos para el segundo perfil M3

Pendiente	0.10%
Q2 (m3/s)	0.0133883
Long. Canal	7.00 m
b	0.305 m
n	0.013

No.	x(m)	$\Delta x$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	C	f(Y2) calculado
1	0.00	0.30	0.0003	<b>0.0175</b>	0.00634	0.34	0.0157	0.0627	2.50835	0.32068	0.12595	0.12625	0.2705099	-	-	-	-	0.29791	-
	0.30	0.30	0.0003	0.0198	0.00603	0.34452	0.01749	0.06739	2.22126	0.25148	0.08797	0.08827	0.18360127	0.22705559	0.06811668	0.15608918	0.24400	0.24400	<b>0.298780</b>
2	0.30	0.30	0.0003	<b>0.0198</b>	0.00603	0.34452	0.01749	0.06739	2.22126	0.25148	0.08797	0.08827	0.18360127	-	-	-	-	0.24400	-
	0.44	0.14	0.0001	0.0215	0.00656	0.348	0.01884	0.07081	2.04168	0.21246	0.07121	0.07135	0.14049113	0.1620462	0.02268647	0.09389319	0.22426	0.22426	<b>0.243793</b>
3	0.44	0.14	0.0001	<b>0.0215</b>	0.00656	0.348	0.01884	0.07081	2.04168	0.21246	0.07121	0.07135	0.14049113	-	-	-	-	0.22426	-
	0.93	0.49	0.0005	0.0236	0.0072	0.3522	0.02044	0.07475	1.86	0.17633	0.05885	0.05934	0.10463667	0.1225639	0.06005631	0.11891027	0.17478	0.17478	<b>0.225567</b>
4	0.93	0.49	0.0005	<b>0.0236</b>	0.0072	0.3522	0.02044	0.07475	1.86	0.17633	0.05885	0.05934	0.10463667	-	-	-	-	0.17478	-
	1.13	0.20	0.0002	0.0263	0.00803	0.35764	0.02245	0.07957	1.66768	0.14175	0.05015	0.05035	0.07422718	0.08943193	0.01788639	0.06803256	0.16085	0.16085	<b>0.175496</b>
5	1.13	0.20	0.0002	<b>0.0263</b>	0.00803	0.35764	0.02245	0.07957	1.66768	0.14175	0.05015	0.05035	0.07422718	-	-	-	-	0.16085	-
	1.33	0.20	0.0002	0.0278	0.00848	0.3606	0.02351	0.08208	1.579	0.12708	0.04748	0.04768	0.06254939	0.06838829	0.01367766	0.0611586	0.14882	0.14882	<b>0.161131</b>
6	1.33	0.20	0.0002	<b>0.0278</b>	0.00848	0.3606	0.02351	0.08208	1.579	0.12708	0.04748	0.04768	0.06254939	-	-	-	-	0.14882	-
	1.53	0.20	0.0002	0.0293	0.00894	0.3636	0.02458	0.08453	1.49816	0.1144	0.04574	0.04594	0.05308167	0.05781553	0.01156311	0.05730177	0.13859	0.13859	<b>0.149006</b>
7	1.53	0.20	0.0002	<b>0.0293</b>	0.00894	0.3636	0.02458	0.08453	1.49816	0.1144	0.04574	0.04594	0.05308167	-	-	-	-	0.13859	-
	1.73	0.20	0.0002	0.0308	0.0094	0.36664	0.02564	0.08695	1.4243	0.1034	0.0447	0.0449	0.04534994	0.0492158	0.00984316	0.05453992	0.12988	0.12988	<b>0.138751</b>
8	1.73	0.20	0.0002	<b>0.0308</b>	0.0094	0.36664	0.02564	0.08695	1.4243	0.1034	0.0447	0.0449	0.04534994	-	-	-	-	0.12988	-
	1.93	0.20	0.0002	0.0323	0.00985	0.36962	0.02666	0.08924	1.35863	0.09408	0.0442	0.0444	0.03916735	0.04225865	0.00845173	0.05265175	0.12267	0.12267	<b>0.130307</b>
9	1.93	0.20	0.0002	<b>0.0323</b>	0.00985	0.36962	0.02666	0.08924	1.35863	0.09408	0.0442	0.0444	0.03916735	-	-	-	-	0.12267	-
	2.13	0.20	0.0002	0.0339	0.01033	0.37277	0.02772	0.0916	1.29545	0.08553	0.0441	0.0443	0.03379923	0.03648329	0.00729666	0.05139597	0.11624	0.11624	<b>0.122799</b>
10	2.13	0.20	0.0002	<b>0.0339</b>	0.01033	0.37277	0.02772	0.0916	1.29545	0.08553	0.0441	0.0443	0.03379923	-	-	-	-	0.11624	-
	2.33	0.20	0.0002	0.0354	0.01081	0.37587	0.02875	0.09386	1.23874	0.07821	0.0432	0.04452	0.02943803	0.03161863	0.00632373	0.050648	0.11090	0.11090	<b>0.116590</b>
11	2.33	0.20	0.0002	<b>0.0354</b>	0.01081	0.37587	0.02875	0.09386	1.23874	0.07821	0.0432	0.04452	0.02943803	-	-	-	-	0.11090	-
	2.53	0.20	0.0002	0.0371	0.01131	0.37918	0.02983	0.09619	1.18356	0.0714	0.04483	0.04503	0.02558636	0.02751219	0.00550244	0.05033617	0.10613	0.10613	<b>0.111044</b>
12	2.53	0.20	0.0002	<b>0.0371</b>	0.01131	0.37918	0.02983	0.09619	1.18356	0.0714	0.04483	0.04503	0.02558636	-	-	-	-	0.10613	-
	3.00	0.47	0.0005	0.0371	0.01132	0.37922	0.02985	0.09622	1.18286	0.07131	0.04484	0.04531	0.02554014	0.025556325	0.01201473	0.05685674	0.10289	0.10289	<b>0.114425</b>
13	3.00	0.47	0.0005	<b>0.0371</b>	0.01132	0.37922	0.02985	0.09622	1.18286	0.07131	0.04484	0.04531	0.02554014	-	-	-	-	0.10289	-



## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Comparación de resultados

Habiendo realizado los ensayos y los cálculos correspondientes para la generación de los perfiles de flujo gradualmente variado tipo M1, M2, y M3, se obtuvieron los siguientes resultados.

- Perfil M1

Haciendo uso del método de integración gráfica, se obtienen los valores de las distancias (valores resaltados), los tirantes de ensayo mantienen el mismo valor, la comparación para los valores de ensayo y los valores de cálculo se muestra en las tablas XLVI y XLVII; utilizando la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow los valores obtenidos del cálculo corresponden a las distancias (valores resaltados), los tirantes de ensayo mantienen el mismo valor, , la comparación para los valores de ensayo y los valores de cálculo se muestra en las tablas XLVIII y XLIX y por último en el método de tramos fijos se obtienen los valores de los tirantes (valores resaltados), mientras que las distancias serán las mismas de los ensayos, , la comparación para los valores de ensayo y los valores de cálculo se muestra en las tablas como se muestra en las tablas L y LI.

Tabla XLVI. Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por el método de integración gráfica correspondientes al caudal 1 del perfil M1

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Distancia horizontal calculada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)
523.00	<b>555.3729</b>	18.10
480.00	<b>525.3729</b>	17.95
460.00	<b>511.3729</b>	17.90
440.00	<b>462.3729</b>	17.90
420.00	<b>442.3729</b>	17.90
400.00	<b>417.1673</b>	17.88
380.00	<b>391.9632</b>	17.88
360.00	<b>371.9632</b>	17.82
340.00	<b>351.9632</b>	17.80
320.00	<b>326.7606</b>	17.80
300.00	<b>306.7606</b>	17.75
253.00	<b>281.5594</b>	17.70
233.00	<b>256.3596</b>	17.65
213.00	<b>231.1612</b>	17.65
193.00	<b>211.1612</b>	17.60
173.00	<b>201.0823</b>	17.60
153.00	<b>170.8468</b>	17.60
133.00	<b>150.8468</b>	17.55
113.00	<b>140.7687</b>	17.50
93.00	<b>120.7687</b>	17.50
44.00	<b>100.7687</b>	17.50
30.00	<b>75.5745</b>	17.50
0.00	<b>0.0000</b>	17.50

Tabla XLVII. **Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por el método de integración gráfica correspondientes al caudal 2 del perfil M1**

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Distancia horizontal calculada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)
523.00	<b>389.8348</b>	21.85
480.00	<b>359.8348</b>	21.80
460.00	<b>345.8348</b>	21.80
440.00	<b>306.4276</b>	21.72
420.00	<b>286.7173</b>	21.70
400.00	<b>276.8605</b>	21.60
380.00	<b>267.0027</b>	21.60
360.00	<b>247.2838</b>	21.50
340.00	<b>227.5608</b>	21.45
320.00	<b>217.6978</b>	21.35
300.00	<b>197.9688</b>	21.25
253.00	<b>188.1027</b>	21.10
233.00	<b>158.4988</b>	21.05
213.00	<b>138.7581</b>	20.95
193.00	<b>119.0137</b>	20.90
173.00	<b>109.1401</b>	20.80
153.00	<b>89.3902</b>	20.70
133.00	<b>69.3902</b>	20.65
113.00	<b>49.6367</b>	20.60
93.00	<b>45.6856</b>	20.50
44.00	<b>29.8798</b>	20.30
30.00	<b>9.8798</b>	20.30
0.00	<b>0.0000</b>	20.30

Tabla XLVIII. Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow correspondientes al caudal 1 del perfil M1

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Distancia horizontal calculada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)
523.00	<b>306.1926</b>	18.10
480.00	<b>306.1926</b>	17.95
460.00	<b>306.1926</b>	17.90
440.00	<b>306.1926</b>	17.90
420.00	<b>306.1926</b>	17.90
400.00	<b>280.5426</b>	17.88
380.00	<b>254.8926</b>	17.88
360.00	<b>254.8926</b>	17.82
340.00	<b>254.8926</b>	17.80
320.00	<b>229.2426</b>	17.80
300.00	<b>229.2426</b>	17.75
253.00	<b>203.5926</b>	17.70
233.00	<b>177.9426</b>	17.65
213.00	<b>152.2926</b>	17.65
193.00	<b>152.2926</b>	17.60
173.00	<b>142.0326</b>	17.60
153.00	<b>111.2526</b>	17.60
133.00	<b>111.2526</b>	17.55
113.00	<b>102.6000</b>	17.50
93.00	<b>102.6000</b>	17.50
44.00	<b>102.6000</b>	17.50
30.00	<b>76.9500</b>	17.50
0.00	<b>0.0000</b>	17.50

Tabla XLIX. Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow correspondientes al caudal 2 del perfil M1

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Distancia horizontal calculada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)
523.00	<b>513.7178</b>	21.85
480.00	<b>513.7178</b>	21.80
460.00	<b>513.7178</b>	21.80
440.00	<b>451.5835</b>	21.72
420.00	<b>420.5164</b>	21.70
400.00	<b>408.9732</b>	21.60
380.00	<b>393.4396</b>	21.60
360.00	<b>362.3725</b>	21.50
340.00	<b>331.3054</b>	21.45
320.00	<b>315.7718</b>	21.35
300.00	<b>284.7047</b>	21.25
253.00	<b>269.1711</b>	21.10
233.00	<b>190.9829</b>	21.05
213.00	<b>159.9158</b>	20.95
193.00	<b>128.8487</b>	20.90
173.00	<b>113.3151</b>	20.80
153.00	<b>82.2480</b>	20.70
133.00	<b>82.2480</b>	20.65
113.00	<b>51.1809</b>	20.60
93.00	<b>44.9675</b>	20.50
44.00	<b>20.1138</b>	20.30
30.00	<b>20.1138</b>	20.30
0.00	<b>0.0000</b>	20.30

Tabla L. **Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio del método de tramos fijos correspondientes al caudal 1 del perfil M1**

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)	Altura de tirante calculado (cm)
523.00	0.1810	<b>18.10</b>
480.00	0.1795	<b>18.04</b>
460.00	0.1790	<b>17.98</b>
440.00	0.1790	<b>17.95</b>
420.00	0.1790	<b>17.85</b>
400.00	0.1788	<b>17.81</b>
380.00	0.1788	<b>17.77</b>
360.00	0.1782	<b>17.72</b>
340.00	0.1780	<b>17.68</b>
320.00	0.1780	<b>17.64</b>
300.00	0.1775	<b>17.60</b>
253.00	0.1770	<b>17.56</b>
233.00	0.1765	<b>17.52</b>
213.00	0.1765	<b>17.42</b>
193.00	0.1760	<b>17.38</b>
173.00	0.1760	<b>17.34</b>
153.00	0.1760	<b>17.30</b>
133.00	0.1755	<b>17.26</b>
113.00	0.1750	<b>17.22</b>
93.00	0.1750	<b>17.18</b>
44.00	0.1750	<b>17.14</b>
30.00	0.1750	<b>17.10</b>
0.00	0.1750	<b>17.06</b>

Tabla LI. **Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio del método de tramos fijos correspondientes al caudal 2 del perfil M1**

Distancia horizontal acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)	Altura de tirante calculado (cm)
523.00	21.85	<b>21.85</b>
480.00	21.80	<b>21.70</b>
460.00	21.80	<b>21.55</b>
440.00	21.72	<b>21.48</b>
420.00	21.70	<b>21.23</b>
400.00	21.60	<b>21.13</b>
380.00	21.60	<b>21.03</b>
360.00	21.50	<b>20.93</b>
340.00	21.45	<b>20.83</b>
320.00	21.35	<b>20.73</b>
300.00	21.25	<b>20.63</b>
253.00	21.10	<b>20.52</b>
233.00	21.05	<b>20.42</b>
213.00	20.95	<b>20.19</b>
193.00	20.90	<b>20.09</b>
173.00	20.80	<b>19.99</b>
153.00	20.70	<b>19.89</b>
133.00	20.65	<b>19.78</b>
113.00	20.60	<b>19.68</b>
93.00	20.50	<b>19.58</b>
44.00	20.30	<b>19.48</b>
30.00	20.30	<b>19.38</b>
0.00	20.30	<b>19.28</b>

En las tablas LII y LIII, se muestra el resumen de todos los datos calculados en comparación con los datos ensayados para el caso del perfil M1.

**Tabla LII. Comparación de resultados para el primer perfil M1**

Distancia horizontal acumulada (cm)	Altura de tirante ensayado (cm)	Datos Calculados		
		Método de Int. Gráfica (cm)	Método de Bakhmeteff- Ven Te Chow (cm)	Método de Tramos Fijos (cm)
523.00	18.10	555.3729	306.1926	18.10
480.00	17.95	525.3729	306.1926	18.04
460.00	17.90	511.3729	306.1926	17.98
440.00	17.90	462.3729	306.1926	17.95
420.00	17.90	442.3729	306.1926	17.85
400.00	17.88	417.1673	280.5426	17.81
380.00	17.88	391.9632	254.8926	17.77
360.00	17.82	371.9632	254.8926	17.72
340.00	17.80	351.9632	254.8926	17.68
320.00	17.80	326.7606	229.2426	17.64
300.00	17.75	306.7606	229.2426	17.60
253.00	17.70	281.5594	203.5926	17.56
233.00	17.65	256.3596	177.9426	17.52
213.00	17.65	231.1612	152.2926	17.42
193.00	17.60	211.1612	152.2926	17.38
173.00	17.60	201.0823	142.0326	17.34
153.00	17.60	170.8468	111.2526	17.30
133.00	17.55	150.8468	111.2526	17.26
113.00	17.50	140.7687	102.6000	17.22
93.00	17.50	120.7687	102.6000	17.18
44.00	17.50	100.7687	102.6000	17.14
30.00	17.50	75.5745	76.9500	17.10
0.00	17.50	0.0000	0.0000	17.06



Tabla LIII. Comparación de resultados para el segundo perfil M1

Distancia horizontal acumulada (cm)	Altura de tirante ensayado (cm)	Datos Calculados		
		Método de Int. Gráfica (cm)	Método de Bakhmeteff- Ven Te Chow (cm)	Método de Tramos Fijos (cm)
523.00	21.85	389.8348	513.7178	21.85
480.00	21.80	359.8348	513.7178	21.70
460.00	21.80	345.8348	513.7178	21.55
440.00	21.72	306.4276	451.5835	21.48
420.00	21.70	286.7173	420.5164	21.23
400.00	21.60	276.8605	408.9732	21.13
380.00	21.60	267.0027	393.4396	21.03
360.00	21.50	247.2838	362.3725	20.93
340.00	21.45	227.5608	331.3054	20.83
320.00	21.35	217.6978	315.7718	20.73
300.00	21.25	197.9688	284.7047	20.63
253.00	21.10	188.1027	269.1711	20.52
233.00	21.05	158.4988	190.9829	20.42
213.00	20.95	138.7581	159.9158	20.19
193.00	20.90	119.0137	128.8487	20.09
173.00	20.80	109.1401	113.3151	19.99
153.00	20.70	89.3902	82.2480	19.89
133.00	20.65	69.3902	82.2480	19.78
113.00	20.60	49.6367	51.1809	19.68
93.00	20.50	45.6856	44.9675	19.58
44.00	20.30	29.8798	20.1138	19.48
30.00	20.30	9.8798	20.1138	19.38
0.00	20.30	0.0000	0.0000	19.28

- Perfil M2

En las tablas LIV, LV, LVI, LVII, LVIII Y LIX se muestran los resultados obtenidos en cada uno de los métodos de cálculo utilizados, comparando dichos resultados con los obtenidos de los ensayos.

Tabla LIV. **Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por el método de integración gráfica correspondientes al caudal 1 del perfil M2**

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Distancia horizontal calculada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)
0.00	<b>0.0000</b>	8.50
30.00	<b>4.5054</b>	8.50
44.00	<b>29.4812</b>	8.50
93.00	<b>33.7213</b>	8.30
113.00	<b>43.2083</b>	8.30
133.00	<b>60.0890</b>	8.20
153.00	<b>80.3631</b>	7.90
173.00	<b>100.3631</b>	7.90
193.00	<b>124.3083</b>	7.85
213.00	<b>133.1498</b>	7.85
233.00	<b>142.4448</b>	7.70
253.00	<b>162.4524</b>	7.60
300.00	<b>184.4307</b>	7.50
320.00	<b>221.3631</b>	7.45
340.00	<b>241.3631</b>	7.40
360.00	<b>254.7771</b>	7.25
380.00	<b>274.7771</b>	7.25
400.00	<b>368.5022</b>	7.10
420.00	<b>405.0268</b>	6.95
440.00	<b>425.0268</b>	6.85
460.00	<b>507.3328</b>	6.80
480.00	<b>521.3328</b>	6.35
523.00	<b>551.3328</b>	6.00

Tabla LV. Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por el método de integración gráfica correspondientes al caudal 2 del perfil M2

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Distancia horizontal calculada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)
0.00	<b>0.0000</b>	7.20
30.00	<b>5.8467</b>	7.20
44.00	<b>8.9955</b>	7.10
93.00	<b>17.6380</b>	7.00
113.00	<b>23.1906</b>	6.90
133.00	<b>29.6260</b>	6.80
153.00	<b>36.9884</b>	6.80
173.00	<b>45.3240</b>	6.70
193.00	<b>65.3240</b>	6.60
213.00	<b>74.6816</b>	6.60
233.00	<b>85.1124</b>	6.50
253.00	<b>96.6704</b>	6.50
300.00	<b>116.6704</b>	6.40
320.00	<b>129.4126</b>	6.30
340.00	<b>149.4126</b>	6.20
360.00	<b>163.3992</b>	6.20
380.00	<b>178.6938</b>	6.10
400.00	<b>198.6938</b>	6.00
420.00	<b>215.3638</b>	5.90
440.00	<b>233.4807</b>	5.80
460.00	<b>253.1204</b>	5.60
480.00	<b>274.3636</b>	5.50
523.00	<b>304.3636</b>	5.10

Tabla LVI. **Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow al caudal 1 del perfil M2**

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Distancia horizontal calculada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)
0.00	<b>-2.6021</b>	8.50
30.00	<b>0.0000</b>	8.50
44.00	<b>120.4223</b>	8.50
93.00	<b>123.6028</b>	8.30
113.00	<b>150.4700</b>	8.30
133.00	<b>163.8768</b>	8.20
153.00	<b>170.4223</b>	7.90
173.00	<b>185.1240</b>	7.90
193.00	<b>213.8768</b>	7.85
213.00	<b>252.7413</b>	7.85
233.00	<b>257.9839</b>	7.70
253.00	<b>257.9839</b>	7.60
300.00	<b>271.5266</b>	7.50
320.00	<b>271.5266</b>	7.45
340.00	<b>309.9478</b>	7.40
360.00	<b>348.0932</b>	7.25
380.00	<b>348.0932</b>	7.25
400.00	<b>432.2083</b>	7.10
420.00	<b>432.2083</b>	6.95
440.00	<b>432.2083</b>	6.85
460.00	<b>444.4151</b>	6.80
480.00	<b>503.6432</b>	6.35
523.00	<b>503.6432</b>	6.00

Tabla LVII. Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow correspondientes al caudal 1 del perfil M2

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Distancia horizontal calculada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (m)
0.00	<b>-10.8795</b>	7.20
30.00	<b>0.0000</b>	7.20
44.00	<b>95.4435</b>	7.10
93.00	<b>121.0082</b>	7.00
113.00	<b>127.8950</b>	6.90
133.00	<b>137.9753</b>	6.80
153.00	<b>143.3962</b>	6.80
173.00	<b>159.9709</b>	6.70
193.00	<b>159.9709</b>	6.60
213.00	<b>168.5853</b>	6.60
233.00	<b>178.5137</b>	6.50
253.00	<b>186.1161</b>	6.50
300.00	<b>202.9526</b>	6.40
320.00	<b>202.9526</b>	6.30
340.00	<b>227.0550</b>	6.20
360.00	<b>227.0550</b>	6.20
380.00	<b>250.3859</b>	6.10
400.00	<b>273.7168</b>	6.00
420.00	<b>273.7168</b>	5.90
440.00	<b>301.1972</b>	5.80
460.00	<b>366.8023</b>	5.60
480.00	<b>406.5773</b>	5.50
523.00	<b>406.5773</b>	5.10

Tabla LVIII. **Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio del método de tramos fijos correspondientes al caudal 1 del perfil M2**

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)	Altura de tirante calculado (cm)
0.00	8.50	<b>8.50</b>
30.00	8.50	<b>8.39</b>
44.00	8.50	<b>8.32</b>
93.00	8.30	<b>8.17</b>
113.00	8.30	<b>8.06</b>
133.00	8.20	<b>7.98</b>
153.00	7.90	<b>7.89</b>
173.00	7.90	<b>7.80</b>
193.00	7.85	<b>7.71</b>
213.00	7.85	<b>7.62</b>
233.00	7.70	<b>7.53</b>
253.00	7.60	<b>7.43</b>
300.00	7.50	<b>7.22</b>
320.00	7.45	<b>7.09</b>
340.00	7.40	<b>6.97</b>
360.00	7.25	<b>6.85</b>
380.00	7.25	<b>6.73</b>
400.00	7.10	<b>6.60</b>
420.00	6.95	<b>6.46</b>
440.00	6.85	<b>6.32</b>
460.00	6.80	<b>6.16</b>
480.00	6.35	<b>6.00</b>
523.00	6.00	<b>5.61</b>

Tabla LIX. **Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio del método de tramos fijos correspondientes al caudal 2 del perfil M2**

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)	Altura de tirante calculado (cm)
0.00	7.20	<b>7.20</b>
30.00	7.20	<b>7.03</b>
44.00	7.10	<b>6.96</b>
93.00	7.00	<b>6.80</b>
113.00	6.90	<b>6.69</b>
133.00	6.80	<b>6.60</b>
153.00	6.80	<b>6.51</b>
173.00	6.70	<b>6.42</b>
193.00	6.60	<b>6.33</b>
213.00	6.60	<b>6.23</b>
233.00	6.50	<b>6.13</b>
253.00	6.50	<b>6.02</b>
300.00	6.40	<b>5.79</b>
320.00	6.30	<b>5.64</b>
340.00	6.20	<b>5.51</b>
360.00	6.20	<b>5.37</b>
380.00	6.10	<b>5.22</b>
400.00	6.00	<b>5.06</b>
420.00	5.90	<b>4.88</b>
440.00	5.80	<b>4.68</b>
460.00	5.60	<b>4.45</b>
480.00	5.50	<b>4.17</b>
523.00	5.10	<b>4.58</b>



En las tablas LX y LXI, se muestra el resumen de todos los datos calculados en comparación con los datos ensayados para el caso del perfil M2.

**Tabla LX. Comparación de resultados para el primer perfil M2**

Distancia horizontal acumulada (cm)	Altura de tirante ensayado (cm)	Datos Calculados		
		Método de Int. Gráfica (cm)	Método de Bakhmeteff- Ven Te Chow (cm)	Método de Tramos Fijos (cm)
0.00	8.50	0.0000	-2.6021	8.50
30.00	8.50	4.5054	0.0000	8.39
44.00	8.50	29.4812	120.4223	8.32
93.00	8.30	33.7213	123.6028	8.17
113.00	8.30	43.2083	150.4700	8.06
133.00	8.20	60.0890	163.8768	7.98
153.00	7.90	80.3631	170.4223	7.89
173.00	7.90	100.3631	185.1240	7.80
193.00	7.85	124.3083	213.8768	7.71
213.00	7.85	133.1498	252.7413	7.62
233.00	7.70	142.4448	257.9839	7.53
253.00	7.60	162.4524	257.9839	7.43
300.00	7.50	184.4307	271.5266	7.22
320.00	7.45	221.3631	271.5266	7.09
340.00	7.40	241.3631	309.9478	6.97
360.00	7.25	254.7771	348.0932	6.85
380.00	7.25	274.7771	348.0932	6.73
400.00	7.10	368.5022	432.2083	6.60
420.00	6.95	405.0268	432.2083	6.46
440.00	6.85	425.0268	432.2083	6.32
460.00	6.80	507.3328	444.4151	6.16
480.00	6.35	521.3328	503.6432	6.00
523.00	6.00	551.3328	503.6432	5.61

Tabla LXI. Comparación de resultados para el segundo perfil M2

Distancia horizontal acumulada (cm)	Altura de tirante ensayado (cm)	Datos Calculados		
		Método de Int. Gráfica (cm)	Método de Bakhmeteff- Ven Te Chow (cm)	Método de Tramos Fijos (cm)
0.00	7.20	0.0000	-10.8795	7.20
30.00	7.20	5.8467	0.0000	7.03
44.00	7.10	8.9955	95.4435	6.96
93.00	7.00	17.6380	121.0082	6.80
113.00	6.90	23.1906	127.8950	6.69
133.00	6.80	29.6260	137.9753	6.60
153.00	6.80	36.9884	143.3962	6.51
173.00	6.70	45.3240	159.9709	6.42
193.00	6.60	65.3240	159.9709	6.33
213.00	6.60	74.6816	168.5853	6.23
233.00	6.50	85.1124	178.5137	6.13
253.00	6.50	96.6704	186.1161	6.02
300.00	6.40	116.6704	202.9526	5.79
320.00	6.30	129.4126	202.9526	5.64
340.00	6.20	149.4126	227.0550	5.51
360.00	6.20	163.3992	227.0550	5.37
380.00	6.10	178.6938	250.3859	5.22
400.00	6.00	198.6938	273.7168	5.06
420.00	5.90	215.3638	273.7168	4.88
440.00	5.80	233.4807	301.1972	4.68
460.00	5.60	253.1204	366.8023	4.45
480.00	5.50	274.3636	406.5773	4.17
523.00	5.10	304.3636	406.5773	4.58

- Perfil M3

En las tablas LXII, LXIII, LXIV, LXV, LXVI Y LXVII se muestran los resultados obtenidos en cada uno de los métodos de cálculo utilizados, comparando dichos resultados con los obtenidos de los ensayos.

**Tabla LXII. Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por el método de integración gráfica correspondientes al caudal 1 del perfil M3**

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Distancia horizontal calculada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)
0.00	<b>0.0000</b>	2.60
30.00	<b>30.0000</b>	2.60
44.00	<b>44.0000</b>	2.60
93.00	<b>62.6799</b>	2.75
113.00	<b>82.6799</b>	2.75
133.00	<b>100.9205</b>	2.90
153.00	<b>112.7942</b>	3.00
173.00	<b>132.7942</b>	3.00
193.00	<b>152.7942</b>	3.00
213.00	<b>164.4032</b>	3.10
233.00	<b>177.9419</b>	3.22
253.00	<b>186.7082</b>	3.30

Tabla LXIII. **Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por el método de integración gráfica correspondientes al caudal 1 del perfil M3**

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Distancia horizontal calculada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)
0.00	<b>0.0000</b>	1.75
30.00	<b>43.0000</b>	1.75
44.00	<b>49.6249</b>	1.80
93.00	<b>62.9339</b>	1.90
113.00	<b>69.6146</b>	1.95
133.00	<b>83.0142</b>	2.05
153.00	<b>89.7298</b>	2.10
173.00	<b>109.7298</b>	2.25
193.00	<b>116.4607</b>	2.30
213.00	<b>136.4607</b>	2.30
233.00	<b>156.4607</b>	2.30
253.00	<b>169.9141</b>	2.40
300.00	<b>190.0410</b>	2.55

Tabla LXIV. **Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow correspondientes al caudal 1 del perfil M3**

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Distancia horizontal calculada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)
0.00	<b>0.0000</b>	2.60
30.00	<b>10.0000</b>	2.60
44.00	<b>14.0000</b>	2.60
93.00	<b>18.5440</b>	2.75
113.00	<b>18.5440</b>	2.75
133.00	<b>57.7575</b>	2.90
153.00	<b>67.6011</b>	3.00
173.00	<b>67.6011</b>	3.00
193.00	<b>67.6011</b>	3.00
213.00	<b>101.2044</b>	3.10
233.00	<b>121.2044</b>	3.22
253.00	<b>216.4099</b>	3.30

Tabla LXV. **Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por medio de la solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow correspondientes al caudal 2 del perfil M3**

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Distancia horizontal calculada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)
0.00	<b>0.0000</b>	1.75
30.00	<b>30.0000</b>	1.75
44.00	<b>39.9664</b>	1.80
93.00	<b>40.9664</b>	1.90
113.00	<b>41.9328</b>	1.95
133.00	<b>141.9328</b>	2.05
153.00	<b>145.1328</b>	2.10
173.00	<b>148.8800</b>	2.25
193.00	<b>198.8800</b>	2.30
213.00	<b>198.8800</b>	2.30
233.00	<b>198.8800</b>	2.30
253.00	<b>200.3139</b>	2.40
300.00	<b>250.3139</b>	2.55

Tabla LXVI. **Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por el método de tramos fijos correspondientes al caudal 1 del perfil M3**

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)	Altura de tirante calculado (cm)
0.00	2.60	<b>2.60</b>
30.00	2.60	<b>2.85</b>
44.00	2.60	<b>3.05</b>
93.00	2.75	<b>3.32</b>
113.00	2.75	<b>3.69</b>
133.00	2.90	<b>3.89</b>
153.00	3.00	<b>4.10</b>
173.00	3.00	<b>4.48</b>
193.00	3.00	<b>5.11</b>
213.00	3.10	<b>5.11</b>
233.00	3.22	<b>5.11</b>
253.00	3.30	<b>5.11</b>

Tabla LXVII. **Comparación de datos de ensayo con los datos calculados por el método de tramos fijos correspondientes al caudal 2 del perfil M3**

Distancia horizontal observada acumulada (cm)	Altura de tirante observado (cm)	Altura de tirante calculado (cm)
0.00	1.75	<b>1.75</b>
30.00	1.75	<b>1.98</b>
44.00	1.80	<b>2.15</b>
93.00	1.90	<b>2.36</b>
113.00	1.95	<b>2.63</b>
133.00	2.05	<b>2.78</b>
153.00	2.10	<b>2.93</b>
173.00	2.25	<b>3.08</b>
193.00	2.30	<b>3.23</b>
213.00	2.30	<b>3.39</b>
233.00	2.30	<b>3.54</b>
253.00	2.40	<b>3.71</b>
300.00	2.55	<b>3.71</b>



En las tablas LXVIII y LXIX, se muestra el resumen de todos los datos calculados en comparación con los datos ensayados para el caso del perfil M3.

**Tabla LXVIII. Comparación de resultados para el primer perfil M3**

distancia horizontal acumulada (cm)	Altura de tirante ensayado (cm)	Datos Calculados		
		Método de Int. Gráfica (cm)	Método de Bakhmeteff- Ven Te Chow (cm)	Método de Tramos Fijos (cm)
0.00	2.60	0.0000	0.0000	2.60
30.00	2.60	30.0000	10.0000	2.85
44.00	2.60	44.0000	14.0000	3.05
93.00	2.75	62.6799	18.5440	3.32
113.00	2.75	82.6799	18.5440	3.69
133.00	2.90	100.9205	57.7575	3.89
153.00	3.00	112.7942	67.6011	4.10
173.00	3.00	132.7942	67.6011	4.48
193.00	3.00	152.7942	67.6011	5.11
213.00	3.10	164.4032	101.2044	5.11
233.00	3.22	177.9419	121.2044	5.11
253.00	3.30	186.7082	216.4099	5.11

Tabla LXIX. Comparación de resultados para el segundo perfil M3

Distancia horizontal acumulada (cm)	Altura de tirante ensayado (cm)	Datos Calculados		
		Método de Int. Gráfica (cm)	Método de Bakhmeteff- Ven Te Chow (cm)	Método de Tramos Fijos (cm)
0.00	1.75	0.0000	0.0000	1.75
30.00	1.75	43.0000	30.0000	1.98
44.00	1.80	49.6249	39.9664	2.15
93.00	1.90	62.9339	40.9664	2.36
113.00	1.95	69.6146	41.9328	2.63
133.00	2.05	83.0142	141.9328	2.78
153.00	2.10	89.7298	145.1328	2.93
173.00	2.25	109.7298	148.8800	3.08
193.00	2.30	116.4607	198.8800	3.23
213.00	2.30	136.4607	198.8800	3.39
233.00	2.30	156.4607	198.8800	3.54
253.00	2.40	169.9141	200.3139	3.71
300.00	2.55	190.0410	250.3139	3.71

## **4.2 Gráficos comparativos para cada uno de los métodos de cálculo**

Obtenidos los resultados calculados por los métodos de integración gráfica, solución de Bakhmeteff – Ven Te Chow y el método de tramos fijos, que corresponden a cada uno de los tipos de perfiles de flujo gradualmente variado ensayados (M1, M2, M3), se realizó una comparación entre los datos reales de ensayo con los datos calculados.

En los siguientes gráficos se puede observar el comportamiento que tiene el flujo gradualmente variado, utilizando tanto los datos de ensayo, como los datos calculados por los diferentes métodos de análisis, sin embargo, cabe mencionar que en algunos de los casos los resultados no se acercan mucho a los datos reales, esto se debe a que los métodos de cálculo son bastante rígidos en sus procedimientos, los cuales no permiten que la altura de los tirantes sea la misma en algunos tramos del perfil, esto hace que dependiendo del método empleado los resultados (distancias calculadas o tirantes calculados) varíen en relación con los datos obtenidos en los ensayos, pero en general, se puede decir que la comparación es bastante satisfactoria, teniendo en cuenta que el canal del laboratorio de Hidráulica presenta algunas deflexiones propias dado el tiempo de uso.

Figura 22. Gráfico comparativo de primer perfil M1 (método integración gráfica)

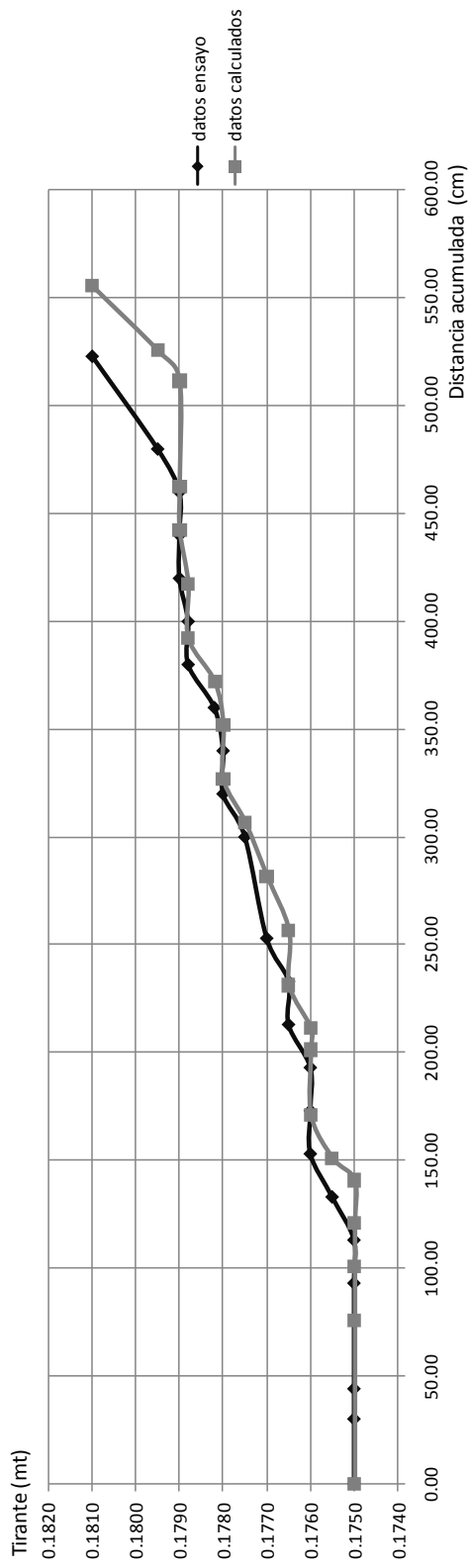


Figura 23. Gráfico comparativo de segundo perfil M1 (método integración gráfica)

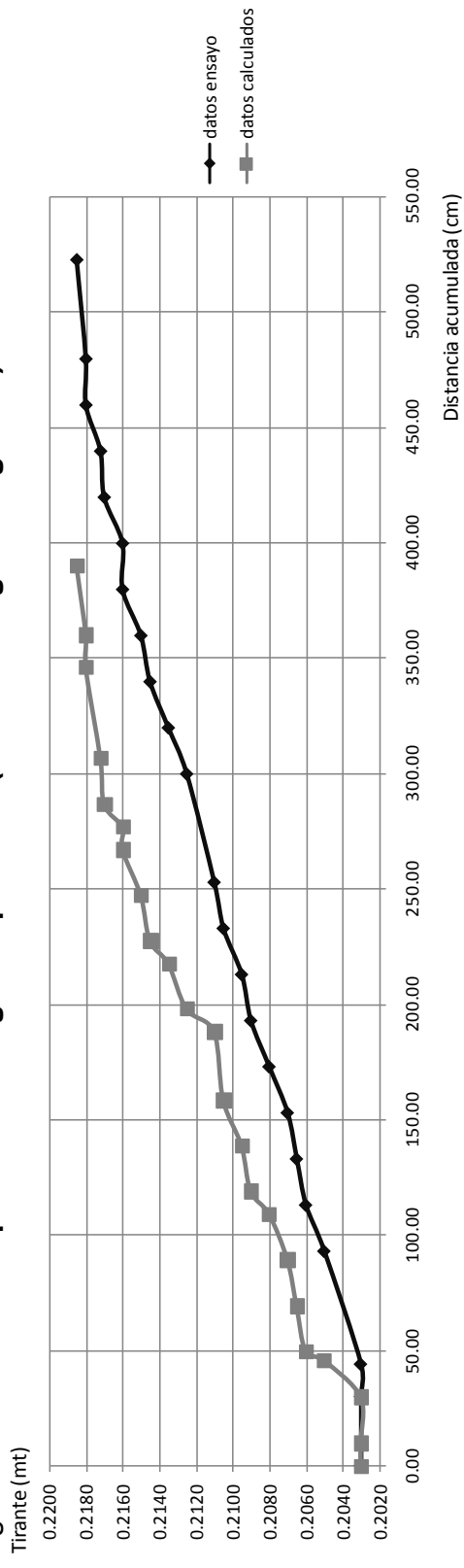


Figura 24. Gráfico comparativo de primer perfil M1 (solución de Bakhmeteff- Ven Te Chow)

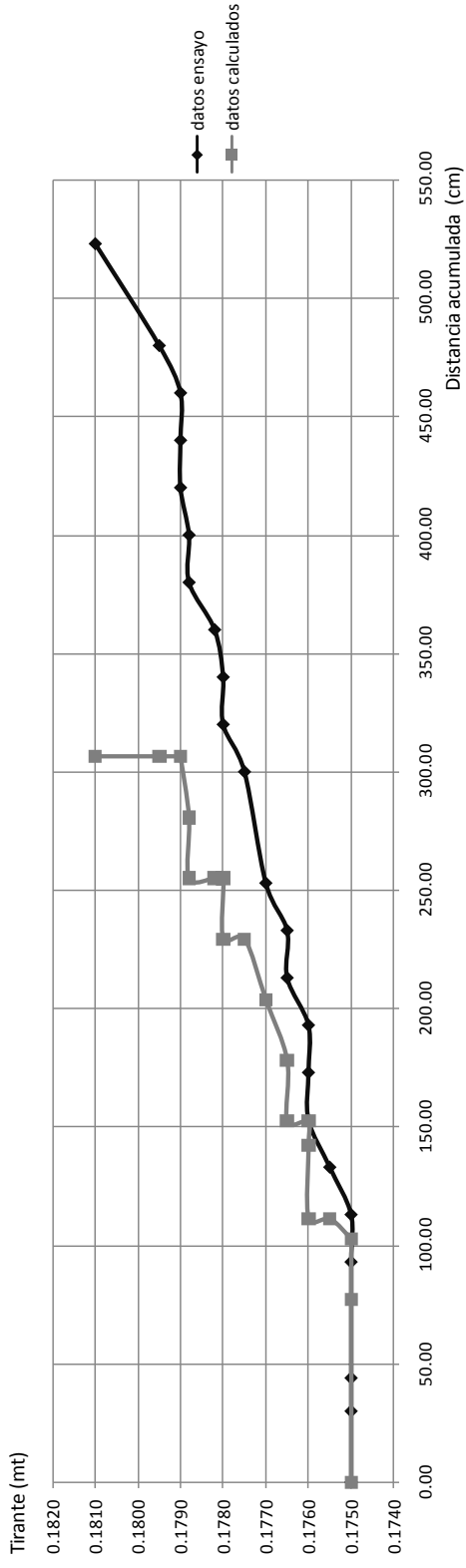


Figura 25. Gráfico comparativo de segundo perfil M1 (solución de Bakhmeteff- Ven Te Chow)

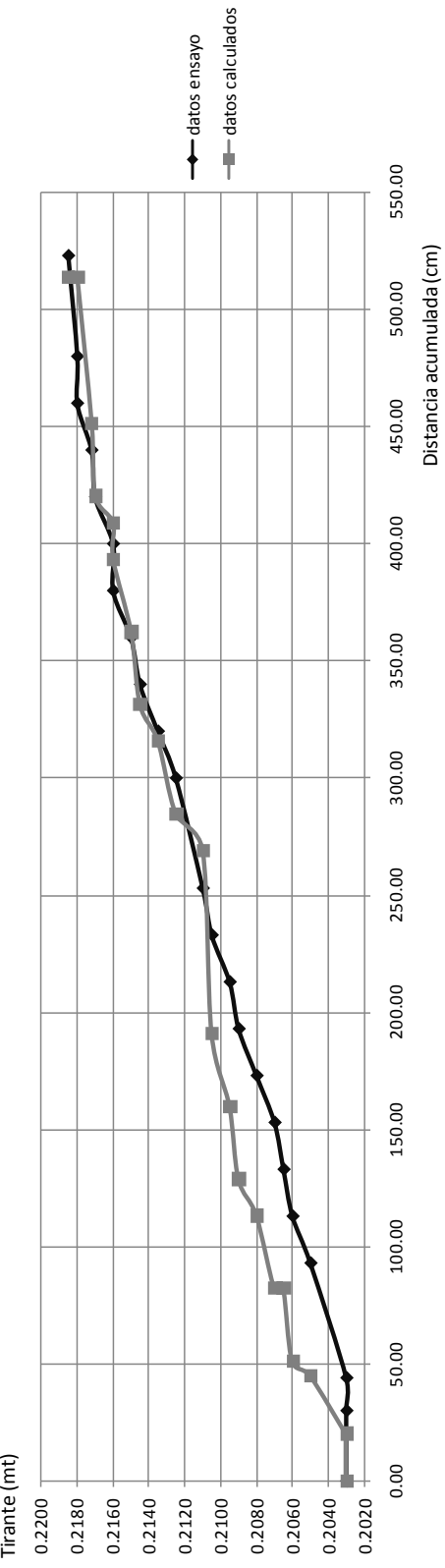


Figura 26. Gráfico comparativo de primer perfil M1 (método de tramos fijos)

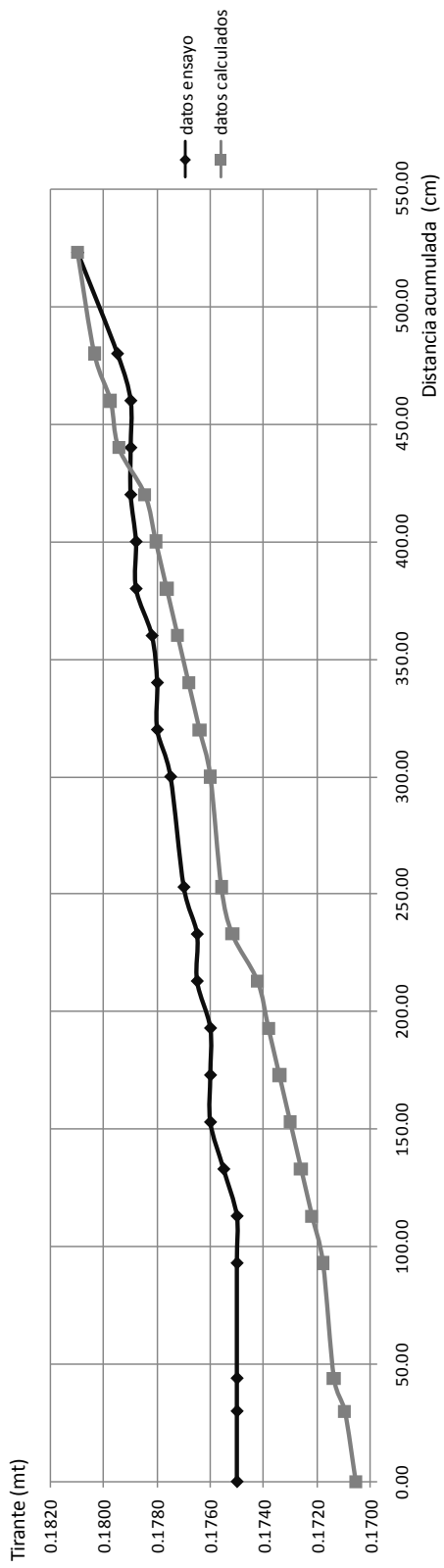


Figura 27. Gráfico comparativo de segundo perfil M1 (método de tramos fijos)

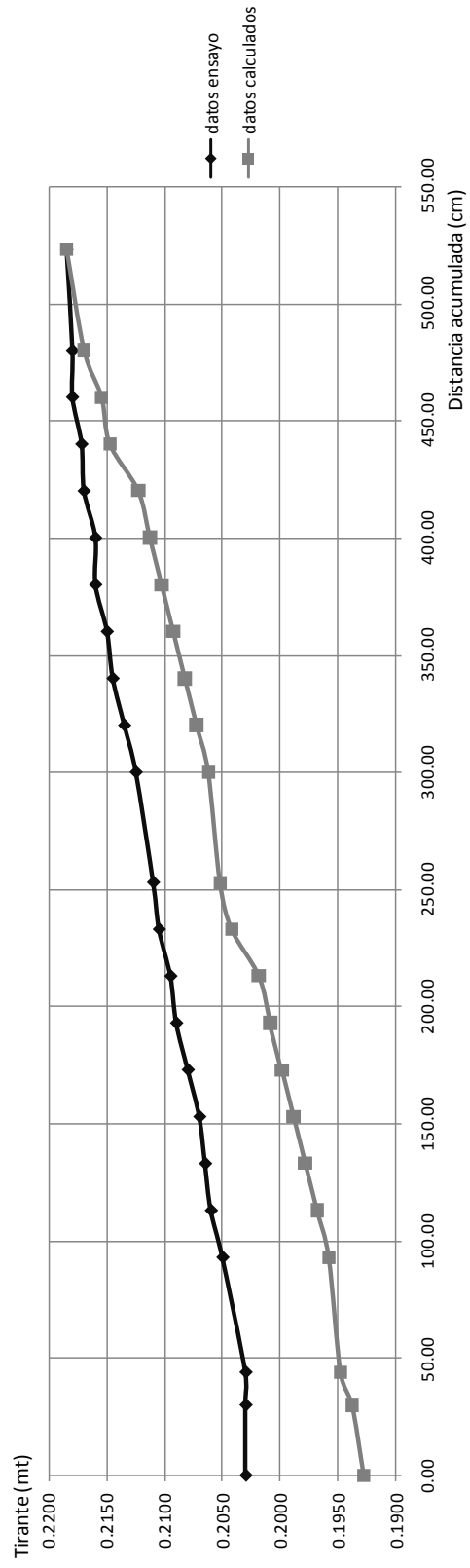


Figura 28. Gráfico comparativo de primer perfil M2 (método integración gráfica)

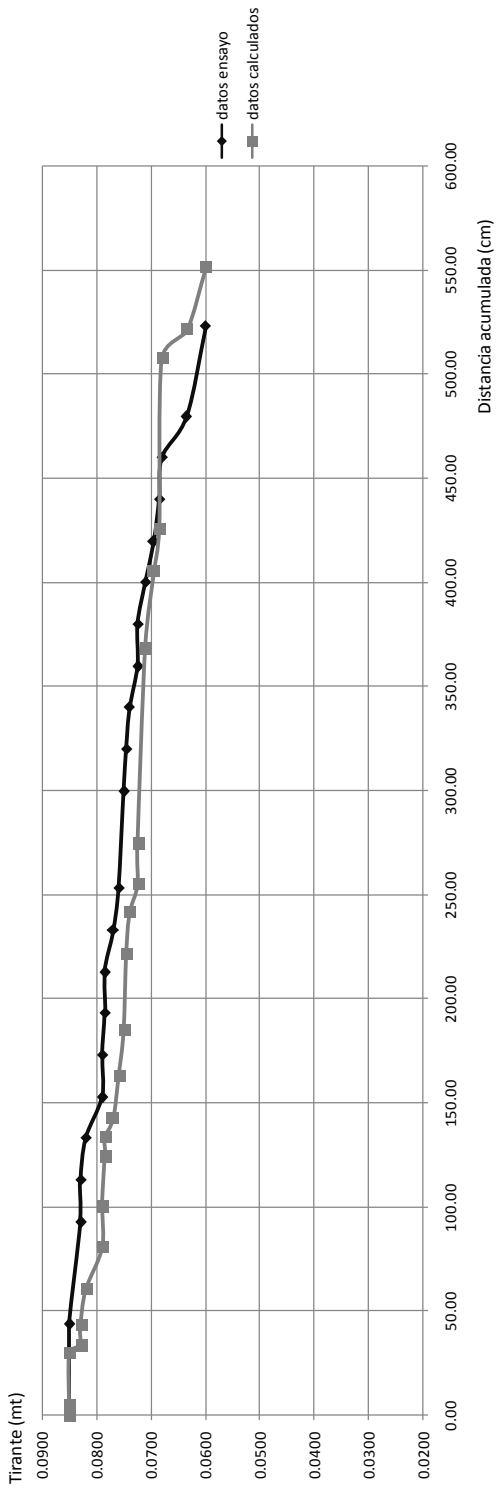


Figura 29. Gráfico comparativo de segundo perfil M2 (método integración gráfica)

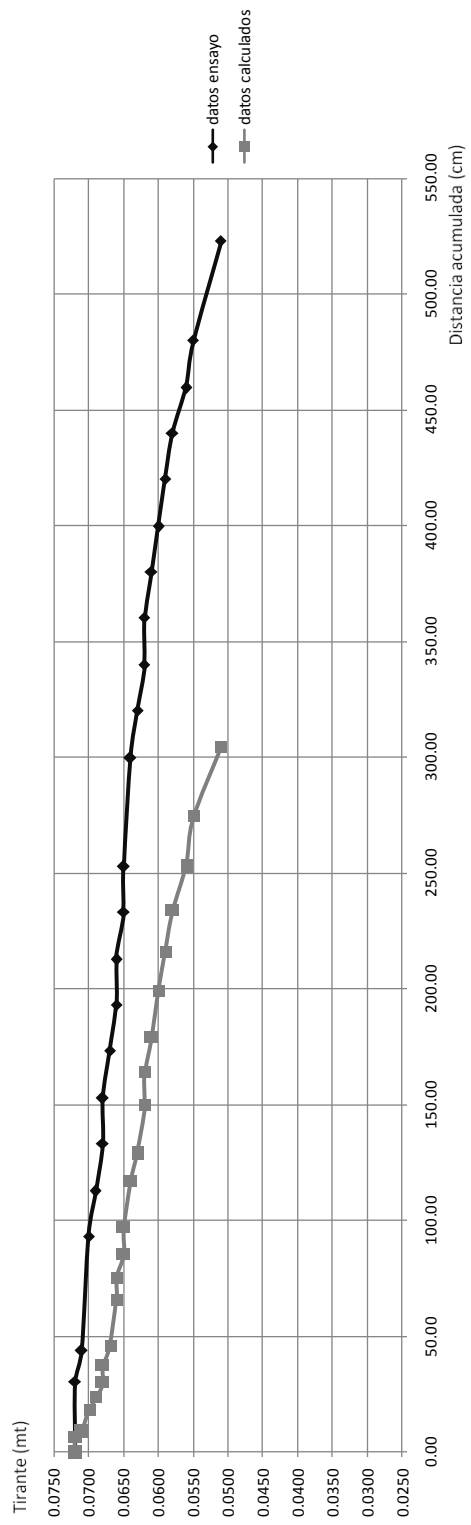


Figura 30. Gráfico comparativo de primer perfil M2 (solución de Bakhmeteff- Ven Te Chow)

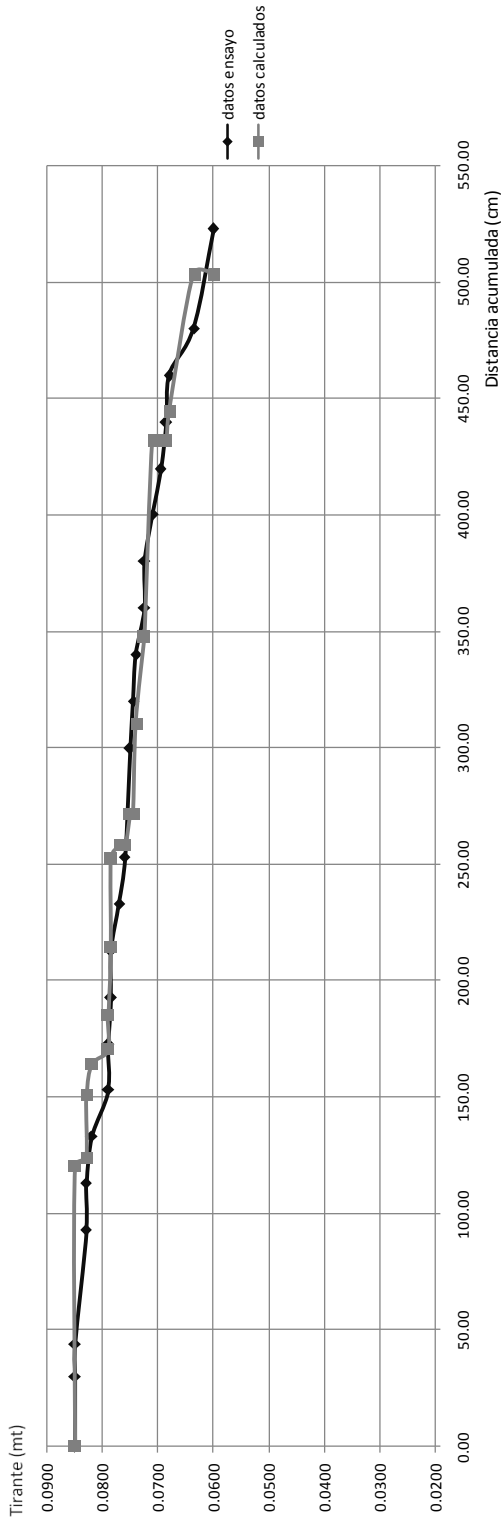
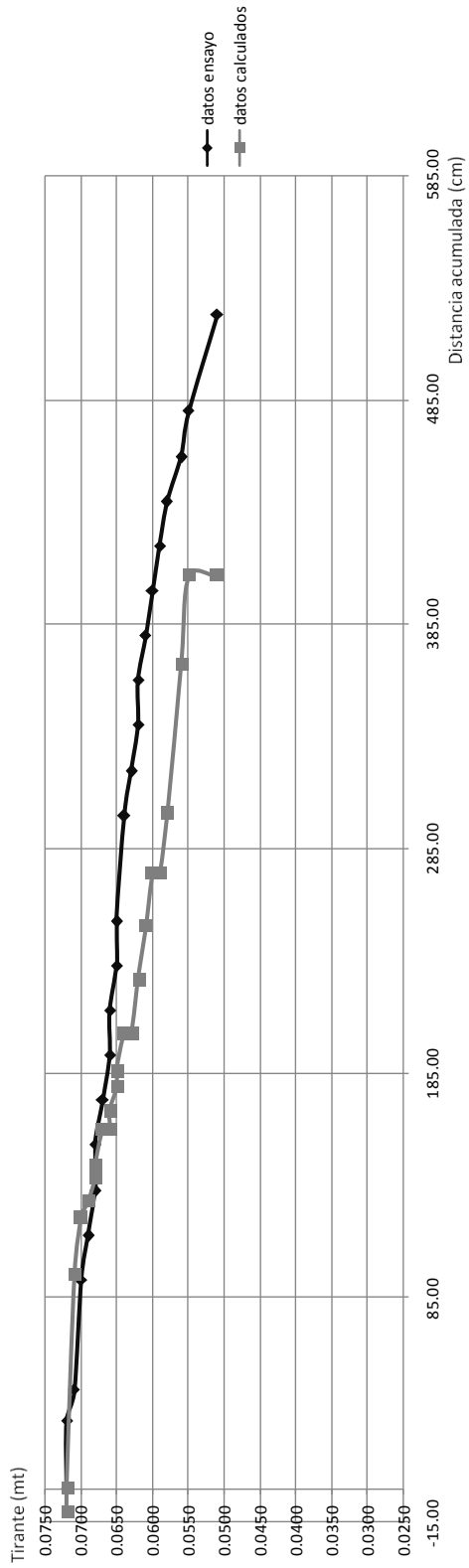
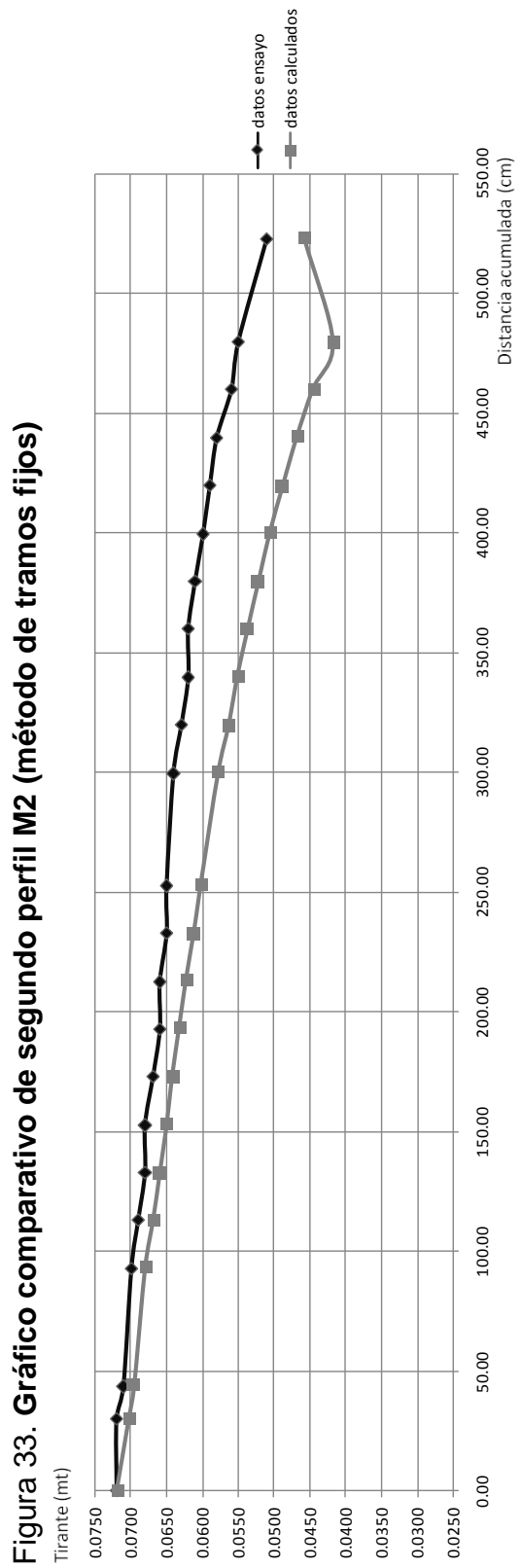
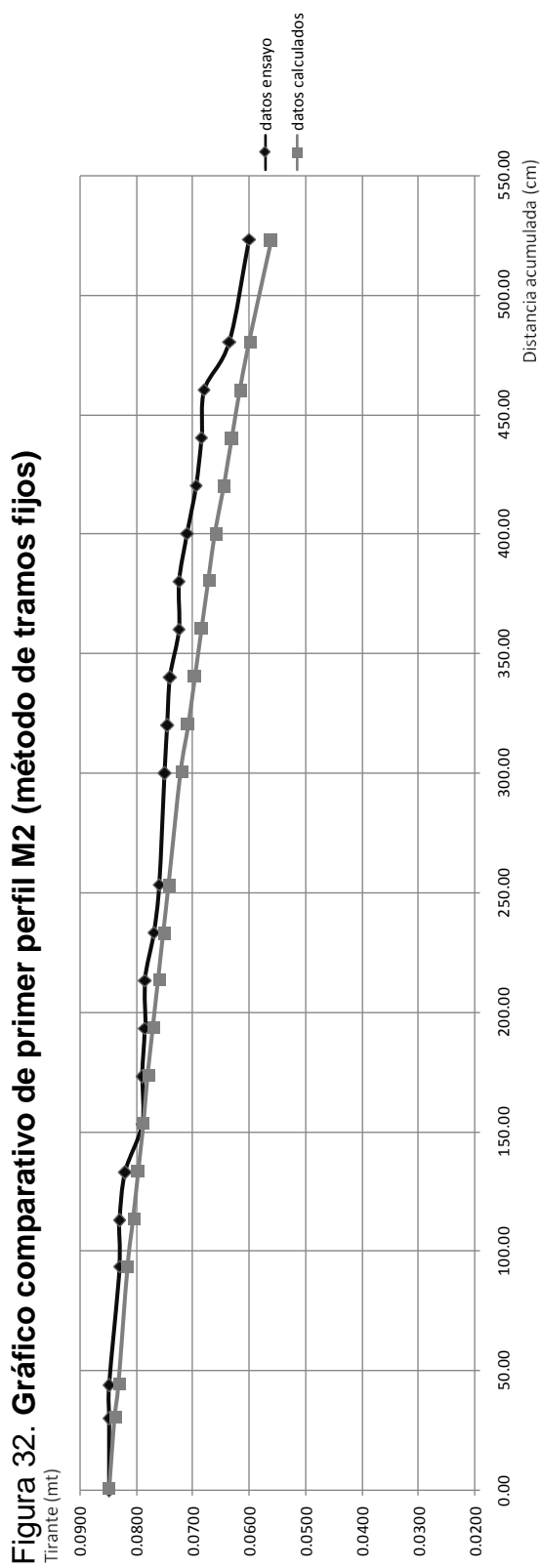


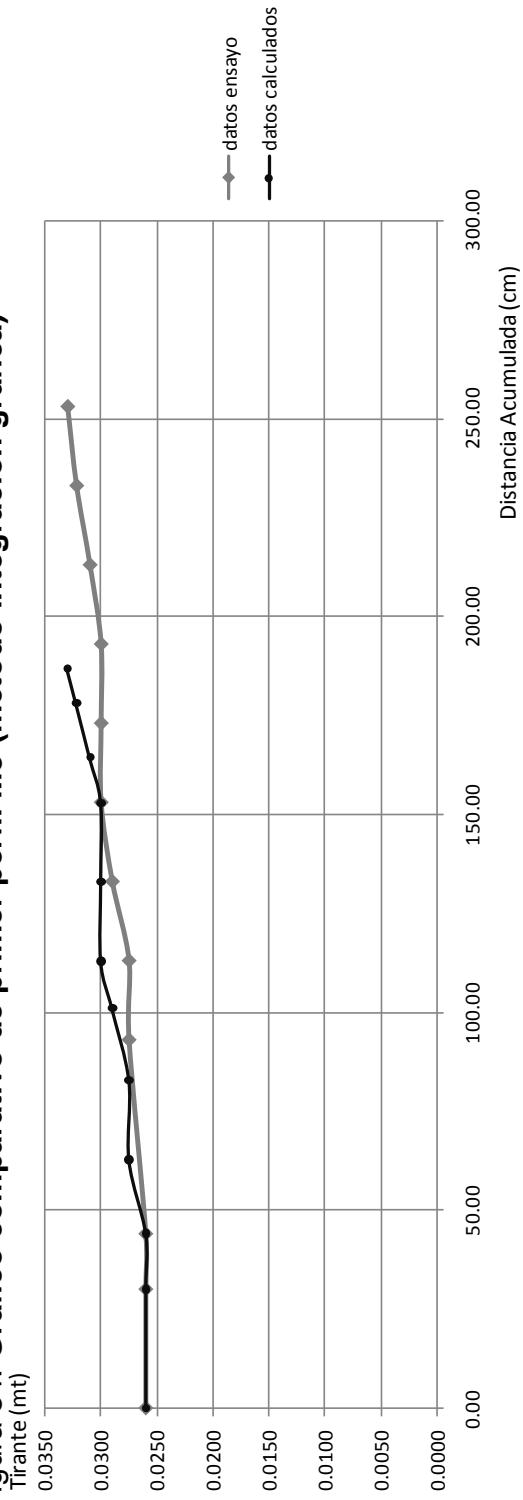
Figura 31. Gráfico comparativo de segundo perfil M2 (solución de Bakhmeteff- Ven Te Chow)







**Figura 34. Gráfico comparativo de primer perfil M3 (método integración gráfica)**



**Figura 35. Gráfico comparativo de segundo perfil M3 (método integración gráfica)**

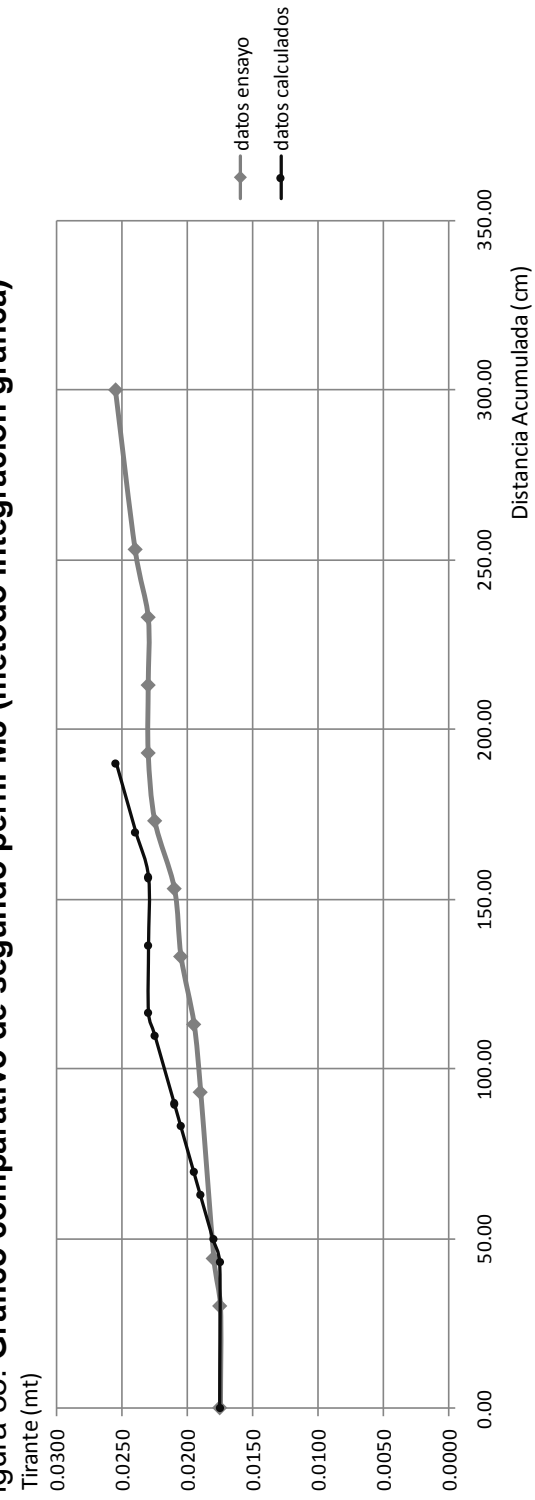


Figura 36. Gráfico comparativo de primer perfil M3 (solución de Bakhmeteff- Ven Te Chow)

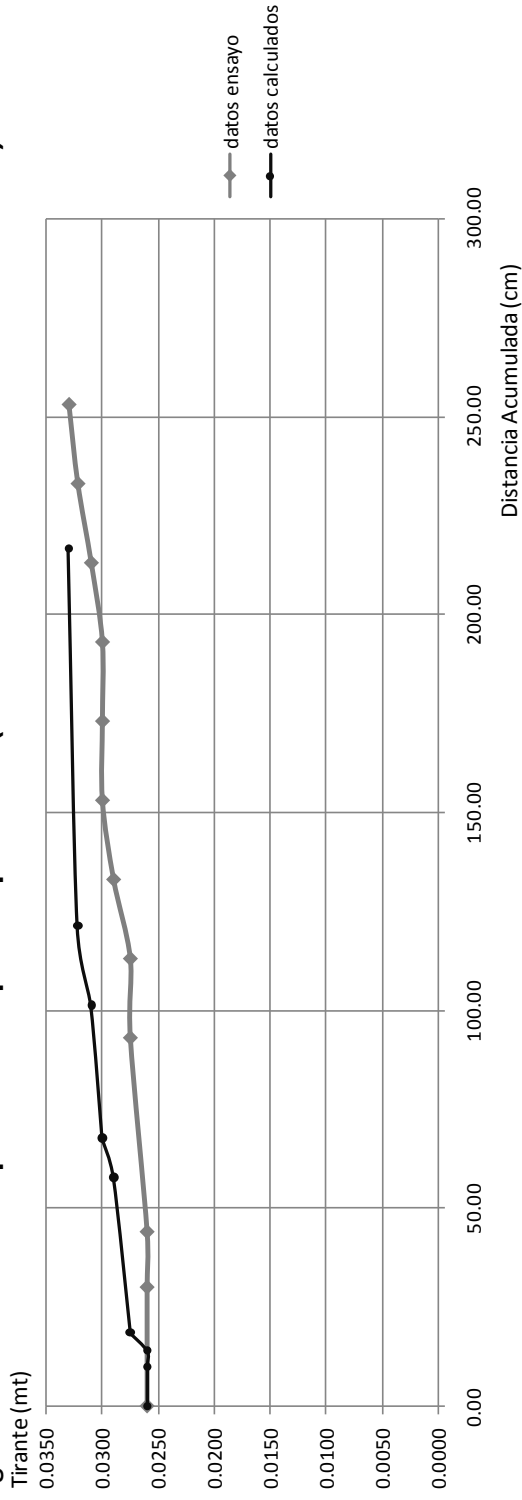


Figura 37. Gráfico comparativo de segundo perfil M3 (solución de Bakhmeteff- Ven Te Chow)

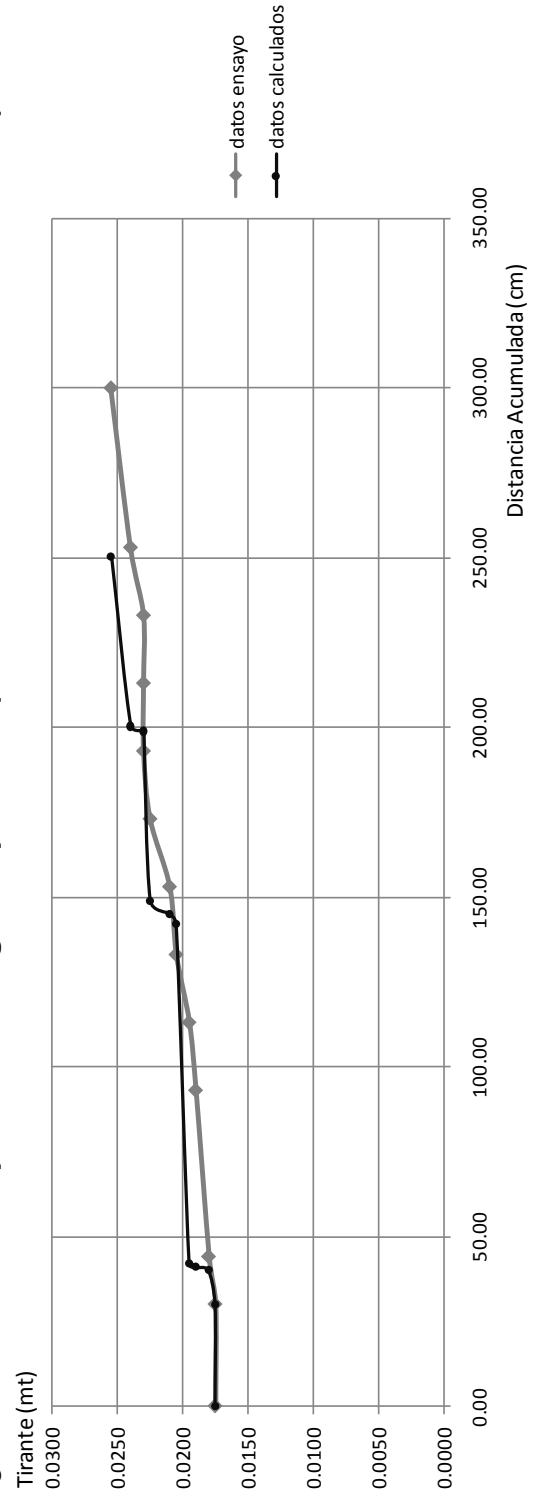


Figura 38. Gráfico comparativo de primer perfil M3 (método de tramos fijos)

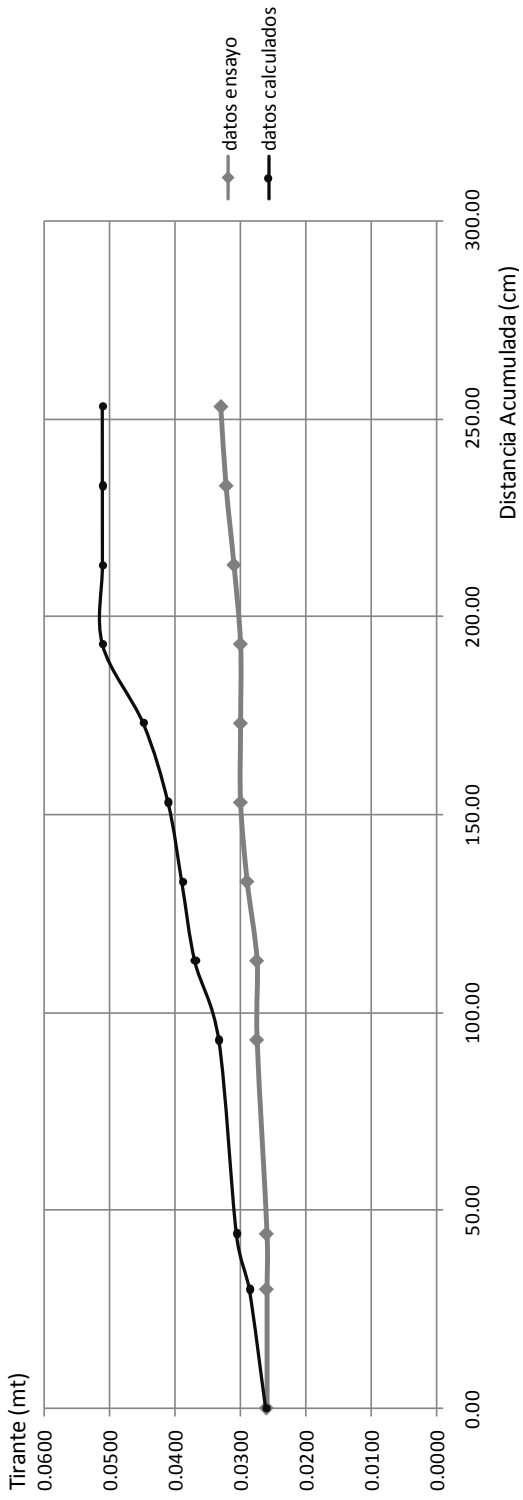
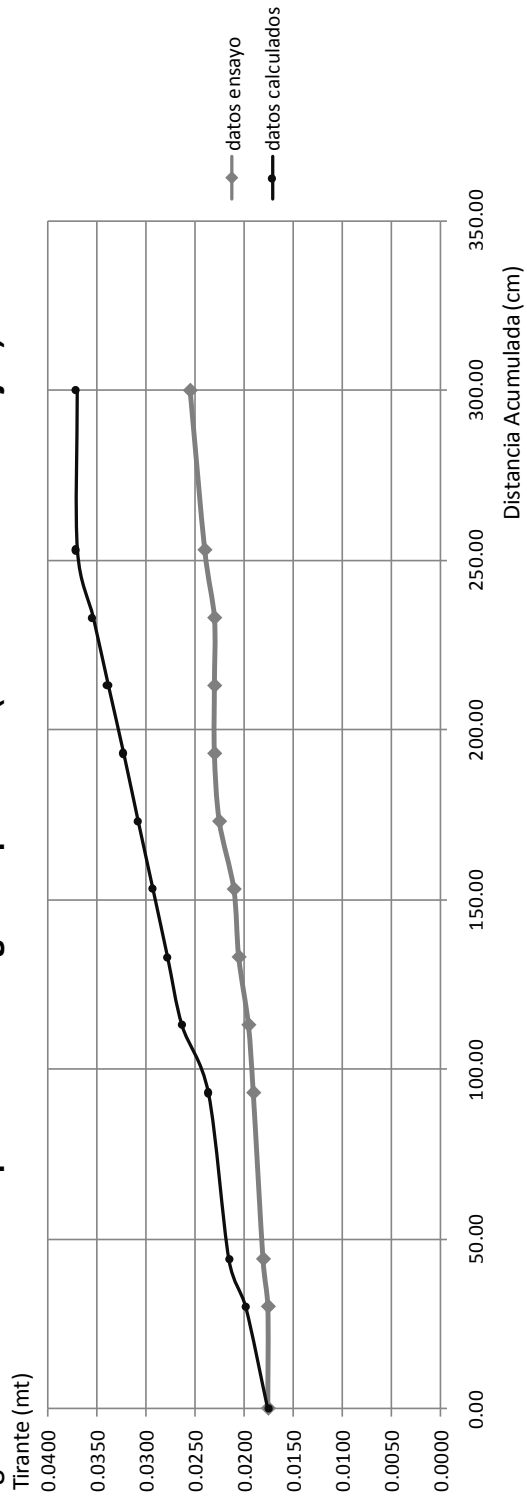


Figura 39. Gráfico comparativo de segundo perfil M3 (método de tramos fijos)



## CONCLUSIONES

1. El método de integración gráfica es uno de los métodos más sencillos para llevar a cabo el análisis del flujo gradualmente variado, sin embargo, puede llegar a presentar problemas en su cálculo, ya que, al basarse en las diferencias de alturas que existan entre los tirantes, los resultados pueden variar si se tienen tirantes de igual altura en algunos tramos del perfil.
2. La solución de Bakhmeteff - Ven Te Chow es uno de los métodos de cálculo más exactos, ya que utiliza los valores del tirante normal y el tirante crítico para obtener los exponentes hidráulicos, con lo cual hace que los tirantes de ensayo no tengan una gran injerencia en los resultados.
3. El método de tramos fijos es un procedimiento bastante confiable ya que al tomar el perfil de flujo gradualmente variado y dividirlo por tramos se pueden obtener los valores más adecuados, de acuerdo a las características hidráulicas de cada tramo, sin embargo, al ser un procedimiento iterativo, los cálculos deben realizarse de forma cuidadosa para que los resultados se adecúen a los lineamientos del método.

4. Los resultados obtenidos mediante los métodos de cálculo para el flujo gradualmente variado, dependerán de la manera en la que se hayan llevado a cabo los ensayos, para que los mismos muestren correspondencia con los datos obtenidos en los ensayos.
  
5. Las comparaciones realizadas muestran que los métodos de cálculo dan como resultado datos aproximados, esto debido a que los distintos métodos de cálculo toman en cuenta situaciones ideales, excluyendo situaciones que se presentan en la modelación real de los perfiles de flujo.
  
6. Con el desarrollo del manual de laboratorio para el estudio del flujo gradualmente variado en canales abiertos, se proporciona una herramienta útil para el estudio adecuado de este tipo especial de flujo.
  
7. El presente trabajo de graduación, titulado manual de laboratorio para el estudio del flujo gradualmente variado en canales abiertos, pretende ser una fuente de consulta para el estudiante de ingeniería civil.

## RECOMENDACIONES

1. Para llevar a cabo los ensayos para el análisis del flujo gradualmente variado es necesario verificar el nivel actual del canal de laboratorio de hidráulica, así como tener el cuidado para regular la pendiente deseada.
2. Con la finalidad de obtener resultados aceptables se debe realizar la toma de datos reales con precisión, utilizando el medidor de aguja de forma adecuada y tomando la lectura del tirante en el fondo del canal.
3. Se deben realizar al menos dos aforos volumétricos para conocer el valor del caudal, con esto se pretende ser más exacto en la obtención del mismo.
4. Para la generación del perfil M1 se deberá colocar una pieza de acrílico o metal en su defecto en la salida del canal, con el fin de simular una obstrucción que desacelera el flujo.
5. Para la generación del perfil M2 se deberá regular el caudal con el fin de obtener un perfil que muestre cambios que puedan apreciarse en su recorrido, ya que para este tipo de perfil se necesita una distancia considerable para poder observar los cambios en los tirantes.

6. Para la generación del perfil M3 se deberá provocar el resalto hidráulico, de manera que permita tener la lectura de al menos diez tirantes, para poder hacer un análisis más exacto utilizando los diferentes métodos de cálculo de flujo gradualmente variado.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Chanson, Hubert. **Hidráulica del flujo en canales abiertos**. Colombia: Editorial Mc Graw Hill. 2002, 560pp.
2. Merrit, Frederick S. **Manual del ingeniero civil**. (Volumen III) México: Editorial Mc Graw Hill. 1987.
3. Rodríguez Díaz, Hector Alfonso. **Hidráulica experimental**. 5ª ed. Colombia: Editorial Escuela colombiana de ingeniería, 2009. 311pp.
4. Ven Te Chow. **Hidráulica de canales abiertos**. Colombia: Editorial Mc Graw Hill. 2004, 667pp.
5. Villón Béjar, Máximo. **Hidráulica de canales**. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 1995. 487pp.

### Consultas electrónicas

6. Pérez Morales, Guillermo Benjamín. **Manual de prácticas Hidráulica de Canales II**. México (ref. de julio 2009). Disponible en:  
[http://www.fic.umich.mx/~hidraulica/man\\_pdf/6o/6\\_p2.pdf](http://www.fic.umich.mx/~hidraulica/man_pdf/6o/6_p2.pdf)
7. Universidad Nacional Autónoma de México. **Práctica 3 Flujo gradualmente variado**. México (ref. de octubre 2009). Disponible en:  
<http://www.ingenieria.unam.mx/hidrounam/HC3FlujoGradualmenteVariado.pdf>



## APÉNDICE

Figura 40. **Detalle del canal de laboratorio de Hidráulica**



Figura 41. **Generación de perfil M1**



Figura 42. **Generación de perfil M2**



Figura 43. **Generación de perfil M3**



Figura 44. **Detalle del medidor de aguja (limnimetro)**



Figura 45. **Medición de tirantes**



Figura 46. Aforo volumétrico



Figura 47. Lectura del piezómetro ubicado en el tanque calibrado

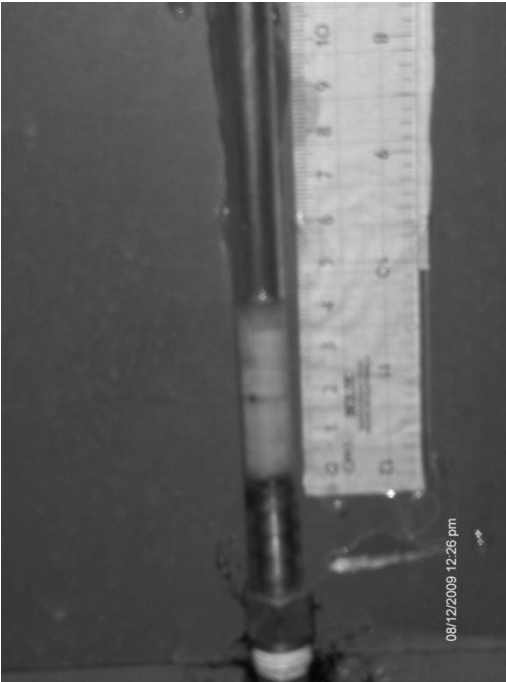


Tabla LXX. Volumen de agua en el tanque en función de la altura del piezómetro

<b>h(cm)</b>	<b>Vol(lt)</b>	<b>h(cm)</b>	<b>Vol(lt)</b>	<b>h(cm)</b>	<b>Vol(lt)</b>	<b>h(cm)</b>	<b>Vol(lt)</b>	<b>h(cm)</b>	<b>Vol(lt)</b>
0.00	397.42	4.20	428.13	8.40	459.21	12.60	490.65	16.80	522.45
0.10	398.15	4.30	428.87	8.50	459.95	12.70	491.40	16.90	523.21
0.20	398.87	4.40	429.60	8.60	460.70	12.80	492.15	17.00	523.97
0.30	399.60	4.50	430.34	8.70	461.44	12.90	492.91	17.10	524.73
0.40	400.33	4.60	431.08	8.80	462.19	13.00	493.66	17.20	525.50
0.50	401.06	4.70	431.81	8.90	462.93	13.10	494.41	17.30	526.26
0.60	401.79	4.80	432.55	9.00	463.68	13.20	495.17	17.40	527.02
0.70	402.51	4.90	433.29	9.10	464.42	13.30	495.92	17.50	527.78
0.80	403.24	5.00	434.02	9.20	465.17	13.40	496.68	17.60	528.55
0.90	403.97	5.10	434.76	9.30	465.91	13.50	497.43	17.70	529.31
1.00	404.70	5.20	435.50	9.40	466.66	13.60	498.18	17.80	530.07
1.10	405.43	5.30	436.24	9.50	467.41	13.70	498.94	17.90	530.84
1.20	406.16	5.40	436.97	9.60	468.15	13.80	499.70	18.00	531.60
1.30	406.89	5.50	437.71	9.70	468.90	13.90	500.45	18.10	532.37
1.40	407.62	5.60	438.45	9.80	469.65	14.00	501.21	18.20	533.13
1.50	408.35	5.70	439.19	9.90	470.39	14.10	501.96	18.30	533.89
1.60	409.08	5.80	439.93	10.00	471.14	14.20	502.72	18.40	534.66
1.70	409.81	5.90	440.67	10.10	471.89	14.30	503.47	18.50	535.42
1.80	410.54	6.00	441.41	10.20	472.64	14.40	504.23	18.60	536.19
1.90	411.27	6.10	442.14	10.30	473.38	14.50	504.99	18.70	536.95
2.00	412.00	6.20	442.88	10.40	474.13	14.60	505.74	18.80	537.72
2.10	412.73	6.30	443.62	10.50	474.88	14.70	506.50	18.90	538.49
2.20	413.46	6.40	444.36	10.60	475.63	14.80	507.26	19.00	539.25
2.30	414.19	6.50	445.10	10.70	476.38	14.90	508.02	19.10	540.02
2.40	414.93	6.60	445.84	10.80	477.13	15.00	508.77	19.20	540.78
2.50	415.66	6.70	446.59	10.90	477.88	15.10	509.53	19.30	541.55
2.60	416.39	6.80	447.33	11.00	478.63	15.20	510.29	19.40	542.32
2.70	417.12	6.90	448.07	11.10	479.38	15.30	511.05	19.50	543.08
2.80	417.85	7.00	448.81	11.20	480.13	15.40	511.81	19.60	543.85
2.90	418.59	7.10	449.55	11.30	480.88	15.50	512.57	19.70	544.62
3.00	419.32	7.20	450.29	11.40	481.63	15.60	513.32	19.80	545.39
3.10	420.05	7.30	451.03	11.50	482.38	15.70	514.08	19.90	546.15
3.20	420.79	7.40	451.78	11.60	483.13	15.80	514.84	20.00	546.92
3.30	421.52	7.50	452.52	11.70	483.88	15.90	515.60	20.10	547.69
3.40	422.25	7.60	453.26	11.80	484.63	16.00	516.36	20.20	548.46
3.50	422.99	7.70	454.00	11.90	485.38	16.10	517.12	20.30	549.23
3.60	423.72	7.80	454.75	12.00	486.13	16.20	517.88	20.40	550.00
3.70	424.46	7.90	455.49	12.10	486.88	16.30	518.64	20.50	550.77
3.80	425.19	8.00	456.23	12.20	487.64	16.40	519.40	20.60	551.53
3.90	425.93	8.10	456.98	12.30	488.39	16.50	520.16	20.70	552.30
4.00	426.66	8.20	457.72	12.40	489.14	16.60	520.93	20.80	553.07
4.10	427.40	8.30	458.46	12.50	489.89	16.70	521.69	20.90	553.84





## ANEXO

**Tabla LXXI. Funciones del flujo variado para pendientes positivas**

$$F(u, N) = \int_0^u \frac{du}{1-u^N}$$

u \ N	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,02	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
0,04	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
0,06	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
0,08	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080
0,10	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
0,12	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120
0,14	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140
0,16	0,161	0,161	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160
0,18	0,181	0,181	0,181	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180
0,20	0,202	0,201	0,201	0,201	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
0,22	0,223	0,222	0,221	0,221	0,221	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220
0,24	0,244	0,243	0,242	0,241	0,241	0,241	0,240	0,240	0,240	0,240
0,26	0,265	0,263	0,262	0,262	0,261	0,261	0,261	0,260	0,260	0,260
0,28	0,286	0,284	0,283	0,282	0,282	0,281	0,281	0,281	0,280	0,280
0,30	0,307	0,305	0,304	0,303	0,302	0,302	0,301	0,301	0,301	0,300
0,32	0,329	0,326	0,325	0,324	0,323	0,322	0,322	0,321	0,321	0,321
0,34	0,351	0,348	0,346	0,344	0,343	0,343	0,342	0,342	0,341	0,341
0,36	0,372	0,369	0,367	0,366	0,364	0,363	0,363	0,362	0,362	0,361
0,38	0,395	0,392	0,389	0,387	0,385	0,384	0,383	0,383	0,382	0,382
0,40	0,418	0,414	0,411	0,408	0,407	0,405	0,404	0,403	0,403	0,402
0,42	0,442	0,437	0,433	0,430	0,428	0,426	0,425	0,424	0,423	0,423
0,44	0,465	0,460	0,456	0,452	0,450	0,448	0,446	0,445	0,444	0,443
0,46	0,489	0,483	0,479	0,475	0,472	0,470	0,468	0,466	0,465	0,464
0,48	0,514	0,507	0,502	0,497	0,494	0,492	0,489	0,488	0,486	0,485
0,50	0,539	0,531	0,525	0,521	0,517	0,514	0,511	0,509	0,508	0,506
0,52	0,565	0,557	0,550	0,544	0,540	0,536	0,534	0,531	0,529	0,528
0,54	0,592	0,582	0,574	0,568	0,563	0,559	0,556	0,554	0,551	0,550
0,56	0,619	0,608	0,599	0,593	0,587	0,583	0,579	0,576	0,574	0,572
0,58	0,648	0,635	0,626	0,618	0,612	0,607	0,603	0,599	0,596	0,594

Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 628

u \ N	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
0,60	0,676	0,663	0,653	0,644	0,637	0,631	0,627	0,623	0,620	0,617
0,61	0,691	0,678	0,667	0,657	0,650	0,644	0,639	0,635	0,631	0,628
0,62	0,706	0,692	0,680	0,671	0,663	0,657	0,651	0,647	0,613	0,610
0,63	0,722	0,707	0,694	0,684	0,676	0,669	0,664	0,659	0,655	0,652
0,64	0,738	0,722	0,709	0,698	0,690	0,683	0,677	0,672	0,667	0,664
0,65	0,754	0,737	0,724	0,712	0,703	0,696	0,689	0,684	0,680	0,676
0,66	0,771	0,753	0,738	0,727	0,717	0,709	0,703	0,697	0,692	0,688
0,67	0,787	0,769	0,754	0,742	0,731	0,723	0,716	0,710	0,705	0,701
0,68	0,804	0,785	0,769	0,757	0,746	0,737	0,729	0,723	0,718	0,713
0,69	0,822	0,804	0,785	0,772	0,761	0,751	0,743	0,737	0,731	0,726
0,70	0,840	0,819	0,802	0,787	0,776	0,766	0,757	0,750	0,744	0,739
0,71	0,858	0,836	0,819	0,804	0,791	0,781	0,772	0,764	0,758	0,752
0,72	0,878	0,855	0,836	0,820	0,807	0,796	0,786	0,779	0,772	0,766
0,73	0,898	0,874	0,854	0,837	0,823	0,811	0,802	0,793	0,786	0,780
0,74	0,918	0,892	0,868	0,854	0,840	0,827	0,817	0,808	0,800	0,794
0,75	0,940	0,913	0,890	0,872	0,857	0,844	0,833	0,823	0,815	0,808
0,76	0,961	0,933	0,909	0,890	0,874	0,861	0,849	0,839	0,830	0,823
0,77	0,985	0,954	0,930	0,909	0,892	0,878	0,866	0,855	0,846	0,838
0,78	1,007	0,976	0,950	0,929	0,911	0,896	0,883	0,872	0,862	0,854
0,79	1,031	0,998	0,971	0,949	0,930	0,914	0,901	0,889	0,879	0,870
0,80	1,056	1,022	0,994	0,970	0,950	0,934	0,919	0,907	0,896	0,887
0,81	1,083	1,046	1,017	0,992	0,971	0,954	0,938	0,925	0,914	0,904
0,82	1,110	1,072	1,041	1,015	0,993	0,974	0,958	0,945	0,932	0,922
0,83	1,139	1,099	1,067	1,039	1,016	0,996	0,979	0,965	0,952	0,940
0,84	1,171	1,129	1,094	1,064	1,040	1,019	1,001	0,985	0,972	0,960
0,85	1,201	1,157	1,121	1,091	1,065	1,043	1,024	1,007	0,993	0,980
0,86	1,238	1,192	1,153	1,119	1,092	1,068	1,048	1,031	1,015	1,002
0,87	1,272	1,223	1,182	1,149	1,120	1,095	1,074	1,055	1,039	1,025
0,88	1,314	1,262	1,228	1,181	1,151	1,124	1,101	1,081	1,064	1,049
0,89	1,357	1,302	1,255	1,216	1,183	1,155	1,131	1,110	1,091	1,075
0,90	1,401	1,343	1,294	1,253	1,218	1,189	1,163	1,140	1,120	1,103
0,91	1,452	1,389	1,338	1,294	1,257	1,225	1,197	1,173	1,152	1,133

Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 628

u \ N	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
0,92	1,505	1,438	1,351	1,340	1,300	1,266	1,236	1,210	1,187	1,166
0,93	1,564	1,493	1,435	1,391	1,348	1,311	1,279	1,251	1,226	1,204
0,94	1,645	1,568	1,504	1,449	1,403	1,363	1,328	1,297	1,270	1,246
0,950	1,737	1,652	1,582	1,518	1,467	1,423	1,385	1,352	1,322	1,296
0,960	1,833	1,741	1,665	1,601	1,545	1,497	1,454	1,417	1,385	1,355
0,970	1,969	1,866	1,789	1,707	1,644	1,590	1,543	1,501	1,464	1,431
0,975	2,055	1,945	1,853	1,773	1,707	1,649	1,598	1,554	1,514	1,479
0,980	2,164	2,045	1,946	1,855	1,783	1,720	1,666	1,617	1,575	1,536
0,985	2,294	2,165	2,056	1,959	1,880	1,812	1,752	1,699	1,652	1,610
0,990	2,477	2,333	2,212	2,106	2,017	1,940	1,873	1,814	1,761	1,714
0,995	2,792	2,621	2,478	2,355	2,250	2,159	2,079	2,008	1,945	1,889
0,999	3,523	3,292	3,097	2,931	2,788	2,663	2,554	2,457	2,370	2,293
1,000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1,001	3,317	2,931	2,640	2,339	2,184	2,008	1,856	1,725	1,610	1,508
1,005	2,587	2,266	2,022	1,818	1,649	1,506	1,384	1,279	1,188	1,107
1,010	2,273	1,977	1,757	1,572	1,419	1,291	1,182	1,089	1,007	0,936
1,015	2,090	1,807	1,602	1,428	1,286	1,166	1,065	0,978	0,902	0,836
1,020	1,961	1,711	1,493	1,327	1,191	1,078	0,982	0,900	0,828	0,766
1,03	1,779	1,531	1,340	1,186	1,060	0,955	0,806	0,790	0,725	0,668
1,04	1,651	1,410	1,232	1,086	0,967	0,868	0,785	0,714	0,653	0,600
1,05	1,552	1,334	1,150	1,010	0,896	0,802	0,723	0,656	0,598	0,548
1,06	1,472	1,250	1,082	0,948	0,838	0,748	0,672	0,608	0,553	0,506
1,07	1,404	1,195	1,026	0,896	0,790	0,703	0,630	0,569	0,516	0,471
1,08	1,346	1,139	0,978	0,851	0,749	0,665	0,595	0,535	0,485	0,441
1,09	1,295	1,089	0,935	0,812	0,713	0,631	0,563	0,506	0,457	0,415
1,10	1,250	1,050	0,897	0,777	0,681	0,601	0,536	0,480	0,433	0,392
1,11	1,209	1,014	0,864	0,746	0,652	0,575	0,511	0,457	0,411	0,372
1,12	1,172	0,981	0,833	0,718	0,626	0,551	0,488	0,436	0,392	0,354
1,13	1,138	0,950	0,805	0,692	0,602	0,529	0,468	0,417	0,374	0,337
1,14	1,107	0,921	0,780	0,669	0,581	0,509	0,450	0,400	0,358	0,322
1,15	1,078	0,892	0,756	0,647	0,561	0,490	0,432	0,384	0,343	0,308
1,16	1,052	0,870	0,734	0,627	0,542	0,473	0,417	0,369	0,329	0,295
1,17	1,027	0,850	0,713	0,608	0,525	0,458	0,402	0,356	0,317	0,283

Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 629

u \ N	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
1,18	1,003	0,825	0,694	0,591	0,509	0,443	0,388	0,343	0,305	0,272
1,19	0,981	0,810	0,676	0,574	0,494	0,429	0,375	0,331	0,294	0,262
1,20	0,960	0,787	0,659	0,559	0,480	0,416	0,363	0,320	0,283	0,252
1,22	0,922	0,755	0,628	0,531	0,454	0,392	0,341	0,299	0,264	0,235
1,24	0,887	0,725	0,600	0,505	0,431	0,371	0,322	0,281	0,248	0,219
1,26	0,855	0,692	0,574	0,482	0,410	0,351	0,304	0,265	0,233	0,205
1,28	0,827	0,666	0,551	0,461	0,391	0,334	0,288	0,250	0,219	0,193
1,30	0,800	0,644	0,530	0,442	0,373	0,318	0,274	0,237	0,207	0,181
1,32	0,775	0,625	0,510	0,424	0,357	0,304	0,260	0,225	0,196	0,171
1,34	0,752	0,605	0,492	0,408	0,342	0,290	0,248	0,214	0,185	0,162
1,36	0,731	0,588	0,475	0,393	0,329	0,278	0,237	0,204	0,176	0,153
1,38	0,711	0,567	0,459	0,378	0,316	0,266	0,226	0,194	0,167	0,145
1,40	0,692	0,548	0,444	0,365	0,304	0,256	0,217	0,185	0,159	0,138
1,42	0,674	0,533	0,431	0,353	0,293	0,246	0,208	0,177	0,152	0,131
1,44	0,658	0,517	0,417	0,341	0,282	0,236	0,199	0,169	0,145	0,125
1,46	0,642	0,505	0,405	0,330	0,273	0,227	0,191	0,162	0,139	0,119
1,48	0,627	0,493	0,394	0,320	0,263	0,219	0,184	0,156	0,133	0,113
1,50	0,613	0,480	0,383	0,310	0,255	0,211	0,177	0,149	0,127	0,108
1,55	0,580	0,451	0,358	0,288	0,235	0,194	0,161	0,135	0,114	0,097
1,60	0,551	0,425	0,335	0,269	0,218	0,179	0,148	0,123	0,103	0,087
1,65	0,525	0,402	0,316	0,251	0,203	0,165	0,136	0,113	0,094	0,079
1,70	0,501	0,381	0,298	0,236	0,189	0,153	0,125	0,103	0,086	0,072
1,75	0,480	0,362	0,282	0,222	0,177	0,143	0,116	0,095	0,079	0,065
1,80	0,460	0,349	0,267	0,209	0,166	0,133	0,108	0,088	0,072	0,060
1,85	0,442	0,332	0,254	0,198	0,156	0,125	0,100	0,082	0,067	0,055
1,90	0,425	0,315	0,242	0,188	0,147	0,117	0,094	0,076	0,062	0,050
1,95	0,409	0,304	0,231	0,178	0,139	0,110	0,088	0,070	0,057	0,046
2,00	0,395	0,292	0,221	0,169	0,132	0,104	0,082	0,066	0,053	0,043
2,10	0,369	0,273	0,202	0,154	0,119	0,092	0,073	0,058	0,046	0,037
2,20	0,346	0,253	0,186	0,141	0,017	0,083	0,065	0,051	0,040	0,032
2,3	0,326	0,235	0,173	0,129	0,098	0,075	0,058	0,045	0,035	0,028
2,4	0,308	0,220	0,160	0,119	0,089	0,068	0,052	0,040	0,031	0,024

Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 629

u \ N	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
2,5	0,292	0,207	0,150	0,110	0,082	0,062	0,047	0,036	0,028	0,022
2,6	0,277	0,197	0,140	0,102	0,076	0,057	0,043	0,033	0,025	0,019
2,7	0,264	0,188	0,131	0,095	0,070	0,052	0,039	0,029	0,022	0,017
2,8	0,252	0,176	0,124	0,080	0,065	0,048	0,036	0,027	0,020	0,015
2,9	0,241	0,166	0,117	0,083	0,060	0,044	0,033	0,024	0,018	0,014
3,0	0,230	0,159	0,110	0,078	0,056	0,041	0,030	0,022	0,017	0,012
3,5	0,190	0,126	0,085	0,059	0,041	0,029	0,021	0,015	0,011	0,008
4,0	0,161	0,104	0,069	0,046	0,031	0,022	0,015	0,010	0,007	0,005
4,5	0,139	0,087	0,057	0,037	0,025	0,017	0,011	0,008	0,005	0,004
5,0	0,122	0,076	0,048	0,031	0,020	0,013	0,009	0,006	0,004	0,003
6,0	0,098	0,060	0,036	0,022	0,014	0,009	0,006	0,004	0,002	0,002
7,0	0,081	0,048	0,028	0,017	0,010	0,006	0,004	0,002	0,002	0,001
8,0	0,069	0,040	0,022	0,013	0,008	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001
9,0	0,060	0,034	0,019	0,011	0,006	0,004	0,002	0,001	0,001	0,000
10,0	0,053	0,028	0,016	0,009	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	0,000
20,0	0,023	0,018	0,011	0,006	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000

Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 630

u \ N	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0	7,4	7,8
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,02	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
0,04	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
0,06	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
0,08	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080
0,10	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
0,12	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120
0,14	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140
0,16	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160
0,18	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180
0,20	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
0,22	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220
0,24	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240
0,26	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260
0,28	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280
0,30	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
0,32	0,321	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320
0,34	0,341	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340
0,36	0,361	0,361	0,360	0,360	0,360	0,360	0,360	0,360	0,360	0,360
0,38	0,381	0,381	0,381	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380
0,40	0,402	0,401	0,401	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
0,42	0,422	0,421	0,421	0,421	0,420	0,420	0,420	0,420	0,420	0,420
0,44	0,443	0,442	0,441	0,441	0,441	0,441	0,440	0,440	0,440	0,440
0,46	0,463	0,462	0,462	0,461	0,461	0,461	0,460	0,460	0,460	0,460
0,48	0,481	0,483	0,482	0,481	0,481	0,481	0,480	0,480	0,480	0,480
0,50	0,505	0,504	0,503	0,502	0,501	0,501	0,501	0,500	0,500	0,500
0,52	0,527	0,525	0,523	0,522	0,522	0,521	0,521	0,521	0,520	0,520
0,54	0,548	0,546	0,544	0,543	0,542	0,542	0,541	0,541	0,541	0,541
0,56	0,570	0,567	0,565	0,564	0,563	0,562	0,562	0,561	0,561	0,561
0,58	0,592	0,589	0,587	0,585	0,583	0,582	0,582	0,582	0,581	0,581
0,60	0,614	0,611	0,608	0,606	0,605	0,604	0,603	0,602	0,602	0,601
0,61	0,626	0,622	0,619	0,617	0,615	0,614	0,613	0,612	0,612	0,611

Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 631

u \ N	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0	7,4	7,8
0,62	0,637	0,633	0,630	0,628	0,626	0,625	0,624	0,623	0,622	0,622
0,63	0,619	0,644	0,641	0,638	0,636	0,635	0,634	0,633	0,632	0,632
0,64	0,661	0,656	0,652	0,649	0,647	0,646	0,645	0,644	0,643	0,642
0,65	0,673	0,667	0,663	0,660	0,658	0,656	0,655	0,654	0,653	0,653
0,66	0,685	0,679	0,675	0,672	0,669	0,667	0,666	0,665	0,664	0,663
0,67	0,697	0,691	0,686	0,683	0,680	0,678	0,676	0,675	0,674	0,673
0,68	0,709	0,703	0,698	0,694	0,691	0,689	0,687	0,686	0,685	0,684
0,69	0,722	0,715	0,710	0,706	0,703	0,700	0,698	0,696	0,695	0,694
0,70	0,735	0,727	0,722	0,717	0,714	0,712	0,710	0,708	0,706	0,705
0,71	0,748	0,740	0,734	0,729	0,726	0,723	0,721	0,719	0,717	0,716
0,72	0,761	0,752	0,746	0,741	0,737	0,734	0,732	0,730	0,728	0,727
0,73	0,774	0,765	0,759	0,753	0,749	0,746	0,743	0,741	0,739	0,737
0,74	0,788	0,779	0,771	0,766	0,761	0,757	0,754	0,752	0,750	0,748
0,75	0,802	0,792	0,784	0,778	0,773	0,769	0,766	0,763	0,761	0,759
0,76	0,817	0,806	0,798	0,791	0,786	0,782	0,778	0,775	0,773	0,771
0,77	0,831	0,820	0,811	0,804	0,798	0,794	0,790	0,787	0,784	0,782
0,78	0,847	0,834	0,825	0,817	0,811	0,806	0,802	0,799	0,796	0,794
0,79	0,862	0,849	0,839	0,831	0,824	0,819	0,815	0,811	0,808	0,805
0,80	0,878	0,865	0,854	0,845	0,838	0,832	0,828	0,823	0,820	0,818
0,81	0,895	0,881	0,869	0,860	0,852	0,846	0,841	0,836	0,833	0,830
0,82	0,913	0,897	0,885	0,875	0,866	0,860	0,854	0,850	0,846	0,842
0,83	0,931	0,914	0,901	0,890	0,881	0,874	0,868	0,863	0,859	0,855
0,84	0,949	0,932	0,918	0,906	0,897	0,889	0,882	0,877	0,872	0,868
0,85	0,969	0,950	0,935	0,923	0,912	0,905	0,898	0,891	0,887	0,882
0,86	0,990	0,970	0,954	0,940	0,930	0,921	0,913	0,906	0,901	0,896
0,87	1,012	0,990	0,973	0,959	0,947	0,937	0,929	0,922	0,916	0,911
0,88	1,035	1,012	0,994	0,978	0,966	0,955	0,946	0,938	0,932	0,927
0,89	1,060	1,035	1,015	0,999	0,986	0,974	0,964	0,956	0,949	0,943
0,90	1,087	1,060	1,039	1,021	1,007	0,994	0,984	0,974	0,967	0,960
0,91	1,116	1,088	1,064	1,045	1,029	1,016	1,003	0,995	0,986	0,979
0,92	1,148	1,117	1,092	1,072	1,054	1,039	1,027	1,016	1,006	0,999

Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 631

u \ N	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0	7,4	7,8
0,93	1,184	1,151	1,123	1,101	1,081	1,065	1,050	1,040	1,029	1,021
0,94	1,225	1,188	1,158	1,134	1,113	1,095	1,080	1,066	1,054	1,044
0,950	1,272	1,232	1,199	1,172	1,148	1,128	1,111	1,097	1,084	1,073
0,960	1,329	1,285	1,248	1,217	1,188	1,167	1,149	1,133	1,119	1,106
0,970	1,402	1,351	1,310	1,275	1,246	1,319	1,197	1,179	1,162	1,148
0,975	1,447	1,393	1,348	1,311	1,280	1,250	1,227	1,207	1,190	1,173
0,980	1,502	1,443	1,395	1,354	1,339	1,288	1,262	1,241	1,221	1,204
0,985	1,573	1,508	1,454	1,409	1,372	1,337	1,309	1,284	1,263	1,243
0,990	1,671	1,598	1,537	1,487	1,444	1,404	1,373	1,344	1,319	1,297
0,995	1,838	1,751	1,678	1,617	1,565	1,519	1,479	1,451	1,416	1,388
0,999	2,223	2,102	2,002	1,917	1,845	1,780	1,725	1,678	1,635	1,596
1,000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1,001	1,417	1,264	1,138	1,033	0,951	0,870	0,803	0,746	0,697	0,651
1,005	1,036	0,915	0,817	0,737	0,669	0,612	0,553	0,526	0,481	0,447
1,010	0,873	0,766	0,681	0,610	0,551	0,502	0,459	0,422	0,389	0,360
1,015	0,778	0,680	0,602	0,537	0,483	0,440	0,399	0,366	0,366	0,310
1,02	0,711	0,620	0,546	0,486	0,436	0,394	0,358	0,327	0,300	0,276
1,03	0,618	0,535	0,469	0,415	0,370	0,333	0,300	0,272	0,249	0,228
1,04	0,554	0,477	0,415	0,365	0,324	0,290	0,262	0,236	0,214	0,195
1,05	0,504	0,432	0,374	0,328	0,289	0,259	0,231	0,208	0,189	0,174
1,06	0,464	0,396	0,342	0,298	0,262	0,233	0,209	0,187	0,170	0,154
1,07	0,431	0,366	0,315	0,273	0,239	0,212	0,191	0,168	0,151	0,136
1,08	0,403	0,341	0,292	0,252	0,220	0,194	0,172	0,153	0,137	0,123
1,09	0,379	0,319	0,272	0,234	0,204	0,179	0,158	0,140	0,125	0,112
1,10	0,357	0,299	0,254	0,218	0,189	0,165	0,146	0,129	0,114	0,102
1,11	0,338	0,282	0,239	0,204	0,176	0,154	0,135	0,119	0,105	0,094
1,12	0,321	0,267	0,225	0,192	0,165	0,143	0,125	0,110	0,097	0,086
1,13	0,305	0,253	0,212	0,181	0,155	0,135	0,117	0,102	0,090	0,080
1,14	0,291	0,240	0,201	0,170	0,146	0,126	0,109	0,095	0,084	0,074
1,15	0,278	0,229	0,191	0,161	0,137	0,118	0,102	0,089	0,078	0,068
1,16	0,268	0,218	0,181	0,153	0,130	0,111	0,096	0,084	0,072	0,064
1,17	0,255	0,208	0,173	0,145	0,123	0,105	0,090	0,078	0,068	0,060

Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 631



u \ N	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0	7,4	7,8
1,18	0,244	0,199	0,165	0,138	0,116	0,099	0,085	0,073	0,063	0,055
1,19	0,235	0,191	0,157	0,131	0,110	0,094	0,080	0,068	0,059	0,051
1,20	0,226	0,183	0,150	0,215	0,105	0,088	0,076	0,064	0,056	0,048
1,22	0,209	0,168	0,138	0,114	0,095	0,080	0,068	0,057	0,049	0,042
1,24	0,195	0,156	0,127	0,104	0,086	0,072	0,060	0,051	0,044	0,038
1,26	0,182	0,145	0,117	0,095	0,079	0,065	0,055	0,046	0,039	0,033
1,28	0,170	0,135	0,108	0,088	0,072	0,060	0,050	0,041	0,035	0,030
1,30	0,160	0,126	0,100	0,081	0,066	0,054	0,045	0,037	0,031	0,026
1,32	0,150	0,118	0,093	0,075	0,061	0,050	0,041	0,034	0,028	0,024
1,34	0,142	0,110	0,087	0,069	0,056	0,045	0,037	0,030	0,025	0,021
1,36	0,134	0,103	0,081	0,064	0,052	0,042	0,034	0,028	0,023	0,019
1,38	0,127	0,097	0,076	0,060	0,048	0,038	0,032	0,026	0,021	0,017
1,40	0,120	0,092	0,071	0,056	0,044	0,036	0,028	0,023	0,019	0,016
1,42	0,114	0,087	0,067	0,052	0,041	0,033	0,026	0,021	0,017	0,014
1,44	0,108	0,082	0,063	0,049	0,038	0,030	0,024	0,019	0,016	0,013
1,46	0,103	0,077	0,059	0,046	0,036	0,028	0,022	0,018	0,014	0,012
1,48	0,098	0,073	0,056	0,043	0,033	0,026	0,021	0,017	0,013	0,010
1,50	0,093	0,069	0,053	0,040	0,031	0,024	0,020	0,015	0,012	0,009
1,55	0,083	0,061	0,046	0,035	0,026	0,020	0,016	0,012	0,010	0,008
1,60	0,074	0,054	0,040	0,030	0,023	0,017	0,013	0,010	0,008	0,006
1,65	0,067	0,048	0,035	0,026	0,019	0,014	0,011	0,008	0,006	0,005
1,70	0,060	0,043	0,031	0,023	0,016	0,012	0,009	0,007	0,005	0,004
1,75	0,054	0,038	0,027	0,020	0,014	0,010	0,008	0,006	0,004	0,003
1,80	0,049	0,034	0,024	0,017	0,012	0,009	0,007	0,005	0,004	0,003
1,85	0,045	0,031	0,022	0,015	0,011	0,008	0,006	0,004	0,003	0,002
1,90	0,041	0,028	0,020	0,014	0,010	0,007	0,005	0,004	0,003	0,002
1,95	0,038	0,026	0,018	0,012	0,008	0,006	0,004	0,003	0,002	0,002
2,00	0,035	0,023	0,016	0,011	0,007	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001
2,10	0,030	0,019	0,013	0,009	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001
2,20	0,025	0,016	0,011	0,007	0,005	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001
2,3	0,022	0,014	0,009	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001
2,4	0,019	0,012	0,008	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
2,5	0,017	0,010	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000

Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 632

u \ N	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0	7,4	7,8
2,6	0,015	0,009	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
2,7	0,013	0,008	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
2,8	0,012	0,007	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
2,9	0,010	0,006	0,004	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
3,0	0,009	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
3,5	0,006	0,003	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4,0	0,004	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4,5	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5,0	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6,0	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7,0	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 633

u \ N	8,2	8,6	9,0	9,4	9,8
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,02	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
0,04	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
0,06	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
0,08	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080
0,10	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
0,12	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120
0,14	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140
0,16	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160
0,18	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180
0,20	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
0,22	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220
0,24	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240
0,26	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260
0,28	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280
0,30	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
0,32	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320
0,34	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340
0,36	0,360	0,360	0,360	0,360	0,360
0,38	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380
-					
0,40	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
0,42	0,420	0,420	0,420	0,420	0,420
0,44	0,440	0,440	0,440	0,440	0,440
0,46	0,460	0,460	0,460	0,460	0,460
0,48	0,480	0,480	0,480	0,480	0,480
0,50	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
0,52	0,520	0,520	0,520	0,520	0,520
0,54	0,540	0,540	0,540	0,540	0,540
0,56	0,561	0,560	0,560	0,560	0,560
0,58	0,581	0,581	0,580	0,580	0,580

Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 634

u \ N	8,2	8,6	9,0	9,4	9,8
0,60	0,601	0,601	0,601	0,600	0,600
0,61	0,611	0,611	0,611	0,611	0,610
0,62	0,621	0,621	0,621	0,621	0,621
0,63	0,632	0,631	0,631	0,631	0,631
0,64	0,642	0,641	0,641	0,641	0,641
0,65	0,652	0,652	0,651	0,651	0,651
0,66	0,662	0,662	0,662	0,661	0,661
0,67	0,673	0,672	0,672	0,672	0,671
0,68	0,683	0,683	0,682	0,682	0,681
0,69	0,694	0,693	0,692	0,692	0,692
0,70	0,704	0,704	0,703	0,702	0,702
0,71	0,715	0,714	0,713	0,713	0,712
0,72	0,726	0,725	0,724	0,723	0,723
0,73	0,736	0,735	0,734	0,734	0,733
0,74	0,747	0,746	0,745	0,744	0,744
0,75	0,758	0,757	0,756	0,755	0,754
0,76	0,769	0,768	0,767	0,766	0,765
0,77	0,780	0,779	0,778	0,777	0,776
0,78	0,792	0,790	0,789	0,788	0,787
0,79	0,804	0,802	0,800	0,799	0,798
0,80	0,815	0,813	0,811	0,810	0,809
0,81	0,827	0,825	0,823	0,822	0,820
0,82	0,839	0,837	0,835	0,833	0,831
0,83	0,852	0,849	0,847	0,845	0,844
0,84	0,865	0,862	0,860	0,858	0,856
0,85	0,878	0,875	0,873	0,870	0,868
0,86	0,892	0,889	0,886	0,883	0,881
0,87	0,907	0,903	0,900	0,897	0,894
0,88	0,921	0,918	0,914	0,911	0,908
0,89	0,937	0,933	0,929	0,925	0,922
0,90	0,954	0,949	0,944	0,940	0,937
0,91	0,972	0,967	0,961	0,957	0,953
0,92	0,991	0,986	0,980	0,975	0,970
0,93	1,012	1,006	0,999	0,994	0,989
0,94	1,036	1,029	1,022	1,016	1,010

Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 635

u \ N	8,2	8,6	9,0	9,4	9,8
0,950	1,062	1,055	1,047	1,040	1,033
0,960	1,097	1,085	1,074	1,063	1,053
0,970	1,136	1,124	1,112	1,100	1,087
0,975	1,157	1,147	1,134	1,122	1,108
0,980	1,187	1,175	1,160	1,150	1,132
0,985	1,224	1,210	1,196	1,183	1,165
0,990	1,275	1,260	1,243	1,228	1,208
0,995	1,363	1,342	1,320	1,302	1,280
0,999	1,560	1,530	1,500	1,476	1,447
1,000	∞	∞	∞	∞	∞
1,001	0,614	0,577	0,546	0,519	0,494
1,005	0,420	0,391	0,368	0,350	0,331
1,010	0,337	0,313	0,294	0,278	0,262
1,015	0,289	0,269	0,255	0,237	0,223
1,020	0,257	0,237	0,221	0,209	0,196
1,03	0,212	0,195	0,181	0,170	0,159
1,04	0,173	0,165	0,152	0,143	0,134
1,05	0,158	0,143	0,132	0,124	0,115
1,06	0,140	0,127	0,116	0,106	0,098
1,07	0,123	0,112	0,102	0,094	0,086
1,08	0,111	0,101	0,092	0,084	0,077
1,09	0,101	0,091	0,082	0,075	0,069
1,10	0,092	0,083	0,074	0,067	0,062
1,11	0,084	0,075	0,067	0,060	0,055
1,12	0,077	0,069	0,062	0,055	0,050
1,13	0,071	0,063	0,056	0,050	0,045
1,14	0,065	0,058	0,052	0,046	0,041
1,15	0,061	0,054	0,048	0,043	0,038
1,16	0,056	0,050	0,045	0,040	0,035
1,17	0,052	0,046	0,041	0,036	0,032
1,18	0,048	0,042	0,037	0,033	0,029
1,19	0,045	0,039	0,034	0,030	0,027
1,20	0,043	0,037	0,032	0,028	0,025
1,22	0,037	0,032	0,028	0,024	0,021
1,24	0,032	0,028	0,024	0,021	0,018

Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 635

u \ N	8,2	8,6	9,0	9,4	9,8
1,26	0,028	0,024	0,021	0,018	0,016
1,28	0,025	0,021	0,018	0,016	0,014
1,30	0,022	0,019	0,016	0,014	0,012
1,32	0,020	0,017	0,014	0,012	0,010
1,34	0,018	0,015	0,012	0,010	0,009
1,36	0,016	0,013	0,011	0,009	0,008
1,38	0,014	0,012	0,010	0,008	0,007
1,40	0,013	0,011	0,009	0,007	0,006
1,42	0,011	0,009	0,008	0,006	0,005
1,44	0,010	0,008	0,007	0,006	0,005
1,46	0,009	0,008	0,006	0,005	0,004
1,48	0,009	0,007	0,005	0,004	0,004
1,50	0,008	0,006	0,005	0,004	0,003
1,55	0,006	0,005	0,004	0,003	0,003
1,60	0,005	0,004	0,003	0,002	0,002
1,65	0,004	0,003	0,002	0,002	0,001
1,70	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001
1,75	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001
1,80	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
1,85	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
1,90	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000
1,95	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
2,00	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
2,10	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
2,20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 636

u \ N	8,2	8,6	9,0	9,4	9,8
9,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: Ven Te Chow, **Hidráulica de canales abiertos**, pág. 636

