



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

“Salir a trabajar de la tierra es la del hombre”

POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

“EFECTO DE LA OPERACIÓN DE COMPUERTAS EN EL RÉGIMEN NO PERMANENTE EN CANALES DE RIEGO”

TESIS DE MAESTRÍA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO
INTEGRAL DEL AGUA**



PRESENTA:

JOSÉ JUAN AGUILAR CABRERA

DIRECCIÓN GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Chapingo, Estado de México; Julio de 2010.





Tesis realizada por **JOSÉ JUAN AGUILAR CABRERA** bajo la dirección del Dr. **RAMÓN EDUARDO ARTEAGA TOVAR**, aprobada y aceptada por el Comité Asesor Indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

DIRECTOR: _____

DR. RAMON EDUARDO ARTEAGA TOVAR

ASESOR: _____

DR. MAURICIO CARRILLO GARCÍA

ASESOR: _____

DR. LAURA ALICIA IBÁÑEZ CASTILLO



EFFECTO DE LA OPERACIÓN DE COMPUERTAS EN EL RÉGIMEN NO PERMANENTE EN CANALES DE RIEGO

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **JOSÉ JUAN AGUILAR CABRERA** autor de la presente tesis de Maestro en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua estuvo constituido por:

DIRECTOR:

DR. RAMON EDUARDO ARTEAGA TOVAR

ASESOR:

DR. MAURICIO CARRILLO GARCÍA

ASESOR:

DR. LAURA ALICIA IBÁÑEZ CASTILLO



AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad y fuerza de realizar una de las muchas metas que tengo en la vida.

A la Universidad Autónoma Chapingo por ser la institución que me ha dado todos los estudios que ahora tengo.

Al Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso integral del agua por haberme brindado la oportunidad de obtener el grado de Maestro en Ingeniería y Uso Integral del Agua.

Al consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) por haber confiado en mí.

A mis asesores: Dr. Ramón Eduardo Arteaga Tovar, Dr. Mauricio Carrillo García y Dr. Laura Alicia Ibáñez Castillo.

Al Dr. Samuel García Silva y Dr. Laura Alicia Ibáñez Castillo un agradecimiento especial por darme sus consejos y apoyo moral en los momentos que más los necesite.

Sé caliente o frío, pero nunca tibio...



DEDICATORIA

A MIS PADRES POR DARMELA VIDA, DARMEL
CONSEJOS E INCULCARMEL VALORES QUE HOY EN DÍA
ME HACEN RESPONSABLE DE MIS ACTOS.

A MI ESPOSA SOCORRO, CON GRAN AMOR Y
RECONOCIMIENTO AL APOYO OTORGADO EN TODOS
LOS SENTIDOS Y NO DEJARMEL CAER EN LOS
MOMENTOS MÁS DIFÍCILES DE ESTA ETAPA DE MI VIDA,
LE AGRADEZCO TODO PORQUE SIN ELLA NO LO
HUBIERA LOGRADO.

GRACIAS, MUCHAS GRACIAS MI VIDA...



DATOS BIOGRÁFICOS

Nacido en el año de 1978 en La Colonia El Arenal, Municipio de Acapetahua Chiapas; en el año de 1995-2002 realicé mis estudios de licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo, obteniendo el título profesional de Ingeniero en Irrigación.

Como profesionista he desempeñado las siguientes actividades:

Participante activo enfocada a la “Producción de Jitomate Bajo Invernaderos y Encargado del personal que presta sus servicios en el mismo”, en la Universidad Autónoma Chapingo, Dirección de Patronato, Departamento de Empresas de Servicio, Junio de 2002 a Enero de 2003.

Participación en el Balance Hidráulico de la Región Hidrológica 036 “Río Nazas-Aguanaval”, Ubicada en los estados de Durango, Zacatecas y Coahuila, en la Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Irrigación, de Septiembre de 2004 a diciembre de 2005.

Ejecución de la Evaluación de los Distritos de Temporal 2005: “Zanapa-Tonala (002)” Edo. de Tabasco, “Zona sur de Yucatán (024)” Edo. de Yucatán y “Margarita – Comitán (011)” Edo. de Chiapas, en la Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Irrigación, de Diciembre de 2005 a Julio de 2006.



Residente del Proyecto Ejecutivo de la “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Localidad de Misantla, Edo. De Veracruz”. Trabajo realizado para el ayuntamiento municipal de Misantla Veracruz, en la empresa Hidrotecnia, Calidad del agua y Agronomía S.C., en Octubre de 2006 a Octubre de 2007.

Participación en el “Estudio y Proyecto Ejecutivo para la Restitución y Protección del Bordo Camino y de la Estructura con su Correspondiente Protección Marginal en la Colonia José María Pino Suárez y Vertedor Medellín del Municipio de Centro, Estado de Tabasco”, trabajo realizado para la Comisión Nacional del Agua, en la empresa Hidrotecnia, Calidad del agua y Agronomía S.C., en Octubre de 2007 a Diciembre de 2007.

Diseño del Sistema Hidráulico del Proyecto ejecutivo de la “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de La Localidad de Tonatico, Edo. de México”. Trabajo realizado para la Comisión del Agua Del Estado de México, en la empresa Hidrotecnia Calidad del agua y Agronomía S.C., en Diciembre de 2007 a Agosto de 2007.

Diseño del sistema de alcantarillado sanitario y edición de planos del “Plan Maestro (Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento para el Rastro y Drenaje Pluvial), cabecera municipal de Valparaíso, zacatecas”. Trabajo realizado para la Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas, en la



empresa Hidrotecnia, Calidad del agua y Agronomía S.C., en Septiembre de 2009 a Junio de 2010.



INDICE GENERAL

ÍNDICE DE CONTENIDO	II
ÍNDICE DE CUADROS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE ANEXOS	IX
RESUMEN	X



ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	4
III. HIPÓTESIS.....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
5.1. Régimen no permanente en canales	5
5.2. Ecuaciones de Saint-Venant	7
5.3. Aspectos matemáticos en el régimen no permanente	10
5.3.1. Análisis de los métodos de solución que se utilizan	10
5.3.2. Justificación de la selección del esquema de Preissmann.....	14
5.3.3. Desarrollo del método de Preissmann	16
5.3.4. Algoritmo de cálculo.....	19
5.3.4.1. Condiciones iniciales	25
5.3.4.2. Condiciones de frontera.....	31
5.3.4.2.1. Condiciones de fronteras exteriores.	32
5.3.4.2.2. Condiciones de frontera interiores.....	36
5.3.5. Estructuras de control que sirven como condición de frontera y sus modelos en régimen no permanente.....	38
5.3.5.1. Compuertas	39
5.3.6. Calibración en el régimen no permanente	45
5.3.6.1. Metodología de calibración	46
5.3.6.2. Metodología de calibración para el canal	47
5.3.6.3. Metodología de calibración de compuertas rectangulares	50
5.3.7. Descripción del programa de calibración CALICAN	54
5.3.8. Descripción del programa HEC-RAS.....	56
5.3.9. Aplicación de la teoría de control	57
V. MATERIALES Y METODOLOGÍA	65
5.1. Materiales.....	65
5.2. Metodología.....	67
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
6.1. Instalación de compuertas de Represas y Tomas.....	69



6.2.	Adaptación e instalación de sensores y equipo de cómputo	70
6.3.	Calibración de los sensores.....	71
6.4.	Obtención del perfil del fondo del canal.....	72
6.5.	Estratos de funcionamiento y obtención de datos	73
6.6.	Obtención de los modelos a partir de la calibración	99
6.6.1.	Modelos para compuertas rectangulares	99
6.6.2.	Calibración del Tramo 2 y 3 del canal de riego	105
6.6.2.1.	Calibración del Tramo 2	105
6.6.2.2.	Calibración del Tramo 3	115
6.7.	Resultado de la verificación y validación del modelo de canales.	126
6.7.1.	Transitorio sin salidas laterales (estrato 4)	127
6.7.2.	Transitorio con salidas laterales (estrato 5)	133
VII	CONCLUSIONES	139
VII	RECOMENDACIONES.....	142
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	143
ANEXO A		153



ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Clasificación de algoritmos de control de canales.	62
Cuadro 2. Compuertas deslizantes.....	69
Cuadro 3. Valores iniciales de d en cada sensor.....	71
Cuadro 4. Cadenamiento y cotas del fondo del canal (plantilla).....	72
Cuadro 5. Datos de tirantes obtenidos para el estrato 1 (0.030 m ³ /seg sin gasto lateral).	74
Cuadro 6. Datos de tirantes obtenidos para el estrato 2 (0.0201 m ³ /seg sin gasto lateral).	79
Cuadro 7. Datos de tirante obtenidos para el estrato 3 (0.0101 m ³ /seg sin gasto lateral).	84
Cuadro 8. Datos de tirante obtenidos para el estrato 4 (Transitorio sin gasto lateral).	89
Cuadro 9. Datos de tirante obtenidos para el estrato 5 (Transitorio con gasto ateral).	95
Cuadro 10. Niveles observados y simulados en cada uno de los sensores colocados a lo largo del canal en un transitorio sin gasto lateral (estrato 4).....	128
Cuadro 11. Niveles observados y simulados en cada uno de los sensores colocados a lo largo del canal en un transitorio sin gasto lateral (estrato 5).....	134



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de Preissmann, aplicado en el método de doble barrido, Chaudhry 1993.	17
Figura 2. Regiones de estabilidad en el plano Φ - θ (para $Cr > 0$), Chaudhry 1993.	18
Figura 3. Esquemas para la aplicación del método numérico en la solución de la ecuación del régimen gradualmente variado.....	29
Figura 4. Discretización espacial de tramos de canal, seleccionando N nodos para cada uno de ellos, para los cuales se realizan los cálculos para aproximar la solución.	32
Figura 5. Compuerta deslizable rectangular, como condición de frontera.	41
Figura 6. Elementos para la calibración de un tramo de canal.....	47
Figura 7. Identificación de secciones de observación, con fines de calibración de un canal.	48
Figura 8. Canal de riego.....	65
Figura 9. Equipo de computo y software CHAPINGO WIN.....	67
Figura 10. Compuertas rectangulares deslizantes instaladas en represas y tomas.	69
Figura 11. Sensores instalados.....	70
Figura 12. Perfil de la plantilla del canal de riego.....	73
Figura 13. Niveles observados en los 5 sensores al realizar los movimientos de cada compuerta y un flujo de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral.	78
Figura 14. Niveles observados en los 5 sensores al realizar los movimientos de cada compuerta y un flujo de $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral.	83
Figura 15. Niveles observados en los 5 sensores al realizar los movimientos de cada compuerta y un flujo de $0.0101 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral.	88
Figura 16. Niveles observados en los 5 sensores al realizar los movimientos de cada compuerta y un transitorio de 0.030 , 0.0201 y $0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral.	93
Figura 17. Niveles observados en los 5 sensores al realizar los movimientos de cada compuerta y un transitorio de 0.030 , 0.0201 y $0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$ con gasto lateral de.	97



- Figura 18. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+010.56, del tramo 2 del canal de riego para un flujo de $0.0101 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas. 105
- Figura 19. Limnigrama calculado en la Est. 0+015.00 y el observado en la Est. 0+020.50, del tramo 2 del canal de riego para un flujo de $0.0101 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas. 106
- Figura 20. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+010.56, del tramo 2 del canal de riego para un flujo de $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas. 106
- Figura 21. Limnigrama calculado en la Est. 0+015.00 y el observado en la Est. 0+020.50, del tramo 2 del canal de riego para un flujo de $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas. 107
- Figura 22. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+010.56, del tramo 2 del canal de riego para un flujo de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas. 107
- Figura 23. Limnigrama calculado en la Est. 0+015.00 y el observado en la Est. 0+020.50, del tramo 2 del canal de riego para un flujo de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas. 108
- Figura 24. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+010.56, del tramo 2 del canal de riego para un transitorio de $0.030, 0.0201, 0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas..... 108
- Figura 25. Limnigrama calculado en la Est. 0+015.00 y el observado en la Est. 0+020.50, del tramo 2 del canal de riego para un transitorio de $0.030, 0.0201, 0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas..... 109
- Figura 26. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+010.56, del tramo 2 del canal de riego para un transitorio de $0.030, 0.0201, 0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$ con gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas. 109
- Figura 27. Limnigrama calculado en la Est. 0+015.00 y el observado en la Est. 0+020.50, del tramo 2 del canal de riego para un transitorio de $0.030, 0.0201, 0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$ con gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas..... 110
- Figura 28. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+020.50, del tramo 3 del canal de riego para un flujo de $0.0101 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas. 115
- Figura 29. Limnigrama calculado en la Est. 0+025.00, 0+030.00, 0+035.00 y el observado en la Est. 0+040.59, del tramo 3 del canal de riego para



un flujo de 0.0101 m ³ /seg sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.....	115
Figura 30. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+020.50, del tramo 3 del canal de riego para un flujo de 0.0201 m ³ /seg sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.	116
Figura 31. Limnigrama calculado en la Est. 0+025.00, 0+030.00, 0+035.00 y el observado en la Est. 0+040.59, del tramo 3 del canal de riego para un flujo de 0.0201 m ³ /seg sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.....	116
Figura 32. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+020.50, del tramo 3 del canal de riego para un flujo de 0.030 m ³ /seg sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.	117
Figura 33. Limnigrama calculado en la Est. 0+025.00, 0+030.00, 0+035.00 y el observado en la Est. 0+040.59, del tramo 3 del canal de riego para un flujo de 0.030 m ³ /seg sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.....	117
Figura 34. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+020.50, del tramo 3 del canal de riego para un transitorio de 0.030, 0.0201, 0.025 m ³ /seg sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.....	118
Figura 35. Limnigrama calculado en la Est. 0+025.00, 0+030.00, 0+035.00 y el observado en la Est. 0+040.59, del tramo 3 del canal de riego para un transitorio de 0.030, 0.0201, 0.025 m ³ /seg sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.	118
Figura 36. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+020.50, del tramo 3 del canal de riego para el transitorio de 0.030, 0.0201, 0.025 m ³ /seg con gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.	119
Figura 37. Limnigrama calculado en la Est. 0+025.00, 0+030.00, 0+035.00 y el observado en la Est. 0+040.59, del tramo 3 del canal de riego para el transitorio de 0.030, 0.0201, 0.025 m ³ /seg con gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.	119
Figura 38. Hidrograma promedio observado en la Est. 0+010.56 en el tramo de Canal 2, sin gastos laterales.	123
Figura 39. Hidrograma promedio observado en la Est. 0+010.56 en el tramo de Canal 2, con gastos laterales en la Est. 0+020.50.	124
Figura 40. Hidrograma promedio observado en la Toma 2 en el tramo de Canal 2 ubicada en la Est. 0+020.00.....	124
Figura 41. Hidrograma promedio observado en la después de la Est. 0+020.50 en el tramo de Canal 3, sin gastos laterales y demanda en la toma lateral aguas arriba.	125



Figura 42. Niveles calculados en la simulación a lo largo de todo el canal en un transitorio sin salidas laterales.	130
Figura 43. Nivel observado y calculado en la Est. 0+010.56 en un transitorio sin salidas laterales.	131
Figura 44. Nivel observado y calculado en la Est. 0+020.50 en un transitorio sin salidas laterales.	132
Figura 45. Niveles calculados en la simulación a lo largo de todo el canal en un transitorio con salidas laterales.	136
Figura 46. Nivel observado y calculado en la Est. 0+010.56 en un transitorio con salidas laterales.	137
Figura 47. Nivel observado y calculado en la Est. 0+020.50 en un transitorio con salidas laterales.	138



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A 1. Tabla de resultados de la calibración del tramo 2 del Canal de riego para un gasto de 0.0101 m ³ /seg y con movimientos variables en cada compuerta.	154
Anexo A 2. Tabla de resultados de la calibración del tramo 3 del Canal de riego para un gasto de 0.0101 m ³ /seg y con movimientos variables en cada compuerta.	156
Anexo A 3. Tabla de resultados de la calibración del tramo 2 del Canal de riego para un gasto de 0.0201 m ³ /seg y con movimientos variables en cada compuerta.	159
Anexo A 4. Tabla de resultados de la calibración del tramo 3 del Canal de riego para un gasto de 0.0201 m ³ /seg y con movimientos variables en cada compuerta.	161
Anexo A 5. Tabla de resultados de la calibración del tramo 2 del Canal de riego para un gasto de 0.030 m ³ /seg y con movimientos variables en cada compuerta.	164
Anexo A 6. Tabla de resultados de la calibración del tramo 3 del Canal de riego para un gasto de 0.030 m ³ /seg y con movimientos variables en cada compuerta.	166
Anexo A 7. Tabla de resultados de la calibración del tramo 2 del Canal de riego para un transitorio de 0.030, 0.0201 y 0.025 m ³ /seg, con movimientos variables en cada compuerta y sin gasto lateral.	169
Anexo A 8. Tabla de resultados de la calibración del tramo 3 del Canal de riego para un transitorio de 0.030, 0.0201 y 0.025 m ³ /seg, con movimientos variables en cada compuerta y sin gasto lateral.	171
Anexo A 9. Tabla de resultados de la calibración del tramo 2 del Canal de riego para un transitorio de 0.030, 0.0201 y 0.025 m ³ /seg, con movimientos variables en cada compuerta y con gasto lateral.	174
Anexo A 10. Tabla de resultados de la calibración del tramo 3 del Canal de riego para un transitorio con más de 3 gastos., con movimientos variables en cada compuerta y sin gasto lateral.	175



**EFFECTO DE LA OPERACIÓN DE COMPUERTAS EN EL RÉGIMEN NO
PERMANENTE EN CANALES DE RIEGO
EFFECT OF THE GATES OPERATION IN THE UNSTEADY REGIME IN IRRIGATION
CHANNELS**

José Juan Aguilar Cabrera¹, R. Eduardo Arteaga Tovar²

Resumen.

En el presente trabajo se efectúa una valoración del efecto que se tiene en el régimen no permanente del agua en los canales ante la operación de compuertas, ya sea en represas o en tomas laterales, que origina oscilaciones en el nivel del agua en los canales derivando en pérdidas de agua a través de las estructuras de desfogue que se tienen en el sistema de distribución en los Distritos de Riego, las cuales se pueden reducir considerablemente si se introducen esquemas de automatización, ya que con esta tecnología se pueden operar de forma coordinada y con precisión, tanto represas como tomas laterales, en el manejo de las compuertas. Para definir el efecto de operar compuertas en el régimen no permanente en canales, se efectúa una investigación experimental a nivel laboratorio en un modelo de canal de riego que reúne las características de un sistema de distribución, se realizaron cierres y aberturas en compuertas de represas y tomas laterales, para cada uno de estos se midieron los tirantes en todo el canal y se cuantifico el aumento o disminución de estos; obteniendo así los modelos representativos de las compuertas, calibración de los tramos de canal y observación del efecto en el régimen no permanente en el programa HEC-RAS.

Palabras clave: Distritos de riego, Tomas laterales, compuertas deslizantes, no permanente, tirante

1. Tesista.

2. Director de la tesis.

Abstract

Presently work is made a valuation of the effect that one has in the unsteady régime of the water in the channels before the gates operation, either in dam or lateral exits, hat it originate oscillations in the level of the water in the channels deriving in losses of water through the structures work that are had in the distribution system in the Districts of Irrigation, which can decrease considerably if automation outlines are introduced, since with this technology they can be operated in a coordinated way and with accuracy, so much dams as lateral exits, in the handling of the gates. To define the effect of gates operating in the unsteady régime in channels, an experimental investigation is made at level laboratory in a model of irrigation channels that gather the characteristics of a distribution system, to realized closings and openings of dam gates and lateral exits, for each one of these they were measured the depth in everything channel and quantified the increase or decrease of these; obtaining so the representative models of the gates, calibration of the channel tracts and observation of the effect in the unsteady régime in the program HEC-RAS.

Key words: Districts of Irrigation, lateral exits, gates sluice, unsteady, depth.

1. Thesis author.

2. Thesis advisor.



I. INTRODUCCIÓN

Los Distritos de Riego ubicados en todo lo largo y ancho de la República Mexicana presentan una eficiencia general del 25%, es decir que el 75% del agua se pierde sin haber sido utilizada por los cultivos. Las mayores pérdidas se producen en los canales de conducción y distribución 55% y el 45% restante dentro de los terrenos de cultivo.

Los Distritos de Riego utilizan sistemas que controlan el agua al inicio de la red de distribución; por lo que las tomas de las presas se tienen que abrir mucho tiempo antes de que el agua llegue a la parcela y cualquier suceso que altere la programación del riego, provoca pérdidas. Además, las fuertes oscilaciones de los tirantes en los canales que atienden las tomas granja, aparte de hacer trabajar continuamente las estructuras de desfogue, causan variaciones en el gasto que se entrega al usuario originando dificultades en el riego parcelario y un control deficiente del agua suministrada en las plantas.

La problemática antes mencionada puede tener solución, si tenemos una flexibilidad hidráulica del sistema de distribución para entregar los volúmenes en la parcela con gastos casi constantes. Lo cual se puede lograr realizando un control coordinado de compuertas y tomas, lo cual se logra automatizando la operación de las mismas.



Para automatizar la operación de las compuertas se requiere de una herramienta matemática conformada por un modelo digital integrado por el algoritmo de solución de las ecuaciones de Saint Venant que predice las operaciones a realizar en las compuertas, originadas en los niveles de agua existentes en el canal, detectados por sensores, remitiendo a un microprocesador electrónico para que éste a su vez remita esas acciones a los mecanismos de operación.

En el presente trabajo, midiendo tirantes a lo largo de un canal de riego y un gasto conocido se pretende demostrar el efecto en el régimen no permanente que ocasiona la acción operativa de compuertas en represas y tomas, estos efectos influyen en las pérdidas de agua por conducción.

Para lograr lo anterior se desarrolla una investigación experimental la cual se llevara a cabo en el Laboratorio de Hidráulica del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo, en donde tiene un modelo de un canal de riego que consta de cuatro represas y tres tomas. La medición de los tirantes y gastos se realizará mediante sensores, los cuales están conectados a un equipo de cómputo donde se registran los datos (software CHAPINGO WIN). La abertura y cierre de compuertas se realizará manualmente.



Entonces para demostrar que la manipulación inadecuada de las compuertas en un sistema de conducción provoca grandes pérdidas de agua se simulara un sistema de distribución, es decir, de acuerdo a la demanda o demandas de agua y en que tomas se requiera, la abertura de la compuertas será menor o mayor, de tal manera que el agua entregada sea la solicitada.



II. OBJETIVOS

1. Cuantificar la influencia del efecto ocasionado por la acción operativa de compuertas en represas y tomas en un canal sobre el régimen no permanente de flujo en las pérdidas de agua por conducción.
2. Adaptar un modelo digital de simulación del régimen no permanente, que resolviendo las ecuaciones de Saint-Venant realice la predicción del comportamiento del agua en un tramo de canal prismático abierto, cuyas características hidráulicas sean variables que consideren la influencia de las compuertas en represas y en tomas.

III. HIPÓTESIS

La operación de compuertas son acciones que impactan en forma determinante al flujo no permanente en canales, el cual ocasiona variaciones del tirante que derivan en pérdidas sustanciales de agua en la conducción.



IV. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Régimen no permanente en canales

Para conocer el tipo de flujo que caracteriza al fenómeno hidráulico que se origina en la operación de las estructuras de control y distribución en los canales de riego:

Streeter y Wylie (1979), menciona:... “Un flujo es no permanente cuando las condiciones en cualquier punto cambian con el tiempo $\partial v/\partial t \neq 0$. El agua que se bombea a través de un sistema fijo, como el gasto que aumenta con el tiempo, es un ejemplo de flujo no permanente.

El análisis de un flujo no permanente es mucho más complejo que el de un flujo permanente. En efecto al aparecer el tiempo como una variable independiente adicional, las ecuaciones resultantes pueden ser ecuaciones diferenciales en derivadas parciales en vez de ecuaciones diferenciales ordinarias”.

Chaudhry (1973), indica: “Si el tirante y/o la velocidad varían en un punto con el tiempo, el flujo es denominado no establecido”.

Chow (1994), define al escurrimiento no permanente en canales como aquel escurrimiento que la profundidad cambia con el tiempo. En la mayor parte de los problemas en canales abiertos, es necesario estudiar el procedimiento solamente bajo condiciones permanentes. Sin embargo, si el cambio en las



condiciones del escurrimiento con respecto al tiempo es grande, el escurrimiento deberá ser tratado como no permanente.

El flujo no permanente está clasificado en dos tipos nominalmente: Flujo variado gradualmente y flujo variado rápidamente no permanente. En el primer tipo de curvatura del perfil de la ola es moderada y el cambio en la profundidad es gradual. La componente vertical de la aceleración de las partículas de agua, es despreciable en comparación con la aceleración total, mientras que en el efecto de la fricción del canal es usualmente apreciable y debería tomarse en cuenta en un análisis cuidadoso. En el segundo tipo la curvatura del perfil de la ola es muy grande y así, la superficie del perfil puede hacerse virtualmente discontinua. La componente vertical de la aceleración, entonces, desempeña un papel importante en el fenómeno, mientras que el efecto de la fricción del canal es prácticamente despreciable en comparación con el efecto dinámico del flujo. Ejemplos comunes del flujo gradualmente variado no permanente se presentan en la operación de estructuras de control, tales como: las compuertas y desagües de fondo en esclusas de barco, o las compuertas de represas o tomas laterales en canales de riego.

Ejemplos de flujo rápidamente variado y no permanente son mareas de varias clases causadas por una operación rápida de estructuras de control o por el rompimiento de un dique o una presa.



5.2. Ecuaciones de Saint-Venant

Arteaga (1985) menciona: Las ecuaciones que describen el flujo no permanente en canales son las que Barré de Saint-Venant presentó en 1871, basándose para el desarrollo de esas ecuaciones en las siguientes hipótesis:

- Flujo unidimensional, homogéneo e incomprensible.
- Flujo gradualmente variado.
- Distribución hidrostática de presiones.
- Pendiente media del fondo suave.

Eso significa que cuando no se cumple una o más de esas hipótesis, las ecuaciones que a continuación se presentan, no se aplican exactamente.

Del desarrollo para la obtención de las ecuaciones de Saint-Venant, Chow (1994), Streeter y Wylie (1979), Henderson (1966), Jegat (1979), Aguirre (1980), coinciden concluyendo en:

La ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Cuando el canal está alimentado lateralmente con un gasto complementario “q” por unidad de longitud, la ecuación (1), puede escribirse:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + T \frac{\partial y}{\partial t} = q \quad (2)$$



Donde:

T= Ancho de la superficie libre del agua, en m

y= Tirante del agua, en m

Q= Gasto o caudal, en m³/seg

q= Gasto lateral de aportación o de extracción (-), por unidad de longitud del cauce, en m³/seg/m

x= Coordenadas en la dirección longitudinal del cauce, en m

t= Tiempo en seg

La ecuación dinámica, de cantidad de movimiento ó momentum:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} + g \frac{\partial z}{\partial x} + g S_f = 0 \quad (3)$$

Cuando se presenta gasto lateral, la ecuación (3), queda:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} + g \frac{\partial z}{\partial x} + g S_f = \frac{q}{A} (v_q - v) \quad (4)$$

Considerando que:

$$\frac{\partial z}{\partial x} = S_o, \text{ se tiene}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} = g(S_o - S_f) + \frac{q}{A} (v_q - v) \quad (5)$$

Considerando la anterior como la ecuación general de flujo no permanente, engloba también el permanente, por lo que Henderson (1966) la expresa, según la ecuación (3) sin gasto lateral:



$$S_f = S_o - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{v^2 n^2}{R_H^{\frac{4}{3}}} \quad (6)$$

Diagram illustrating the components of the equation:

- Flujo uniforme: $\frac{\partial y}{\partial x}$
- Flujo no uniforme: $\frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x}$
- Régimen permanente: $\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$
- Flujo no uniforme: $\frac{v^2 n^2}{R_H^{\frac{4}{3}}}$
- Régimen no permanente: $\frac{v^2 n^2}{R_H^{\frac{4}{3}}}$

En la que:

z = Cota o elevación, sobre un plano de referencia, del punto más bajo de la sección transversal, en m.

v = Velocidad media, en m/seg.

A = Área hidráulica, en m^2 .

S_o = Pendiente del fondo del canal, adim.

S_f = Pendiente de fricción ó gradiente hidráulico, adim.

v_q = Velocidad en la dirección "x" del gasto lateral q , en m/seg.

g = Aceleración gravitacional, en m/seg^2 .

Al gasto lateral al entrar o salir normal al escurrimiento, se considera su velocidad $v_q = 0$.

La validez de estas ecuaciones ha sido verificada por muchas observaciones y experimentos, entre los que se encuentran los realizados por Brutsaert (1971), que para las ecuaciones de flujo espacialmente variado no permanente las resuelve numéricamente con un esquema implícito de diferencias finitas, sujeto



a diferentes condiciones de frontera y flujo, comparada con las observaciones de laboratorio. Sin embargo, debido a su complejidad matemática, la integración exacta de las ecuaciones es prácticamente imposible.

5.3. Aspectos matemáticos en el régimen no permanente

Considerando que las ecuaciones de Saint-Venant (2) y (4), representativas del flujo no permanente en canales abiertos, son ecuaciones diferenciales parciales de tipo hiperbólico, carente de solución analítica, por lo que es necesario recurrir a técnicas numéricas que permitan aproximar su solución, el desarrollo de las computadoras ha permitido acceder a estas técnicas numéricas en forma más sencilla, por lo que se han desarrollado varias estrategias, con ventajas e inconvenientes todas ellas, denominadas Métodos Numéricos.

5.3.1. Análisis de los métodos de solución que se utilizan

Los métodos numéricos más comunes que pueden ser aplicados en la solución de las ecuaciones de Saint-Venant, según Chaudhry (1987), son: el del Elemento Finito, el de las Características y el de Diferencias Finitas.

El método de Elemento Finito se integran las ecuaciones (2) y (4), primero en el espacio utilizando funciones de aproximación, generalmente lineales, y segundo, en el tiempo por diferencias finitas. Sobre este método, Aparicio et al (1988), hacen una breve descripción del mismo en una versión debida a Galerkin. Según el Instituto de Investigaciones Eléctricas (1980) es un método



bastante complejo. De acuerdo a Chaudhry (1987), el método del elemento finito consiste en dividir el sistema de ecuaciones hacia el interior en un número determinado de elementos, las ecuaciones diferenciales parciales son integradas en los puntos nodales de dichos elementos; según lo destaca este autor, este método se encuentra en etapas poco desarrolladas para ser aplicado a transitorios en canales abiertos, por lo cual comúnmente no se utiliza.

El método de las Características, según lo señala Abbot (1975), las dos ecuaciones diferenciales parciales de Saint-Venant son primeramente convertidas a cuatro ecuaciones diferenciales ordinarias, denominadas como ecuaciones de la forma característica, las cuales son resueltas por algún esquema. Este método presenta fallas debido a la convergencia de las curvas características una vez que llega a la forma acentuada, y para lograr la estabilidad y convergencia del esquema, cuando éste es explícito, exige que se satisfaga la restricción de Courant. Este método fue muy utilizado durante la década de los sesentas, el cual a partir de la siguiente década comenzó a ser sustituido por el método de diferencias finitas, según lo destaca Chaudhry (1987).

En el método de diferencias finitas al resolver las ecuaciones diferenciales parciales, se aproximan las derivadas en cada punto por las variaciones de las variables sobre un intervalo determinado. Así, las ecuaciones diferenciales parciales (forma continua) son sustituidas por un conjunto de ecuaciones en



diferencias (forma lineal), cuya solución permite obtener los valores de las variables dependientes en un número finito de puntos.

Los esquemas de solución de los anteriores métodos, pueden ser: Explícitos e Implícitos. Los primeros son fáciles de programar pero presentan ciertos problemas de estabilidad en las soluciones, haciéndose necesario utilizar intervalos de tiempo (Δt) limitados por una restricción dada por el criterio CFL (Courant, Friedrichs, Levy) o simplemente condición de Courant, haciendo que el esquema exija grandes cantidades de memoria y tiempos de corrida prolongados en la computadoras. Los segundos son más fáciles y estables que los explícitos y sus intervalos de tiempo pueden estar rígidos por el grado de presión deseada Wylie (1970), utilizó los esquemas explícito e implícito de diferencias finitas, así como el de las características para dar solución a las ecuaciones de Saint-Venant, presentando un análisis comparativo de estos métodos.

El criterio o número de Courant (Cr), está dado por la relación siguiente:

$$Cr = v_o \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (7)$$

De donde:

$$\Delta t = Cr \frac{\Delta x}{v_o} \quad (7')$$

Siendo:

v_o = Velocidad absoluta de la onda, en m/seg.

$$= |v| \pm C$$



En la que:

C = Celeridad de la onda (velocidad relativa), en m/seg. (El signo positivo es para cuando la onda viaja hacia aguas abajo; y el negativo, para cuando lo hace hacia aguas arriba). Comúnmente para seleccionar Δt se usa signo positivo.

$$C = \sqrt{gD} = \sqrt{g \frac{A}{T}} \quad (8)$$

Donde:

D = Profundidad hidráulica, en m.

A = Área hidráulica, en m^2 .

T = Ancho de la superficie libre del agua, en m.

Por lo tanto para los esquemas explícitos, se requiere necesariamente que el número de Courant $Cr \leq 1.0$. y para los esquemas implícitos, sin ser restrictivo para la estabilidad, el número de Courant debe ser: $Cr > 1.0$, para lo cual algunos autores utilizan diferentes valores de éste para garantizar niveles de precisión adecuados, en función del número de subtramos (N_{STR}) en que quede dividido el espacio donde se presentará el transitorio, recomendándose rangos de valores de Cr para seleccionar el valor de intervalo de tiempo Δt de la ecuación (7'), tal es el caso del esquema de diferencias finitas implícito de Cruickshank-Berezowshy, aplicado por Arteaga (1985) y Arteaga y León (1996 y 1996), para el cual se recomienda, conjuntamente con el I.I.E. (1980):

- a) Para $10 \leq N_{STR} < 20$, Δt debe determinarse para valores de: $3 \leq Cr \leq 6$.
- b) Para $20 \leq N_{STR} < 50$, Δt debe determinarse para valores de: $6 < Cr \leq 10$.
- c) Para $N_{STR} \geq 50$, Δt debe determinarse para valores de: $10 < Cr \leq 25$.



Lo recomendable es considerar como mínimo 10 subtramos, pero en caso de llegar a tener menos, se evaluaría el comportamiento de la presión que se derive con lo especificado en el inciso a).

Tratando de aprovechar las ventajas del método de diferencias finitas, y de salvar las restricciones del esquema de Cruickshank-Berezowski, es que se decide utilizar el esquema que Alexandre Preissmann desarrollo en 1960.

5.3.2. Justificación de la selección del esquema de Preissmann

El esquema que ha sido usado más extensivamente para el análisis de flujos no permanentes en canales abiertos es el de Preissmann que, según Chaudhry (1987), presenta las siguientes ventajas:

- a) La variable espacial en la malla, puede ser usada a partir de variables entre dos nodos adyacentes.
- b) Se produce una solución exacta para la forma linealizada de las ecuaciones que gobiernan al flujo, para un determinado valor de Δx y Δt seleccionados. Esta propiedad permite la verificación del método para casos simples, por lo cual la solución analítica se encuentra disponible.
- c) Ambas variables de flujo v (o Q) y Y (o H), son calculadas en el mismo nodo.
- d) Por la variación de factor de peso a través del tiempo para las derivadas espaciales, se puede simular lo abrupto del frente de la onda.



Adicionalmente Clemmens et al (1993) señalan que el esquema de Preissmann, ha demostrado ser el más consistente con las ecuaciones que gobiernan al fenómeno de flujo no permanente en canales abiertos, al compararlo con otros métodos, matemáticamente más precisos (p. ej. el método de las características).

Igualmente señalan estos autores que el esquema de Preissmann tiene significativas ventajas sobre el método de las características, donde existen condiciones de frontera externas e internas, tales como: compuertas y vertedores y por lo tanto se adapta bien a la modelación de sistemas de canales de irrigación. Una de las desventajas es que tiende a suavizar o atenuar los fenómenos reales.

Liu et al (1994) destaca que el esquema implícito de Preissman, utilizando el método de doble barrido presenta especiales ventajas de alta eficiencia y uso económico de la memoria en las computadoras.



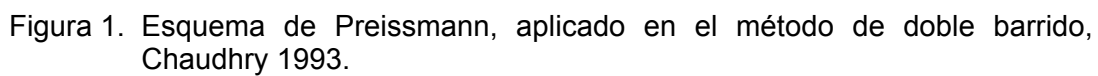
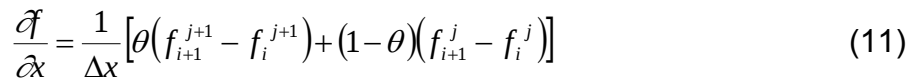
5.3.3. Desarrollo del método de Preissmann

Los métodos de diferencias finitas fueron desarrollados debido a las limitaciones impuestas por el intervalo de tiempo Δt cuando se usaban los métodos explícitos. La primera descripción detallada de esquemas implícitos fue aplicada al problema de propagación de calor y fue publicada por Richtmyer en 1957, citado por Liggett y Cunge (1975). Los primeros esquemas implícitos relacionados con el flujo no permanente en canales abiertos fueron desarrollados posteriormente. Desde entonces hasta la fecha, diferentes autores han desarrollado esquemas de discretización de las ecuaciones de Saint Venant con el método implícito de diferencias finitas, destacándose dentro de todos ellos el de Preissmann, el cual se muestra en la Figura 1 y con las ecuaciones (9), (10) y (11), detallado por Liggett y Cunge (1975), y utilizado por Zevallos y Zuñiga (1988) ventajosamente en el río Vices en Ecuador, así como por Martins y Scarati (1993), en el río Piñeiros en Sao Pablo, Brasil.

En el método de Preissmann el esquema se sustituye por la función continua f , la cual es derivada con respecto al tiempo y a la distancia, las cuales discretizan las variables dependientes y sus derivadas, según lo señalan Arteaga y León (1996):

$$f(x,t) = \theta [\phi f_{i+1}^{j+1} + (1-\phi) f_i^{j+1}] + (1-\theta) [\phi f_{i+1}^j + (1-\phi) f_i^j] \quad (9)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{\Delta x} [\phi (f_{i+1}^{j+1} - f_{i+1}^j) + (1-\phi) (f_i^{j+1} - f_i^j)] \quad (10)$$



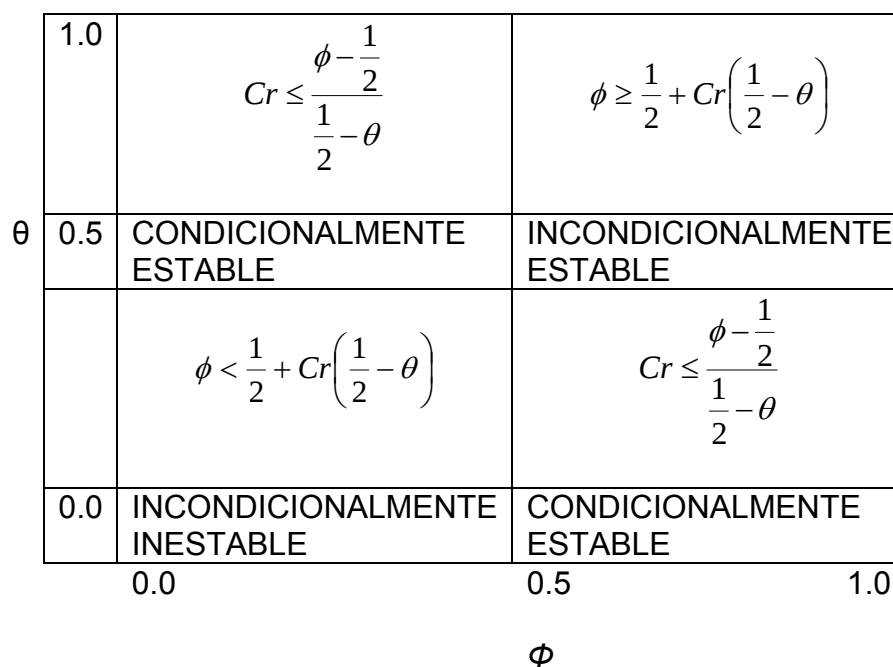


Figura 2. Regiones de estabilidad en el plano Φ - θ (para $Cr > 0$), Chaudhry 1993.

Liggett y Cunge (1975), al presentar el criterio SOGREAH de Francia para el esquema de Preissmann, así como Ponce et al, (1978), consideran lo anterior, quedando las ecuaciones (9) y (10), por lo tanto, de la siguiente forma:

$$f(x,t) = \frac{\theta}{2} [f_{i+1}^{j+1} + f_i^{j+1}] + \frac{1-\theta}{2} [f_{i+1}^j + f_i^j] \quad (12)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{f_{i+1}^{j+1} - f_{i+1}^j + f_i^{j+1} - f_i^j}{2\Delta t} \quad (13)$$

Por lo que respecta al factor de peso a través del tiempo θ , su valor debe estar por arriba de 0.5 ($\theta \leq 1/2$), un valor menor, para el caso del esquema de Preissmann, el proceso de cálculo se vuelve inestable. Es recomendable que: $0.6 \leq \theta \leq 1.0$, aunque varios autores coinciden que un valor de 0.7, es el que



arroja mejores condiciones de precisión y estabilidad, según Liu et al (1993) y Lyn et al (1987).

5.3.4. Algoritmo de cálculo

Para aplicar el esquema de Preissmann se adaptan las ecuaciones de Saint Venant a la forma siguiente, así para las ecuaciones (2) y (4) se tienen respectivamente:

$$\frac{1}{T} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{q}{T} \quad (14)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{QT}{A} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{K^2} = -\frac{qQ}{A} \quad (15)$$

En la que:

Q = Gasto, en m³/seg.

H = Nivel del agua en el canal, en m = y + z.

q = Gasto lateral por unidad de longitud de canal, (-) si es extracción, en m³/seg/m.

T = Ancho de la superficie libre del agua en el canal, en m.

A = Área hidráulica, en m².

K = CAr^{2/3}/n = función de conducción del canal, en m³/seg.

donde: r = radio hidráulico, en m = A/p.

p = Perímetro mojado, en m = b + 2y(1 + m²)^{1/2}.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning, adim.



C = Coeficiente de homogenización de unidades $= 1 \text{ m}^{1/3}/\text{seg}$, según Arteaga (2009)

x = Coordenada en la dirección longitudinal del cauce, en m.

t = Tiempo, en seg.

Aplicando las ecuaciones (12), (13) y (11) a la ecuación de continuidad (14) y sustituyendo las derivadas por diferencias finitas, y considerando que: $f^{j+1} = f^j + \Delta f$, y que se puede tomar $f^j = f$, así como: $\Delta f = f_i^{j+1} - f_i^j$; $(\Delta f)^2 \cong \Delta f \Delta g \cong 0$, y la parte lineal del desarrollo de Taylor: $(1 + f)^m = 1 + mf + \dots$, se llega a la siguiente expresión:

$$A_i \Delta H_{i+1} + B_i \Delta Q_{i+1} = C_i \Delta H_i + D_i \Delta Q_i + G_i \quad (16)$$

En la que:

$$A_i = 1 - \left(\frac{4\theta \Delta t}{(T_{i+1} + T_i)^2} \right) \left(\frac{dT}{dH} \right)_{i+1} \left(\frac{Q_{i+1} - Q_i}{\Delta x} - q_i \right)$$

$$B_i = \frac{4\theta \Delta t}{\Delta x (T_{i+1} + T_i)}$$

$$C_i = -1 + \frac{4\theta \Delta t}{(T_{i+1} + T_i)^2} \frac{dT_i}{dH_i} \left(\frac{Q_{i+1} - Q_i}{\Delta x} - q_i \right)$$

$$D_i = B_i$$

$$G_i = -\frac{4\Delta t}{T_{i+1} - T_i} \frac{dT_i}{dH_i} \left(\frac{Q_{i+1} - Q_i}{\Delta x} - q_i \right)$$

Igualmente al aplicar las mismas consideraciones anteriores a la ecuación dinámica (15) con la finalidad de discretizarla, considerando adicionalmente

para la ecuación (9) que: $f(x,t) = \frac{QT}{A}$; $f(x,t) \frac{Q}{T}$; etc., así como que:



$$\frac{1}{\Delta f_i + f} = \frac{1}{f_i^j} \left(1 - \frac{\Delta f_i}{f_i^j} \right)$$

$$\frac{1}{(\Delta f_i + f_i^j)^2} = \frac{1}{(f_i^j)^2} \left(1 - 2 \frac{\Delta f_i}{f_i^j} \right)$$

$$(\Delta f_i + f_i^j)^2 \approx f_i^j |\Delta f_i| + 2 |f_i^j| \Delta f_i \text{ y que:}$$

$$\Delta A_i = T_i^j \Delta H_i; \Delta K_i = \left(\frac{dK}{dH} \right)_i \Delta H_i; \Delta T_i = \left(\frac{dT}{dH} \right)_i$$

Y que una vez que se linealiza, por desarrollo de todos los términos en series de potencias y despreciando los términos de segundo orden y mayores, dejando solamente aquellos en los cuales los incrementos ΔH y ΔQ se encuentren a la primera potencia, se llega a la siguiente expresión:

$$\ddot{A}_i \Delta H_{i+1} + \ddot{B}_i \Delta Q_{i+1} = \ddot{C} \Delta H_i + \ddot{D}_i \Delta Q_i + \ddot{G}_i \quad (17)$$

$$\ddot{A}_i = -\frac{1}{2} \left[\frac{Q_{i+1} T_{i+1}}{A_{i+1}} + \frac{Q_i T_i}{A_i} \right] + \theta \frac{\Delta t}{\Delta x} \left\{ -\frac{Q_{i+1} T_{i+1}}{A_{i+1}^2} (Q_{i+1} - Q_i) - T_{i+1} \left[\frac{Q_{i+1}^2}{A_{i+1}^2} + \frac{Q_i^2}{A_i^2} \right] + \right.$$

$$\left. 2 \frac{Q_{i+1}^2}{A_{i+1}^2} \frac{T_{i+1}}{A_{i+1}} (A_{i+1} - A_i) + g T_{i+1} (H_{i+1} - H_i) + g (A_{i+1} - A_i) \right\} +$$

$$\theta \Delta t \left[g \frac{Q_{i+1} |Q_{i+1}|}{K_{i+1}^2} \left(T_{i+1} - \frac{2 A_{i+1}}{K_{i+1}} \frac{dK_{i+1}}{dH_{i+1}} \right) \right] - \frac{Q_{i+1}}{A_{i+1}} \frac{q_i T_{i+1}}{A_{i+1}}$$

$$\ddot{B}_i = 1 + \theta \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[\frac{Q_{i+1}}{A_{i+1}} + \frac{Q_i}{A_i} + \frac{Q_{i+1} - Q_i}{A_{i+1}} - 2 (A_{i+1} - A_i) \frac{Q_{i+1}}{A_{i+1}^2} \right] + \theta \Delta t \left[2g \frac{A_{i+1} |Q_{i+1}|}{K_{i+1}^2} + \frac{q_i}{A_{i+1}} \right]$$



$$\begin{aligned}\ddot{C}_i &= \frac{1}{2} \left(\frac{Q_{i+1} T_{i+1}}{A_{i+1}} + \frac{Q_i T_i}{A_i} \right) - \theta \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[- (Q_{i+1} - Q_i) \frac{Q_i T_i}{A_i^2} + T_i \left(\frac{Q_{i+1}^2}{A_{i+1}^2} + \frac{Q_i^2}{A_i^2} \right) + 2 \frac{Q_i^2}{A_i^2} \frac{T_i}{A_i} (A_{i+1} - A_i) + \right. \\ &\quad \left. g T_i (H_{i+1} - H_i) - g (A_{i+1} - A_i) \right] - \theta \Delta t \left[g \frac{Q_i |Q_i|}{K_i^2} \left(T_i - \frac{2 A_i}{K_i} \frac{dK_i}{dH_i} \right) + \frac{Q_i}{A_i} \left(- \frac{q_i T_i}{A_i} \right) \right] \\ \ddot{D}_i &= -1 - \theta \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[- \frac{Q_{i+1}}{A_{i+1}} - \frac{Q_i}{A_i} + \frac{Q_{i+1} - Q_i}{A_{i+1}} - 2 (A_{i+1} - A_i) \frac{Q_i}{A_i^2} \right] + \theta \Delta t \left(2g \frac{A_i |Q_i|}{K_i^2} + \frac{q_i}{A_i} \right) \\ \ddot{G}_i &= - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[(Q_{i+1} - Q_i) \left(\frac{Q_{i+1}}{A_{i+1}} + \frac{Q_i}{A_i} \right) + (A_{i+1} - A_i) \left(\frac{Q_{i+1}^2}{A_{i+1}^2} + \frac{Q_i^2}{A_i^2} \right) + g (A_{i+1} - A_i) (H_{i+1} - H_i) \right] - \\ &\quad - \Delta t \left[g \left(\frac{Q_{i+1} |Q_{i+1}| A_{i+1}}{K_{i+1}^2} + \frac{Q_i |Q_i| A_i}{K_i^2} \frac{q_i}{A_i} \right) + q_i \left(\frac{Q_{i+1}}{A_{i+1}} + \frac{Q_i}{A_i} \right) \right]\end{aligned}$$

Los coeficientes $\ddot{A}_i, \ddot{B}_i, \ddot{C}_i, \ddot{D}_i$ y $\ddot{G}_i$ pueden ser calculados en cualquier tiempo t_j si los valores de H^j, Q^j, H^{j+1} y Q^{j+1} son conocidos. Indudablemente las funciones A_i (área hidráulica) y K_i (función de conducción), etc., son variables simples estimadas en función del nivel H_i y su forma (expresión polinomial o función tabulada), es conocida. El sistema de ecuaciones conformado con las ecuaciones (16) y (17), puede ser resuelto para cualquier par de puntos (i e $i+1$). Pero ellos no son suficientes para encontrar los valores de $\Delta H_i, \Delta Q_i, \Delta H_{i+1}$, y ΔQ_{i+1} , ya que para estas cuatro incógnitas sólo se tienen dos ecuaciones disponibles. Pero sí se tienen N puntos de cálculo en el modelo ($i = 1, 2, \dots, N$), uno puede escribir $2(N-1)$ de tales ecuaciones para $2N$ incógnitas. Como se deben disponer de dos condiciones de frontera, entonces se tiene un sistema de $2(N-1)+2=2N$ ecuaciones algebraicas para $2N$ de incógnitas (ΔH y ΔQ).



Entonces este sistema puede ser resuelto para cualquier intervalo de tiempo Δt , tal como lo señala Liggett y Cunge (1975), y cualquier método estándar de solución puede ser aplicado, una vez que las condiciones de frontera sean linializadas en términos de ΔQ y ΔH .

Modelo de solución de doble barrido. El sistema de ecuaciones representado por las ecuaciones (16) y (17), puede concretizar su solución a través del método de doble barrido, aplicado por Preissmann y Cunge, citado por Liggett y Cunge (1975), y señalado por Arteaga y León (1996), suponiendo que se tiene una relación lineal del tipo:

$$\Delta Q_i = E_i \Delta H_i + F_i \quad (18) \text{ para una sección } i$$

Si esto es cierto, uno puede considerar analógicamente una relación lineal, siempre y cuando se presente para la siguiente sección $i+1$:

$$\Delta Q_{i+1} = E_{i+1} \Delta H_{i+1} + F_{i+1} \quad (19)$$

Donde:

$$E_{i+1} = \frac{A_i \left(\ddot{C}_i + \ddot{D}_i E_i \right) - \ddot{A}_i (C_i + D_i E_i)}{\ddot{B}_i (C_i + D_i E_i) - B_i \left(\ddot{C}_i + \ddot{D}_i E_i \right)}$$
$$E_{i+1} = \frac{\left(\ddot{G}_i + \ddot{D}_i F_i \right) (C_i + D_i E_i) - (G_i + D_i F_i) \left(\ddot{C}_i + \ddot{D}_i E_i \right)}{\ddot{B}_i (C_i + D_i E_i) - B_i \left(\ddot{C}_i + \ddot{D}_i E_i \right)}$$



Entonces, si la relación de la ecuación (18) existe para cualquier punto del modelo, también es cierto para todos los puntos siguientes. Además, teniéndose una relación recurrente definida por la ecuación (19):

$$E_{i+1} = f(E_i, H_i, \dots), \text{ y } F_{i+1} = f(E_i, F_i, H_i, \dots)$$

Ambos coeficientes E_{i+1} , F_{i+1} pueden ser calculados para cualquier sección $i+1$ si los coeficientes análogos E_i , F_i para las secciones precedentes i (puntos de modelo), son conocidos. La tercera relación es:

$$\Delta H_i = L_i \Delta H_{i+1} + M_i \Delta Q_{i+1} + N \quad (20)$$

En la que: $L_i = \frac{A_i}{C_i + D_i E_i}$; $M_i = \frac{A_i}{C_i + D_i E_i}$; $N_i = \frac{G_i + D_i F_i}{C_i + D_i E_i}$

Las anteriores relaciones recurrentes sugieren el método calculado H_i^{j+1} y Q_i^{j+1} para todas las secciones $i = 1, 2, 3, \dots, N-1, N$ de un tramo dado.

Las condiciones de frontera deberán ser linializadas localmente. Esto significa que se tienen que expresar de la siguiente forma: en la frontera $i=1$, se debe conocer la relación ΔQ_1 , dada por la ecuación (26), es decir, que los coeficientes E_1 y F_1 deben ser conocidos. En la otra frontera $i=N$ se necesita conocer el valor de ΔH_N . Igualmente deben ser conocidas las condiciones iniciales para proceder a la solución correspondiente del sistema de ecuaciones.



5.3.4.1. Condiciones iniciales

El término “Condición inicial”, de acuerdo a French (1985), se refiere al estado inicial del flujo en el canal, al momento de comenzar el régimen no permanente, p. ej., el tirante, la velocidad o el gasto en el tramo al considerar el tiempo en que se inicia el cálculo. Para las condiciones iniciales, Misra et al, (1992) en su estudio de “Transitorios en Redes de Canales”, considera a las velocidades y tirantes en el tiempo $t=0$, bajo flujo permanente, así como, dos diferentes aproximaciones para problemas de ondas crecientes y decrecientes. Para una onda creciente, asociada a un problema de abertura de compuerta, en la cual la descarga inicial es baja, cualquier pequeño error en la especificación de las condiciones iniciales es rápidamente invalidado por los cambios de flujo, relativamente grandes, causado por la propagación de la onda. Para estos casos, la condición inicial es calculada asumiendo el flujo uniforme que podría ocurrir aguas abajo de las desviaciones.

Para las condiciones iniciales, necesarias para el cálculo de las condiciones del estado transitorio, de acuerdo a Chaudhry (1987), se requiere conocer el flujo inicial del régimen permanente, esto es tirantes y velocidades, conocidas en todas las secciones del sistema. Si estas condiciones no satisfacen las ecuaciones de Saint Venant, entonces se generan pequeñas oscilaciones; estos disturbios hipotéticos pueden ser encubiertos en la solución actual del sistema.



Para evitar lo anterior, Chaudhry (1987), destaca que se pueden utilizar cualquiera de los siguientes procedimientos:

1.- Empezar con cualquier condición inicial, tal como considerar en todas las secciones del sistema, velocidad cero y tirantes constantes y las condiciones de frontera mantenerlas igual a las condiciones iniciales del régimen permanente. Usando las ecuaciones de Saint Venant, las condiciones iniciales del sistema son calculadas hasta que las variaciones de las condiciones de flujo sean despreciables y tengan convergencia a los valores permanentes de las condiciones de frontera originales. Sobre esto el Instituto de Investigaciones Eléctricas I.I.E. (1980), indica que no es necesario dar las condiciones muy precisas, esto es que en lugar de la curva de remanso, se pueden suponer valores de tirantes y velocidades y dar un tiempo de “calentamiento” para que el programa calcule las condiciones iniciales antes que comience el transitorio. Entre más alejados sean los valores supuestos más tardará en llegar a los valores verdaderos. De cualquier forma no se recomienda intentar afinar demasiado las condiciones iniciales ya que su efecto se desvanece con el tiempo; en general el I.I.E. (1980) recomienda tiempos que varían de 10 a 20 Δt como suficientes para el “calentamiento”.

2.- Las condiciones iniciales son determinadas resolviendo la ecuación diferencial del Remanso (22) que describe el flujo gradualmente variado bajo régimen permanente en canales abiertos. En opinión de Chaudhry (1987), es recomendable este método como más efectivo, ya que el anterior, en los



esquemas de diferencias finitas pueden converger incorrectamente a las condiciones iniciales, adicionalmente que requiere mayor cantidad de tiempo de computadora.

Este método se basa en el régimen permanente con flujo gradualmente variado,

y puede ser obtenido de la ecuación (4), considerando que $-\frac{\partial Z}{\partial x} = S_o$, que $q=0$,

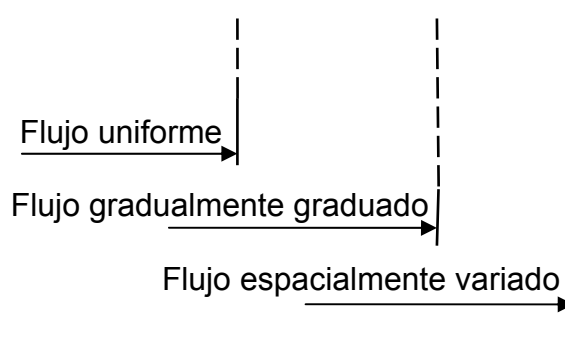
$\frac{\partial v}{\partial t} = 0$, y dividiendo entre y , se llega a:

$$S_f = S_o - \frac{dy}{dx} - \frac{v}{g} \frac{dv}{dx} = \frac{v^2 n^2}{r^{4/3}} = \frac{Q^2 n^2}{A^2 r^{4/3}}$$

Como: $v = \frac{Q}{A}$, $S_f = S_o - \frac{dy}{dx} - \frac{Q}{gA} \frac{d}{dx} \left(\frac{Q}{A} \right)$

Desarrollando y ordenando se tiene, en lo general el régimen permanente no uniforme:

$$S_f = S_o - \frac{dy}{dx} + \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx} - \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx} \quad (21)$$



El flujo espacialmente variado se presenta cuando se tienen vertedores laterales (desagües totales o parciales) o descargas de fondo a lo largo de la longitud del eje del canal.



Para el flujo gradualmente variado: $\frac{dQ}{dx} = 0$ y considerando que: $dA = Tdy$, la

ecuación (21) queda:

$$S_f = S_o - \left(1 - \frac{Q^2 T}{g A^3}\right) \frac{dy}{dx} \quad (21.a)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_o - S_f}{1 - \frac{Q^2 T}{g A^3}} \quad (22)$$

La ecuación (22) representa el Régimen permanente con flujo gradualmente variado, conocida como Ecuación Diferencial del Remanso.

Utilizando el método de diferencias finitas con esquema implícito para resolver la ecuación (22), complementado con el método de doble barrido para solucionar el sistema de ecuaciones simultáneas resultante; se tiene para la ecuación (21.a) de acuerdo a la Figura 3, para diferencias finitas:

$$\left(1 - \frac{Q_i^2 T_i}{g_i A_i^3}\right) \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta x}\right) + \frac{Q_i^2 n_i^2}{A_i^2 R h_i^{4/3}} - S_o = 0 \quad (23)$$

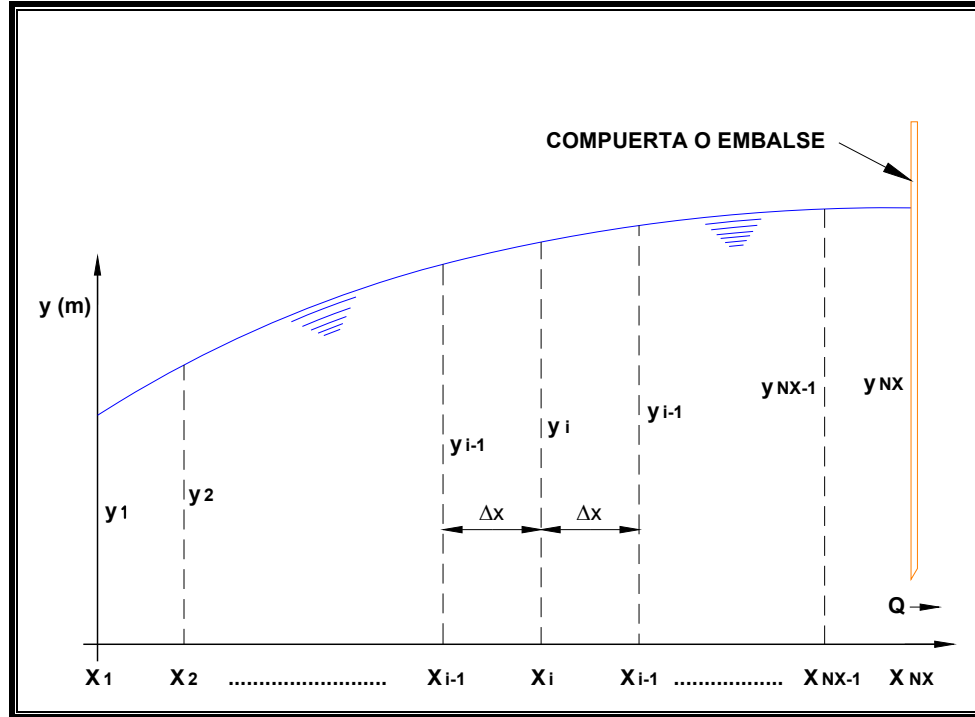


Figura 3. Esquemas para la aplicación del método numérico en la solución de la ecuación del régimen gradualmente variado.

Donde: dy/dx se aproximó como sigue:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta x} \quad y \quad S_f = \frac{Q_i^2 n_i^2}{A_i^2 R h_i^{4/3}}$$

La ecuación (23) puede expresarse de la forma:

$$DD_i y_i + EE_i y_{i+1} = FF_i \quad (24)$$

Donde:

$$DD_i = \frac{1}{\Delta x} \left(-1 + \frac{Q_i^2 T_i}{g A_i^3} \right)$$

$$EE_i = -DD_i$$

$$FF_i = S_{o_i} - \frac{Q_i^2 n_i^2}{A_i^2 R h_i^{4/3}}$$



Despejando y_i de la ecuación (24), se tiene:

$$y_i = \frac{FF_i - EE_i y_{i+1}}{DD_i} \quad (25)$$

Como se conoce el gasto en régimen permanente ($Q_i=Q_{\text{const}}$ para todo y) y el tirante de operación aguas abajo (y_{NX}), los tirantes en el resto de las secciones pueden calcularse de acuerdo al siguiente proceso iterativo, establecido por Arteaga (1997):

- a) Suponer inicialmente que el tirante es constante, con un valor igual a una fracción de y_{NX} (p. ej.: $y_i=0.9y_{\text{NX}}$, para $i=1, 2, 3, \dots, \text{NX}-1$).
- b) Calcular los coeficientes de la ecuación (24) para $i=1, 2, \dots, \text{NX}-1$.
Cuando se tenga aportación o extracción del gasto lateral, en vista que este se presenta en forma puntual, en la sección de ubicación de la estructura se hace la adición o sustracción correspondiente.
- c) Utilizando la ecuación (25) en forma recurrente, se obtiene una solución mejorada de los tirantes.
- d) Los pasos b) y c) constituyen una iteración. Mediante iteraciones sucesivas puede mejorarse la solución, hasta dejar satisfecho un criterio de convergencia definido.

El criterio de convergencia utilizado fue el de sustituir los tirantes obtenidos en la ecuación (25) para $i=1, 2, \dots, \text{NX}-1$ y detener el proceso iterativo cuando queden satisfechas las ecuaciones con una diferencia menor a un valor de 0.00001.



5.3.4.2. Condiciones de frontera

El término “Condición de frontera”, según French (1985), se refiere a la definición del tirante, de la velocidad o del gasto en los extremos, superior o inferior, del tramo, al considerar todos los tiempos desde el inicio del cálculo.

Para los modelos unidimensionales, existen dos tipos de condiciones de frontera: EXTERIORES, ubicadas en los extremos de la longitud del canal considerado, integra por uno o varios tramos, para modelar las características del flujo no permanente, e INTERIORES, ubicadas en las partes intermedias de los mismos, según lo señalan Liggett y Cunge (1975), así como Husain, et al (1988).

Para una conformación de varios tramos de canal, similar a como los considera Balogun et al (1988), Mohan et al (1992), o Mohan (1990), se muestra en la Figura 4.

En la actualidad, en cualquier tramo independiente bastante regular se puede considerar la aplicación de las ecuaciones de flujo gradualmente variado en forma separada, aplicando las ecuaciones de Saint Venant. Sin embargo, si este tramo se encuentra unido a otros tramos, se deben proporcionar ciertas condiciones especiales de compatibilidad en las fronteras que les son comunes, entre los tramos. Estas condiciones de compatibilidad son por lo general muy similares y pueden ser: condiciones de continuidad para el gasto, y otra condición que usualmente se tiene, se refiere a la compatibilidad del nivel del



agua o de la línea de energía. Entre las estructuras que pueden integrar estas condiciones de frontera están: compuertas deslizantes o radiales, vertedores, sifones, alcantarillas, ampliaciones o reducciones de sección, etc., según lo destacan Liggett y Cunge (1975), Misra et al (1992), y adicionalmente Husain et al (1988), consideran a las caídas y Gichuki et al (27), a las plantas de bombeo, como condición de frontera interior.

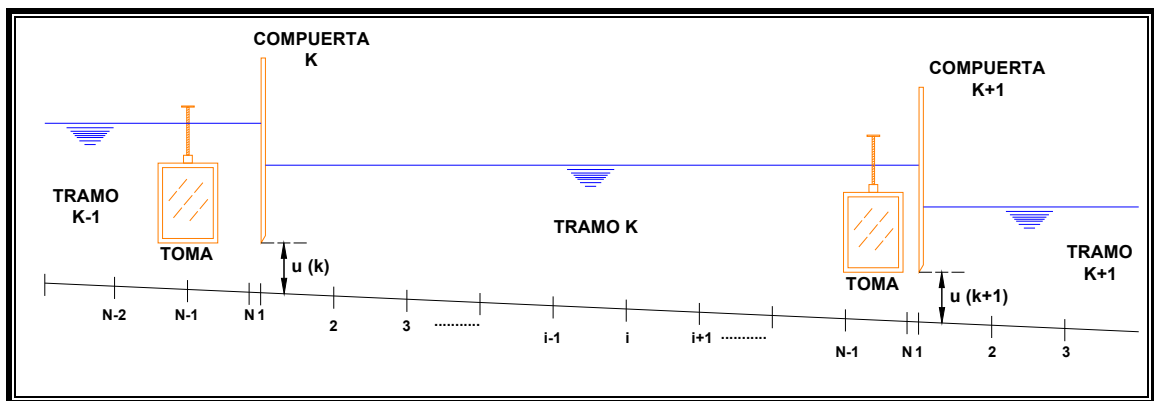


Figura 4. Discretización espacial de tramos de canal, seleccionando N nodos para cada uno de ellos, para los cuales se realizan los cálculos para aproximar la solución.

5.3.4.2.1. Condiciones de fronteras exteriores.

Como fue observado en el método de doble barrido de solución de ecuaciones algebraicas, para las condiciones de frontera exteriores, en los límites del modelo, deben proporcionarse cualquiera de los valores, ya sea de los coeficientes E_1 , F_1 , o de los incrementos del nivel del agua ΔH_N .

En el esquema de Preissmann se pueden tener tres tipos de condiciones de frontera exteriores para ambos límites de la longitud de canal considerada para



simular, aguas arriba y aguas abajo, de la misma, así de acuerdo a Liggett y Cunge (1975), pueden ser:

- 1) Limnigrama.
- 2) Hidrograma.
- 3) Relación Nivel-Gasto.

Frontera exterior aguas arribas al inicio de la longitud considerada. Las condiciones anteriores se examinan en este orden, cuando se analiza el problema de encontrar E_1 y F_1 , para el tramo $K=1$:

1) Limnigrama conocido. [se proporciona: $H_1=H_1(t)$].

Aquí se busca determinar el coeficiente E_1 y F_1 en la ecuación (18), arrojando:

$$\Delta H_1 = E_1 \Delta H_1 + F_1 \quad (26)$$

El nivel del agua en el tiempo " $j \Delta t$ " (H_1^j) es conocido, así como el nivel del agua en el tiempo " $(j+1) \Delta t$ ": $H_1^{j+1} = H_1(t_j + \Delta t)$, consecuentemente ΔH_1 es un valor conocido.

Así de la ecuación (26):

$$\Delta H_1 = \frac{\Delta Q_1}{E_1} - \frac{F_1}{E_1} \quad (27)$$

En este caso ΔH_1 es independiente de ΔQ_1 . Indudablemente que el propósito es tener ΔH_1 igual a un valor dado, lo que el valor calculado de ΔQ_1 es o estará condicionado. Para lograr lo anterior: $E_1 = \alpha$; y

$$F_1 = -\alpha \{H[(j+1)\Delta t] - H_1^j\} \quad (28)$$



Donde: $\alpha \gg \Delta Q_1$

El coeficiente α debe tener un valor muy grande, siendo del orden de 10^4 a 10^6 , así para cuando los cálculos sean hechos, se llega a qué:

$$\Delta H_1 \cong 0 + H[(j+1)\Delta t] - H_1^j = \Delta H_1$$

2) Hidrograma conocido. [se proporciona: $Q_1=Q_1(t)$].

Aquí E_1 y F_1 pueden ser determinadas a través de la ecuación.

$$\Delta Q_1 = Q(t_j + \Delta t) - Q_1^j$$

De acuerdo con la ecuación (26), ΔQ_1 depende de ΔH_1 , pero puede llegar a ser independiente de ΔH_1 para usarse como una condición de frontera arbitraria.

Poniendo así a:

$$E_1 = 0; \quad y \quad F_1 = Q(t_j + \Delta t) - Q_1^j \quad (29)$$

Entonces, sobre el valor calculado de ΔH_1 , ΔQ_1 deberá ser siempre igual al valor de la condición de frontera.

3) Relación Nivel-Gasto. [se proporciona: $Q=f(H)$].

Para el presente caso $Q=f(H)$, siendo cualquier función tabulada o polinomial.

Los coeficientes requeridos son: E_1 y F_1 de la expresión dada por la ecuación (26), o de otra manera: $Q_1^{j+1} - Q_1^j = \Delta Q_1$, donde: Q_1^j es el valor calculado previamente en el proceso de simulación, para la condición dada:

$$Q_1(t_j + \Delta t) = f(H^j) + \frac{df}{dH_1} \Delta H_1$$



Similarmente:

$$Q_1^j + \Delta Q_1 = f(H^j) + \frac{df}{dH_1} \Delta H_1$$

Sobre la solución para ΔQ_1 :

$$\Delta Q_1 = f(H^j) - Q_1^j + \frac{df}{dH_1} \Delta H_1$$

Siendo:

$$E_1 = \frac{df}{dH_1} \quad \text{y} \quad F_1 = f(H^j) - Q_1^j \quad (30)$$

Obviamente en estas expresiones: $E_1 \approx 0$ pero nunca es exactamente igual a cero por errores de truncado y otros. Por lo tanto F_1 queda como un factor de corrección.

Frontera exterior aguas abajo al final de la longitud considerada. Cuando el problema es encontrar ΔH_N , para el tramo $K = \text{NTRC}$ (No. de TRamos de Canal), se puede seguir el siguiente procedimiento:

1) Limnigrama conocido. [se proporciona: $H_N = H_N(t)$]

Cuando se conozca la Relación del Nivel a través del tiempo (Limnigrama), entonces:

$$\Delta H_N = H(t_j + \Delta t) - H_N^j \quad (31)$$

Determinado del mismo Limnigrama.



Hidrograma conocido. [se proporciona: $Q_N=Q_N(t)$]

Cuando se conozca la Relación del Gasto a través del Tiempo (Hidrograma), entonces de la ecuación (18) para la sección N, se tiene:

$$\Delta H_N = \frac{\Delta Q_N - F_N}{E_N} \quad (32)$$

2) Relación Nivel-Gasto. [se proporciona: $Q_N=F(H_N)$]

Cuando se conoce la relación Nivel-Gasto en la sección N, entonces:

$$f(H_N^j) + \frac{df}{dH_N} \Delta H_N = E_N \Delta H_N + F_N + Q_N^j$$

Y por lo tanto:

$$\Delta H_N = \frac{f(H_N^j) - F_N - Q_N^j}{E_N - \frac{df}{dH_N}} \quad (33)$$

5.3.4.2.2. Condiciones de frontera interiores

Para cuando se tienen dos o más tramos de canal, en sus fronteras comunes son calculados los coeficientes E, F, los cuales se determinan automáticamente para la sección N, del tramo K-1, así como también se hace para la sección N-1 de dicho tramo. Para continuar con el cálculo se vuelve necesario determinar E_1, F_1 del tramo posterior (K); y por un procedimiento recurrente pueden ser determinados: $E_2, F_2, \dots, E_3, F_3, \dots$, etc., para el mismo tramo, de acuerdo a una adaptación del autor a lo señalado por Liggett y Cunge (1975), sobre estos aspectos.



Por lo que los coeficientes L_N , M_N Y N_N , de la sección N del tramo K-1, son igualmente necesarios en forma ordenada para calcular ΔH_N del tramo K-1, debiendo conocerse ΔH_1 y ΔQ_1 del tramo K. Todos estos coeficientes dependen de las características y del tipo de la estructura K.

Si por las condiciones de la estructura K, el gasto en la sección N, del tramo K-1, es igual al gasto de la sección 1, del tramo K ($Q_{K-1,N}^j = Q_{K,1}^j$), como puede ser lo que suceda en una compuerta o en un vertedor, esto es, que satisfaga la condición de continuidad (no exista una derivación de gasto, en caso contrario: $Q_{K,1}^{j+1} = Q_{K-1,N}^{j+1} - Q_{TL}^{j+1}$), según se puede observar en las Figura 5, entonces se tiene:

$$Q_{K,1}^j + \Delta Q_{K,1} = Q_{K-1,N}^j + \Delta Q_{K-1,N} \quad (34)$$

Ya que: $\Delta Q_{K-1,N} = E_{K-1,N} \Delta H_{K-1,N} + F_{K-1,N}$ y puesto que:

$H_{K-1,N}^j + \Delta H_{K-1,N} = H_{K,1}^j + \Delta H_{K,1} + h$, se obtiene de aquí:

$$\Delta H_{K-1,N} = \Delta H_{K,1} + (H_{K,1}^j - H_{K-1,N}^j + h) \text{ y}$$

$$\Delta Q_{K-1,N} = E_{K-1,N} \Delta H_{K,1} + E_{K-1,N} (H_{K,1}^j - H_{K-1,N}^j + h) + F_{K-1,N}$$

Sustituyendo las ecuaciones anteriores en la ecuación (34), se llega a:

$$\Delta Q_{K,1} = E_{K-1,N} \Delta H_{K,1} + [Q_{K-1,N}^j - Q_{K,1}^j + F_{K-1,N} + E_{K-1,N} (H_{K,1}^j - H_{K-1,N}^j + h)] \quad (35)$$

Que de acuerdo con la ecuación (18), para la expresión (35), se tiene que:

$$E_{K,1} = E_{K-1,N}$$

$$F_{K,1} = Q_{K-1,N}^j - Q_{K,1}^j + F_{K-1,N} + E_{K-1,N} (H_{K,1}^j - H_{K-1,N}^j + h)$$



Los coeficientes L_N , M_N y N_N se pueden modificar en la siguiente relación:

$$\Delta H_{K-1,N} = \Delta H_{K,1} + (H_{K,1}^j - H_{K-1,N}^j + h) \quad (36)$$

Para la cual, de acuerdo a la ecuación (20), sus coeficientes toman los valores siguientes, para conformar la ecuación anterior:

$$L_{K-1,N} = 1, \quad M_{K-1,N} = 0 \quad \text{y} \quad N_{K-1,N} = H_{K,1}^j - H_{K-1,N}^j + h$$

Las condiciones de compatibilidad se tienen que linealizar y entonces expresar los coeficientes E_1 y F_1 , del tramo K, como funciones de los valores conocidos y de los coeficientes E_N y F_N , del tramo K-1. También para el segundo barrido, los valores de los coeficientes L_N , M_N y N_N del tramo K-1 tienen que ser calculados y almacenados.

5.3.5. Estructuras de control que sirven como condición de frontera y sus modelos en régimen no permanente

En una estructura hidráulica, los efectos de esta estructura son representados por una relación funcional carga-gasto, así como por la ecuación de continuidad a través de la estructura. Un nodo es definido directamente antes, y otro nodo directamente después de la estructura. En lugar de aplicar las ecuaciones de Saint Venant entre los nodos, como si existiera un tramo conectado a los nodos, deben ser aplicadas las ecuaciones de continuidad y la relación funcional carga-gasto de la estructura. De esta forma, el par de ecuaciones para la estructura, pueden recibir el mismo tratamiento para el algoritmo como las ecuaciones de Saint Venant, tal como lo señala Swain y Chin (1990), así como Husain et al



(1988). En lo general, la ecuación representativa de la relación funcional carga-gasto de la estructura, para cuando se tiene descarga ahogada, comúnmente está dada por la forma: $Q = f(H_{K-1,N}, H_{K,1})$, donde: Q=gasto a través de la estructura y $H_{(K-1,N)}$ y $H_{(K-1)}$ son los niveles de agua antes y después de la estructura. Para descarga libre, esta ecuación toma la forma $Q=f(H_{K-1,N})$. Para colocar la primera de estas expresiones en forma similar a la ecuación de momentum, puede ser escrita como:

$$f(H_{K-1,N}, H_{K,1}) - Q = 0 \quad (37)$$

La ecuación de continuidad a través de la estructura está dada por:

$$Q_{K-1,N} - Q_{K,1} = 0 \quad (38)$$

Siendo:

$Q_{K-1,N}$ = gasto aguas arriba de la estructura.

$Q_{K,1}$ = gasto aguas abajo de la estructura.

A partir de los coeficientes de la ecuación (37) puede ser hecha una función de tiempo y la relación funcional carga-gasto puede ser variada durante la simulación. Esto debe ser más útil en la modelación de las acciones de apertura o cierre de compuertas.

5.3.5.1. Compuertas

Las compuertas de control, utilizadas para mantener niveles aguas arriba de las mismas, y proporcionar gastos aguas abajo, según lo señala Arteaga (1992), la simulación de ellas es de relativa facilidad para analizar si las ideas esenciales



son debidamente comprendidas. En su mayor parte uno tiene que realizar el proceso, sin la necesidad de representar exactamente la estructura de control real. Si la compuerta real es simulada por una ficticia, las aberturas de la misma puede ser totalmente diferentes respecto a las aberturas reales. No obstante, si ambas son consideradas bajo la misma ley de descarga, los niveles y gastos deben ser los mismos, según lo destaca Cunge y Woolhiser (1975).

Desde que Wylie (1969) en 1969 introdujo el concepto de flujo controlado en canales y demostrado su aplicación al caso de un tramo simple de canal con compuertas de control en los extremos, y que Bodley y Wylie (1978) en 1978, publicaran su estudio sobre “Control de Transitorios con Compuertas en Series de Canales”, en el que introducen el concepto de “Gate-Stroking” (compuerta cargada) que permite los movimientos de compuertas en canales, con el objeto de proporcionar los cambios deseados, para satisfacer las exigencias de la demanda, en diversos tramos de canal; varios autores han analizado este aspecto, pudiendo descartarse a Husain et al (1991), a Strelkoff (1996), Zimbelman et al (1983), Liu et al (1995), Rodellar et al (1993) y Ruiz C et al (1991).

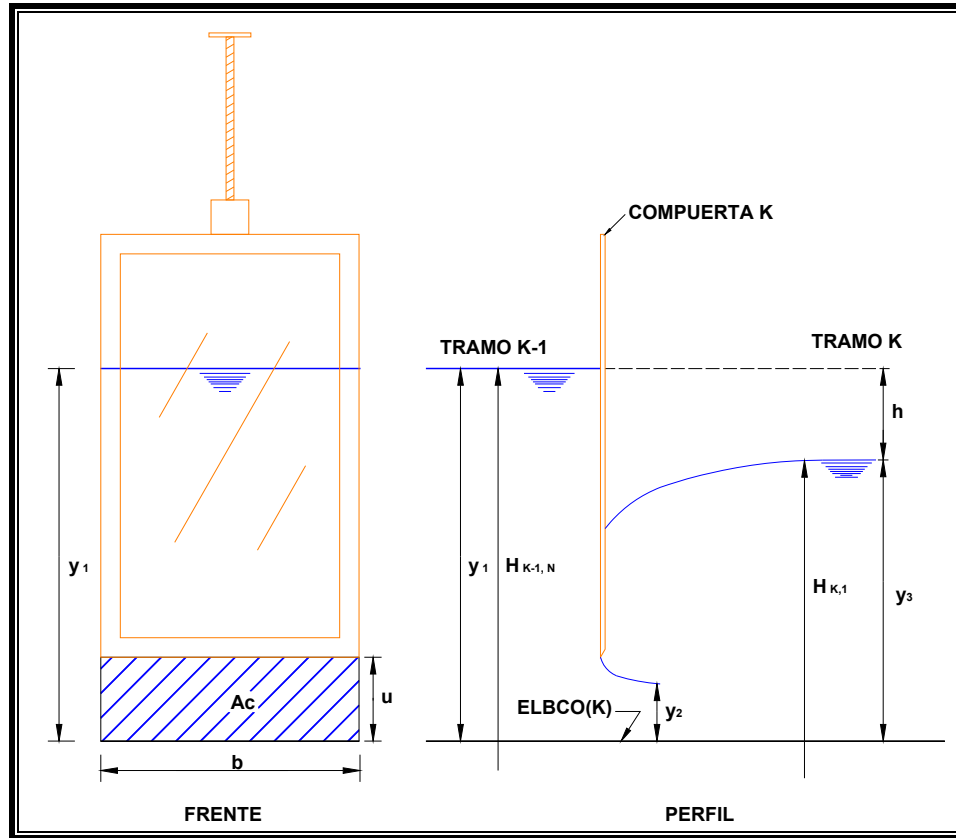


Figura 5. Compuerta deslizante rectangular, como condición de frontera.

Para la modelación de las compuertas, varios autores coinciden que la expresión de gasto para orificios es la que permite realizarla, destacándose a Bodley y Wylie (1978), Husain et al (1991), Huncu y Dan (28), Rodellar et al (1993), Mohan et al (1992) y Arteaga (2009 y 1992); teniéndose entonces como modelo representativo de las compuertas a:

$$Q = C_d A_c \sqrt{2gh} = C_d b u \sqrt{2g} h^{1/2}$$

$$Q = C_d b \sqrt{2g} \cdot u h^{1/2} \quad (39)$$

Las condiciones de funcionamiento de las compuertas, de acuerdo a Cunge y Woolhiser (1975), observando la Figura 5, si $y_3 \geq 2/3 y_1$ se tiene descarga libre y



si $u \leq 2/3 y_1$ entonces para la ecuación (39): $h = y_1 = H_{(K-1,N)} - ELBCO_{(K)}$, donde: $ELBCO_{(K)}$ = Elevación de la Base de la Compuerta K; si $u > 2/3 y_1$, entonces debido a una abertura considerable de la compuerta, se presenta un funcionamiento como vertedor con descarga libre, para lo cual la ecuación (39), de acuerdo a Bakhmeteff, citado por Arteaga (1992), se transforma a:

$$Q = 0.385b\sqrt{2g} y_1^{3/2} \quad (40)$$

Por otro lado, si resultó $y_3 > 2/3 y_1$, se presenta el flujo con descarga ahogada, y si $u \leq y_3$ entonces en la ecuación (39): $h = y_1 - y_3 = H_{(K-1,N)} - H_{(K-1)}$, si $u > y_3$, entonces se tendría una abertura demasiado grande dejando de funcionar como orificio, pasando a funcionar como vertedor con descarga ahogada, entonces la ecuación (39), de acuerdo a Cunge y Woolhiser (1975), se transforma a:

$$Q = C_o b \sqrt{2g} (y_3 \sqrt{y_1 - y_3}) \quad (41)$$

Para analizar la ecuación (39), y poder expresarla en función del tiempo se utiliza la serie de Taylor, despreciando los términos de segundo orden en adelante, que para cuando la abertura de la compuerta permanece constante, resulta:

$$Q^{j+1} = Q^j + \frac{\partial Q}{\partial t} \Delta t = Q^j + \left(\frac{\partial Q}{\partial h} \right) (h^{j+1} - h^j) \quad (42)$$

La variación parcial del gasto respecto a la carga $\frac{\partial Q}{\partial h}$, según la ecuación (39), es:

$$\frac{\partial Q}{\partial h} = \frac{u}{2h} C_d b \sqrt{2g} \cdot h^{1/2} \text{ pero como: } C_d b u \sqrt{2g} \cdot h^{1/2} = Q^j, \text{ se tiene:}$$



$$\frac{\partial Q}{\partial h} = \frac{Q^j}{2h} \quad (43)$$

Conociendo los limnigramas aguas arriba y aguas abajo de la compuerta, sin variar la abertura de la misma, para conocer el gasto aguas abajo, se obtiene sustituyendo la ecuación (43) en la ecuación (42):

$$Q^{j+1} = Q^j + \frac{Q^j}{2h^j} (h^{j+1} - h^j) \quad (44)$$

Donde:

$$\left. \begin{aligned} H^j &= H_{(K-1,N)}^j - H_{(K,1)}^j \\ h^{j+1} &= H_{(K-1,N)}^{j+1} - H_{(K,1)}^{j+1} \end{aligned} \right] \text{Para descarga ahogada}$$

$$\left. \begin{aligned} h^j &= H_{(K-1,N)}^j - ELBCO_{(K)} \\ h^{j+1} &= H_{(K-1,N)}^{j+1} - ELBCO_{(K)} \end{aligned} \right] \text{Para descarga libre}$$

Así para descarga ahogada, se tiene:

$$Q^{j+1} = Q^j + \frac{Q^j}{2|H_{(K-1,N)}^j - H_{(K,1)}^j|} (H_{(K-1,N)}^{j+1} - H_{(K,1)}^{j+1}) - \frac{Q^j}{2|H_{(K-1,N)}^j - H_{(K,1)}^j|} (H_{(K-1,N)}^j - H_{(K,1)}^j) \quad (45)$$

Los valores absolutos en la ecuación anterior consideran el caso de que el flujo se invierta. Nótese que si $H_{(K-1,N)}^{j+1} = H_{(K,1)}^{j+1}$ el gasto no se anula debido a la

“inercia” del agua o sea que: $Q_{(K-1,N)}^{j+1} = \frac{Q_{(K-1,N)}^j}{2}$, según lo señala Berezowsky y

Gracia (1980).

Conociendo el limnigrama aguas arriba y el hidrograma aguas abajo de la compuerta, sin variar la abertura de la misma, se puede conocer $H_{(K-1,N)}^{j+1}$ al



inicio del tramo K, por lo que despejando esa variable de la ecuación (45), se llega a:

$$H_{(K,1)}^{j+1} = H_{(K-1,N)}^{j+1} - \left[2 \left| H_{(K-1,N)}^j - H_{(K,1)}^j \right| \left(\frac{Q^{j+1}}{Q^j} - 1 \right) + \left(H_{(K-1,N)}^j - H_{(K,1)}^j \right) \right] \quad (46)$$

Para cuando la abertura de la compuerta (u) se considere deba ser variable, aplicando igualmente la serie de Taylor, despreciando los términos de segundo orden en adelante, se tiene:

$$Q^{j+1} = Q^j + \frac{\partial Q}{\partial t} \Delta t = Q^j + \left(\frac{\partial Q}{\partial h} \right) (h^{j+1} - h^j) + \left(\frac{\partial Q}{\partial u} \right) (u^{j+1} - u^j) \quad (47)$$

La variación parcial del gasto con respecto a la abertura $\left(\frac{\partial Q}{\partial u} \right)$, se obtiene derivando la ecuación (39), respecto a la abertura:

$$\frac{\partial Q}{\partial u} = C_d b \sqrt{2g} \cdot h^{1/2} \quad (48)$$

Conociendo los limnigramas aguas arriba y aguas abajo de la compuerta, así como las aberturas de ésta, se puede conocer el gasto para el tiempo j+1 (Q^{j+1}), para lo cual se sustituye la ecuación previa a la (43) y la (48), en la ecuación (47):

$$Q^{j+1} = Q^j + C_d b \sqrt{2g} (h^j)^{1/2} \left[\frac{u^j}{2h^j} (h^{j+1} - h^j) + (u^{j+1} - u^j) \right] \quad (49)$$

Conociendo el limnigrama aguas arriba, así como el hidrograma aguas abajo, con los cuales se determina el limnigrama pasando la compuerta, se puede obtener la abertura de esta para el tiempo j+1 (u^{j+1}), por lo que despejándola de la ecuación (49):



$$u^{j+1} = u^j + \left[\frac{Q_i^{j+1} - Q_i^j}{C_d b \sqrt{2g} (h^j)^{1/2}} - \frac{u^j}{2} \left(\frac{h^{j+1}}{h^j} - 1 \right) \right] \quad (50)$$

Donde:

u^{j+1} = abertura de la compuerta en el tiempo (j+1), a una separación Δt del que esta simulado, en m.

Para descarga ahogada, conociendo el limnigrama aguas arriba y el hidrograma aguas abajo de la compuerta, así como las aberturas de la misma, para conocer el valor del nivel $H_{(K,1)}^{j+1}$, aguas abajo de la compuerta, se obtiene despejándolo de la ecuación (48):

$$H_{(K,1)}^{j+1} = H_{(K-1,N)}^{j+1} - \frac{2|H_{(K-1,N)}^j - H_{(K,1)}^j|}{u^j} \left[\frac{Q^{j+1} - Q^j}{C_d b \sqrt{2g} |H_{(K-1,N)}^j - H_{(K,1)}^j|^{1/2}} - (u^{j+1} - u^j) \right] - (H_{(K-1,N)}^j - H_{(K,1)}^j) \quad (51)$$

5.3.6. Calibración en el régimen no permanente

La calibración de un modelo es el proceso mediante el cual se determinan valores correctos de los coeficientes de gasto en compuertas y vertedores, así como la rugosidad en canales.



5.3.6.1. Metodología de calibración

- a) Definición y características geométricas y determinación de los puntos de cálculo (secciones) en los cuales van a ser obtenidas las pérdidas de energía.
- b) Los cálculos ensayados, se conforman corridas del programa, para una serie de flujos permanentes. Por lo regular varios perfiles de Superficie Libre del Agua (S.L.A.) serán conocidos, así como los correspondientes gastos cercanamente a los permanentes. La calibración del modelo consiste en variar el coeficiente de rugosidad para los puntos de cálculo hasta lograr una coincidencia muy próxima de los niveles de agua entre los calculados y observados.
- c) Se verifican los valores de coeficiente de rugosidad, reproduciendo las diferentes curvas de Flujo Gradualmente Variado (F.G.V.) que sirvieron de base para su determinación, corriendo el modelo de flujo no permanente para condiciones de frontera constantes a través del tiempo.
- d) Se validan los anteriores resultados reproduciendo los transitorios que comprendan a todas aquellas curvas de F.G.V., para lo cual se correrá el modelo de flujo no permanente y si se da una buena reproducción del fenómeno se está en condiciones de simular las alternativas de flujo que se puedan presentar en ese canal.



5.3.6.2. Metodología de calibración para el canal

La calibración del modelo de flujo no permanente en canales, es el procedimiento en el cual se determinan los parámetros que tienen influencia en el mismo y debido a sus características no pueden ser medibles físicamente, para canales únicamente es el coeficiente de rugosidad de Manning (n).

El objetivo de la calibración de un canal, según lo señala Fread y Smith (1978), es buscar un valor óptimo del coeficiente de rugosidad (n) que minimice el valor absoluto de las diferencias entre los valores estimados (calculados) de los niveles de agua ($\hat{H}$) y los valores observados (medidos) (H), pudiendo utilizarse una estrategia de ensayo y error.

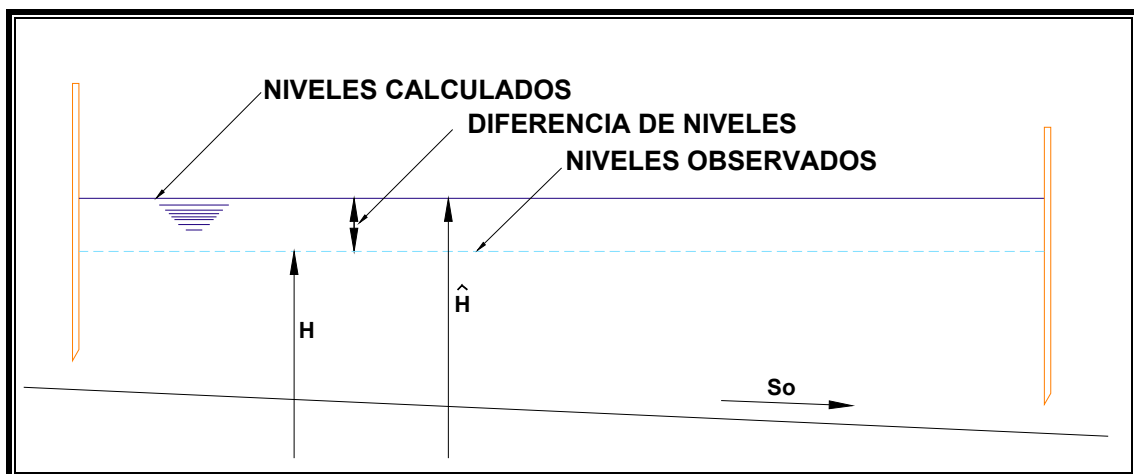


Figura 6. Elementos para la calibración de un tramo de canal.

Para lograr el objetivo anterior se sigue el procedimiento:

- 1.- Se define el número de gastos (o estratos de observación)
- 2.- Para cada estrato de observación se estiman los valores iniciales del coeficiente de rugosidad (n), como si se tuviera flujo uniforme, de acuerdo a



cada estrato de gasto y sus niveles observados, por lo cual acorde al modulo de sección:

$$\frac{Q_n}{S^{1/2}} = Ar^{2/3} \quad \therefore \quad n = \frac{Ar^{2/3}}{Q} S^{1/2} \hat{H} \quad \text{pero:} \quad S = \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

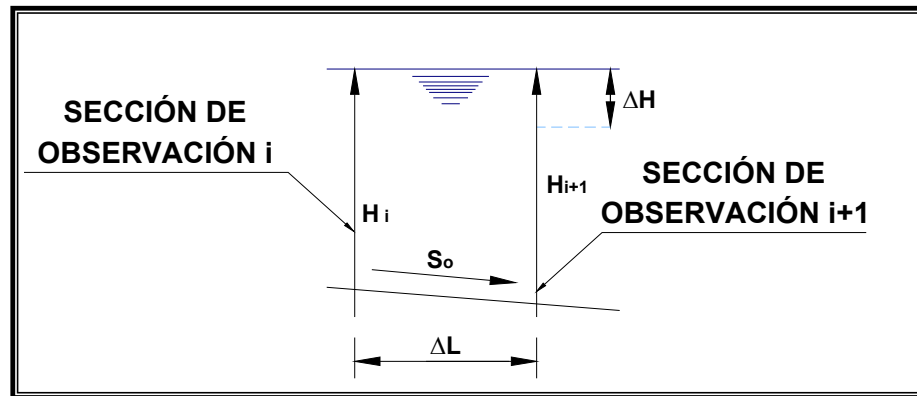


Figura 7. Identificación de secciones de observación, con fines de calibración de un canal.

Comenzando de aguas abajo del tramo, hacia aguas arriba, con el tirante observado en la última sección, según se observa en la Figuras 6 y 7, se tiene:

$$n_i = \frac{1}{2} \left(\frac{A_i r_i^{2/3}}{Q_i} + \frac{A_{i+1} r_{i+1}^{2/3}}{Q_{i+1}} \right) \left(\frac{|H_i - H_{i+1}|}{\Delta L} \right)^{1/2} \quad (52)$$

- 3.- Con el valor o valores anteriores se calcula la curva de Flujo Gradualmente Variado (F.G.V.), determinándose los valores estimados de niveles (calculados).
- 4.- Con lo anterior se inicia un proceso iterativo, siguiendo una técnica de ensayo y error, partiendo de los valores iniciales de “n”, determinar el valor respectivo del nivel o niveles del agua, para continuar con lo siguiente.



- a) Se determina la diferencia de niveles, calculado y observado:

$$\Delta H_i = \hat{H}_i - H_i$$

- b) Se eleva al cuadrado:

$$\Delta H_i^2 = \left(\hat{H}_i - H_i \right)^2$$

- c) Si: $\Delta H_i^2 < 0.0004$ (surgido del nivel de precisión con el cual normalmente se mide la S.L.A. en un canal, que debido al oleaje es alrededor de 0.02 m), se termina el proceso, si no es así se calcula el nuevo valor del coeficiente de rugosidad, bajo las consideraciones siguientes:

- d) Si ΔH es positivo el coeficiente de rugosidad inicial se disminuye, según la estrategia siguiente, la cual se basa en la experiencia científico-técnica en condiciones de producción mostradas por Arteaga (1997):

d.1) Si $\Delta H \geq 0.3\text{m} \therefore n_i = n_i - 0.01$

d.2) Si $0.1 < \Delta H < 0.3\text{m} \therefore n_i = n_i - 0.005$

d.3) Si $\Delta H \leq 0.1\text{m} \therefore n_i = n_i - 0.001$

en estas si el valor del coeficiente de rugosidad llega a uno por abajo de 0.003, se suspende el cálculo y remite al usuario a revisar la información de las estaciones de observación adjuntas.



- e) Si ΔH es negativo el coeficiente de rugosidad inicial se aumenta, según la estrategia siguiente, tomando como base la misma situación:
- e.1) Si $\Delta H \leq -0.3\text{m} \therefore n_i = n_i + 0.01$
- e.2) Si $-0.3 < \Delta H < -0.1\text{m} \therefore n_i = n_i + 0.005$
- e.3) Si $\Delta H \geq -0.1\text{m} \therefore n_i = n_i + 0.001$
- f) Con el nuevo valor de n_i , se calcula la curva de F.G.V., determinándose los nuevos valores estimados de niveles, regresándose al inciso a).

5.3.6.3. Metodología de calibración de compuertas rectangulares

El proceso de calibración de compuertas, consiste en determinar el coeficiente de gasto. Para encontrar una expresión que generalice los valores del coeficiente de gasto en compuertas rectangulares, se planteó un estudio experimental con las compuertas, para lo cual se determinaron los límites de funcionamiento de las mismas y dentro de estos se escogieron como mínimo tres puntos representativos de las variaciones posibles, tanto de abertura de compuerta, como de tirantes y gastos, para las dos condiciones de funcionamiento posible, esto es a descarga libre para la Toma 2 y descarga ahogada para las compuertas de la Represa 1 y 2.

Para esto se desarrollo un experimento en el Laboratorio de Hidráulica del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo, en el Canal



de Riego, canal donde se realizara la investigación y se encuentran instaladas tales estructuras, utilizando el sistema automatizado de adquisición de datos CHAPINGO WIN, las compuertas tienen un ancho (ver Cuadro 2), a las que se le hicieron varias pruebas con diferentes aberturas (ver Cuadros 5, 6, 7, 8 y 9) para las compuertas de las represas y una sólo abertura para la toma 2, gastos de (0.030, 0.0201, 0.025 y 0.0101 m³/seg) y tirantes de (1.45 veces la abertura para el de aguas arriba, y de 1.1 veces la abertura hasta cm para el de aguas abajo), para descarga ahoga en las represas y libre para la toma 2, con la finalidad de lograr obtener una expresión generalizada del coeficiente de gasto en estas compuertas, se considero al inicio, la ecuación general del gasto representada por la expresión dada por la ecuación (39)

$$Q = C_d b \sqrt{2g} . u h^{1/2}$$

Considerando adicionalmente que todas las compuertas, dejan una sección rectangular como espacio para que circule el agua, se puede tomar el gasto por unidad de ancho:

$$q = \frac{Q}{b} = C_d u \sqrt{2gh} \quad (53)$$

y para hacerlo general se despeja el valor del coeficiente de gasto:

$$C_d = \frac{q}{u \sqrt{2gh}^{1/2}} \quad (54)$$

En donde, según la Figura 5 para descarga libre: $h=y_1$, y para descarga ahogada: $h= y_1-y_3$.



Estudio experimental a descarga libre en la Toma 2. Considerando la abertura constante y un modelo hiperbólico para la ecuación (54), en función de la variable independiente correspondiente al tirante aguas arriba de la compuerta (y_1), se tiene:

$$C_d = \frac{y_1}{\beta_o + \beta_1 y_1}$$

La expresión anterior, linealizada queda así:

$$\frac{y_1}{C_d} = \beta_o + \beta_1 y_1$$

Haciendo: $\hat{Y} = \frac{y_1}{C_d}$ y $X_1 = y_1$, se tiene:

$$\hat{Y} = \beta_o + \beta_1 X_1 \quad (55)$$

Considerando la abertura (u) de la compuerta como variable:

$$C_d = \frac{y_1}{\beta_o + \beta_1 y_1 + \beta_2 u}$$

y linealizado queda:

$$\frac{y_1}{C_d} = \beta_o + \beta_1 y_1 + \beta_2 u$$

Haciendo: $\hat{Y} = \frac{y_1}{C_d}$ y $X_1 = y_1$ y $X_2 = u$ se tiene:

$$\hat{Y} = \beta_o + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \quad (56)$$

El modelo puede presentar dificultades por las dimensiones con las cuales es determinado, para eliminar cualquier efecto de escala, se adimensionaliza dividiendo entre la abertura (u):



$$C_d = \frac{\frac{y_1}{u}}{\beta_o + \beta_1 \left(\frac{y_1}{u} \right)}$$

y linealizado se tiene:

$$\frac{\frac{y_1}{u}}{C_d} = \beta_o + \beta_1 \left(\frac{y_1}{u} \right) \quad (56.1)$$

Haciendo: $\hat{Y} = \frac{\frac{y_1}{u}}{C_d}$ y $X_1 = \frac{y_1}{u}$, se aplica el modelo cuya expresión es la (55).

Estudio experimental a descarga ahogada para las compuertas de las represas 1 y 2. Considerando la abertura constante y un modelo hiperbólico, en función de las variables independientes correspondientes al tirante aguas arriba de la compuerta (y_1), y aguas debajo de la misma (y_3), se tiene:

$$C_d = \frac{y_1 - y_3}{\beta_o + \beta_1 y_1 + \beta_2 y_3} \quad (57)$$

Linealizado queda:

$$\frac{y_1 - y_3}{C_d} = \beta_o + \beta_1 y_1 + \beta_2 y_3$$

Tomando como representativo el modelo estadístico de la ecuación (56), se

tiene que: $\hat{Y} = \frac{y_1 - y_3}{C_d}$, $X_1 = y_1$ y $X_2 = y_3$

Considerando las aberturas (u) de la compuerta variable:

$$C_d = \frac{y_1 - y_3}{\beta_o + \beta_1 y_1 + \beta_2 y_3 + \beta_3 u} \text{ y linealizado queda:}$$



$$\frac{y_1 - y_3}{C_d} = \beta_o + \beta_1 y_1 + \beta_2 y_3 + \beta_3 u$$

Haciendo: $\hat{Y} = \frac{y_1 - y_3}{C_d}$, $X_1 = y_1$, $X_2 = y_3$ y $X_3 = u$, se tiene:

$$\hat{Y} = \beta_o + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad (58)$$

El modelo puede presentar dificultades por las dimensiones con las cuales es determinado, para eliminar cualquier efecto de escala, se adimensionaliza dividiendo entre la abertura (u):

$$C_d = \frac{\left(\frac{y_1 - y_3}{u} \right)}{\beta_o + \beta_1 \left(\frac{y_1}{u} \right) + \beta_2 \left(\frac{y_3}{u} \right)}$$

Linealizado queda:

$$\frac{\left(\frac{y_1 - y_3}{u} \right)}{C_d} = \beta_o + \beta_1 \left(\frac{y_1}{u} \right) + \beta_2 \left(\frac{y_3}{u} \right) \quad (59)$$

Haciendo: $\hat{Y} = \frac{\left(\frac{y_1 - y_3}{u} \right)}{C_d}$, $X_1 = \frac{y_1}{u}$, $X_2 = \frac{y_3}{u}$, se aplican al modelo estadístico de

la expresión (56).

5.3.7. Descripción del programa de calibración CALICAN

Arteaga (1997) elaboró el programa de CALibración de CANales denominado CALICAN utilizando el lenguaje FORTRAN 77 y se integra con un Programa Principal y 2 Subrutinas, con lo cual se realiza la calibración automática del



modelo digital que resuelve el esquema de diferencias finitas por el método de Preissmann, bajo condiciones de régimen permanente, para un tramo de canal, considerando hasta cuatro estratos de observación o niveles de gasto, considera la presencia de flujos laterales.

- a) Programa principal. Realiza la presentación del programa, controla la lectura de datos, ya sea por teclado o por archivo, calcula los coeficientes de rugosidad iniciales, considerando la expresión del régimen uniforme, y en base a lo anterior determina el valor definitivo del coeficiente de rugosidad bajo una técnica de ensayo y error, llama a la subrutina REMAN, una vez que se satisface el criterio de convergencia especificado; controla la llamada al resto de las subrutinas, así como las formas de impresión, ya sea por pantalla, impresora o por archivo en disco.
- b) Subrutina REMAN. Determina el perfil de la superficie libre del agua, para la curva de flujo gradualmente variado permanente respectiva, por medio de la ecuación diferencial del remanso (22), conocido el gasto y el tirante aguas abajo.
- c) Subrutina IMPRE. Realiza la impresión de información y resultados, ya sea parciales o totales de la calibración para cada estrato de observación, mostrando la diferencia de niveles absoluta, así como la diferencia relativa de los niveles con respecto al tirante.

Las restricciones y recomendaciones generales para el uso del programa CALICAN, son:

- 1) Utiliza únicamente el sistema métrico decimal.



- 2) Pueden usarse pendientes y coeficientes de rugosidad variables para cada subtramo.
- 3) El máximo de subtramos es de 26, permitiendo funcionar hasta 3 flujos laterales.

5.3.8. Descripción del programa HEC-RAS

La verificación del flujo no permanente en canales se define como el procedimiento mediante el cual se realiza la prueba de la información obtenida en el proceso de calibración se realizo con el software HEC-RAS. Unsteady Flow Simulation, de acuerdo al US Army Corps of Engineers (2010), este componente del HEC-RAS es capaz de simular el flujo no permanente unidimensional a través de una red llena de canales abiertos. La solución de la ecuación del flujo no permanente se adapto de D.r. Robert L. Barkau quien manipulo las ecuaciones de diferencias finitas para un canal e inundaciones y definió un nuevo sistema de ecuaciones que computacionalmente son más convenientes. Usando el factor de distribución de velocidad, combino los términos convectivos. Además, definiendo un camino de flujo equivalente, Barakau remplazo el termino de pendiente de fricción por una fuerza equivalente, Barakau es autor del modelo UNET y HEC-UNET (Barkau, 1992 and Hec, 1997).



5.3.9. Aplicación de la teoría de control

De León M, B., et al. (2002), Menciona: que la regulación de canales de riego consiste en optimizar el proceso de conducción y distribución del agua desde la fuente de abastecimiento hasta los sitios de utilización. Esta optimización consiste en generar y aplicar reglas de control para adaptar el transporte y la distribución del agua en los canales principales a los programas de extracción de las tomas laterales. La aplicación de la teoría de control en la regulación de canales es una alternativa que ayuda a reducir pérdidas de agua debidas a la operación, así como a mejorar el servicio de la irrigación en los distritos de riego. Diseño un sistema de control automático del canal principal del Distrito de Riego 023 San Juan del Río, Queretaro.

Brenes G., A., et al. (2000), Dice: que durante la operación de los canales se presentan grandes variaciones de la demanda de riego, de los niveles de referencia y de las políticas de maniobra de las estructuras de extracción y regulación, lo cual modifica las características dinámicas del funcionamiento hidráulico de los canales para cada valor del caudal, del nivel y de la localización de las estructuras en funcionamiento. La variación de los parámetros de regulación en función del caudal de demanda de los niveles de referencia, y de la ubicación de las estructuras en operación, permite reducir las pérdidas de agua y de las variaciones del nivel en los canales, a la vez que mejora el servicio de riego. Esta Aplicación de la Teoría de control se desarrollo



para las condiciones de la red principal del Distrito de Riego 085. La Begoña, Guanajuato.

Bergovich M, O., et al. (2004), Describe el diseño de un controlador óptimo LQG para regular, el tiempo real, los niveles de aguas arriba de las compuertas en un prototipo de canal abierto de riego de cuatro tramos, usando para ello un control aguas arriba aplicado a las tres estructuras de control colocadas a lo largo del canal, el modelo se obtiene a partir de la identificación de funciones de transferencia que aproximan el comportamiento dinámico presente entre el cambio en la posición de las compuertas respecto a un punto de operación. Obtuvo en tiempo real una muy buena regulación en los tirantes, con mínimas variaciones en el nivel regulado ante cambios en el gasto de entrada al canal.

Aguilar C, A. y Pedroza E. (1996), menciona el desarrollo de los algoritmos de control para la automatización del canal alto del Yaqui, Sonora, el cual cuenta con un sistema que permite realizar la operación automática de las compuertas del canal del km 14+749 al km 105+540. Dicho sistema trabaja de tres maneras:

Demanda predefinida. Si se programa la extracción en forma predefinida, en alguna toma, a un tiempo específico, el control logra dar la demanda.



Demanda mixta. Cuando se conoce la extracción en la toma pero al momento de realizarla resulta de una magnitud diferente a la predefinida (condición de operación actual), entonces, el control realiza las modificaciones pertinentes para satisfacer la demanda real.

Demanda libre. Cuando no se conoce la extracción predefinida y se realiza la extracción por medio de una toma, entonces, el control opera a demanda libre.

Schuurmans, W., et. Al. (1995), Menciona que los autores declaran que todos los algoritmos de control existentes para la operación de una demanda usan la misma suposición básica. Todos los algoritmos “Usan la misma suposición intrínseca básica sobre el alcance controlado: cada magnitud de entrada y salida del alcance tienen que ser conocidas”. “El objetivo global del total de la red principal crucialmente depende del problema local del control de aquellas unidades solas”. El control del nivel aguas abajo es el principio básico de controlar los flujos para las salidas.

Liu F. et al. (1994), Desarrolló un algoritmo de control aguas abajo para la operación de la demanda del canal de riego. La aproximación es basada en un procedimiento explícito de Diferencias finitas de las ecuaciones de St. Venant. El ajuste de la abertura de la compuerta aguas arriba es basado en el nivel del agua y el gasto en los nodos de información a lo largo del canal. El nivel del agua y el gasto son requeridos en cada nodo de información para determinar el



nuevo movimiento de la compuerta aguas arriba, el gasto puede ser estimado por medidas de niveles de agua adicionales. Todos los parámetros del sistema son requeridos por estos métodos de control. Proporciona un control eficaz del flujo y cubre con las variaciones rápidas de demanda de agua.

de Albuquerque G., F. y Labadie W. J (1997), Desarrollo un método de operación de canal predictivo PCOM se presenta para la operación óptima en tiempo real del sistema de canales que vincula un modelo de control óptimo discreto eficiente a un modelo de simulación hidráulico basado en las ecuaciones de St. Venant utilizando la modelación de Preismann es un esquema implícito. PCOM se diseño principalmente para producir políticas de control predictivo y anticipativo, aunque también pueden generarse las políticas de control reactivo. PCOM se aplico en 3 canales principales del Proyecto Formoso H en Brasil, que opera bajo una aproximación de control de volumen con salidas en las estaciones de bombeo como en los puntos de demanda.

Rogers C., D. y Coussard J. (1997), Mencionan que muchos algoritmos y métodos de control de canales han sido desarrollados, pero sólo algunos de ellos son usados en proyectos de operaciones de canales. Estos algoritmos son caracterizados como algoritmos implícitos en compuertas autoreguladas, controladores de realimentación local automática, y algoritmos de control para supervisión.



Strelkoff T. S. et al. (1998), Menciona que el Committee on Canal Automation Algorithms considera la influencia de las propiedades del canal sobre la controlabilidad de canales de riego. Se realizaron tres estudios. Primero, curvas de remanso unidimensional fueron desarrolladas para una gama de condiciones del canal. El segundo estudio comprende la propagación de olas iniciadas al final del tramo de canal aguas arriba, influenciada por condiciones de frontera aguas abajo, finalmente, la respuesta del tramo de canal aguas abajo con inconvenientes (desventajas) fue examinada en términos de su recuperación inactiva incluso cuando el cambio de flujo correcto es aplicado aguas arriba. Encontrando que los efectos de las condiciones hidráulicas del canal sobre una curva de remanso constante es pequeño cuando se expresa en forma unidimensional. Por lo que es útil; además la cantidad de remanso al final del tramo de canal aguas abajo tiene un enorme efecto en la controlabilidad, por lo tanto no se recomienda que los tramos de canal de riego se diseñen con el tirante normal al final aguas abajo bajo condiciones de flujo máximo, y finalmente la cantidad de cambios de flujo que solamente pueden manejar por la realimentación es dependiente en las propiedades del tramo de canal.

Pierre-Olivier M., et al. (1998), Menciona diferentes métodos de control para la regulación de canales de riego que se han desarrollado y aplicado en el mundo. Cada uno de ellos puede caracterizarse según varios criterios, entre los cuales se tiene: Las variables consideradas (controlado, medido y control de las



variables del mecanismo), la lógica de control (tipo y dirección), y las técnicas de diseño, a continuación se mencionan cada una de estas investigaciones.

Cuadro 1. Clasificación de algoritmos de control de canales.

Identification		CARACTERIZACIÓN							Applications or test (10)
Name (1)	Developer (2)	Considered Variables			I/O structure (6)	Logic of control		Design technique (9)	
		Controlled (3)	Measured (4)	Control action (5)		Type (7)	Direction (8)		
CARDD	Burt and Parrish	y_{dn}	3-5 y_{in}	G	3-5ISO	FB	dn	Heuristic	CalPoly scale canal, U.S.
RTUQ	Rogers	Q	y_{up}, y_{dn}, G	G	3ISO	FB	dn	Heuristic	Dolores Project, U.S.
	Zimberman	y_{dn}	y_{dn}	G	SISO	FB	dn	Heuristic	Model
	Najim	y	y	Q	?	FB + FF		Variable structure	---
BIVAL	Sogreah	$f(y_{up}, y_{dn})$	y_{up}, y_{dn}	G	2ISO	FB	dn	3 position	Mali, México, etc.
DACL	USWC Lab	y_{dn}	y_{dn}	G	SISO	FB	up	3 position	
LittleMan	USBR and others	y_{dn}	y_{dn}	G	SISO	FB	up	3 position	Several in the U.S.
AMIL	GEC Alsthom	y_{dn}	y_{dn}	G	SISO	FB	up	P	Several countries
AVIS, AVIO	GEC Alsthom	y_{up}	y_{up}	G	SISO	FB	dn	P	Several countries
Danaidean system	----	y_{dn}	y_{dn}	G	SISO	FB	up	P	Several in the U.S.
Mixed gates	GEC Alsthom	$f(y_{up}, y_{dn})$	y_{up}, y_{dn}	G	2ISO	FB	up + dn	P	Several countries
Dynamic Regulation	SCP-Gersar	V	y_{up}, y_{dn}, G	Q	3ISO	FB + FF	dn	PI	France, Morocco
	IMTA-Cemagref	y_{dn}	y_{dn}	Q	SISO	FB + FF	dn	PI	Begonia (México)
	UMA Engineerin	y_{dn}	y_{dn}	G	SISO	FB	up	PI	Imperial Valley, Calif.
EL-FLO/P + PR	Buyalski, Serfozo	y_{dn}	y_{dn} and G	G	2ISO	FB	dn/up	PI + filter	Several in the U.S.
	Sogreah	y_{dn}	y_{dn}	G	SISO	FB + FF	dn	PI + filter	Kirkuk (Iraq)
	IMTA-Cemagref	y_{dn}	Q_{dn}, y_{up}, y_{dn}	Q_{up}	3ISO	FB + FF	dn	PID + pole placement	Yaqui (México)
	CARA Cemagref	Q_{dn}	Q_{dn}	Q_{up}	SISO	FB + FF	dn	PID + heuristic	Rivers, Southwest of France
EL-FLO + Decoupler	Schuurmans	y_{dn}	y_{dn} and G	G	2-3ISO	FB	dn	PI + filter + decoupler	CalPoly scale canal
MODUVAR 32	GEC Alsthom	y_{up} or y_{dn}	y_{up} or y_{dn}	G	1-2ISO	FB	up + dn	PID	France
PIR	SCP-Gersar	y_{dn}	y_{dn}	Q	2ISO	FB	dn	PI + Smith predictor	France (SCP)
	CACG Cemagref	Q_{dn}	Q_{dn} and Q_{in}	Q_{up}	3ISO	FB + FF	dn	Pole placement	Rivers, Southwest of France
CARAMBA	De León	Q_{dn}	Q_{dn}	Q_{up}	SISO	FB + FF	dn	Pole placement	Model
	Sawadogo	Q_{dn}	Q_{dn}	Q_{up}	SISO	FB + FF	dn	GPC	Nonlinear model



Identification		CARACTERIZACIÓN							Applications or test (10)
Name (1)	Developer (2)	Considered Variables			I/O structure	Logic of control		Design technique	
	Rodellar, Gómez	Q_{dn}	Q_{dn}	Q_{up}	SISO	FB	dn	Predictive control	Nonlinear model
Model predictive control	Zagona and Clough	Q and y	y_{up} and y_{dn}	G	MIMO	FB + FF	dn	Predictive control	Model
	Corriga	y	y_{up} and y_{dn}	G	MIMO	FB	up + dn	LQR + observer	Nonlinear model
	Davis U.	Q and y	y_{up} and y_{dn}	Q and G	MIMO	FB	up + dn	LQR + observer	Nonlinear model
PILOTE	Cemagref	y_{dn} and Q	y_{up} and y_{dn}	Q_{up} and G	MIMO	FB + FF	up + dn	LQR + observer	Nonlinear model
	Reddy	Q and y	y_{up} and y_{dn}	G	MIMO	FB	up + dn	LQR + observer	Nonlinear model
FKBC	BRL-Gersar	Q_{dn}	Q_{dn}	Q_{up}	SISO	FB + FF	dn	Fuzzy control	T2, CPBS (Morocco)
ANN	Schaalje and Manz	y	y	G	MIMO	FB	up + dn	Neural network	Model
	Toudeft	Q_{dn}	Q_{dn}	Q_{up}	SISO	FB	dn	Neural network	Model
ACS	CAP, USBR	Q and y	---	G	MIMO	FF	dn	Model inversion	Central Arizona Project
CLIS	Liu	Q and y_{dn}	y	G	MIMO	FB + FF	dn	Model inversion	Nonlinear model
Controlled volumes	USBR, CS WP	V	y or Q	G	MIMO	FB + FF	dn	Model inversion	California Aqueduct
Gate stroking	Wylie, Falvey	Q and y_{dn}	---	G	MIMO	FF	dn	Model inversion	Graniti Reef Aqueduct CAP
	O' Laughlin	Q and y_{dn}	---	Q and G	MIMO	FF	dn	Model inversion	Scale model
SIMBAK	Chevereau	Q_{dn}	---	Q_{up}	SISO	FF	dn	Model inversion	Nonlinear model
DYN ²	Filipoovic	V	y	Q	MIMO	FB + FF	dn	Linear optimizatio	Yugoslavia
	Sabet	V	---	Q	MIMO	FF	dn	Linear optimizatio	California State Water Project
	Cemagref	Q and y	---	Q and G	MIMO	FF	dn	Nonlinear optimizatio	Wateringues, France
NLP	Lin and Manz	Q and y	---	Q and G	MIMO	FF	dn	Nonlinear optimizatio	Nonlinear model
	Tomicic	Q and y	---	Q and G	MIMO	FF	dn	Nonlinear optimizatio	Nonlinear model

De León M, B., et al. (2006), Realizo un análisis sobre la precisión y la confiabilidad de la medición del agua en compuertas funcionando a descarga libre y ahogada. A partir de simplificaciones en las ecuaciones de flujo transitorio de Saint-Venant en la vecindad de las compuertas, se establecieron funciones que relacionan la variación del caudal y del tirante inmediatamente



aguas arriba y aguas abajo de la estructura, así como de los tirantes y de la abertura para valores de flujo crítico y supercrítico aguas abajo de la compuerta, confirmando finalmente que las compuertas pueden servir como estructuras de aforo siempre que se verifiquen las relaciones funcionales definidas.



V. MATERIALES Y METODOLOGÍA

5.1. Materiales

La investigación se realizó en el Laboratorio de Hidráulica del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo. El modelo de canal de riego tiene una longitud de 56 m, iniciándose con una alimentación proveniente del tanque de carga constante, de una válvula de compuerta de 4" de diámetro que entrega a un vertedor triangular con una capacidad de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$, el cual vierte a un estanque amortiguador con una profundidad de 0.40 m y una longitud de 1.00 m, y este al canal, que cuenta con cuatro tramos: el primero que va de la Est. 0+000 a la 0+010.56, segundo de la Est. 0+010.56 a la 0+020.50, el tercer tramo que va de la Est. 0+020.50 a la 0+040.59, ubicándose en este tramo una curva de 180° , de la Est. 0+026.60 a la Est. 0+029.18, y el último tramo de la Est. 0+040.59 a la Est. 0+055.18, ver Figura 8.



Figura 8. Canal de riego



Al final de cada tramo se encuentra una represa con compuerta deslizante rectangular, como elemento de control del gasto aguas abajo, para una capacidad de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$, auxiliándose con un vertedor “Pico de Pato” para el control de los niveles aguas arriba de la represa, con una longitud de cresta de 0.51 m. así como de una Toma Lateral que se controla con una compuerta deslizante rectangular para una capacidad máxima de $0.010 \text{ m}^3/\text{seg}$, Cabe mencionar que sólo se utilizaran los primeros tres tramos del canal para la investigación.

Los sensores se colocaron como se describe a continuación: El primer sensor (No. 6) se instalo en la alimentación del canal, antes del vertedor triangular para medir la carga y así poder calcular el gasto de alimentación, el segundo sensor (No. 1) se coloco en el cadenamiento 0+010 aguas arriba de la Represa 1 y Toma 1, el tercer sensor (No.2) en el cadenamiento 0+012 aguas abajo de la represa 1, el cuarto sensor (No.3) en el cadenamiento 0+020 aguas arriba de la Represa 2 y Toma 2, el quinto sensor (No. 4) en el cadenamiento 0+022 aguas debajo de la represa 2, el sexto sensor (No. 5) en el cadenamiento 0+040 aguas arriba de la Represa 3 y Toma 3. Los sensores están conectados al panel de control por medio de un cable, el cual a su vez está conectado al equipo de computo a una tarjeta conversora análogo digital donde está instalado el software CHAPINGO WIN correspondiente sistema automatizado canal Rehbock, aquí se recibe la señal emitido por los sensores resultando así el valor del tirante en cada sensor; además se tiene la opción de gravar el



comportamiento del tirante en cada uno de los sensores, donde posteriormente se obtienen los valores de tirante en cada uno de los tiempos que se juzgue importante.



Figura 9. Equipo de computo y software CHAPINGO WIN

5.2. Metodología

Se realizó la colocación de compuertas en las represas y tomas, de los sensores y del equipo de computo, para la obtención de datos se definieron 5 estratos de funcionamiento: Estrato uno se transita un gasto de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$, Estrato dos se transita un gasto de $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$, Estrato tres se transita un gasto de $0.0101 \text{ m}^3/\text{seg}$, Estrato cuatro es un transitorio (con un flujo de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$, después baja a $0.020 \text{ m}^3/\text{seg}$ y finalmente sube a $0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$) sin tomas lateral y el estrato cinco estrato es igual que le cuatro sólo que con toma lateral. En cada estrato para poder calibrar el modelo y observar el efecto en el régimen no permanente se realizaron cierres y aberturas en cada compuerta y



se midieron niveles de agua a cada 30 segundos para enriquecer el análisis de los mismos, entre un movimiento y otro el flujo es permanente.

Se realizó la calibración a descarga ahogada de la compuerta deslizante de la represa 1 y 2, así como también de la toma lateral 2 a descargas libre, haciendo uso del programa CALICAN se calibro el tramo de canal 1 y 2, obteniendo así los coeficientes de rugosidad de operación para cada gasto, finalmente con el programa HEC-RAS se simula el régimen no permanente para observar y verificar el efecto que ocasión un cierre o abertura de una compuerta ya sea en una represa o toma lateral.



VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Instalación de compuertas de Represas y Tomas

En cada una de las represas del canal se instaló una compuerta deslizante de plástico con marcos de acero inoxidable, estas se empotraron y atornillaron en las paredes de concreto reforzado del vertedor Pico de Pato; también se instaló una compuerta en cada toma del canal de las mismas características que las descritas anteriormente. A continuación muestra una tabla con las medidas de cada compuerta.

Cuadro 2. Compuertas deslizantes

Localización	Tipo de Compuerta	Ancho de la Compuerta (B), en m	Abertura Máxima (u), en m
Represa 1	Rectangular Deslizante	0.400	0.20
Represa 2	Rectangular Deslizante	0.402	0.20
Represa 3	Rectangular Deslizante	0.404	0.20
Represa 4	Rectangular Deslizante	0.400	0.20
Toma 1	Rectangular Deslizante	0.400	0.20
Toma 2	Rectangular Deslizante	0.400	0.20
Toma 3	Rectangular Deslizante	0.400	0.20



Figura 10. Compuertas rectangulares deslizantes instaladas en represas y tomas.



6.2. Adaptación e instalación de sensores y equipo de cómputo

El proyecto de automatización del modelo de canal de riego no está terminado, ya que no se cuenta con los sensores ni el software para poder realizar las mediciones de los tirantes, así como para los movimientos de las compuertas y mediciones de gastos. Por lo que se adaptaron los sensores que corresponden al canal Rehbock, para utilizar estos sensores se construyeron tripies con movimiento horizontal y vertical, en total se construyeron 6 uno para cada sensor.



Figura 11. Sensores instalados.



6.3. Calibración de los sensores

Cada sensor tiene una marca; se mide la distancia que hay desde el extremo inferior del sensor hasta dicha marca, el valor se escribe en una tabla de entrada de datos en el software CHAPINGO WIN, posteriormente se inicia la medición de los tirantes en cada uno de los sensores, el sensor queda calibrado hasta que el valor medido por éste es igual al que se midió físicamente, para igualar estos valores en el panel de control hay una perilla para cada sensor, la cual se mueve hasta igualar estos valores. A continuación se muestran los valores iniciales para cada sensor:

Cuadro 3. Valores iniciales de d en cada sensor.

SENSOR	VALOR INICIAL, EN cm
1	5.0
2	5.3
3	9.3
4	9.5
5	6.0
6	264.5



6.4. Obtención del perfil del fondo del canal

La obtención del perfil del fondo del canal (plantilla) se realizó utilizando un nivel fijo ystadal, obteniéndose los siguientes resultados:

Cuadro 4. Cadenamiento y cotas del fondo del canal (plantilla).

TABLA DE COTAS DE FONDO		
ESTACION (m)	COTA (m)	OBSERVACIÓN
0+00.00	10.3875	
0+05.00	10.3905	
0+010.00	10.3875	Sensor 1 y Toma 1
0+010.56	10.3874	Compuerta Represa 1
0+012.00	10.3860	Sensor 2
0+015.00	10.3765	
0+020.00	10.3755	Sensor 3 y Toma 2
0+020.50	10.3755	Compuerta Represa 2
0+022.00	10.3665	Sensor 4
0+025.00	10.3665	
0+026.60	10.3675	
0+027.87	10.3705	
0+029.18	10.3700	
0+030.00	10.3665	
0+035.00	10.3659	
0+040.00	10.3655	Sensor 5 y Toma 3
0+040.59	10.3645	Compuerta Represa 3
0+045.00	10.3620	
0+050.00	10.3645	
0+055.00	10.3575	
0+055.18	10.3565	Compuerta Represa 4
0+056.00	10.3555	
0+057.00	10.3575	

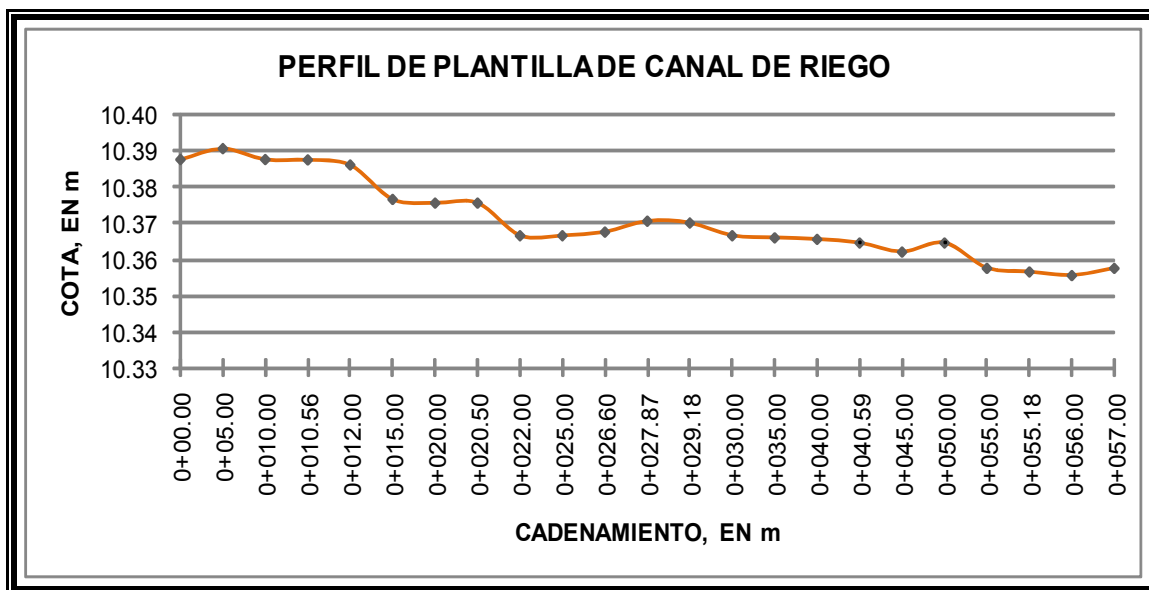


Figura 12. Perfil de la plantilla del canal de riego.

6.5. Estratos de funcionamiento y obtención de datos

Estrato 1: Flujo de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gastos laterales

Al canal se le ingresó un gasto de alimentación de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$, ya establecido el caudal se van cerrando las represas, empezando por la primera; cerradas las tres represas se realizó un cierre y una abertura en cada represa para ver el efecto en el flujo no permanente en el tramo de canal 2 y 3. En la siguiente tabla se muestran los movimientos que se realizaron, los tiempos de cada movimiento, los tiempos en que se estableció el flujo y los tirantes medidos en cada sensor.



Cuadro 5. Datos de tirantes obtenidos para el estrato 1 ($0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral).

Movimiento de compuertas	Tiempo en que se establece el flujo, en seg.	Sensor 1, en m	Sensor 2, en m	Sensor 3, en m	Sensor 4, en m	Sensor 5, en m
Sin Compuerta	300	0.1980	0.2037	0.1873	0.1857	0.1933
Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg. a una abertura de 0.14 m.	300	0.2010	0.2015	0.1875	0.1855	0.1935
Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg. a una abertura de 0.12 m.	600	0.2210	0.2185	0.2053	0.1853	0.1928
Cierre Compuerta Represa 3 en 90 seg. a una abertura de 0.11 m.	600	0.2357	0.2297	0.2160	0.1943	0.2133
Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg. a una abertura de 0.11 m.	600	0.2523	0.2283	0.2165	0.1943	0.2135
Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg. a 0.14 m.	600	0.2338	0.2288	0.2175	0.1945	0.2133
Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg. a 0.182 m. (abertura total)	600	0.2215	0.2175	0.2053	0.1848	0.1920
Abertura Compuerta Represa 2 en 150 seg. a 0.193 m. (abertura total)	600	0.2073	0.2005	0.1890	0.1863	0.1915
Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg. a 0.189 m. (abertura total)	360	0.1957	0.2013	0.1890	0.1863	0.1933
Sin Compuerta	300	0.1960	0.1963	0.1880	0.1867	0.1930
Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg. a una abertura de 0.14 m.	300	0.2033	0.1970	0.1878	0.1868	0.1925
Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.12 m.	600	0.2228	0.2135	0.2053	0.1838	0.1928
Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg. a una abertura de 0.11 m.	570	0.2355	0.2283	0.2163	0.1933	0.2120
Cierre Compuerta Represa 2 en 90 seg. a una abertura de 0.10 m.	630	0.2527	0.2453	0.2320	0.1920	0.2120
Abertura Compuerta Represa 2 en 90 seg. a 0.12 m.	600	0.2365	0.2318	0.2180	0.1938	0.2120
Abertura Compuerta Represa 3 en 150 seg. a 0.182 m. (abertura total)	600	0.2238	0.2160	0.2070	0.1843	0.1920
Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg. a 0.193 m. (abertura total)	600	0.2022	0.1962	0.1878	0.1862	0.1942



Movimiento de compuertas	Tiempo en que se establece el flujo, en seg.	Sensor 1, en m	Sensor 2, en m	Sensor 3, en m	Sensor 4, en m	Sensor 5, en m
Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg. a 0.189 m. (abertura total)	390	0.1947	0.1923	0.1883	0.1860	0.1927
Sin Compuerta	300	0.1983	0.1923	0.1877	0.1873	0.1903
Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg. a una abertura de 0.14 m.	300	0.2080	0.1848	0.1855	0.1868	0.1898
Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg. a una abertura de 0.12 m.	600	0.2263	0.2053	0.2027	0.1863	0.1890
Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg. a una abertura de 0.11 m.	600	0.2393	0.2018	0.2150	0.1955	0.2110
Cierre Compuerta Represa 3 en 90 seg. a una abertura de 0.095 m.	600	0.2500	0.2270	0.2257	0.2040	0.2263
Abertura Compuerta Represa 3 en 60 seg. a 0.11 m.	600	0.2395	0.2163	0.2163	0.1963	0.2123
Abertura Compuerta Represa 3 en 150 seg. a 0.182 m. (abertura total)	600	0.2263	0.2003	0.2043	0.1857	0.1910
Abertura Compuerta Represa 2 en 150 seg. a 0.193 m. (abertura total)	600	0.2077	0.1737	0.1863	0.1880	0.1903
Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg. a 0.189 m. (abertura total)	360	0.2010	0.1740	0.1855	0.1880	0.1905

Para observar el efecto de cada compuerta en el flujo no permanente, primeramente se realizaron los cierres de las Compuerta de la Represa 1, 2 y 3 (Cuadro 5); donde finalmente los tirantes incrementaron aguas arriba, para el sensor 1 fue de 27.45%, sensor 2 de 18.28%, sensor 3 de 19.75%, sensor 4 de 5.47% y el sensor 5 de 13.04%, el efecto que causa el movimiento de una compuerta hacia otra es visible, ya que el aumento de los tirantes son similares (este efecto se observa claramente después de realizar los tres cierres). Ya cerradas las tres Compuertas de las represas se realizo un movimiento en cada



una de ellas para ver el efecto causado en las otras dos; al realizar un cierre de la Compuerta 1 de la represa 1 (de 0.14 a 0.11 m), donde se observó un aumento del tirante en el sensor 1 de 7.04%, para el sensor 2 de -0.61%, para el sensor 3 de 0.23%, para el sensor 4 no hubo cambio y para el sensor 5 de 0.09%, el mayor efecto se presentó en el sensor uno (aguas arriba de la represa 1 y en el sensor 2 que se encuentra en seguida de la represa 1), este aumento es con respecto al tirante cuando ya se tienen funcionando las tres compuertas, en este movimiento el vertedor de la represa 1 empieza a funcionar. Posteriormente se abre la Compuerta de la represa 1 a 0.14 m y se realiza el movimiento en la Compuerta de la represa 2 (de 0.12 a 0.10 m), el aumento del tirante en el sensor 1 fue de 7.21%, sensor 2 de 6.79%, sensor 3 de 7.41%, sensor 4 de -1.18% y en el sensor 5 de -0.61%, en este movimiento empezó a verter en vertedor de la represa 1 y 2, se abre la Compuerta de la represa 2 a 0.12 m. El siguiente movimiento se realizó en la Compuerta de la represa 3 (0.11 a 0.095 m) aquí el aumento del tirante en el sensor 1 fue de 6.07%, sensor 2 de -1.18%, sensor 3 de 4.49%, sensor 4 de 4.99% y en el sensor 5 de 6.09%, el vertedor de la represa 1 y 2 empiezan a verter. Finalmente se observa que el movimiento de la Compuerta de la represa 1 causa un efecto mayor aguas arriba y aguas abajo en el tramo 2 el efecto es menor, mientras que en el tramo 3 no se presenta un efecto; en movimiento de la Compuerta de la represa 2 causa efecto aguas arriba en el tramo de cana 1 y 2 (aumentando el tirante) mientras que aguas abajo causa un efecto disminuyendo el tirante; finalmente el movimiento de la compuerta 3 causa



efecto aguas arriba (tramo de canal 1, 2 y 3) aumentando el tirante a excepción del sensor 2 el cual es negativo. Por lo tanto se concluye que la compuerta 1 no tiene un efecto que influya en la Compuerta de la represa 2 y mucho menos en la Compuerta de la represa 3. El movimiento de la Compuerta de la represa 2 se observa que causa efecto tanto aguas arriba como aguas abajo, es decir, afecta a la Compuerta de la represa 1 y 3 (aguas arriba aumenta el tirante y aguas abajo disminuye el tirante). Finalmente el movimiento de la Compuerta de la represa 3 tiene un efecto aguas arriba en las dos compuertas, aumentando el tirante a excepción del sensor 2 que disminuye, Ver Figura 13.

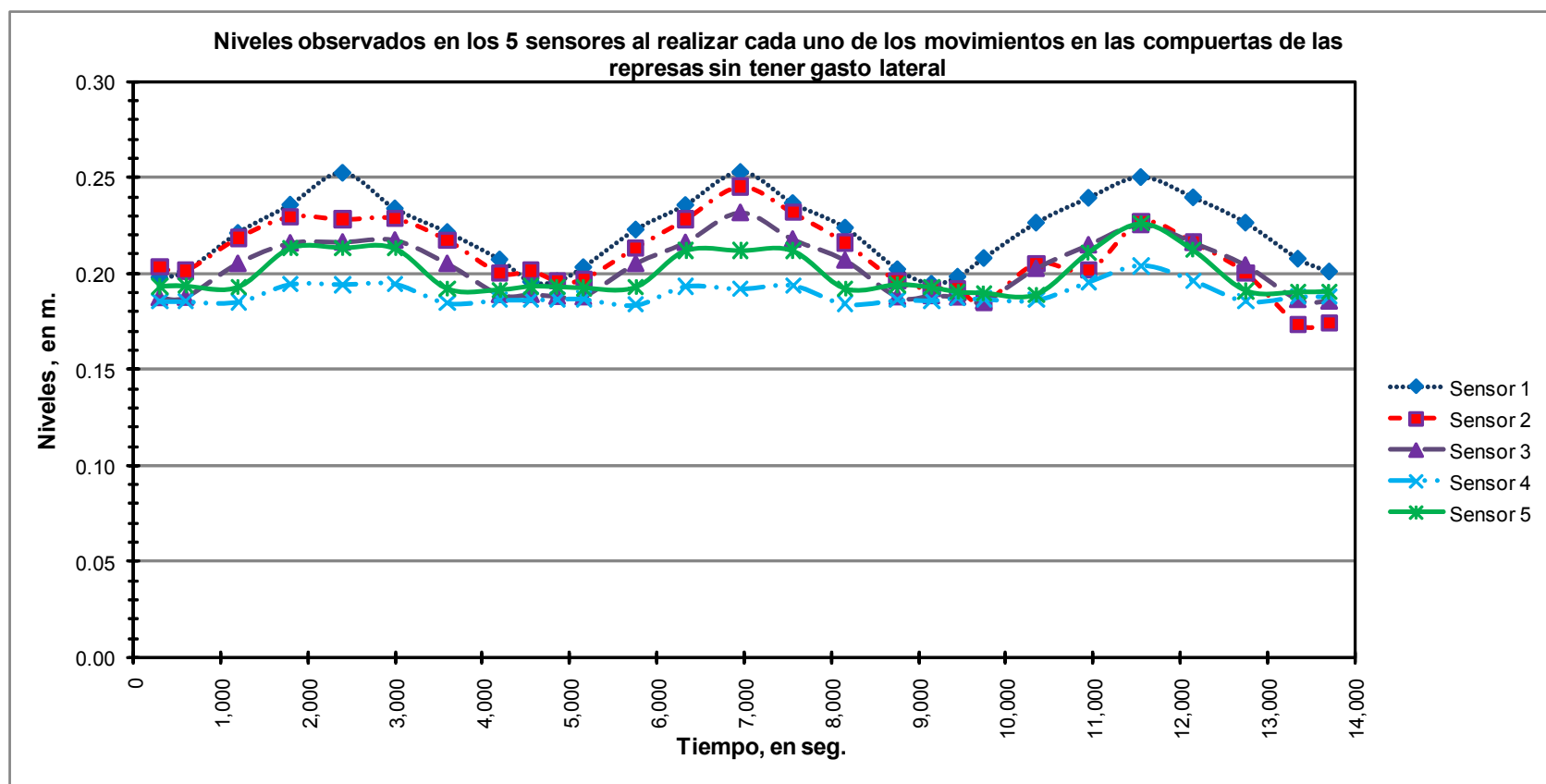


Figura 13. Niveles observados en los 5 sensores al realizar los movimientos de cada compuerta y un flujo de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral.



Para el estrato 2 y 3 se realizo el mismo mecanismo. A continuación se presentan los cuadros que contienen los datos de cada una.

Cuadro 6. Datos de tirantes obtenidos para el estrato 2 ($0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral).

Movimiento de compuertas	Tiempo en que se establece el flujo, en seg.	Sensor 1, en m	Sensor 2, en m	Sensor 3, en m	Sensor 4, en m	Sensor 5, en m
Sin Compuerta	360	0.1577	0.1550	0.1543	0.1577	0.1567
Cierre Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.105 m.	360	0.1675	0.1565	0.1555	0.1578	0.1583
Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.08 m.	600	0.1938	0.1914	0.1806	0.1560	0.1580
Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.07 m.	780	0.2195	0.2135	0.2018	0.1740	0.1924
Cierre Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.08 m.	540	0.2393	0.1718	0.2018	0.1670	0.1926
Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a 0.105 m.	600	0.2213	0.1968	0.2033	0.1680	0.1938
Abertura Compuerta Represa 3 en 150 seg a 0.154 m. (abertura total)	600	0.1960	0.1725	0.1813	0.1505	0.1573
Abertura Compuerta Represa 2 en 150 seg a 0.166 m. (abertura total)	600	0.1680	0.1472	0.1558	0.1514	0.1576
Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.154 m. (abertura total)	360	0.1600	0.1567	0.1547	0.1513	0.1573
Sin Compuerta	360	0.1590	0.1547	0.1543	0.1507	0.1577
Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.105 m.	360	0.1673	0.1490	0.1557	0.1517	0.1587
Cierre Compuerta Represa 2 en 150 seg a una abertura de 0.08 m.	600	0.1940	0.1717	0.1793	0.1493	0.1580
Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.07 m.	780	0.2181	0.1824	0.2016	0.1679	0.1931
Cierre Compuerta Represa 2 en 90 seg a una abertura de 0.06 m.	660	0.2513	0.2218	0.2308	0.1663	0.1943
Abertura Compuerta Represa 2 en 120 seg a 0.08 m.	720	0.2220	0.1920	0.2035	0.1690	0.1960



Movimiento de compuertas	Tiempo en que se establece el flujo, en seg.	Sensor 1, en m	Sensor 2, en m	Sensor 3, en m	Sensor 4, en m	Sensor 5, en m
Abertura Compuerta Represa 3 en 210 seg a 0.154 m. (abertura total)	720	0.1944	0.1692	0.1816	0.1504	0.1574
Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a 0.166 m. (abertura total)	720	0.1695	0.1413	0.1510	0.1510	0.1578
Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a 0.154 m. (abertura total)	450	0.1598	0.1360	0.1515	0.1515	0.1578
Sin Compuerta	360	0.1600	0.1623	0.1557	0.1510	0.1590
Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.105 m.	360	0.1653	0.1553	0.1553	0.1513	0.1577
Cierre Compuerta Represa 2 en 150 seg a una abertura de 0.08 m.	600	0.1939	0.1760	0.1799	0.1493	0.1570
Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.07 m.	780	0.2213	0.2033	0.2033	0.1687	0.1933
Cierre Compuerta Represa 3 en 90 seg a una abertura de 0.05 m.	660	0.2580	0.2330	0.2383	0.2130	0.2440
Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a 0.07 m.	720	0.2262	0.2034	0.2090	0.1790	0.1996
Abertura Compuerta Represa 3 en 150 seg a 0.154 m. (abertura total)	720	0.1953	0.1673	0.1810	0.1565	0.1578
Abertura Compuerta Represa 2 en 150 seg a 0.166 m. (abertura total)	720	0.1647	0.1417	0.1567	0.1580	0.1577
Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.154 m. (abertura total)	480	0.1590	0.1510	0.1550	0.1590	0.1567

Para observar el efecto de cada compuerta en el flujo no permanente, primeramente se realizaron los cierres de las Compuertas de las Represa 1, 2 y 3 (Cuadro 6); donde finalmente los tirantes se incrementaron aguas arriba, para el sensor 1 fue de 57.03%, sensor 2 de 32.73%, sensor 3 de 44.48%, sensor 4 de 18.92% y el sensor 5 de 33.28%, el efecto que causa el movimiento de una compuerta hacia otra es visible, ya que el aumento de los tirantes son similares



(este efecto se observa claramente cuando ya se realizan los tres cierres). Ya cerradas las tres Compuertas de las represas se realizó un movimiento en cada una de ellas para ver el efecto causado en las otras dos; al realizar un cierre de la Compuerta 1 de la represa 1 (de 0.105 a 0.08 m), donde se observó un aumento del tirante en el sensor 1 de 9.02%, para el sensor 2 de -19.52%, para el sensor 3 de 0.00%, para el sensor 4 -4.02% y para el sensor 5 de 0.10%, el mayor efecto se presentó en el sensor 2 (aguas abajo de la represa 1 y en el sensor 1 que se encuentra aguas arriba de la represa 1), este aumento es con respecto al tirante cuando ya se tienen funcionando las tres compuertas, en este movimiento el vertedor de la represa 1 empieza a funcionar con el oleaje. Posteriormente se abre la Compuerta de la represa 1 a 0.105 m y se realiza el movimiento en la Compuerta de la represa 2 (de 0.08 a 0.06 m), el aumento del tirante en el sensor 1 fue de 14.49%, sensor 2 de 3.89%, sensor 3 de 14.37%, sensor 4 de -4.43% y en el sensor 5 de 0.99%, en este movimiento empezó a verter el vertedor pico de pato de la represa 1 y 2, se abre la Compuerta de la represa 2 a 0.08 m. El siguiente movimiento se realizó en la Compuerta de la represa 3 (0.07 a 0.05 m), aquí el aumento del tirante en el sensor 1 fue de 17.54%, sensor 2 de 9.13%, sensor 3 de 18.09%, sensor 4 de 22.41% y en el sensor 5 de 26.86%, el vertedor pico de pato de la represa 1 y 2 empezaron a verter. Finalmente se observa que el movimiento de la Compuerta de la represa 1 causa un efecto mayor aguas abajo (sensor 2) y aguas arriba en el tramo 1 el efecto es menor, mientras que en el tramo 3 hay un efecto menor; el movimiento de la Compuerta de la represa 2 causa efecto aguas arriba en el



tramo del canal 1 y 2 (aumentando el tirante) mientras que aguas abajo causa un efecto disminuyendo el tirante en el sensor 4; finalmente el movimiento de la compuerta 3 causa un efecto aguas arriba (tramo de canal 1, 2 y 3) aumentando el tirante. Por lo tanto se concluye que la compuerta 1 tiene un efecto que influya en la Compuerta de la represa 2 y mucho menos en la Compuerta de la represa 3, este efecto no es muy perceptible. El movimiento de la Compuerta de la represa 2 se observa que causa un efecto tanto aguas arriba como aguas abajo, es decir, afecta a la Compuerta de la represa 1 y 3 (aguas arriba aumenta el tirante y aguas abajo disminuye el tirante en el sensor 4). Finalmente el movimiento de la Compuerta de la represa 3 tiene un efecto aguas arriba en las dos compuertas, aumentando el tirante, Ver Figura 14.

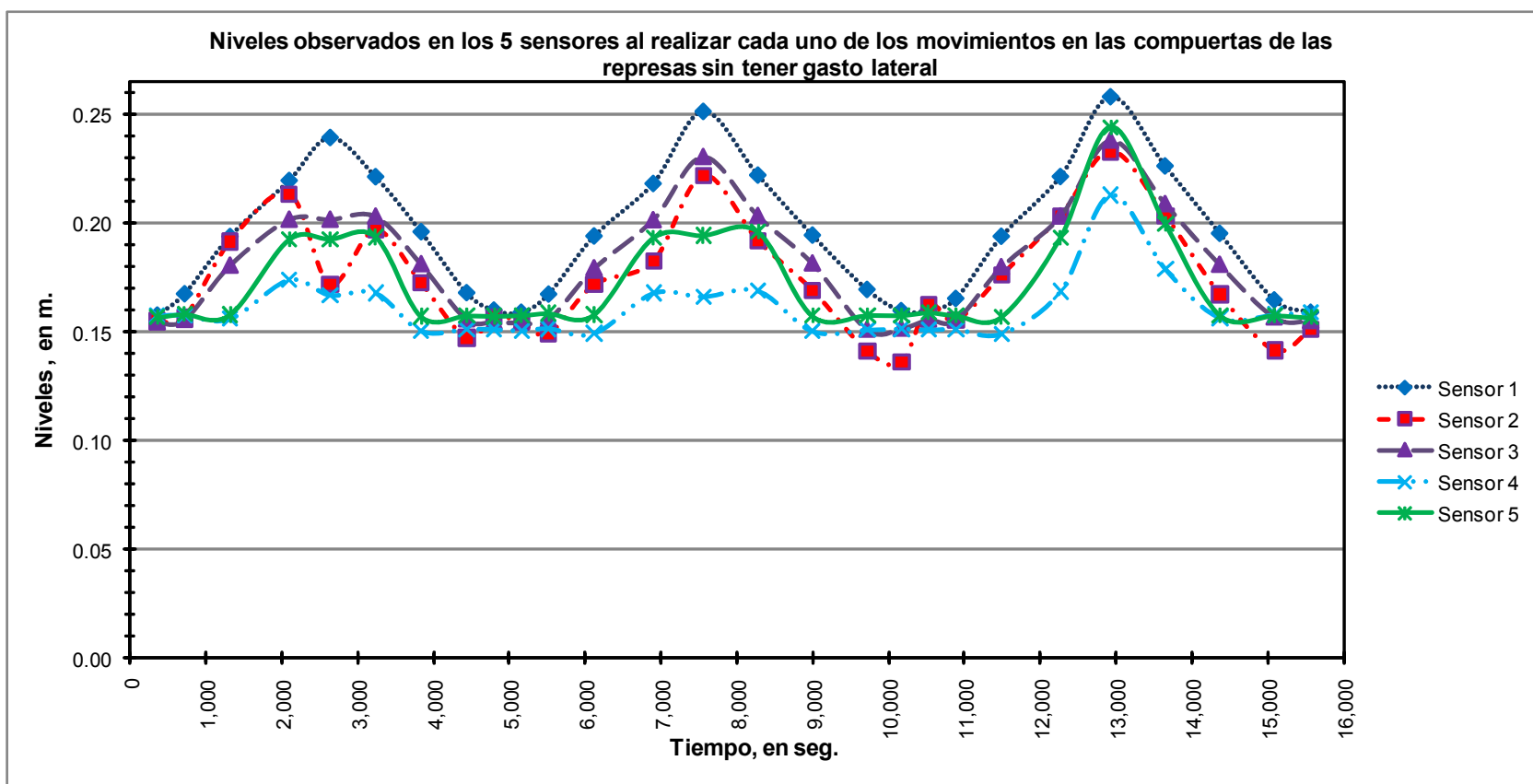


Figura 14. Niveles observados en los 5 sensores al realizar los movimientos de cada compuerta y un flujo de $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral.



Cuadro 7. Datos de tirante obtenidos para el estrato 3 ($0.0101 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral).

Movimiento de compuertas	Tiempo en que se establece el flujo, en seg.	Sensor 1, en m	Sensor 2, en m	Sensor 3, en m	Sensor 4, en m	Sensor 5, en m
Sin Compuerta	600	0.1163	0.1077	0.1110	0.1210	0.1143
Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.05 m.	840	0.1357	0.1037	0.1115	0.1205	0.1137
Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.035 m.	960	0.1885	0.1416	0.1581	0.1184	0.1129
Cierre Compuerta Represa 3 en 90 seg a una abertura de 0.035 m.	1020	0.2276	0.1844	0.1916	0.1470	0.1620
Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.035 m.	600	0.2533	0.1916	0.1961	0.1517	0.1649
Abertura Compuerta Represa 1 en 150 seg a 0.05 m.	960	0.2339	0.1963	0.2011	0.1545	0.1683
Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a 0.12 m. (abertura total)	840	0.1930	0.1543	0.1617	0.1202	0.1145
Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a 0.17 m. (abertura total)	720	0.1369	0.1210	0.1116	0.1205	0.1140
Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.115 m. (abertura total)	360	0.1158	0.1168	0.1115	0.1200	0.1140
Sin Compuerta	600	0.1153	0.1093	0.1113	0.1210	0.1143
Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.05 m.	840	0.1370	0.1051	0.1113	0.1210	0.1134
Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.035 m.	960	0.1933	0.1463	0.1610	0.1200	0.1125
Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.035 m.	960	0.2322	0.2030	0.1937	0.1472	0.1602
Cierre Compuerta Represa 2 en 150 seg a una abertura de 0.025 m.	960	0.2593	0.2298	0.2322	0.1520	0.1657
Abertura Compuerta Represa 2 en 150 seg a 0.035 m.	3030	0.2369	0.1981	0.2039	0.1537	0.1670
Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a 0.12 m. (abertura total)	840	0.2000	0.1630	0.1657	0.1218	0.1147
Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a 0.17 m. (abertura total)	780	0.1386	0.1022	0.1120	0.1220	0.1142



Movimiento de compuertas	Tiempo en que se establece el flujo, en seg.	Sensor 1, en m	Sensor 2, en m	Sensor 3, en m	Sensor 4, en m	Sensor 5, en m
Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.115 m. (abertura total)	360	0.1160	0.1156	0.1120	0.1214	0.1138
Sin Compuerta	600	0.1093	0.1047	0.1123	0.1223	0.1123
Cierre Compuerta Represa 1 en 150 seg a una abertura de 0.05 m.	840	0.1303	0.1051	0.1126	0.1221	0.1126
Cierre Compuerta Represa 2 en 300 seg a una abertura de 0.035 m.	1560	0.1833	0.1498	0.1580	0.1220	0.1128
Cierre Compuerta Represa 3 en 270 seg a una abertura de 0.035 m.	1890	0.2242	0.1873	0.1940	0.1508	0.1642
Cierre Compuerta Represa 3 en 90 seg a una abertura de 0.025 m.	1140	0.2580	0.2280	0.2318	0.1940	0.2170
Abertura Compuerta Represa 3 en 90 seg a 0.035 m.	1860	0.2265	0.1888	0.1963	0.1515	0.1653
Abertura Compuerta Represa 3 en 300 seg a 0.12 m. (abertura total)	900	0.1856	0.1514	0.1616	0.1222	0.1140
Abertura Compuerta Represa 2 en 300 seg a 0.17 m. (abertura total)	660	0.1317	0.1043	0.1123	0.1220	0.1143
Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a 0.115 m. (abertura total)	300	0.1110	0.1050	0.1115	0.1220	0.1130

Para observar el efecto de cada compuerta en el flujo no permanente, primeramente se realizaron los cierres de las Compuerta de la Represa 1, 2 y 3 (Cuadro 7); donde finalmente los tirantes incrementaron aguas arriba, para el sensor 1 fue de 125.99%, sensor 2 de 101.89%, sensor 3 de 97.23%, sensor 4 de 36.61% y el sensor 5 de 60.56%, el efecto que causa el movimiento de una compuerta hacia otra es visible, ya que el aumento de los tirantes son similares (este efecto se observa claramente después de que se realizan los tres cierres). Ya cerradas las tres Compuerta de las represas se realizó un



movimiento en cada una de ellas para ver el efecto causado en las otras dos; al realizar un cierre de la Compuerta 1 de la represa 1 (de 0.05 a 0.035 m), donde se observó un aumento del tirante en el sensor 1 de 11.29%, para el sensor 2 de 3.90%, para el sensor 3 de 2.35%, para el sensor 4 3.20% y para el sensor 5 de 1.79%, el mayor efecto se presentó en el sensor 1 (aguas arriba de la represa 1 y en el sensor 2 que se encuentra en aguas abajo de la represa 1), este aumento es con respecto al tirante cuando ya se tienen funcionando las tres compuertas, en este movimiento el vertedor pico de pato de la represa 1 empieza a funcionar. Posteriormente se abre la Compuerta de la represa 1 a 0.05 m y se realiza el movimiento en la Compuerta de la represa 2 (de 0.035 a 0.025 m), el aumento del tirante en el sensor 1 fue de 13.93%, sensor 2 de 24.62%, sensor 3 de 21.19%, sensor 4 de 3.40% y en el sensor 5 de 2.28%, en este movimiento empezó a verter en el vertedor pico de pato de la represa 1 y 2, se abre la Compuerta de la represa 2 a 0.035m. El siguiente movimiento se realizó en la Compuerta de la represa 3 (0.035 a 0.025 m) aquí el aumento del tirante en el sensor 1 fue de 13.36%, sensor 2 de 23.64%, sensor 3 de 20.98%, sensor 4 de 31.97% y en el sensor 5 de 33.95%, el vertedor de la represa 1 y 2 empiezan a verter. Finalmente se observa que el movimiento de la Compuerta de la represa 1 causa un efecto mayor aguas arriba (sensor 1) que el que se presenta aguas abajo en el tramo 2 y 3 en que el efecto es menor; el movimiento de la Compuerta de la represa 2 causa un efecto aguas arriba en el tramo de canal 1 y 2 (aumentando el tirante), en el tramo 3 también hay un aumento en el tirante pero éste es menor; finalmente el movimiento de la



compuerta 3 causa efecto aguas arriba (tramo de canal 1, 2 y 3) aumentando el tirante en un buen porcentaje. Por lo tanto se concluye que la compuerta 1 tiene un efecto que influye en la Compuerta de la represa 2 y 3, este efecto no es muy perceptible. El movimiento de la Compuerta de la represa 2 se observa que causa un efecto tanto aguas arriba como aguas abajo, es decir, afecta a la Compuerta de la represa 1 y 3 (aguas arriba y aguas abajo aumentando el tirante), este aumento es menor aguas abajo. Finalmente el movimiento de la Compuerta de la represa 3 tiene un efecto aguas arriba en las dos compuertas, aumentando el tirante en un gran porcentaje, Ver Figura 15.

En los tres estratos anteriores se observa que al realizar un movimiento en una compuerta de represa, éste provoca un efecto en las otras 2, el efecto se observa muy bien cuando los cierres que se realizan en las compuertas son mayores, esto porque el aumento del tirante es más perceptible.

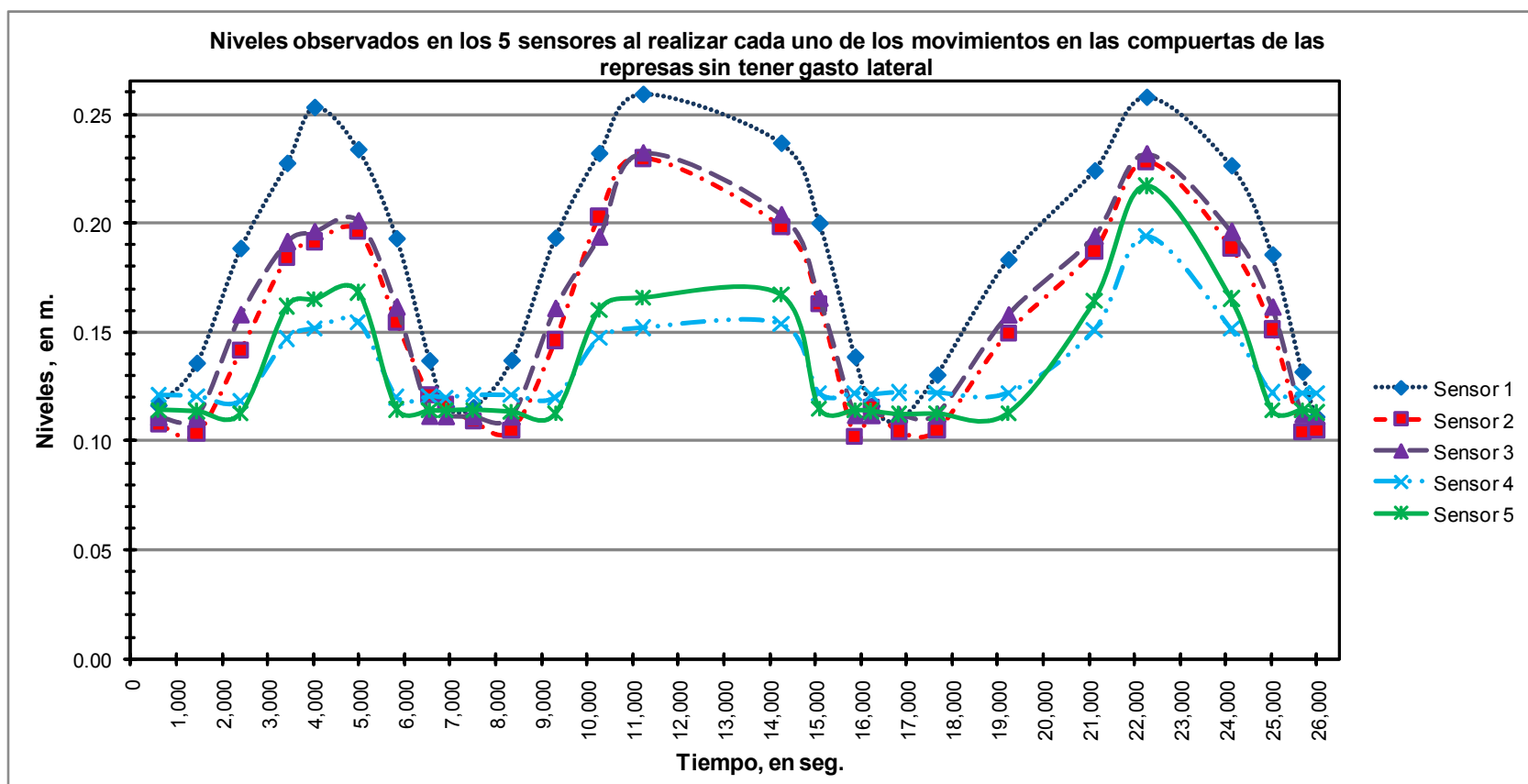


Figura 15. Niveles observados en los 5 sensores al realizar los movimientos de cada compuerta y un flujo de $0.0101 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral.



Estrato 4: Transitorio sin gastos laterales

Para el transitorio sin gastos laterales, se empezó con las compuertas de las represas a una abertura específica y un gasto de alimentación de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$, se realizaron movimientos en cada una de las compuertas, luego se cambió el gasto de alimentación a $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$, se vuelven a realizar movimientos en la compuerta, y finalmente se cambió el gasto de alimentación a $0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$, se realizan movimientos en cada una de las compuertas; estos movimientos se realizaron para observar el efecto que tiene una compuerta sobre el flujo no permanente y en las demás compuertas. A continuación se presenta una tabla donde se muestran los datos obtenidos.

Cuadro 8. Datos de tirante obtenidos para el estrato 4 (Transitorio sin gasto lateral).

Movimiento de compuertas	Gasto (Q), en m^3/seg	Tiempo en que se establece el flujo, en seg.	Sensor 1, en m	Sensor 2, en m	Sensor 3, en m	Sensor 4, en m	Sensor 5, en m
Cierre de la Compuerta 1 a 0.145, Compuerta 2 a 0.125 m. y Compuerta 3 a 0.125	0.0300	480	0.2243	0.2057	0.2077	0.1950	0.2013
Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.13 m.	0.0300	480	0.2320	0.2057	0.2070	0.1950	0.2010
Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.145 m.	0.0300	600	0.2253	0.2028	0.2070	0.1945	0.2008
Cierre Compuerta Represa 2 en 90 seg a una abertura de 0.115 m.	0.0300	720	0.2315	0.2068	0.2138	0.1938	0.2003
Abertura Compuerta Represa 2 en 90 seg a una abertura de 0.125 m.	0.0300	780	0.2235	0.2000	0.2080	0.1950	0.2003
Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.11 m.	0.0300	780	0.2318	0.1885	0.2123	0.1993	0.2098
Abertura Compuerta							



Movimiento de compuertas	Gasto (Q), en m³/seg	Tiempo en que se establece el flujo, en seg.	Sensor 1, en m	Sensor 2, en m	Sensor 3, en m	Sensor 4, en m	Sensor 5, en m
Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.125 m.	0.0300	960	0.2247	0.1910	0.2075	0.1948	0.2008
Cierre de la válvula que entrega un gasto de 0.030 a 0.0201 m ³ /seg en 420 seg.	0.0201	1020	0.1640	0.1413	0.1580	0.1603	0.1573
Cierre Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.115 m.	0.0201	720	0.1678	0.1290	0.1585	0.1615	0.1560
Cierre Compuerta Represa 2 en 240 seg a una abertura de 0.09 m.	0.0201	720	0.1833	0.1370	0.1717	0.1603	0.1560
Cierre Compuerta Represa 3 en 240 seg a una abertura de 0.07 m.	0.0201	1080	0.2050	0.1480	0.1925	0.1775	0.1897
Cierre Compuerta Represa 1 en 180 seg a una abertura de 0.09 m.	0.0201	780	0.2190	0.1537	0.1913	0.1778	0.1900
Abertura Compuerta Represa 1 en 180 seg a una abertura de 0.115 m.	0.0201	780	0.2058	0.1588	0.1925	0.1775	0.1905
Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.07 m.	0.0201	780	0.2293	0.1705	0.2100	0.1760	0.1903
Abertura Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.09 m.	0.0201	780	0.2090	0.1410	0.1930	0.1780	0.1907
Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.055 m.	0.0201	780	0.2350	0.2257	0.2180	0.1997	0.2220
Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.07 m.	0.0201	780	0.2098	0.1953	0.1963	0.1803	0.1923
Abertura Compuerta Represa 3 en 180 seg a una abertura de 0.10 m.	0.0201	780	0.1890	0.1740	0.1768	0.1640	0.1630
Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a una abertura de 0.105 m.	0.0201	780	0.1795	0.1485	0.1680	0.1645	0.1638
Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.13 m.	0.0201	780	0.1775	0.1653	0.1680	0.1645	0.1638
Abertura de válvula que entrega un gasto de 0.0201 a 0.025 m ³ /seg en 540 seg.	0.0250	1020	0.2063	0.1810	0.1917	0.1793	0.1843
Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura	0.0250	780	0.2105	0.1845	0.1918	0.1800	0.1845



Movimiento de compuertas	Gasto (Q), en m ³ /seg	Tiempo en que se establece el flujo, en seg.	Sensor 1, en m	Sensor 2, en m	Sensor 3, en m	Sensor 4, en m	Sensor 5, en m
de 0.115 m.							
Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.13 m.	0.0250	780	0.2043	0.1790	0.1920	0.1800	0.1838
Cierre Compuerta Represa 2 en 180 seg a una abertura de 0.085 m.	0.0250	780	0.2225	0.1950	0.2060	0.1783	0.1848
Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a una abertura de 0.105 m.	0.0250	780	0.2063	0.1813	0.1910	0.1795	0.1838
Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.08 m.	0.0250	780	0.2198	0.1915	0.2038	0.1910	0.2043
Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.10 m.	0.0250	840	0.2050	0.1865	0.1910	0.1798	0.1848

Observado los datos del Cuadro 8; Cuando se tiene un gasto de 0.030 m³/seg se observa que al mover una compuerta, esta afecta a las otras 2, así como el flujo es no permanente, el mayor efecto se observa al realizar el cierre de la Compuerta de la represa 2, aquí se observa una disminución del tirante en el sensor 2 (-8.36%); Cuando el gasto cambia a 0.0201 m³/seg y las aberturas en la Compuerta de la represa 1 a 0.115 m., la Compuerta de la represa 2 a 0.09 m. y la Compuerta de la represa 3 a 0.07 m., al cerrar cada una de las compuertas se observa un efecto en todo el canal, el mayor efecto se observa al realizar el movimiento en la Compuerta de la represa 3 (de 0.09 m. a 0.07 m.) donde el tirante en el sensor 2 aumenta hasta un 46.84% mientras que en los otros sensores este aumento es de 7.31% en el sensor 1 y en el sensor 3,4 y 5 está entre el 12.32% a 16.84%; para un gasto de 0.0250 m³/seg y aberturas de



0.13 m en la Compuerta de la represa 1, de 0.105 en la Compuerta de la represa 2 y 0.10 m en la Compuerta de la represa 3, en este movimiento se repite lo observado en el movimiento de la Compuerta de la represa 1 y 2, el tirante en el sensor 5 aumenta hasta un 10.73%, Ver Figura 16.

En este transitorio se observa que al realizar un movimiento en una compuerta ya sea en la represa 1, 2 o 3, éste movimiento afecta a todos los tramos y a las otras dos compuertas, así como las características hidráulicas del flujo no permanente (velocidad, coeficiente de rugosidad), este efecto es más perceptible cuando el cierre de la compuerta es mayor, ya que este cierre provoca que el tirante aumente en un porcentaje mayor.

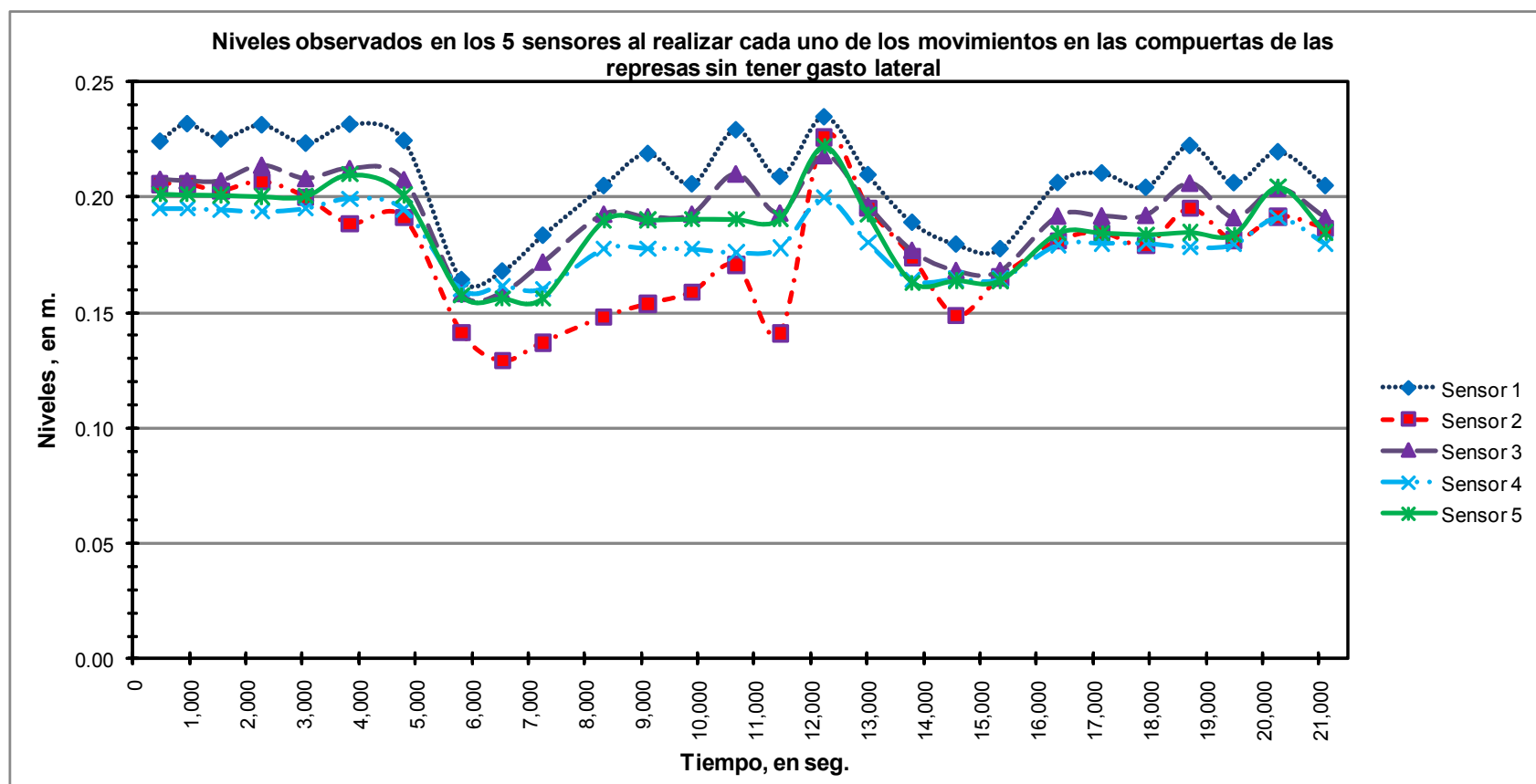


Figura 16. Niveles observados en los 5 sensores al realizar los movimientos de cada compuerta y un transitorio de 0.030, 0.0201 y 0.025 m³/seg sin gasto lateral.



Estrato 5: Transitorio con gastos laterales.

El estrato cinco se realizó de la misma forma que el estrato 4, solo que aquí se abrió la Toma 2 que se encuentra en el tramo 2 para ver el efecto que tiene en el flujo no permanente, además del efecto que tiene una compuerta sobre las otras. En la siguiente tabla se presentan los datos obtenidos.



INGENIERÍA AGRICOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

Cuadro 9. Datos de tirante obtenidos para el estrato 5 (Transitorio con gasto lateral).

Movimiento de compuertas	Gasto (Q), en m ³ /seg	Gasto lateral (q), en m ³ /seg	Tiempo en que se establece el flujo, en seg.	Sensor 1, en m	Sensor 2, en m	Sensor 3, en m	Sensor 4, en m	Sensor 5, en m
Aberturas iniciales Compuerta Represa 1 a 0.145 m., Compuerta Represa 2 a 0.125 m. y Compuerta Represa 3 a 0.125 m.	0.0300	0.0000	0	0.2277	0.2093	0.2077	0.1997	0.1997
Abertura de toma 2 en 180 seg a una abertura de 0.02 m.	0.0300	0.0070	840	0.1793	0.1637	0.1550	0.1677	0.1587
Cierre Compuerta Represa 2 en 240 seg a una abertura de 0.065 m.	0.0300	0.0094	900	0.2105	0.1915	0.1935	0.1620	0.1540
Cierre Compuerta Represa 3 en 240 seg a una abertura de 0.065 m.	0.0300	0.0101	900	0.2330	0.2138	0.2145	0.1855	0.1928
Cierre de válvula que entrega un gasto de 0.030 a 0.0201 m ³ /seg en 540 seg	0.0201	0.0073	1470	0.1470	0.1270	0.1323	0.1383	0.1420
Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.115 m.	0.0201	0.0084	840	0.1493	0.1360	0.1313	0.1387	0.1290
Cierre Compuerta Represa 2 en 240 seg a una abertura de 0.03 m.	0.0201	0.0095	1320	0.1920	0.1520	0.1790	0.1307	0.1177
Cierre Compuerta Represa 3 en 180 seg a una abertura de 0.03 m.	0.0201	0.0101	1620	0.2223	0.1612	0.2067	0.1600	0.1673
Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.05 m.	0.0201	0.0095	900	0.1995	0.1303	0.1837	0.1350	0.1290
Abertura Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.04 m.	0.0201	0.0094	960	0.1777	0.1523	0.1640	0.1397	0.1340
Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.13 m.	0.0201	0.0093	780	0.1750	0.1490	0.1643	0.1387	0.1343
Abertura de válvula que entrega un gasto de 0.0201 a 0.025 m ³ /seg en 360 seg.	0.0250	0.0101	1200	0.2280	0.1613	0.2107	0.1583	0.1593



INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

Movimiento de compuertas	Gasto (Q), en m ³ /seg	Gasto lateral (q), en m ³ /seg	Tiempo en que se establece el flujo, en seg.	Sensor 1, en m	Sensor 2, en m	Sensor 3, en m	Sensor 4, en m	Sensor 5, en m
Abertura Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.05 m.	0.0250	0.0096	900	0.2070	0.1820	0.1923	0.1627	0.1657
Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.065 m.	0.0250	0.0095	900	0.1933	0.1760	0.1803	0.1520	0.1460
Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.04 m.	0.0250	0.0096	900	0.2100	0.1917	0.1950	0.1493	0.1418
Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.05 m.	0.0250	0.0101	900	0.2203	0.2088	0.2063	0.1585	0.1595
Abertura Compuerta Represa 3 en 240 seg a una abertura de 0.10 m.	0.0250	0.0095	720	0.2060	0.1915	0.1903	0.1440	0.1285
Abertura Compuerta Represa 2 en 270 seg a una abertura de 0.105 m.	0.0250	0.0088	780	0.1553	0.1310	0.1348	0.1523	0.1373
Cierre total de la toma 2 en 120 seg	0.0250	0.0000	840	0.2053	0.1775	0.1913	0.1865	0.1838

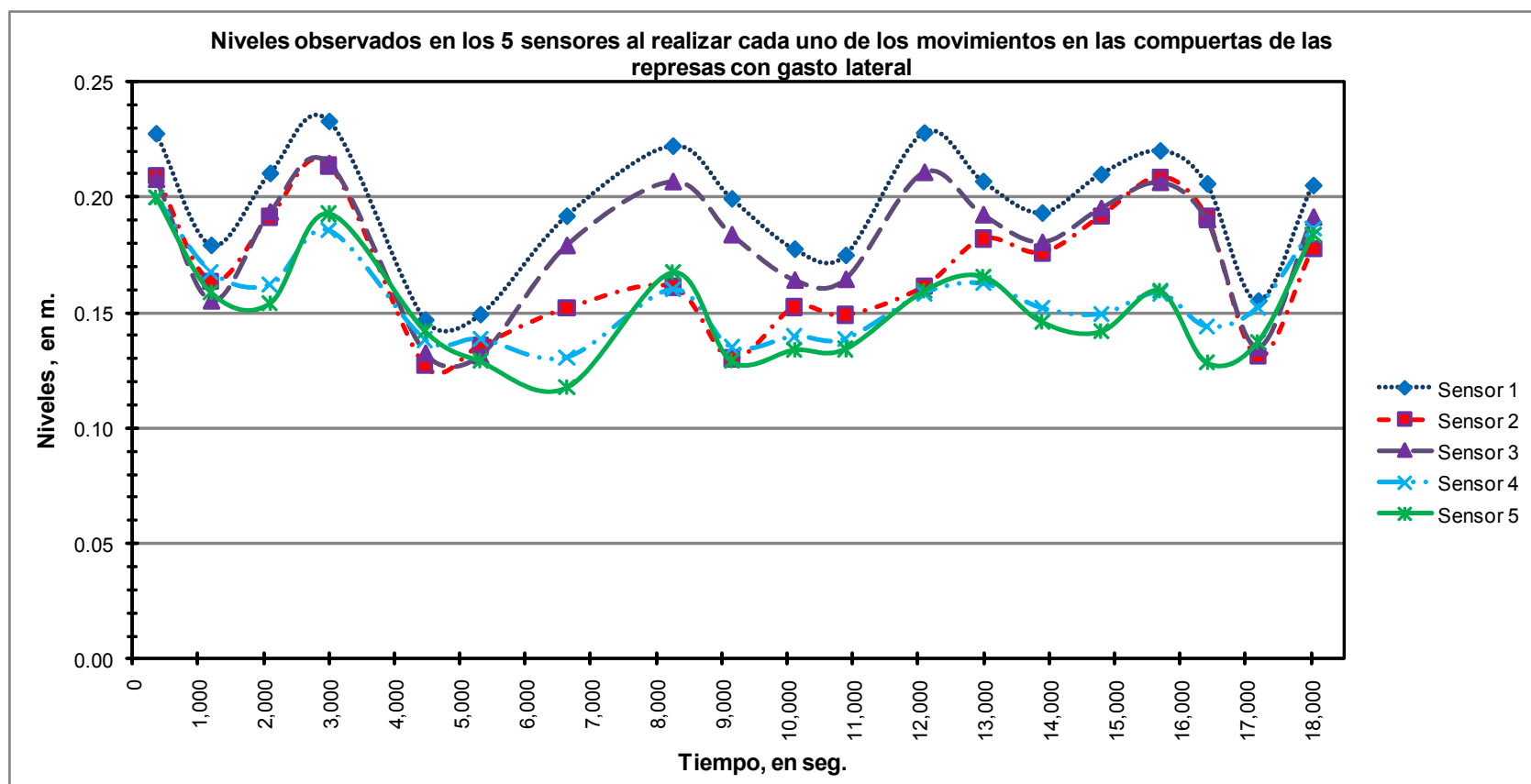


Figura 17. Niveles observados en los 5 sensores al realizar los movimientos de cada compuerta y un transitorio de 0.030, 0.0201 y 0.025 m³/seg con gasto lateral de.



En el Cuadro 9 el transitorio empieza con un gasto de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$, ya establecido el flujo se abre la Toma 2, el cual provoca que el tirante baje en todos los tramos del canal, en el sensor 1 baja el -21.26% , sensor 2 baja el -21.79% , sensor 3 baja -25.37% , sensor 4 baja el -16.02% y en el sensor 5 baja el -20.53% , el gasto en la toma es de $0.0070 \text{ m}^3/\text{seg}$, esto es el 69.25% del gasto que se necesita en ésta; el siguiente movimiento (Compuerta de represa 2 a 0.065 m) los tirantes en los tramos del canal aumentan hasta un 42.84% en el sensor 2, sin embargo, el gasto en la Toma dos aun es menor al solicitado (92.96%), para dar el gasto solicitado se realiza el cierre de la Compuerta de la represa 3 a 0.065 m , con este movimiento el tirante sube considerablemente y el gasto de la toma satisface al solicitado ($0.0101 \text{ m}^3/\text{seg}$); el siguiente movimiento es el paso de un gasto de alimentación de $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$ en donde el gasto en la Toma 2 es de 72.17% ($0.0073 \text{ m}^3/\text{seg}$) del solicitado, posteriormente se realiza el cierre de la Compuerta de la represa 0.115 m donde el aumento de los tirantes es muy poco (el más alto es de 7.09%) y el gasto que pasa en la Toma es de $0.0084 \text{ m}^3/\text{seg}$ (83.78%), el cual no satisface el gasto solicitado; posteriormente se cierra la Compuerta de la represa 2 a 0.03 m . donde el gasto de la Toma es de 94.69% del solicitado, para obtener el gasto solicitado se cierra la Compuerta de la represa 3 a 0.03 m . ($0.0101 \text{ m}^3/\text{seg}$), en este movimiento el tirante tiene un aumento hasta de un 57.43% en el sensor 3. Cuando fluye un gasto de alimentación de $0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$ se observa lo mismo que ya se describió anteriormente, para dar el gasto que se requiere



en la Toma 2 se tienen que realizar varios movimientos, como se observa en el Cuadro 9. Ver Figura 17.

6.6. Obtención de los modelos a partir de la calibración

6.6.1. Modelos para compuertas rectangulares

Del estudio experimental a descarga libre, realizado para la compuerta rectangular de la TOMA 2, utilizando el modelo estadístico de la expresión (56),

haciendo que: $\hat{Y} = \frac{y_1}{C_d}$ y $X_1 = y_1$ y $X_2 = u$, se corrió una regresión lineal y un

análisis de varianza para el anterior modelo, utilizando un paquete de análisis estadístico comercial, obteniéndose los siguientes resultados:

β_0	β_1	C.V.	R^2
0.009811	1.564353	6.2739	0.8562

$$C_d = \frac{y_1}{0.009811 + 1.564353y_1} \quad (60)$$

Para evitar el efecto de escala, se dividió entre la abertura, realizando las consideraciones de la ecuación (56.1), aplicadas al modelo de la expresión (55), y haberse corrido con toda la información obtenida en el proceso experimental, una regresión lineal y su correspondiente análisis de varianza con el paquete de análisis estadístico señalado, se obtuvieron los siguientes resultados para los parámetros del modelo:



β_0	β_1	C.V.	R^2
0.490568	1.564353	6.2739	0.8562

$$C_d = \frac{\frac{y_1}{u}}{0.490568 + 1.564353 \frac{y_1}{u}} \quad (61)$$

Del estudio experimental a descarga ahogada realizado en la compuerta rectangular, utilizando el modelo estadístico de la expresión (58), y haciendo que: tiene que: $\hat{Y} = \frac{y_1 - y_3}{C_d}$, $X_1 = y_1$ y $X_2 = y_3$ y $X_3 = u$, se corrió una regresión lineal y un análisis de varianza para el anterior modelo, utilizando el paquete de análisis estadístico, obteniendo los resultados siguientes para los parámetros del modelo:

Compuerta rectangular de la represa 1	Gasto m^3/seg	β_0	β_1	β_2	β_3	C.V.	R^2
	0.0101	-0.050601	2.698157	-2.803576	---	6.2739	0.8562
	0.0201	-0.140061	2.840603	-2.778596	0.941458	14.5253	0.9794
	0.0250	-0.145431	2.893095	-2.636880	0.496066	11.2951	0.9876
	0.0300	-0.102187	1.894166	-1.764491	0.449626	12.7896	0.9800
	Comb.	-0.036183	2.692567	-2.720412	0.129535	19.1417	0.9562

$$C_d = \frac{y_1 - y_3}{-0.050601 + 2.698157y_1 - 2.803576y_3} \quad (62)$$

$$C_d = \frac{y_1 - y_3}{-0.140061 + 2.840603y_1 - 2.778596y_3 + 0.941458u} \quad (63)$$

$$C_d = \frac{y_1 - y_3}{-0.145431 + 2.893095y_1 - 2.636880y_3 + 0.496066u} \quad (64)$$



$$C_d = \frac{y_1 - y_3}{-0.102187 + 1.894166y_1 - 1.764491y_3 + 0.449626u} \quad (65)$$

$$C_d = \frac{y_1 - y_3}{-0.036183 + 2.692567y_1 - 2.720412y_3 + 0.129535u} \quad (66)$$

Compuerta rectangular de la represa 2	Gasto m ³ /seg	β_0	β_1	β_2	β_3	C.V.	R ²
	0.0101	-0.049713	1.090344	-1.079629	---	0.4160	0.9999
	0.0201	-0.046644	1.744207	-1.764284	0.434010	2.1127	0.9983
	0.0250	-0.010539	1.216690	-1.215037	0.051978	0.0370	1.0000
	0.0300	-0.039422	1.494537	-1.491901	0.244046	0.6890	0.9994
	Comb.	0.001085	1.368458	-1.436738	0.048141	10.8916	0.9632

$$C_d = \frac{y_1 - y_3}{-0.049713 + 1.090344y_1 - 1.079629y_3} \quad (67)$$

$$C_d = \frac{y_1 - y_3}{-0.046644 + 1.744207y_1 - 1.764284y_3 + 0.434010u} \quad (68)$$

$$C_d = \frac{y_1 - y_3}{-0.039422 + 1.494537y_1 - 1.491901y_3 + 0.244046u} \quad (69)$$

$$C_d = \frac{y_1 - y_3}{0.001085 + 1.368458y_1 - 1.436738y_3 + 0.048141u} \quad (70)$$

Para evitar el efecto de escala, se dividió entre la abertura, realizando las consideraciones de la ecuación (59), aplicadas al modelo de la expresión (56), y haberse corrido con toda la información obtenida en el proceso experimental, una regresión lineal y su correspondiente análisis de varianza con el paquete de



análisis estadístico señalado, se obtuvieron los siguientes resultados para los parámetros del modelo:

Compuerta rectangular de la represa 1	Gasto m ³ /seg	β_0	β_1	β_2	C.V.	R ²
	0.0101	-0.477205	2.375544	-2.380710	2.8359	0.9925
	0.0201	-0.050601	2.698157	-2.803576	18.4564	0.9649
	0.0250	-0.015449	2.620110	-2.754558	14.2691	0.9776
	0.0300	0.055042	1.695264	-1.766871	14.055	0.9737
	Comb.	0.125035	2.338768	-2.515037	19.5329	0.9577

$$C_d = \frac{\frac{y_1 - y_3}{u}}{-0.477205 + 2.375544 \frac{y_1}{u} - 2.380710 \frac{y_3}{u}} \quad (71)$$

$$C_d = \frac{\frac{y_1 - y_3}{u}}{-0.050601 + 2.698157 \frac{y_1}{u} - 2.803576 \frac{y_3}{u}} \quad (72)$$

$$C_d = \frac{\frac{y_1 - y_3}{u}}{-0.015449 + 2.620110 \frac{y_1}{u} - 2.754558 \frac{y_3}{u}} \quad (73)$$

$$C_d = \frac{\frac{y_1 - y_3}{u}}{0.055042 + 1.695264 \frac{y_1}{u} - 1.766871 \frac{y_3}{u}} \quad (74)$$

$$C_d = \frac{\frac{y_1 - y_3}{u}}{0.125035 + 2.338768 \frac{y_1}{u} - 2.515037 \frac{y_3}{u}} \quad (75)$$



Compuerta rectangular de la represa 2	Gasto m ³ /seg	β_0	β_1	β_2	C.V.	R ²
	0.0101	-0.780797	1.917423	-1.916518	0.3799	0.9993
	0.0201	0.083859	1.478266	-1.563436	5.4305	0.9900
	0.0250	-0.049713	1.090344	-1.079629	0.4160	0.9999
	0.0300	0.005306	1.356525	-1.395386	2.4342	0.9930
	Comb.	0.026969	1.331096	-1.376748	13.7829	0.9822

$$C_d = \frac{\frac{y_1 - y_3}{u}}{-0.780797 + 1.917423 \frac{y_1}{u} - 1.916518 \frac{y_3}{u}} \quad (76)$$

$$C_d = \frac{\frac{y_1 - y_3}{u}}{0.083859 + 1.478266 \frac{y_1}{u} - 1.563436 \frac{y_3}{u}} \quad (77)$$

$$C_d = \frac{\frac{y_1 - y_3}{u}}{-0.049713 + 1.090344 \frac{y_1}{u} - 1.079629 \frac{y_3}{u}} \quad (78)$$

$$C_d = \frac{\frac{y_1 - y_3}{u}}{0.005306 + 1.356525 \frac{y_1}{u} - 1.395386 \frac{y_3}{u}} \quad (79)$$

$$C_d = \frac{\frac{y_1 - y_3}{u}}{0.026969 + 1.331096 \frac{y_1}{u} - 1.376748 \frac{y_3}{u}} \quad (80)$$

En los modelos obtenidos para el coeficiente de gasto, dados por las expresiones (60 - 80), se obtuvo un ajuste aceptable de la información dada por el modelo a la experimental obtenida, ya que los coeficientes de determinación como mínimo resulto de 0.8562 tanto para los modelos obtenidos para la Toma



2 como para la compuerta de la represa 1 para $0.0101 \text{ m}^3/\text{seg}$, con coeficiente de variación que desde 0.0370 hasta 19.5329; se recomienda utilizar los modelos generales, los cuales se obtuvieron a partir de todos los datos de todos los gastos que se transito por el canal, los coeficientes de determinación resultaron mayores a 0.95.



6.6.2. Calibración del Tramo 2 y 3 del canal de riego

6.6.2.1. Calibración del Tramo 2

Para calibrar el modelo de flujo no permanente en canales y analizar el efecto de más de un tramo de canal se consideraron dos tramos de canal, uno de 10 m de longitud (TRAMO 2) y el otro de 20 m (TRAMO 3), limitados por compuertas deslizantes y distintas aberturas para cada una y transitorios para 0.0101, 0.0201, 0.030, de 0.030 a 0.0201 pasando a 0.025 m³/seg.

Para realizar la calibración del modelo se utilizaron las partes del flujo permanente del transitorio, es decir, al final de cada uno de los movimientos de las compuertas, estos puntos se observan en la Figura 18 al 27, dicha calibración se observa en los Cuadros 1, 2, 3 y 4, del Anexo A.

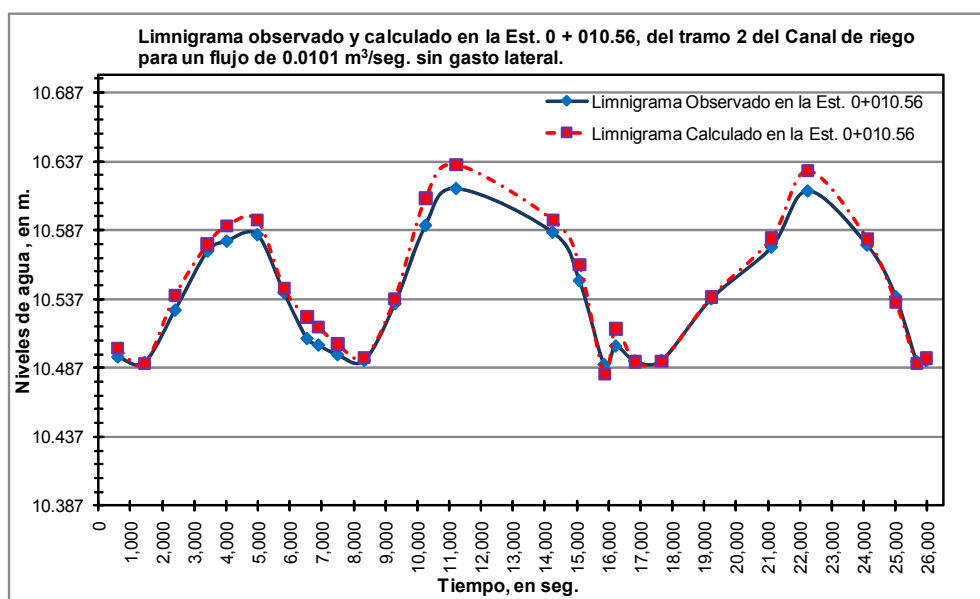


Figura 18. Limnigramma observado y calculado en la Est. 0+010.56, del tramo 2 del canal de riego para un flujo de 0.0101 m³/seg sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

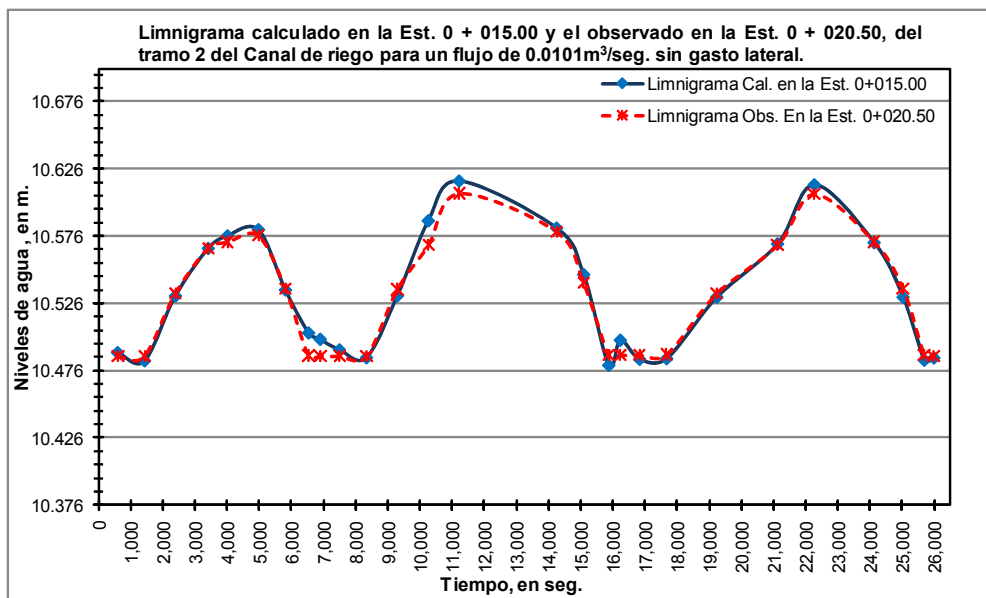


Figura 19. Limnigrama calculado en la Est. 0+015.00 y el observado en la Est. 0+020.50, del tramo 2 del canal de riego para un flujo de $0.0101 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

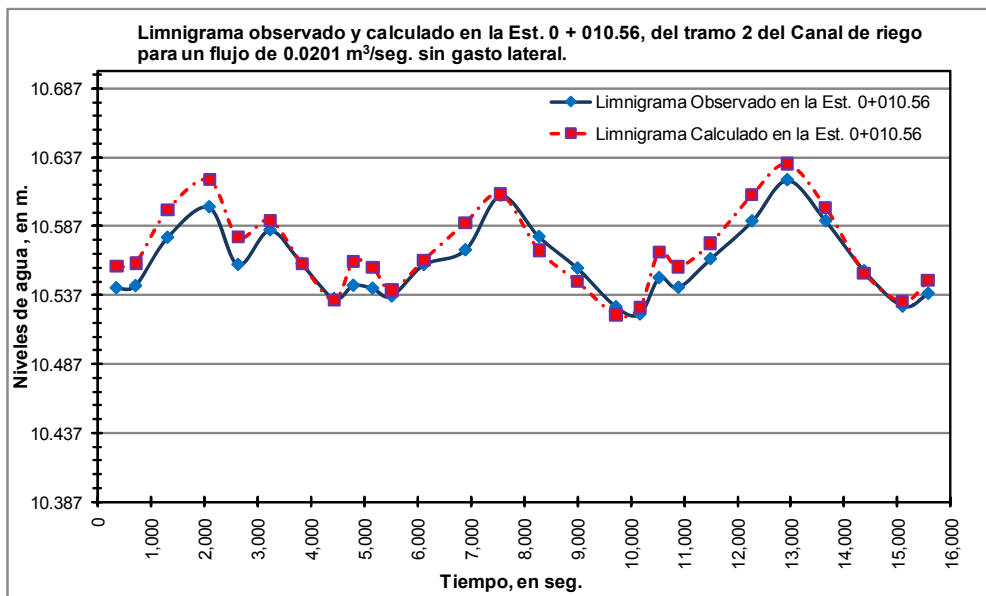


Figura 20. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+010.56, del tramo 2 del canal de riego para un flujo de $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

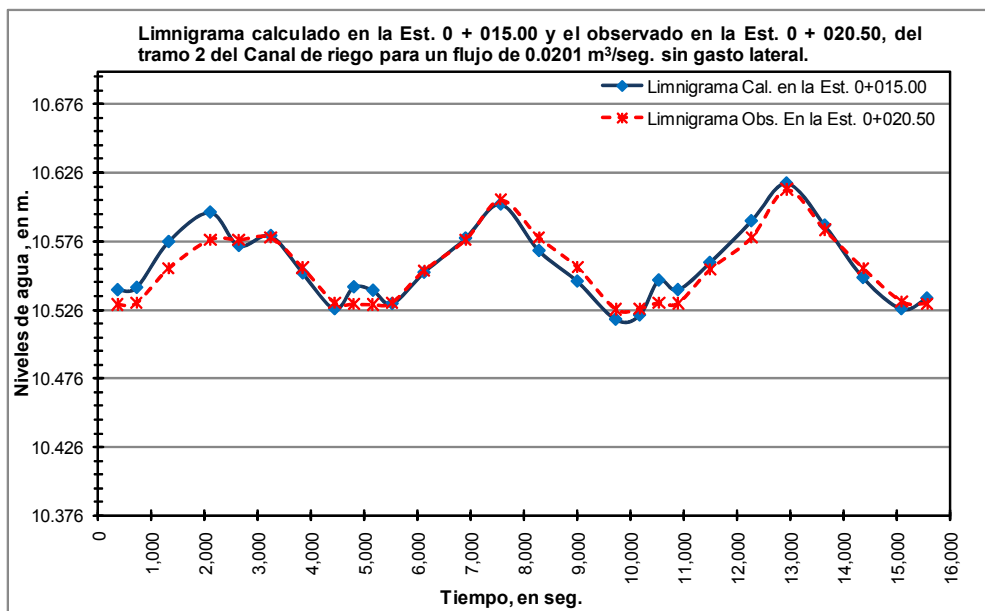


Figura 21. Limnigrama calculado en la Est. 0+015.00 y el observado en la Est. 0+020.50, del tramo 2 del canal de riego para un flujo de $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

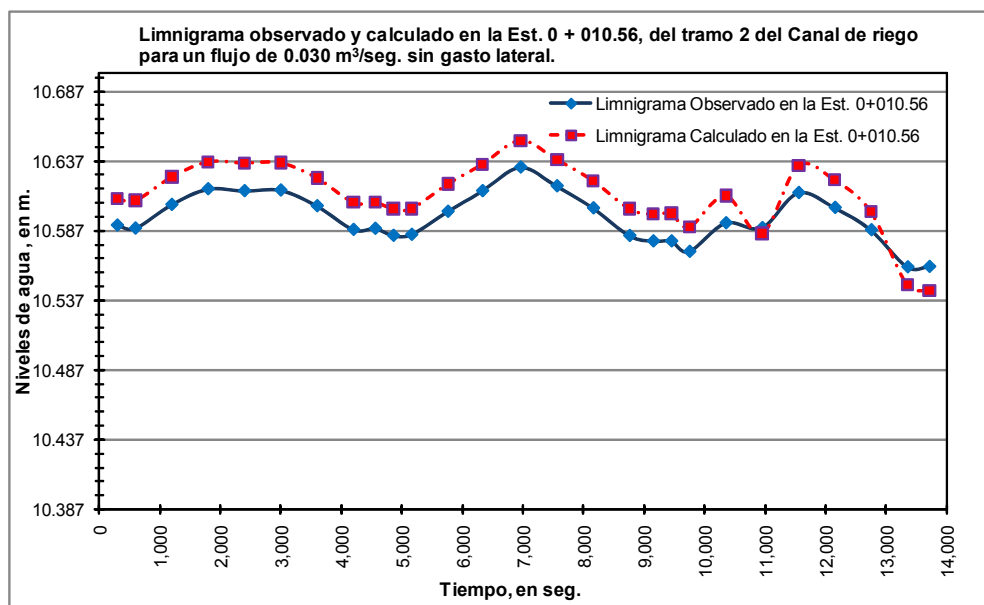


Figura 22. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+010.56, del tramo 2 del canal de riego para un flujo de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

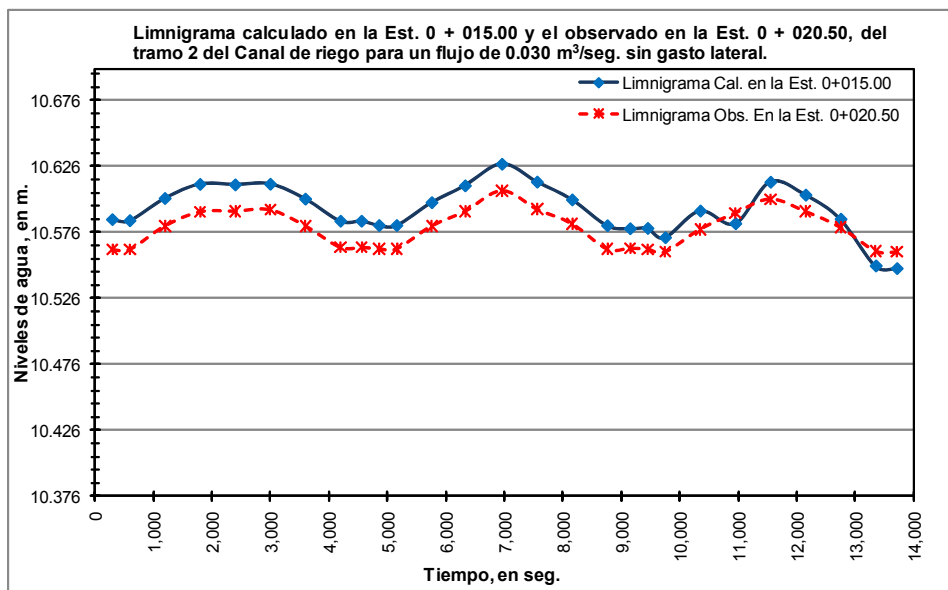


Figura 23. Limnigrama calculado en la Est. 0+015.00 y el observado en la Est. 0+020.50, del tramo 2 del canal de riego para un flujo de 0.030 m³/seg sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

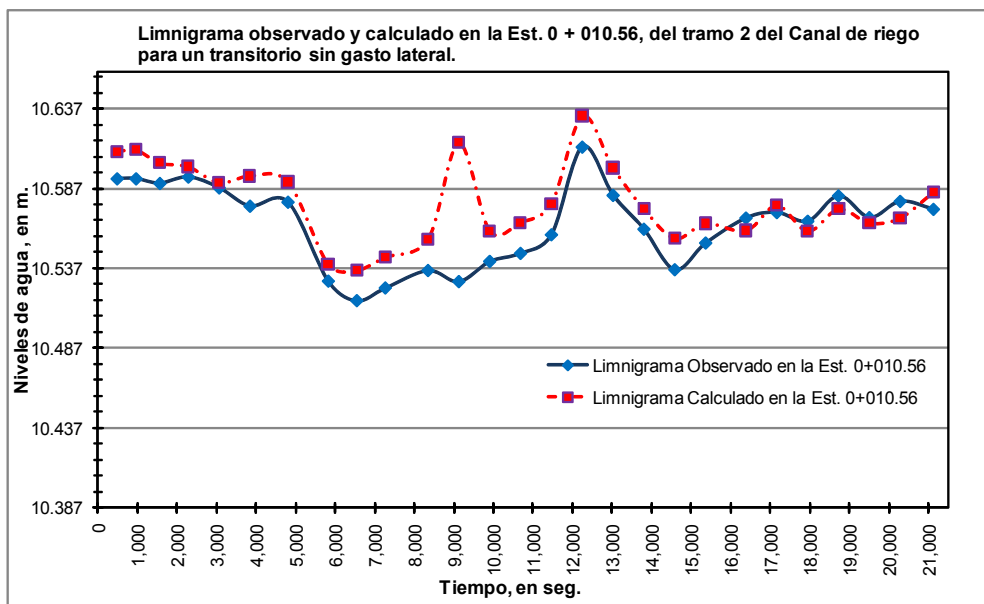


Figura 24. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+010.56, del tramo 2 del canal de riego para un transitorio de 0.030, 0.0201, 0.025 m³/seg sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

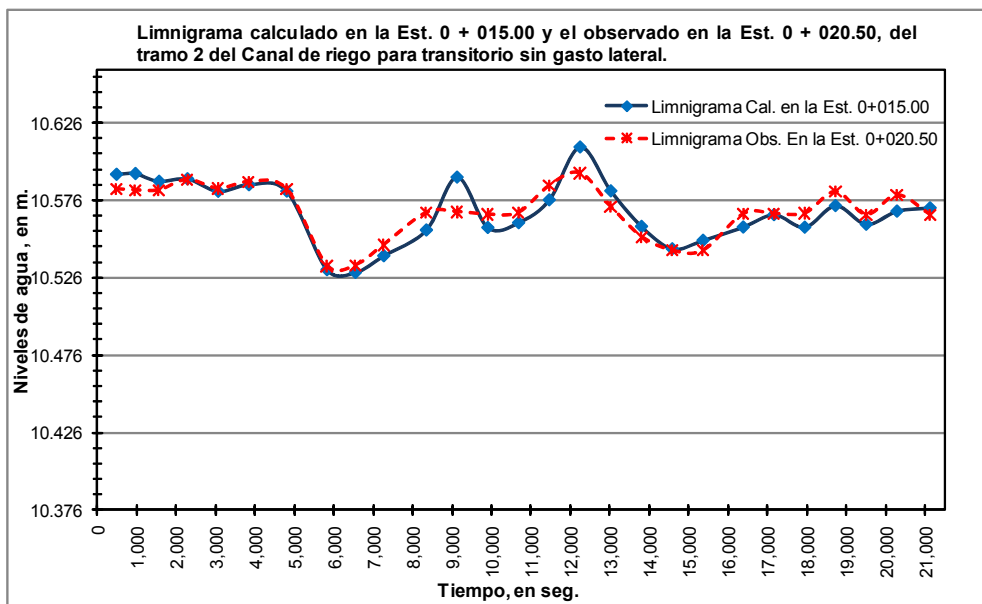


Figura 25. Limnigrama calculado en la Est. 0+015.00 y el observado en la Est. 0+020.50, del tramo 2 del canal de riego para un transitorio de 0.030, 0.0201, 0.025 m³/seg sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

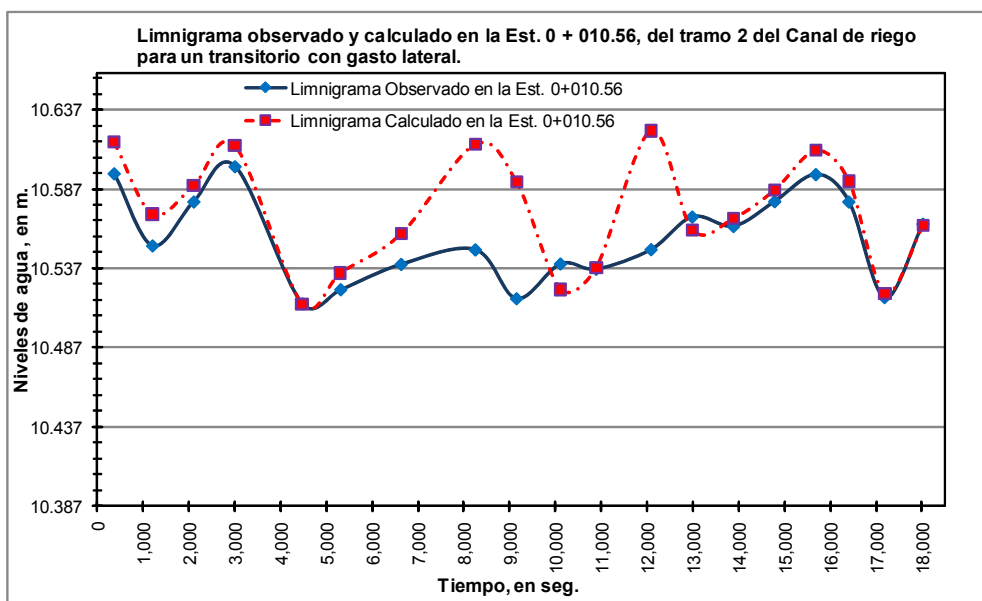


Figura 26. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+010.56, del tramo 2 del canal de riego para un transitorio de 0.030, 0.0201, 0.025 m³/seg con gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

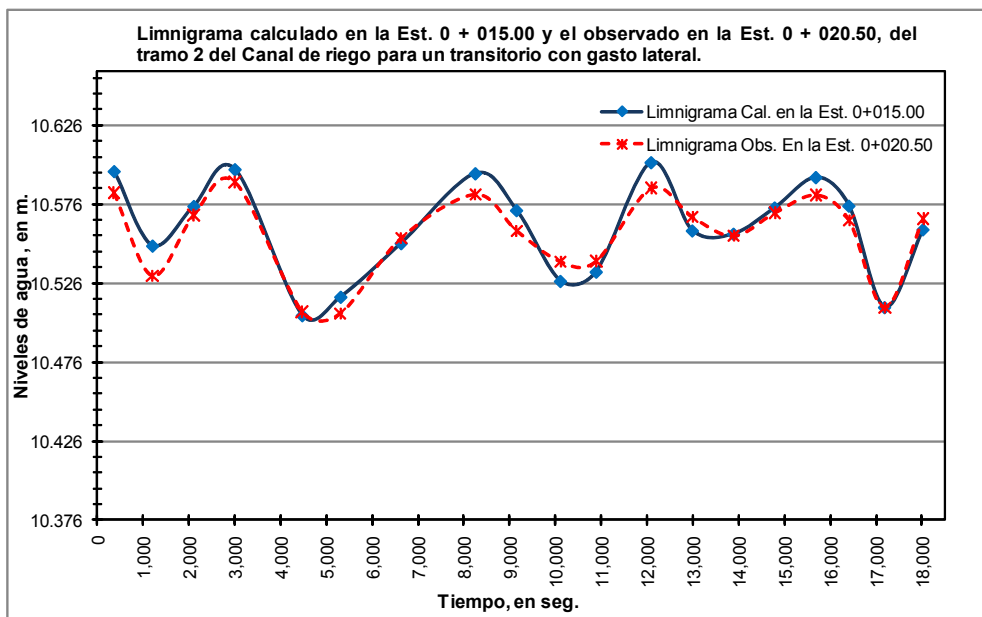


Figura 27. Limnigrama calculado en la Est. 0+015.00 y el observado en la Est. 0+020.50, del tramo 2 del canal de riego para un transitorio de 0.030, 0.0201, 0.025 m³/seg con gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

En la grafica de la Figura 18 (transitorio de 0.0101 m³/seg) se observa que la mayoría de los niveles calculados son sobre estimados por el programa CALICAN; la mayor diferencia positiva entre el calculado y el observado fue de 11.268% (0.015 m) y ocurre cuando se realiza la abertura total de la Compuerta de la repesa 2, seguido por 10.015% (0.013 m) y corresponde a la abertura total de la Compuerta de la repesa 1, finalmente otra de las diferencias mayores fue de 9.593% (0.012 m), el cual también ocurre cuando se abre totalmente la Compuerta de la repesa 1; en cuanto a las diferencias negativas se encuentra el -7.199% (-0.007 m), ocurre cuando se abre totalmente la Compuerta de la repesa 2, -2.969% (-0.004 m) que ocurre cuando se abre totalmente la



Compuerta de la represa 3. Como conclusión se observa que las diferencias mayores entre el nivel calculado y el observado ocurren cuando se abre alguna compuerta.

Para el transitorio de $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$ (Figura 20), la mayoría de los niveles calculados por el programa CALICAN; la mayor diferencia positiva entre el calculado y el observado fue de 10.426% (0.020 m) y ocurre cuando se realiza el cierre de 0.105 a 0.08 m. de la Compuerta de la repesa 1, seguido por 10.340% (0.019 m) y corresponde cuando no hay compuerta funcionando, finalmente otra de las diferencias mayores fue de 9.825% (0.017 m), el cual ocurre cuando se abre totalmente la Compuerta de la represa 1; en cuanto a las diferencias negativas se encuentra el -6.156% (-0.010 m), ocurre cuando se abre totalmente la Compuerta de la represa 3, -5.413% (-0.010 m) que ocurre cuando se abre la Compuerta de la represa 2 de 0.06 a 0.08 m. Como conclusión se observa que las diferencias mayores entre los niveles calculados y los observados negativos ocurren cuando se abre alguna compuerta, en cuanto a los positivos ocurren en diferentes movimientos.

En la grafica de la Figura 22 (transitorio de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$) se observa que la mayoría de los niveles calculados son sobre estimados por el programa CALICAN a excepción de tres datos; la mayor diferencia positiva entre el calculado y el observado fue de 9.344% (0.020 m) y ocurre cuando no están



funcionando las compuertas, seguido por 9.079% (0.019 m) y corresponde cuando se abre totalmente la Compuerta de la represa 1, finalmente otra de las diferencias mayores fue de 8.960% (0.020 m), el cual ocurre cuando se cierra a 0.14 m. la Compuerta de la represa 1; en cuanto a las diferencias negativas se encuentra el -10.954% (-0.017 m), ocurre cuando se abre totalmente la Compuerta de la represa 1, -7.925% (-0.013 m) que ocurre cuando se abre la Compuerta de la represa 2 totalmente. Como conclusión se observa que las diferencias mayores entre los niveles calculados y los observados negativos ocurren cuando se abre alguna compuerta, en cuanto a los positivos ocurren en diferentes movimientos.

En la grafica de la Figura 24 (transitorio de 0.030 a 0.0201 m³/seg y finalmente a 0.025 m³/seg sin salida lateral) se observa que la mayoría de los niveles calculados son sobre estimados por el programa CALICAN; la mayor diferencia positiva entre el calculado y el observado fue de 38.249% (0.087 m) y ocurre cuando se cierra la Compuerta de la represa 1 de 0.115 a 0.09 m., seguido por 13.006% (0.019 m) y corresponde cuando se cierra la Compuerta de la represa 1 de 0.145 a 0.115 m., finalmente otra de las diferencias mayores fue de 12.463% (0.020 m), el cual ocurre cuando se cierra a 0.125 a 0.09 m. la Compuerta de la represa 2; en cuanto a las diferencias negativas se encuentra el -5.66% (-0.010 m), ocurre cuando se cierra la Compuerta de la represa 3 de 0.10 a 0.08 m., -4.488% (-0.008 m) que ocurre cuando se abre la válvula que



entrega el gasto de alimentación de 0.0201 a 0.025 m³/seg. Como conclusión se observa que las diferencias mayores entre los niveles calculados y los observados negativos ocurren cuando el gasto de alimentación es de 0.025 m³/seg. Los positivos ocurren cuando el gasto de alimentación es de 0.0201 m³/seg.

La diferencia del nivel calculado con el observado de 38.249% se ve claramente que el programa no lo calcula adecuadamente, dando un resultado erróneo totalmente.

En la grafica de la Figura 26 (transitorio de 0.030 a 0.0201 m³/seg y finalmente a 0.025 m³/seg con salida lateral) se observa que la mayoría de los niveles calculados son sobre estimados por el programa CALICAN; la mayor diferencia positiva entre el calculado y el observado fue de 36.012% (0.074 m) y ocurre cuando se abre la Compuerta de la represa 3 de 0.03 a 0.05 m., seguido por 31.758% (0.075 m) y corresponde cuando se abre la válvula que entrega un gasto de alimentación de 0.0201 a 0.025 m³/seg, finalmente otra de las diferencias mayores fue de 29.19% (0.067 m), el cual ocurre cuando se cierra a 0.065 a 0.03 m. la Compuerta de la represa 3; en cuanto a las diferencias negativas se encuentra el -11.886% (-0.016 m), ocurre cuando se abre la Compuerta de la represa 2 de 0.03 a 0.04 m., -4.784% (-0.008 m) que ocurre cuando se abre la Compuerta de la represa 2 de 0.04 a 0.05 m. Como conclusión se observa que las diferencias mayores entre los niveles calculados



y los observados positivos ocurren cuando el gasto de alimentación es de $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$.

La diferencia del nivel calculado con los observado positivos son muy altos, se observa que esta diferencia ocurre cuando existe un incremento de un movimiento a otro alto en el observado, cuando el programa CALICAN calcula este nivel, lo realiza con una sobreestimación muy alta.

En general se concluye que las diferencias negativas mayores entre el nivel calculado y el observado ocurre cuando el movimiento que se realiza es una abertura, en cuanto a los positivos ocurre en cualquier movimiento, pero en los transitorios de 0.030 a $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$ ocurre cuando se establece el flujo al cerrar la válvula que entrega un gasto de 0.0201 a $0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$

Los coeficientes de rugosidad de operación cambian de acuerdo a las condiciones del flujo, ver cuadro correspondiente a cada calibración (Anexo A).



6.6.2.2. Calibración del Tramo 3

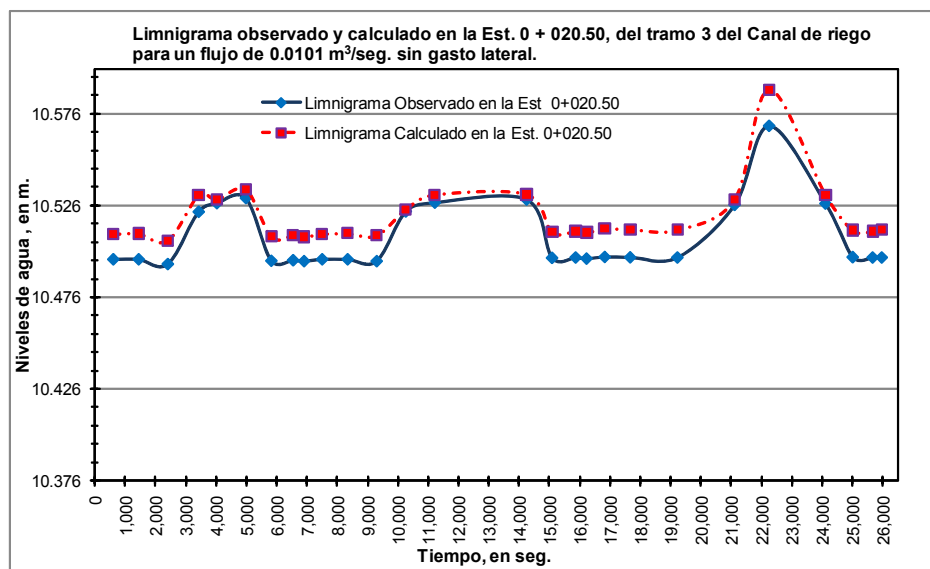


Figura 28. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+020.50, del tramo 3 del canal de riego para un flujo de 0.0101 m³/seg sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

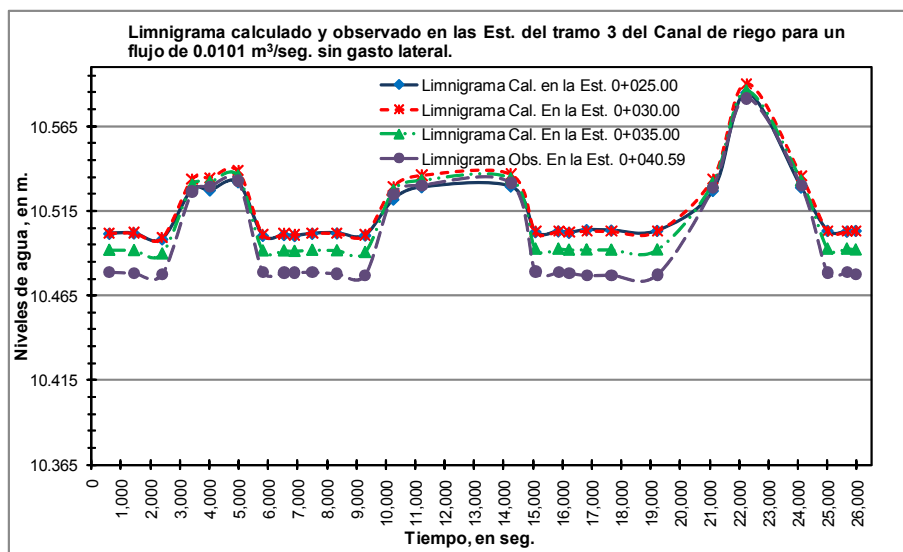


Figura 29. Limnigrama calculado en la Est. 0+025.00, 0+030.00, 0+035.00 y el observado en la Est. 0+040.59, del tramo 3 del canal de riego para un flujo de 0.0101 m³/seg sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

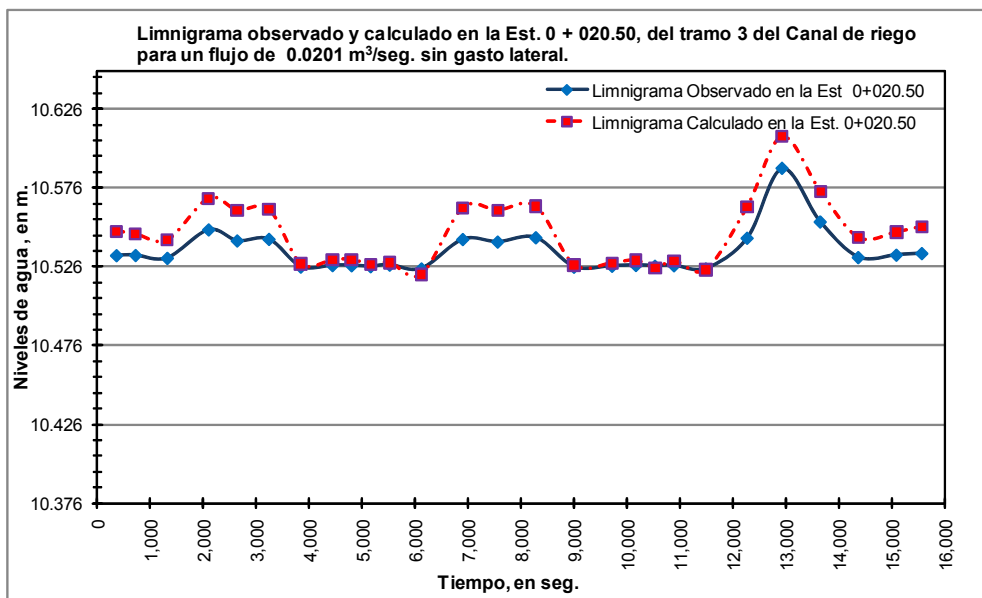


Figura 30. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+020.50, del tramo 3 del canal de riego para un flujo de $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

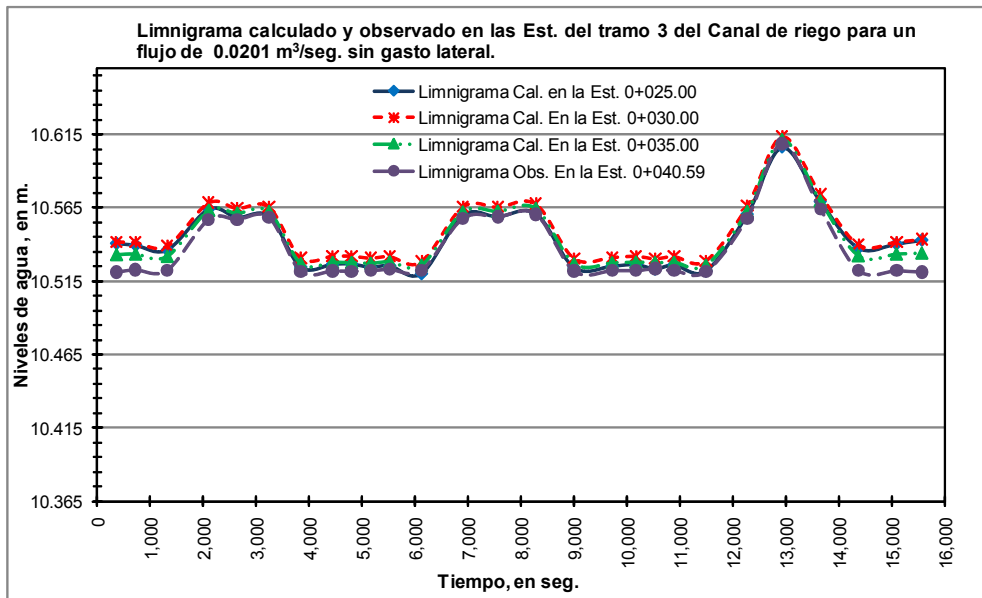


Figura 31. Limnigrama calculado en la Est. 0+025.00, 0+030.00, 0+035.00 y el observado en la Est. 0+040.59, del tramo 3 del canal de riego para un flujo de $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

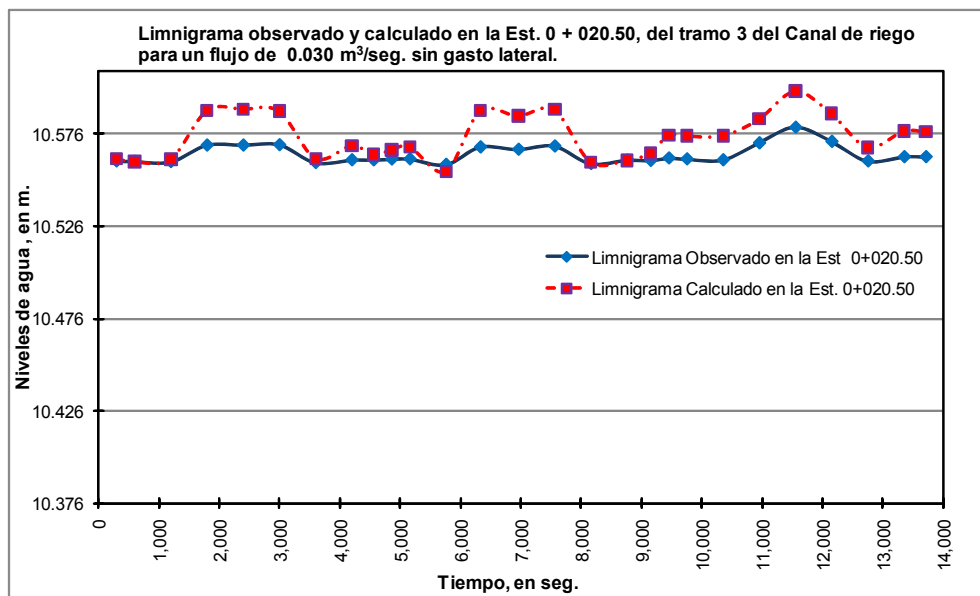


Figura 32. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+020.50, del tramo 3 del canal de riego para un flujo de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

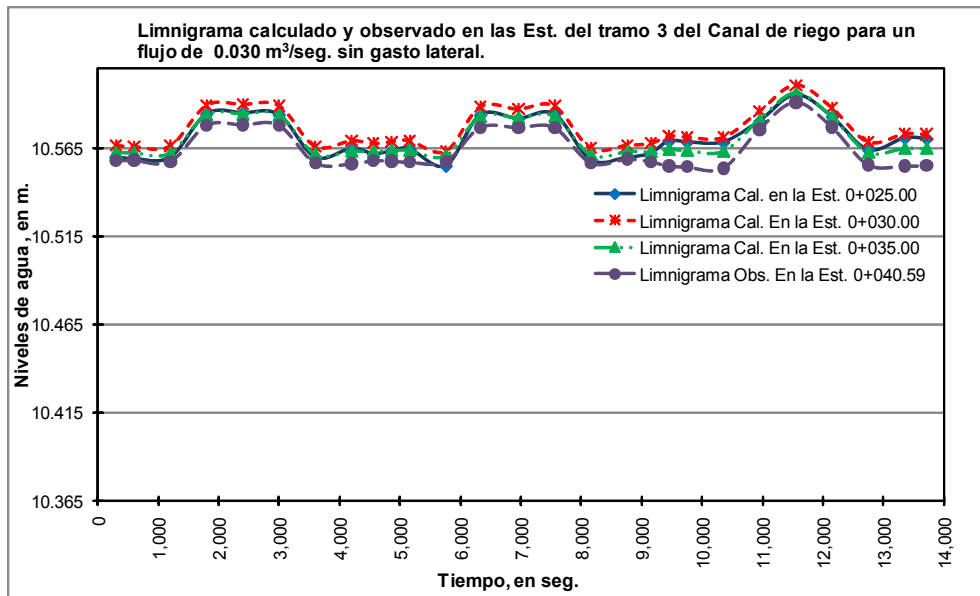


Figura 33. Limnigrama calculado en la Est. 0+025.00, 0+030.00, 0+035.00 y el observado en la Est. 0+040.59, del tramo 3 del canal de riego para un flujo de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

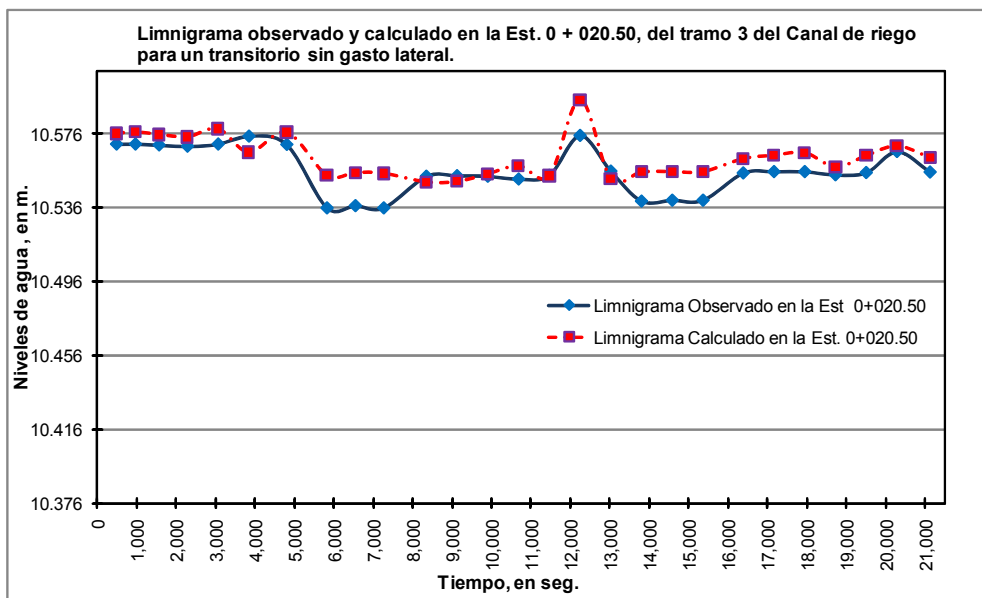


Figura 34. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+020.50, del tramo 3 del canal de riego para un transitorio de 0.030, 0.0201, 0.025 m³/seg sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

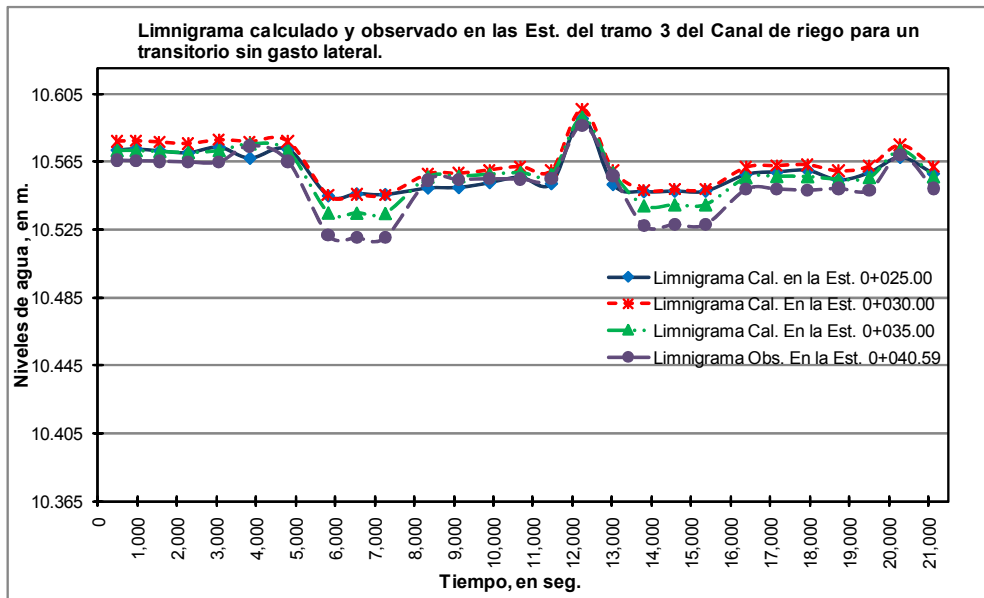


Figura 35. Limnigrama calculado en la Est. 0+025.00, 0+030.00, 0+035.00 y el observado en la Est. 0+040.59, del tramo 3 del canal de riego para un transitorio de 0.030, 0.0201, 0.025 m³/seg sin gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

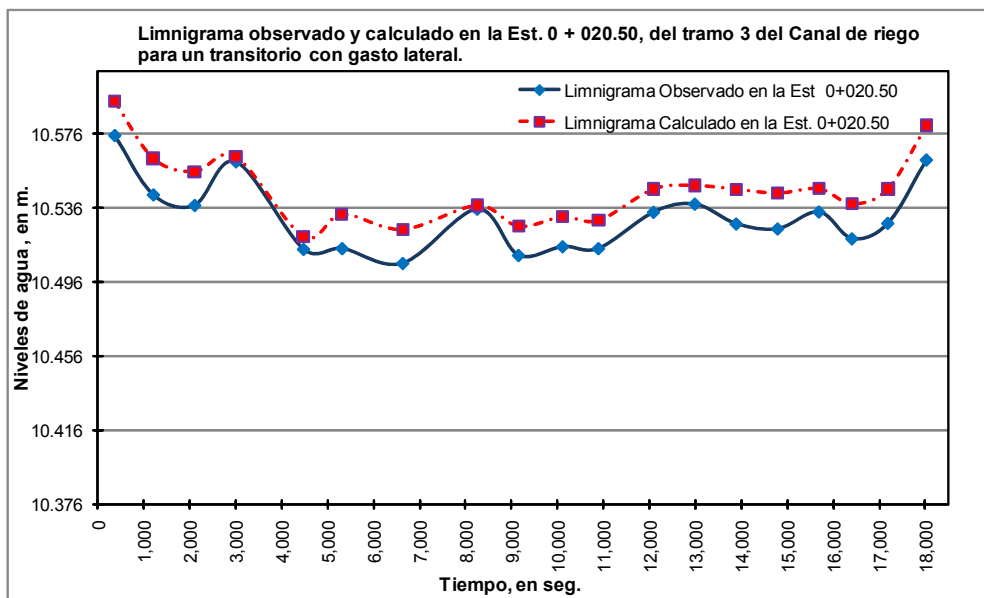


Figura 36. Limnigrama observado y calculado en la Est. 0+020.50, del tramo 3 del canal de riego para el transitorio de 0.030, 0.0201, 0.025 m³/seg con gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.

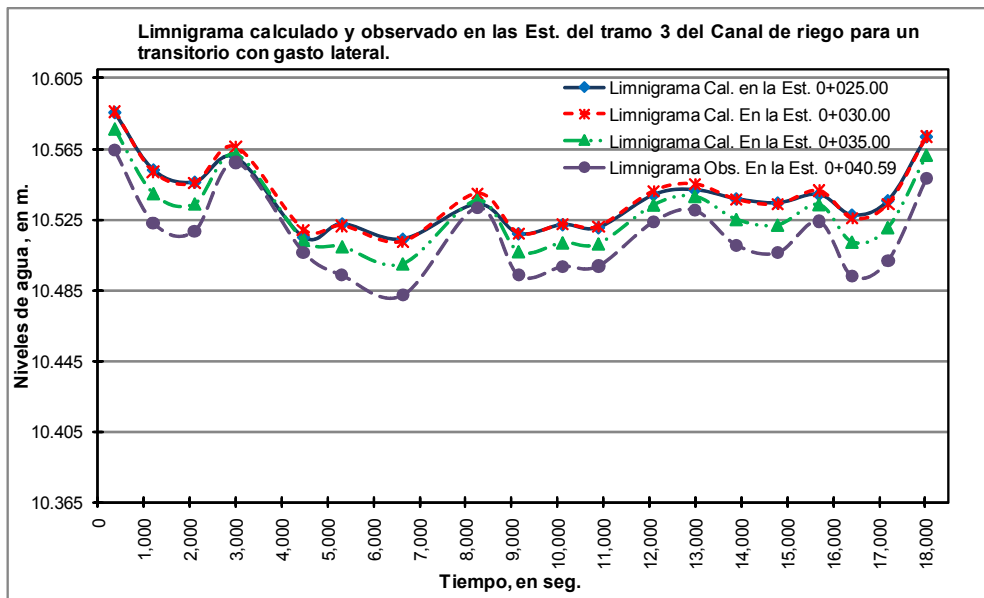


Figura 37. Limnigrama calculado en la Est. 0+025.00, 0+030.00, 0+035.00 y el observado en la Est. 0+040.59, del tramo 3 del canal de riego para el transitorio de 0.030, 0.0201, 0.025 m³/seg con gasto lateral y variación de aberturas en las compuertas.



En la grafica de la Figura 28 (transitorio de $0.0101 \text{ m}^3/\text{seg}$) se observa que la mayoría de los niveles calculados son sobre estimados por el programa CALICAN; la mayor diferencia positiva entre el calculado y el observado fue de 11.265% (0.016 m) y ocurre cuando las compuertas no están funcionando, seguido por 11.195% (0.015 m) y corresponde al cierre a 0.05m. de la Compuerta de la represa 1, finalmente otra de las diferencias mayores fue de 11.107% (0.015 m), el cual ocurre cuando se cierra la Compuerta de la represa 2 a 0.035 m.; en este cálculo no hubo datos negativos.

Para el transitorio de $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$ (Figura 30), la mayoría de los niveles calculados por el programa CALICAN; la mayor diferencia positiva entre el calculado y el observado fue de 10.690% (0.020 m) y ocurre cuando se realiza el cierre de 0.08 a 0.06 m. de la Compuerta de la repesa 2, cabe mencionar que en este movimiento el vertedor pico de pato de la represa 1 y 2 estaban funcionando, seguido por 10.590% (0.020 m) y corresponde cuando se cierra la Compuerta de la represa 3 a 0.07 m., finalmente otra de las diferencias mayores fue de 10.594% (0.020 m), el cual ocurre cuando se cierra nuevamente la Compuerta de la represa 3 a 0.07 m.; en cuanto a las diferencias negativas se encuentra el -2.591% (-0.004 m), ocurre cuando se cierra la Compuerta de la represa 2 a 0.08 m., -0.984% (-0.002 m) que ocurre cuando no están funcionando las compuertas.



Como conclusión se observa que la mayoría de los datos calculados difieren entre 8.8% a 10.69% con los observados, en cuanto a los negativos, esta diferencia es muy pequeña.

En la grafica de la Figura 32 (transitorio de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$) se observa que la mayoría de los niveles calculados son sobre estimados por el programa CALICAN a excepción de tres datos; la mayor diferencia positiva entre el calculado y el observado fue de 9.276% (0.020 m) y ocurre cuando se abre la Compuerta de la represa 2 de 0.10 a 0.120 m., seguido por 9.228% (0.020 m) y corresponde cuando se cierra la Compuerta de la represa 3 a 0.11 m., finalmente otra de las diferencias mayores fue de 9.194% (0.020 m), el cual ocurre cuando se cierra a 0.14 a 0.11 m. la Compuerta de la represa 1, cabe mencionar que aquí el vertedor de la represa 1 y 2 están funcionando; en cuanto a las diferencias negativas se encuentra el -2.095% (-0.004 m), ocurre cuando se cierra la Compuerta de la represa 2 a 0.12 m., -0.036% (-0.0001 m) que ocurre cuando se cierra la Compuerta de la represa 1 a 0.14 m. Como conclusión se observa que las diferencias mayores entre los niveles calculados y los observados negativos es muy pequeña y las positivas también, por lo que el programa CALICAN obtuvo datos muy similares a los observados.

En la grafica de la Figura 34 (transitorio de 0.030 a $0.0201 \text{ m}^3/\text{seg}$ sin salidas laterales) se observa que la mayoría de los niveles calculados son sobre estimados por el programa CALICAN a excepción de cuatro datos; la mayor



diferencia positiva entre el calculado y el observado fue de 10.566% (0.019 m) y ocurre cuando se abre la Compuerta de la represa 2 de 0.125 a 0.115 m., seguido por 10.100% (0.018 m) y corresponde cuando se cierra la Compuerta de la represa 1 a 0.145 a 0.115 m., finalmente otra de las diferencias mayores fue de 9.992% (0.018 m), el cual ocurre cuando se cierra la válvula que da el gasto de alimentación de 0.030 a 0.0201 m³/seg; en cuanto a las diferencias negativas se encuentra el -4.642% (-0.009 m), ocurre cuando se cierra la Compuerta de la represa 3 de 0.125 a 0.11 m., -2.213% (-0.004 m) que ocurre cuando se cierra la Compuerta de la represa 3 a 0.055 a 0.07 m. Como conclusión se observa que las diferencias mayores entre los niveles calculados y los observados negativos es muy pequeña y las positivas es de 0.02 m., por lo que el programa CALICAN obtuvo datos aceptables.

En la grafica de la Figura 36 (transitorio de 0.030 a 0.0201 m³/seg y finalmente a 0.025 m³/seg con salida lateral) se observa que todos los niveles calculados son sobre estimados por el programa CALICAN; la mayor diferencia positiva entre el calculado y el observado fue de 12.278% (0.018 m) y ocurre cuando se abre la Compuerta de la represa 3 de 0.11 a 0.125 m., seguido por 11.757% (0.019 m) y corresponde cuando se cierra la Compuerta de la represa 3 de 0.125 a 0.11 m., finalmente otra de las diferencias mayores fue de 11.526% (0.020 m), el cual ocurre cuando se abre a 0.070 a 0.09 m. la Compuerta de la represa 2. Como conclusión se observa que las diferencias mayores entre los



niveles calculados y los observados positivos son de 0.02 m., por lo que los datos calculados se aceptan.

En general se concluye que en el tramo de canal 3 todos los datos calculados son aceptables, ya que la mayoría de ellos son similares a los observados.

Los coeficientes de rugosidad cambian de acuerdo a las condiciones del flujo, ver cuadro correspondiente a cada calibración (Anexo A).

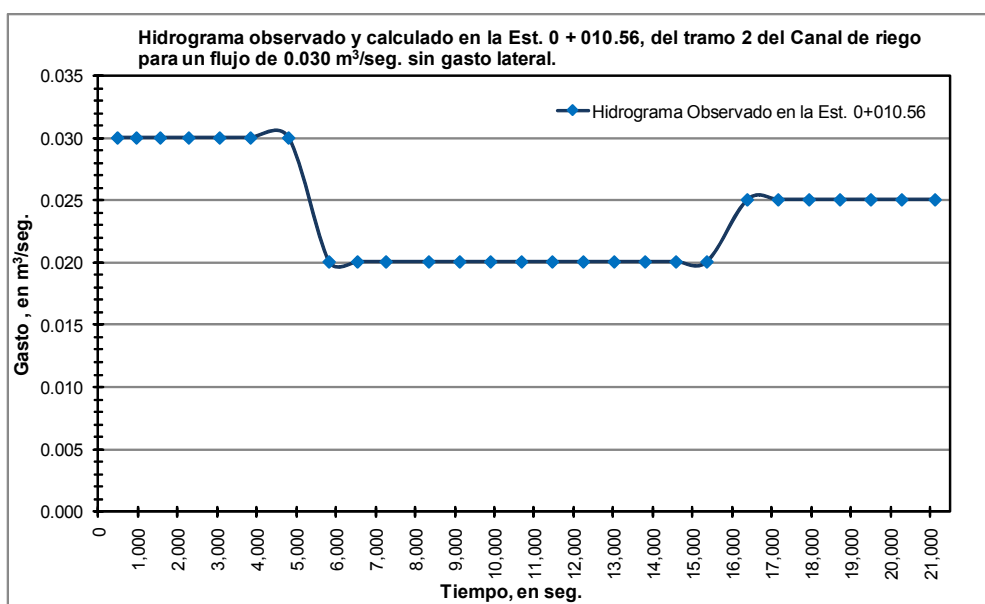


Figura 38. Hidrograma promedio observado en la Est. 0+010.56 en el tramo de Canal 2, sin gastos laterales.

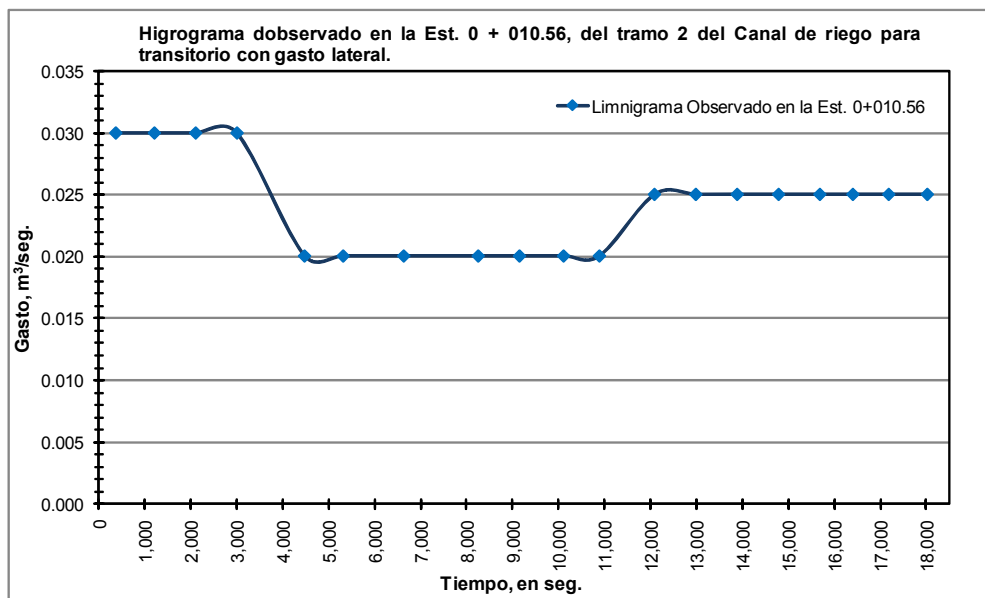


Figura 39. Hidrograma promedio observado en la Est. 0+010.56 en el tramo de Canal 2, con gastos laterales en la Est. 0+020.50.

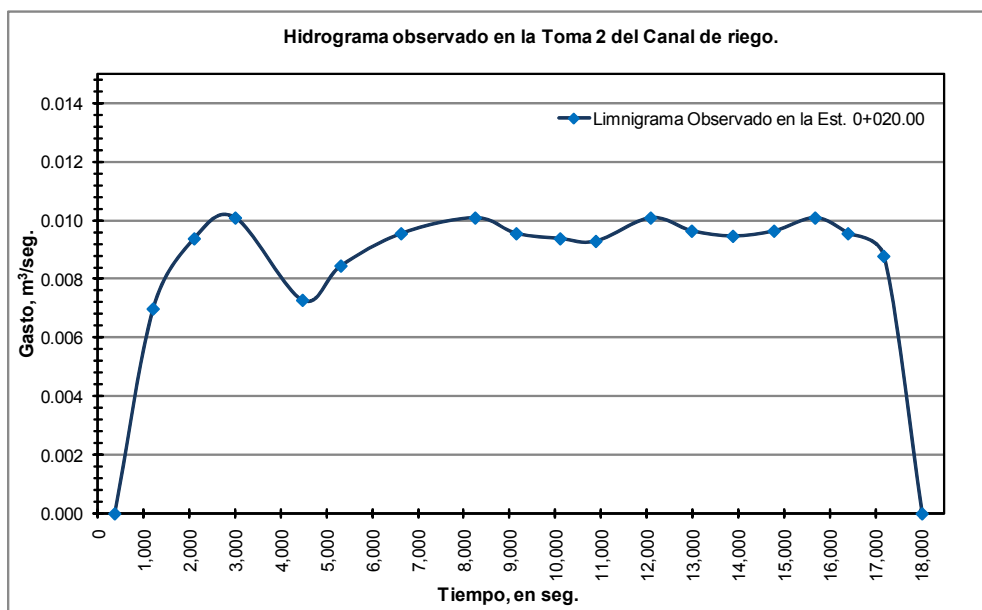


Figura 40. Hidrograma promedio observado en la Toma 2 en el tramo de Canal 2 ubicada en la Est. 0+020.00.

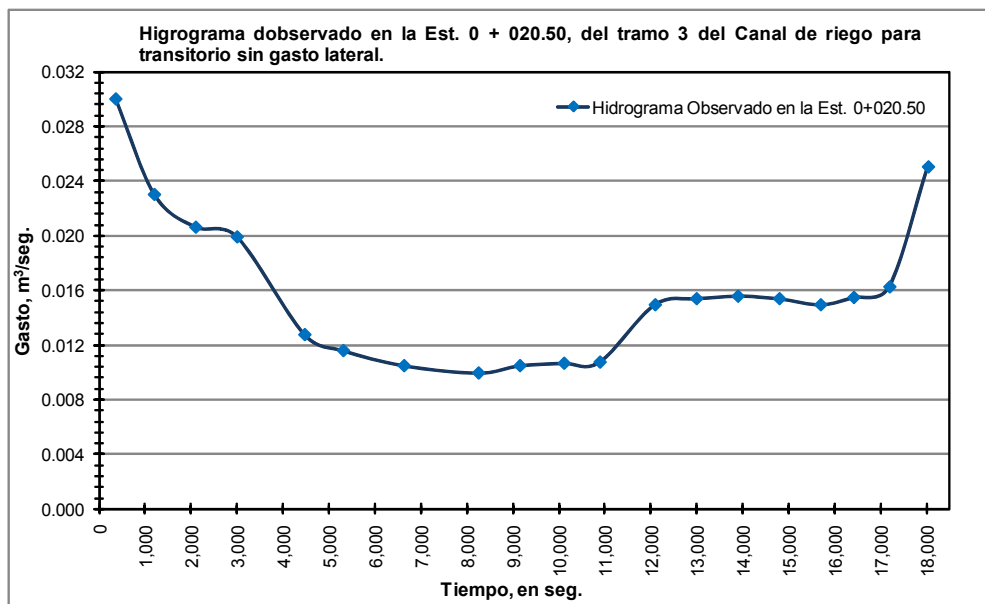


Figura 41. Hidrograma promedio observado en la después de la Est. 0+020.50 en el tramo de Canal 3, sin gastos laterales y demanda en la toma lateral aguas arriba.

En la Figura 40 Se observa que para que la toma entregue un gasto de 0.0101 m³/seg se tienen que realizar más de un movimiento, por lo que se pierde una cantidad de agua.



6.7. Resultado de la verificación y validación del modelo de canales.

La verificación del flujo no permanente en canales se define como el procedimiento mediante el cual se realiza la prueba de la información obtenida en el proceso de calibración, para lo cual se corre el modelo de flujo no permanente HEC-RAS, utilizando la curva de superficie libre del agua, como condición inicial y las condiciones de frontera se mantienen constantes, de acuerdo a esa medición inicial, para lo cual se está corriendo el régimen permanente.

Se corrió el software HEC-RAS, considerando como condición inicial en régimen permanente un gasto de $0.030 \text{ m}^3/\text{seg}$ y las condiciones de frontera se mantienen constantes, de acuerdo a esa medición inicial, para lo cual se está corriendo el régimen permanente. Las condiciones de frontera exterior inicial se considero un limnigrama, el cual corresponde al observado en el sensor uno, como condición de frontera interior a curva de relación Nivel-Gasto y como condición de frontera exterior final a curva de relación Nivel-Gasto. La curva relación Nivel-Gasto de la condición de frontera interior está compuesta por los niveles observados en el sensor 3 y el gasto correspondiente al tiempo donde el flujo es permanente, es decir, el gasto que se tiene cuando se establece el gasto después de abrir o cerrar una compuerta; la condición de frontera final es



el nivel observado en el sensor 5 y el gasto que corresponde cuando se establece el flujo después de abrir o cerrar una compuerta.

6.7.1. Transitorio sin salidas laterales (estrato 4)

Los resultados obtenidos de la simulación se presentan en el Cuadro 10, donde se observa que la diferencia entre los niveles observados y los calculados en la simulación en general no son mayores al 10% a excepción de los que se obtuvieron en el sensor 2, aquí las diferencias mayores que se tienen es de 17.83% a 35.46%, estos errores muy grandes se concluye que se generan debido a que el sensor 2 no esté midiendo bien, ya que éstos están concentrados en un determinado rango de tiempo de la simulación.



INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

Cuadro 10. Niveles observados y simulados en cada uno de los sensores colocados a lo largo del canal en un transitorio sin gasto lateral (estrato 4).

OPERACIÓN DE COMPUERTAS	GASTO, EN m ³ /seg	TIEMPO, EN seg.	SENSOR 1			SENSOR 2			SENSOR 3			SENSOR 4			SENSOR 5		
			NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/Y %
Cierre de la Compuerta 1 a 0.145, Compuerta 2 a 0.125 m. y Compuerta 3 a 0.125	0.0300	480	10.612	10.612	-0.12	10.592	10.590	0.81	10.583	10.588	-2.33	10.562	10.570	-4.36	10.567	10.555	5.88
Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.13 m.	0.0300	960	10.619	10.617	1.03	10.592	10.592	-0.16	10.583	10.590	-3.62	10.562	10.571	-4.87	10.567	10.557	4.73
Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.145 m.	0.0300	1560	10.613	10.613	-0.12	10.589	10.591	-1.11	10.583	10.589	-3.14	10.561	10.570	-4.63	10.566	10.556	5.13
Cierre Compuerta Represa 2 en 90 seg a una abertura de 0.115 m.	0.0300	2280	10.619	10.618	0.39	10.593	10.597	-2.06	10.589	10.595	-2.69	10.560	10.572	-6.06	10.566	10.557	4.37
Abertura Compuerta Represa 2 en 90 seg a una abertura de 0.125 m.	0.0300	3060	10.611	10.610	0.40	10.586	10.589	-1.50	10.584	10.587	-1.68	10.562	10.570	-4.36	10.566	10.555	5.41
Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.11 m.	0.0300	3840	10.619	10.623	-1.66	10.575	10.599	-13.00	10.588	10.598	-4.79	10.566	10.577	-5.60	10.575	10.564	5.36
Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.125 m.	0.0300	4800	10.612	10.612	0.03	10.577	10.590	-6.81	10.583	10.588	-2.41	10.561	10.570	-4.49	10.566	10.554	6.13
Cierre de la válvula que entrega un gasto de 0.030 a 0.0201 m ³ /seg en 420 seg.	0.0201	5820	10.551	10.551	0.24	10.527	10.542	-10.44	10.534	10.540	-4.11	10.527	10.533	-3.90	10.523	10.513	6.20
Cierre Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.115 m.	0.0201	6540	10.555	10.556	-0.51	10.515	10.538	-17.83	10.534	10.535	-0.63	10.528	10.529	-0.62	10.522	10.508	8.65
Cierre Compuerta Represa 2 en 240 seg a una abertura de 0.09 m.	0.0201	7260	10.571	10.570	0.40	10.523	10.552	-21.17	10.547	10.550	-1.65	10.527	10.532	-3.22	10.522	10.513	5.45
Cierre Compuerta Represa 3 en 240 seg a una abertura de 0.07 m.	0.0201	8340	10.592	10.593	-0.29	10.534	10.575	-27.70	10.568	10.574	-3.12	10.544	10.553	-5.07	10.555	10.543	6.41
Cierre Compuerta Represa 1 en 180 seg a una abertura de 0.09 m.	0.0201	9120	10.606	10.603	1.55	10.540	10.577	-24.30	10.567	10.576	-4.79	10.544	10.556	-6.61	10.556	10.546	5.00
Abertura Compuerta Represa 1 en 180 seg a una abertura de 0.115 m.	0.0201	9900	10.593	10.593	0.07	10.545	10.576	-19.69	10.568	10.575	-3.64	10.544	10.554	-5.63	10.556	10.544	6.30
Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.07 m.	0.0201	10680	10.617	10.617	-0.12	10.557	10.599	-24.93	10.586	10.598	-5.95	10.543	10.559	-9.37	10.556	10.549	3.59



INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

OPERACIÓN DE COMPUERTAS	GASTO, EN m ³ /seg	TIEMPO, EN seg.	SENSOR 1			SENSOR 2			SENSOR 3			SENSOR 4			SENSOR 5		
			NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/Y %
Abertura Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.09 m.	0.0201	11460	10.596	10.594	1.15	10.527	10.577	-35.46	10.569	10.576	-3.89	10.545	10.556	-6.46	10.556	10.546	5.33
Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.055 m.	0.0201	12240	10.622	10.622	0.17	10.612	10.602	4.28	10.594	10.602	-3.90	10.566	10.575	-4.42	10.588	10.568	8.78
Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.07 m.	0.0201	13020	10.597	10.597	0.07	10.581	10.579	1.19	10.572	10.577	-2.68	10.547	10.556	-5.13	10.558	10.546	6.11
Abertura Compuerta Represa 3 en 180 seg a una abertura de 0.10 m.	0.0201	13800	10.576	10.576	0.21	10.560	10.559	0.57	10.552	10.557	-2.69	10.531	10.538	-4.57	10.529	10.523	3.37
Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a una abertura de 0.105 m.	0.0201	14580	10.567	10.567	-0.06	10.535	10.550	-10.44	10.544	10.548	-2.68	10.531	10.536	-3.04	10.529	10.520	5.65
Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.13 m.	0.0201	15360	10.565	10.564	0.51	10.551	10.550	0.76	10.544	10.548	-2.68	10.531	10.536	-3.04	10.529	10.520	5.65
Abertura de válvula que entrega un gasto de 0.0201 a 0.025 m ³ /seg en 540 seg.	0.0250	16380	10.594	10.594	-0.13	10.567	10.575	-4.42	10.567	10.574	-3.57	10.546	10.555	-5.11	10.550	10.542	4.25
Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.115 m.	0.0250	17160	10.598	10.597	0.43	10.571	10.575	-2.44	10.567	10.573	-3.00	10.547	10.555	-4.72	10.550	10.541	4.88
Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.13 m.	0.0250	17940	10.592	10.591	0.32	10.565	10.573	-4.47	10.568	10.571	-1.82	10.547	10.554	-4.17	10.549	10.540	5.03
Cierre Compuerta Represa 2 en 180 seg a una abertura de 0.085 m.	0.0250	18720	10.610	10.611	-0.49	10.581	10.592	-5.64	10.582	10.591	-4.61	10.545	10.558	-7.43	10.550	10.544	3.38
Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a una abertura de 0.105 m.	0.0250	19500	10.594	10.591	1.28	10.567	10.574	-3.72	10.567	10.573	-3.40	10.546	10.555	-5.01	10.549	10.541	4.49
Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.08 m.	0.0250	20280	10.607	10.606	0.52	10.578	10.588	-5.48	10.579	10.587	-3.80	10.558	10.567	-4.97	10.570	10.558	5.79
Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.10 m.	0.0250	21120	10.592	10.592	0.20	10.573	10.574	-0.80	10.567	10.572	-2.88	10.546	10.554	-4.31	10.550	10.540	5.55

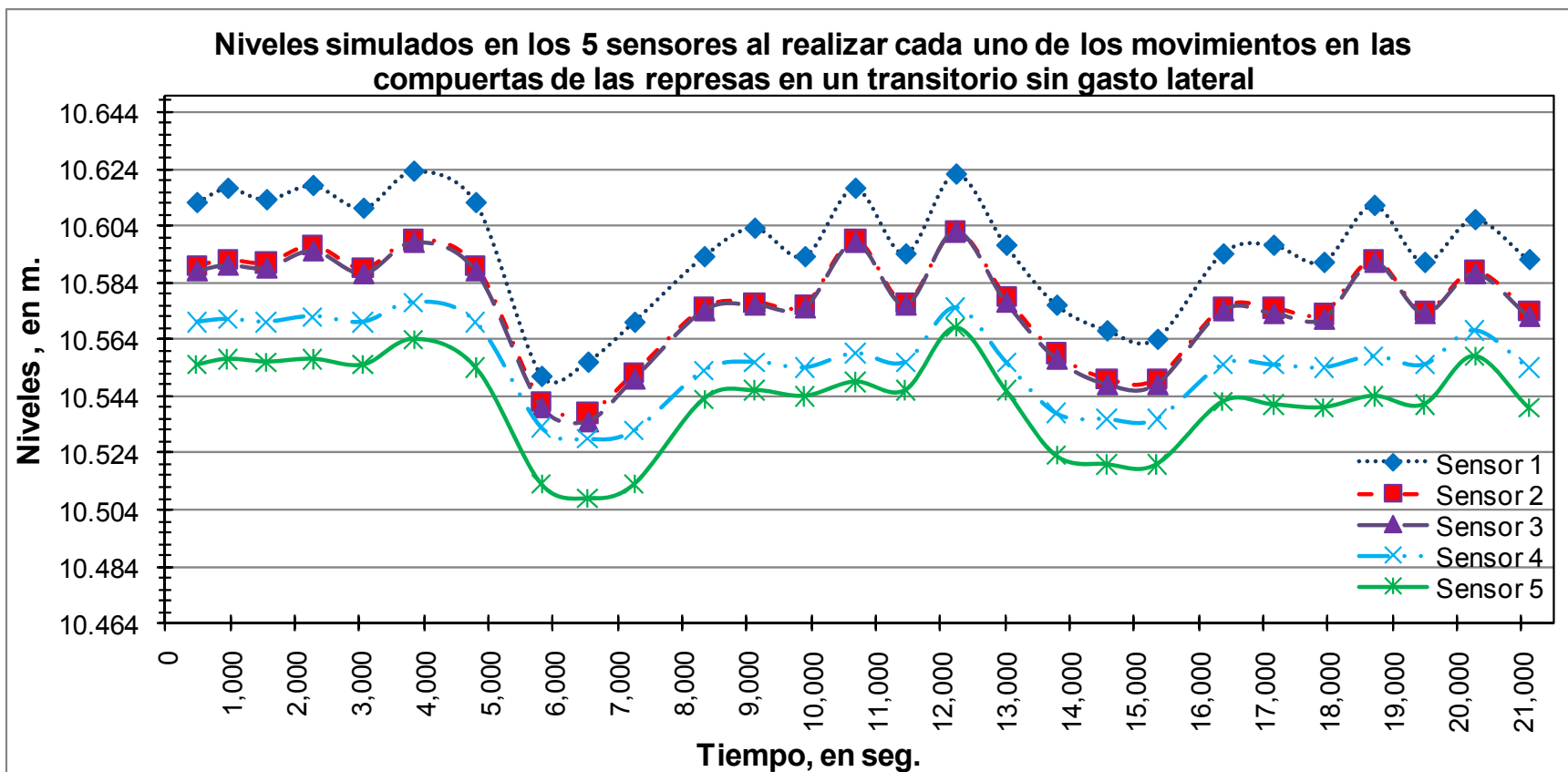


Figura 42. Niveles calculados en la simulación a lo largo de todo el canal en un transitorio sin salidas laterales.



En el Cuadro 10, la grafica de la Figura 42 se observa que cuando hay un movimiento en una compuerta, este influye en el flujo, si se abre una compuerta, el nivel baja en todo el canal, si se cierra el nivel aumenta tanto aguas arriba como aguas abajo, esta disminución y aumento de tirante influye que en las compuertas no esté pasando el mismo gasto durante el transitorio, lo que provoca que aguas abajo el gasto sea menor o mayor al solicitado, esta pérdida resulto de un 5%, esta pérdida depende de que tanto se abra o se cierre una compuerta, ver Grafica 16 de datos observados.

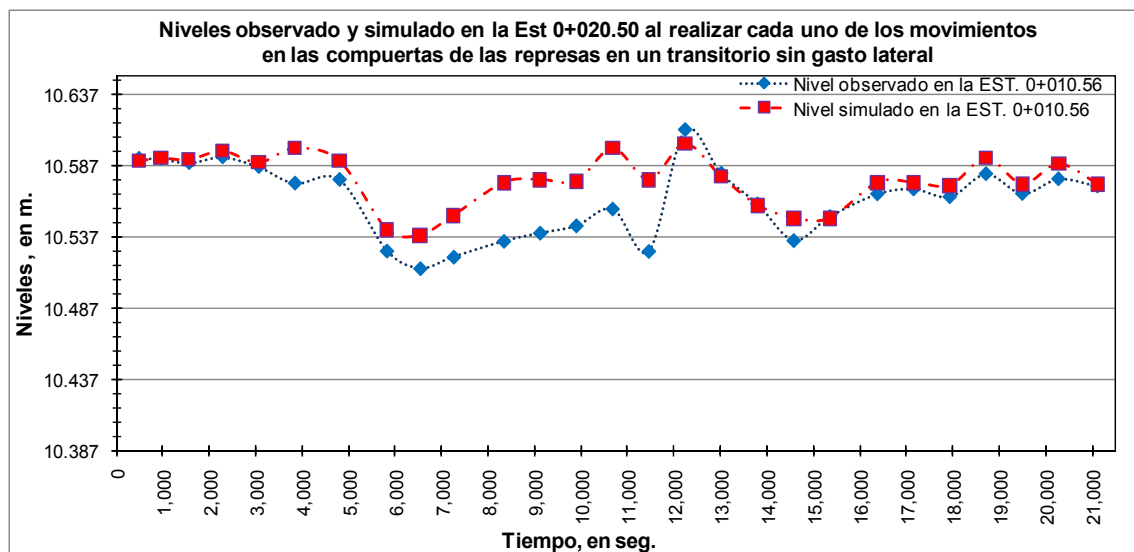


Figura 43. Nivel observado y calculado en la Est. 0+010.56 en un transitorio sin salidas laterales.

En la grafica de la Figura 43 se observa el nivel observado y calculado en la simulación, se observa que en una etapa de la simulación la diferencia es considerable, debido a que esta diferencia está muy localizada en la simulación se concluye que se debe a que el sensor está arrojando mediciones erróneas, ya que son muy altas, entre 17.83% a 35.46%.

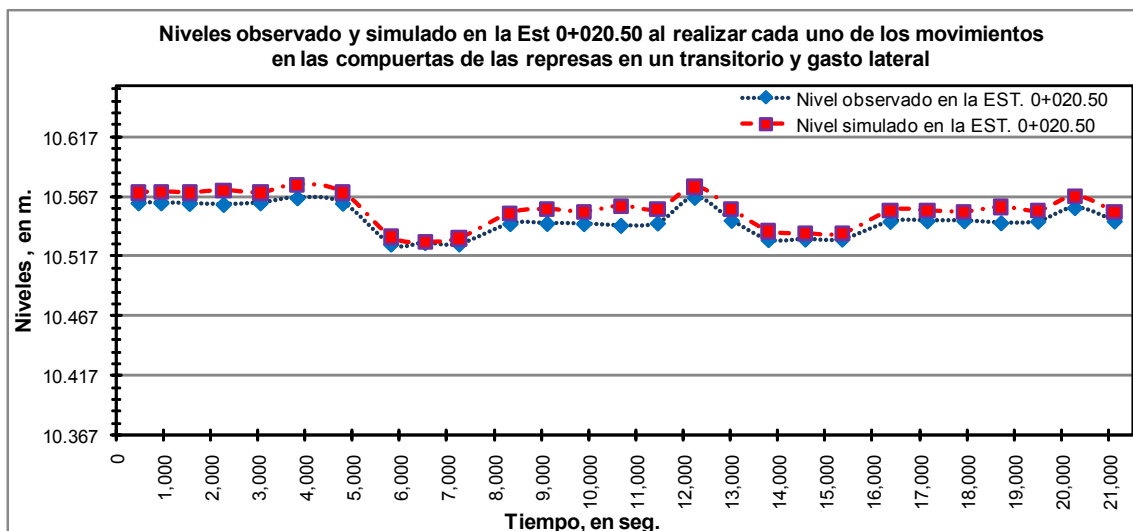


Figura 44. Nivel observado y calculado en la Est. 0+020.50 en un transitorio sin salidas laterales.

En la grafica de la Figura 44 se observa que la diferencia entre el nivel observado y calculado en la simulación no es significativa, la máxima diferencia es de -9.37% que corresponde al cierre de la compuerta de la represa 2 a 0.07 m.



6.7.2. Transitorio con salidas laterales (estrato 5)

Los resultados obtenidos de la simulación se presentan en el Cuadro 11, donde se observa que la diferencia entre los niveles observados y los calculados en la simulación en general no son mayores al 12% a excepción de los que se obtuvieron en el sensor 2, aquí las diferencias mayores que se tienen es de 14.17% a 38.20%, estos errores muy grandes se concluye que se generan debido a que el sensor 2 no esté midiendo bien.

En el Cuadro 11 y la grafica de la Figura 45 se observa que cuando abre la compuerta de la toma lateral el nivel disminuye considerablemente, éste movimiento afecta tanto aguas arriba como aguas abajo, ya que el gasto se reduce o aumenta, para este caso el volumen que se quiere entregar a la toma es de $0.01 \text{ m}^3/\text{seg}$ el cual no se cumple en el primer movimiento, ya que sólo se está entregando en 70%, esto implica que el 30% se está perdiendo, ya que aguas abajo no se necesita, para poder entregar el volumen demandado en la toma se tienen que realizar 3 movimientos, estos movimientos implican perdidas de agua, ver Grafica 17 de datos observados.



INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

Cuadro 11. Niveles observados y simulados en cada uno de los sensores colocados a lo largo del canal en un transitorio sin gasto lateral (estrato 5).

OPERACIÓN DE COMPUERTAS	GASTO, EN m ³ /seg	GASTO EN TOMA LATERAL, EN m ³ /seg	TIEMPO, EN seg.	SENSOR 1 EST 21			SENSOR 2 EST 18			SENSOR 3 EST 13			SENSOR 4 EST 12			SENSOR 5 EST 12		
				NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/ Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/ Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/ Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/ Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/ Y %
Aberturas iniciales Compuerta Represa 1 a 0.145 m., Compuerta Represa 2 a 0.125 m. y Compuerta Represa 3 a 0.125 m.	0.0300	0.0000	360	10.615	10.615	0.03	10.595	10.598	-1.27	10.583	10.591	-3.77	10.566	10.572	-2.92	10.565	10.557	4.09
Abertura de toma 2 en 180 seg a una abertura de 0.02 m.	0.0300	0.0070	1200	10.567	10.566	0.41	10.550	10.550	-0.20	10.531	10.534	-2.26	10.534	10.527	4.27	10.524	10.507	10.82
Cierre Compuerta Represa 2 en 240 seg a una abertura de 0.065 m.	0.0300	0.0094	2100	10.598	10.599	-0.52	10.578	10.579	-0.78	10.569	10.573	-2.07	10.529	10.534	-3.40	10.520	10.514	3.57
Cierre Compuerta Represa 3 en 240 seg a una abertura de 0.065 m.	0.0300	0.0101	3000	10.620	10.621	-0.26	10.600	10.599	0.35	10.590	10.595	-2.33	10.552	10.555	-1.62	10.558	10.545	6.87
Cierre de válvula que entrega un gasto de 0.030 a 0.0201 m ³ /seg en 540 seg	0.0201	0.0073	4440	10.534	10.533	0.95	10.513	10.531	-14.17	10.508	10.516	-6.17	10.505	10.502	2.05	10.508	10.487	14.44
Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.115 m.	0.0201	0.0084	5280	10.537	10.537	-0.18	10.522	10.524	-1.47	10.507	10.508	-0.95	10.505	10.496	6.61	10.495	10.481	10.47
Cierre Compuerta Represa 2 en 240 seg a una abertura de 0.03 m.	0.0201	0.0095	6600	10.579	10.579	0.21	10.538	10.560	-14.47	10.555	10.556	-0.84	10.497	10.508	-8.29	10.483	10.494	-9.21
Cierre Compuerta Represa 3 en 180 seg a una abertura de 0.03 m.	0.0201	0.0101	8220	10.610	10.609	0.33	10.547	10.588	-25.34	10.582	10.587	-2.34	10.527	10.532	-3.44	10.533	10.526	4.08
Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.05 m.	0.0201	0.0095	9120	10.587	10.585	0.95	10.516	10.566	-38.20	10.559	10.563	-2.09	10.502	10.514	-9.26	10.495	10.503	-6.59
Abertura Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.04 m.	0.0201	0.0094	10080	10.565	10.566	-0.51	10.538	10.549	-7.00	10.540	10.544	-2.74	10.506	10.509	-2.03	10.500	10.498	1.12
Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.13 m.	0.0201	0.0093	10860	10.562	10.562	0.23	10.535	10.549	-9.40	10.540	10.544	-2.54	10.505	10.509	-2.76	10.500	10.498	1.36
Abertura de válvula que entrega un gasto de 0.0201 a 0.025 m ³ /seg en 360 seg.	0.0250	0.0101	12060	10.615	10.617	-0.70	10.547	10.595	-29.55	10.586	10.593	-3.24	10.525	10.540	-9.58	10.525	10.531	-3.87



INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

OPERACIÓN DE COMPUERTAS	GASTO, EN m ³ /seg	GASTO EN TOMA LATERAL, EN m ³ /seg	TIEMPO, EN seg.	SENSOR 1 EST 21			SENSOR 2 EST 18			SENSOR 3 EST 13			SENSOR 4 EST 12			SENSOR 5 EST 12		
				NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/Y %	NIV. OBS.	NIV. CALC.	DIF. REL/Y %
Abertura Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.05 m.	0.0250	0.0096	12960	10.594	10.594	0.19	10.568	10.576	-4.40	10.568	10.572	-2.17	10.529	10.533	-2.36	10.531	10.524	4.33
Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.065 m.	0.0250	0.0095	13860	10.581	10.582	-0.66	10.562	10.565	-1.70	10.556	10.560	-2.31	10.519	10.523	-2.96	10.512	10.511	0.34
Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.04 m.	0.0250	0.0096	14760	10.597	10.599	-0.76	10.578	10.580	-1.22	10.571	10.576	-2.82	10.516	10.527	-7.54	10.507	10.516	-6.17
Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.05 m.	0.0250	0.0101	15660	10.608	10.606	0.75	10.595	10.587	3.71	10.582	10.584	-1.05	10.525	10.535	-6.31	10.525	10.526	-0.63
Abertura Compuerta Represa 3 en 240 seg a una abertura de 0.10 m.	0.0250	0.0095	16380	10.593	10.591	1.17	10.578	10.572	2.87	10.566	10.568	-1.18	10.511	10.521	-7.29	10.494	10.504	-7.78
Abertura Compuerta Represa 2 en 270 seg a una abertura de 0.105 m.	0.0250	0.0088	17160	10.543	10.541	1.06	10.517	10.532	-11.45	10.510	10.514	-2.78	10.519	10.509	6.40	10.503	10.491	8.56
Cierre total de la toma 2 en 120 seg	0.0250	0.0000	18000	10.593	10.592	0.32	10.564	10.579	-8.73	10.567	10.573	-3.27	10.553	10.554	-0.54	10.549	10.541	4.49

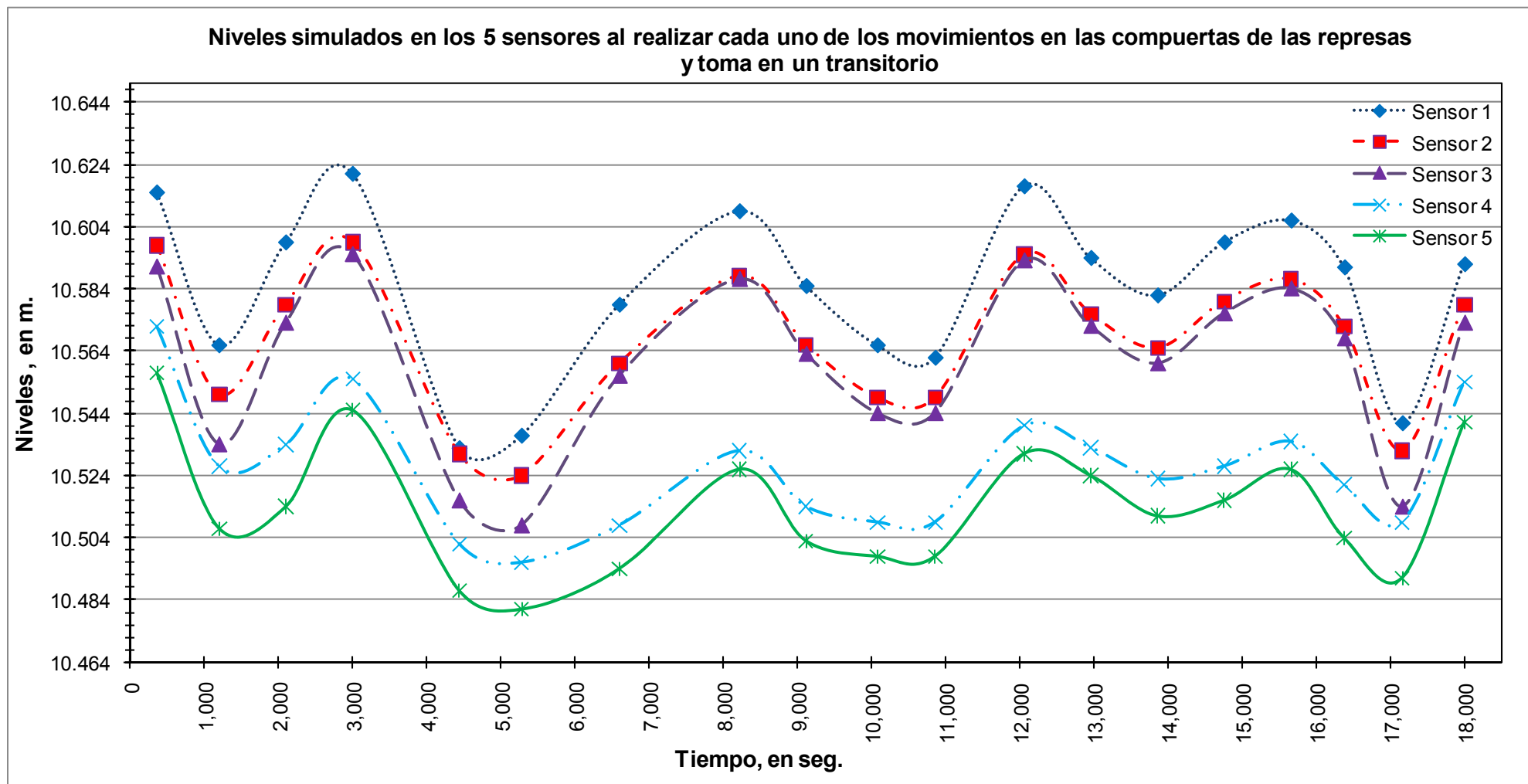


Figura 45. Niveles calculados en la simulación a lo largo de todo el canal en un transitorio con salidas laterales.

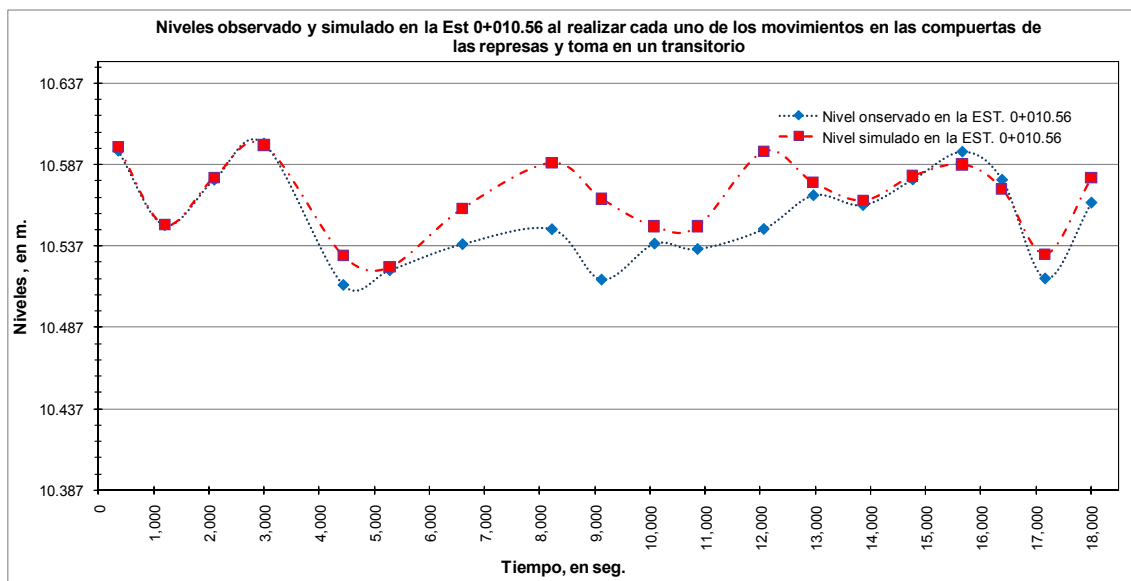


Figura 46. Nivel observado y calculado en la Est. 0+010.56 en un transitorio con salidas laterales.

En la grafica de la Figura 46 se presenta el nivel observado y calculado en la simulación, se observa que en una etapa de la simulación la diferencia es considerable, debido a que esta diferencia está localizada en un rango de la simulación se concluye que se debe a que el sensor está arrojando mediciones erróneas, ya que son muy altas, entre 14.17% a 38.20%.

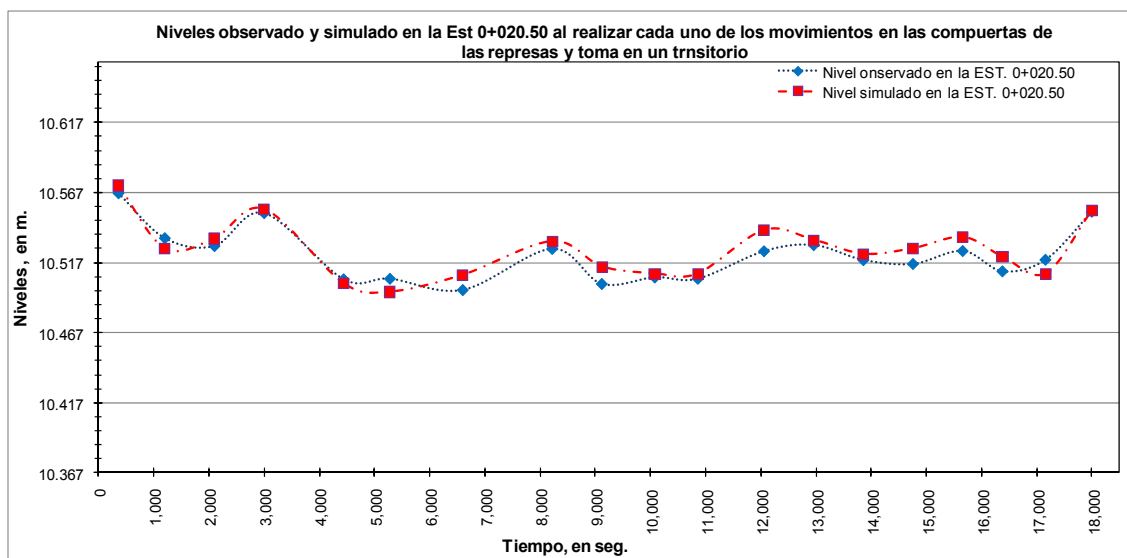


Figura 47. Nivel observado y calculado en la Est. 0+020.50 en un transitorio con salidas laterales.

En la grafica de la Figura 47 se observa que la diferencia entre el nivel observado y calculado en la simulación no es significativa, la máximas diferencias no son mayores a 10.5%.

Los niveles negativos que nos resultan tanto en el transitorio sin salidas laterales como con salidas laterales, nos están indicando que en la simulación el gasto que esta transitando es menor al que entrego en el experimento



VII CONCLUSIONES

1. Las aberturas o cierres de una compuerta de una represa o toma lateral redundan en un aumento o disminución del tirante no deseado a lo largo de todo el canal, lo que deriva en que el gasto en las compuertas no sea constante y por lo tanto no se puede tener una carga uniforme.
2. Al abrir la toma lateral 2, el nivel disminuye considerablemente aguas arriba y aguas abajo, este cambio en el régimen no permanente causa que en la toma se entregue como máximo un 70% del volumen solicitado.
3. Se obtuvo el modelo general representativo de la compuerta de la represa 1 a

$$\text{descarga ahogada: } C_d = \frac{\frac{y_1 - y_3}{u}}{0.125035 + 2.338768 \frac{y_1}{u} - 2.515037 \frac{y_3}{u}}$$

4. Se obtuvo el modelo general representativo de la compuerta de la represa 2 a

$$\text{descarga ahogada: } C_d = \frac{\frac{y_1 - y_3}{u}}{0.026969 + 1.331096 \frac{y_1}{u} - 1.376748 \frac{y_3}{u}}$$

5. Se obtuvo el modelo general representativo de la compuerta de la toma lateral 2 a

$$\text{descarga libre: } C_d = \frac{\frac{y_1}{u}}{0.490568 + 1.564353 \frac{y_1}{u}}$$



6. Se calibró el tramo de canal 2 y 3 con el programa CALICAN. Obteniendo Coeficientes de Rugosidad de Operación que varían de 0.005 a 0.061 para 0.030 m³/s, de 0.008 a 0.07 para 0.020 m³/s y de 0.011 a 0.1357 para 0.0101 m³/s en el tramo 2. Para el tramo 3 es de 0.0091 a 0.0192 para 0.030 m³/s, de 0.0092 a 0.0234 para 0.020 m³/s y de 0.017 a 0.0492 para 0.0101 m³/s. En el transitorio sin salidas laterales (0.30 m³/seg, 0.020 m³/seg y finalmente a 0.025 m³/seg), fue de 0.0014 a 0.0751 en el tramo 2 y de 0.0055 a 0.0266 en el tramo 3. En el transitorio con salidas laterales (0.30 m³/seg, 0.020 m³/seg y finalmente a 0.025 m³/seg), fue de 0.0034 a 0.0604 en el tramo 2 y de 0.0189 a 0.0356 en el tramo 3.
7. Cuando se transita un flujo de 0.030 m³/seg sin salidas laterales se tiene un aumento máximo promedio de tirantes en el sensor 1 de 27.45% (0.054 m), en el sensor 2 de 18.28% (0.03 m), en el sensor 3 de 19.75% (0.037 m), en el sensor 4 de 5.47% (0.011 m) y en el sensor 5 de 13.04% (0.024 m).
8. Cuando se transita un flujo de 0.020 m³/seg sin salidas laterales se tiene un aumento máximo promedio de tirantes en el sensor 1 de 57.03% (0.091 m), en el sensor 2 de 32.73% (0.052 m), en el sensor 3 de 44.48% (0.069 m), en el sensor 4 de 18.92% (0.029 m) y en el sensor 5 de 33.28% (0.053 m).
9. Cuando se transita un flujo de 0.0101 m³/seg sin salidas laterales se tiene un aumento máximo promedio de tirantes en el sensor 1 de 125.99% (0.143 m), en el sensor 2 de 101.89% (0.109 m), en el sensor 3 de 97.23% (0.108 m), en el sensor 4 de 36.61% (0.044 m) y en el sensor 5 de 60.56% (0.069 m).



10. Cuando se tiene un transitorio sin salidas laterales ($0.30 \text{ m}^3/\text{seg}$, $0.020 \text{ m}^3/\text{seg}$ y finalmente a $0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$), el aumento del tirante en el sensor 1 es de 2.29% a 43.29% (0.004 m a 0.071 m), en el sensor 2 disminuye 8.67% (0.012 m) y aumento de 59.76% (0.084 m), en el sensor 3 el aumento es de 0.32% a 37.97% (0.001 m a 0.060 m), en el sensor 4 el aumento es de 0.05% a 24.60% (0.000 m a 0.039 m) y en sensor 5 disminuye 0.79% (0.001 m) y aumento de 41.18% (0.079 m), y ocurre cuando el flujo es de $0.020 \text{ m}^3/\text{seg}$.
11. El abatimiento del nivel del agua en el transitorio con salidas laterales ($0.30 \text{ m}^3/\text{seg}$, $0.020 \text{ m}^3/\text{seg}$ y finalmente a $0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$) que se presenta cuando se abre la compuerta de la toma lateral es: en el sensor 1 de 21.23% (0.048) m, sensor 2 de 21.82% (0.046) m, sensor 3 de 25.36% (0.053 m, sensor 4 de 16.03% (0.032 m) y en el sensor 5 fue de 20.53% (0.041 m).
12. La adaptación de los sensores no resultó confiable debido a que los tirantes son muy pequeños, lo que ocasiona que los sensores fallen y que el análisis de la información no sea confiable.
13. La simulación del flujo no permanente con el programa HEC-RAS es aceptable, ya que los niveles simulados en un 90% son similares a los observados.



VII RECOMENDACIONES

1. Concluir el proyecto de automatización del modelo de canal de riego, con sus sensores específicos para cada sitio, desarrollar el software del sistema y establecer el motoreductor de la válvula de acceso al canal.



VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. ABBOTT M., B., *Method of Characteristics*, Chapter 3 of Unsteady Flow in Open Channels, Vol. I, Edited by K. Mahmood and V. Yevjevich, Water Resources Publications, P. O. Box 303, Fort Collins, Colorado, U.S.A ,80522, 1975, pp. 63-68.
2. AGUILAR C, A., PEDROZA E., *Automatización del Canal Alto del Yaqui*, Sonora, Ingeniería Hidráulica en México, mayo-agosto de 1996, Vol. XI, núm. 2, II Época, pp. 85-95.
3. AGUIRRE P., J., Hidráulica de Canales, CIDIAT, Mérida, Venezuela, 1980, pp. 221-248.
4. APARICIO, J., ALDAMA A., y ESPINOSA C., *Un Esquema de Diferencias Finitas para la Situación del Flujo Unidimensional a Superficie Libre*, Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas (IAHR), XIII Congreso Latino Americano de Hidráulica, 5 al 9 de Julio de 1988, La Habana, Cuba, Vol. 1, pp. 1-10.
5. ARTEAGA T., R. E., *Hidráulica Elemental*, Segunda edición, Universidad Autónoma Chapingo, Dirección General de Difusión Cultural, Chapingo, Mex, México, 2009, 384 pp.
6. ARTEAGA T, R. E., *Análisis y Verificación de Modelos Matemáticos para el Régimen no Permanente en Canales de Riego*, Tesis en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Instituto Superior Politécnico



- “José Antonio Echeverría”, Facultad de Ingeniería Civil, Centro de Investigaciones Hidráulicas, La Habana Cuba, 1997, 167 pp.
7. ARTEAGA T., R. E., *Pequeñas Zonas de Riego: Estudios y Proyecto, Cuarta Parte*, Estructuras de Cruce y de Control y Distribución, Universidad Autónoma Chapingo, Depto. de Irrigación, Chapingo, Méx., Marzo de 1992, 74-178 y 115-330 pp.
8. ARTEAGA T., R. E., *Resolución de las Ecuaciones de Saint Venant por los Métodos de Diferencias Finitas y de las Características*, Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Posgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Centro de Hidrociencias, Chapingo, Méx., Julio de 1985, 21-113 y 184 pp.
9. ARTEAGA T., R. E. y LEÓN M. A., *Comparación de Soluciones de las Ecuaciones de Saint Venant, dadas por el Método de Diferencias Finitas y de las Características*, Revista de Ingeniería Hidráulica, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad de La Habana, Cuba, 1996, No 1, Vol. XVII.
10. ARTEAGA T., R. E. y LEÓN M. A., *Enfoque Común para la Solución de las Ecuaciones de Saint Venant a partir del Esquema de Preissmann*, Revista Ingeniería Hidráulica, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad de La Habana, Cuba, 1996, No 3, Vol. XVII.



11. BALOGUN O., S., HUBBARD M., and DE VRIES J. J., *Automatic Control of Canal Flow Using Linear Quadratic Regulator Theory*, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, U.S.A., January 1988, Vol. 114, No. 1, pp.75-102.
12. BEREZOWKY V., M. y GRACIA S. J., *Un Algoritmo para el Cálculo de Transitorios en Canales de Riego Provocados por el Manejo de Compuertas*, Asociación Mexicana de Hidráulica, VI Congreso Nacional de Hidráulica, Mérida, Yuc., México., 15 al 19 de Nov. De 1980, pp. 454-464.
13. BERGOVICH M, O., RUÍZ C. V. M., y CARLOS Z. J., *Implementación en Tiempo Real de un Control LQG en un Prototipo de Canal Abierto de Riego de Varios Tramos*, Ingeniería Hidráulica en México, abril-junio de 2004, Vol. XIX, núm. 2, II Época, pp. 5-15.
14. BODLEY W., E. and WYLIE E. B., *Control of Transients in Series Channel with Gates*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, U.S.A., October 1978, Vol. 104, No. HY10, pp. 1935-1407.
15. BRENES G., A, DE LEÓN M. B., VENDIER J., PIQUEREAU A., RUIZ C. V. M., y RENDÓN P. L., *Sistema de Control Adaptable para la Regulación de Canales de Riego*, Ingeniería Hidráulica en México, enero-abril 2000, Vol. XV, núm. 1, II Época, pp. 63-72.
16. BRUTSAERT W., *De Saint Venant Equations Experimentally Verified*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, U.S.A., Sept. 1971, Vol. 97, No. HY9, pp. 1387-1401.



17. CHAUDHRY M., H., *Open-Channel flow*, First Edition, Prentice-Hall, New Jersey, U.S.A., 1993, 478 pp.
18. CHAUDHRY M., H., *Applied Hydraulic Transients*, Second Edition, Van Nostrand Reinhold Company, Inc., New York, U.S.A., 1987, 379-447 pp.
19. CHAUDHRY Y., M., and CONTRACTOR D. N., *Aplication og the Implicit Method to Surges in Open Channels*, Water Resources Research, 1973, Vol. 9 No. 6, pp. 1605-1612.
20. CHOW, V.T., *Hidráulica de Canales Abiertos*, Traducido por SALDARRIAGA, G. J. Mc Graw Hill, Santa Fé de Bogotá, Colombia, 1994, 667 pp.
21. CLEMMENS A., J., HOLLY F. M. and SCHUURMANS W., *Description and Evalutation of Program: DUFLOW*, Journal of Drainage Engineering, ASCE, U.S.A., July/August 1993, Vol. 119. No. 4, pp. 724-734.
22. CUNGE J., A., and A. WOOLHISER D., *Irrigation Systems*, Edited by Mahmood, K. and Yevjevich, V., Chapter 13 of Unsteady Flow in Open Channels, , Water Resources Publications, Fort ollins, Colorado, U.S.A., 1975, Vol. I, 80522, pp 509-537.
23. DE ALBUQUERQUE G., F. and LABADIE W. J., *Optimal Nonlinear Predictive Control for Canal Operations*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, enero-febrero 1997, Vol 123 No. 1, pp. 45-54.
24. DE LEÓN M, B., PRADO H. J. V., RENDÓN P. L., ROBLES R. B. y RAMÍREZ L. J., *Delimitación del Uso de Compuertas como Estructuras de*



- Aforo en Canales de Riego*, Ingeniería Hidráulica en México, enero-marzo de 2006, Vol. XVII, núm. 1, II Época, pp. 95-103.
25. DE LEÓN M, B., VENDIER J., PIQUEREAU A., RUIZ C. V. y RENDÓN P. L., *Regulación de Una Red de Canales de Riego*, Ingeniería Hidráulica en México, octubre-diciembre 2002, Vol. XVII, núm. 4, II Época, pp. 21-34.
26. FREAD D., L. and SMITH G. F., *Calibration Technique for 1-D Unsteady Flow Models*, Journal of Hydraulic Division, ASCE, U.S.A., July 1978, Vol. 104, No. HY7, pp.1027-1044.
27. FRENCH R., H., *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Book, Co., New York, U.S.A., 1985, 549-582 pp.
28. GICHUKI F., N., WALKER W. R. and MERKLEY G. P., *Transient Hydraulic Model for Simulating Canal Network Operation*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, U.S.A., February 1990, Vol. 116. No. 1, pp. 67-81.
29. HANCU, S. and DAN P., *Wave Motion Stability in Canals With Automatic Controllers*, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, U.S.A., December 1992, Vol. 118, No. 12, pp.1621-1638.
30. HENDERSON F., M., *Open Channel Flow*, McMillan Series in Civil Engineering, The McMillan Company, New York USA, 1966, 285-354 pp.
31. HUSAIN, T., ABDERRAHMAN W. A., KHAN H. U., KHAN S. M., KHAN A. U. and EQNAIBI B.S., *Flow Simulation Using Channel Network Model*, Journal



- of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, U.S.A., August 1988, Vol. 114, No.3, pp. 424-441.
32. HUSAIN, T., KHAN H. U. and KHAN S.M., *Dynamic-Node-Numbering Concept in Channel Network Model*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, U.S.A., January/February 1991, Vol. 117, No.1, pp. 48-63.
33. I.I.E., *Manual de Diseño de Obras Civiles, Hidrotecnia A.1.9, Escurrimiento a Superficie Libre*, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Federal de Electricidad, México, 1980, 49-63 pp.
34. I.I.E., *Manual de Diseño de Obras Civiles, Hidrotecnia A.1.16, Métodos Numéricos*, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Federal de Electricidad, México, 1980, 4.1-4.27 pp.
35. JEGAT, H., *Métodos Numéricos en Hidráulica de Canales*, CIDIAT, Mérida, Venezuela, 1979, 31-60 pp.
36. LIGGETT J, A. and CUNGE J. A., *Numerical Methods of Solution of the Unsteady Flow Equations*, Edited by Mahmood, K. and Yevjevich, V., Water Resources, Chapter 4 of Unsteady Flow in Open Channels, Publications, Fort Collins, Colorado, U.S.A., 80522, 1975, Vol.I, pp. 89-163.
37. LIU, F., FEYEN J. and BERLAMONT J., *Downstream Control of Multireach Canal System*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, U.S.A., March/April 1995, Vol. 121. No. 2, pp. 179-189.



38. LIU, F, FEYEN J., BERLAMONT J., *Downstream Control Algorithm for Irrigation Canals*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, mayo-junio 1994, Vol 120 No. 3, pp. 468-483.
39. LIU, F., FEYEN J. and BERLAMONT J., *Computation Method for Regulating Unsteady Flow in Open Channels*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, U.S.A., July/August 1993, Vol. 119. No. 4, pp. 674-689.
40. LYN, D., A. and GOODWIN, P., *Stability of a General Preissmann Scheme*, Journal of Hidráulic Engineering, ASCE, U.S.A., January 1987, Vol. 113, No. 1, pp. 16-28.
41. MARTINS F., F., y SCARATI M. J. R., *Modelo Totalmente Implícito para Resoluciones de las Ecuaciones de Saint Venant*, Revista Latino Americana de Hidráulica (IAHR), Sao Pablo, Brasil, Junio de 1993, No. 6, pp. 35-41.
42. MISRA, R., SRIDHARAN K. and MOHAN K. M. S., *Transients in Canal Network*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, U.S.A., Sep/Oct. 1992, Vol. 118. No. 5, pp. 690-707.
43. MOHAN R., J., *Local Optimal Control of Irrigation Cannals*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE, U.S.A., Sept./Oct.1990, Vol. 116, No. 5, pp. 616-631.
44. MOHAN R., J., DIA A. and OUSSOU A., *Design of Control Algorithm for Operation of Irrigation Canals*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, U.S.A., Nov./Dec.1992, Vol. 118, No. 6, pp. 852-867.



45. PIERRE-OLIVIER, M., ROGERS C. D. and SCHUURMANS J., *Clasification of Canal Control Algorithms*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, enero-febrero 1998, Vol. 124 No. 1, pp. 3-10.
46. PONCE V., M., INDLEKOFER H. and SIMMONS D. E., *Convergence of Four Point Implicit Water Wave Models*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, U.S.A., July 1978, Vol. 104, No. HY7, pp. 947-958.
47. RODELLAR, J., GÓMEZ M., and BONET L., *Control Method for On-Demand Operation of Open Channel Flow*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, U.S.A., March/April 1993, Vol.119, No. 2, pp. 225-241.
48. ROGERS C., D. and COUSSARD J., *Canal Control Algorithms Currently in Use*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, enero-febrero 1997, Vol 124 No. 1, pp. 11-15.
49. RUIZ C., V. M. and NAJIM K., *Generalized Predictive Control of an Irrigation Canal Reach*, Edited by Y. Hashimoto and W. Day, Proceedings of the IFAC/ASHS workshop held in Matsuyama, Japan, 30 Sep.- 3 October 1991, pp. 427-432.
50. SCHUURMANS, W, SCHUURMANS J. and BROUWER R., *Control Method for On-Demand Operation of Open-Channel Flow*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, julio-agosto 1995, Vol. 121 No. 4, pp. 308-308.
51. STREETER y WYLIE, *Mecánica de los Fluidos*, Sexta Ed., Libros de Mc Graw Hill – México, D.f., 1979, 696-711 pp



52. STRELKOFF T., S., *Influence of Canal Geometry and Dynamics on Controllability*, 1er. Curso Internacional de Regulación del Agua en Canales de Riego, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y Colegio de Posgraduados (CP), Cuernavaca, Mor. 28 de Agosto al 8 de Sep. 1995, pp. 1-25.
53. STRELKOFF T. S., DELTHOUR J. L., BURT C. M., CLEMMENS A. J. and BAUME J. P., *Influence of Canal Geometry and Dynamics on Controllability*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, enero-febrero 1998, Vol 124 No. 1, pp. 16-22.
54. SWAIN E., D. and CHIN D. A., *Model of Flow in Regulated Open Channel Networks*, Journal of Irrigation And Drainage Engineering, ASCE, U. S. A., July/August 1990, Vol. 116, No. 4, pp. 537-556.
55. US ARMY CORPS OF ENGINEERS, HEC RAS River Analysis System, *Hydraulic Reference Manual*, Hydrologic Engineering Center, January 2010, pp. 2-30 A 3-26.
56. WYLIE E., B., *Unsteady Free Surface Flow Computations*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, U.S.A., Nov. 1970, No. HY11, pp. 2241-2251.
57. WYLIE E., B., *Control of Transient Free Surface Flow*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, U. S. A., January 1969, Vol. 195, No. HY1, pp. 347-361.
58. ZEVALLOS M., O. y ZUÑIGA H. M., *Modelo de Onda Difusiva para el Transito de Crecidas de Ríos*, Asociación Internacional de Investigaciones



Hidráulicas (IAHR), XIII Congreso Latino Americano de Hidráulica, La Habana, Cuba, 5 al 9 de Julio de 1988, Vol. 3, pp. 1-12.

59. ZIMBELMAN D., D. and BEDWORTH D. D., *Computer Control for Irrigation-Canal System*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, U.S.A., March 1983, Vol. 109, No. 1, pp. 43-59.



ANEXO A



Anexo A 1. Tabla de resultados de la calibración del tramo 2 del Canal de riego para un gasto de 0.0101 m³/seg y con movimientos variables en cada compuerta.

RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 2 GASTO = 0.0101 m ³ /seg PLANTILLA = 0.15 m TALUD = 1:1									
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
1	Sin Compuerta	1	0.00218	0.0232	10.3874	10.4951	10.5013	0.006	5.447
		2	0.00218	0.0232	10.3765	--	10.4892	--	--
		3	0.00020	0.0232	10.3755	10.4865	10.4865	0.000	0.000
2	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.05 m	1	0.00218	0.0155	10.3874	10.4911	10.4901	-0.001	-1.012
		2	0.00218	0.0155	10.3765	--	10.4830	--	--
		3	0.00020	0.0155	10.3755	10.4870	10.4870	0.000	0.000
3	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.035 m	1	0.00218	0.0345	10.3874	10.5290	10.5397	0.011	7.043
		2	0.00218	0.0345	10.3765	--	10.5314	--	--
		3	0.00020	0.0345	10.3755	10.5336	10.5336	0.000	0.000
4	Cierre Compuerta Represa 3 en 90 seg a una abertura de 0.035 m	1	0.00218	0.0587	10.3874	10.5718	10.5768	0.005	2.659
		2	0.00218	0.0587	10.3765	--	10.5669	--	--
		3	0.00020	0.0587	10.3755	10.5671	10.5671	0.000	0.000
5	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.035 m	1	0.00218	0.0791	10.3874	10.5790	10.5900	0.011	5.407
		2	0.00218	0.0791	10.3765	--	10.5763	--	--
		3	0.00020	0.0791	10.3755	10.5716	10.5716	0.000	0.000
6	Abertura Compuerta Represa 1 en 150 seg a 0.05 m	1	0.00218	0.0821	10.3874	10.5837	10.5944	0.011	5.192
		2	0.00218	0.0821	10.3765	--	10.5809	--	--
		3	0.00020	0.0821	10.3755	10.5766	10.5766	0.000	0.000
7	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a 0.12 m (abertura total)	1	0.00218	0.0384	10.3874	10.5417	10.5448	0.003	1.999
		2	0.00218	0.0384	10.3765	--	10.5359	--	--
		3	0.00020	0.0384	10.3755	10.5372	10.5372	0.000	0.000
8	Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a 0.17 m (abertura total)	1	0.00218	0.0419	10.3874	10.5084	10.5238	0.015	11.268
		2	0.00218	0.0419	10.3765	--	10.5039	--	--
		3	0.00020	0.0419	10.3755	10.4871	10.4871	0.000	0.000
9	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.115 m (abertura total)	1	0.00218	0.0353	10.3874	10.5037	10.5166	0.013	10.015
		2	0.00218	0.0353	10.3765	--	10.4991	--	--
		3	0.00020	0.0353	10.3755	10.4870	10.4870	0.000	0.000
10	Sin Compuerta	1	0.00218	0.0253	10.3874	10.4967	10.5043	0.008	6.488
		2	0.00218	0.0253	10.3765	--	10.4912	--	--
		3	0.00020	0.0253	10.3755	10.4868	10.4868	0.000	0.000
11	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.05 m	1	0.00218	0.0184	10.3874	10.4925	10.4946	0.002	1.943
		2	0.00218	0.0184	10.3765	--	10.4854	--	--
		3	0.00020	0.0184	10.3755	10.4868	10.4868	0.000	0.000
12	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.035 m	1	0.00218	0.0285	10.3874	10.5337	10.5374	0.004	2.488
		2	0.00218	0.0285	10.3765	--	10.5316	--	--
		3	0.00020	0.0285	10.3755	10.5365	10.5365	0.000	0.000
13	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.035 m	1	0.00218	0.1235	10.3874	10.5904	10.6100	0.020	8.800
		2	0.00218	0.1235	10.3765	--	10.5875	--	--
		3	0.00020	0.1235	10.3755	10.5692	10.5692	0.000	0.000
14	Cierre Compuerta Represa 2 en 150 seg a una abertura de 0.025 m	1	0.00218	0.1357	10.3874	10.6172	10.6345	0.017	7.013
		2	0.00218	0.1357	10.3765	--	10.6172	--	--
		3	0.00020	0.1357	10.3755	10.6077	10.6077	0.000	0.000
15	Abertura Compuerta Represa 2 en 150 seg a 0.035 m	1	0.00218	0.0782	10.3874	10.5855	10.5943	0.009	4.272
		2	0.00218	0.0782	10.3765	--	10.5821	--	--
		3	0.00020	0.0782	10.3755	10.5794	10.5794	0.000	0.000
16	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a 0.12 m (abertura total)	1	0.00218	0.0601	10.3874	10.5504	10.5621	0.012	6.677
		2	0.00218	0.0601	10.3765	--	10.5474	--	--
		3	0.00020	0.0601	10.3755	10.5412	10.5412	0.000	0.000
17	Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a 0.17 m (abertura total)	1	0.00218	0.0110	10.3874	10.4896	10.4827	-0.007	-7.199
		2	0.00218	0.0110	10.3765	--	10.4797	--	--
		3	0.00020	0.0110	10.3755	10.4875	10.4875	0.000	0.000



INGENIERÍA AGRICOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA



RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 2 GASTO = 0.0101 m ³ /seg PLANTILLA = 0.15 m TALUD = 1:1									
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
18	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.115 m (abertura total)	1	0.00218	0.0340	10.3874	10.5030	10.5153	0.012	9.593
		2	0.00218	0.0340	10.3765	--	10.4984	--	--
		3	0.00020	0.0340	10.3755	10.4875	10.4875	0.000	0.000
19	Sin Compuerta	1	0.00218	0.0161	10.3874	10.4921	10.4916	-0.001	-0.501
		2	0.00218	0.0161	10.3765	--	10.4842	--	--
		3	0.00020	0.0161	10.3755	10.4878	10.4878	0.000	0.000
20	Cierre Compuerta Represa 1 en 150 seg a una abertura de 0.05 m	1	0.00218	0.0164	10.3874	10.4925	10.4922	0.000	-0.272
		2	0.00218	0.0164	10.3765	--	10.4847	--	--
		3	0.00020	0.0164	10.3755	10.4881	10.4881	0.000	0.000
21	Cierre Compuerta Represa 2 en 300 seg a una abertura de 0.035 m	1	0.00218	0.0328	10.3874	10.5372	10.5384	0.001	0.775
		2	0.00218	0.0328	10.3765	--	10.5306	--	--
		3	0.00020	0.0328	10.3755	10.5335	10.5335	0.000	0.000
22	Cierre Compuerta Represa 3 en 270 seg a una abertura de 0.035 m	1	0.00218	0.0638	10.3874	10.5747	10.5810	0.006	3.254
		2	0.00218	0.0638	10.3765	--	10.5703	--	--
		3	0.00020	0.0638	10.3755	10.5695	10.5695	0.000	0.000
23	Cierre Compuerta Represa 3 en 90 seg a una abertura de 0.025 m	1	0.00218	0.1239	10.3874	10.6154	10.6300	0.015	6.015
		2	0.00218	0.1239	10.3765	--	10.6144	--	--
		3	0.00020	0.1239	10.3755	10.6073	10.6073	0.000	0.000
24	Abertura Compuerta Represa 3 en 90 seg a 0.035 m	1	0.00218	0.0601	10.3874	10.5762	10.5808	0.005	2.369
		2	0.00218	0.0601	10.3765	--	10.5712	--	--
		3	0.00020	0.0601	10.3755	10.5718	10.5718	0.000	0.000
25	Abertura Compuerta Represa 3 en 300 seg a 0.12 m (abertura total)	1	0.00218	0.0231	10.3874	10.5388	10.5344	-0.004	-2.969
		2	0.00218	0.0231	10.3765	--	10.5305	--	--
		3	0.00020	0.0231	10.3755	10.5371	10.5371	0.000	0.000
26	Abertura Compuerta Represa 2 en 300 seg a 0.17 m (abertura total)	1	0.00218	0.0153	10.3874	10.4917	10.4903	-0.001	-1.372
		2	0.00218	0.0153	10.3765	--	10.4835	--	--
		3	0.00020	0.0153	10.3755	10.4878	10.4878	0.000	0.000
27	Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a 0.115 m (abertura total)	1	0.00218	0.0180	10.3874	10.4924	10.4940	0.002	1.491
		2	0.00218	0.0180	10.3765	--	10.4852	--	--
		3	0.00020	0.0180	10.3755	10.4870	10.4870	0.000	0.000



Anexo A 2. Tabla de resultados de la calibración del tramo 3 del Canal de riego para un gasto de 0.0101 m³/seg y con movimientos variables en cada compuerta.

RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 3 GASTO = 0.0101 m ³ /seg PLANTILLA = 0.15 m TALUD = 1:1									
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
1	Sin Compuerta	1	0.00180	0.0277	10.3755	10.4965	10.5104	0.014	10.278
		2	0.00180	0.0277	10.3665	--	10.5017	--	--
		3	0.00000	0.0277	10.3665	--	10.5020	--	--
		4	0.00012	0.0277	10.3659	--	10.4921	--	--
		5	0.00028	0.0277	10.3645	10.4788	10.4788	0.000	0.000
2	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.05 m	1	0.00180	0.0280	10.3755	10.4965	10.5107	0.014	10.482
		2	0.00180	0.0280	10.3665	--	10.5019	--	--
		3	0.00000	0.0280	10.3665	--	10.5021	--	--
		4	0.00012	0.0280	10.3659	--	10.4919	--	--
		5	0.00028	0.0280	10.3645	10.4782	10.4782	0.000	0.000
3	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.035 m	1	0.00180	0.0257	10.3755	10.4939	10.5068	0.013	9.831
		2	0.00180	0.0257	10.3665	--	10.4984	--	--
		3	0.00000	0.0257	10.3665	--	10.4992	--	--
		4	0.00012	0.0257	10.3659	--	10.4899	--	--
		5	0.00028	0.0257	10.3645	10.4774	10.4774	0.000	0.000
4	Cierre Compuerta Represa 3 en 90 seg a una abertura de 0.035 m	1	0.00180	0.0244	10.3755	10.5225	10.5316	0.009	5.824
		2	0.00180	0.0244	10.3665	--	10.5281	--	--
		3	0.00000	0.0244	10.3665	--	10.5340	--	--
		4	0.00012	0.0244	10.3659	--	10.5305	--	--
		5	0.00028	0.0244	10.3645	10.5265	10.5265	0.000	0.000
5	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.035 m	1	0.00180	0.0191	10.3755	10.5272	10.5294	0.002	1.450
		2	0.00180	0.0191	10.3665	--	10.5273	--	--
		3	0.00000	0.0191	10.3665	--	10.5345	--	--
		4	0.00012	0.0191	10.3659	--	10.5321	--	--
		5	0.00028	0.0191	10.3645	10.5294	10.5294	0.000	0.000
6	Abertura Compuerta Represa 1 en 150 seg a 0.05 m	1	0.00180	0.0225	10.3755	10.5300	10.5348	0.005	3.026
		2	0.00180	0.0225	10.3665	--	10.5321	--	--
		3	0.00000	0.0225	10.3665	--	10.5388	--	--
		4	0.00012	0.0225	10.3659	--	10.5359	--	--
		5	0.00028	0.0225	10.3645	10.5328	10.5328	0.000	0.000
7	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a 0.12 m (abertura total)	1	0.00180	0.0267	10.3755	10.4957	10.5090	0.013	9.954
		2	0.00180	0.0267	10.3665	--	10.5005	--	--
		3	0.00000	0.0267	10.3665	--	10.5012	--	--
		4	0.00012	0.0267	10.3659	--	10.4917	--	--
		5	0.00028	0.0267	10.3645	10.4790	10.4790	0.000	0.000
8	Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a 0.17 m (abertura total)	1	0.00180	0.0273	10.3755	10.4960	10.5097	0.014	10.197
		2	0.00180	0.0273	10.3665	--	10.5010	--	--
		3	0.00000	0.0273	10.3665	--	10.5015	--	--
		4	0.00012	0.0273	10.3659	--	10.4917	--	--
		5	0.00028	0.0273	10.3645	10.4785	10.4785	0.000	0.000
9	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.115 m (abertura total)	1	0.00180	0.0268	10.3755	10.4955	10.5089	0.013	10.062
		2	0.00180	0.0268	10.3665	--	10.5004	--	--
		3	0.00000	0.0268	10.3665	--	10.5010	--	--
		4	0.00012	0.0268	10.3659	--	10.4914	--	--
		5	0.00028	0.0268	10.3645	10.4785	10.4785	0.000	0.000
10	Sin Compuerta	1	0.00180	0.0277	10.3755	10.4965	10.5104	0.014	10.278
		2	0.00180	0.0277	10.3665	--	10.5017	--	--
		3	0.00000	0.0277	10.3665	--	10.5020	--	--
		4	0.00012	0.0277	10.3659	--	10.4921	--	--
		5	0.00028	0.0277	10.3645	10.4788	10.4788	0.000	0.000



INGENIERÍA AGRICOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA



RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 3 GASTO = 0.0101 m ³ /seg PLANTILLA = 0.15 m TALUD = 1:1									
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
11	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.05 m	1	0.00180	0.0281	10.3755	10.4965	10.5108	0.014	10.554
		2	0.00180	0.0281	10.3665	--	10.5019	--	--
		3	0.00000	0.0281	10.3665	--	10.5020	--	--
		4	0.00012	0.0281	10.3659	--	10.4918	--	--
		5	0.00028	0.0281	10.3645	10.4779	10.4779	0.000	0.000
12	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.035 m	1	0.00180	0.0275	10.3755	10.4955	10.5096	0.014	10.493
		2	0.00180	0.0275	10.3665	--	10.5007	--	--
		3	0.00000	0.0275	10.3665	--	10.5009	--	--
		4	0.00012	0.0275	10.3659	--	10.4908	--	--
		5	0.00028	0.0275	10.3645	10.4770	10.4770	0.000	0.000
13	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.035 m	1	0.00180	0.0170	10.3755	10.5227	10.5239	0.001	0.785
		2	0.00180	0.0170	10.3665	--	10.5219	--	--
		3	0.00000	0.0170	10.3665	--	10.5294	--	--
		4	0.00012	0.0170	10.3659	--	10.5272	--	--
		5	0.00028	0.0170	10.3645	10.5247	10.5247	0.000	0.000
14	Cierre Compuerta Represa 2 en 150 seg a una abertura de 0.025 m	1	0.00180	0.0213	10.3755	10.5275	10.5318	0.004	2.750
		2	0.00180	0.0213	10.3665	--	10.5292	--	--
		3	0.00000	0.0213	10.3665	--	10.5360	--	--
		4	0.00012	0.0213	10.3659	--	10.5332	--	--
		5	0.00028	0.0213	10.3645	10.5302	10.5302	0.000	0.000
15	Abertura Compuerta Represa 2 en 150 seg a 0.035 m	1	0.00180	0.0201	10.3755	10.5292	10.5320	0.003	1.760
		2	0.00180	0.0201	10.3665	--	10.5296	--	--
		3	0.00000	0.0201	10.3665	--	10.5367	--	--
		4	0.00012	0.0201	10.3659	--	10.5342	--	--
		5	0.00028	0.0201	10.3645	10.5315	10.5315	0.000	0.000
16	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a 0.12 m (abertura total)	1	0.00180	0.0283	10.3755	10.4973	10.5115	0.014	10.428
		2	0.00180	0.0283	10.3665	--	10.5027	--	--
		3	0.00000	0.0283	10.3665	--	10.5029	--	--
		4	0.00012	0.0283	10.3659	--	10.4928	--	--
		5	0.00028	0.0283	10.3645	10.4792	10.4792	0.000	0.000
17	Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a 0.17 m (abertura total)	1	0.00180	0.0288	10.3755	10.4975	10.5120	0.015	10.643
		2	0.00180	0.0288	10.3665	--	10.5031	--	--
		3	0.00000	0.0288	10.3665	--	10.5031	--	--
		4	0.00012	0.0288	10.3659	--	10.4928	--	--
		5	0.00028	0.0288	10.3645	10.4787	10.4787	0.000	0.000
18	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.115 m (abertura total)	1	0.00180	0.0283	10.3755	10.4969	10.5112	0.014	10.566
		2	0.00180	0.0283	10.3665	--	10.5023	--	--
		3	0.00000	0.0283	10.3665	--	10.5024	--	--
		4	0.00012	0.0283	10.3659	--	10.4922	--	--
		5	0.00028	0.0283	10.3645	10.4783	10.4783	0.000	0.000
19	Sin Compuerta	1	0.00180	0.0300	10.3755	10.4978	10.5133	0.016	11.265
		2	0.00180	0.0300	10.3665	--	10.5039	--	--
		3	0.00000	0.0300	10.3665	--	10.5033	--	--
		4	0.00012	0.0300	10.3659	--	10.4923	--	--
		5	0.00028	0.0300	10.3645	10.4768	10.4768	0.000	0.000
20	Cierre Compuerta Represa 1 en 150 seg a una abertura de 0.05 m	1	0.00180	0.0296	10.3755	10.4976	10.5130	0.015	11.195
		2	0.00180	0.0296	10.3665	--	10.5036	--	--
		3	0.00000	0.0296	10.3665	--	10.5031	--	--
		4	0.00012	0.0296	10.3659	--	10.4922	--	--
		5	0.00028	0.0296	10.3645	10.4771	10.4771	0.000	0.000
21	Cierre Compuerta Represa 2 en 300 seg a una abertura	1	0.00180	0.0294	10.3755	10.4975	10.5127	0.015	11.107
		2	0.00180	0.0294	10.3665	--	10.5034	--	--
		3	0.00000	0.0294	10.3665	--	10.5030	--	--



RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 3 GASTO = 0.0101 m ³ /seg PLANTILLA = 0.15 m TALUD = 1:1									
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
	de 0.035 m	4	0.00012	0.0294	10.3659	--	10.4923	--	--
		5	0.00028	0.0294	10.3645	10.4773	10.4773	0.000	0.000
22	Cierre Compuerta Represa 3 en 270 seg a una abertura de 0.035 m	1	0.00180	0.0197	10.3755	10.5263	10.5294	0.003	1.995
		2	0.00180	0.0197	10.3665	--	10.5270	--	--
		3	0.00000	0.0197	10.3665	--	10.5340	--	--
		4	0.00012	0.0197	10.3659	--	10.5315	--	--
		5	0.00028	0.0197	10.3645	10.5287	10.5287	0.000	0.000
23	Cierre Compuerta Represa 3 en 90 seg a una abertura de 0.025 m	1	0.00180	0.0492	10.3755	10.5695	10.5891	0.020	9.159
		2	0.00180	0.0492	10.3665	--	10.5849	--	--
		3	0.00000	0.0492	10.3665	--	10.5902	--	--
		4	0.00012	0.0492	10.3659	--	10.5860	--	--
		5	0.00028	0.0492	10.3645	10.5815	10.5815	0.000	0.000
24	Abertura Compuerta Represa 3 en 90 seg a 0.035 m	1	0.00180	0.0216	10.3755	10.5270	10.5317	0.005	3.004
		2	0.00180	0.0216	10.3665	--	10.5290	--	--
		3	0.00000	0.0216	10.3665	--	10.5357	--	--
		4	0.00012	0.0216	10.3659	--	10.5329	--	--
		5	0.00028	0.0216	10.3645	10.5298	10.5298	0.000	0.000
25	Abertura Compuerta Represa 3 en 300 seg a 0.12 m (abertura total)	1	0.00180	0.0291	10.3755	10.4977	10.5125	0.015	10.819
		2	0.00180	0.0291	10.3665	--	10.5034	--	--
		3	0.00000	0.0291	10.3665	--	10.5033	--	--
		4	0.00012	0.0291	10.3659	--	10.4928	--	--
		5	0.00028	0.0291	10.3645	10.4785	10.4785	0.000	0.000
26	Abertura Compuerta Represa 2 en 300 seg a 0.17 m (abertura total)	1	0.00180	0.0287	10.3755	10.4975	10.5120	0.015	10.614
		2	0.00180	0.0287	10.3665	--	10.5030	--	--
		3	0.00000	0.0287	10.3665	--	10.5031	--	--
		4	0.00012	0.0287	10.3659	--	10.4928	--	--
		5	0.00028	0.0287	10.3645	10.4788	10.4788	0.000	0.000
27	Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a 0.115 m (abertura total)	1	0.00180	0.0293	10.3755	10.4975	10.5127	0.015	11.049
		2	0.00180	0.0293	10.3665	--	10.5034	--	--
		3	0.00000	0.0293	10.3665	--	10.5031	--	--
		4	0.00012	0.0293	10.3659	--	10.4923	--	--
		5	0.00028	0.0293	10.3645	10.4775	10.4775	0.000	0.000



Anexo A 3. Tabla de resultados de la calibración del tramo 2 del Canal de riego para un gasto de 0.0201 m³/seg y con movimientos variables en cada compuerta.

RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 2 GASTO = 0.0201 m ³ /seg PLANTILLA = 0.15 m TALUD = 1:1									
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
1	Sin Compuerta	1	0.00218	0.0307	10.3874	10.5424	10.5581	0.016	9.174
		2	0.00218	0.0307	10.3765	--	10.5407	--	--
		3	0.00020	0.0307	10.3755	10.5298	10.5298	0.000	0.000
2	Cierre Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.105 m	1	0.00218	0.0317	10.3874	10.5439	10.5601	0.016	9.363
		2	0.00218	0.0317	10.3765	--	10.5424	--	--
		3	0.00020	0.0317	10.3755	10.5310	10.5310	0.000	0.000
3	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.08 m	1	0.00218	0.0553	10.3874	10.5788	10.5986	0.020	9.385
		2	0.00218	0.0553	10.3765	--	10.5758	--	--
		3	0.00020	0.0553	10.3755	10.5561	10.5561	0.000	0.000
4	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.07 m	1	0.00218	0.0696	10.3874	10.6009	10.6208	0.020	8.526
		2	0.00218	0.0696	10.3765	--	10.5973	--	--
		3	0.00020	0.0696	10.3755	10.5773	10.5773	0.000	0.000
5	Cierre Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.08 m	1	0.00218	0.0247	10.3874	10.5592	10.5792	0.020	10.426
		2	0.00218	0.0247	10.3765	--	10.5730	--	--
		3	0.00020	0.0247	10.3755	10.5773	10.5773	0.000	0.000
6	Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a 0.105 m	1	0.00218	0.0366	10.3874	10.5842	10.5914	0.007	3.540
		2	0.00218	0.0366	10.3765	--	10.5802	--	--
		3	0.00020	0.0366	10.3755	10.5788	10.5788	0.000	0.000
7	Abertura Compuerta Represa 3 en 150 seg a 0.154 m (abertura total)	1	0.00218	0.0208	10.3874	10.5599	10.5598	0.000	-0.037
		2	0.00218	0.0208	10.3765	--	10.5530	--	--
		3	0.00020	0.0208	10.3755	10.5568	10.5568	0.000	0.000
8	Abertura Compuerta Represa 2 en 150 seg a 0.166 m (abertura total)	1	0.00218	0.0150	10.3874	10.5346	10.5334	-0.001	-0.808
		2	0.00218	0.0150	10.3765	--	10.5269	--	--
		3	0.00020	0.0150	10.3755	10.5313	10.5313	0.000	0.000
9	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.154 m (abertura total)	1	0.00218	0.0328	10.3874	10.5441	10.5612	0.017	9.825
		2	0.00218	0.0328	10.3765	--	10.5428	--	--
		3	0.00020	0.0328	10.3755	10.5302	10.5302	0.000	0.000
10	Sin Compuerta	1	0.00218	0.0303	10.3874	10.5421	10.5574	0.015	9.015
		2	0.00218	0.0303	10.3765	--	10.5403	--	--
		3	0.00020	0.0303	10.3755	10.5298	10.5298	0.000	0.000
11	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.105 m	1	0.00218	0.0191	10.3874	10.5364	10.5405	0.004	2.666
		2	0.00218	0.0191	10.3765	--	10.5307	--	--
		3	0.00020	0.0191	10.3755	10.5312	10.5312	0.000	0.000
12	Cierre Compuerta Represa 2 en 150 seg a una abertura de 0.08 m	1	0.00218	0.0241	10.3874	10.5591	10.5624	0.003	1.862
		2	0.00218	0.0241	10.3765	--	10.5534	--	--
		3	0.00020	0.0241	10.3755	10.5548	10.5548	0.000	0.000
13	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.07 m	1	0.00218	0.0358	10.3874	10.5698	10.5896	0.020	9.774
		2	0.00218	0.0358	10.3765	--	10.5784	--	--
		3	0.00020	0.0358	10.3755	10.5771	10.5771	0.000	0.000
14	Cierre Compuerta Represa 2 en 90 seg a una abertura de 0.06 m	1	0.00218	0.0359	10.3874	10.6092	10.6104	0.001	0.535
		2	0.00218	0.0359	10.3765	--	10.6032	--	--
		3	0.00020	0.0359	10.3755	10.6063	10.6063	0.000	0.000
15	Abertura Compuerta Represa 2 en 120 seg a 0.08 m	1	0.00218	0.0097	10.3874	10.5794	10.5695	-0.010	-5.413
		2	0.00218	0.0097	10.3765	--	10.5693	--	--
		3	0.00020	0.0097	10.3755	10.5790	10.5790	0.000	0.000
16	Abertura Compuerta Represa 3 en 210 seg a 0.154 m (abertura total)	1	0.00218	0.0082	10.3874	10.5566	10.5468	-0.010	-6.156
		2	0.00218	0.0082	10.3765	--	10.5470	--	--
		3	0.00020	0.0082	10.3755	10.5571	10.5571	0.000	0.000
	Abertura Compuerta	1	0.00218	0.0113	10.3874	10.5287	10.5227	-0.006	-4.420



INGENIERÍA AGRICOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA



RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 2 GASTO = 0.0201 m ³ /seg PLANTILLA = 0.15 m TALUD = 1:1									
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
17	Represa 2 en 180 seg a 0.166 m (abertura total)	2	0.00218	0.0113	10.3765	--	10.5192	--	--
		3	0.00020	0.0113	10.3755	10.5265	10.5265	0.000	0.000
18	Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a 0.154 m (abertura total)	1	0.00218	0.0140	10.3874	10.5234	10.5285	0.005	3.611
		2	0.00218	0.0140	10.3765	--	10.5223	--	--
		3	0.00020	0.0140	10.3755	10.5270	10.5270	0.000	0.000
19	Sin Compuerta	1	0.00218	0.0377	10.3874	10.5497	10.5684	0.019	10.340
		2	0.00218	0.0377	10.3765	--	10.5478	--	--
		3	0.00020	0.0377	10.3755	10.5312	10.5312	0.000	0.000
20	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.105 m	1	0.00218	0.0302	10.3874	10.5427	10.5577	0.015	8.820
		2	0.00218	0.0302	10.3765	--	10.5408	--	--
		3	0.00020	0.0302	10.3755	10.5308	10.5308	0.000	0.000
21	Cierre Compuerta Represa 2 en 150 seg a una abertura de 0.08 m	1	0.00218	0.0339	10.3874	10.5634	10.5747	0.011	6.021
		2	0.00218	0.0339	10.3765	--	10.5606	--	--
		3	0.00020	0.0339	10.3755	10.5554	10.5554	0.000	0.000
22	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.07 m	1	0.00218	0.0564	10.3874	10.5907	10.6099	0.019	8.638
		2	0.00218	0.0564	10.3765	--	10.5910	--	--
		3	0.00020	0.0564	10.3755	10.5788	10.5788	0.000	0.000
23	Cierre Compuerta Represa 3 en 90 seg a una abertura de 0.05 m	1	0.00218	0.0596	10.3874	10.6204	10.6323	0.012	4.855
		2	0.00218	0.0596	10.3765	--	10.6185	--	--
		3	0.00020	0.0596	10.3755	10.6138	10.6138	0.000	0.000
24	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a 0.07 m	1	0.00218	0.0425	10.3874	10.5908	10.6005	0.010	4.539
		2	0.00218	0.0425	10.3765	--	10.5878	--	--
		3	0.00020	0.0425	10.3755	10.5845	10.5845	0.000	0.000
25	Abertura Compuerta Represa 3 en 150 seg a 0.154 m (abertura total)	1	0.00218	0.0153	10.3874	10.5547	10.5532	-0.002	-0.886
		2	0.00218	0.0153	10.3765	--	10.5496	--	--
		3	0.00020	0.0153	10.3755	10.5565	10.5565	0.000	0.000
26	Abertura Compuerta Represa 2 en 150 seg a 0.166 m (abertura total)	1	0.00218	0.0141	10.3874	10.5291	10.5323	0.003	2.227
		2	0.00218	0.0141	10.3765	--	10.5269	--	--
		3	0.00020	0.0141	10.3755	10.5322	10.5322	0.000	0.000
27	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.154 m (abertura total)	1	0.00218	0.0238	10.3874	10.5384	10.5477	0.009	5.810
		2	0.00218	0.0238	10.3765	--	10.5346	--	--
		3	0.00020	0.0238	10.3755	10.5305	10.5305	0.000	0.000



Anexo A 4. Tabla de resultados de la calibración del tramo 3 del Canal de riego para un gasto de 0.0201 m³/seg y con movimientos variables en cada compuerta.

RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 3									
GASTO = 0.0201 m ³ /seg				PLANTILLA = 0.15 m				TALUD = 1:1	
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
1	Sin Compuerta	1	0.00180	0.0220	10.3755	10.5332	10.5485	0.015	8.859
		2	0.00180	0.0220	10.3665	--	10.5406	--	--
		3	0.00000	0.0220	10.3665	--	10.5419	--	--
		4	0.00012	0.0220	10.3659	--	10.5327	--	--
		5	0.00028	0.0220	10.3645	10.5212	10.5212	0.000	0.000
2	Cierre Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.105 m	1	0.00180	0.0209	10.3755	10.5333	10.5467	0.013	7.853
		2	0.00180	0.0209	10.3665	--	10.5394	--	--
		3	0.00000	0.0209	10.3665	--	10.5415	--	--
		4	0.00012	0.0209	10.3659	--	10.5331	--	--
		5	0.00028	0.0209	10.3645	10.5228	10.5228	0.000	0.000
3	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.08 m	1	0.00180	0.0190	10.3755	10.5315	10.5428	0.011	6.746
		2	0.00180	0.0190	10.3665	--	10.5362	--	--
		3	0.00000	0.0190	10.3665	--	10.5390	--	--
		4	0.00012	0.0190	10.3659	--	10.5315	--	--
		5	0.00028	0.0190	10.3645	10.5225	10.5225	0.000	0.000
4	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.07 m	1	0.00180	0.0228	10.3755	10.5495	10.5693	0.020	10.197
		2	0.00180	0.0228	10.3665	--	10.5641	--	--
		3	0.00000	0.0228	10.3665	--	10.5685	--	--
		4	0.00012	0.0228	10.3659	--	10.5630	--	--
		5	0.00028	0.0228	10.3645	10.5569	10.5569	0.000	0.000
5	Cierre Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.08 m	1	0.00180	0.0174	10.3755	10.5425	10.5618	0.019	10.356
		2	0.00180	0.0174	10.3665	--	10.5586	--	--
		3	0.00000	0.0174	10.3665	--	10.5648	--	--
		4	0.00012	0.0174	10.3659	--	10.5611	--	--
		5	0.00028	0.0174	10.3645	10.5571	10.5571	0.000	0.000
6	Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a 0.105 m	1	0.00180	0.0171	10.3755	10.5435	10.5623	0.019	10.076
		2	0.00180	0.0171	10.3665	--	10.5593	--	--
		3	0.00000	0.0171	10.3665	--	10.5657	--	--
		4	0.00012	0.0171	10.3659	--	10.5622	--	--
		5	0.00028	0.0171	10.3645	10.5583	10.5583	0.000	0.000
7	Abertura Compuerta Represa 3 en 150 seg a 0.154 m (abertura total)	1	0.00180	0.0124	10.3755	10.5260	10.5277	0.002	1.141
		2	0.00180	0.0124	10.3665	--	10.5245	--	--
		3	0.00000	0.0124	10.3665	--	10.5309	--	--
		4	0.00012	0.0124	10.3659	--	10.5266	--	--
		5	0.00028	0.0124	10.3645	10.5218	10.5218	0.000	0.000
8	Abertura Compuerta Represa 2 en 150 seg a 0.166 m (abertura total)	1	0.00180	0.0134	10.3755	10.5269	10.5302	0.003	2.102
		2	0.00180	0.0134	10.3665	--	10.5264	--	--
		3	0.00000	0.0134	10.3665	--	10.5322	--	--
		4	0.00012	0.0134	10.3659	--	10.5274	--	--
		5	0.00028	0.0134	10.3645	10.5221	10.5221	0.000	0.000
9	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.154 m (abertura total)	1	0.00180	0.0136	10.3755	10.5268	10.5305	0.004	2.389
		2	0.00180	0.0136	10.3665	--	10.5266	--	--
		3	0.00000	0.0136	10.3665	--	10.5322	--	--
		4	0.00012	0.0136	10.3659	--	10.5273	--	--
		5	0.00028	0.0136	10.3645	10.5218	10.5218	0.000	0.000
10	Sin Compuerta	1	0.00180	0.0122	10.3755	10.5262	10.5273	0.001	0.755
		2	0.00180	0.0122	10.3665	--	10.5244	--	--
		3	0.00000	0.0122	10.3665	--	10.5309	--	--
		4	0.00012	0.0122	10.3659	--	10.5268	--	--
		5	0.00028	0.0122	10.3645	10.5222	10.5222	0.000	0.000



INGENIERÍA AGRICOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA



RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 3 GASTO = 0.0201 m ³ /seg PLANTILLA = 0.15 m TALUD = 1:1									
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
11	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.105 m	1	0.00180	0.0124	10.3755	10.5272	10.5284	0.001	0.811
		2	0.00180	0.0124	10.3665	--	10.5254	--	--
		3	0.00000	0.0124	10.3665	--	10.5319	--	--
		4	0.00012	0.0124	10.3659	--	10.5278	--	--
		5	0.00028	0.0124	10.3645	10.5232	10.5232	0.000	0.000
12	Cierre Compuerta Represa 2 en 150 seg a una abertura de 0.08 m	1	0.00180	0.0092	10.3755	10.5248	10.5210	-0.004	-2.591
		2	0.00180	0.0092	10.3665	--	10.5200	--	--
		3	0.00000	0.0092	10.3665	--	10.5283	--	--
		4	0.00012	0.0092	10.3659	--	10.5255	--	--
		5	0.00028	0.0092	10.3645	10.5225	10.5225	0.000	0.000
13	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.07 m	1	0.00180	0.0182	10.3755	10.5434	10.5633	0.020	10.590
		2	0.00180	0.0182	10.3665	--	10.5598	--	--
		3	0.00000	0.0182	10.3665	--	10.5658	--	--
		4	0.00012	0.0182	10.3659	--	10.5619	--	--
		5	0.00028	0.0182	10.3645	10.5576	10.5576	0.000	0.000
14	Cierre Compuerta Represa 2 en 90 seg a una abertura de 0.06 m	1	0.00180	0.0164	10.3755	10.5418	10.5617	0.020	10.690
		2	0.00180	0.0164	10.3665	--	10.5590	--	--
		3	0.00000	0.0164	10.3665	--	10.5656	--	--
		4	0.00012	0.0164	10.3659	--	10.5624	--	--
		5	0.00028	0.0164	10.3645	10.5588	10.5588	0.000	0.000
15	Abertura Compuerta Represa 2 en 120 seg a 0.08 m	1	0.00180	0.0172	10.3755	10.5445	10.5642	0.020	10.431
		2	0.00180	0.0172	10.3665	--	10.5612	--	--
		3	0.00000	0.0172	10.3665	--	10.5677	--	--
		4	0.00012	0.0172	10.3659	--	10.5643	--	--
		5	0.00028	0.0172	10.3645	10.5605	10.5605	0.000	0.000
16	Abertura Compuerta Represa 3 en 210 seg a 0.154 m (abertura total)	1	0.00180	0.0121	10.3755	10.5259	10.5270	0.001	0.738
		2	0.00180	0.0121	10.3665	--	10.5241	--	--
		3	0.00000	0.0121	10.3665	--	10.5306	--	--
		4	0.00012	0.0121	10.3659	--	10.5265	--	--
		5	0.00028	0.0121	10.3645	10.5219	10.5219	0.000	0.000
17	Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a 0.166 m (abertura total)	1	0.00180	0.0125	10.3755	10.5265	10.5283	0.002	1.167
		2	0.00180	0.0125	10.3665	--	10.5251	--	--
		3	0.00000	0.0125	10.3665	--	10.5314	--	--
		4	0.00012	0.0125	10.3659	--	10.5271	--	--
		5	0.00028	0.0125	10.3645	10.5223	10.5223	0.000	0.000
18	Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a 0.154 m (abertura total)	1	0.00180	0.0133	10.3755	10.5270	10.5300	0.003	1.961
		2	0.00180	0.0133	10.3665	--	10.5263	--	--
		3	0.00000	0.0133	10.3665	--	10.5322	--	--
		4	0.00012	0.0133	10.3659	--	10.5276	--	--
		5	0.00028	0.0133	10.3645	10.5223	10.5223	0.000	0.000
19	Sin Compuerta	1	0.00180	0.0107	10.3755	10.5265	10.5250	-0.002	-0.987
		2	0.00180	0.0107	10.3665	--	10.5231	--	--
		3	0.00000	0.0107	10.3665	--	10.5305	--	--
		4	0.00012	0.0107	10.3659	--	10.5272	--	--
		5	0.00028	0.0107	10.3645	10.5235	10.5235	0.000	0.000
20	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.105 m	1	0.00180	0.0131	10.3755	10.5268	10.5296	0.003	1.804
		2	0.00180	0.0131	10.3665	--	10.5260	--	--
		3	0.00000	0.0131	10.3665	--	10.5319	--	--
		4	0.00012	0.0131	10.3659	--	10.5274	--	--
		5	0.00028	0.0131	10.3645	10.5222	10.5222	0.000	0.000
21	Cierre Compuerta Represa 2 en 150 seg a una abertura de 0.08 m	1	0.00180	0.0109	10.3755	10.5248	10.5240	-0.001	-0.543
		2	0.00180	0.0109	10.3665	--	10.5218	--	--
		3	0.00000	0.0109	10.3665	--	10.5290	--	--
		4	0.00012	0.0109	10.3659	--	10.5254	--	--



INGENIERÍA AGRICOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA



RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 3 GASTO = 0.0201 m ³ /seg PLANTILLA = 0.15 m TALUD = 1:1									
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
		5	0.00028	0.0109	10.3645	10.5215	10.5215	0.000	0.000
22	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.07 m	1	0.00180	0.0187	10.3755	10.5442	10.5641	0.020	10.549
		2	0.00180	0.0187	10.3665	--	10.5605	--	--
		3	0.00000	0.0187	10.3665	--	10.5663	--	--
		4	0.00012	0.0187	10.3659	--	10.5623	--	--
		5	0.00028	0.0187	10.3645	10.5578	10.5578	0.000	0.000
23	Cierre Compuerta Represa 3 en 90 seg a una abertura de 0.05 m	1	0.00180	0.0218	10.3755	10.5885	10.6084	0.020	8.532
		2	0.00180	0.0218	10.3665	--	10.6063	--	--
		3	0.00000	0.0218	10.3665	--	10.6136	--	--
		4	0.00012	0.0218	10.3659	--	10.6112	--	--
		5	0.00028	0.0218	10.3645	10.6085	10.6085	0.000	0.000
24	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a 0.07 m	1	0.00180	0.0225	10.3755	10.5545	10.5737	0.019	9.679
		2	0.00180	0.0225	10.3665	--	10.5692	--	--
		3	0.00000	0.0225	10.3665	--	10.5742	--	--
		4	0.00012	0.0225	10.3659	--	10.5694	--	--
		5	0.00028	0.0225	10.3645	10.5641	10.5641	0.000	0.000
25	Abertura Compuerta Represa 3 en 150 seg a 0.154 m (abertura total)	1	0.00180	0.0198	10.3755	10.5320	10.5443	0.012	7.268
		2	0.00180	0.0198	10.3665	--	10.5374	--	--
		3	0.00000	0.0198	10.3665	--	10.5398	--	--
		4	0.00012	0.0198	10.3659	--	10.5319	--	--
		5	0.00028	0.0198	10.3645	10.5223	10.5223	0.000	0.000
26	Abertura Compuerta Represa 2 en 150 seg a 0.166 m (abertura total)	1	0.00180	0.0216	10.3755	10.5335	10.5480	0.015	8.384
		2	0.00180	0.0216	10.3665	--	10.5403	--	--
		3	0.00000	0.0216	10.3665	--	10.5419	--	--
		4	0.00012	0.0216	10.3659	--	10.5331	--	--
		5	0.00028	0.0216	10.3645	10.5222	10.5222	0.000	0.000
27	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.154 m (abertura total)	1	0.00180	0.0234	10.3755	10.5345	10.5514	0.017	9.617
		2	0.00180	0.0234	10.3665	--	10.5429	--	--
		3	0.00000	0.0234	10.3665	--	10.5436	--	--
		4	0.00012	0.0234	10.3659	--	10.5338	--	--
		5	0.00028	0.0234	10.3645	10.5212	10.5212	0.000	0.000



Anexo A 5. Tabla de resultados de la calibración del tramo 2 del Canal de riego para un gasto de 0.030 m³/seg y con movimientos variables en cada compuerta.

RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 2									
GASTO = 0.030 m ³ /seg				PLANTILLA = 0.15 m				TALUD = 1:1	
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
1	Sin Compuerta	1	0.00218	0.0422	10.3874	10.5911	10.6101	0.019	8.529
		2	0.00218	0.0422	10.3765	--	10.5857	--	--
		3	0.00020	0.0422	10.3755	10.5628	10.5628	0.000	0.000
2	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.14 m	1	0.00218	0.0412	10.3874	10.5889	10.6087	0.020	8.960
		2	0.00218	0.0412	10.3765	--	10.5849	--	--
		3	0.00020	0.0412	10.3755	10.5630	10.5630	0.000	0.000
3	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.12 m	1	0.00218	0.0485	10.3874	10.6059	10.6256	0.020	8.273
		2	0.00218	0.0485	10.3765	--	10.6018	--	--
		3	0.00020	0.0485	10.3755	10.5808	10.5808	0.000	0.000
4	Cierre Compuerta Represa 3 en 90 seg a una abertura de 0.11 m	1	0.00218	0.0538	10.3874	10.6171	10.6365	0.019	7.803
		2	0.00218	0.0538	10.3765	--	10.6125	--	--
		3	0.00020	0.0538	10.3755	10.5915	10.5915	0.000	0.000
5	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.11 m	1	0.00218	0.0529	10.3874	10.6157	10.6356	0.020	8.013
		2	0.00218	0.0529	10.3765	--	10.6121	--	--
		3	0.00020	0.0529	10.3755	10.5920	10.5920	0.000	0.000
6	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.14 m	1	0.00218	0.0527	10.3874	10.6162	10.6358	0.020	7.902
		2	0.00218	0.0527	10.3765	--	10.6126	--	--
		3	0.00020	0.0527	10.3755	10.5930	10.5930	0.000	0.000
7	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a 0.182 m (abertura total)	1	0.00218	0.0479	10.3874	10.6049	10.6249	0.020	8.420
		2	0.00218	0.0479	10.3765	--	10.6013	--	--
		3	0.00020	0.0479	10.3755	10.5808	10.5808	0.000	0.000
8	Abertura Compuerta Represa 2 en 150 seg a 0.193 m (abertura total)	1	0.00218	0.0399	10.3874	10.5879	10.6073	0.019	8.840
		2	0.00218	0.0399	10.3765	--	10.5845	--	--
		3	0.00020	0.0399	10.3755	10.5645	10.5645	0.000	0.000
9	Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a 0.189 m (abertura total)	1	0.00218	0.0399	10.3874	10.5887	10.6075	0.019	8.543
		2	0.00218	0.0399	10.3765	--	10.5845	--	--
		3	0.00020	0.0399	10.3755	10.5645	10.5645	0.000	0.000
10	Sin Compuerta	1	0.00218	0.0371	10.3874	10.5837	10.6028	0.019	8.889
		2	0.00218	0.0371	10.3765	--	10.5812	--	--
		3	0.00020	0.0371	10.3755	10.5635	10.5635	0.000	0.000
11	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.14 m	1	0.00218	0.0372	10.3874	10.5844	10.6029	0.019	8.585
		2	0.00218	0.0372	10.3765	--	10.5812	--	--
		3	0.00020	0.0372	10.3755	10.5633	10.5633	0.000	0.000
12	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.12 m	1	0.00218	0.0446	10.3874	10.6009	10.6206	0.020	8.442
		2	0.00218	0.0446	10.3765	--	10.5986	--	--
		3	0.00020	0.0446	10.3755	10.5808	10.5808	0.000	0.000
13	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.11 m	1	0.00218	0.0521	10.3874	10.6157	10.6346	0.019	7.644
		2	0.00218	0.0521	10.3765	--	10.6114	--	--
		3	0.00020	0.0521	10.3755	10.5918	10.5918	0.000	0.000
14	Cierre Compuerta Represa 2 en 90 seg a una abertura de 0.10 m	1	0.00218	0.0614	10.3874	10.6327	10.6518	0.019	7.228
		2	0.00218	0.0614	10.3765	--	10.6278	--	--
		3	0.00020	0.0614	10.3755	10.6075	10.6075	0.000	0.000
15	Abertura Compuerta Represa 2 en 90 seg a 0.12 m	1	0.00218	0.0545	10.3874	10.6192	10.6381	0.019	7.554
		2	0.00218	0.0545	10.3765	--	10.6142	--	--
		3	0.00020	0.0545	10.3755	10.5935	10.5935	0.000	0.000
16	Abertura Compuerta Represa 3 en 150 seg a 0.182 m (abertura total)	1	0.00218	0.0459	10.3874	10.6034	10.6230	0.020	8.324
		2	0.00218	0.0459	10.3765	--	10.6007	--	--
		3	0.00020	0.0459	10.3755	10.5825	10.5825	0.000	0.000
17	Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a 0.193 m (abertura total)	1	0.00218	0.0371	10.3874	10.5836	10.6028	0.019	8.917
		2	0.00218	0.0371	10.3765	--	10.5811	--	--
		3	0.00020	0.0371	10.3755	10.5633	10.5633	0.000	0.000



INGENIERÍA AGRICOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA



RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 2 GASTO = 0.030 m ³ /seg PLANTILLA = 0.15 m TALUD = 1:1									
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
18	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.189 m (abertura total)	1	0.00218	0.0343	10.3874	10.5797	10.5989	0.019	9.079
		2	0.00218	0.0343	10.3765	--	10.5788	--	--
		3	0.00020	0.0343	10.3755	10.5638	10.5638	0.000	0.000
19	Sin Compuerta	1	0.00218	0.0349	10.3874	10.5797	10.5995	0.020	9.344
		2	0.00218	0.0349	10.3765	--	10.5790	--	--
		3	0.00020	0.0349	10.3755	10.5632	10.5632	0.000	0.000
20	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.14 m	1	0.00218	0.0294	10.3874	10.5722	10.5897	0.018	8.666
		2	0.00218	0.0294	10.3765	--	10.5720	--	--
		3	0.00020	0.0294	10.3755	10.5610	10.5610	0.000	0.000
21	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.12 m	1	0.00218	0.0390	10.3874	10.5927	10.6121	0.019	8.621
		2	0.00218	0.0390	10.3765	--	10.5922	--	--
		3	0.00020	0.0390	10.3755	10.5782	10.5782	0.000	0.000
22	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.11 m	1	0.00218	0.0132	10.3874	10.5892	10.5850	-0.004	-2.103
		2	0.00218	0.0132	10.3765	--	10.5826	--	--
		3	0.00020	0.0132	10.3755	10.5905	10.5905	0.000	0.000
23	Cierre Compuerta Represa 3 en 90 seg a una abertura de 0.095 m	1	0.00218	0.0472	10.3874	10.6144	10.6335	0.019	7.762
		2	0.00218	0.0472	10.3765	--	10.6141	--	--
		3	0.00020	0.0472	10.3755	10.6012	10.6012	0.000	0.000
24	Abertura Compuerta Represa 3 en 60 seg a 0.11 m	1	0.00218	0.0427	10.3874	10.6037	10.6234	0.020	8.345
		2	0.00218	0.0427	10.3765	--	10.6043	--	--
		3	0.00020	0.0427	10.3755	10.5918	10.5918	0.000	0.000
25	Abertura Compuerta Represa 3 en 150 seg a 0.182 m (abertura total)	1	0.00218	0.0304	10.3874	10.5877	10.6008	0.013	6.143
		2	0.00218	0.0304	10.3765	--	10.5860	--	--
		3	0.00020	0.0304	10.3755	10.5798	10.5798	0.000	0.000
26	Abertura Compuerta Represa 2 en 150 seg a 0.193 m (abertura total)	1	0.00218	0.0069	10.3874	10.5611	10.5483	-0.013	-7.925
		2	0.00218	0.0069	10.3765	--	10.5505	--	--
		3	0.00020	0.0069	10.3755	10.5618	10.5618	0.000	0.000
27	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.189 m (abertura total)	1	0.00218	0.0052	10.3874	10.5614	10.5442	-0.017	-10.954
		2	0.00218	0.0052	10.3765	--	10.5485	--	--
		3	0.00020	0.0052	10.3755	10.5610	10.5610	0.000	0.000



Anexo A 6. Tabla de resultados de la calibración del tramo 3 del Canal de riego para un gasto de 0.030 m³/seg y con movimientos variables en cada compuerta.

RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 3									
GASTO = 0.030 m ³ /seg				PLANTILLA = 0.15 m				TALUD = 1:1	
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
1	Sin Compuerta	1	0.00180	0.0121	10.3755	10.5612	10.5624	0.001	0.654
		2	0.00180	0.0121	10.3665	--	10.5597	--	--
		3	0.00000	0.0121	10.3665	--	10.5664	--	--
		4	0.00012	0.0121	10.3659	--	10.5623	--	--
		5	0.00028	0.0121	10.3645	10.5578	10.5578	0.000	0.000
2	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.14 m	1	0.00180	0.0114	10.3755	10.5610	10.5609	0.000	-0.036
		2	0.00180	0.0114	10.3665	--	10.5587	--	--
		3	0.00000	0.0114	10.3665	--	10.5658	--	--
		4	0.00012	0.0114	10.3659	--	10.5621	--	--
		5	0.00028	0.0114	10.3645	10.5580	10.5580	0.000	0.000
3	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.12 m	1	0.00180	0.0122	10.3755	10.5608	10.5623	0.002	0.802
		2	0.00180	0.0122	10.3665	--	10.5595	--	--
		3	0.00000	0.0122	10.3665	--	10.5661	--	--
		4	0.00012	0.0122	10.3659	--	10.5619	--	--
		5	0.00028	0.0122	10.3645	10.5573	10.5573	0.000	0.000
4	Cierre Compuerta Represa 3 en 90 seg a una abertura de 0.11 m	1	0.00180	0.0181	10.3755	10.5698	10.5888	0.019	8.898
		2	0.00180	0.0181	10.3665	--	10.5842	--	--
		3	0.00000	0.0181	10.3665	--	10.5890	--	--
		4	0.00012	0.0181	10.3659	--	10.5837	--	--
		5	0.00028	0.0181	10.3645	10.5778	10.5778	0.000	0.000
5	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.11 m	1	0.00180	0.0184	10.3755	10.5698	10.5895	0.020	9.194
		2	0.00180	0.0184	10.3665	--	10.5848	--	--
		3	0.00000	0.0184	10.3665	--	10.5895	--	--
		4	0.00012	0.0184	10.3659	--	10.5841	--	--
		5	0.00028	0.0184	10.3645	10.5780	10.5780	0.000	0.000
6	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.14 m	1	0.00180	0.0178	10.3755	10.5700	10.5883	0.018	8.603
		2	0.00180	0.0178	10.3665	--	10.5838	--	--
		3	0.00000	0.0178	10.3665	--	10.5888	--	--
		4	0.00012	0.0178	10.3659	--	10.5836	--	--
		5	0.00028	0.0178	10.3645	10.5778	10.5778	0.000	0.000
7	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a 0.182 m (abertura total)	1	0.00180	0.0126	10.3755	10.5603	10.5626	0.002	1.255
		2	0.00180	0.0126	10.3665	--	10.5595	--	--
		3	0.00000	0.0126	10.3665	--	10.5659	--	--
		4	0.00012	0.0126	10.3659	--	10.5614	--	--
		5	0.00028	0.0126	10.3645	10.5565	10.5565	0.000	0.000
8	Abertura Compuerta Represa 2 en 150 seg a 0.193 m (abertura total)	1	0.00180	0.0157	10.3755	10.5618	10.5696	0.008	4.031
		2	0.00180	0.0157	10.3665	--	10.5646	--	--
		3	0.00000	0.0157	10.3665	--	10.5691	--	--
		4	0.00012	0.0157	10.3659	--	10.5630	--	--
		5	0.00028	0.0157	10.3645	10.5560	10.5560	0.000	0.000
9	Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a 0.189 m (abertura total)	1	0.00180	0.0132	10.3755	10.5618	10.5648	0.003	1.602
		2	0.00180	0.0132	10.3665	--	10.5615	--	--
		3	0.00000	0.0132	10.3665	--	10.5676	--	--
		4	0.00012	0.0132	10.3659	--	10.5629	--	--
		5	0.00028	0.0132	10.3645	10.5578	10.5578	0.000	0.000
10	Sin Compuerta	1	0.00180	0.0143	10.3755	10.5622	10.5673	0.005	2.679
		2	0.00180	0.0143	10.3665	--	10.5632	--	--
		3	0.00000	0.0143	10.3665	--	10.5686	--	--
		4	0.00012	0.0143	10.3659	--	10.5634	--	--
		5	0.00028	0.0143	10.3645	10.5575	10.5575	0.000	0.000



INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA



RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 3 GASTO = 0.030 m ³ /seg PLANTILLA = 0.15 m TALUD = 1:1									
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
11	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.14 m	1	0.00180	0.0151	10.3755	10.5623	10.5690	0.007	3.471
		2	0.00180	0.0151	10.3665	--	10.5644	--	--
		3	0.00000	0.0151	10.3665	--	10.5692	--	--
		4	0.00012	0.0151	10.3659	--	10.5635	--	--
		5	0.00028	0.0151	10.3645	10.5570	10.5570	0.000	0.000
12	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.12 m	1	0.00180	0.0091	10.3755	10.5593	10.5555	-0.004	-2.095
		2	0.00180	0.0091	10.3665	--	10.5547	--	--
		3	0.00000	0.0091	10.3665	--	10.5631	--	--
		4	0.00012	0.0091	10.3659	--	10.5603	--	--
		5	0.00028	0.0091	10.3645	10.5573	10.5573	0.000	0.000
13	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.11 m	1	0.00180	0.0184	10.3755	10.5688	10.5885	0.020	9.228
		2	0.00180	0.0184	10.3665	--	10.5836	--	--
		3	0.00000	0.0184	10.3665	--	10.5882	--	--
		4	0.00012	0.0184	10.3659	--	10.5827	--	--
		5	0.00028	0.0184	10.3645	10.5765	10.5765	0.000	0.000
14	Cierre Compuerta Represa 2 en 90 seg a una abertura de 0.10 m	1	0.00180	0.0169	10.3755	10.5675	10.5858	0.018	8.692
		2	0.00180	0.0169	10.3665	--	10.5816	--	--
		3	0.00000	0.0169	10.3665	--	10.5869	--	--
		4	0.00012	0.0169	10.3659	--	10.5820	--	--
		5	0.00028	0.0169	10.3645	10.5765	10.5765	0.000	0.000
15	Abertura Compuerta Represa 2 en 90 seg a 0.12 m	1	0.00180	0.0187	10.3755	10.5693	10.5891	0.020	9.276
		2	0.00180	0.0187	10.3665	--	10.5841	--	--
		3	0.00000	0.0187	10.3665	--	10.5886	--	--
		4	0.00012	0.0187	10.3659	--	10.5829	--	--
		5	0.00028	0.0187	10.3645	10.5765	10.5765	0.000	0.000
16	Abertura Compuerta Represa 3 en 150 seg a 0.182 m (abertura total)	1	0.00180	0.0117	10.3755	10.5598	10.5606	0.001	0.431
		2	0.00180	0.0117	10.3665	--	10.5580	--	--
		3	0.00000	0.0117	10.3665	--	10.5649	--	--
		4	0.00012	0.0117	10.3659	--	10.5609	--	--
		5	0.00028	0.0117	10.3645	10.5565	10.5565	0.000	0.000
17	Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a 193 m (abertura total)	1	0.00180	0.0115	10.3755	10.5617	10.5617	0.000	-0.005
		2	0.00180	0.0115	10.3665	--	10.5594	--	--
		3	0.00000	0.0115	10.3665	--	10.5665	--	--
		4	0.00012	0.0115	10.3659	--	10.5628	--	--
		5	0.00028	0.0115	10.3645	10.5587	10.5587	0.000	0.000
18	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.189 m (abertura total)	1	0.00180	0.0136	10.3755	10.5615	10.5655	0.004	2.096
		2	0.00180	0.0136	10.3665	--	10.5618	--	--
		3	0.00000	0.0136	10.3665	--	10.5676	--	--
		4	0.00012	0.0136	10.3659	--	10.5627	--	--
		5	0.00028	0.0136	10.3645	10.5572	10.5572	0.000	0.000
19	Sin Compuerta	1	0.00180	0.0184	10.3755	10.5628	10.5754	0.013	6.310
		2	0.00180	0.0184	10.3665	--	10.5689	--	--
		3	0.00000	0.0184	10.3665	--	10.5717	--	--
		4	0.00012	0.0184	10.3659	--	10.5640	--	--
		5	0.00028	0.0184	10.3645	10.5548	10.5548	0.000	0.000
20	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.14 m	1	0.00180	0.0183	10.3755	10.5623	10.5749	0.013	6.309
		2	0.00180	0.0183	10.3665	--	10.5683	--	--
		3	0.00000	0.0183	10.3665	--	10.5712	--	--
		4	0.00012	0.0183	10.3659	--	10.5635	--	--
		5	0.00028	0.0183	10.3645	10.5543	10.5543	0.000	0.000
21	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.12 m	1	0.00180	0.0185	10.3755	10.5618	10.5749	0.013	6.577
		2	0.00180	0.0185	10.3665	--	10.5682	--	--
		3	0.00000	0.0185	10.3665	--	10.5709	--	--
		4	0.00012	0.0185	10.3659	--	10.5629	--	--



INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA



RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 3 GASTO = 0.030 m ³ /seg PLANTILLA = 0.15 m TALUD = 1:1									
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
		5	0.00028	0.0185	10.3645	10.5535	10.5535	0.000	0.000
22	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.11 m	1	0.00180	0.0164	10.3755	10.5710	10.5840	0.013	6.250
		2	0.00180	0.0164	10.3665	--	10.5801	--	--
		3	0.00000	0.0164	10.3665	--	10.5856	--	--
		4	0.00012	0.0164	10.3659	--	10.5808	--	--
		5	0.00028	0.0164	10.3645	10.5755	10.5755	0.000	0.000
23	Cierre Compuerta Represa 3 en 90 seg a una abertura de 0.095 m	1	0.00180	0.0188	10.3755	10.5795	10.5992	0.020	8.803
		2	0.00180	0.0188	10.3665	--	10.5952	--	--
		3	0.00000	0.0188	10.3665	--	10.6005	--	--
		4	0.00012	0.0188	10.3659	--	10.5959	--	--
		5	0.00028	0.0188	10.3645	10.5908	10.5908	0.000	0.000
24	Abertura Compuerta Represa 3 en 60 seg a 0.11 m	1	0.00180	0.0175	10.3755	10.5718	10.5871	0.015	7.228
		2	0.00180	0.0175	10.3665	--	10.5827	--	--
		3	0.00000	0.0175	10.3665	--	10.5877	--	--
		4	0.00012	0.0175	10.3659	--	10.5825	--	--
		5	0.00028	0.0175	10.3645	10.5768	10.5768	0.000	0.000
25	Abertura Compuerta Represa 3 en 150 seg a 0.182 m (abertura total)	1	0.00180	0.0154	10.3755	10.5612	10.5687	0.008	3.905
		2	0.00180	0.0154	10.3665	--	10.5638	--	--
		3	0.00000	0.0154	10.3665	--	10.5684	--	--
		4	0.00012	0.0154	10.3659	--	10.5624	--	--
		5	0.00028	0.0154	10.3645	10.5555	10.5555	0.000	0.000
26	Abertura Compuerta Represa 2 en 150 seg a 0.193 m (abertura total)	1	0.00180	0.0192	10.3755	10.5635	10.5775	0.014	6.922
		2	0.00180	0.0192	10.3665	--	10.5705	--	--
		3	0.00000	0.0192	10.3665	--	10.5729	--	--
		4	0.00012	0.0192	10.3659	--	10.5646	--	--
		5	0.00028	0.0192	10.3645	10.5548	10.5548	0.000	0.000
27	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a 0.189 m (abertura total)	1	0.00180	0.0190	10.3755	10.5635	10.5771	0.014	6.752
		2	0.00180	0.0190	10.3665	--	10.5702	--	--
		3	0.00000	0.0190	10.3665	--	10.5727	--	--
		4	0.00012	0.0190	10.3659	--	10.5646	--	--
		5	0.00028	0.0190	10.3645	10.5550	10.5550	0.000	0.000



Anexo A 7. Tabla de resultados de la calibración del tramo 2 del Canal de riego para un transitorio de 0.030, 0.0201 y 0.025 m³/seg, con movimientos variables en cada compuerta y sin gasto lateral.

RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 2										
PLANTILLA = 0.15 m						TALUD = 1:1				
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	GASTO Q (m ³ /seg)	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
1	Cierre de las 3 Compuertas a 0.145, 0.125 y 0.125 m resp.	1	0.030	0.00218	0.0358	10.3874	10.5931	10.6101	0.017	7.622
		2	0.030	0.00218	0.0358	10.3765	--	10.5929	--	--
		3	0.030	0.00020	0.0358	10.3755	10.5832	10.5832	0.000	0.000
2	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.13 m	1	0.030	0.00218	0.0369	10.3874	10.5931	10.6113	0.018	8.118
		2	0.030	0.00218	0.0369	10.3765	--	10.5934	--	--
		3	0.030	0.00020	0.0369	10.3755	10.5825	10.5825	0.000	0.000
3	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.145 m	1	0.030	0.00218	0.0309	10.3874	10.5902	10.6031	0.013	5.960
		2	0.030	0.00218	0.0309	10.3765	--	10.5884	--	--
		3	0.030	0.00020	0.0309	10.3755	10.5825	10.5825	0.000	0.000
4	Cierre Compuerta Represa 2 en 90 seg a una abertura de 0.115 m	1	0.030	0.00218	0.0262	10.3874	10.5942	10.6007	0.007	3.027
		2	0.030	0.00218	0.0262	10.3765	--	10.5900	--	--
		3	0.030	0.00020	0.0262	10.3755	10.5893	10.5893	0.000	0.000
5	Abertura Compuerta Represa 2 en 90 seg a una abertura de 0.125 m	1	0.030	0.00218	0.0218	10.3874	10.5874	10.5907	0.003	1.619
		2	0.030	0.00218	0.0218	10.3765	--	10.5819	--	--
		3	0.030	0.00020	0.0218	10.3755	10.5835	10.5835	0.000	0.000
6	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.11 m	1	0.030	0.00218	0.0227	10.3874	10.5759	10.5949	0.019	9.167
		2	0.030	0.00218	0.0227	10.3765	--	10.5862	--	--
		3	0.030	0.00020	0.0227	10.3755	10.5878	10.5878	0.000	0.000
7	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.125 m	1	0.030	0.00218	0.0224	10.3874	10.5784	10.5912	0.013	6.289
		2	0.030	0.00218	0.0224	10.3765	--	10.5820	--	--
		3	0.030	0.00020	0.0224	10.3755	10.5830	10.5830	0.000	0.000
8	Cierre de la válvula que entrega de gasto de 0.030 01ps a 0.0201 m ³ /seg en 420	1	0.0201	0.00218	0.0177	10.3874	10.5287	10.5394	0.011	7.055
		2	0.0201	0.00218	0.0177	10.3765	--	10.5312	--	--
		3	0.0201	0.00020	0.0177	10.3755	10.5335	10.5335	0.000	0.000
9	Cierre Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.115 m	1	0.0201	0.00218	0.0153	10.3874	10.5164	10.5357	0.019	13.006
		2	0.0201	0.00218	0.0153	10.3765	--	10.5294	--	--
		3	0.0201	0.00020	0.0153	10.3755	10.5340	10.5340	0.000	0.000
10	Cierre Compuerta Represa 2 en 240 seg a una abertura de 0.09 m	1	0.0201	0.00218	0.0140	10.3874	10.5244	10.5439	0.020	12.463
		2	0.0201	0.00218	0.0140	10.3765	--	10.5402	--	--
		3	0.0201	0.00020	0.0140	10.3755	10.5472	10.5472	0.000	0.000
11	Cierre Compuerta Represa 3 en 240 seg a una abertura de 0.07 m	1	0.0201	0.00218	0.0014	10.3874	10.5354	10.5553	0.020	11.870
		2	0.0201	0.00218	0.0014	10.3765	--	10.5569	--	--
		3	0.0201	0.00020	0.0014	10.3755	10.5680	10.5680	0.000	0.000
12	Cierre Compuerta Represa 1 en 180 seg a una abertura de 0.09 m	1	0.0201	0.00218	0.0680	10.3874	10.5284	10.6157	0.087	38.249
		2	0.0201	0.00218	0.0680	10.3765	--	10.5911	--	--
		3	0.0201	0.00020	0.0680	10.3755	10.5685	10.5685	0.000	0.000
13	Abertura Compuerta Represa 1 en 180 seg a una abertura de 0.115 m	1	0.0201	0.00218	0.0136	10.3874	10.5411	10.5605	0.019	11.193
		2	0.0201	0.00218	0.0136	10.3765	--	10.5585	--	--
		3	0.0201	0.00020	0.0136	10.3755	10.5668	10.5668	0.000	0.000
14	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.07 m	1	0.0201	0.00218	0.0181	10.3874	10.5462	10.5657	0.020	10.924
		2	0.0201	0.00218	0.0181	10.3765	--	10.5616	--	--
		3	0.0201	0.00020	0.0181	10.3755	10.5680	10.5680	0.000	0.000
15	Abertura Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.09 m	1	0.0201	0.00218	0.0129	10.3874	10.5579	10.5775	0.020	10.313
		2	0.0201	0.00218	0.0129	10.3765	--	10.5764	--	--
		3	0.0201	0.00020	0.0129	10.3755	10.5855	10.5855	0.000	0.000
16	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.055 m	1	0.0201	0.00218	0.0751	10.3874	10.6131	10.6325	0.019	7.932
		2	0.0201	0.00218	0.0751	10.3765	--	10.6106	--	--
		3	0.0201	0.00020	0.0751	10.3755	10.5935	10.5935	0.000	0.000
17	Abertura Compuerta	1	0.0201	0.00218	0.0494	10.3874	10.5827	10.5999	0.017	8.080



INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA



RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 2										
PLANTILLA = 0.15 m					TALUD = 1:1					
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	GASTO Q (m³/seg)	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
	Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.07 m	2	0.0201	0.00218	0.0494	10.3765	--	10.5822	--	--
		3	0.0201	0.00020	0.0494	10.3755	10.5718	10.5718	0.000	0.000
		1	0.0201	0.00218	0.0349	10.3874	10.5614	10.5742	0.013	6.873
18	Abertura Compuerta Represa 3 en 180 seg a una abertura de 0.10 m	2	0.0201	0.00218	0.0349	10.3765	--	10.5592	--	--
		3	0.0201	0.00020	0.0349	10.3755	10.5523	10.5523	0.000	0.000
		1	0.0201	0.00218	0.0243	10.3874	10.5359	10.5557	0.020	11.774
19	Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a una abertura de 0.105 m	2	0.0201	0.00218	0.0243	10.3765	--	10.5447	--	--
		3	0.0201	0.00020	0.0243	10.3755	10.5435	10.5435	0.000	0.000
		1	0.0201	0.00218	0.0312	10.3874	10.5527	10.5651	0.012	6.977
20	Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.13 m	2	0.0201	0.00218	0.0312	10.3765	--	10.5502	--	--
		3	0.0201	0.00020	0.0312	10.3755	10.5435	10.5435	0.000	0.000
		1	0.025	0.00218	0.0117	10.3874	10.5684	10.5606	-0.008	-4.488
21	Abertura de válvula que entrega un gasto de 0.0201 a 0.025 m³/seg en 540	2	0.025	0.00218	0.0117	10.3765	--	10.5588	--	--
		3	0.025	0.00020	0.0117	10.3755	10.5672	10.5672	0.000	0.000
		1	0.025	0.00218	0.0234	10.3874	10.5719	10.5765	0.005	2.422
22	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.115 m	2	0.025	0.00218	0.0234	10.3765	--	10.5668	--	--
		3	0.025	0.00020	0.0234	10.3755	10.5673	10.5673	0.000	0.000
		1	0.025	0.00218	0.0111	10.3874	10.5664	10.5602	-0.006	-3.591
23	Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.13 m	2	0.025	0.00218	0.0111	10.3765	--	10.5587	--	--
		3	0.025	0.00020	0.0111	10.3755	10.5675	10.5675	0.000	0.000
		1	0.025	0.00218	0.0120	10.3874	10.5824	10.5742	-0.008	-4.396
24	Cierre Compuerta Represa 2 en 180 seg a una abertura de 0.085 m	2	0.025	0.00218	0.0120	10.3765	--	10.5727	--	--
		3	0.025	0.00020	0.0120	10.3755	10.5815	10.5815	0.000	0.000
		1	0.025	0.00218	0.0158	10.3874	10.5687	10.5654	-0.003	-1.861
25	Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a una abertura de 0.105 m	2	0.025	0.00218	0.0158	10.3765	--	10.5606	--	--
		3	0.025	0.00020	0.0158	10.3755	10.5665	10.5665	0.000	0.000
		1	0.025	0.00218	0.0078	10.3874	10.5789	10.5686	-0.010	-5.660
26	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.08 m	2	0.025	0.00218	0.0078	10.3765	--	10.5691	--	--
		3	0.025	0.00020	0.0078	10.3755	10.5793	10.5793	0.000	0.000
		1	0.025	0.00218	0.0299	10.3874	10.5739	10.5849	0.011	5.573
27	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.10 m	2	0.025	0.00218	0.0299	10.3765	--	10.5712	--	--
		3	0.025	0.00020	0.0299	10.3755	10.5665	10.5665	0.000	0.000



Anexo A 8. Tabla de resultados de la calibración del tramo 3 del Canal de riego para un transitorio de 0.030, 0.0201 y 0.025 m³/seg, con movimientos variables en cada compuerta y sin gasto lateral.

RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 3 PLANTILLA = 0.15 m TALUD = 1:1										
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	GASTO Q (m ³ /seg)	PENDIEN TE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
1	Aberturas iniciales represa 1 a 14.5 cm, represa 2 a 12.5 cm y represa 3 a 0.125 m	1	0.030	0.00180	0.0158	10.3755	10.5705	10.5762	0.006	2.832
		2	0.030	0.00180	0.0158	10.3665	--	10.5718	--	--
		3	0.030	0.00000	0.0158	10.3665	--	10.5770	--	--
		4	0.030	0.00012	0.0158	10.3659	--	10.5717	--	--
		5	0.030	0.00028	0.0158	10.3645	10.5658	10.5658	0.000	0.000
2	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.13 m	1	0.030	0.00180	0.0162	10.3755	10.5705	10.5770	0.007	3.214
		2	0.030	0.00180	0.0162	10.3665	--	10.5724	--	--
		3	0.030	0.00000	0.0162	10.3665	--	10.5772	--	--
		4	0.030	0.00012	0.0162	10.3659	--	10.5717	--	--
		5	0.030	0.00028	0.0162	10.3645	10.5655	10.5655	0.000	0.000
3	Abertura Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.145 m	1	0.030	0.00180	0.0157	10.3755	10.5700	10.5757	0.006	2.824
		2	0.030	0.00180	0.0157	10.3665	--	10.5713	--	--
		3	0.030	0.00000	0.0157	10.3665	--	10.5765	--	--
		4	0.030	0.00012	0.0157	10.3659	--	10.5712	--	--
		5	0.030	0.00028	0.0157	10.3645	10.5653	10.5653	0.000	0.000
4	Cierre Compuerta Represa 2 en 90 seg a una abertura de 0.115 m	1	0.030	0.00180	0.0152	10.3755	10.5693	10.5744	0.005	2.546
		2	0.030	0.00180	0.0152	10.3665	--	10.5702	--	--
		3	0.030	0.00000	0.0152	10.3665	--	10.5756	--	--
		4	0.030	0.00012	0.0152	10.3659	--	10.5705	--	--
		5	0.030	0.00028	0.0152	10.3645	10.5648	10.5648	0.000	0.000
5	Abertura Compuerta Represa 2 en 90 seg a una abertura de 0.125 m	1	0.030	0.00180	0.0173	10.3755	10.5705	10.5787	0.008	4.057
		2	0.030	0.00180	0.0173	10.3665	--	10.5735	--	--
		3	0.030	0.00000	0.0173	10.3665	--	10.5778	--	--
		4	0.030	0.00012	0.0173	10.3659	--	10.5717	--	--
		5	0.030	0.00028	0.0173	10.3645	10.5648	10.5648	0.000	0.000
6	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.11 m	1	0.030	0.00180	0.0055	10.3755	10.5748	10.5660	-0.009	-4.642
		2	0.030	0.00180	0.0055	10.3665	--	10.5670	--	--
		3	0.030	0.00000	0.0055	10.3665	--	10.5768	--	--
		4	0.030	0.00012	0.0055	10.3659	--	10.5756	--	--
		5	0.030	0.00028	0.0055	10.3645	10.5743	10.5743	0.000	0.000
7	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.125 m	1	0.030	0.00180	0.0162	10.3755	10.5703	10.5768	0.007	3.213
		2	0.030	0.00180	0.0162	10.3665	--	10.5722	--	--
		3	0.030	0.00000	0.0162	10.3665	--	10.5770	--	--
		4	0.030	0.00012	0.0162	10.3659	--	10.5715	--	--
		5	0.030	0.00028	0.0162	10.3645	10.5653	10.5653	0.000	0.000
8	Cierre de la válvula que entrega un gasto de 0.030 a 0.0201 m ³ /seg en 420	1	0.0201	0.00180	0.0244	10.3755	10.5358	10.5536	0.018	9.992
		2	0.0201	0.00180	0.0244	10.3665	--	10.5448	--	--
		3	0.0201	0.00000	0.0244	10.3665	--	10.5452	--	--
		4	0.0201	0.00012	0.0244	10.3659	--	10.5349	--	--
		5	0.0201	0.00028	0.0244	10.3645	10.5218	10.5218	0.000	0.000
9	Cierre Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.115 m	1	0.0201	0.00180	0.0254	10.3755	10.5370	10.5551	0.018	10.100
		2	0.0201	0.00180	0.0254	10.3665	--	10.5460	--	--
		3	0.0201	0.00000	0.0254	10.3665	--	10.5457	--	--
		4	0.0201	0.00012	0.0254	10.3659	--	10.5348	--	--
		5	0.0201	0.00028	0.0254	10.3645	10.5205	10.5205	0.000	0.000
10	Cierre Compuerta Represa 2 en 240 seg a una abertura de 0.09 m	1	0.0201	0.00180	0.0252	10.3755	10.5358	10.5547	0.019	10.566
		2	0.0201	0.00180	0.0252	10.3665	--	10.5456	--	--
		3	0.0201	0.00000	0.0252	10.3665	--	10.5455	--	--
		4	0.0201	0.00012	0.0252	10.3659	--	10.5346	--	--
		5	0.0201	0.00028	0.0252	10.3645	10.5205	10.5205	0.000	0.000



INGENIERÍA AGRICOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA



RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 3										
PLANTILLA = 0.15 m							TALUD = 1:1			
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	GASTO Q (m³/seg)	PENDIEN TE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
11	Cierre Compuerta Represa 3 en 240 seg a una abertura de 0.07 m	1	0.0201	0.00180	0.0100	10.3755	10.5530	10.5500	-0.003	-1.709
		2	0.0201	0.00180	0.0100	10.3665	--	10.5494	--	--
		3	0.0201	0.00000	0.0100	10.3665	--	10.5579	--	--
		4	0.0201	0.00012	0.0100	10.3659	--	10.5561	--	--
		5	0.0201	0.00028	0.0100	10.3645	10.5542	10.5542	0.000	0.000
12	Cierre Compuerta Represa 1 en 180 seg a una abertura de 0.09 m	1	0.0201	0.00180	0.0100	10.3755	10.5533	10.5503	-0.003	-1.700
		2	0.0201	0.00180	0.0100	10.3665	--	10.5497	--	--
		3	0.0201	0.00000	0.0100	10.3665	--	10.5582	--	--
		4	0.0201	0.00012	0.0100	10.3659	--	10.5564	--	--
		5	0.0201	0.00028	0.0100	10.3645	10.5545	10.5545	0.000	0.000
13	Abertura Compuerta Represa 1 en 180 seg a una abertura de 0.115 m	1	0.0201	0.00180	0.0130	10.3755	10.5530	10.5544	0.001	0.759
		2	0.0201	0.00180	0.0130	10.3665	--	10.5526	--	--
		3	0.0201	0.00000	0.0130	10.3665	--	10.5602	--	--
		4	0.0201	0.00012	0.0130	10.3659	--	10.5577	--	--
		5	0.0201	0.00028	0.0130	10.3645	10.5550	10.5550	0.000	0.000
14	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.07 m	1	0.0201	0.00180	0.0165	10.3755	10.5515	10.5588	0.007	3.968
		2	0.0201	0.00180	0.0165	10.3665	--	10.5558	--	--
		3	0.0201	0.00000	0.0165	10.3665	--	10.5622	--	--
		4	0.0201	0.00012	0.0165	10.3659	--	10.5587	--	--
		5	0.0201	0.00028	0.0165	10.3645	10.5548	10.5548	0.000	0.000
15	Abertura Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.09 m	1	0.0201	0.00180	0.0120	10.3755	10.5535	10.5533	0.000	-0.091
		2	0.0201	0.00180	0.0120	10.3665	--	10.5520	--	--
		3	0.0201	0.00000	0.0120	10.3665	--	10.5599	--	--
		4	0.0201	0.00012	0.0120	10.3659	--	10.5576	--	--
		5	0.0201	0.00028	0.0120	10.3645	10.5552	10.5552	0.000	0.000
16	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.055 m	1	0.0201	0.00180	0.0266	10.3755	10.5752	10.5946	0.019	8.840
		2	0.0201	0.00180	0.0266	10.3665	--	10.5904	--	--
		3	0.0201	0.00000	0.0266	10.3665	--	10.5957	--	--
		4	0.0201	0.00012	0.0266	10.3659	--	10.5913	--	--
		5	0.0201	0.00028	0.0266	10.3645	10.5865	10.5865	0.000	0.000
17	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.07 m	1	0.0201	0.00180	0.0094	10.3755	10.5558	10.5519	-0.004	-2.213
		2	0.0201	0.00180	0.0094	10.3665	--	10.5515	--	--
		3	0.0201	0.00000	0.0094	10.3665	--	10.5601	--	--
		4	0.0201	0.00012	0.0094	10.3659	--	10.5586	--	--
		5	0.0201	0.00028	0.0094	10.3645	10.5568	10.5568	0.000	0.000
18	Abertura Compuerta Represa 3 en 180 seg a una abertura de 0.10 m	1	0.0201	0.00180	0.0241	10.3755	10.5395	10.5554	0.016	8.833
		2	0.0201	0.00180	0.0241	10.3665	--	10.5473	--	--
		3	0.0201	0.00000	0.0241	10.3665	--	10.5484	--	--
		4	0.0201	0.00012	0.0241	10.3659	--	10.5391	--	--
		5	0.0201	0.00028	0.0241	10.3645	10.5275	10.5275	0.000	0.000
19	Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a una abertura de 0.105 m	1	0.0201	0.00180	0.0240	10.3755	10.5400	10.5556	0.016	8.657
		2	0.0201	0.00180	0.0240	10.3665	--	10.5476	--	--
		3	0.0201	0.00000	0.0240	10.3665	--	10.5488	--	--
		4	0.0201	0.00012	0.0240	10.3659	--	10.5397	--	--
		5	0.0201	0.00028	0.0240	10.3645	10.5283	10.5283	0.000	0.000
20	Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.13 m	1	0.0201	0.00180	0.0240	10.3755	10.5400	10.5556	0.016	8.657
		2	0.0201	0.00180	0.0240	10.3665	--	10.5476	--	--
		3	0.0201	0.00000	0.0240	10.3665	--	10.5488	--	--
		4	0.0201	0.00012	0.0240	10.3659	--	10.5397	--	--
		5	0.0201	0.00028	0.0240	10.3645	10.5283	10.5283	0.000	0.000
21	Abertura de válvula que entrega un gasto de 0.0201 a 0.025	1	0.025	0.00180	0.0175	10.3755	10.5548	10.5626	0.008	4.174
		2	0.025	0.00180	0.0175	10.3665	--	10.5574	--	--
		3	0.025	0.00000	0.0175	10.3665	--	10.5617	--	--



RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 3										
PLANTILLA = 0.15 m					TALUD = 1:1					
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	GASTO Q (m ³ /seg)	PENDIEN TE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
	m ³ /seg en 540	4	0.025	0.00012	0.0175	10.3659	--	10.5557	--	--
		5	0.025	0.00028	0.0175	10.3645	10.5488	10.5488	0.000	0.000
22	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.11.5 m	1	0.025	0.00180	0.0183	10.3755	10.5555	10.5644	0.009	4.717
		2	0.025	0.00180	0.0183	10.3665	--	10.5589	--	--
		3	0.025	0.00000	0.0183	10.3665	--	10.5627	--	--
		4	0.025	0.00012	0.0183	10.3659	--	10.5564	--	--
		5	0.025	0.00028	0.0183	10.3645	10.5490	10.5490	0.000	0.000
23	Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.13 m	1	0.025	0.00180	0.0192	10.3755	10.5555	10.5658	0.010	5.409
		2	0.025	0.00180	0.0192	10.3665	--	10.5598	--	--
		3	0.025	0.00000	0.0192	10.3665	--	10.5632	--	--
		4	0.025	0.00012	0.0192	10.3659	--	10.5563	--	--
		5	0.025	0.00028	0.0192	10.3645	10.5483	10.5483	0.000	0.000
24	Cierre Compuerta Represa 2 en 180 seg a una abertura de 0.085 m	1	0.025	0.00180	0.0151	10.3755	10.5538	10.5581	0.004	2.334
		2	0.025	0.00180	0.0151	10.3665	--	10.5541	--	--
		3	0.025	0.00000	0.0151	10.3665	--	10.5596	--	--
		4	0.025	0.00012	0.0151	10.3659	--	10.5547	--	--
		5	0.025	0.00028	0.0151	10.3645	10.5493	10.5493	0.000	0.000
25	Abertura Compuerta Represa 2 en 180 seg a una abertura de 0.105 m	1	0.025	0.00180	0.0184	10.3755	10.5550	10.5643	0.009	4.915
		2	0.025	0.00180	0.0184	10.3665	--	10.5586	--	--
		3	0.025	0.00000	0.0184	10.3665	--	10.5624	--	--
		4	0.025	0.00012	0.0184	10.3659	--	10.5558	--	--
		5	0.025	0.00028	0.0184	10.3645	10.5483	10.5483	0.000	0.000
26	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.08 m	1	0.025	0.00180	0.0132	10.3755	10.5665	10.5695	0.003	1.565
		2	0.025	0.00180	0.0132	10.3665	--	10.5675	--	--
		3	0.025	0.00000	0.0132	10.3665	--	10.5748	--	--
		4	0.025	0.00012	0.0132	10.3659	--	10.5719	--	--
		5	0.025	0.00028	0.0132	10.3645	10.5688	10.5688	0.000	0.000
27	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.10 m	1	0.025	0.00180	0.0176	10.3755	10.5553	10.5631	0.008	4.181
		2	0.025	0.00180	0.0176	10.3665	--	10.5579	--	--
		3	0.025	0.00000	0.0176	10.3665	--	10.5622	--	--
		4	0.025	0.00012	0.0176	10.3659	--	10.5562	--	--
		5	0.025	0.00028	0.0176	10.3645	10.5493	10.5493	0.000	0.000



INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA



Anexo A 9. Tabla de resultados de la calibración del tramo 2 del Canal de riego para un transitorio de 0.030, 0.0201 y 0.025 m³/seg, con movimientos variables en cada compuerta y con gasto lateral.

RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 2											
PLANTILLA = 0.15 m						TALUD = 1:1					
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	GASTO Q (m ³ /seg)	GASTO LATERAL q (m ³ /seg)	PENDIEN TE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
1	Aberturas iniciales represa 1 a 14.5 cm, represa 2 a 12.5 cm y represa 3 a 0.125 m	1	0.030	0	0.00218	0.0406	10.3874	10.5967	10.6166	0.020	8.690
		2	0.030	0	0.00218	0.0406	10.3765	--	10.5969	--	--
		3	0.030	0	0.00020	0.0406	10.3755	10.5832	10.5832	0.000	0.000
2	Abertura de toma 2 en 180 seg a una abertura de 0.02 m	1	0.030	0.007	0.00218	0.0257	10.3874	10.5511	10.5711	0.020	10.885
		2	0.030	0.007	0.00218	0.0257	10.3765	--	10.5497	--	--
		3	0.030	0.007	0.00020	0.0257	10.3755	10.5305	10.5305	0.000	0.000
3	Cierre Compuerta Represa 2 en 240 seg a una abertura de 0.065 m	1	0.030	0.0094	0.00218	0.0266	10.3874	10.5789	10.5892	0.010	5.125
		2	0.030	0.0094	0.00218	0.0266	10.3765	--	10.5748	--	--
		3	0.030	0.0094	0.00020	0.0266	10.3755	10.5690	10.5690	0.000	0.000
4	Cierre Compuerta Represa 3 en 240 seg a una abertura de 0.065 m	1	0.030	0.0101	0.00218	0.0361	10.3874	10.6012	10.6142	0.013	5.749
		2	0.030	0.0101	0.00218	0.0361	10.3765	--	10.5981	--	--
		3	0.030	0.0101	0.00020	0.0361	10.3755	10.5900	10.5900	0.000	0.000
5	Cierre de válvula que entrega un gasto de 0.030 a 0.0201 m ³ /seg en 540	1	0.0201	0.0073	0.00218	0.0128	10.3874	10.5144	10.5143	0.000	-0.094
		2	0.0201	0.0073	0.00218	0.0128	10.3765	--	10.5056	--	--
		3	0.0201	0.0073	0.00020	0.0128	10.3755	10.5078	10.5078	0.000	0.000
6	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.115 m	1	0.0201	0.0085	0.00218	0.0217	10.3874	10.5234	10.5340	0.011	7.223
		2	0.0201	0.0085	0.00218	0.0217	10.3765	--	10.5173	--	--
		3	0.0201	0.0085	0.00020	0.0217	10.3755	10.5068	10.5068	0.000	0.000
7	Cierre Compuerta Represa 2 en 240 seg a una abertura de 0.03 m	1	0.0201	0.0096	0.00218	0.0212	10.3874	10.5394	10.5586	0.019	11.215
		2	0.0201	0.0096	0.00218	0.0212	10.3765	--	10.5513	--	--
		3	0.0201	0.0096	0.00020	0.0212	10.3755	10.5545	10.5545	0.000	0.000
8	Cierre Compuerta Represa 3 en 180 seg a una abertura de 0.03 m	1	0.0201	0.0101	0.00218	0.0604	10.3874	10.5486	10.6151	0.067	29.195
		2	0.0201	0.0101	0.00218	0.0604	10.3765	--	10.5955	--	--
		3	0.0201	0.0101	0.00020	0.0604	10.3755	10.5822	10.5822	0.000	0.000
9	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.05 m	1	0.0201	0.0096	0.00218	0.0470	10.3874	10.5177	10.5913	0.074	36.112
		2	0.0201	0.0096	0.00218	0.0470	10.3765	--	10.5722	--	--
		3	0.0201	0.0096	0.00020	0.0470	10.3755	10.5592	10.5592	0.000	0.000
10	Abertura Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.04 m	1	0.0201	0.0094	0.00218	0.0034	10.3874	10.5397	10.5235	-0.016	-11.886
		2	0.0201	0.0094	0.00218	0.0034	10.3765	--	10.5273	--	--
		3	0.0201	0.0094	0.00020	0.0034	10.3755	10.5395	10.5395	0.000	0.000
11	Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.13 m	1	0.0201	0.0093	0.00218	0.0136	10.3874	10.5364	10.5374	0.001	0.647
		2	0.0201	0.0093	0.00218	0.0136	10.3765	--	10.5332	--	--
		3	0.0201	0.0093	0.00020	0.0136	10.3755	10.5398	10.5398	0.000	0.000
12	Abertura de válvula que entrega un gasto de 0.0201 a 0.025 m ³ /seg en 360 seg.	1	0.025	0.0101	0.00218	0.0545	10.3874	10.5487	10.6238	0.075	31.758
		2	0.025	0.0101	0.00218	0.0545	10.3765	--	10.6025	--	--
		3	0.025	0.0101	0.00020	0.0545	10.3755	10.5862	10.5862	0.000	0.000
13	Abertura Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.05 m	1	0.025	0.0096	0.00218	0.0116	10.3874	10.5694	10.5611	-0.008	-4.784
		2	0.025	0.0096	0.00218	0.0116	10.3765	--	10.5593	--	--
		3	0.025	0.0096	0.00020	0.0116	10.3755	10.5678	10.5678	0.000	0.000
14	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.065 m	1	0.025	0.0095	0.00218	0.0228	10.3874	10.5634	10.5684	0.005	2.783
		2	0.025	0.0095	0.00218	0.0228	10.3765	--	10.5572	--	--
		3	0.025	0.0095	0.00020	0.0228	10.3755	10.5558	10.5558	0.000	0.000
15	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.04 m	1	0.025	0.0096	0.00218	0.0293	10.3874	10.5791	10.5864	0.007	3.659
		2	0.025	0.0096	0.00218	0.0293	10.3765	--	10.5738	--	--
		3	0.025	0.0096	0.00020	0.0293	10.3755	10.5705	10.5705	0.000	0.000
16	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.05 m	1	0.025	0.0101	0.00218	0.0448	10.3874	10.5962	10.6113	0.015	6.741
		2	0.025	0.0101	0.00218	0.0448	10.3765	--	10.5931	--	--
		3	0.025	0.0101	0.00020	0.0448	10.3755	10.5818	10.5818	0.000	0.000
17	Abertura Compuerta Represa 3 en 240 seg a	1	0.025	0.0096	0.00218	0.0353	10.3874	10.5789	10.5918	0.013	6.293
		2	0.025	0.0096	0.00218	0.0353	10.3765	--	10.5750	--	--



INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA



RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 2											
PLANTILLA = 0.15 m						TALUD = 1:1					
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	GASTO Q (m ³ /seg)	GASTO LATERAL q (m ³ /seg)	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
	una abertura de 0.10 m	3	0.025	0.0096	0.00020	0.0353	10.3755	10.5658	10.5658	0.000	0.000
18	Abertura Compuerta Represa 2 en 270 seg a una abertura de 0.105 m	1	0.025	0.0088	0.00218	0.0121	10.3874	10.5184	10.5212	0.003	2.104
		2	0.025	0.0088	0.00218	0.0121	10.3765	--	10.5107	--	--
		3	0.025	0.0088	0.00020	0.0121	10.3755	10.5103	10.5103	0.000	0.000
19	Cierre total de la toma 2 en 120 seg	1	0.025	0	0.00218	0.0144	10.3874	10.5649	10.5638	-0.001	-0.635
		2	0.025	0	0.00218	0.0144	10.3765	--	10.5600	--	--
		3	0.025	0	0.00020	0.0144	10.3755	10.5668	10.5668	0.000	0.000

Anexo A 10. Tabla de resultados de la calibración del tramo 3 del Canal de riego para un transitorio con más de 3 gastos., con movimientos variables en cada compuerta y sin gasto lateral.

RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 3										
PLANTILLA = 0.15 m						TALUD = 1:1				
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	GASTO Q (m ³ /seg)	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
1	Aberturas iniciales represa 1 a 14.5 cm, represa 2 a 12.5 cm y represa 3 a 0.125 m	1	0.030	0.00180	0.0246	10.3755	10.5752	10.5939	0.019	8.548
		2	0.030	0.00180	0.0246	10.3665	--	10.5854	--	--
		3	0.030	0.00000	0.0246	10.3665	--	10.5861	--	--
		4	0.030	0.00012	0.0246	10.3659	--	10.5762	--	--
		5	0.030	0.00028	0.0246	10.3645	10.5642	10.5642	0.000	0.000
2	Abertura de Toma 2 en 180 seg a una abertura de 0.02 m	1	0.023	0.00180	0.0250	10.3755	10.5432	10.5630	0.020	10.577
		2	0.023	0.00180	0.0250	10.3665	--	10.5531	--	--
		3	0.023	0.00000	0.0250	10.3665	--	10.5520	--	--
		4	0.023	0.00012	0.0250	10.3659	--	10.5397	--	--
		5	0.023	0.00028	0.0250	10.3645	10.5232	10.5232	0.000	0.000
3	Cierre Compuerta Represa 2 en 240 seg a una abertura de 0.065 m	1	0.0206	0.00180	0.0253	10.3755	10.5375	10.5558	0.018	10.127
		2	0.0206	0.00180	0.0253	10.3665	--	10.5462	--	--
		3	0.0206	0.00000	0.0253	10.3665	--	10.5455	--	--
		4	0.0206	0.00012	0.0253	10.3659	--	10.5339	--	--
		5	0.0206	0.00028	0.0253	10.3645	10.5185	10.5185	0.000	0.000
4	Cierre Compuerta Represa 3 en 240 seg a una abertura de 0.065 m	1	0.0199	0.00180	0.0189	10.3755	10.5610	10.5638	0.003	1.493
		2	0.0199	0.00180	0.0189	10.3665	--	10.5601	--	--
		3	0.0199	0.00000	0.0189	10.3665	--	10.5659	--	--
		4	0.0199	0.00012	0.0189	10.3659	--	10.5618	--	--
		5	0.0199	0.00028	0.0189	10.3645	10.5573	10.5573	0.000	0.000
5	Cierre de válvula que entrega un gasto de 0.030 a 0.0201 m ³ /seg en 540	1	0.0128	0.00180	0.0208	10.3755	10.5138	10.5207	0.007	4.757
		2	0.0128	0.00180	0.0208	10.3665	--	10.5152	--	--
		3	0.0128	0.00000	0.0208	10.3665	--	10.5191	--	--
		4	0.0128	0.00012	0.0208	10.3659	--	10.5133	--	--
		5	0.0128	0.00028	0.0208	10.3645	10.5065	10.5065	0.000	0.000
6	Cierre Compuerta Represa 1 en 90 seg a una abertura de 0.115 m	1	0.0116	0.00180	0.0347	10.3755	10.5142	10.5327	0.019	11.757
		2	0.0116	0.00180	0.0347	10.3665	--	10.5227	--	--
		3	0.0116	0.00000	0.0347	10.3665	--	10.5214	--	--
		4	0.0116	0.00012	0.0347	10.3659	--	10.5097	--	--
		5	0.0116	0.00028	0.0347	10.3645	10.4935	10.4935	0.000	0.000
7	Cierre Compuerta Represa 2 en 240 seg a una abertura de 0.03 m	1	0.0105	0.00180	0.0350	10.3755	10.5062	10.5245	0.018	12.278
		2	0.0105	0.00180	0.0350	10.3665	--	10.5141	--	--
		3	0.0105	0.00000	0.0350	10.3665	--	10.5124	--	--
		4	0.0105	0.00012	0.0350	10.3659	--	10.5000	--	--
		5	0.0105	0.00028	0.0350	10.3645	10.4822	10.4822	0.000	0.000
8	Cierre Compuerta	1	0.01	0.00180	0.0270	10.3755	10.5355	10.5375	0.002	1.226



RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 3										
PLANTILLA = 0.15 m					TALUD = 1:1					
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	GASTO Q (m³/seg)	PENDIENTE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
	Represa 3 en 180 seg a una abertura de 0.03 m	2	0.01	0.00180	0.0270	10.3665	--	10.5338	--	--
		3	0.01	0.00000	0.0270	10.3665	--	10.5396	--	--
		4	0.01	0.00012	0.0270	10.3659	--	10.5359	--	--
		5	0.001	0.00028	0.0270	10.3645	10.5318	10.5318	0.000	0.000
9	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.05 m	1	0.0105	0.00180	0.0337	10.3755	10.5105	10.5262	0.016	10.429
		2	0.0105	0.00180	0.0337	10.3665	--	10.5172	--	--
		3	0.0105	0.00000	0.0337	10.3665	--	10.5171	--	--
		4	0.0105	0.00012	0.0337	10.3659	--	10.5069	--	--
10	Abertura Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.04 m	5	0.0105	0.00028	0.0337	10.3645	10.4935	10.4935	0.000	0.000
		1	0.0107	0.00180	0.0356	10.3755	10.5152	10.5314	0.016	10.375
		2	0.0107	0.00180	0.0356	10.3665	--	10.5223	--	--
		3	0.0107	0.00000	0.0356	10.3665	--	10.5222	--	--
11	Abertura Compuerta Represa 1 en 120 seg a una abertura de 0.13 m	4	0.0107	0.00012	0.0356	10.3659	--	10.5119	--	--
		5	0.0107	0.00028	0.0356	10.3645	10.4985	10.4985	0.000	0.000
		1	0.0108	0.00180	0.0337	10.3755	10.5142	10.5294	0.015	9.856
		2	0.0108	0.00180	0.0337	10.3665	--	10.5206	--	--
12	Abertura de válvula que entrega un gasto de 0.0201 a 0.025 m³/seg en 360	3	0.0108	0.00000	0.0337	10.3665	--	10.5210	--	--
		4	0.0108	0.00012	0.0337	10.3659	--	10.5113	--	--
		5	0.0108	0.00028	0.0337	10.3645	10.4988	10.4988	0.000	0.000
		1	0.015	0.00180	0.0276	10.3755	10.5338	10.5464	0.013	7.364
13	Abertura Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.05 m	2	0.015	0.00180	0.0276	10.3665	--	10.5391	--	--
		3	0.015	0.00000	0.0276	10.3665	--	10.5411	--	--
		4	0.015	0.00012	0.0276	10.3659	--	10.5333	--	--
		5	0.015	0.00028	0.0276	10.3645	10.5238	10.5238	0.000	0.000
14	Abertura Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.065 m	1	0.0154	0.00180	0.0259	10.3755	10.5382	10.5483	0.010	5.829
		2	0.0154	0.00180	0.0259	10.3665	--	10.5419	--	--
		3	0.0154	0.00000	0.0259	10.3665	--	10.5449	--	--
		4	0.0154	0.00012	0.0259	10.3659	--	10.5381	--	--
15	Cierre Compuerta Represa 2 en 120 seg a una abertura de 0.04 m	5	0.0154	0.00028	0.0259	10.3645	10.5302	10.5302	0.000	0.000
		1	0.0156	0.00180	0.0299	10.3755	10.5275	10.5463	0.019	10.992
		2	0.0156	0.00180	0.0299	10.3665	--	10.5368	--	--
		3	0.0156	0.00000	0.0299	10.3665	--	10.5362	--	--
16	Cierre Compuerta Represa 3 en 120 seg a una abertura de 0.05 m	4	0.0156	0.00012	0.0299	10.3659	--	10.5251	--	--
		5	0.0156	0.00028	0.0299	10.3645	10.5105	10.5105	0.000	0.000
		1	0.0154	0.00180	0.0299	10.3755	10.5248	10.5442	0.020	11.526
		2	0.0154	0.00180	0.0299	10.3665	--	10.5345	--	--
17	Abertura Compuerta Represa 3 en 240 seg a una abertura de 0.10 m	3	0.0154	0.00000	0.0299	10.3665	--	10.5335	--	--
		4	0.0154	0.00012	0.0299	10.3659	--	10.5219	--	--
		5	0.0154	0.00028	0.0299	10.3645	10.5063	10.5063	0.000	0.000
		1	0.015	0.00180	0.0277	10.3755	10.5340	10.5466	0.013	7.365
18	Abertura Compuerta Represa 2 en 270 seg a una abertura de 0.105 m	2	0.015	0.00180	0.0277	10.3665	--	10.5393	--	--
		3	0.015	0.00000	0.0277	10.3665	--	10.5413	--	--
		4	0.015	0.00012	0.0277	10.3659	--	10.5335	--	--
		5	0.015	0.00028	0.0277	10.3645	10.5240	10.5240	0.000	0.000
		1	0.0155	0.00180	0.0287	10.3755	10.5195	10.5384	0.019	11.588
		2	0.0155	0.00180	0.0287	10.3665	--	10.5277	--	--
		3	0.0155	0.00000	0.0287	10.3665	--	10.5256	--	--
		4	0.0155	0.00012	0.0287	10.3659	--	10.5123	--	--
		5	0.0155	0.00028	0.0287	10.3645	10.4930	10.4930	0.000	0.000
		1	0.0163	0.00180	0.0303	10.3755	10.5278	10.5465	0.019	10.921
		2	0.0163	0.00180	0.0303	10.3665	--	10.5358	--	--
		3	0.0163	0.00000	0.0303	10.3665	--	10.5337	--	--
		4	0.0163	0.00012	0.0303	10.3659	--	10.5205	--	--
		5	0.0163	0.00028	0.0303	10.3645	10.5018	10.5018	0.000	0.000



RESULTADOS TOTALES DE LA CALIBRACIÓN DEL TRAMO DE CANAL 3 PLANTILLA = 0.15 m TALUD = 1:1										
ESTRATO	ESTRATO	SECCIÓN	GASTO Q (m³/seg)	PENDIEN TE	COEF. RUG. n	ELEV. RAS. (m)	NIV. OBS. (m)	NIV. CALC. (m)	DIF. NIV (m)	DIF. REL/Y %
19	Cierre total de la toma 2 en 120 seg	1	0.025	0.00180	0.0265	10.3755	10.5620	10.5808	0.019	9.156
		2	0.025	0.00180	0.0265	10.3665	--	10.5718	--	--
		3	0.025	0.00000	0.0265	10.3665	--	10.5719	--	--
		4	0.025	0.00012	0.0265	10.3659	--	10.5614	--	--
		5	0.025	0.00028	0.0265	10.3645	10.5483	10.5483	0.000	0.000

