



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis de sensibilidad de la calibración de un modelo hidráulico en régimen variado impermanente del río Yanuncay.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Autor:

DANIEL EDUARDO MAURAD VILLIZHAÑAY

Director:

CARLOS JAVIER FERNÁNDEZ DE CÓRDOVA WEBSTER

CUENCA, ECUADOR

2020

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico de manera especial a mis padres: Galo y Ligia, que día a día siempre estuvieron cuando los necesité, en cada etapa de mi vida, apoyándome, aconsejándome y plantando en mí, humildad y deseos de superación; en ellos tengo el espejo en el cual me quiero reflejar por sus virtudes infinitas y su gran corazón.

AGRADECIMIENTO

Principalmente quiero agradecer a Dios, por ser mi luz y guía en este camino, por llenarme de bendiciones todos los días; a mis padres y a mi hermana por ser los motores de mi vida, a mi tía Carmela y tía Alicia por siempre aconsejarme para poder ser un buen hombre. A Diego y Pía por ser mis mentores y mi ejemplo a seguir, a mi primo Joaquín que me inspira ser cada día una mejor persona. También a Jorge que ha sido inspiración para superarme y dar un paso adelante. A mis primos que son como mis hermanos, a mi familia por sus constantes palabras de aliento y apoyo.

A Juan David y Paúl que siempre están presentes en todas las aventuras, a todos mis amigos que me han brindado una verdadera amistad.

Además, me gustaría agradecer a la Universidad del Azuay, a sus docentes, en especial a mi director de tesis, el Ing. Javier Fernández de Córdova, que es un excelente docente y persona, por ayudarme a cumplir un sueño más en mi vida e impartirme sus conocimientos.

**Análisis de sensibilidad de la calibración de un modelo
hidráulico en régimen impermanente del río Yanuncay.**

RESUMEN

En este trabajo se analizan los principales parámetros (intervalo de cálculo y la distancia entre secciones) que intervienen en la calibración en régimen impermanente de un modelo hidráulico del río Yanuncay. Utilizando el software libre HEC-RAS ingresando los respectivos coeficientes de rugosidad se obtienen los valores de altura de agua simulados del río y se comparan con las alturas observadas, variando para esto el intervalo de cálculo y la distancia entre secciones.

Palabras Clave: calibración, análisis de sensibilidad, régimen impermanente, modelo, rugosidad.



Carlos Javier Fernández de Córdova Webster

Director del Trabajo de Titulación



José Fernando Vázquez Calero

Director de la Escuela



Daniel Eduardo Maurad Villizhañay

Autor

**Calibration sensibility analysis of a hydraulic model
in impermanent regime of the Yanuncay river.**

ABSTRACT

In this work the main parameters (calculation interval and the distance between sections) that intervene in the impermanent calibration of a hydraulic model of the Yanuncay River were analyzed. Free software HEC-RAS was used; the corresponding roughness coefficients were entered. The simulated water height values of the river were obtained and compared with the observed heights, varying for this the calculation interval and the distance between sections.

Key Words: calibration, sensitivity analysis, impermanent regime, model, roughness.



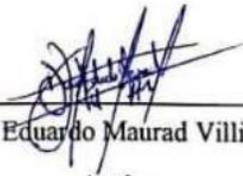
Carlos Javier Fernández de Córdova Webster

Thesis Director



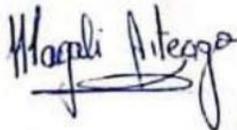
José Fernando Vázquez Calero

Faculty Director



Daniel Eduardo Maurad Villizhañay

Author



Translated by



Daniel Maurad

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	¡Error! Marcador no definido.
ABSTRACT	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
INTRODUCCIÓN:	1
ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	5
OBJETIVOS	6
Objetivo general:.....	6
Objetivos específicos	6
CAPÍTULO I.....	7
1 ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO	7
1.1 Estado del arte	7
1.2 Marco teórico	12
1.2.1 Modelación:	12
1.2.2 Modelo hidráulico:.....	12
1.2.3 Análisis de sensibilidad:.....	13
1.2.4 Coeficiente de Rugosidad:	13
1.2.5 N de Manning:	13
1.2.6 Régimen permanente:	13
1.2.7 Régimen impermanente:	14
1.2.8 Calibración:.....	14
1.2.9 Simulación:	14
CAPÍTULO II	16
2 ANÁLISIS DE LA CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO EN RÉGIMEN IMPERMANENTE Y EVALUACIÓN DEL ERROR.....	16
2.1 Creación del modelo hidráulico del río Yanuncay;.....	16
2.2 Calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente empleando el software HEC-RAS:.....	17
2.3 Criterios para evaluar el error de la calibración:	20

2.3.1	Error promedio (Average Error):	21
2.3.2	Error cuadrático (Squared Error):	21
2.3.3	Chi-cuadrado:.....	21
2.3.4	Smirnov – Kolmogorov:	22
2.3.5	Balance de Masas:.....	22
2.3.6	Schultz.....	36
2.3.7	Criterio de Nash y Sutcliffe:	47
CAPÍTULO III.....		59
3 DETERMINACIÓN DE RESULTADOS		59
3.1	Determinación de parámetros para la calibración del modelo hidraulico en régimen impermanente.....	60
3.1.1	Tiempo de intervalo de cálculo	60
3.1.2	Distancia entre secciones	63
3.2	Criterios de estimación	65
3.3	Determinación del tiempo de duración de la calibración de un modelo hidraulico en régimen impermanente.....	67
CONCLUSIONES		74
RECOMENDACIONES.....		76
BIBLIOGRAFÍA		77
ANEXOS		80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1: Eventos que se van a correr en el modelo.....	20
Tabla 2. 2: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 01 - 04 marzo 2017.....	23
Tabla 2. 3: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, even-to 09 - 12 marzo 2017.....	24
Tabla 2. 4: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, even-to 17 - 19 marzo 2017.....	25
Tabla 2. 5: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, even-to 23 - 25 marzo 2017.....	26
Tabla 2. 6: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, even-to 28 - 30 marzo 2017.....	27
Tabla 2. 7: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, even-to 30 marzo - 03 abril 2017.	28
Tabla 2. 8: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, even-to 12 - 14 abril 2017.	29
Tabla 2. 9: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 01 - 04 marzo 2017.....	30
Tabla 2. 10: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 09 - 12 marzo 2017.....	31
Tabla 2. 11: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 17 - 19 marzo 2017.....	32
Tabla 2. 12: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 23 - 25 marzo 2017.....	33
Tabla 2. 13: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 28 - 30 marzo 2017.....	34
Tabla 2. 14: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 30 marzo - 03 abril 2017.	35

Tabla 2. 15: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 12 - 14 abril 2017.	36
Tabla 2. 16: Valores referenciales del criterio de Schultz	37
Tabla 2. 17: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Schultz, evento 01 - 04 marzo 2017.....	38
Tabla 2. 18: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Schultz, evento 09 - 12 marzo 2017.....	38
Tabla 2. 19: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Schultz, evento 17 - 19 marzo 2017.....	39
Tabla 2. 20: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Schultz, evento 23 - 25 marzo 2017.....	40
Tabla 2. 21: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Schultz, evento 28 - 30 marzo 2017.....	40
Tabla 2. 22: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Schultz, evento 30 marzo - 03 marzo 2017.....	41
Tabla 2. 23: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Schultz, evento 12 - 14 abril 2017.....	42
Tabla 2. 24: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Schultz, evento 01 - 04 marzo 2017.....	43
Tabla 2. 25: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Schultz, evento 09 - 12 marzo 2017.....	43
Tabla 2. 26: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Schultz, evento 17 - 19 marzo 2017.....	44
Tabla 2. 27: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Schultz, evento 23 - 25 marzo 2017.....	45
Tabla 2. 28: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Schultz, evento 28 - 30 marzo 2017.....	45
Tabla 2. 29: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Schultz, evento 30 marzo - 03 abril 2017.....	46
Tabla 2. 30: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Schultz, evento 12 - 14 abril 2017.....	47

Tabla 2. 31: Valores referenciales del criterio de Nash - Sutcliffe	48
Tabla 2. 32: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 01 - 04 marzo 2017.....	49
Tabla 2. 33: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 09 - 12 marzo 2017.....	49
Tabla 2. 34: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 17 - 19 marzo 2017.....	50
Tabla 2. 35: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 23 - 25 marzo 2017.....	51
Tabla 2. 36: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 28 - 30 marzo 2017.....	51
Tabla 2. 37: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 30 marzo - 03 marzo 2017.....	52
Tabla 2. 38: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 12 - 14 abril 2017.	53
Tabla 2. 39: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 01 - 04 marzo 2017.....	54
Tabla 2. 40: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 09 - 12 marzo 2017.....	54
Tabla 2. 41: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Nash - Sut-cliffe, evento 17 - 19 marzo 2017.	55
Tabla 2. 42: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Nash - Sut-cliffe, evento 23 - 25 marzo 2017.	56
Tabla 2. 43: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Nash - Sut-cliffe, evento 28 - 30 marzo 2017.	56
Tabla 2. 44: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Nash - Sut-cliffe, evento 30 marzo - 03 abril 2017.	57
Tabla 2. 45: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Nash - Sut-cliffe, evento 12 - 14 abril 2017.....	58
Tabla 3. 1: Resumen de los intervalos de cálculo obtenidos para cada evento estudiado según los 5 metodos propuestos.....	60

Tabla 3. 2: Resumen de los intervalos de cálculo obtenidos para cada evento estudiado según el ajuste del criterio de Schultz.	61
Tabla 3. 3: Resumen de los intervalos de cálculo obtenidos para cada evento estudiado según el criterio de Nash-Sutcliffe.	62
Tabla 3. 4: Resumen de los espaciamineto entre secciones obtenidos para cada evento estudiado según los 5 metodos propuestos.	63
Tabla 3. 5: Resumen de los espaciamiento entre secciones obtenidos para cada evento estudiado según el ajuste del criterio de Schultz.	64
Tabla 3. 6: Resumen de los espaciamientos entre secciones obtenidos para cada evento estudiado según el criterio de Nash-Sutcliffe.	65
Tabla 3. 7: Cálculo del criterio de Courant para diferentes intervalos de cálculo con distintos espaciamientos entre secciones.	67
Tabla 3. 8: Determinación del tiempo de duración (hh:mm:ss), de la calibración de los eventos con un intervalo de cálculo de 5 segundos.	68
Tabla 3. 9: Determinación del tiempo de duración (hh:mm:ss), de la calibración de los eventos con un intervalo de cálculo de 10 segundos.	69
Tabla 3. 10: Determinación del tiempo de duración (hh:mm:ss), de la calibración de los eventos con un intervalo de cálculo de 15 segundos.	70
Tabla 3. 11: Resumen del tiempo de calibración dado por su respectivo intervalo de cálculo.	70
Tabla 3. 12: Determinación del tiempo de duración (hh:mm:ss), de la calibración de los eventos con una distancia entre secciones de 15 metros.	71
Tabla 3. 13: Determinación del tiempo de duración (hh:mm:ss), de la calibración de los eventos con una distancia entre secciones de 25 metros.	72
Tabla 3. 14: Determinación del tiempo de duración (hh:mm:ss), de la calibración de los eventos con una distancia entre secciones de 50 metros.	73
Tabla 3. 15: Resumen del tiempo de calibración dado por su respectiva distancia entre secciones.	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Tramo de modelación hidráulica del río Yanuncay.....	16
Figura 2. 2 Modelo del río Yanuncay con sus subtramos.	19

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Resultados de los eventos sometidos a los 5 métodos propuestos, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095, cambiando el intervalo de tiempo entre: 5, 10 y 15 segundos, incluye las figuras de los niveles de agua del río de cada uno de éstos ejecutados por el método de error promedio y error cuadrático respectivamente.....	81
Anexo 2: Resultados de los eventos sometidos a los 5 métodos propuestos, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095, cambiando la distancia entre secciones: 15, 25 y 50 metros, incluye las figuras de los niveles de agua del río de cada uno de éstos ejecutados por el método de error promedio y error cuadrático respectivamente.....	123
Anexo 3: Resultados de los eventos sometidos al método Schultz, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095, cambiando el intervalo de tiempo entre: 5, 10 y 15 segundos.....	165
Anexo 4: Resultados de los eventos sometidos al método Schultz, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095 cambiando la distancia entre secciones: 15, 25 y 50 metros.....	177
Anexo 5: Resultados de los eventos sometidos criterio de Nash – Sutcliffe, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095 cambiando el intervalo de tiempo entre: 5, 10 y 15 segundos.....	188
Anexo 6: Resultados de los eventos sometidos criterio de Nash – Sutcliffe, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095 cambiando la distancia entre secciones: 15, 25 y 50 metros.	199
Anexo 7: Anexo digital, tablas en el software Excel “Análisis de sensibilidad de la calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente mediante los métodos propuestos ante la variación de la n de Manning inicial” en un intervalo de cálculo de 5 segundos.....	210
Anexo 8: Anexo digital, tablas en el software Excel “Análisis de sensibilidad de la calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente mediante los métodos propuestos ante la variación de la n de Manning inicial” en un intervalo de cálculo de 10 segundos.....	210

Anexo 9: Anexo digital, tablas en el software Excel “Análisis de sensibilidad de la calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente mediante los métodos propuestos ante la variación de la n de Manning inicial” en un intervalo de cálculo de 15 segundos.....	210
Anexo 10: Anexo digital, tablas en el software Excel “Análisis de sensibilidad de la calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente mediante los métodos propuestos ante la variación de la n de Manning inicial” en una distancia entre secciones de 15 metros.	210
Anexo 11: Anexo digital, tablas en el software Excel “Análisis de sensibilidad de la calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente mediante los métodos propuestos ante la variación de la n de Manning inicial” en una distancia entre secciones de 25 metros.	210
Anexo 12: Anexo digital, tablas en el software Excel “Análisis de sensibilidad de la calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente mediante los métodos propuestos ante la variación de la n de Manning inicial” en una distancia entre secciones de 50 metros.	210

Daniel Eduardo Maurad Villizhañay

Trabajo de Graduación

Ing. Carlos Javier Fernández de Córdova Webster. M. Sc.

Febrero 2020

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA CALIBRACIÓN DE UN MODELO HIDRÁULICO, EN RÉGIMEN IMPERMANENTE DEL RÍO YANUNCAY

INTRODUCCIÓN:

La Tierra, posee diferentes regiones con climas realmente cambiantes, es por esa razón que dichas regiones se ven sometidas a bastantes y variados fenómenos naturales, tales como sequías e inundaciones, que afectan directamente a territorios y poblaciones, sin discriminar entre los países desarrollados de los que no lo son. Las inundaciones, específicamente, representan una amenaza tanto para las zonas productivas, como para aquellas zonas en las que se encuentran asentamientos humanos. Existen varios elementos que cooperan al impacto de una inundación, entre ellos están: factores naturales, cambios climáticos, falta de mantenimiento en las redes de drenaje, también, la modificación de las llanuras de inundación de los ríos, a causa de la acción del hombre.

Por otra parte, estadísticas globales indican que en un lapso de 11 años ocurrieron en el mundo 982 grandes inundaciones, donde la zona más afectada fue Asia con el 44% de los eventos, seguida por América con un 27%, esto implicó la muerte de más de 225 mil personas en Asia y más de 7 mil en América. A esto se le suma la pérdida de bienes por más de 135 mil y 24 mil millones de dólares respectivamente en Asia y América. (Alcides, 2010).

Es fundamental lograr una predicción adecuada de los cambios morfológicos en los cauces de los afluentes, además de conocer el comportamiento dinámico del río, eso permitirá una adecuada planificación de las actividades humanas frente a un ambiente fluvial.

El estudio de los cambios morfológicos de las corrientes naturales puede llevarse a cabo a través de la modelación física o matemática.

La modelación física se ha practicado tradicionalmente para estudiar grandes proyectos fluviales (vertedero de proyectos hidroeléctricos, presas, compuertas, cierre de brazos, confluencias, etc.), en tanto que la modelación matemática está volviéndose más popular para la solución de problemas de Ingeniería Fluvial.

A pesar de que evaluar los procesos físicos de la dinámica de un río, sea un proceso complicado, actualmente, existen varias herramientas informáticas que ayudan a simular el comportamiento hidráulico y morfológico de cauces, estos, si son manejados de manera correcta, brindan resultados óptimos, que ayudarían a la predicción del comportamiento morfológico de un río, aportando con conocimientos para el análisis de problemas presentes en el campo de la ingeniería fluvial.

Calibrar los modelos hidráulicos de manera adecuada, resulta importante porque ajustar los parámetros que definen el comportamiento del modelo, ayudarán a reflejar con mayor precisión el posible funcionamiento, de esa manera se podrán obtener resultados similares a la realidad. Se dice que la calibración del modelo consiste en determinar los valores de los parámetros de la red con los cuales los valores observados de las variables de estado coincidan con los generados por el modelo de simulación de la red. (Lansey y Basnet, 1991).

Según, (Larado, 2012), la calibración consiste en comparar los resultados del modelo con mediciones obtenidas en campo, realizando ajustes al modelo y la revisión de los datos de campo hasta alcanzar la concordancia entre ambos.

En definitiva, la calibración de modelos hidráulicos puede definirse como el proceso de ajuste de los parámetros que definen el comportamiento hidráulico del modelo, para reflejar con la mayor precisión posible el funcionamiento real del mismo. (Molina, S. 2014).

Hoy en día, se pueden conseguir varios modelos numéricos que sirven para recrear el transporte de sedimentos en ríos, sin embargo, la falta de conocimientos sobre sus capacidades, los ha llevado a que no sean utilizados de manera correcta, y que además, no den todo su potencial, esto causa que los resultados sean incorrectos en la evaluación morfológica del lecho de un cauce.

HEC-HMS es un software de modelación gratuito y de amplia utilización internacional en el estudio de avenidas, el cual provee una variedad de opciones para simular procesos de precipitación - escurrimiento y tránsito de caudales. Este modelo emplea métodos de precipitación-escorrentía para estimar los hidrogramas de escorrentía directa generados por las precipitaciones en una cuenca o región durante un período especificado. (Alcides, 2010).

Tetis es otro software de modelación hidráulica que ha servido para evaluar los caudales producidos por tormentas de distintas características, con el propósito de simular eventos de crecidas en cuencas naturales como también en cuencas altamente urbanizadas, donde el desempeño del modelo ha sido excelente tanto en los casos de calibración como de validación en estudios realizados en la Rambla del Poyo (Valencia -España), la quebrada San Luis (Manizales – Colombia), etc. (Velez, 2013).

Otro programa es Iber, un modelo matemático bidimensional que ayuda a la simulación del flujo en ríos y estuarios, desarrollado directamente desde la administración pública española en colaboración con universidades locales y diseñado para ser singularmente útil a las necesidades técnicas específicas de las confederaciones hidrográficas en la aplicación de la legislación sectorial vigente en materia de aguas. (Oñate, 2014).

En este proyecto se utilizará el software HEC-RAS, versión 5.0.3 (Hydrological Engineering Center – River Analysis System), mismo que fue desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers, este, tiene como finalidad la modelización hidráulica; analizándolos desde 4 puntos: régimen permanente unidimensional,

no permanente unidimensional y bidimensional, transporte de sedimentos y análisis de calidad de agua. (Banayas, 2014^[JFdcW1]).

Al momento de calibrar el modelo en el software HEC-RAS, es importante tomar en cuenta que dicho proceso es vital para la modelación hidrológica, porque de esa manera se puede analizar detalladamente el comportamiento del modelo en comparación a una variación en sus parámetros, ayuda también a la predicción de los mismos, además se puede ver cómo cierta variación de parámetros afectan los resultados de las simulaciones. Este software utiliza la ecuación de Manning para el análisis hidráulico en la simulación no permanente, donde el parámetro geométrico de mayor relevancia es el coeficiente de rugosidad n , el mismo que abarca el efecto resistencia al movimiento generado por una cantidad indefinida de factores que normalmente son de difícil identificación y cuantificación y por ende debe ser calibrado manualmente a partir de la comparación de niveles de agua registrados y simulados. La comparación de resultados medidas con los simulados es la forma directa de calibrar el modelo. (Ahmed, K. 2018).

En este estudio para poder calibrar el modelo hidráulico en régimen impermanente, se variará el coeficiente de rugosidad de Manning, que permitirá localizar los parámetros que más afectan a la calibración, en este caso, se utilizará un modelo hidráulico elaborado para el río Yanuncay de la ciudad de Cuenca. (Fernandez de Córdova, 2019). Es importante producir comportamientos semejantes a la realidad del río, para posteriormente analizarlos, y compararlos, en otros términos, se compararán los niveles simulados con los naturalmente observados del río.

Se utilizarán varias las técnicas estadísticas para establecer los parámetros que reproducen el comportamiento del río y que afectan a la calibración de un modelo hidráulico en régimen impermanente del río Yanuncay.

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Un evento natural, como son las fuertes lluvias, no discrimina zonas pobladas de las que no lo son, las poblaciones al no poseer sistemas que permita alertar de manera temprana sobre cualquier desbordamiento de los ríos, se convierten en potenciales víctimas de estas problemáticas naturales.

Uno de los componentes más importantes para poder alertar a una población sobre problemas relacionados con las inundaciones es la modelación hidráulica, sin embargo, para que los resultados sean confiables, el modelo utilizado debe ser calibrado y validado de forma adecuada. La modelación hidráulica en régimen impermanente no ha sido muy utilizada para determinar mapas y zonas de inundación, debido principalmente a la complicación en el proceso de calibración. Actualmente existen programas que facilitan esta tarea. El HEC-RAS es un software que últimamente incorporó la herramienta para calibrar el modelo hidráulico de forma automática, no obstante, en cada modelo implementado en una zona determinada es importante realizar un análisis de sensibilidad de los principales parámetros que intervienen en la calibración.

Cuenca, es una ciudad que geográficamente está atravesada por cuatro ríos de importancia: Machángara, Tarqui, Tomebamba y Yanuncay, por lo que es de vital importancia contar con el monitoreo permanente de todos ellos. Por otra parte, uno de los ríos que más inundaciones ha causado es el río Yanuncay, por tal razón, se llevará a cabo el estudio basado en dicho afluente, el mismo que se encuentra monitoreado y cuenta con información hidrometeorológica, que ayudará de manera esencial al proyecto.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Realizar el análisis de sensibilidad de la calibración de un modelo hidráulico en régimen impermanente del río Yanuncay.

Objetivos específicos

- Comparar los resultados que se obtengan de la calibración de modelo hidráulico en régimen impermanente variando el coeficiente de rugosidad inicial (n de Manning)
- Comparar los resultados que se obtengan de la calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente variando el intervalo de cálculo.
- Comparar los resultados que se obtengan en la calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente variando el espaciamiento entre secciones.

CAPÍTULO I

1 ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

1.1 Estado del arte

Entre las tareas que tiene la ingeniería, está la de encontrar soluciones técnicas, o también, la de brindar métodos que ayuden a resolver problemáticas que afecten la forma y la calidad de vida de las personas, dichas soluciones deben ser técnicas y económicamente viables. En el caso de los desastres naturales, y específicamente de las inundaciones, estas no se pueden evitar, pero, se pueden generar ciertos sistemas que contribuyan al pronóstico oportuno del fenómeno, y que ayuden en la toma de decisiones adecuadas sobre tal hecho.

Una de las herramientas que se han utilizado para poder buscar las soluciones anteriormente mencionadas, es justamente la hidráulica; esta nace de la necesidad de hacer uso de los elementos naturales del entorno. Etimológicamente hablando, hidráulica proviene de dos terminaciones griegas, la primera: hidro, que quiere decir agua, y la segunda: aulus que significa tubo, es decir: “la hidráulica estudia el movimiento del agua por tuberías” (Hernández, 2015) y que además “es la ciencia que estudia mediante cálculos, las condiciones del equilibrio y del movimiento de líquidos” (Hernandez, 2012).

En el área hidráulica se han desarrollado diferentes modelos que han servido a varios estudios, estas representaciones de la realidad a pequeña escala se han realizado a lo largo de la historia, existen estudios de diseños hidráulicos hechos hace muchísimo tiempo atrás; eran representaciones pequeñas de máquinas y estructuras, que gracias a ellos se han podido dar pasos fundamentales en el campo hidráulico. (Herrera, 2004).

Se han investigado varios trabajos importantes sobre el tema, en varios países se han hecho calibraciones de modelos hidráulicos, a continuación, se mencionarán los más importantes:

- En Santa Clara, ubicada en Cuba, se realizó una modelación hidráulica, para eso se ocuparon dos programas: ArcGIS y HEC-RAS, en primer lugar, se utilizó el software ArcGIS, con el se definió el área de estudio, así se pudo delimitar la zona que de cierta manera podría presentar inundaciones, después, en el software HEC-RAS, se procedió a ingresar los valores de n de Manning, y también el caudal del río, para después exportar esa información nuevamente al programa ArcGis, una vez ahí se seleccionan los perfiles y se observan la simulación, donde no se observó un ajuste de los parámetros por lo que no se efectuó una calibración. (Lopez, 2017).
- En Cuba, la dirección del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), se propuso crear un sistema que les permita determinar de manera eficaz ciertas inundaciones, y es justamente por esa razón que, a partir de los programas ArcGIS y HEC-RAS se pretende crear una simulación hidráulica, tomando como objeto de estudio al río Sagua la Chica y su cuenca, para este caso no se realizó un ajuste de los parámetros. (Lopez, 2017).
- En el estero Vuelta de Zorra, ubicado en la comuna de Corral, en la Región de los Ríos, Chile, se utilizó el sistema de modelamiento que brinda el programa HEC-RAS, para generar curvas de descarga en varias secciones transversales en 16 tramos de un segmento de 1556, a lo largo del canal principal del estero. En primer lugar, se llevó a cabo un levantamiento topográfico, con eso, se logró conseguir las secciones longitudinales y transversales, que permitirían modelar el funcionamiento hidráulico, además se consiguieron los valores de n de Manning realizando mediciones de los 16 tramos. Después, con el conjunto de datos que tiene la estación fluviométrica de dicho estero, se pudo realizar el modelado hidráulico con el programa HEC-RAS ya mencionado, sin embargo, no se realizó una calibración. (Hernández. M, 2012).
- En la tesis denominada “Análisis comparativo de los modelos HEC-RAS, CCHE2D, GSTARS Y BRI-STARS, para la moderación hidráulico - morfológica en un cauce alu-

vial. Aplicación al río negro (Antioquia)” (Múnera. C, 2013) se hace un análisis comparativo de todos los programas ya mencionados, con el fin de evaluar tanto las capacidades, como las limitaciones, además de la aplicabilidad de cada uno de ellos. Cada uno de estos casos fue aplicado sobre un tramo del río Negro (3.9 km de longitud), se realizaron modulaciones y se miró las capacidades de cada programa. (Múnera, 2013).

- En el caso del software HEC-RAS: su aplicabilidad o uso se da para la representación de los niveles de flujo y la variabilidad de estos ante diferentes tipos de caudales, es por eso que su mayor uso radica en la determinación de las manchas de inundación, además de los niveles de agua, muestra resultados de velocidad, esfuerzo cortante y número de Froude que dan una idea al modelador del comportamiento del cauce. (Múnera, 2013).

Los modelos hidráulicos, para ser calibrados, requieren de un conjunto de parámetros, sin embargo, no siempre pueden reflejar valores que brinden información importante, ya que como se sabe, están basados en un modelo, es importante tomar en cuenta que: «es imposible poder predecir, a ciencia cierta, los cambios que el entorno podría presentar, por lo tanto las variables estimadas también» (Lledó, 2003) es por esa misma razón que el trabajo solo puede mostrar uno de los cientos de posibles panoramas que pueden presentarse en la realidad.

Por otra parte, cuando se hace la calibración del modelo de un proyecto, a veces no se obtiene la solución más adecuada, debido a que algunos absurdos generan errores en la simulación, para poder evitar este tipo de situaciones, lo óptimo es contar con un grupo de parámetros que lleven a moldear el sistema de tal manera de que éste, funcione de manera muy similar a la realidad.

- En la ciudad de Catargo en Costa Rica, se llevó a cabo un caso de estudio en el que se aplicó el modelo hidrológico SWMM, dentro de él se tomaron en cuenta el caso de dos cuencas hidrológicas, ubicadas en el área urbana de dicha ciudad. Para la calibración, optimización de parámetros y posterior análisis de sensibilidad del modelo SWMM, se

usó la suite de calibración paramétrica PEST, el cual está fundamentado en los algoritmos de GML (Gauss-Marquardt-Levenberg).

Dentro del proceso de calibración con la suite PEST, se usaron 10 eventos que fueron identificados en diferentes estaciones meteorológicas durante la época lluviosa del 2011, después fue analizada la evolución de los parámetros conjuntamente con su respectiva sensibilidad relativa, esto, fue comparado con los hidrogramas que observaron inicialmente.

Los análisis de los eventos indicaron que: los parámetros y las sensibilidades relativas, cambian con respecto a las características específicas de cada tormenta lluviosa, esto indica que no existen unos únicos sets de parámetros que se puedan ajustar a todas las condiciones. Por otra parte, los coeficientes de rugosidad de Manning para el flujo, sobre el área de régimen impermanente, tanto impermeable como permeable, y el tránsito hidráulico, resultaron ser los más sensitivos de todos. Sin embargo, los comportamientos de dichos parámetros van a depender del volumen y la intensidad de la precipitación.

En este caso en específico, se puede decir que el comportamiento sugiere que existe dependencia con respecto al estado de humedad antecedente del suelo y los estados de flujo hidráulico, tanto a nivel de superficie como de tránsito hidráulico. (Méndez, M. 2013).

- En otro estudio se comprobó que, para poder comprobar la pertinencia de los resultados de un modelo, se utilizaron otra serie de datos diferentes a los que se han usado inicialmente en la calibración, a su vez para que este pueda cumplir su principal objetivo, se autenticó el modelo computacional con otros datos experimentales en otro punto de la red, diferente al de la válvula. En este caso, en específico, se analizaron con los parámetros originales (físicos) ya calibrados en el caso de la tubería en red cerrada. También, manejaron con los parámetros numéricos adecuados, que se obtuvieron de un análisis de sensibilidad inicial para un tubo simple. Todo esto con el fin de iniciar con las condiciones estudiadas, para después observar la validez de dichas condiciones asumidas de la calibración.

Tomando en cuenta ciertos puntos importantes aplicados en la calibración; en el caso de la validación se pudieron ver una sobrevaloraron de los mínimos y máximos de la presión, simulada con respecto a la experimental. Sin embargo, la tendencia hacia ciertos valores estáticos es similar, ciertos valores de frecuencia (tiempos de ocurrencia: máximos y mínimos) no coinciden. Se considera que las oscilaciones irregulares en los valores experimentales son consecuencia de las reflexiones y refracciones de la onda, tanto en el embalse que es la condición de frontera más cercana, como la de los demás nudos de los dos circuitos siguientes al nudo en estudio. Lo anterior se podría solucionar introduciéndole al modelo un módulo que considere las reflexiones y refracciones de onda en los diferentes puntos de la red (siempre y cuando se conozca con certeza el comportamiento de dichas reflexiones y refracciones). (Velásquez, C. & Toro, M, 2006).

Este trabajo tiene la finalidad de encontrar los parámetros que más afectan en la calibración en régimen impermanente de un modelo hidráulico, tomando como caso de estudio el río Yanuncay.

1.2 Marco teórico

El modelo debe ser calibrado con pertinencia para que pueda ser usado de manera confiable. Dado esto, es importante tener conocimientos acerca de conceptos y terminología que ayudarán al correcto entendimiento del problema que se abordará en el estudio.

1.2.1 Modelación

El modelo, es una herramienta, creada con el propósito de imitar el objeto que se desea estudiar, este modelo puede ser un instrumento teórico o material. Lo que pretende en sí, es sintetizar una realidad, que permita descubrir, ciertas cualidades y relaciones del objeto de estudio. A su vez, el modelo es considerado un elemento intermedio entre el sujeto y el objeto de investigación. (Pérez, G., García, G., Nocedo de León, I., & García, L, 1996).

Existe una gran variedad de modelos en el campo científico, y dentro de estos están los modelos matemáticos, mismos que se encargan de explicar desde una mirada matemática un hecho real, para poder hacer eso, utiliza ciertos criterios como: fenómenos físicos y sociológicos, población, etc.

Dentro de las finalidades de aplicar un modelo matemático a una investigación, es la de conseguir la suficiente información sobre el fenómeno o hecho que se estudia, esto facilitaría la predicción de algunos comportamientos que pudieran suscitarse en un futuro.

Los modelos en general, distinguen variantes dependientes e independientes. En el caso de los modelos matemáticos, estos plantean y establecen hipótesis objetivas, que obviamente serán manejadas de una forma matemática.

1.2.2 Modelo hidráulico

El modelo hidráulico es una reproducción de la realidad, a escala reducida, éste modelo incluye: estados, fenómenos y procesos importantes en el flujo del agua, por otra parte, en su estructura, también debe incluir ciertas magnitudes o hidrodinámicas, que pertenezcan y correspondan a las magnitudes en la naturaleza. (Hidalgo y Poveda 2012).

El modelo hidráulico, permite simular transporte de sedimentos, procesos de agradación y degradación de los cambios morfológicos del lecho; procesos con los cuales se puede identificar la evolución del cauce en la escala espacial y temporal. (Caballos, 2011).

1.2.3 Análisis de sensibilidad

Análisis de sensibilidad: es una técnica que ayuda a determinar cómo diferentes valores de una variable independiente afectan en una variable totalmente dependiente bajo un conjunto de supuestos. Además, estudia cómo la incertidumbre del resultado del modelo puede tener varias fuentes en cuanto a sus variables de entrada se refiere. (Helmut, 2000).

1.2.4 Coeficiente de Rugosidad

El coeficiente de rugosidad es el resultado de la forma y el tamaño del material que compone el perímetro mojado de un canal, este puede demorar el flujo. Hay estudios que afirman que cuando el material del perímetro es fino, el valor n es bajo, mientras que cuando el material es grueso el mismo valor n es alto. (Chow, 2004).

1.2.5 N de Manning

La n de Manning es una forma de representar la cantidad de resistencia al movimiento, específicamente, a movimiento del agua en cauces, ya sean naturales o artificiales. Es un coeficiente, específicamente, es el de resistencia al flujo, éste es muy variable, ya que depende de una gran variedad de elementos como: vegetación, irregularidad, nivel, obstrucciones, nivel, régimen de circulación, etc. (Fernandez de Córdova, C. 2018)

1.2.6 Régimen permanente

El flujo permanente es complicado de encontrar en condiciones naturales o de la naturaleza, este flujo es el que no presenta ningún tipo de cambio en una sección determinada, es decir las condiciones de caudal, velocidad, presión y demás, han sido constantes al pasar del tiempo. (Rocha, 2012).

1.2.7 Régimen impermanente

Se puede decir que un régimen es impermanente, cuando las propiedades y condiciones, tanto del fluido como de movimiento, cambian en algún punto, estos también cambian a lo largo del tiempo. (UPM, 2016).

Cuando un flujo es impermanente, las condiciones hidráulicas cambian, lo que significa que la superficie y su nivel son cambiantes y variables en el tiempo, la presión y velocidad también se afectan con el tiempo, este flujo es el más frecuente y el más fácil de encontrar en la naturaleza. (Rocha, 2012).

1.2.8 Calibración

El proceso de calibración implica identificar los valores de los parámetros que usa el modelo. Los valores de la calibración son datos simulados que se ajustan de una manera óptima, a los datos que se observaron originalmente. (Cabrera, 2017).

Es importante recalcar que la calibración hace referencia al proceso en el que: se adaptan los parámetros del modelo al comportamiento original que se tiene, una vez hecho eso, se miran las diferencias entre estos dos, para poder ajustar nuevamente el modelo; el proceso descrito se lo hace hasta que se obtengan cierto grado de precisión aceptable. (Aguirre, 2007).

En este caso en particular, y como ya se ha ido mencionando, para realizar la calibración del modelo, se utilizará el programa HEC-RAS, y para eso es indispensable contar de datos como: caudales, condiciones de contorno y geometría, y el valor que se calibra de todo ello es el coeficiente de rugosidad.

1.2.9 Simulación

Existen conceptos que se aproximan a la definición más acertada de simulación, entre esos varios conceptos, se tienen:

Simulación: técnica numérica para realizar experimentos, mismos que involucran algunos tipos de modelos de carácter matemáticos y lógicos, estos describen comportamientos de sistemas a través de largos periodos de tiempo. (Thomas, H Naylor, 1979).

Simulación: proceso de crear y desarrollar un modelo computarizado de un sistema, con el fin de conducir experimentos con tal modelo; el propósito de éste, es el de entender el comportamiento del sistema, además de evaluar las varias mentas con las cuales puede operar dicho sistema. (Robert, E Shannon, 1988).

Simulación: metodología que se basa en la simulación de sistemas físicos fundamentados en ciertos criterios y ciertas funciones matemáticas empíricas y algunas conceptuales, que permiten simular el caudal en base a datos propios de la cuenca. Por otra parte, aquellos modelos que simulan fenómenos como son los hídricos, están clasificados en: hidráulicos e hidrológicos, en el primer caso: son los que simulan el comportamiento de los flujos en los cauces en diferentes escenarios, y en el segundo caso: hace referencia a la simulación, en relación entre las singularidades meteorológicas y la escorrentía. En un modelo hidrológico se mira cómo funcionan los sistemas de un recurso hídrico en una cuenca (Mena, 2009).

CAPÍTULO II

2 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO EN RÉGIMEN IMPERMANENTE Y EVALUACIÓN DEL ERROR

2.1 Creación del modelo hidráulico del río Yanuncay;

Anteriormente se mencionó que la ciudad de Cuenca cuenta con cuatro ríos, siendo el río Yanuncay el que ha mostrado inundaciones con mucho más frecuencia con respecto a los otros tres ríos presentes. Por otra parte, identificando la ubicación de las estaciones de medición de las que dispone el río, se creó un modelo hidráulico desde la estación Pucán, hasta la intersección con el río Tarqui. (Fernandez de Córdova, 2019) (Figura 2.1)

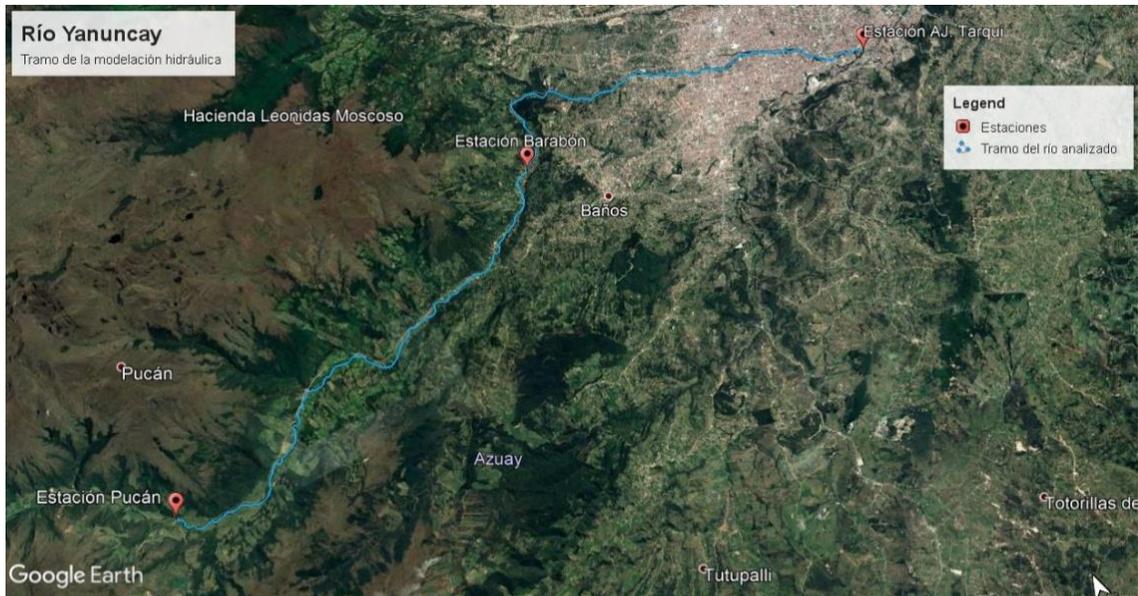


Figura 2. 1 Tramo de modelación hidráulica del río Yanuncay

Fuente: *Google Earth*.

Para poder crear el modelo, se utilizaron algunos programas informáticos: ArcGIS v10.5 y HEC-GeoRAS, este último, ayuda con la vinculación al software principal HEC-RAS, con el GIS.

Los programas requieren de un modelo digital del terreno, ya que funcionan para generar el modelo hidráulico. Primero, se utilizó el modelo digital del terreno que se obtuvo por medio de SIGTIERRAS, luego, para poder tener mejor detalle y precisión de las características del cauce principal, se requirieron datos de las secciones transversales, estas van desde la unión del río Minas y el puente de la Av. de las Américas (Timbe, 2011), complementario a eso, se requirió de un levantamiento topográfico que se obtuvo de ETAPA EP, el levantamiento va desde la Av. de las Américas, hasta la unión con el río Tarqui.

Asimismo, para poder eliminar los errores que encontraban en el modelo digital del terreno, se corrigieron las secciones, haciendo uso de la geometría del modelo hidráulico, en el software HEC-RAS.

Luego de haber armado correctamente el modelo, se lo corrió en régimen variado impermanente, ajustando los parámetros de calibración con varias simulaciones.

2.2 Calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente empleando el software HEC-RAS:

Hacer que los resultados de la simulación sean lo más semejantes posibles a la realidad, es imprescindible, y para ello se requiere la adecuada y acertada calibración del modelo hidráulico.

El procedimiento requiere de datos sobre el nivel de agua medido por estaciones hidrométricas (Pucán, AJ Tarqui y Barabón) (Fernández de Córdova & Rodríguez, 2016), después, son cotejados con los resultados que arrojó el modelo propuesto.

Es importante recalcar que el primer parámetro del que se posee mayor duda, es el coeficiente de resistencia al flujo representado por la n de Manning.

El software HEC-RAS es capaz de calibrar la n de Manning en régimen impermanente, pero para que pueda hacer ese proceso, necesita de los datos que surgieron de la observación del nivel de agua que tiene el río Yanuncay.

Además, la calibración necesita datos indispensables como: las condiciones de frontera, hidrográma de niveles, los datos obtenidos de la observación del nivel en la sección aguas arriba del tramo específico a calibrar, también se requiere de un valor inicial del coeficiente de rugosidad n de Manning, tanto para el cauce como para las llanuras. Además del intervalo cálculo y distancia entre secciones.

Seguidamente, se mostrarán las rugosidades iniciales del modelo del tramo analizado:

- Tramo Pucán – Barabón:

Cauce principal=0.08

Llanuras=0.1

- Tramo Barabón – A.J. Tarqui:

Cauce principal= 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095.

Llanuras=0.1

Adicionalmente, los valores del intervalo cálculo y distancias entre secciones en el tramo analizado:

- Tiempos de intervalo de cálculo: 0.5, 0.10 y 0.15 segundos.
- Distancias entre secciones: 15, 25 y 50 metros.

Las rugosidades, intervalos de cálculo y las distancias entre secciones, que aquí se exponen, fueron propuestas luego de un análisis de los valores utilizados en (Fernández de Córdova, 2019), considerando también lo expuesto en algunos trabajos sobre la estimación del coeficiente de rugosidad. (Fernández de Córdova et al. 2016, Fernández de Córdova et al. 2018a, Fernández de Córdova et al. 2018b, Fernández de Córdova et al. 2018c).

El HEC-RAS utiliza un factor de rugosidad para así poder conseguir la n de Manning ya calibrada, multiplicando el factor de rugosidad por la n de Manning inicial.

A lo largo de la calibración, los factores de rugosidad se van modificando, éste inicia con un valor de uno, y avanza con valores que harán que los resultados de la calibración sean lo más parecidos posible a los datos observados.

Para evaluar el error de la calibración, el HEC-RAS ofrece dos métodos: el error cuadrático y el error promedio, mismos que serán representados por medio de fórmulas que se indicarán posteriormente. (ecuaciones 2.1 y 2.2).

Para lograr que los resultados sean lo más reales posibles, se necesitaría calibrar el modelo impermanente con un número mayor de sub-tramos, no obstante, para ello se requerirían de más estaciones hidrométricas, que a la larga significaría un costo elevado para un estudio.

El modelo que se emplea para la calibración del río Yanuncay, tiene 25 kilómetros de longitud, por lo cual se dividieron en tres sub-tramos, como se mira en la figura 2.2, basándose en los datos de tres estaciones hidrológicas de la empresa ETAPA EP (Fernández de Córdova et al., 2016).

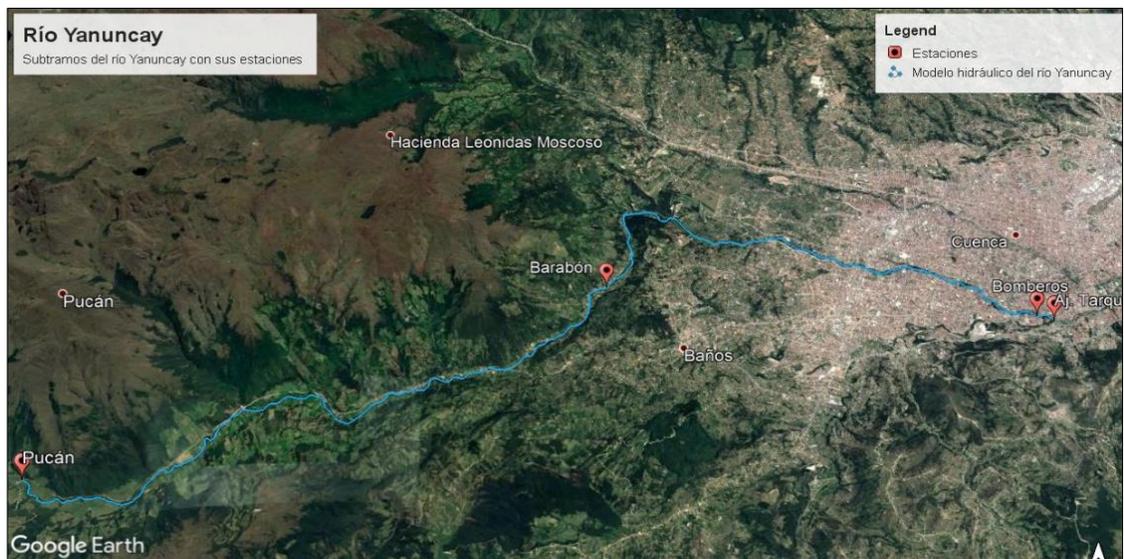


Figura 2. 2 Modelo del río Yanuncay con sus subtramos.

Fuente: *Google Earth*.

Los eventos analizados en la calibración se tomaron del trabajo de (Fernández de Córdova, 2019), en la siguiente tabla se muestra las fechas de inicio y final de cada uno:

Tabla 2. 1: Eventos que se van a correr en el modelo.

Evento	
Inicio	Fin
1 de marzo de 2017	4 de marzo de 2017
9 de marzo de 2017	12 de marzo de 2017
17 de marzo de 2017	19 de marzo de 2017
23 de marzo de 2017	25 de marzo de 2017
28 de marzo de 2017	30 de marzo de 2017
30 de marzo de 2017	3 de abril de 2017
12 de abril de 2017	14 de abril de 2017

Fuente: Autor.

2.3 Criterios para evaluar el error de la calibración:

El error de calibración es la diferencia que existe entre el valor que se obtenido de manera experimental y el valor verdadero.

Para el proyecto, se han utilizado dos métodos, tanto el de error promedio, como el de error medio cuadrático, además de pruebas de bondad de ajuste, mismas que ayudan a validar cuan bien se adaptan los valores observados a los simulados, para cada uno de los valores de la n de Manning.

2.3.1 Error promedio (Average Error)

El error promedio se lo obtiene de la sumatoria de la diferencia que existe entre aquellos valores que han sido calculados y los observados de la elevación de la superficie del agua, todo esto dividido para el número de puntos que se tienen. (Brunner, 2016).

Como la siguiente expresión lo indica:

$$AverageError = \frac{1}{k} \sum_1^k Calc.WS - Obs.WS \quad (2.1)$$

2.3.2 Error cuadrático (Squared Error)

El error cuadrático nace de la diferencia que hay entre los valores calculados y aquellos valores que han sido observados de la elevación de la superficie del agua elevados al cuadrado, dividida para el número de puntos que se tiene y adicionalmente a eso se saca a raíz cuadrada.

Como la siguiente expresión lo indica:

$$SquaredError = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_1^k (Calc.WS - Obs.WS)^2} \quad (2.2)$$

2.3.3 Chi-cuadrado

El Chi-cuadrado es una prueba de bondad de ajuste, en el caso de la estadística se la utiliza para encontrar la función de distribución que mejor se adapta a un conjunto de observaciones, el resultado que se consigue es comparado con el valor de una variable aleatoria con distribución Chi-cuadrado. (Aparicio, 1992).

En este proyecto se emplea la formulación para poder cotejar entre las varias simulaciones realizadas, variando el coeficiente n de rugosidad de Manning.

$$Chi = \sum_1^k \frac{(Yobs - Ysim)^2}{Ysim} \quad (2.3)$$

2.3.4 Smirnov – Kolmogorov

Es una prueba no paramétrica que establece la bondad de ajuste que existe entre dos distribuciones de probabilidad entre sí, asimismo, compara la función de distribución acumulada observada de una variable con una distribución teórica determinada. (simulacionutp, 2016).

$$D = \max|Yobs - Ysim| \quad (2.4)$$

2.3.5 Balance de Masas

Expresión que muestra la relación existente entre el volumen del hidrográma observado y del que se ha simulado. (Cabrera, 2017).

Expresado como:

$$m = 100 \frac{\sum_{i=1}^n (Qsim - Qi)}{\sum_{i=1}^n Qi} \quad (2.5)$$

Donde:

$m =$ es un porcentaje.

$Qsim =$ Caudal Simulado

$Qi =$ Caudal observado

En el caso de que el ajuste sea el adecuado entonces: $m=0$. La calibración se debe intentar llegar al valor más bajo de m .

El balance de masas es adecuado cuando se necesita de análisis mensuales y anuales, además cuando se precisa reproducir el balance de aguas.

En el **anexo 1**, se presentarán los resultados de los eventos, al haber sido sometidos a los 5 métodos que se han mencionado antes (2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5) a las corridas de calibración del segmento de estudio del río Yanuncay, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095, cambiando el intervalo de tiempo entre: 5, 10 y 15 segundos; dónde se resaltarán los valores mínimos de cada método para cada evento. Además, se representarán las figuras de los niveles de agua del río de cada uno de éstos.

Seguidamente, se indican las tablas que muestran los resultados de la calibración de cada evento con su respectivo intervalo de cálculo con el menor error, aplicando los 5 métodos propuestos.

Evento del 01 – 04 marzo 2017

Tabla 2. 2: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 01 - 04 marzo 2017.

01-04 Mar	n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balance de Masas (m)
5seg	0.08	Average	0.041512	0.05891	0.0001105	0.19	0.001537
		Squared	0.045116	0.06014	0.0001152	0.19	0.001671
10seg	0.08	Average	0.041395	0.05843	0.0001087	0.19	0.001533
		Squared	0.045349	0.05994	0.0001144	0.19	0.001679
15seg	0.08	Average	0.041279	0.05840	0.0001086	0.19	0.001529
		Squared	0.044767	0.05931	0.0001120	0.19	0.001658

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 15 segundos según los 5 métodos aplicados.

Evento del 09 – 12 marzo 2017

Tabla 2. 3: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 09 - 12 marzo 2017.

09-12 Mar	n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balance de Masas (m)
5seg	0.08	Average	0.078437	0.14023	0.0006989	0.59	0.002788
		Squared	0.078229	0.14000	0.0006966	0.59	0.002781
10seg	0.08	Average	0.078542	0.14015	0.0006981	0.59	0.002792
		Squared	0.078542	0.14006	0.0006972	0.59	0.002792
15seg	0.08	Average	0.078542	0.13975	0.0006942	0.59	0.002792
		Squared	0.078437	0.13950	0.0006916	0.59	0.002773

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 15 segundos según los 5 métodos aplicados.

Evento del 17 – 19 marzo 2017

Tabla 2. 4: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 17 - 19 marzo 2017.

17-19 Mar	n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balance de Masas (m)
	5seg	0.0825	Average	0.028472	0.05456	0.0000794	0.36
Squared			0.031667	0.05667	0.0000856	0.35	0.001173
10seg	0.0825	Average	0.027917	0.05374	0.0000770	0.36	0.001034
		Squared	0.030694	0.05526	0.0000814	0.35	0.001137
15seg	0.0825	Average	0.027361	0.05350	0.0000763	0.36	0.001013
		Squared	0.030972	0.05536	0.0000817	0.35	0.001147

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 15 segundos según los 5 métodos aplicados.

Evento del 23 – 25 marzo 2017

Tabla 2. 5: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 23 - 25 marzo 2017.

23-25 Mar	n de Manning		Error Medio (E)	Error me- dio cua- drático (EMC)	Chi Cua- drado (Chi)	Smirnov- Kolmogo- rov (D)	Balance de Masas (m)
5seg	0.095	Average	0.035294	0.05926	0.0000884	0.28	0.001307
		Squared	0.043088	0.06065	0.0000926	0.26	0.001596
10seg	0.095	Average	0.037077	0.06027	0.0000874	0.27	0.001373
		Squared	0.044615	0.06224	0.0000932	0.26	0.001652
15seg	0.095	Average	0.035294	0.03529	0.0000858	0.27	0.001307
		Squared	0.043235	0.04324	0.0000929	0.26	0.001601

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 15 segundos según los 5 métodos aplicados.

Evento del 28 – 30 marzo 2017

Tabla 2. 6: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 28 - 30 marzo 2017.

28-30 Mar	n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balance de Masas (m)
5seg	0.0825	Average	0.072462	0.10304	0.0002555	0.33	0.002683
		Squared	0.075231	0.10405	0.0002606	0.33	0.002786
10seg	0.0825	Average	0.072923	0.10321	0.0002564	0.33	0.002701
		Squared	0.074154	0.10395	0.0002601	0.33	0.002746
15seg	0.0825	Average	0.072462	0.10292	0.0002550	0.33	0.002683
		Squared	0.074308	0.10354	0.0002581	0.33	0.002752

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 15 segundos según los 5 métodos aplicados.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017

Tabla 2. 7: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, even-to 30 marzo - 03 abril 2017.

30Mar-03Abr	n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
5seg	0.08	Average	0.037670	0.05195	0.0001029	0.18	0.001395
		Squared	0.037573	0.05174	0.0001021	0.18	0.001391
10seg	0.08	Average	0.037573	0.05194	0.0001029	0.18	0.001391
		Squared	0.037961	0.05226	0.0001042	0.18	0.001406
15seg	0.08	Average	0.037767	0.05204	0.0001033	0.18	0.001399
		Squared	0.037864	0.05227	0.0001042	0.18	0.001402

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 10 segundos según los 5 métodos aplicados.

Evento del 12 – 14 abril 2017

Tabla 2. 8: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 12 - 14 abril 2017.

12-14 Abr	n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balance de Masas (m)
5seg	0.08	Average	0.085397	0.14863	0.0005154	0.66	0.003162
		Squared	0.092540	0.15126	0.0005338	0.66	0.003427
10seg	0.08	Average	0.084762	0.14829	0.0005130	0.66	0.003139
		Squared	0.093810	0.15180	0.0005408	0.66	0.003474
15seg	0.08	Average	0.085397	0.14847	0.0005143	0.66	0.003162
		Squared	0.093968	0.15221	0.0005405	0.66	0.003480

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 10 segundos según los 5 métodos aplicados.

En el **anexo 2**, se presentarán los resultados de los eventos, al haber sido sometidos a los 5 métodos que se han mencionado antes (2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5) a las corridas de calibración del segmento de estudio del río Yanuncay, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095, cambiando la distancia entre secciones: 15, 25 y 50 metros; dónde se resaltarán los valores mínimos de cada método para cada evento. Además, se representarán las figuras de los niveles de agua del río de cada uno de éstos.

Seguidamente, se indican las tablas que muestran los resultados de la calibración de cada evento con su respectiva distancia entre secciones con el menor error, aplicando los 5 métodos propuestos.

Evento del 01 – 04 marzo 2017

Tabla 2. 9: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 01 - 04 marzo 2017.

01-04 Mar	n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balance de Masas (m)
	50 met	0.08	Average	0.041395	0.05843	0.0001087	0.19
Squared			0.045349	0.05994	0.0001144	0.19	0.001679
25 met	0.0825	Average	0.036047	0.05028	0.0000805	0.13	0.001335
		Squared	0.039767	0.05218	0.0000867	0.14	0.002945
15 met	0.0825	Average	0.035930	0.04980	0.0000790	0.13	0.001331
		Squared	0.040465	0.05221	0.0000868	0.14	0.002997

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 15 metros según los 5 métodos aplicados.

Evento del 09 – 12 marzo 2017

Tabla 2. 10: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 09 - 12 marzo 2017.

09-12 Mar	n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
50 met	0.08	Average	0.078542	0.14015	0.0006981	0.59	0.002792
		Squared	0.078542	0.14006	0.0006972	0.59	0.002792
25 met	0.08	Average	0.058646	0.08745	0.0002718	0.31	0.002084
		Squared	0.058854	0.08718	0.0002702	0.31	0.002092
15 met	0.08	Average	0.057812	0.08483	0.0002558	0.29	0.002055
		Squared	0.057917	0.08453	0.0002540	0.29	0.002059

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 15 metros según los 5 métodos aplicados.

Evento del 17 – 19 marzo 2017

Tabla 2. 11: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 17 - 19 marzo 2017.

17-19 Mar	n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
50 met	0.0825	Average	0.027917	0.05374	0.0000770	0.36	0.001034
		Squared	0.030694	0.05526	0.0000814	0.35	0.001137
25 met	0.095	Average	0.022500	0.04933	0.0000649	0.35	0.000833
		Squared	0.035000	0.05406	0.0000779	0.33	0.001296
15 met	0.0825	Average	0.033056	0.05681	0.0000861	0.37	0.001224
		Squared	0.035556	0.05809	0.0000900	0.37	0.001317

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 25 metros según los 5 métodos aplicados.

Evento del 23 – 25 marzo 2017

Tabla 2. 12: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 23 - 25 marzo 2017.

23-25 Mar	n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
50 met	0.095	Average	0.037077	0.06027	0.0000874	0.27	0.001373
		Squared	0.044615	0.06224	0.0000932	0.26	0.001652
25 met	0.095	Average	0.033529	0.05828	0.0000855	0.28	0.001242
		Squared	0.036029	0.05905	0.0000878	0.28	0.001334
15 met	0.095	Average	0.033824	0.05833	0.0000857	0.28	0.001253
		Squared	0.035882	0.05896	0.0000875	0.28	0.001329

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 25 metros según los 5 métodos aplicados.

Evento del 28 – 30 marzo 2017

Tabla 2. 13: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 28 - 30 marzo 2017.

28-30 Mar	n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
50 met	0.0825	Average	0.072923	0.10321	0.0002564	0.33	0.002701
		Squared	0.074154	0.10395	0.0002601	0.33	0.002746
25 met	0.095	Average	0.055231	0.08827	0.0001876	0.31	0.002045
		Squared	0.056462	0.08892	0.0001903	0.31	0.002091
15 met	0.095	Average	0.054308	0.08692	0.0001818	0.30	0.002011
		Squared	0.055077	0.08707	0.0001825	0.30	0.002040

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 15 metros según los 5 métodos aplicados.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017

Tabla 2. 14: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

30Mar- 03Abr	n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balance de Masas (m)
50 met	0.08	Average	0.037573	0.05194	0.0001029	0.18000	0.001391
		Squared	0.037961	0.05226	0.0001042	0.18000	0.001406
25 met	0.0825	Average	0.039709	0.04971	0.0000942	0.18	0.001471
		Squared	0.041262	0.05179	0.0001023	0.16	0.001528
15 met	0.0825	Average	0.039029	0.04962	0.0000939	0.18	0.001373
		Squared	0.041068	0.05149	0.0001011	0.16	0.001521

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 15 metros según los 5 métodos aplicados.

Evento del 12 – 14 abril 2017

Tabla 2. 15: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando los 5 métodos propuestos, evento 12 - 14 abril 2017.

12-14 Abr	n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
	50 met	0.08	Average	0.084762	0.14829	0.0005130	0.66
Squared			0.093810	0.15180	0.0005408	0.66	0.003474
25 met	0.0825	Average	0.072698	0.14243	0.0004733	0.67	0.002692
		Squared	0.082698	0.14561	0.0004946	0.67	0.003062
15 met	0.0825	Average	0.071746	0.14162	0.0004679	0.67	0.002657
		Squared	0.082222	0.14565	0.0004949	0.67	0.003045

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 15 metros según los 5 métodos aplicados.

2.3.6 Schultz

Este criterio muestra la desviación existente entre los caudales que se han simulado respecto de los que se han observado. (Molnar, 2011).

Como la siguiente expresión lo indica:

$$D = 200 \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{sim,i} - Q_i| Q_i}{n(Q_{max})^2} \quad (2.6)$$

$D =$ Criterio de Schultz.

$Q_{sim} =$ Caudal Simulado.

$Q_i = \text{Caudal observado.}$

$Q_{max} = \text{Caudal máximo observado en el periodo de estudio.}$

El criterio de Schultz es utilizado al momento de querer analizar eventos de alta resolución temporal.

En la siguiente tabla se encuentran los valores observados y los del modelo:

Tabla 2. 16: Valores referenciales del criterio de Schultz

D	Ajuste
0 - 3	Insuficiente
3 - 10	Satisfactorio
10 - 18	Bueno
> 18	Muy Bueno

En el **anexo 3**, se presentará los dos valores de D calculados con el método Schultz, para cada valor de la n de Manning, cada uno variando el método de evaluación entre: error medio y error medio cuadrático, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095, cambiando el intervalo de cálculo entre: 5, 10 y 15 segundos; Donde se resaltan el mejor ajuste según el criterio de Schultz para cada evento.

Seguidamente, se indican un resumen de las tablas que muestran los resultados de la calibración de cada evento con su respectivo intervalo de cálculo con el mejor ajuste, aplicando el método de Schultz.

Evento del 01 – 04 marzo 2017

Tabla 2. 17: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Schultz, evento 01 - 04 marzo 2017.

01-04 Mar	n de Manning		Schultz	
			S	Ajuste
5seg	0.08	Average	3.0737	Bueno
		Squared	3.3406	Bueno
10seg	0.08	Average	3.0651	Bueno
		Squared	3.3578	Bueno
15seg	0.08	Average	3.0565	Bueno
		Squared	3.3148	Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 15 segundos según el criterio de Schultz.

Evento del 09 – 12 marzo 2017

Tabla 2. 18: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Schultz, evento 09 - 12 marzo 2017.

09-12 Mar	n de Manning		Schultz	
			S	Ajuste
5seg	0.08	Average	5.8072	Bueno
		Squared	5.7918	Bueno
10seg	0.08	Average	5.8150	Bueno
		Squared	5.8150	Bueno
15seg	0.08	Average	5.8150	Bueno
		Squared	5.7850	Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 15 segundos según el criterio de Schultz.

Evento del 17 – 19 marzo 2017

Tabla 2. 19: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Schultz, evento 17 - 19 marzo 2017.

17-19 Mar	n de Manning		Schultz	
			S	Ajuste
5seg	0.08	Average	2.1084	Muy Bueno
		Squared	2.3450	Muy Bueno
10seg	0.08	Average	2.0673	Muy Bueno
		Squared	2.2730	Muy Bueno
15seg	0.08	Average	2.0261	Muy Bueno
		Squared	2.2935	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 15 segundos según el criterio de Schultz.

Evento del 23 – 25 marzo 2017

Tabla 2. 20: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Schultz, evento 23 - 25 marzo 2017.

23-25 Mar	n de Manning		Schultz	
			S	Ajuste
5seg	0.1	Average	2.6134	Muy Bueno
		Squared	3.1905	Bueno
10seg	0.1	Average	2.7454	Muy Bueno
		Squared	3.3036	Bueno
15seg	0.1	Average	2.6134	Muy Bueno
		Squared	3.2014	Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 15 segundos según el criterio de Schultz.

Evento del 28 – 30 marzo 2017

Tabla 2. 21: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Schultz, evento 28 - 30 marzo 2017.

28-30 Mar	n de Manning		Schultz	
			S	Ajuste
5seg	0.08	Average	5.3651	Bueno
		Squared	5.5701	Bueno
10seg	0.08	Average	5.3992	Bueno
		Squared	5.4904	Bueno
15seg	0.08	Average	5.3651	Bueno
		Squared	5.5017	Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 15 segundos según el criterio de Schultz.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017

Tabla 2. 22: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Schultz, evento 30 marzo - 03 marzo 2017.

30Mar- 03Abr	n de Manning		Schultz	
			S	Ajuste
5seg	0.08	Average	2.7890	Muy Bueno
		Squared	2.7818	Muy Bueno
10seg	0.08	Average	2.7818	Muy Bueno
		Squared	2.8106	Muy Bueno
15seg	0.08	Average	2.7962	Muy Bueno
		Squared	2.8034	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 10 segundos según el criterio de Schultz.

Evento del 12 – 14 abril 2017

Tabla 2. 23: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Schultz, evento 12 - 14 abril 2017.

12-14 Abr	n de Manning		Schultz	
			S	Ajuste
5seg	0.08	Average	6.3212	Bueno
		Squared	6.8499	Bueno
10seg	0.08	Average	6.2742	Bueno
		Squared	6.9439	Bueno
15seg	0.08	Average	6.3212	Bueno
		Squared	6.9556	Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 10 segundos según el criterio de Schultz.

En el **anexo 4**, se presentará los dos valores de D calculados con el método Schultz, para cada valor de la n de Manning, cada uno variando el método de evaluación entre: error medio y error medio cuadrático, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095, cambiando la distancia entre secciones entre: 15, 25 y 50 metros; dónde se resaltan el mejor ajuste según el criterio de Schultz para cada evento.

Seguidamente, se indica un resumen de las tablas que muestran los resultados de la calibración de cada evento con su respectiva distancia entre secciones con el mejor ajuste, aplicando el método de Schultz.

Evento del 01 – 04 marzo 2017

Tabla 2. 24: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Schultz, evento 01 - 04 marzo 2017.

01-04 Mar	n de Manning		Schultz	
			S	Ajuste
50 met	0.08	Average	3.0651	Bueno
		Squared	3.3578	Bueno
25 met	0.0825	Average	2.6690	Muy Bueno
		Squared	2.9445	Muy Bueno
15 met	0.0825	Average	2.6604	Muy Bueno
		Squared	2.9962	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 15 metros según el método de Schultz.

Evento del 09 – 12 marzo 2017

Tabla 2. 25: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Schultz, evento 09 - 12 marzo 2017.

09-12 Mar	n de Manning		Schultz	
			S	Ajuste
50 met	0.08	Average	5.8150	Bueno
		Squared	5.8150	Bueno
25 met	0.08	Average	4.3418	Bueno
		Squared	4.3572	Bueno
15 met	0.08	Average	4.2801	Bueno
		Squared	4.2878	Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 15 metros según el método de Schultz.

Evento del 17 – 19 marzo 2017

Tabla 2. 26: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Schultz, evento 17 - 19 marzo 2017.

17-19 Mar	n de Manning		Schultz	
			S	Ajuste
50 met	0.0825	Average	2.0673	Muy Bueno
		Squared	2.2730	Muy Bueno
25 met	0.095	Average	1.6662	Muy Bueno
		Squared	2.5918	Muy Bueno
15 met	0.0825	Average	2.4478	Muy Bueno
		Squared	2.6329	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 25 metros según el método de Schultz.

Evento del 23 – 25 marzo 2017

Tabla 2. 27: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Schultz, evento 23 - 25 marzo 2017.

23-25 Mar	n de Manning		Schultz	
			S	Ajuste
50 met	0.095	Average	2.7454	Muy Bueno
		Squared	3.3036	Bueno
25 met	0.095	Average	2.4828	Muy Bueno
		Squared	2.6679	Muy Bueno
15 met	0.095	Average	2.5045	Muy Bueno
		Squared	2.6570	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 25 metros según el método de Schultz.

Evento del 28 – 30 marzo 2017

Tabla 2. 28: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Schultz, evento 28 - 30 marzo 2017.

28-30 Mar	n de Manning		Schultz	
			S	Ajuste
50 met	0.0825	Average	5.3992	Bueno
		Squared	5.4904	Bueno
25 met	0.095	Average	4.0894	Bueno
		Squared	4.1805	Bueno
15 met	0.095	Average	4.0210	Bueno
		Squared	4.0780	Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 15 metros según el método de Schultz.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017

Tabla 2. 29: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Schultz, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

30Mar- 03Abr	n de Manning		Schultz	
			S	Ajuste
50 met	0.08	Average	2.7818	Muy Bueno
		Squared	2.8106	Muy Bueno
25 met	0.0825	Average	2.9399	Muy Bueno
		Squared	3.0549	Bueno
15 met	0.0825	Average	2.7690	Muy Bueno
		Squared	2.9112	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 15 metros según el método de Schultz.

Evento del 12 – 14 abril 2017

Tabla 2. 30: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Schultz, evento 12 - 14 abril 2017.

12-14 Abr	n de Manning		Schultz	
			S	Ajuste
50 met	0.08	Average	6.2742	Bueno
		Squared	6.9439	Bueno
25 met	0.0825	Average	5.3812	Bueno
		Squared	6.1214	Bueno
15 met	0.0825	Average	5.3107	Bueno
		Squared	6.0861	Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 15 metros según el método de Schultz.

2.3.7 Criterio de Nash y Sutcliffe

Estadístico normalizado que ayuda a determinar magnitudes relativas de las diferencias residuales que se comparan con las diferencias que se han observado en los datos (Nash & Sutcliffe, 1970)

Definido como:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{prom})^2} \quad (2.7)$$

$NSE =$ Criterio de Nash y Sutcliffe.

$Q_{sim} =$ Caudal Simulado.

$Q_i = \text{Caudal observado.}$

$Q_{\text{prom}} = \text{Caudal promedio entre el caudal simulado y el caudal observado.}$

En la siguiente tabla se muestran los resultados. También mide la variabilidad que existe en las observaciones, esto explicado por la simulación. Este criterio indica que sí la simulación es óptima: $NSE=1$; en el caso de que se intentara adaptar las observaciones con el valor promedio, entonces: $NSE=0$. La siguiente tabla muestran valores sugeridos que se deben tomar en cuenta: (Molnar, 2011).

Tabla 2. 31: Valores referenciales del criterio de Nash - Sutcliffe

NSE	Ajuste
< 0,2	Insuficiente
0,2 - 0,4	Satisfactorio
0,4 - 0,6	Bueno
0,6 - 0,8	Muy Bueno
> 0,8	Excelente

En el **anexo 5**, Se calcularon dos valores de NSE con cada valor de la n de Manning para cada evento estudiado con sus diferentes parámetros expuestos anteriormente, éstos fueron calculados alternando el método de evaluación del error, entre: el error medio cuadrático y el error medio, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095, cambiando el intervalo de cálculo entre: 5, 10 y 15 segundos; tomando la decisión según los valores referenciales del criterio de Nash – Sutcliffe.

Seguidamente, se indican un resumen de las tablas que muestran los resultados de la calibración de cada evento con su respectivo intervalo de cálculo con el mejor ajuste, aplicando el método de Nash – Sutcliffe.

Evento del 01 – 04 marzo 2017

Tabla 2. 32: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 01 - 04 marzo 2017.

01-04 Mar	n de Manning		Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
5seg	0.08	Average	0.73060	Muy Bueno
		Squared	0.71931	Muy Bueno
10seg	0.08	Average	0.73502	Muy Bueno
		Squared	0.72112	Muy Bueno
15seg	0.08	Average	0.73529	Muy Bueno
		Squared	0.72699	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 15 segundos según el criterio de Nash-Sutcliffe.

Evento del 09 – 12 marzo 2017

Tabla 2. 33: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 09 - 12 marzo 2017.

09-12 Mar	n de Manning		Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
5seg	0.08	Average	0.33589	Satisfactorio
		Squared	0.33807	Satisfactorio
10seg	0.08	Average	0.33670	Satisfactorio
		Squared	0.33754	Satisfactorio
15seg	0.08	Average	0.34043	Satisfactorio
		Squared	0.34285	Satisfactorio

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 15 segundos según el criterio de Nash-Sutcliffe.

Evento del 17 – 19 marzo 2017

Tabla 2. 34: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 17 - 19 marzo 2017.

17-19 Mar	n de Manning		Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
5seg	0.08	Average	0.52068	Bueno
		Squared	0.48288	Bueno
10seg	0.08	Average	0.53499	Bueno
		Squared	0.50815	Bueno
15seg	0.08	Average	0.53902	Bueno
		Squared	0.50636	Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 15 segundos según el criterio de Nash-Sutcliffe.

Evento del 23 – 25 marzo 2017

Tabla 2. 35: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 23 - 25 marzo 2017.

23-25 Mar	n de Manning		Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
5seg	0.1	Average	0.87818	Excelente
		Squared	0.87322	Excelente
10seg	0.1	Average	0.81348	Excelente
		Squared	0.80108	Excelente
15seg	0.1	Average	0.88113	Excelente
		Squared	0.87128	Excelente

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 15 segundos según el criterio de Nash-Sutcliffe.

Evento del 28 – 30 marzo 2017

Tabla 2. 36: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 28 - 30 marzo 2017.

28-30 Mar	n de Manning		Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
5seg	0.08	Average	0.64114	Muy Bueno
		Squared	0.63407	Muy Bueno
10seg	0.08	Average	0.63995	Muy Bueno
		Squared	0.63475	Muy Bueno
15seg	0.08	Average	0.64198	Muy Bueno
		Squared	0.63761	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 15 segundos según el criterio de Nash-Sutcliffe.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017

Tabla 2. 37: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 30 marzo - 03 marzo 2017.

30Mar- 03Abr	n de Manning		Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
5seg	0.08	Average	0.90867	Excelente
		Squared	0.90942	Excelente
10seg	0.08	Average	0.90870	Excelente
		Squared	0.90758	Excelente
15seg	0.08	Average	0.90837	Excelente
		Squared	0.90755	Excelente

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 10 segundos según el criterio de Nash-Sutcliffe.

Evento del 12 – 14 abril 2017

Tabla 2. 38: Determinación del intervalo de cálculo con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 12 - 14 abril 2017.

12-14 Abr	n de Manning		Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
5seg	0.08	Average	0.80495	Excelente
		Squared	0.79798	Muy Bueno
10seg	0.08	Average	0.80584	Excelente
		Squared	0.79655	Muy Bueno
15seg	0.08	Average	0.80537	Excelente
		Squared	0.79544	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en un intervalo de cálculo igual a 10 segundos según el criterio de Nash-Sutcliffe.

En el **anexo 6**, Se calcularon dos valores de NSE con cada valor de la n de Manning para cada evento estudiado con sus diferentes parámetros expuestos anteriormente, éstos fueron calculados alternando el método de evaluación del error, entre: el error medio cuadrático y el error medio, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095, cambiando la distancia entre secciones entre: 15, 25 y 50 metros; tomando la decisión según los valores referenciales del criterio de Nash – Sutcliffe.

Seguidamente, se indican un resumen de las tablas que muestran los resultados de la calibración de cada evento con su respectiva distancia entre secciones con el mejor ajuste, aplicando el método de Nash – Sutcliffe

Evento del 01 – 04 marzo 2017

Tabla 2. 39: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 01 - 04 marzo 2017.

01-04 Mar	n de Manning		Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
50 met	0.08	Average	0.73502	Muy Bueno
		Squared	0.72112	Muy Bueno
25 met	0.0825	Average	0.80379	Excelente
		Squared	0.78863	Muy Bueno
15 met	0.0825	Average	0.80749	Excelente
		Squared	0.78845	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 15 metros según el método de Nash-Sutcliffe.

Evento del 09 – 12 marzo 2017

Tabla 2. 40: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 09 - 12 marzo 2017.

09-12 Mar	n de Manning		Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
50 met	0.08	Average	0.33670	Satisfactorio
		Squared	0.33754	Satisfactorio
25 met	0.08	Average	0.74176	Muy Bueno
		Squared	0.74331	Muy Bueno
15 met	0.08	Average	0.75696	Muy Bueno
		Squared	0.75868	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 15 metros según el método de Nash-Sutcliffe.

Evento del 17 – 19 marzo 2017

Tabla 2. 41: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 17 - 19 marzo 2017.

17-19 Mar	n de Manning		Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
50 met	0.0825	Average	0.53499	Bueno
		Squared	0.50815	Bueno
25 met	0.095	Average	0.60813	Muy Bueno
		Squared	0.52940	Bueno
15 met	0.0825	Average	0.48019	Bueno
		Squared	0.45648	Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 25 metros según el método de Nash-Sutcliffe.

Evento del 23 – 25 marzo 2017

Tabla 2. 42: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Nash - Sut-cliffe, evento 23 - 25 marzo 2017.

23-25 Mar	n de Manning		Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
50 met	0.095	Average	0.81348	Excelente
		Squared	0.80108	Excelente
25 met	0.095	Average	0.88219	Excelente
		Squared	0.88006	Excelente
15 met	0.095	Average	0.88198	Excelente
		Squared	0.88042	Excelente

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 25 metros según el método de Nash-Sutcliffe.

Evento del 28 – 30 marzo 2017

Tabla 2. 43: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Nash - Sut-cliffe, evento 28 - 30 marzo 2017.

28-30 Mar	n de Manning		Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
50 met	0.0825	Average	0.63995	Muy Bueno
		Squared	0.63475	Muy Bueno
25 met	0.095	Average	0.73662	Muy Bueno
		Squared	0.73277	Muy Bueno
15 met	0.095	Average	0.74463	Muy Bueno
		Squared	0.74374	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 15 metros según el método de Nash-Sutcliffe.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017

Tabla 2. 44: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

30Mar- 03Abr	n de Manning		Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
50 met	0.08	Average	0.90870	Excelente
		Squared	0.90758	Excelente
25 met	0.0825	Average	0.91639	Excelente
		Squared	0.90922	Excelente
15 met	0.0825	Average	0.91668	Excelente
		Squared	0.91028	Excelente

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 15 metros según el método de Nash-Sutcliffe.

Evento del 12 – 14 abril 2017

Tabla 2. 45: Determinación de la distancia entre secciones con menor error aplicando el método de Nash - Sutcliffe, evento 12 - 14 abril 2017.

12-14 Abr	n de Manning		Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
50 met	0.08	Average	0.80584	Excelente
		Squared	0.79655	Muy Bueno
25 met	0.0825	Average	0.82089	Excelente
		Squared	0.81281	Excelente
15 met	0.0825	Average	0.82291	Excelente
		Squared	0.81271	Excelente

Fuente: Autor.

Se puede observar en la anterior tabla que se obtiene un menor error en el momento que se realizó la calibración en una distancia entre secciones igual a 15 metros según el método de Nash-Sutcliffe.

CAPÍTULO III

3 ANALISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se muestran las tablas en las que se pueden encontrar: tanto los tiempos de intervalo de cálculo, como las distancias entre secciones con los que han sido calibrados los eventos con sus respectivos coeficientes de rugosidad, y entre ellos se puede ver cuál es el que presenta un menor error, una vez que fueron aplicados los 5 métodos: error promedio, error cuadrático, chi-cuadrado, Smirnov – Kolmogorov, también todos los valores fueron vistos bajo el criterio de Nash y Sutcliffe: que ayuda a determinar magnitudes relativas de las diferencias residuales que se comparan con las diferencias que se han observado en los datos; y el criterio de Schultz: que muestra la desviación que hay entre los caudales que se han simulado respecto a los observados.

Todo este proceso sirve para poder determinar los valores óptimos a utilizarse en la calibración del modelo. Como se ha mencionado anteriormente, se requiere que el tiempo de intervalo de cálculo y la distancia entre secciones, sean valores que hagan que la simulación sea lo más semejante posible a la realidad.

Y para finalizar, se mostrarán tablas que indican el tiempo en el que se demoró la calibración en cada uno de los eventos, también se conseguirá un promedio que indica el tiempo que se tardó en calibrar los eventos con los diferentes intervalos de cálculo y distancias con los que se han venido trabajando.

3.1 Determinación de parámetros para la calibración del modelo hidraulico en régimen impermanente.

3.1.1 Tiempo de intervalo de cálculo

En las siguientes tablas presentadas a continuación, se mostrarán el tiempo de intervalo de cálculo adecuado de cada evento, que permite que la simulación se asemeje a la realidad.

Seguidamente se representa los tiempos de intervalo con su respectiva n de manning por la que se obtuvo un menor error al momento de realizar la calibración con su respectivo evento.

Tabla 3. 1: Resumen de los intervalos de cálculo obtenidos para cada evento estudiado según los 5 metodos propuestos.

EVENTO	Tiempo de intervalo	n de Manning	Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balance de Masas (m)
01-04 Mar	15 seg	0.08	0.041279	0.05840	0.0001086	0.19	0.001529
09-12 Mar	15 seg	0.08	0.078437	0.13950	0.0006916	0.59	0.002773
17-19 Mar	15 seg	0.0825	0.027361	0.05350	0.0000763	0.36	0.001013
23-25 Mar	15 seg	0.095	0.035294	0.03529	0.0000858	0.27	0.001307
28-30 Mar	15 seg	0.0825	0.072462	0.10292	0.0002550	0.33	0.002683
30Mar-03Abr	10 seg	0.08	0.037573	0.05194	0.0001029	0.18	0.001391
12-14 Abr	10 seg	0.08	0.084762	0.14829	0.0005130	0.66	0.003139

Fuente: Autor.

También, se muestran las tablas que indican los tiempos de intervalo con su respectiva n de Manning con la que se consiguió un menor error al momento de llevar a cabo la calibración con su respectivo evento. Cada uno debido al resultado del ajuste según el criterio de Schultz.

Tabla 3. 2: Resumen de los intervalos de cálculo obtenidos para cada evento estudiado según el ajuste del criterio de Schultz.

EVENTO	Tiempo de intervalo	n de Manning	Schultz	
			S	Ajuste
01-04 Mar	15 seg	0.08	3.0565	Bueno
09-12 Mar	15 seg	0.08	5.7850	Bueno
17-19 Mar	15 seg	0.0825	2.0261	Muy Bueno
23-25 Mar	15 seg	0.095	2.6134	Muy Bueno
28-30 Mar	15 seg	0.0825	5.3651	Bueno
30Mar-03Abr	10 seg	0.08	2.7818	Muy Bueno
12-14 Abr	10 seg	0.08	6.2742	Bueno

Fuente: Autor.

Seguidamente, se muestran las tablas que indican los tiempos de intervalo con su respectiva n de Manning con la que se consiguió un menor error al momento de llevar a cabo la calibración con su respectivo evento. Cada uno debido al resultado del ajuste según el criterio de Nash-Sutcliffe.

Tabla 3. 3: Resumen de los intervalos de cálculo obtenidos para cada evento estudiado según el criterio de Nash-Sutcliffe.

EVENTO	Tiempo de intervalo	n de Manning	Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
01-04 Mar	15 seg	0.08	0.73529	Muy Bueno
09-12 Mar	15 seg	0.08	0.34285	Satisfactorio
17-19 Mar	15 seg	0.0825	0.53902	Bueno
23-25 Mar	15 seg	0.095	0.88113	Excelente
28-30 Mar	15 seg	0.0825	0.64198	Muy Bueno
30Mar-03Abr	10 seg	0.08	0.90870	Excelente
12-14 Abr	10 seg	0.08	0.80584	Excelente

Fuente: Autor.

3.2 Distancia entre secciones

Las siguientes tablas presentadas a continuación, se mostrarán la distancia entre secciones adecuado de cada evento, que permite que la simulación se asemeje a la realidad.

En la siguiente tabla se representa las distancias entre secciones con su respectiva n de man-ning por la que se obtuvo un menor error al momento de realizar la calibración con su respectivo evento.

Tabla 3. 4: Resumen de los espaciamento entre secciones obtenidos para cada evento estudiado según los 5 metodos propuestos.

EVENTO	Espaciamento entre secciones	n de Manning	Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
01-04 Mar	15 met	0.08	0.035930	0.04980	0.0000790	0.13	0.001331
09-12 Mar	15 met	0.08	0.057917	0.08453	0.0002540	0.29	0.002059
17-19 Mar	25 met	0.0825	0.022500	0.04933	0.0000649	0.35	0.000833
23-25 Mar	25 met	0.095	0.033529	0.05828	0.0000855	0.28	0.001242
28-30 Mar	15 met	0.0825	0.054308	0.08692	0.0001818	0.30	0.002011
30Mar-03Abr	15 met	0.08	0.039029	0.04962	0.0000939	0.18	0.001373
12-14 Abr	15 met	0.08	0.071746	0.14162	0.0004679	0.67	0.002657

Fuente: Autor.

También, se muestran las tablas que indican las distancias entre secciones con su respectiva n de Manning con la que se consiguió un menor error al momento de llevar a cabo la calibración con su respectivo evento. Cada uno debido al resultado del ajuste según el criterio de Schultz.

Tabla 3. 5: Resumen de los espaciamiento entre secciones obtenidos para cada evento estudiado según el ajuste del criterio de Schultz.

EVENTO	Espaciamiento entre secciones	n de Manning	Schultz	
			S	Ajuste
01-04 Mar	15 met	0.08	2.6604	Muy Bueno
09-12 Mar	15 met	0.08	4.2878	Bueno
17-19 Mar	25 met	0.0825	1.6662	Muy Bueno
23-25 Mar	25 met	0.095	2.4828	Muy Bueno
28-30 Mar	15 met	0.0825	4.0210	Bueno
30Mar-03Abr	15 met	0.08	2.7690	Muy Bueno
12-14 Abr	15 met	0.08	5.3107	Bueno

Fuente: Autor.

Seguidamente, se muestran las tablas que indican las distancias entre secciones con su respectiva n de Manning con la que se consiguió un menor error al momento de llevar a cabo la calibración con su respectivo evento. Cada uno debido al resultado del ajuste según el criterio de Nash-Sutcliffe.

Tabla 3. 6: Resumen de los espaciamientos entre secciones obtenidos para cada evento estudiado según el criterio de Nash-Sutcliffe.

EVENTO	Espaciamiento entre secciones	n de Manning	Nash-Sutcliffe	
			NSE	Ajuste
01-04 Mar	15 met	0.08	0.80749	Excelente
09-12 Mar	15 met	0.08	0.75868	Muy Bueno
17-19 Mar	25 met	0.0825	0.60813	Muy Bueno
23-25 Mar	25 met	0.095	0.88219	Excelente
28-30 Mar	15 met	0.0825	0.74463	Muy Bueno
30Mar-03Abr	15 met	0.08	0.91668	Excelente
12-14 Abr	15 met	0.08	0.82291	Excelente

Fuente: Autor.

3.3 Criterios de estimación

El manual de HEC-RAS expone criterios para estimar el tiempo de intervalo del cálculo (computation Interval). (Brunner, 2016).

- 1) Primer criterio: el intervalo debe ser menor o igual a el tiempo que existe entre el caudal base y el caudal pico que presenta el hidrograma modelado dividido para 20, (como el proyecto se lleva a cabo en el caso del río Yanuncay de Cuenca, el tiempo va de entre 2 y 6 horas) es decir el intervalo va entre 0,1 y 0,3 horas, lo que se traduce a 6 y 18 minutos.
- 2) Segundo criterio: el intervalo de cálculo debe ser menor o igual al tiempo que el agua tarde de llegar de una sección a otra, y para eso se establece la siguiente fórmula del criterio de Courant:

$$Cr = Vw \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq 1,0 \quad (3.1)$$

En el caso del río Yanuncay, la ve-

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{Vw} \quad (3.2)$$

locidad media asumida fue igual a 2, lo que representa un promedio del conjunto de valores que se han mencionado en el proyecto de: (Fernández de Córdova et al., 2018a), y mediante los resultados obtenidos de este estudio, se obtuvo que con una separación de secciones de 15 metros, y un intervalo de cálculo de 15 segundos se consigue un menor porcentaje de error calculado con los métodos ya mencionados, con estos datos se consiguió un número de Courant de 3, mismo que no es menor a 1,0 por lo que no cumple con el criterio.

Ahora se mostrarán los valores obtenidos del criterio de Courant dados por los valores del intervalo de cálculo con su respectivo espaciamiento entre secciones mostrados a continuación, con una Velocidad media igual a 2, misma que se obtuvo del proyecto de (Fernández de Córdova et al., 2018a), donde se puede observar la combinación de Δt (intervalo de cálculo) con su Δx (espaciamiento entre secciones) que cumple con el criterio que sea menor a 1. Cabe decir que aquellos que cumplen con ser menor a uno están de color verde, y aquellos que no cumplen están de color rojo.

Tabla 3. 7: Cálculo del criterio de Courant para diferentes intervalos de cálculo con distintos espaciamientos entre secciones.

Intervalo de Cálculo	Espaciamiento de Secciones	Criterio de Courant
5	15	1.00
	25	0.60
	50	0.30
10	15	2.00
	25	1.20
	50	0.60
15	15	3.00
	25	1.80
	50	0.90

Fuente: Autor.

3.4 Determinación del tiempo de duración de la calibración de un modelo hidráulico en régimen impermanente.

En las siguientes tablas se presenta el tiempo que se demoró la calibración de cada evento, con su respectivo intervalo de tiempo de cálculo y distancia entre secciones, de estos se obtendrá un promedio, que permite observar el tiempo que se tardó en calibrar cada evento con: 5, 10 y 15 segundos, correspondientes al intervalo de cálculo; y 15, 25 y 50 metros, correspondientes a la distancia entre secciones.

Para medir el tiempo de duración de las calibraciones se utilizó una laptop de las siguientes características: Ordenador HP, Core i7 Tth Gen con 16 Gb de Ram.

Tiempo de intervalo de 5 segundos

Tabla 3. 8: Determinación del tiempo de duración (hh:mm:ss), de la calibración de los eventos con un intervalo de cálculo de 5 segundos.

		Rugosidad	0.05	0.08	0.085	0.095	Resultados
5 Segundos	01 Marzo -	Average	0:09:29	0:12:16	0:12:18	0:09:49	0:10:58
	04 Marzo	Squared	0:16:26	0:17:05	0:18:10	0:16:46	0:17:07
	09 Marzo -	Average	0:10:33	0:15:24	0:14:52	0:15:49	0:14:09
	12 Marzo	Squared	0:16:27	0:16:58	0:16:39	0:16:12	0:16:34
	17 Marzo -	Average	0:08:36	0:08:39	0:12:09	0:10:13	0:09:54
	19 Marzo	Squared	0:10:35	0:14:42	0:15:12	0:13:05	0:13:24
	23 Marzo -	Average	0:12:49	0:13:03	0:12:59	0:13:16	0:13:02
	25 Marzo	Squared	0:12:18	0:11:58	0:12:14	0:13:51	0:12:35
	28 Marzo -	Average	0:08:02	0:08:42	0:08:00	0:07:46	0:08:08
	30 Marzo	Squared	0:10:52	0:11:52	0:12:51	0:12:18	0:11:58
	30 Marzo -	Average	0:11:32	0:11:12	0:11:43	0:11:06	0:11:23
	03 Abril	Squared	0:17:42	0:19:02	0:16:35	0:18:16	0:17:54
	12 Abril -	Average	0:08:14	0:08:32	0:08:04	0:06:52	0:07:55
	14 Abril	Squared	0:11:44	0:15:11	0:13:11	0:11:51	0:12:59
						Average	0:10:47
						Squared	0:14:39

Fuente: Autor.

Tiempo de intervalo de 10 segundos

Tabla 3. 9: Determinación del tiempo de duración (hh:mm:ss), de la calibración de los eventos con un intervalo de cálculo de 10 segundos.

		Rugosidad	0.05	0.08	0.085	0.095	Resultados
		10 Segundos	01 Marzo -	Average	0:12:31	0:06:10	0:05:16
04 Marzo	Squared		0:08:28	0:15:42	0:05:44	0:04:35	0:08:37
09 Marzo -	Average		0:13:14	0:07:19	0:06:47	0:06:08	0:08:22
12 Marzo	Squared		0:06:35	0:07:25	0:05:09	0:06:12	0:06:20
17 Marzo -	Average		0:05:14	0:04:51	0:04:44	0:04:17	0:04:46
19 Marzo	Squared		0:04:35	0:05:42	0:05:42	0:05:38	0:05:24
23 Marzo -	Average		0:06:01	0:04:05	0:03:51	0:06:06	0:05:01
25 Marzo	Squared		0:04:22	0:04:25	0:05:15	0:04:30	0:04:38
28 Marzo -	Average		0:06:07	0:05:52	0:06:05	0:06:07	0:06:03
30 Marzo	Squared		0:03:15	0:04:52	0:03:23	0:03:46	0:03:49
30 Marzo -	Average		0:05:58	0:06:49	0:06:30	0:06:09	0:06:22
03 Abril	Squared		0:07:21	0:07:34	0:07:27	0:06:16	0:07:10
12 Abril -	Average		0:04:23	0:04:52	0:08:49	0:05:21	0:05:51
14 Abril	Squared		0:03:50	0:03:09	0:03:27	0:04:51	0:03:49
						Average	0:06:13
						Squared	0:05:41

Fuente: Autor.

Tiempo de intervalo de 15 segundos

Tabla 3. 10: Determinación del tiempo de duración (hh:mm:ss), de la calibración de los eventos con un intervalo de cálculo de 15 segundos.

		Rugosidad	0.05	0.08	0.085	0.095	Resultados	
		15 Segundos	01 Marzo -	Average	0:04:34	0:04:04	0:04:10	0:04:14
04 Marzo	Squared		0:05:28	0:06:00	0:05:30	0:04:47	0:05:26	
09 Marzo -	Average		0:04:18	0:04:23	0:04:54	0:05:40	0:04:49	
12 Marzo	Squared		0:05:27	0:05:07	0:04:17	0:05:12	0:05:01	
17 Marzo -	Average		0:06:36	0:04:22	0:05:09	0:03:13	0:04:50	
19 Marzo	Squared		0:04:35	0:03:38	0:04:44	0:04:05	0:04:15	
23 Marzo -	Average		0:02:49	0:03:13	0:02:58	0:02:55	0:02:59	
25 Marzo	Squared		0:04:18	0:06:04	0:05:11	0:05:21	0:05:14	
28 Marzo -	Average		0:05:10	0:04:52	0:06:05	0:06:22	0:05:37	
30 Marzo	Squared		0:03:46	0:05:52	0:05:23	0:04:58	0:05:00	
30 Marzo -	Average		0:04:32	0:03:40	0:03:06	0:03:55	0:03:48	
03 Abril	Squared		0:06:21	0:06:32	0:05:06	0:05:57	0:05:59	
12 Abril -	Average		0:07:41	0:05:12	0:05:30	0:05:53	0:06:04	
14 Abril	Squared		0:05:12	0:07:17	0:06:01	0:04:51	0:05:50	
							Average	0:04:38
							Squared	0:05:15

Fuente: Autor.

En la siguiente tabla se muestra un resumen del tiempo de la Calibración dado por su respectivo Intervalo de cálculo.

Tabla 3. 11: Resumen del tiempo de calibración dado por su respectivo intervalo de cálculo.

Intervalo de cálculo	Método de Error	Tiempo de Calibración
15 Segundos	Average	0:04:38
	Squared	0:05:15
10 Segundos	Average	0:06:13
	Squared	0:05:41
5 Segundos	Average	0:10:47
	Squared	0:14:39

Fuente: Autor.

Distancia entre secciones de 15 metros

Tabla 3. 12: Determinación del tiempo de duración (hh:mm:ss), de la calibración de los eventos con una distancia entre secciones de 15 metros.

15 metros	Rugosidad		0.05	0.08	0.085	0.095	Resultados
	01 Marzo - 04 Marzo	Average	0:31:34	0:23:34	0:24:13	0:17:49	0:24:17
	Squared	0:32:19	0:23:34	0:28:46	0:28:47	0:28:21	
09 Marzo - 12 Marzo	Average	ERROR	0:35:23	0:36:42	0:19:26	0:30:30	
	Squared	ERROR	0:46:27	0:44:17	0:26:12	0:38:59	
17 Marzo - 19 Marzo	Average	0:15:13	0:16:33	0:17:09	0:16:36	0:16:23	
	Squared	0:21:29	0:21:42	0:21:42	0:20:05	0:21:14	
23 Marzo - 25 Marzo	Average	0:16:19	0:14:38	0:14:01	0:13:36	0:14:38	
	Squared	0:20:55	0:19:04	0:18:14	0:18:21	0:19:09	
28 Marzo - 30 Marzo	Average	0:18:10	0:18:47	0:19:00	0:17:25	0:18:21	
	Squared	0:25:19	0:23:04	0:23:46	0:21:58	0:23:32	
30 Marzo - 03 Abril	Average	0:26:32	0:22:46	0:23:06	0:26:27	0:24:43	
	Squared	0:37:40	0:28:32	0:30:06	ERROR	0:32:06	
12 Abril - 14 Abril	Average	ERROR	0:26:48	0:23:00	0:15:41	0:21:50	
	Squared	ERROR	0:27:11	0:27:27	0:33:25	0:29:21	
	Average					0:21:32	
	Squared					0:27:32	

Fuente: Autor.

Distancia entre secciones de 25 metros

Tabla 3. 13: Determinación del tiempo de duración (hh:mm:ss), de la calibración de los eventos con una distancia entre secciones de 25 metros.

		Rugosidad	0.05	0.08	0.085	0.095	Resultados	
25 metros	01 Marzo -	Average	0:11:09	0:13:32	0:14:51	0:13:04	0:13:09	
	04 Marzo	Squared	0:15:45	0:18:52	0:17:06	0:17:07	0:17:13	
	09 Marzo -	Average	0:18:58	0:29:23	0:39:05	0:13:43	0:25:17	
	12 Marzo	Squared	0:20:37	0:29:48	0:26:53	0:16:41	0:23:30	
	17 Marzo -	Average	0:10:22	0:10:30	0:10:33	0:10:52	0:10:34	
	19 Marzo	Squared	0:12:22	0:13:42	0:13:39	0:13:01	0:13:11	
	23 Marzo -	Average	0:09:01	0:09:17	0:09:20	0:08:58	0:09:09	
	25 Marzo	Squared	0:11:29	0:12:10	0:12:24	0:11:55	0:12:00	
	28 Marzo -	Average	0:09:36	0:11:34	0:12:18	0:11:13	0:11:10	
	30 Marzo	Squared	0:12:16	0:15:45	0:16:24	0:13:57	0:14:35	
	30 Marzo -	Average	0:14:28	0:26:06	0:15:05	0:16:09	0:17:57	
	03 Abril	Squared	0:17:22	0:18:52	0:18:30	0:20:04	0:18:42	
	12 Abril - 14	Average	0:09:44	0:14:29	0:17:19	0:09:45	0:12:49	
	Abril	Squared	0:12:18	0:18:07	0:16:44	0:18:14	0:16:21	
							Average	0:14:18
							Squared	0:16:30

Fuente: Autor.

Distancia entre secciones de 50 metros

Tabla 3. 14: Determinación del tiempo de duración (hh:mm:ss), de la calibración de los eventos con una distancia entre secciones de 50 metros.

50 metros	Rugosidad		0.05	0.08	0.085	0.095	Resultados
	01 Marzo -	Average	0:12:31	0:06:10	0:05:16	0:04:33	0:07:08
	04 Marzo	Squared	0:08:28	0:15:42	0:05:44	0:04:35	0:08:37
	09 Marzo -	Average	0:13:14	0:07:19	0:06:47	0:06:08	0:08:22
	12 Marzo	Squared	0:06:35	0:07:25	0:05:09	0:06:12	0:06:20
	17 Marzo -	Average	0:05:14	0:04:51	0:04:44	0:04:17	0:04:46
	19 Marzo	Squared	0:04:35	0:05:42	0:05:42	0:05:38	0:05:24
	23 Marzo -	Average	0:06:01	0:04:05	0:03:51	0:06:06	0:05:01
	25 Marzo	Squared	0:04:22	0:04:25	0:05:15	0:04:30	0:04:38
	28 Marzo -	Average	0:06:07	0:05:52	0:06:05	0:06:07	0:06:03
30 Marzo	Squared	0:03:15	0:04:52	0:03:23	0:03:46	0:03:49	
30 Marzo -	Average	0:05:58	0:06:49	0:06:30	0:06:09	0:06:22	
03 Abril	Squared	0:07:21	0:07:34	0:07:27	0:06:16	0:07:10	
12 Abril -	Average	0:04:23	0:04:52	0:08:49	0:05:21	0:05:51	
14 Abril	Squared	0:03:50	0:03:09	0:03:27	0:04:51	0:03:49	
						Average	0:06:13
						Squared	0:05:41

Fuente: Autor.

En la siguiente tabla se muestra un resumen del tiempo de la Calibración dado por su respectiva distancia entre secciones.

Tabla 3. 15: Resumen del tiempo de calibración dado por su respectiva distancia entre secciones.

Distancia entre secciones	Método de Error	Tiempo de Calibración
50 Metros	Average	0:06:13
	Squared	0:05:41
25 Metros	Average	0:14:18
	Squared	0:16:30
25 Metros	Average	0:21:32
	Squared	0:27:32

Fuente: Autor.

CONCLUSIONES

Se generaron varios escenarios de simulación con el modelo hidráulico del río Yanuncay utilizando el programa HEC-RAS y variando la rugosidad inicial entre los siguientes valores: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095, lo que permitió comparar los niveles simulados con los observados y además determinar el escenario que más se aproxima a la realidad.

En cada simulación realizada se varió el método de evaluación del error entre: error promedio y error medio cuadrático, observándose pequeñas variaciones en los resultados de los niveles simulados cuando se cambia esta opción del programa HEC- RAS.

También se realizó un análisis de sensibilidad aplicando los siguientes métodos: Método del error medio, Método del error medio cuadrático, Chi Cuadrado, Smirnov – Kolmogorov, Criterio de Schultz y el Criterio de Nash y Sutcliffe, que ayudaron a encontrar los valores del intervalo de cálculo y la distancia entre secciones logran una mejor calibración del modelo.

Como resultado se observó que la n de manning demuestra diferentes márgenes de error, conforme el evento analizado. Tomando como resultado que los siguientes valores de la n de manning: 0.08 y 0.0825 manifiestan una mayor aproximación a la realidad.

Al contrastar los resultados obtenidos a través de la calibración de los modelos hidráulicos en régimen impermanente, se observa un resultado favorable ante los modelos planteados con un intervalo de cálculo de 10 y 15 segundos.

Del mismo modo, la calibración de los eventos, atribuye un espaciamiento de 15 y 25 metros como resultado.

También, en este estudio se obtuvo el tiempo que se demora la calibración de un evento en régimen impermanente dependiendo de los parámetros que han sido ingresados, de los cuales se realizó un promedio, obteniendo como resultado:

- Parámetro de 5 segundos: un promedio del tiempo igual a 10 minutos con 47 segundos para la evaluación del error medio y 14 minutos con 39 segundos para la evaluación del error cuadrático.
- Parámetro de 10 segundos: un promedio del tiempo igual a 6 minutos con 13 segundos para la evaluación del error medio y 5 minutos con 41 segundos para la evaluación del error cuadrático.
- Parámetro de 15 segundos: un promedio del tiempo igual a 4 minutos con 38 segundos para la evaluación del error medio y 5 minutos con 15 segundos para la evaluación del error cuadrático.
- Parámetro de 15 metros en un intervalo de cálculo de 15 segundos: un promedio del tiempo igual a 21 minutos con 32 segundos para la evaluación del error medio y 27 minutos con 32 segundos para la evaluación del error cuadrático.
- Parámetro de 25 metros en un intervalo de cálculo de 15 segundos: un promedio del tiempo igual a 14 minutos con 18 segundos para la evaluación del error medio y 16 minutos con 30 segundos para la evaluación del error cuadrático.
- Parámetro de 50 metros en un intervalo de cálculo de 15 segundos: un promedio del tiempo igual a 6 minutos con 13 segundos para la evaluación del error medio y 5 minutos con 41 segundos para la evaluación del error cuadrático.

RECOMENDACIONES

Este trabajo se tomó como caso de estudio el río Yanuncay Cuenca- Ecuador por lo que se podrán usar sus resultados para ríos semejantes, en caso que se quiera realizar un estudio de un río con distintas características se recomienda hacer un nuevo análisis de sensibilidad de sus parámetros ya que estos varían según el evento planteado.

Se podría ampliar el estudio corriendo el modelo hidráulico con una mayor cantidad de eventos extremos de caudal.

Se recomienda no realizar la calibración con un espaciamiento de secciones pequeño con un intervalo de cálculo corto por lo que el programa se demorará en procesarlo y comenzará a entregar errores como resultado.

Para obtener un menor tiempo de calibración se recomienda que la máquina en la que se esté trabajando tenga solo procesando el software HEC-RAS donde se realizará la calibración.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, V. (2007). *Metrología Calibración y Verificación Metrológica Generalidades*. Recuperado de: https://www.academia.edu/26336957/METROLOG%C3%8DA_CALIBRACI%C3%93N_Y_VERIFICACI%C3%93N_METROL%C3%93GICA_Generalidades
- Ahmed, K. (2018). *Aplicaciones del modelo HEC-RAS para el análisis del flujo no permanente con superficie libre*. Recuperado de: CD-1758(2008-11-05-10-47-46).pdf
- Alcides, J. (2010). “Una estrategia de gestión para la alerta temprana ante peligro de inundaciones debido a intensas lluvias ” Obtenido de <http://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/viewFile/48/39>
- Aparicio, F.J., 1992. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa S. A., México D. F., México.
- Bregado, Davydenko y Rieumont-Briones. (2014). *El análisis de sensibilidad de las constantes cinéticas de un mecanismo como una herramienta para elucidar la enomenología química de una reacción. La Habana, Cuba*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v26n1/ind08114.pdf>
- Blasco, X. (Septiembre de 2010). *Monitorización y Control de Procesos. Una Visión Teórico-Práctica Aplicada a Invernaderos*. Obtenido de Monitorización y Control de Procesos. Una Visión Teórico-Práctica Aplicada a Invernaderos: https://www.researchgate.net/publication/28141903_Monitorizacion_y_Control_de_Procesos_Una_Vision_Teorico-Practica_Aplicada_a_Invernaderos
- Brunner, G. W. (2016). HEC-RAS River Analysis System. User's Manual. Estados Unidos: US Army Corps or Engineers.
- Caballeros, J. (2011). “Modelación hidráulica y morfodinamica de cauces sinuosos aplicación a la quebrada la marinilla (ant)” Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n30/n30a10.pdf>.
- Cabrera, J. (2017). *Calibración de Modelos Hidrológicos*. Obtenido de http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf
- Chow, V. T. (2004). *Hidráulica de canales abiertos*. Colombia: McGRAW-HILL.
- Díaz, J. (2016). *HIDRAULICA APLICADA HEC RAS*. Obtenido de <https://jeffreydiaz.files.wordpress.com/2008/08/1-hidraulica-aplicada-hec-ras-flujo-uniforme.pdf>
- Fernández de Córdova, C., & Rodríguez, Y. (2016). Primeros resultados de la red actual de monitoreo hidrometeorológico de Cuenca, Ecuador. Ing. Hidráulica Ambient. Cent. Investig. Hidráulicas Univ. Tecnológica Habana José Antonio Echeverría Cujae 37, 44–56.

- Fernández de Córdova, C., León, A., & Rodríguez, Y. (2016). Comparación de alternativas para el cálculo de la “n” de Manning en cauces naturales: caso de estudio estación de Barabón de la cuenca del río Yanuncay en Ecuador. Presentado en la 18 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae).
- Fernández de Córdova, C., León, A., Rodríguez, Y., & Placencio, J. (2018a). Factores que influyen en las inundaciones: n de Manning por el método de flotadores. Presentado en la 19 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae). La Habana.
- Fernández de Córdova, C., León, A., Rodríguez, Y., & Martínez, P. M. (2018b). Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales. Ing. Hidráulica Ambient. Cent. Investig. Hidráulicas Univ. Tecnológica Habana José Antonio Echeverría Cujae 39, 17–31.
- Fernández de Córdova, C., León, A., & Rodríguez, Y. (2018c). Estimación del coeficiente de rugosidad por fórmulas empíricas en cauces naturales. Presentado en el XXXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental “En vía al desarrollo sostenible”. Guayaquil..
- Fernandez de Córdova, C. (2019) Propuesta de un sistema de alerta temprana ante inundaciones por lluvias intensas. Caso de estudio: Río Yanuncay en Cuenca Ecuador. La Habana, Cuba: Autor.
- Galán, E. R. (2016). *Estado del arte de la calibración de modelos hidráulicos. Modelado de fugas con Epanet*. Obtenido de <https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/47948/Estado%20de%20arte%20de%20la%20calibraci%C3%B3n%20de%20modelos%20hidr%C3%A1ulicos.%20Modelado%20de%20fugas%20con%20Epanet.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Helmut, S. (2000). “*Análisis de Sensibilidad: Para Qué Sirve*”. Recuperado de: <https://www.lifeder.com/analisis-sensibilidad/>
- Hernandez, M. (2012). *Modelamiento mediante HEC-RAS del funcionamiento hidráulico del sistema fluvial del estero Vuelta de Zorra (Chaihuín), caracterizado por la presencia de material leñoso (o large wood)*. Obtenido de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/bmfcih557m/doc/bmfcih557m.pdf>
- Herrera P, A. A. (2004). Modelación Hidráulica. Obtenido de http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_123_183_81_1150.pdf
- Jurgen, C. (2014). *El análisis de sensibilidad de las constantes cinéticas de un mecanismo como una herramienta para elucidar la fenomenología química de una reacción*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v26n1/ind08114.pdf>

- Lansley K.E. y Basnet C. (1991) "Parameter estimation for water distribution networks." *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 117, No. 1, Enero/Febrero 1991.ledó, P. (2003). *Análisis de Sensibilidad*. Obtenido de <http://pablolledo.com/content/articulos/03-03-06-Sensibilidad-Lledo.PDF>
- Larado, R. (2012) *Computer Modeling of Water Distribution Systems*. Manual of Water Supply Practices M32. American Water Works Association. Tercera edición.ledó, P. (2003). *Análisis de Sensibilidad*. Obtenido de <http://pablolledo.com/content/articulos/03-03-06-Sensibilidad-Lledo.PDF>
- Lledó, P. (2003). *Análisis de Sensibilidad*. Obtenido de <http://pablolledo.com/content/articulos/03-03-06-Sensibilidad-Lledo.PDF>
- Lopez, L. (2017). *Procedimiento para la simulación hidráulica a partir de los software ArcGIS y HEC-RAS para eventos extremos máximos*. Obtenido de <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/8658/Tesis%20Lianet%20L%20C3%B3pez%20Rodr%C3%ADguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Molnar, P. (2011). *Calibration*. Zürich: Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management.
- Méndez, M. (2013). *Calibración y validación del modelo hidrológico SWMM en cuencas hidrográficas de alta pendiente en Costa Rica*. *Revista Tecnología En Marcha*, pág. 20-31. <https://doi.org/10.18845/tm.v26i2.1400>
- Molina, S. (2014). *Metodología para la calibración preliminar de modelos de redes de distribución de agua mediante la utilización conjunta de demandas y consumos dependiente de la presión*. Recuperado de: [Molina_Stephenson_TFM_Metodología_Calibración.pdf](#)
- Marco Castro D., P. D.-I. (2015). *Modelación hidráulica en obras de saneamiento básico*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/ecuador10/leo.pdf>
- Modelos Hidráulicos*. (19 de Marzo de 2013). Obtenido de http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_123_183_81_1150.pdf
- Múnera C. (2013). Análisis comparativo de los modelos HEC-RAS, CCHE2D, G-STARS y BRISTARS, para la modelación hidráulico-morfológica en un cauce aluvial. Aplicación al río negro (Antoquia). Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/11684/1/1017124450.2014.pdf>
- Oñate, E. (2014). "Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería" Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213131512000454>
- PROAPAC. (Diciembre de 2012). *Modelación Hidráulica*. Obtenido de Cooperación Bolivia-Alemania: http://www.bivica.org/upload/ag_modelacion.pdf

- Pérez, G., García, G., Nocedo de León, I., & García, L. (1996). Metodología de la investigación educativa. Obtenido de Metodología de la investigación educativa.
- Rocha F, A. (2012). Hidráulica de tuberías y canales.
- Robert E. Shannon. (1988). *Simulación de Sistemas*. México: Trillas.
- Thomas H. Taylor. (1979). *Simulation Models in Corporate Planning* New York: Praeger.
- UPM, U. P. (2016). *MECÁNICA DE FLUIDOS*. Obtenido de <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/fisica/contenido/material-de-clase/Tema-7/fluidos.pdf>
- Velásquez, C. & Toro, M (2006). “*Calibración y validación de un modelo en computador para simular el golpe de Ariete en redes cerradas*”. Medellín, Colombia. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4728/1/No.13-2006-2.pdf>
- Velez, J. (2013). “Estrategia de simulación hidrológica distribuida: Integración conceptual de hidrología, Hidráulica y Geomorfología” Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v37n144/v37n144a09.pdf>
- Zimmermann , E. P. (2000). *MODELO HIDROLÓGICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO DESARROLLADO PARA LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE LLANURA*. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/curiham/Publicaciones/IGME032.pdf>

ANEXOS

Anexo 1: Resultados de los eventos sometidos a los 5 métodos propuestos, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095, cambiando el intervalo de tiempo entre: 5, 10 y 15 segundos, incluye las figuras de los niveles de agua del río de cada uno de éstos ejecutados por el método de error promedio y error cuadrático respectivamente.

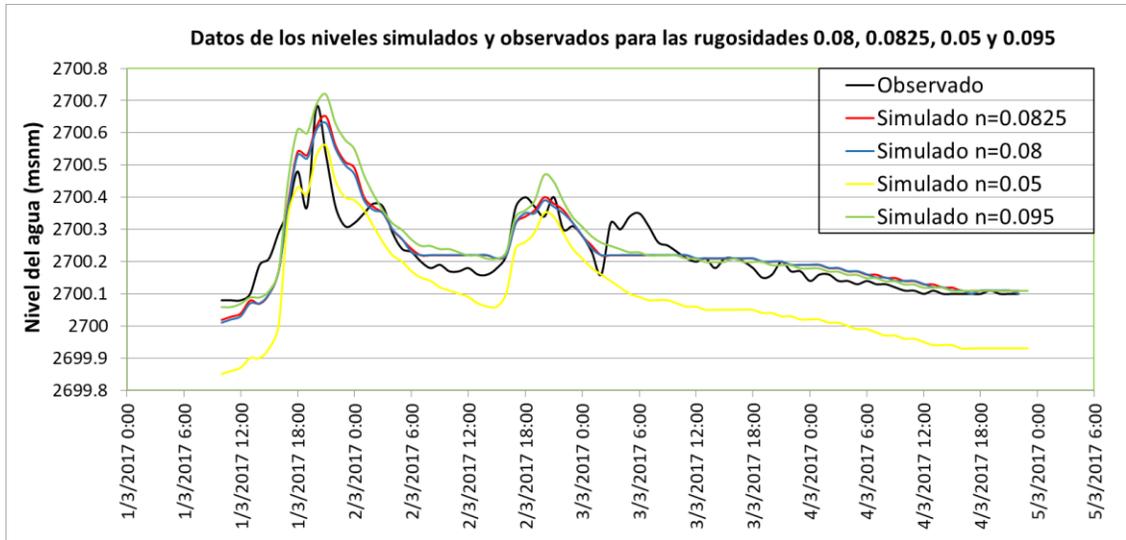
Evento del 1 – 4 marzo 2017 (5 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balance de Masas (m)
0.05	Average	0.13	0.15	0.00068	0.29	0.0048
	Squared	0.13	0.15	0.00068	0.29	0.0048
0.08	Average	0.04	0.06	0.00011	0.19	0.0015
	Squared	0.05	0.06	0.00012	0.19	0.0017
0.0825	Average	0.04	0.06	0.00012	0.2	0.0016
	Squared	0.05	0.06	0.00012	0.2	0.0036
0.095	Average	0.05	0.08	0.00018	0.27	0.0018
	Squared	0.06	0.08	0.00020	0.27	0.0018

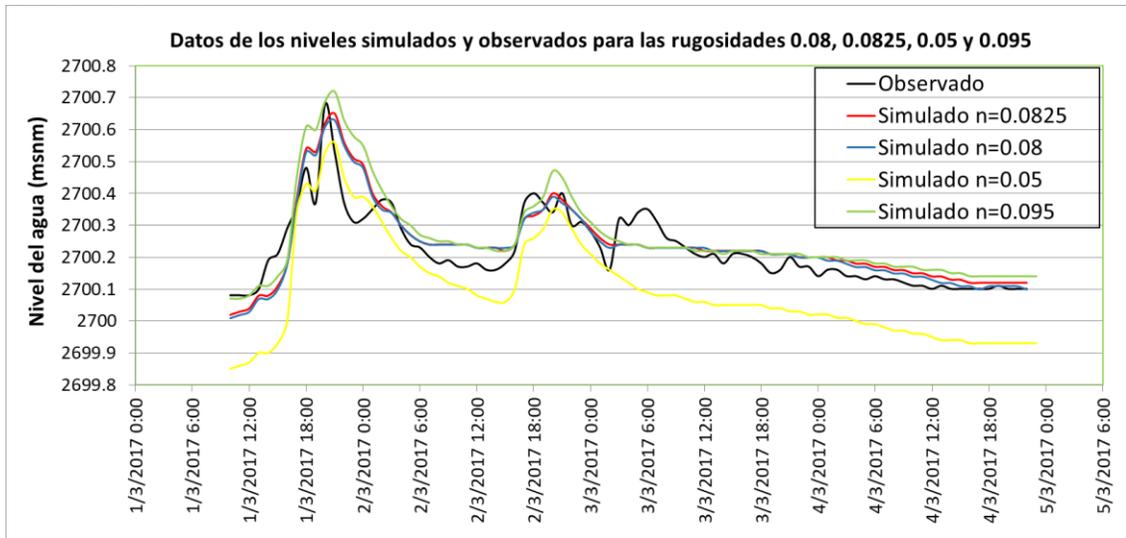
Fuente: Autor.

Las siguientes gráficas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 01 – 04 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 01 – 04 marzo 2017.

Fuente: Autor.

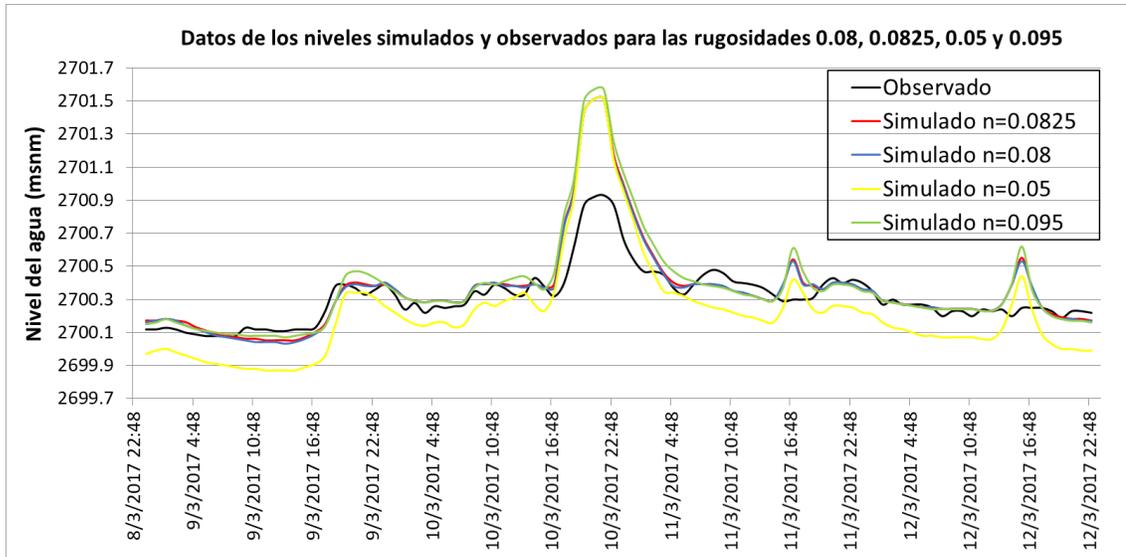
Evento del 9 – 12 marzo 2017 (5 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balance de Masas (m)
0.05	Average	0.18	0.20	0.00132	0.59	0.0058
	Squared	0.18	0.20	0.00132	0.59	0.0058
0.08	Average	0.08	0.14	0.00070	0.59	0.0028
	Squared	0.08	0.14	0.00070	0.59	0.0028
0.0825	Average	0.08	0.14	0.00072	0.59	0.0028
	Squared	0.08	0.14	0.00072	0.59	0.0029
0.095	Average	0.10	0.18	0.00098	0.65	0.0033
	Squared	0.10	0.18	0.00098	0.65	0.0034

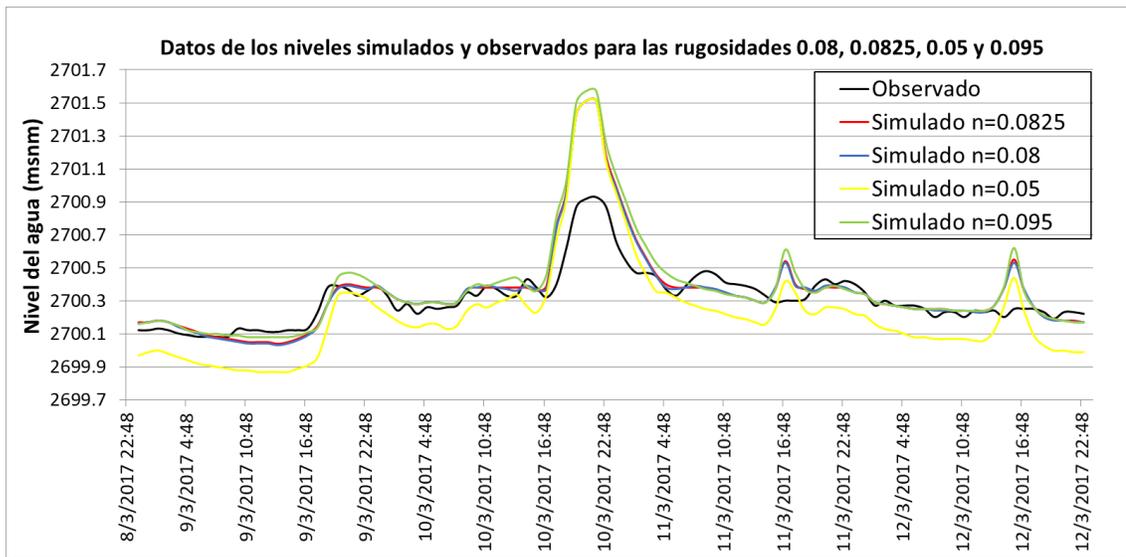
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n=0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 09 – 12 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n=0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 09 – 12 marzo 2017.

Fuente: Autor.

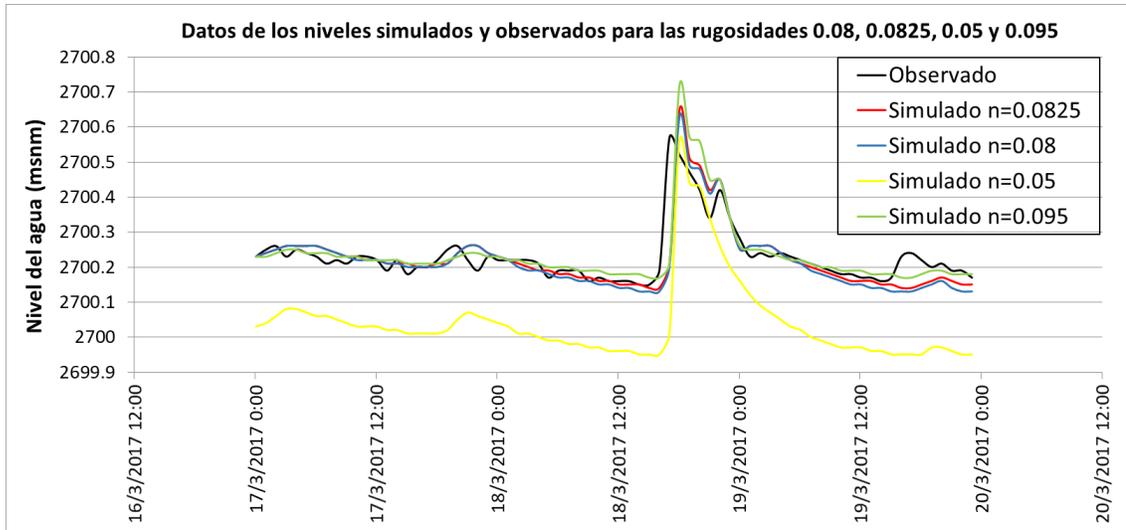
Evento del 17 – 19 marzo 2017 (5 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.19	0.20	0.00110	0.56	0.0071
	Squared	0.19	0.20	0.00110	0.56	0.0071
0.08	Average	0.03	0.06	0.00009	0.37	0.0012
	Squared	0.03	0.06	0.00009	0.37	0.0012
0.0825	Average	0.03	0.05	0.00008	0.36	0.0011
	Squared	0.03	0.06	0.00009	0.35	0.0012
0.095	Average	0.03	0.06	0.00009	0.36	0.0010
	Squared	0.04	0.06	0.00010	0.33	0.0015

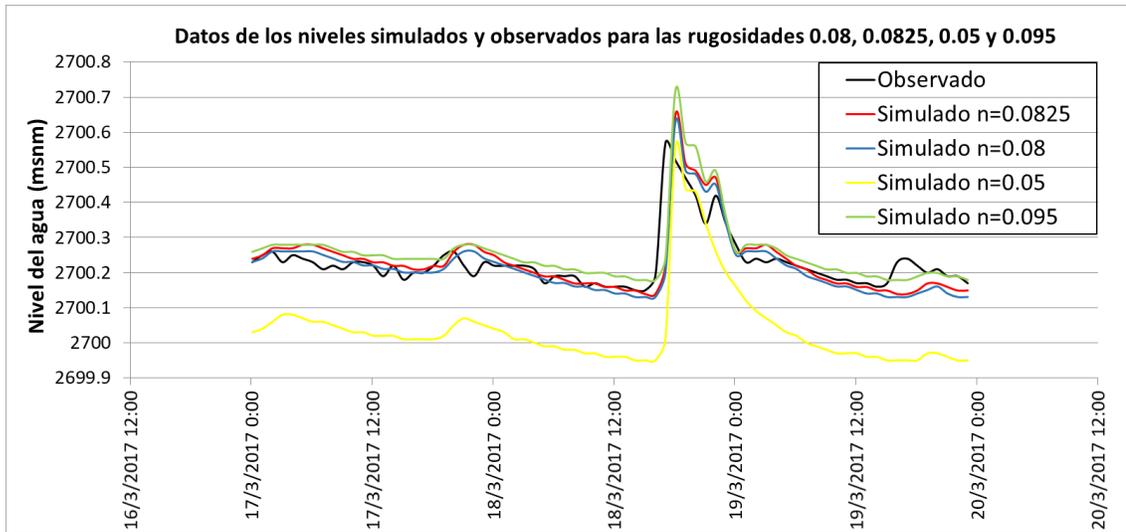
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n= 0.05,0.08,0.0825,0.095$ en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 17 – 19 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n= 0.05,0.08,0.0825,0.095$ en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 17 – 19 marzo 2017.

Fuente: Autor.

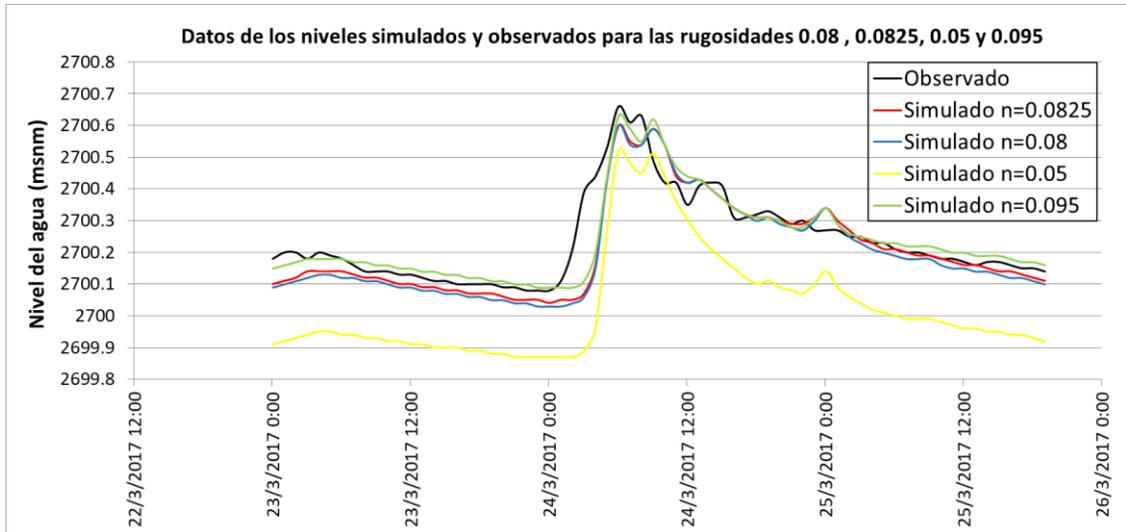
Evento del 23 – 25 marzo 2017 (5 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.21	0.22	0.00125	0.5	0.0078
	Squared	0.21	0.22	0.00125	0.5	0.0078
0.08	Average	0.05	0.07	0.00014	0.33	0.0019
	Squared	0.05	0.07	0.00014	0.33	0.0019
0.0825	Average	0.04	0.07	0.00012	0.32	0.0016
	Squared	0.04	0.07	0.00012	0.32	0.0016
0.095	Average	0.04	0.06	0.00009	0.28	0.0013
	Squared	0.04	0.06	0.00009	0.26	0.0016

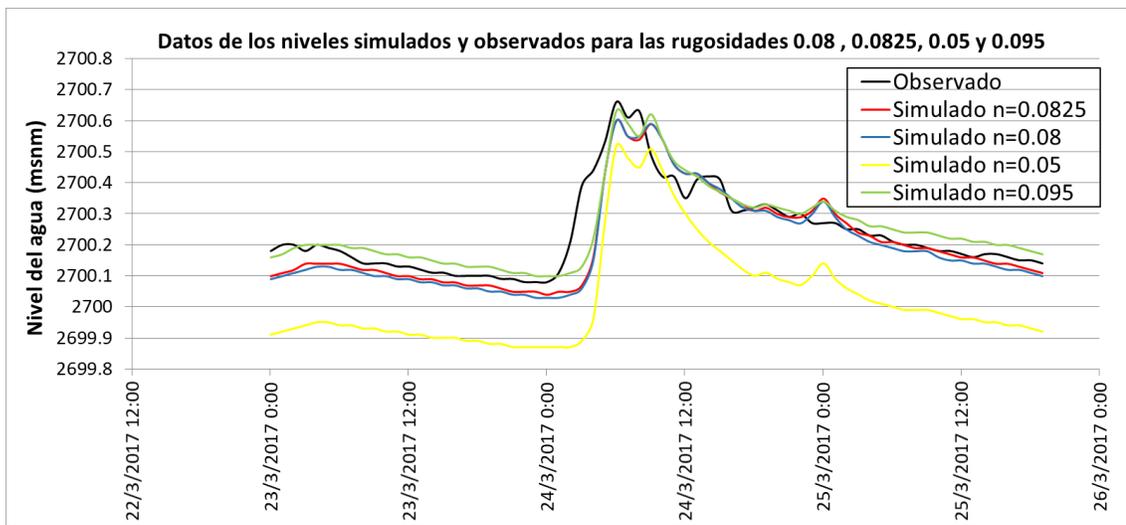
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n=0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 23 – 25 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n=0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 23 – 25 marzo 2017.

Fuente: Autor.

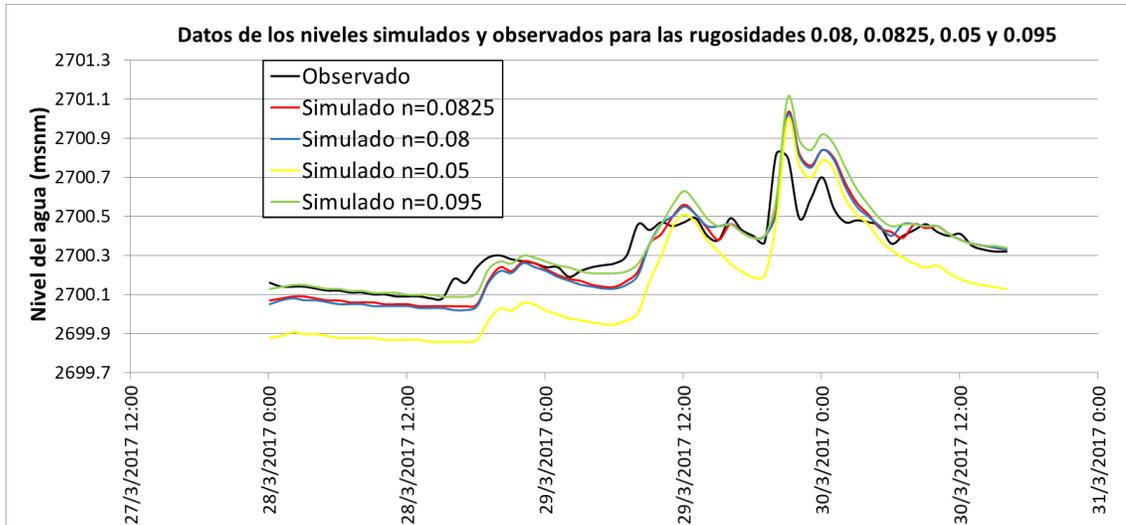
Evento del 28 – 30 marzo 2017 (5 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.20	0.22	0.00120	0.45	0.0075
	Squared	0.20	0.22	0.00119	0.45	0.0075
0.08	Average	0.08	0.11	0.00027	0.32	0.0029
	Squared	0.08	0.11	0.00027	0.31	0.0029
0.0825	Average	0.07	0.10	0.00026	0.33	0.0027
	Squared	0.08	0.10	0.00026	0.33	0.0028
0.095	Average	0.07	0.11	0.00030	0.4	0.0025
	Squared	0.07	0.11	0.00030	0.4	0.0025

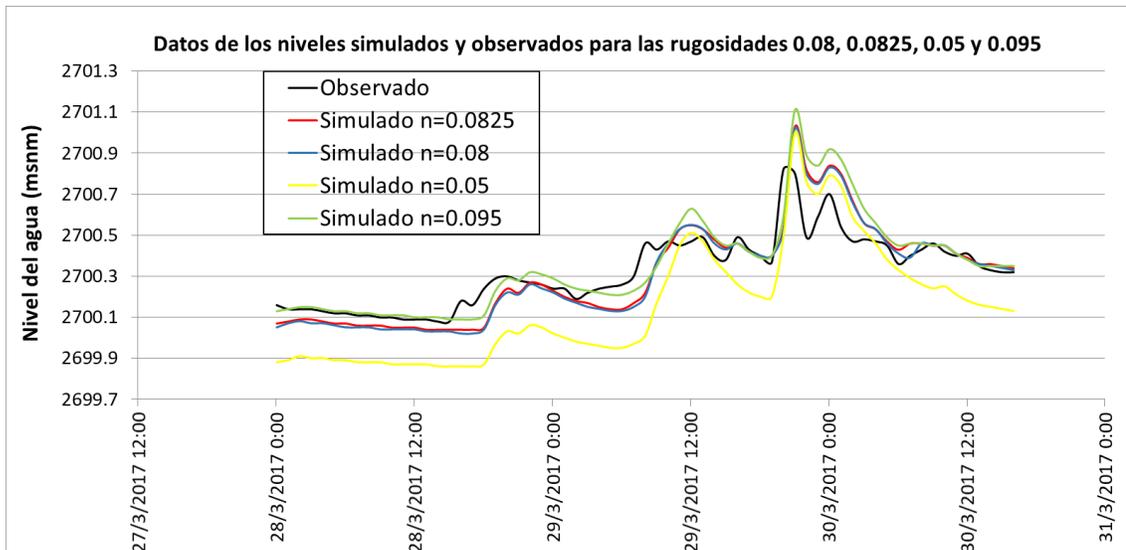
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 28 – 30 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 28 – 30 marzo 2017.

Fuente: Autor.

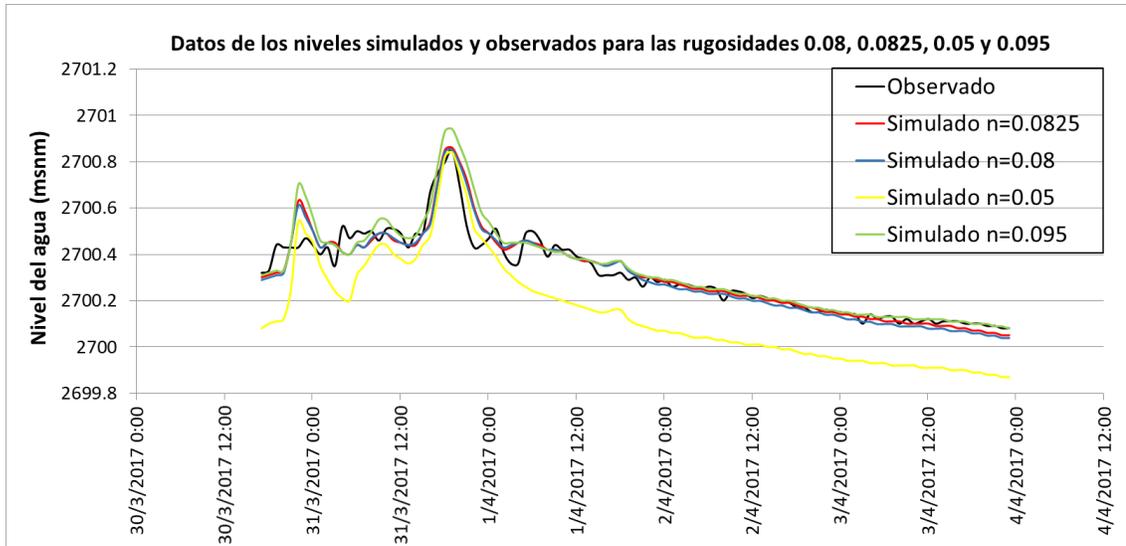
Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (5 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.17	0.19	0.0013	0.33	0.0064
	Squared	0.17	0.19	0.0013	0.33	0.0064
0.08	Average	0.04	0.05	0.0001	0.18	0.0014
	Squared	0.04	0.05	0.0001	0.18	0.0014
0.0825	Average	0.03	0.05	0.0001	0.20	0.0013
	Squared	0.04	0.05	0.0001	0.20	0.0013
0.095	Average	0.04	0.07	0.0002	0.27	0.0014
	Squared	0.04	0.07	0.0002	0.27	0.0014

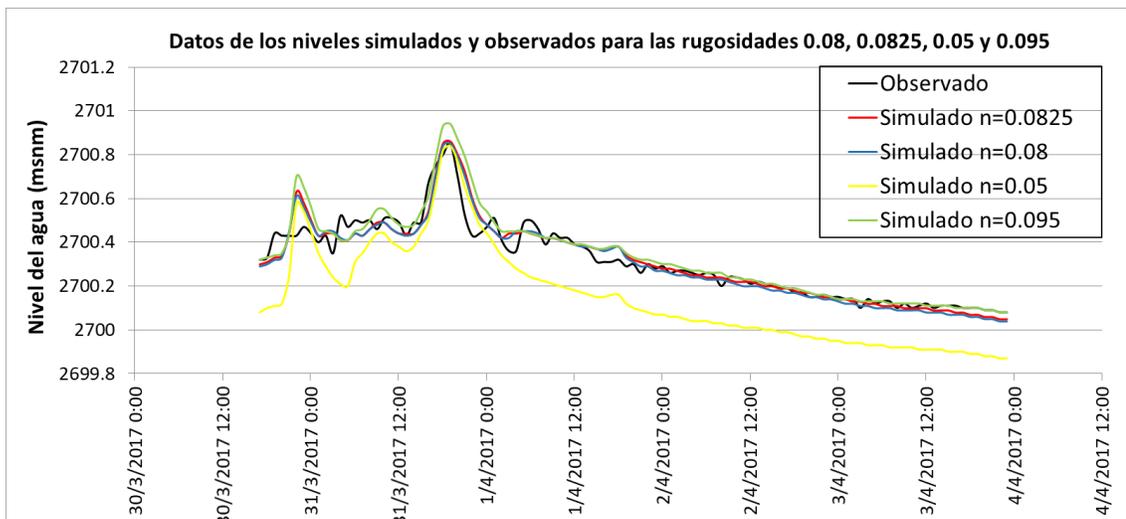
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n=0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n=0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

Fuente: Autor.

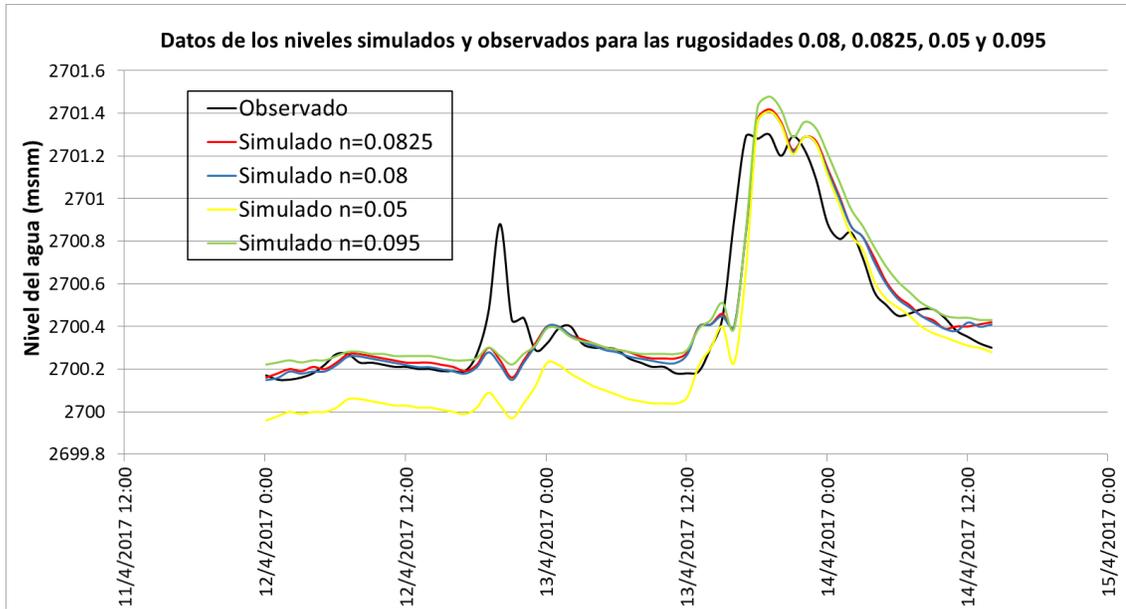
Evento del 12 – 14 abril 2017 (5 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.18	0.23	0.00126	0.85	0.0065
	Squared	0.18	0.23	0.00126	0.85	0.0066
0.08	Average	0.09	0.15	0.00052	0.66	0.0032
	Squared	0.09	0.15	0.00053	0.66	0.0034
0.0825	Average	0.09	0.15	0.00052	0.64	0.0033
	Squared	0.10	0.15	0.00054	0.64	0.0036
0.095	Average	0.11	0.16	0.00061	0.62	0.0040
	Squared	0.13	0.16	0.00063	0.57	0.0047

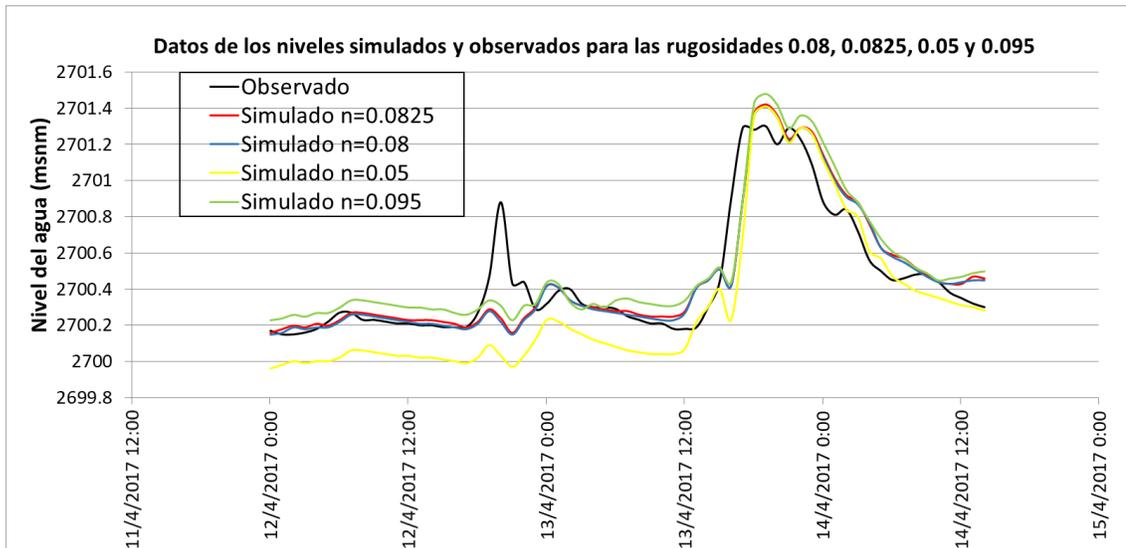
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n=0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 12 - 14 abril 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n=0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 5 segundos, evento 12 - 14 abril 2017.

Fuente: Autor.

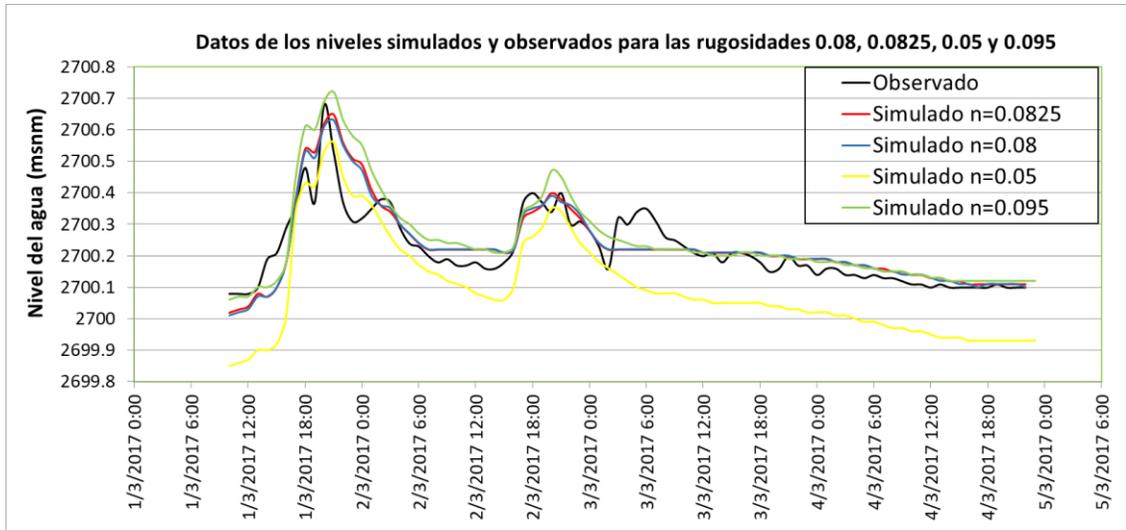
Evento del 1 – 4 marzo 2017 (10 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.13	0.15	0.00068	0.29	0.0048
	Squared	0.13	0.15	0.00068	0.29	0.0048
0.08	Average	0.04	0.06	0.00011	0.19	0.0015
	Squared	0.05	0.06	0.00011	0.19	0.0017
0.0825	Average	0.04	0.06	0.00012	0.2	0.0016
	Squared	0.05	0.06	0.00012	0.2	0.0036
0.095	Average	0.05	0.08	0.00018	0.27	0.0019
	Squared	0.06	0.08	0.00020	0.27	0.0021

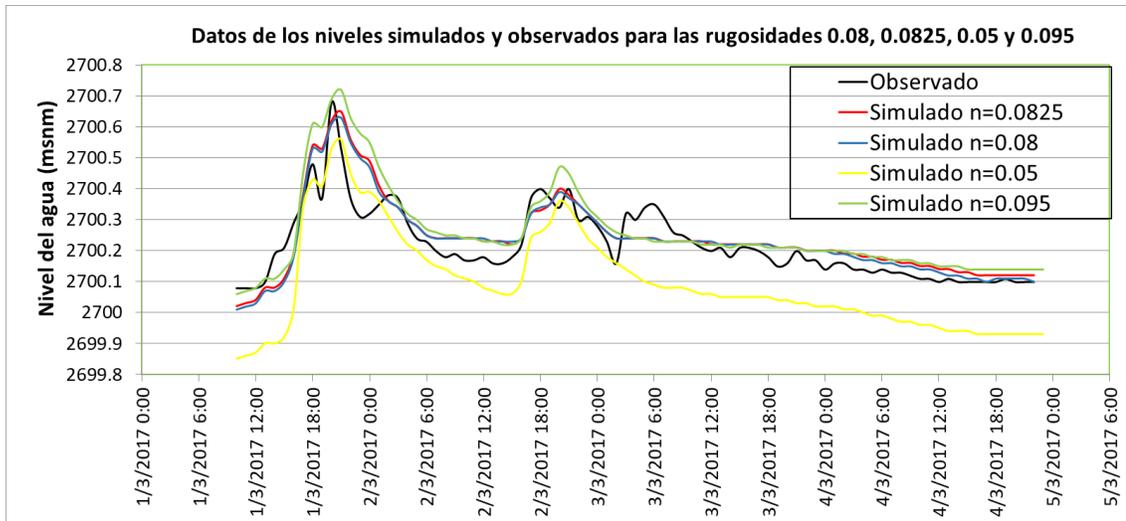
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 01 - 04 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 01 - 04 marzo 2017.

Fuente: Autor.

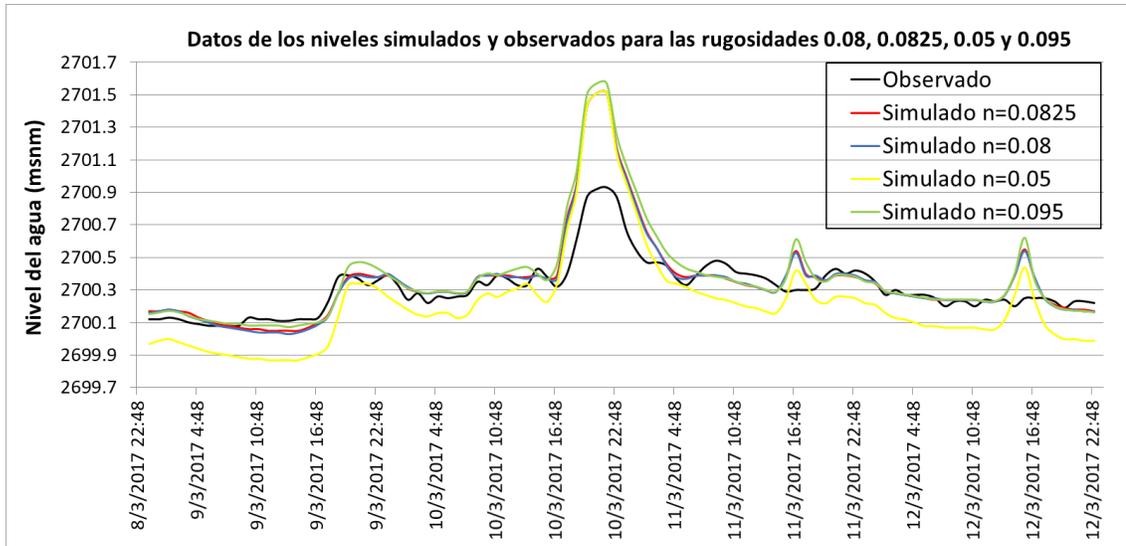
Evento del 9 – 12 marzo 2017 (10 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.18	0.20	0.00132	0.59	0.0058
	Squared	0.18	0.20	0.00132	0.59	0.0058
0.08	Average	0.08	0.14	0.00070	0.59	0.0028
	Squared	0.08	0.14	0.00070	0.59	0.0028
0.0825	Average	0.08	0.14	0.00071	0.59	0.0028
	Squared	0.08	0.14	0.00072	0.59	0.0028
0.095	Average	0.10	0.18	0.00098	0.65	0.0033
	Squared	0.10	0.18	0.00098	0.65	0.0034

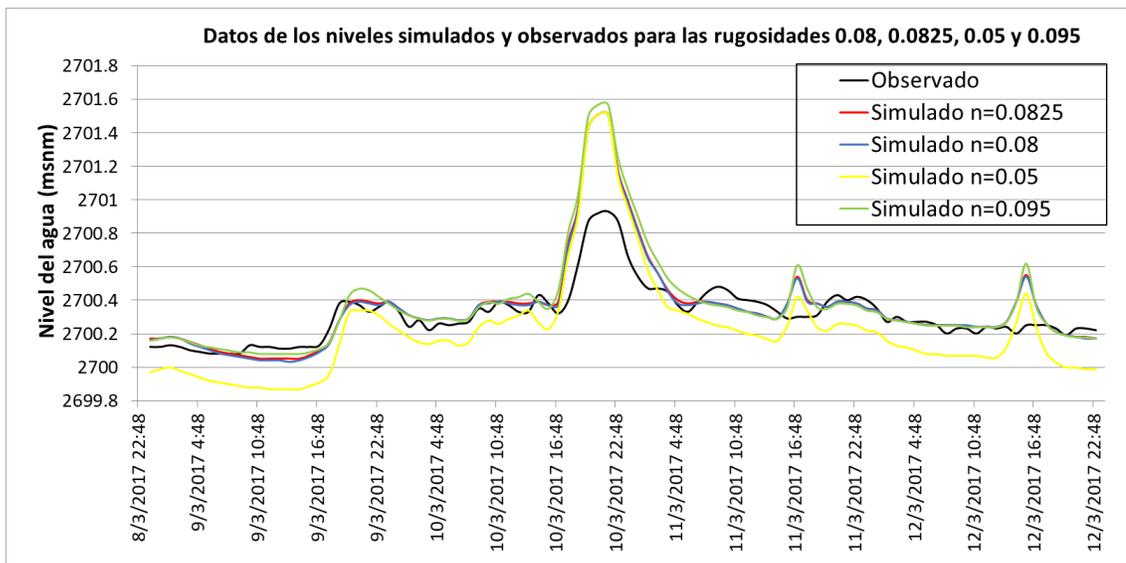
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 09 - 12 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 09 - 12 marzo 2017.

Fuente: Autor.

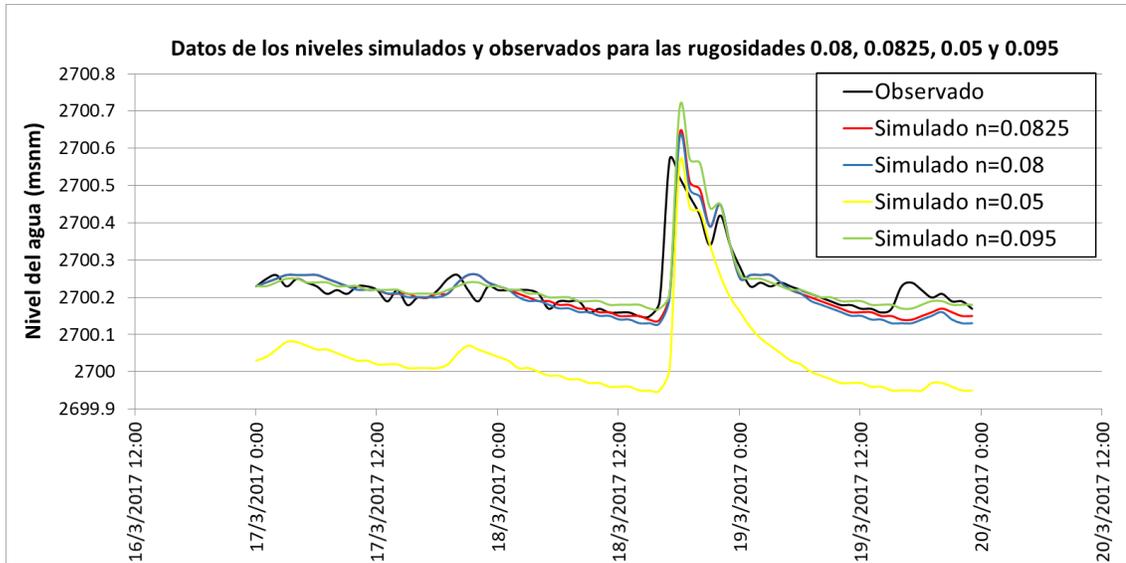
Evento del 17 – 19 marzo 2017 (10 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.19	0.20	0.00110	0.56	0.0071
	Squared	0.19	0.20	0.00110	0.56	0.0071
0.08	Average	0.03	0.06	0.00009	0.37	0.0012
	Squared	0.03	0.06	0.00009	0.37	0.0012
0.0825	Average	0.03	0.05	0.00008	0.36	0.0010
	Squared	0.03	0.06	0.00008	0.35	0.0011
0.095	Average	0.03	0.06	0.00009	0.36	0.0010
	Squared	0.04	0.06	0.00010	0.33	0.0015

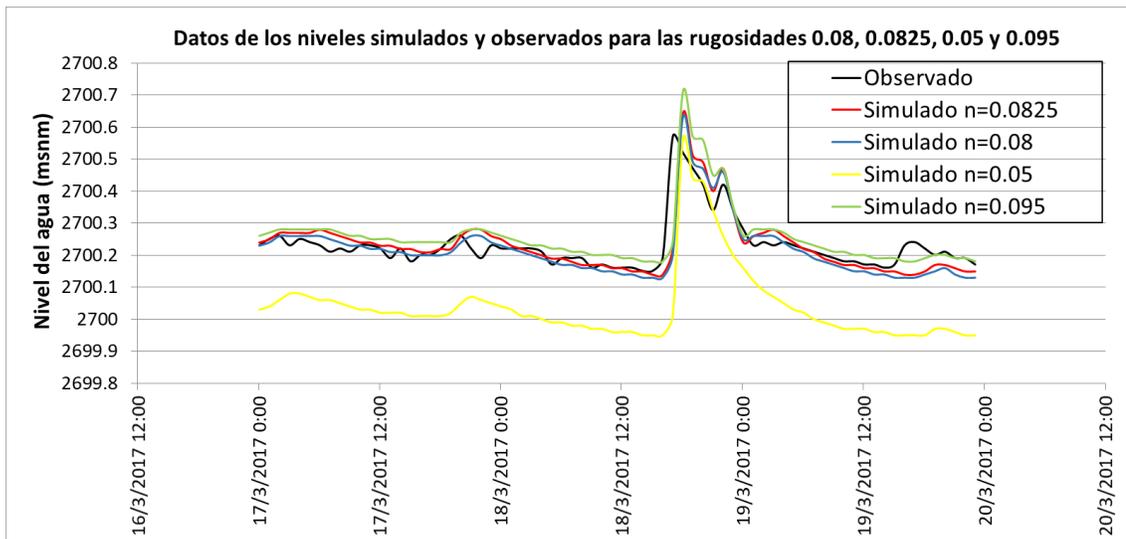
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 17 - 19 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 17 - 19 marzo 2017.

Fuente: Autor.

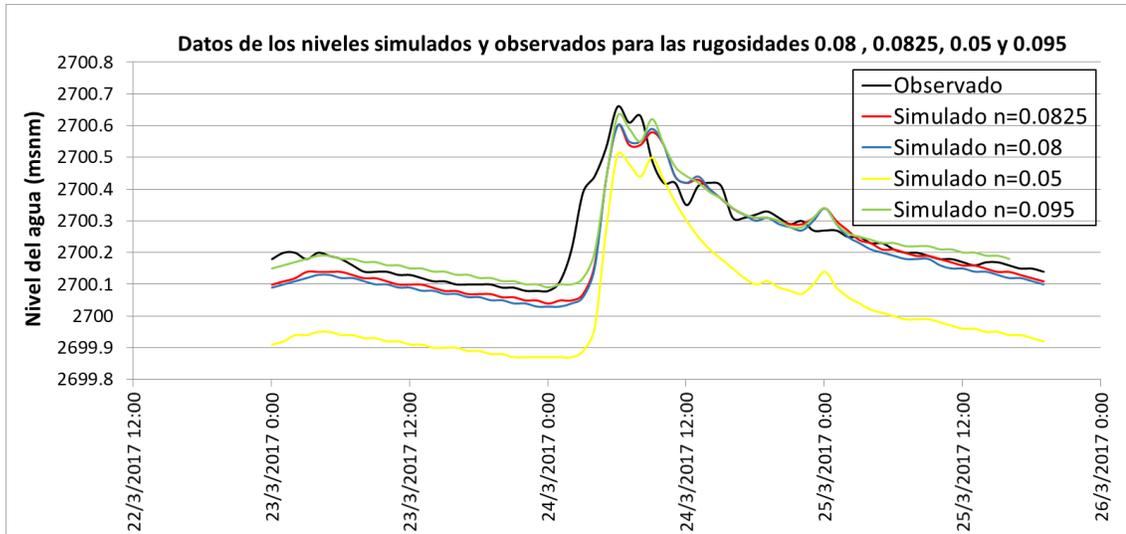
Evento del 23 – 25 marzo 2017 (10 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.21	0.22	0.00125	0.5	0.0078
	Squared	0.21	0.22	0.00125	0.5	0.0078
0.08	Average	0.05	0.07	0.00014	0.33	0.0019
	Squared	0.05	0.08	0.00014	0.33	0.0019
0.0825	Average	0.04	0.07	0.00012	0.32	0.0016
	Squared	0.04	0.07	0.00012	0.32	0.0016
0.095	Average	0.04	0.06	0.00009	0.27	0.0014
	Squared	0.04	0.06	0.00009	0.26	0.0017

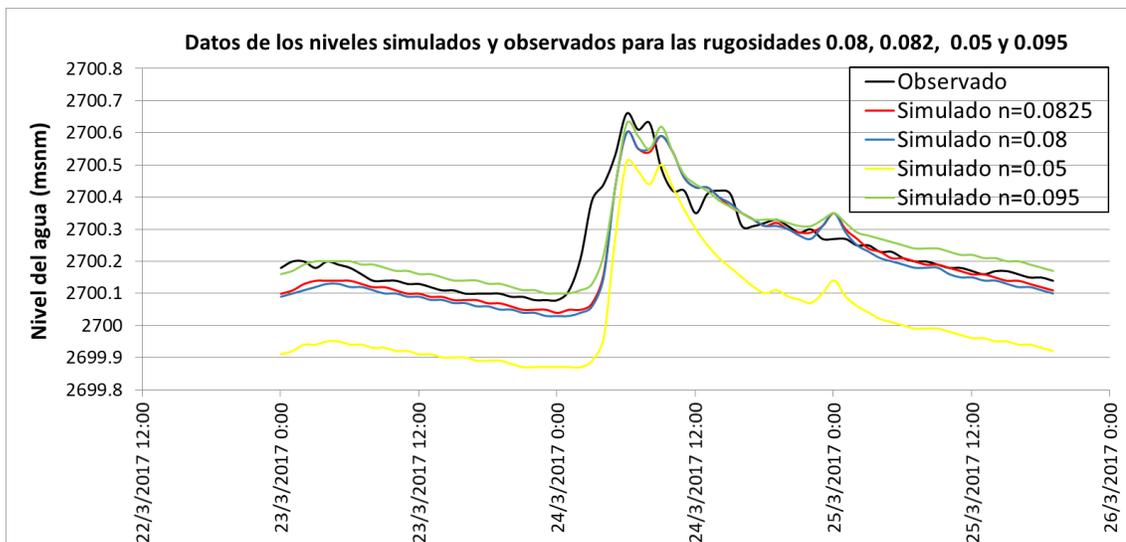
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 23 – 25 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 23 - 25 marzo 2017.

Fuente: Autor.

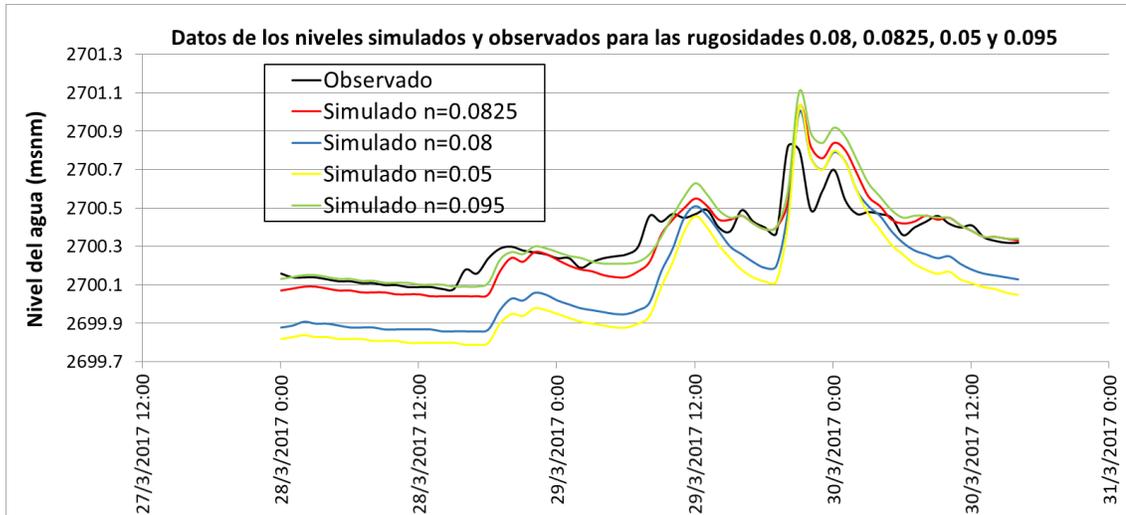
Evento del 28 – 30 marzo 2017 (10 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.27	0.28	0.00195	0.52	0.0099
	Squared	0.20	0.22	0.00120	0.45	0.0076
0.08	Average	0.08	0.11	0.00027	0.31	0.0029
	Squared	0.08	0.11	0.00027	0.31	0.0029
0.0825	Average	0.07	0.10	0.00026	0.33	0.0027
	Squared	0.07	0.10	0.00026	0.33	0.0027
0.095	Average	0.07	0.11	0.00030	0.4	0.0025
	Squared	0.07	0.11	0.00030	0.4	0.0025

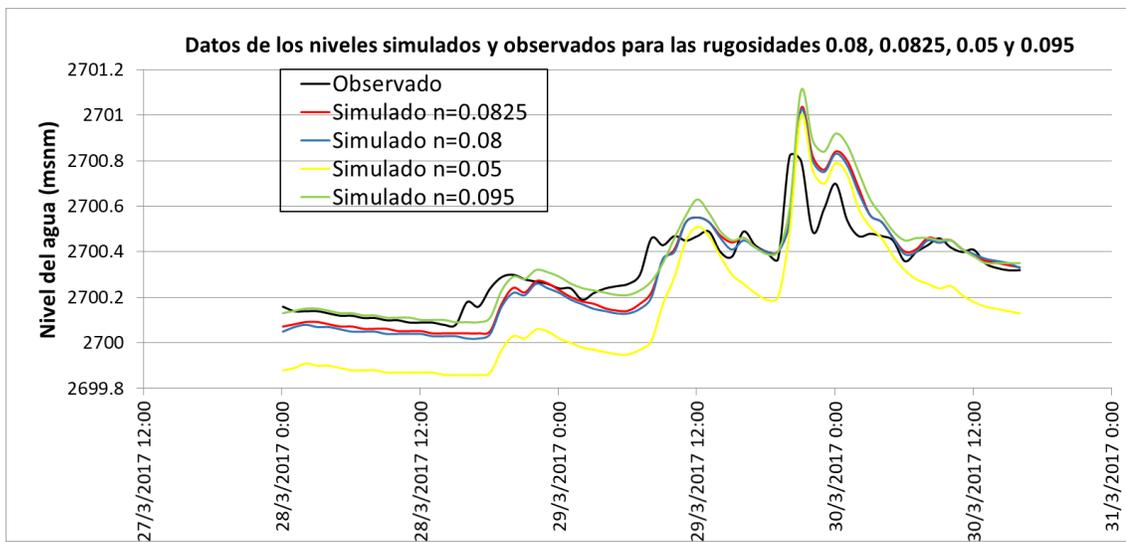
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 28 – 30 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 28 – 30 marzo 2017.

Fuente: Autor.

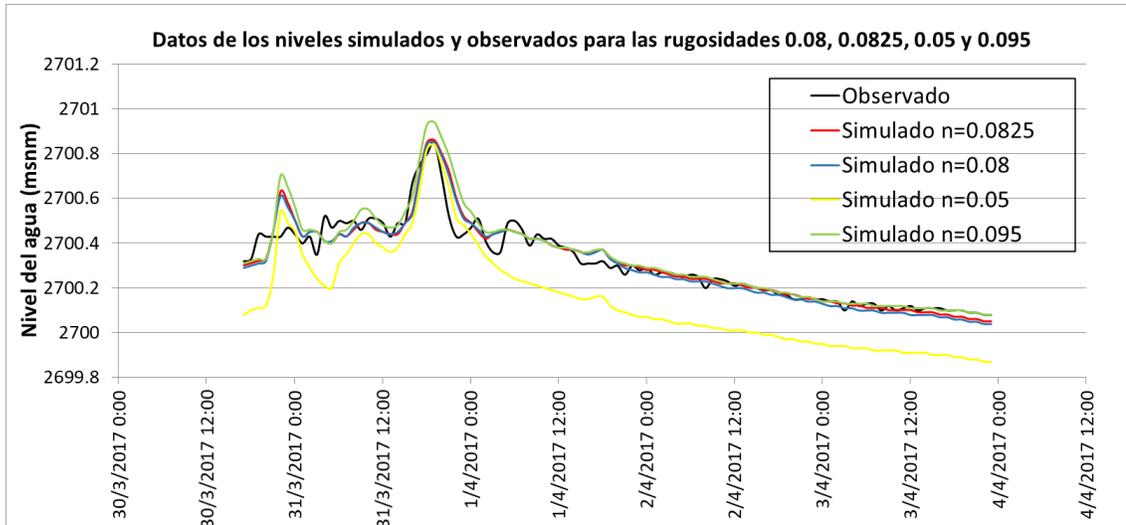
Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (10 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.17	0.19	0.00131	0.33000	0.00639
	Squared	0.17	0.19	0.00132	0.33000	0.00644
0.08	Average	0.04	0.05	0.00010	0.18000	0.00139
	Squared	0.04	0.05	0.00010	0.18000	0.00141
0.0825	Average	0.03	0.05	0.00011	0.20000	0.00129
	Squared	0.04	0.05	0.00011	0.20000	0.00131
0.095	Average	0.04	0.07	0.00017	0.27000	0.00140
	Squared	0.04	0.07	0.00017	0.27000	0.00142

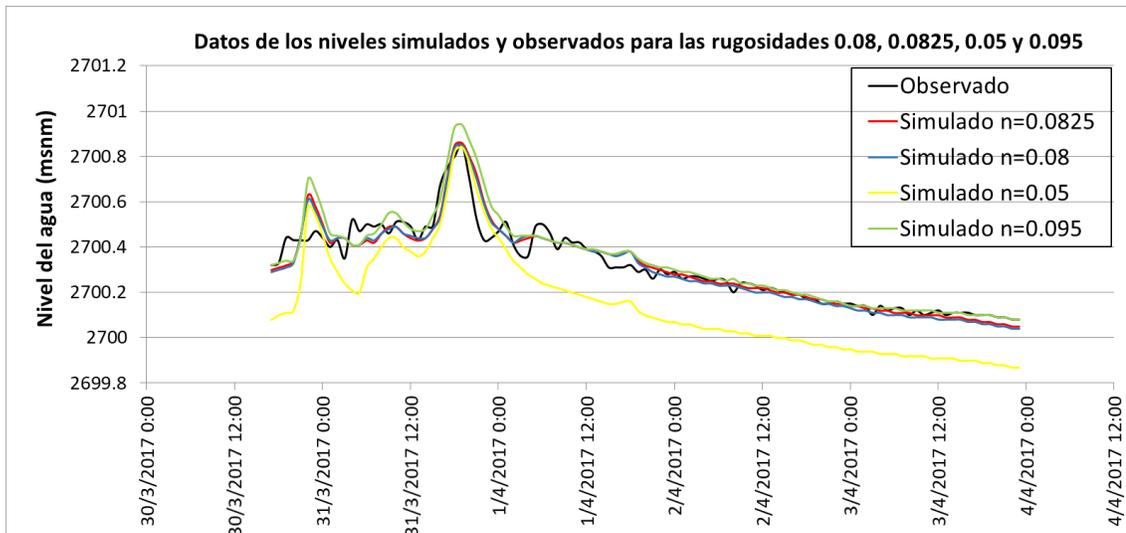
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

Fuente: Autor.

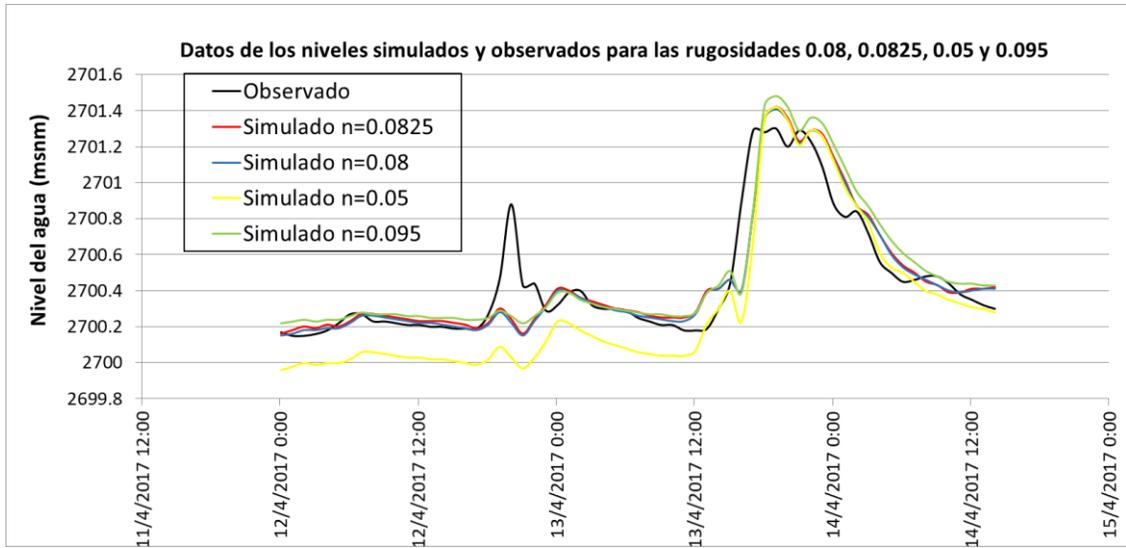
Evento del 12 – 14 abril 2017 (10 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balance de Masas (m)
0.05	Average	0.18	0.23	0.00126	0.85	0.0065
	Squared	0.18	0.23	0.00126	0.85	0.0066
0.08	Average	0.08	0.15	0.00051	0.66	0.0031
	Squared	0.09	0.15	0.00054	0.66	0.0035
0.0825	Average	0.09	0.15	0.00051	0.64	0.0033
	Squared	0.10	0.15	0.00054	0.64	0.0037
0.095	Average	0.11	0.16	0.00061	0.62	0.0040
	Squared	0.13	0.16	0.00063	0.57	0.0047

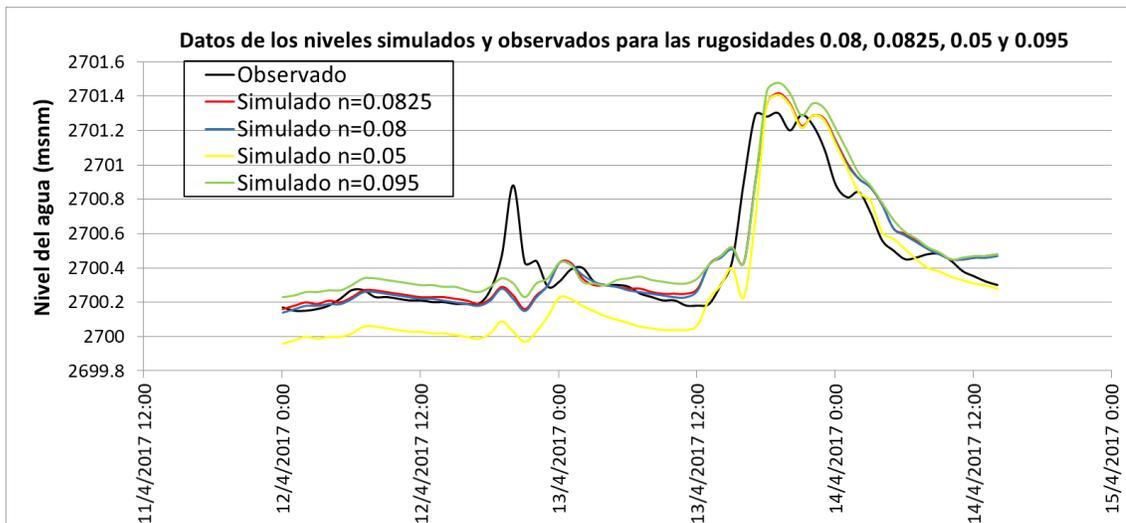
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 12 - 14 abril 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 10 segundos, evento 12 - 14 abril 2017.

Fuente: Autor.

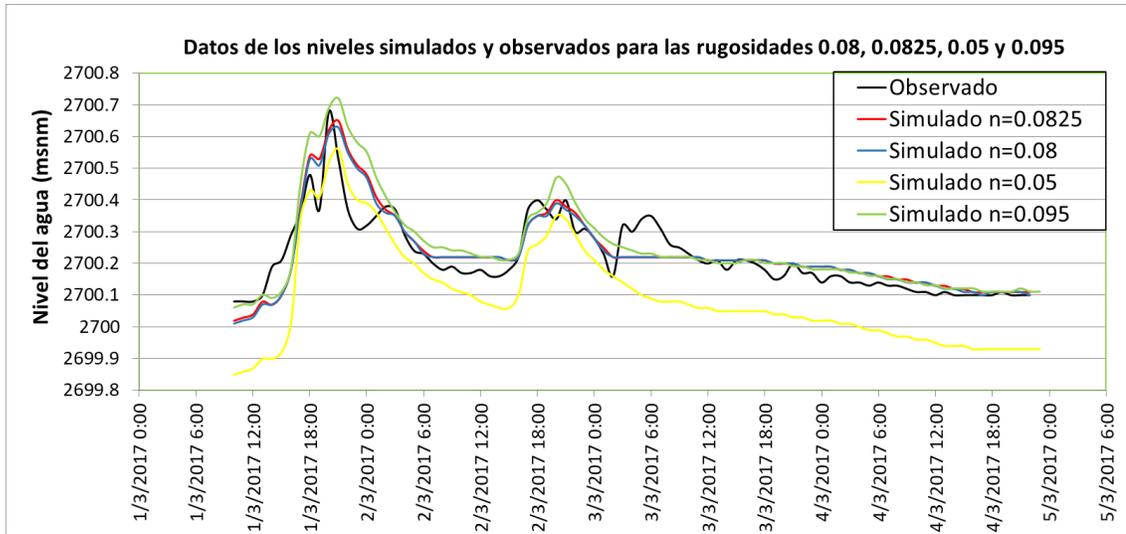
Evento del 1 – 4 marzo 2017 (15 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.13	0.15	0.00068	0.29	0.0049
	Squared	0.13	0.15	0.00068	0.29	0.0049
0.08	Average	0.04	0.06	0.00011	0.19	0.0015
	Squared	0.04	0.06	0.00011	0.19	0.0017
0.0825	Average	0.04	0.06	0.00012	0.20	0.0016
	Squared	0.05	0.06	0.00012	0.20	0.0036
0.095	Average	0.05	0.08	0.00018	0.27	0.0019
	Squared	0.06	0.08	0.00020	0.27	0.0021

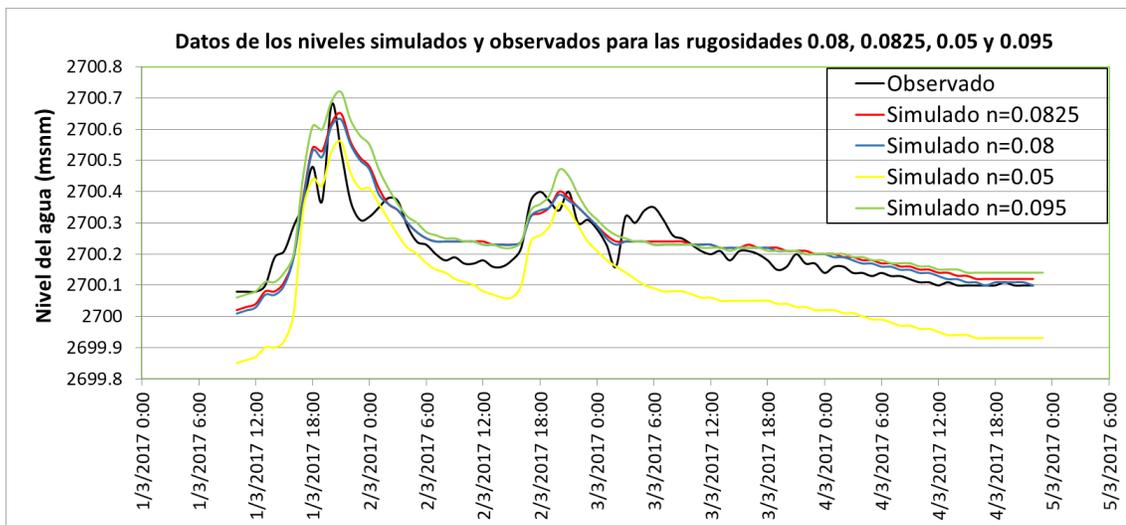
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 01 - 04 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 01 - 04 marzo 2017.

Fuente: Autor.

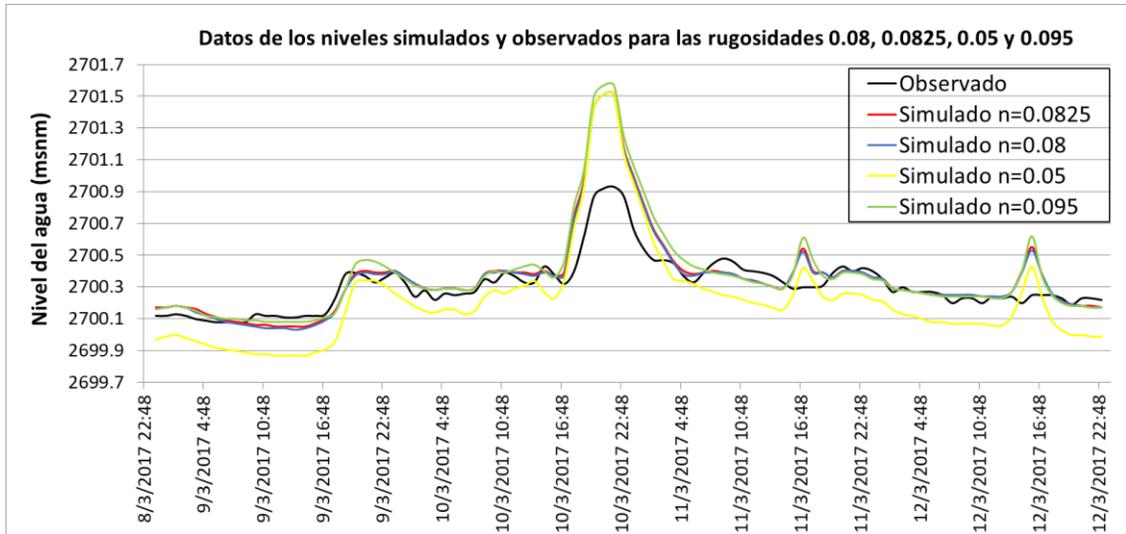
Evento del 9 – 12 marzo 2017 (15 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.18	0.20	0.00132	0.59	0.0058
	Squared	0.18	0.20	0.00132	0.59	0.0058
0.08	Average	0.08	0.14	0.00069	0.59	0.0028
	Squared	0.08	0.14	0.00069	0.59	0.0028
0.0825	Average	0.08	0.14	0.00072	0.59	0.0028
	Squared	0.08	0.14	0.00072	0.59	0.0029
0.095	Average	0.10	0.18	0.00098	0.65	0.0034
	Squared	0.10	0.18	0.00098	0.65	0.0034

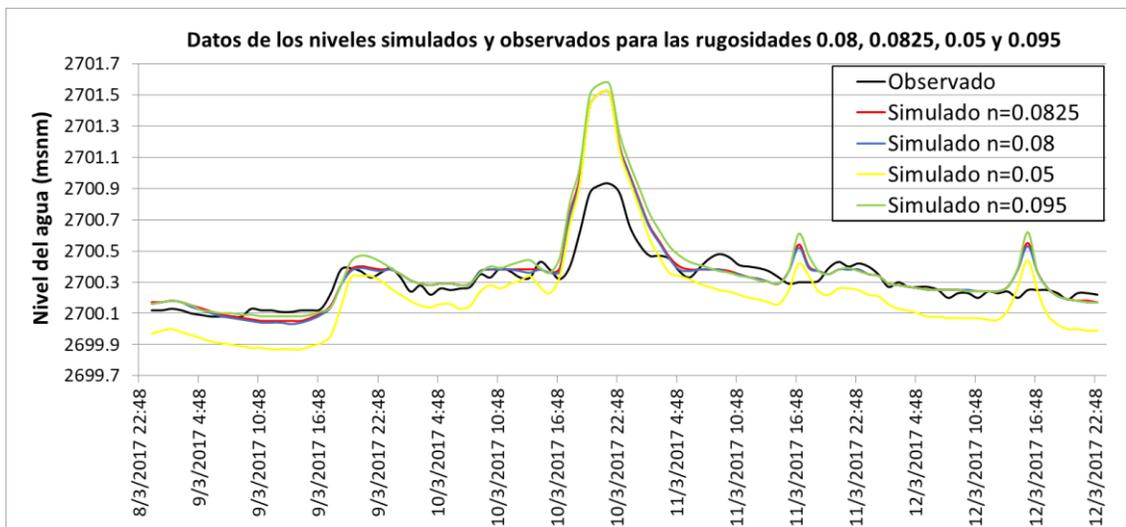
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 09 - 12 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 09 - 12 marzo 2017.

Fuente: Autor.

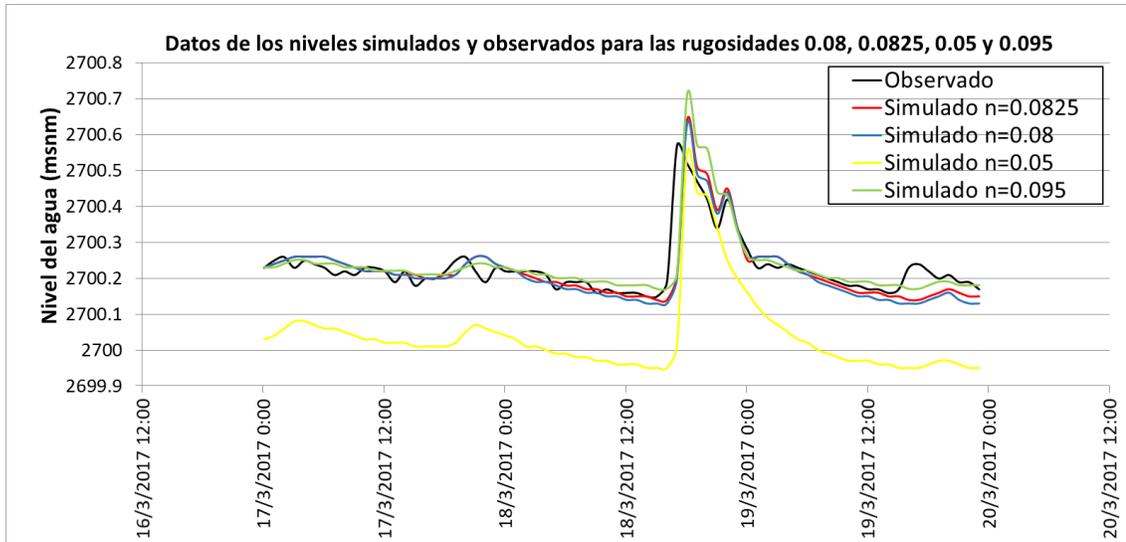
Evento del 17 – 19 marzo 2017 (15 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.19	0.20	0.00110	0.56	0.0071
	Squared	0.19	0.20	0.00110	0.56	0.0071
0.08	Average	0.03	0.06	0.00008	0.37	0.0012
	Squared	0.03	0.06	0.00008	0.37	0.0012
0.0825	Average	0.03	0.05	0.00008	0.36	0.0010
	Squared	0.03	0.06	0.00008	0.35	0.0011
0.095	Average	0.03	0.06	0.00009	0.36	0.0010
	Squared	0.04	0.06	0.00010	0.33	0.0015

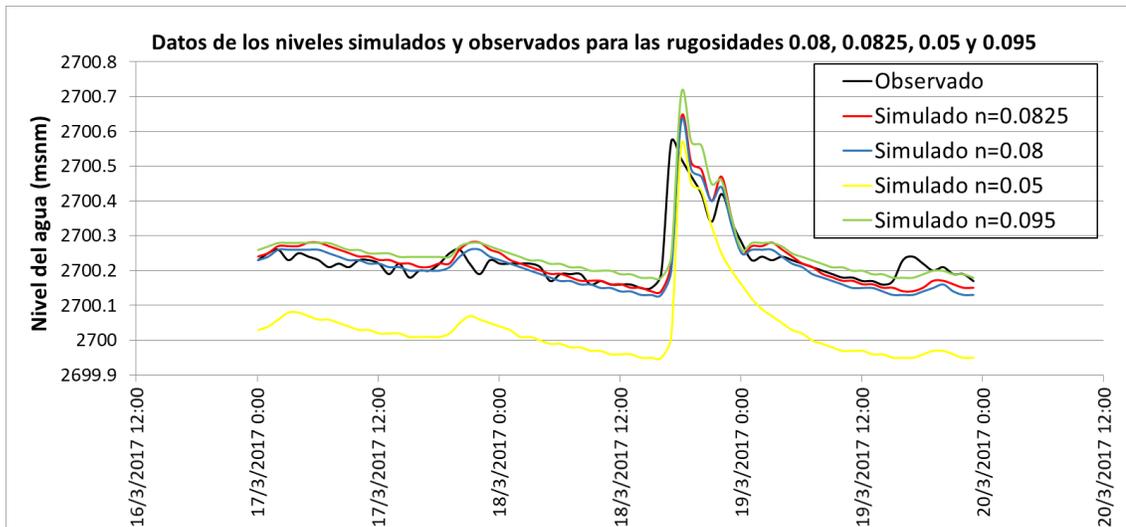
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 17 - 19 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 17 - 19 marzo 2017.

Fuente: Autor.

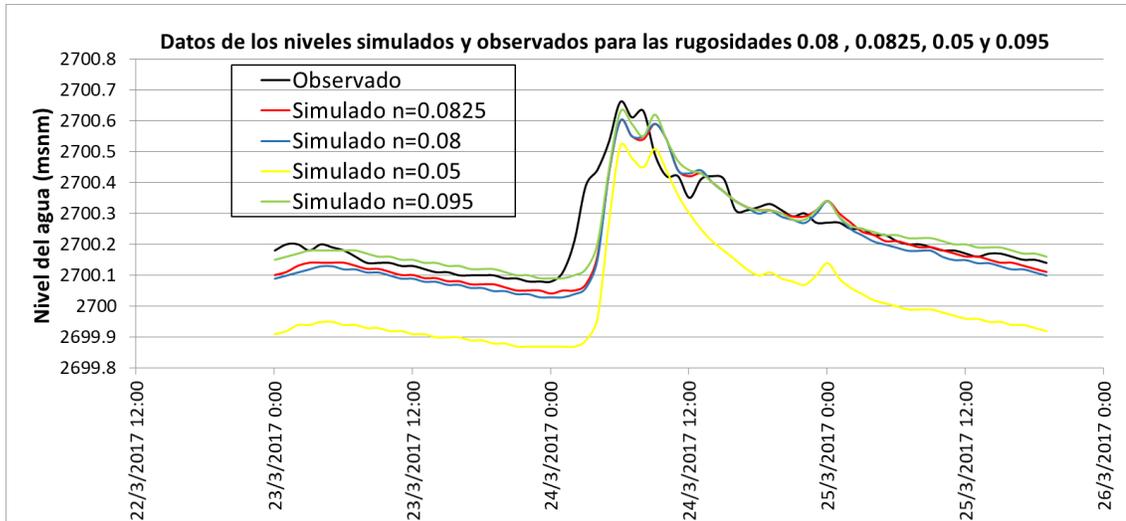
Evento del 23 – 25 marzo 2017 (15 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.21	0.22	0.00125	0.5	0.0078
	Squared	0.21	0.22	0.00125	0.5	0.0078
0.08	Average	0.05	0.07	0.00014	0.33	0.0019
	Squared	0.05	0.08	0.00014	0.33	0.0019
0.0825	Average	0.04	0.07	0.00012	0.32	0.0016
	Squared	0.04	0.07	0.00012	0.32	0.0016
0.095	Average	0.04	0.04	0.00009	0.27	0.0013
	Squared	0.04	0.04	0.00009	0.26	0.0016

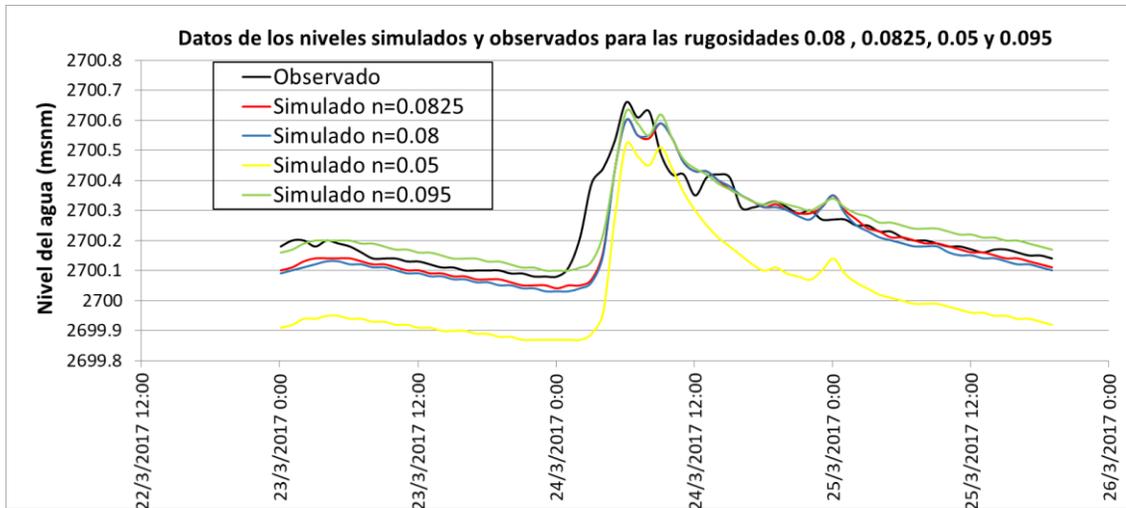
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 23 - 25 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 23 - 25 marzo 2017.

Fuente: Autor.

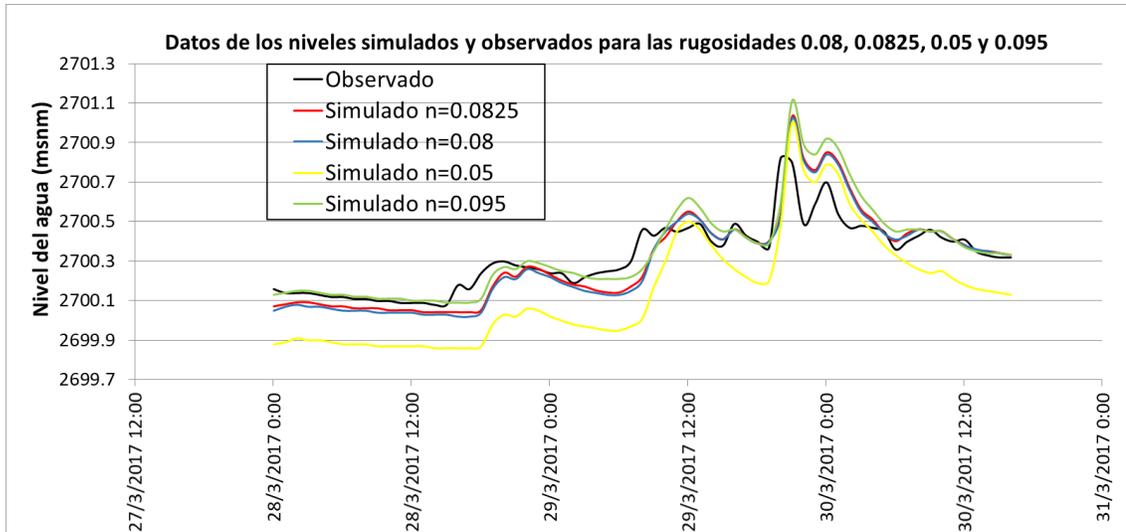
Evento del 28 – 30 marzo 2017 (15 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.20	0.22	0.00120	0.45	0.0076
	Squared	0.20	0.22	0.00120	0.45	0.0076
0.08	Average	0.08	0.11	0.00027	0.32	0.0029
	Squared	0.08	0.11	0.00027	0.31	0.0029
0.0825	Average	0.07	0.10	0.00025	0.33	0.0027
	Squared	0.07	0.10	0.00026	0.33	0.0028
0.095	Average	0.07	0.11	0.00030	0.4	0.0025
	Squared	0.07	0.11	0.00030	0.4	0.0025

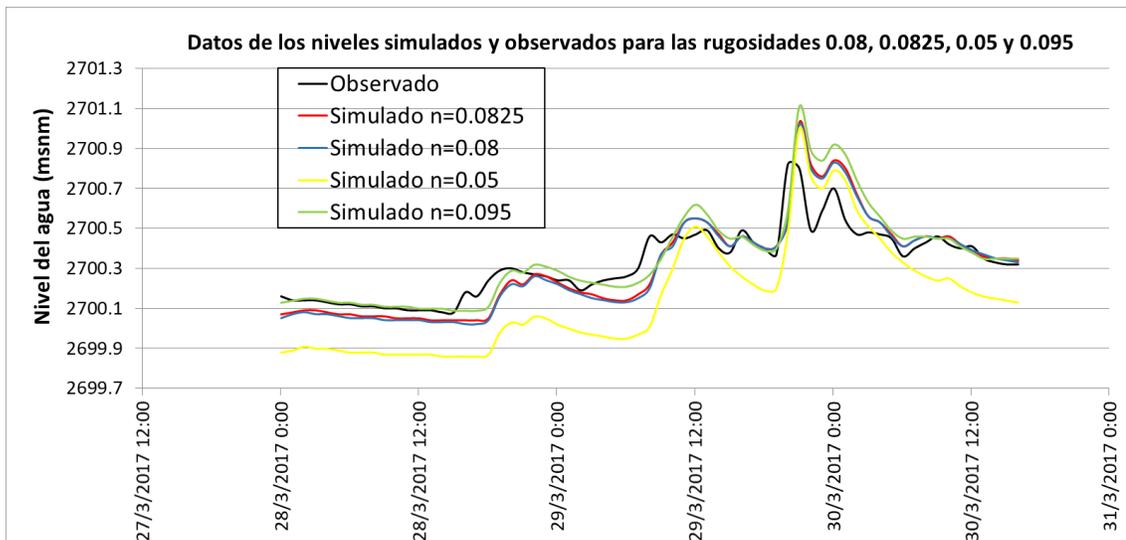
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 28 - 30 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 28 - 30 marzo 2017.

Fuente: Autor.

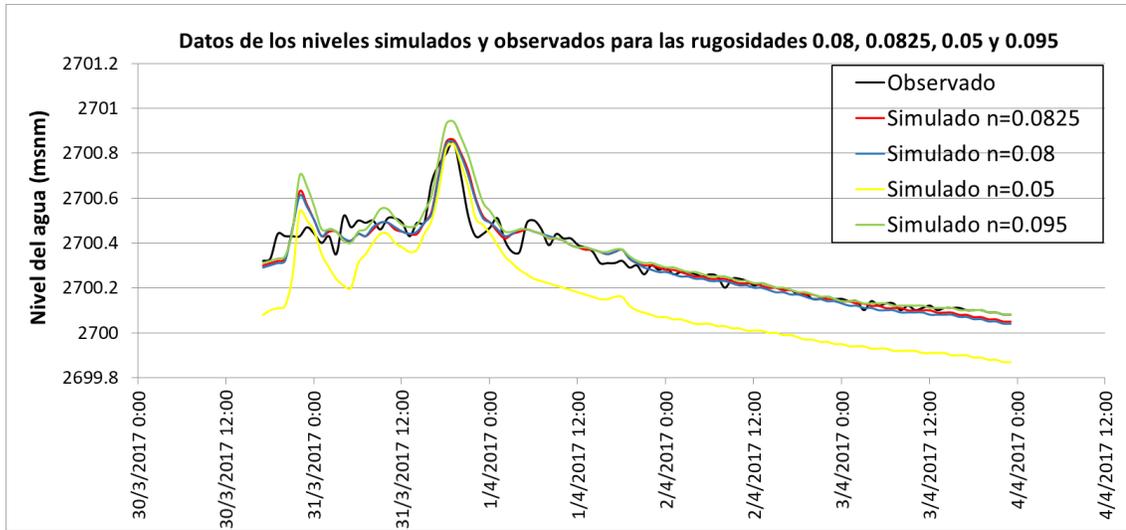
Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (15 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.17	0.19	0.00131	0.33	0.0064
	Squared	0.17	0.19	0.00132	0.33	0.0064
0.08	Average	0.04	0.05	0.00010	0.18	0.0014
	Squared	0.04	0.05	0.00010	0.18	0.0014
0.0825	Average	0.03	0.05	0.00010	0.2	0.0013
	Squared	0.04	0.05	0.00011	0.2	0.0013
0.095	Average	0.04	0.07	0.00017	0.27	0.0014
	Squared	0.04	0.07	0.00017	0.27	0.0014

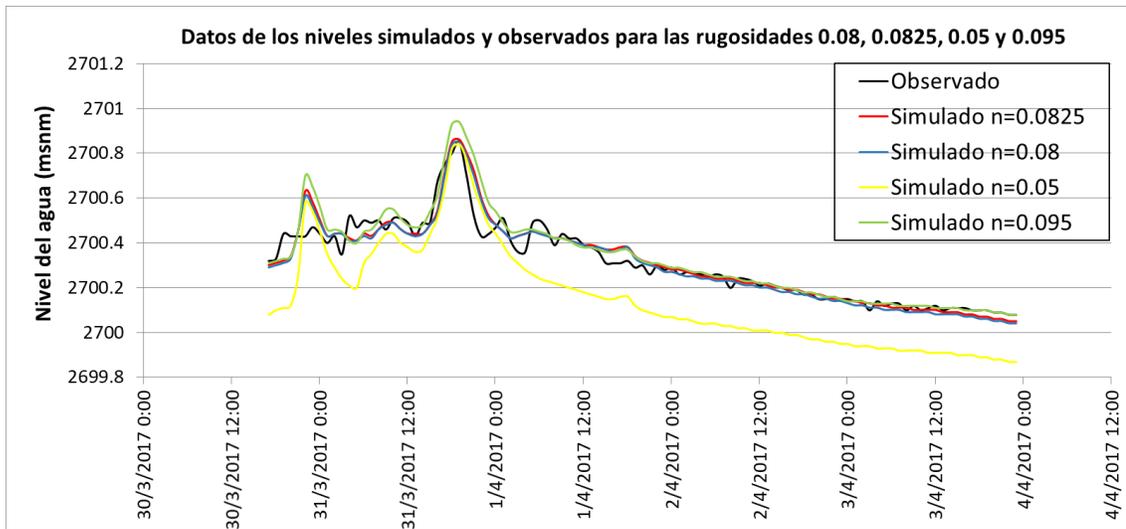
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

Fuente: Autor.

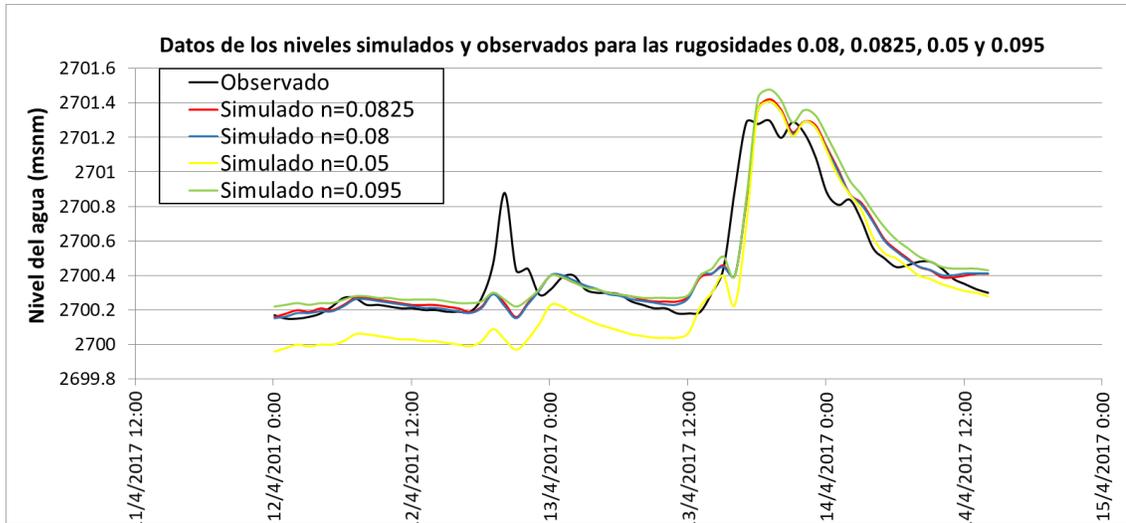
Evento del 12 – 14 abril 2017 (15 SEGUNDOS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.18	0.23	0.00125	0.85	0.0065
	Squared	0.18	0.23	0.00126	0.85	0.0066
0.08	Average	0.09	0.15	0.00051	0.66	0.0032
	Squared	0.09	0.15	0.00054	0.66	0.0035
0.0825	Average	0.09	0.15	0.00052	0.64	0.0033
	Squared	0.10	0.15	0.00054	0.64	0.0036
0.095	Average	0.11	0.16	0.00061	0.62	0.0041
	Squared	0.13	0.16	0.00063	0.57	0.0047

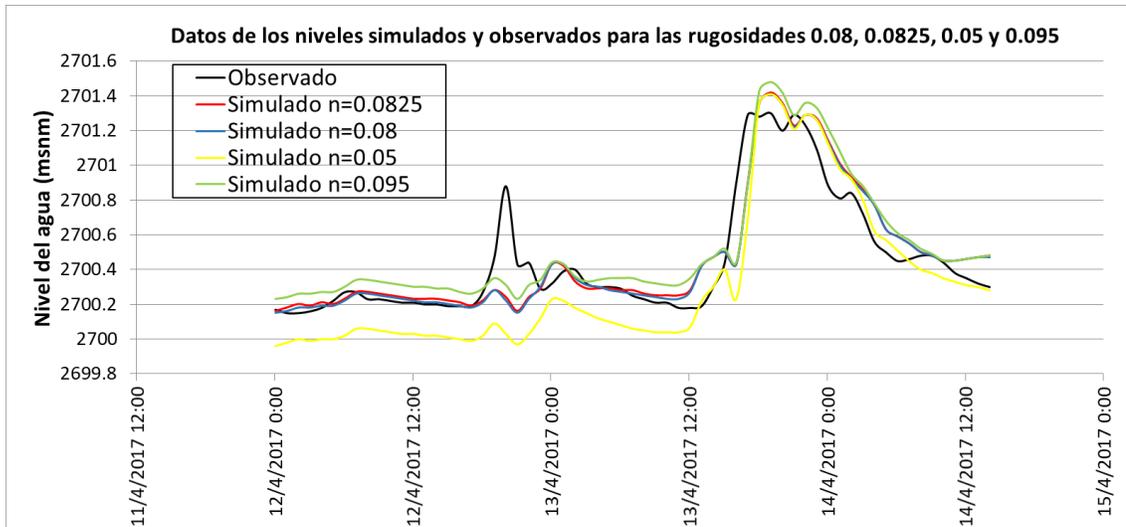
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 12 - 14 abril 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en un intervalo de cálculo de 15 segundos, evento 12 - 14 abril 2017.

Fuente: Autor.

Anexo 2: Resultados de los eventos sometidos a los 5 métodos propuestos, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095, cambiando la distancia entre secciones: 15, 25 y 50 metros, incluye las figuras de los niveles de agua del río de cada uno de éstos ejecutados por el método de error promedio y error cuadrático respectivamente.

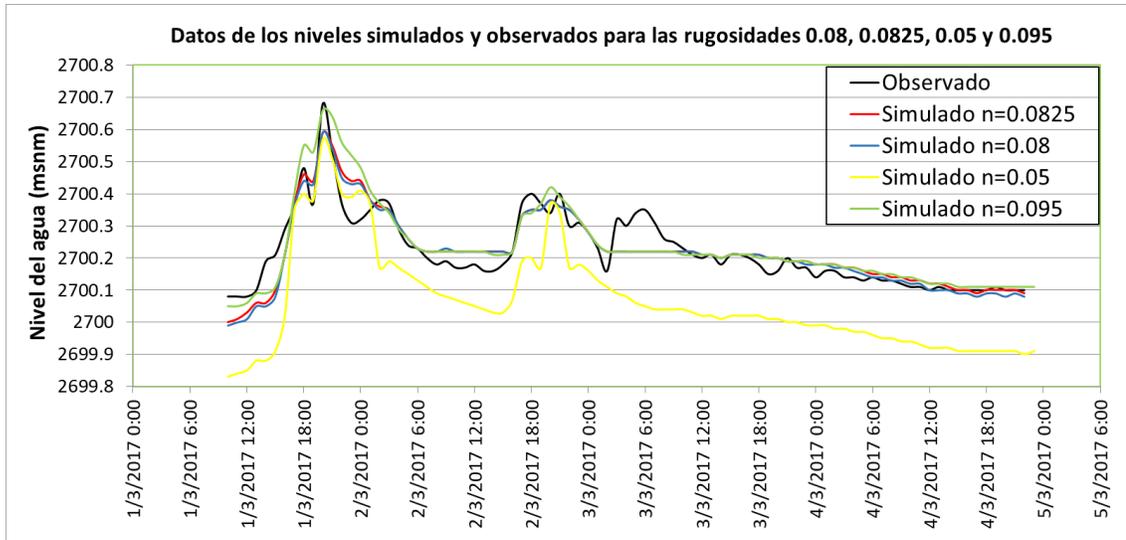
Evento del 1 – 4 marzo 2017 (15 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balance de Masas (m)
0.05	Average	0.16	0.17	0.00097	0.31	0.0060
	Squared	0.16	0.17	0.00097	0.31	0.0060
0.08	Average	0.04	0.05	0.00008	0.14	0.0013
	Squared	0.04	0.05	0.00009	0.14	0.0015
0.0825	Average	0.04	0.05	0.00008	0.13	0.0013
	Squared	0.04	0.05	0.00009	0.14	0.0030
0.095	Average	0.04	0.06	0.00011	0.21	0.0015
	Squared	0.05	0.06	0.00013	0.20	0.0015

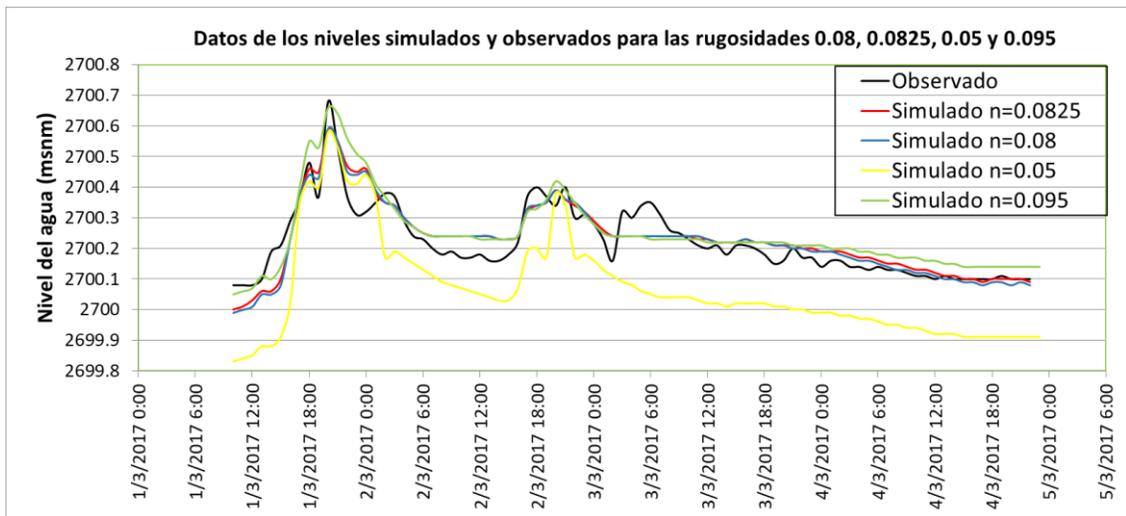
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 01 - 04 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 01 - 04 marzo 2017.

Fuente: Autor.

Evento del 9 – 12 marzo 2017 (15 METROS)

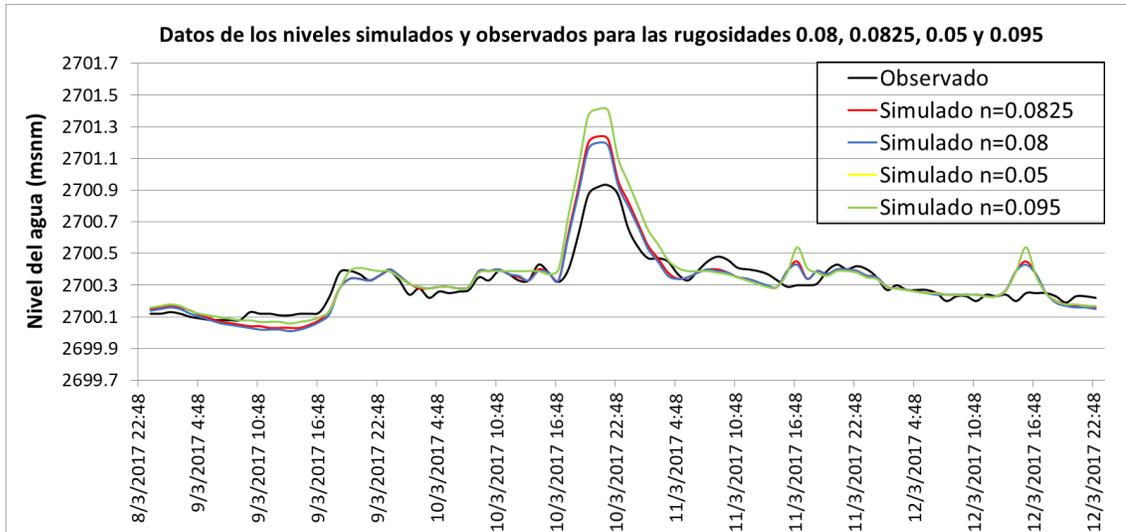
Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0	#¡DIV/0!
	Squared	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0	#¡DIV/0!
0.08	Average	0.06	0.08	0.00026	0.29	0.0021
	Squared	0.06	0.08	0.00025	0.29	0.0021
0.0825	Average	0.06	0.09	0.00029	0.33	0.0021
	Squared	0.06	0.09	0.00030	0.33	0.0022
0.095	Average	0.08	0.14	0.00060	0.5	0.0027
	Squared	0.08	0.14	0.00059	0.5	0.0027

Fuente: Autor.

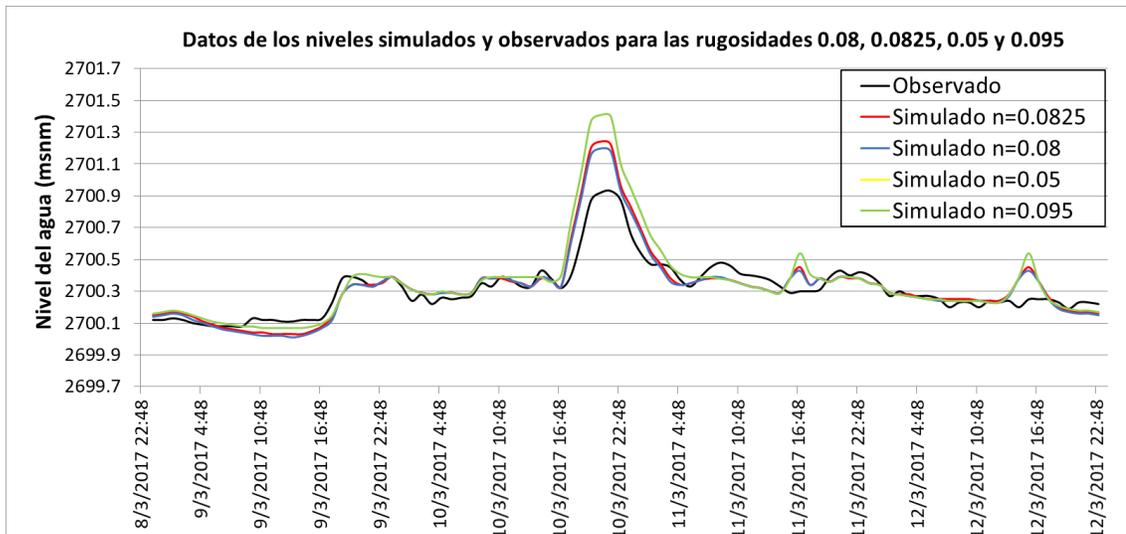
Al momento de ser calibrado el evento con un coeficiente n de Manning igual a 0.05 con una distancia de secciones igual a 15 metros el modelo hidráulico se volvió inestable por lo que no se pudo realizar una calibración adecuada.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 09 - 12 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 09 - 12 marzo 2017.

Fuente: Autor.

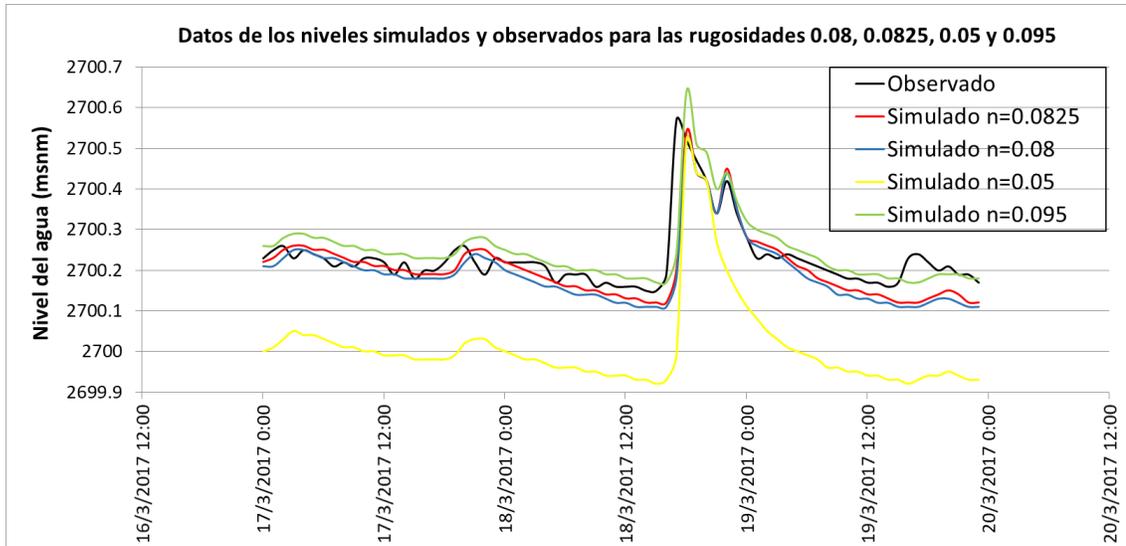
Evento del 17 – 19 marzo 2017 (15 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.22	0.23	0.00141	0.58	0.0081
	Squared	0.22	0.23	0.00141	0.58	0.0081
0.08	Average	0.04	0.06	0.00011	0.39	0.0015
	Squared	0.04	0.06	0.00011	0.39	0.0016
0.0825	Average	0.03	0.06	0.00009	0.37	0.0012
	Squared	0.04	0.06	0.00009	0.37	0.0013
0.095	Average	2.26	2.37	0.14950	5.09	0.0836
	Squared	0.04	0.05	0.00008	0.33	0.0013

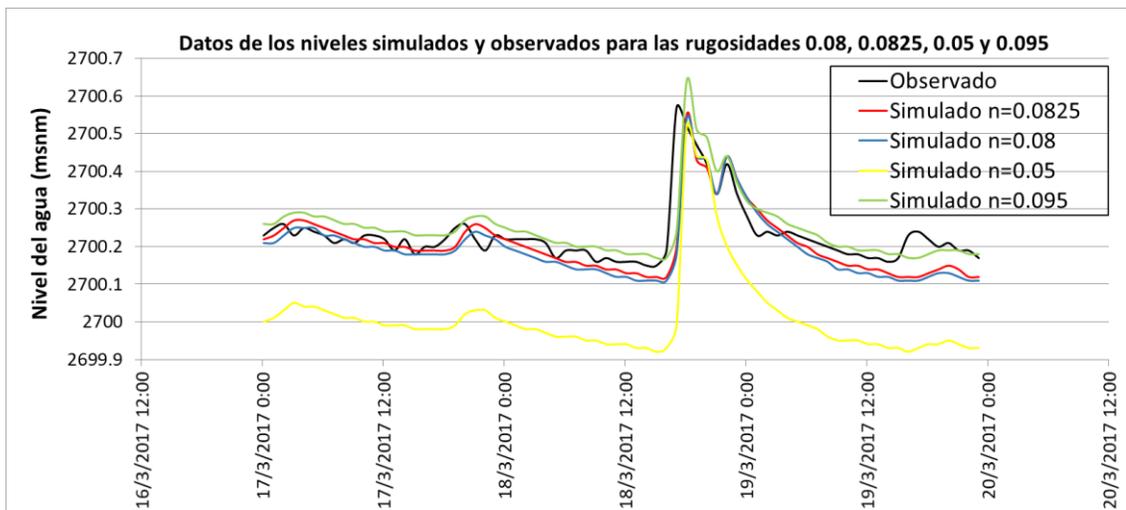
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 17 - 19 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 17 - 19 marzo 2017.

Fuente: Autor.

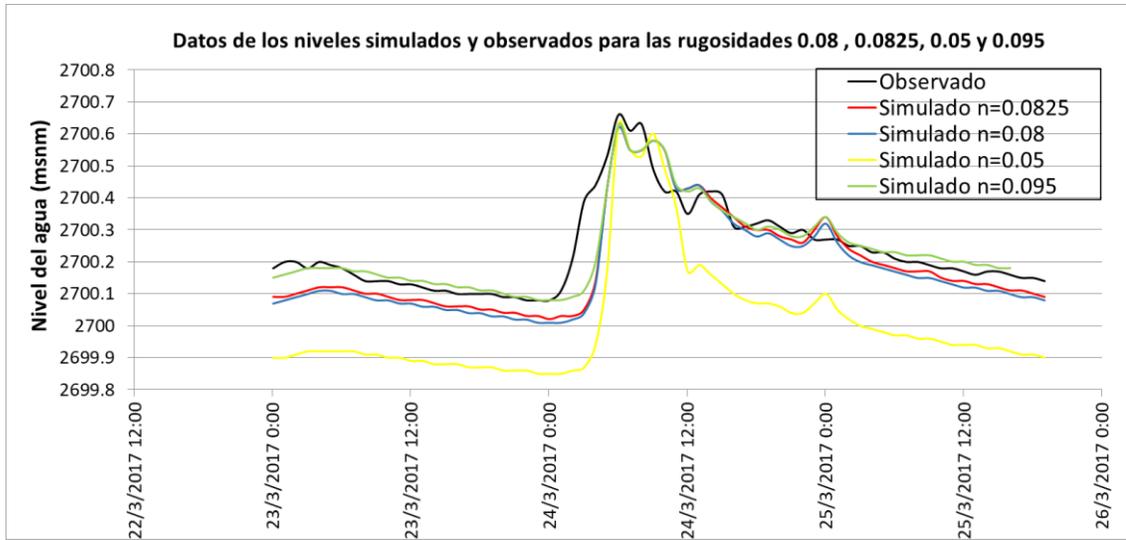
Evento del 23 – 25 marzo 2017 (15 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.24	0.25	0.00154	0.52	0.0087
	Squared	0.24	0.25	0.00154	0.52	0.0087
0.08	Average	0.07	0.09	0.00019	0.35	0.0025
	Squared	0.07	0.09	0.00019	0.35	0.0025
0.0825	Average	0.06	0.08	0.00016	0.34	0.0021
	Squared	0.06	0.08	0.00016	0.34	0.0021
0.095	Average	0.03	0.06	0.00009	0.28	0.0013
	Squared	0.04	0.06	0.00009	0.28	0.0013

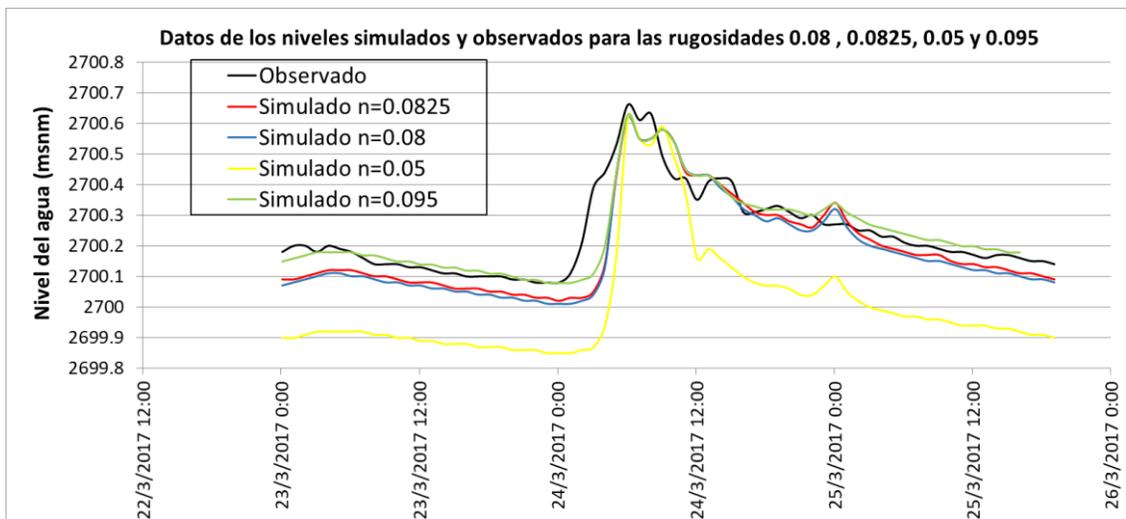
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 23 - 25 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 23 - 25 marzo 2017.

Fuente: Autor.

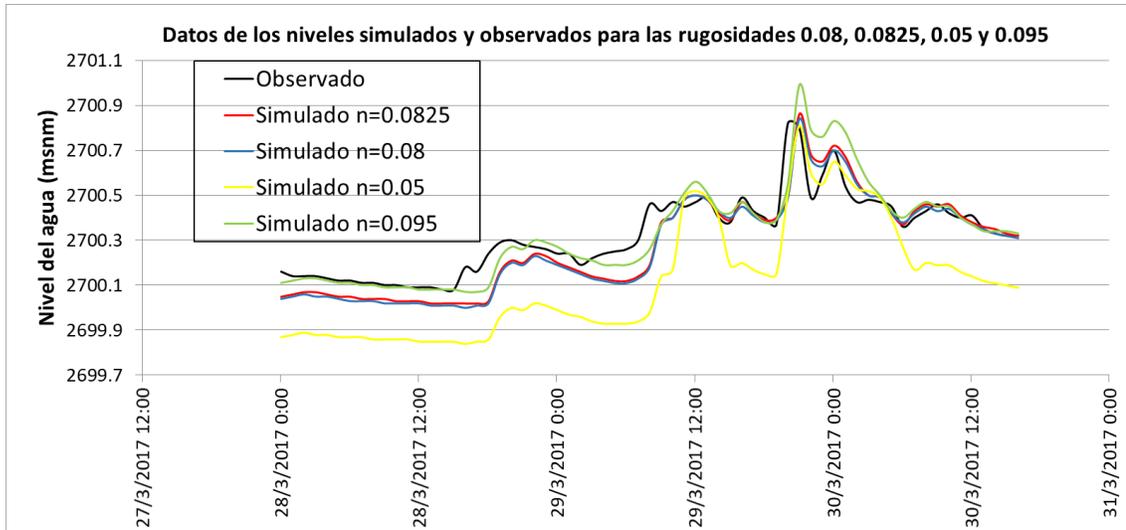
Evento del 28 – 30 marzo 2017 (15 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.22	0.24	0.00143	0.48	0.0082
	Squared	0.22	0.24	0.00143	0.48	0.0083
0.08	Average	0.07	0.10	0.00023	0.33	0.0027
	Squared	0.07	0.10	0.00023	0.29	0.0028
0.0825	Average	0.07	0.09	0.00021	0.33	0.0025
	Squared	0.07	0.09	0.00020	0.29	0.0026
0.095	Average	0.05	0.09	0.00018	0.3	0.0020
	Squared	0.06	0.09	0.00018	0.3	0.0020

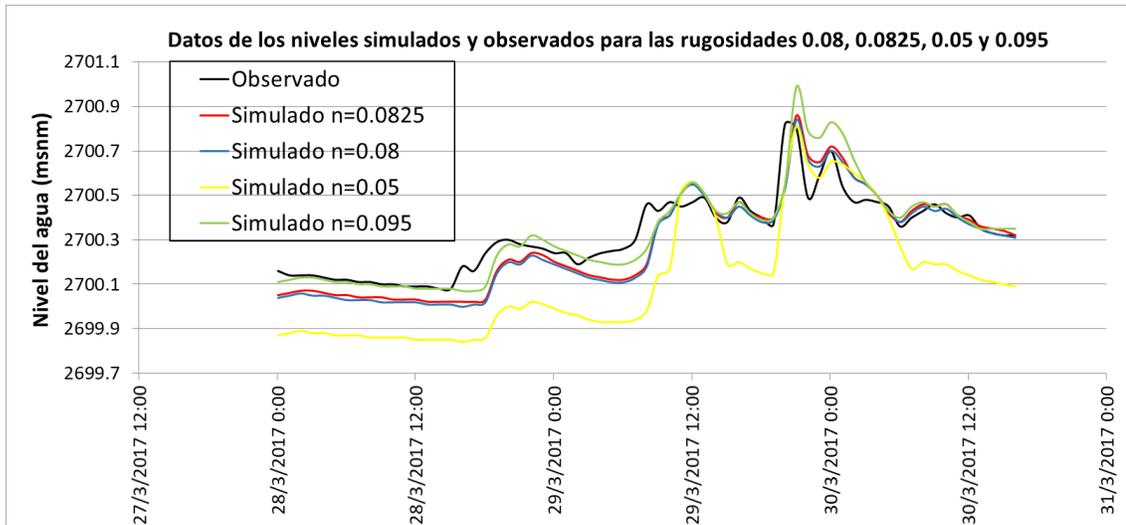
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n= 0.05,0.08,0.0825,0.095$ en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 28 - 30 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n= 0.05,0.08,0.0825,0.095$ en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 28 - 30 marzo 2017.

Fuente: Autor.

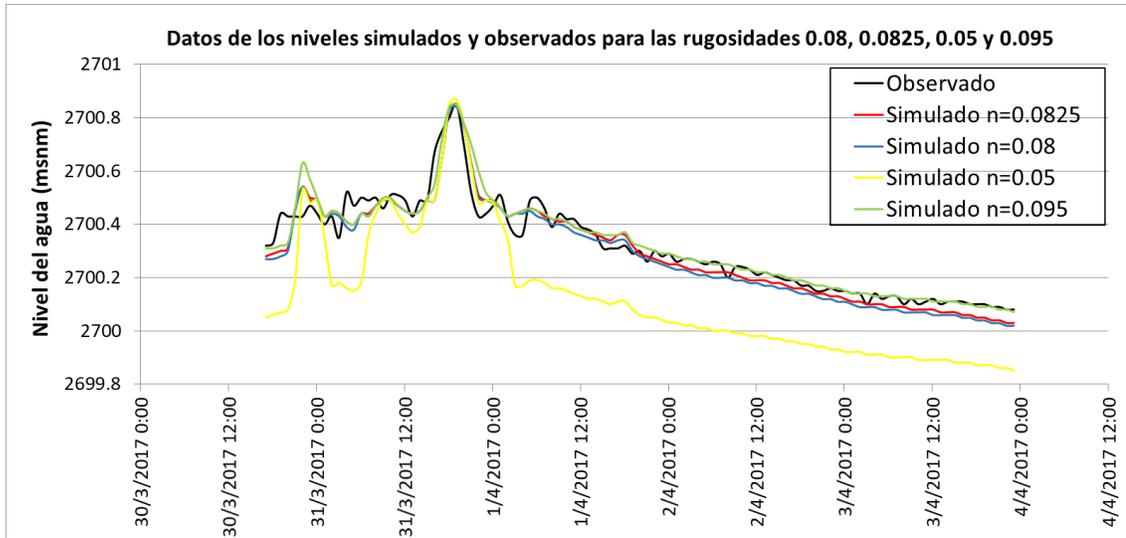
Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (15 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.20	0.22	0.0018	0.37	0.0074
	Squared	0.20	0.22	0.0018	0.37	0.0074
0.08	Average	0.05	0.06	0.0001	0.18	0.0017
	Squared	0.05	0.06	0.0001	0.16	0.0018
0.0825	Average	0.04	0.05	0.0001	0.18	0.0014
	Squared	0.04	0.05	0.0001	0.16	0.0015
0.095	Average	0.03	0.05	0.0001	0.2	0.0011
	Squared	0.20	0.22	0.0018	0.37	0.0074

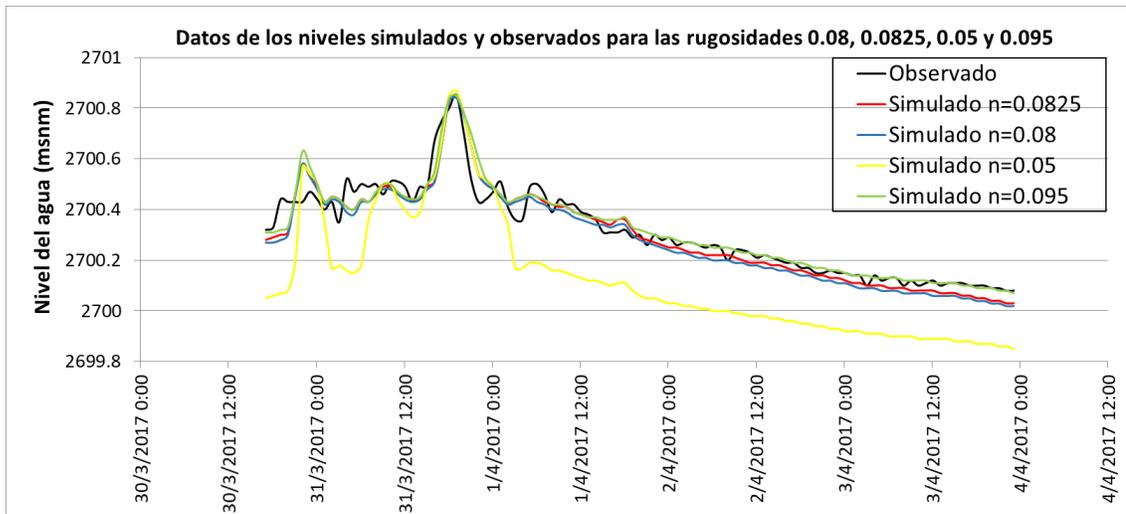
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

Fuente: Autor.

Evento del 12 – 14 abril 2017 (15 METROS)

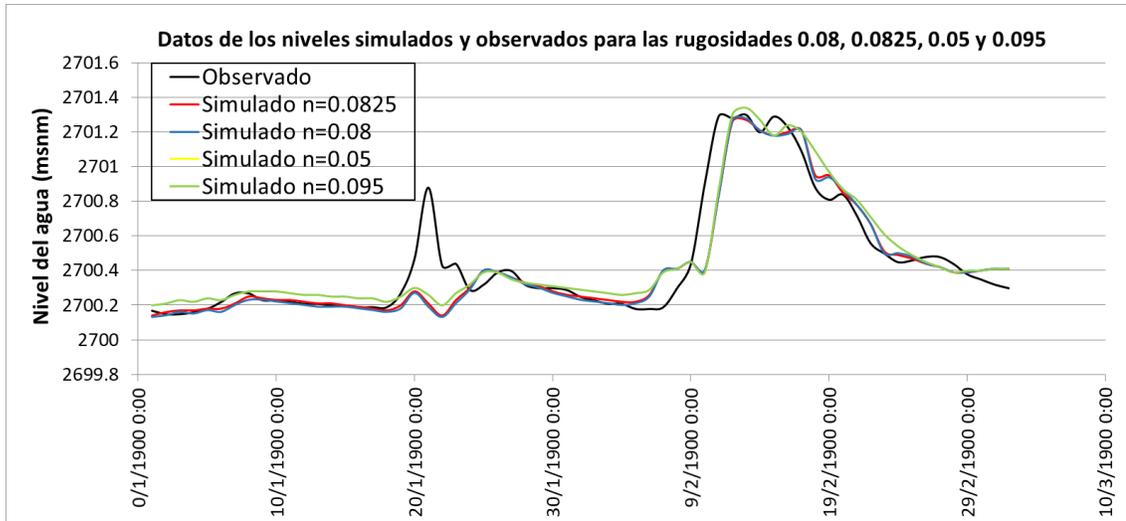
Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0	#¡DIV/0!
	Squared	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0	#¡DIV/0!
0.08	Average	0.07	0.14	0.00049	0.69	0.0028
	Squared	0.08	0.15	0.00052	0.69	0.0031
0.0825	Average	0.07	0.14	0.00047	0.67	0.0027
	Squared	0.08	0.15	0.00049	0.67	0.0030
0.095	Average	0.09	0.14	0.00047	0.62	0.0032
	Squared	0.10	0.15	0.00049	0.60	0.0038

Fuente: Autor.

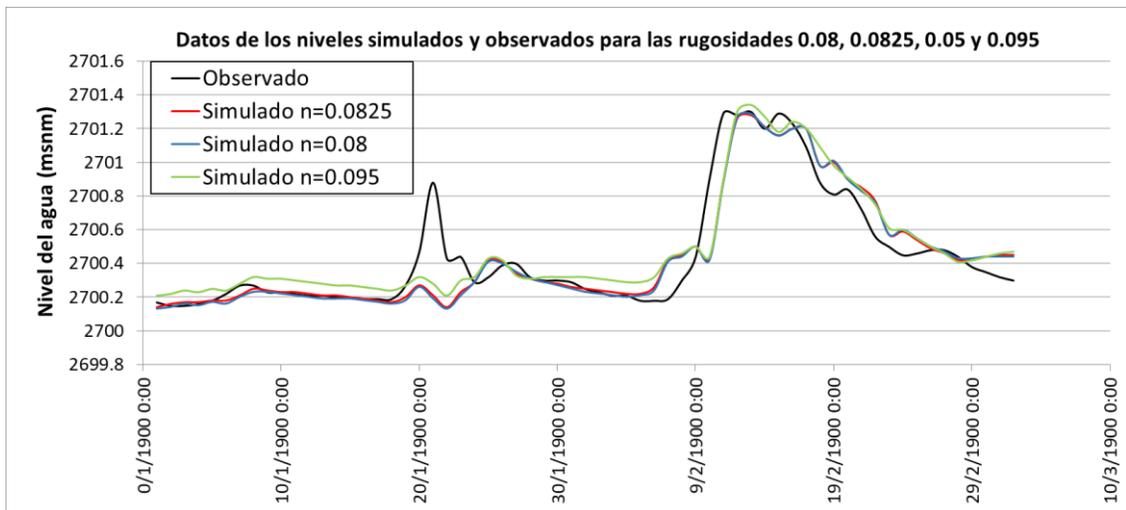
Al momento de ser calibrado el evento con un coeficiente n de Manning igual a 0.05 con una distancia de secciones igual a 15 metros el modelo hidráulico se volvió inestable por lo que no se pudo realizar una calibración adecuada.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 12 - 14 abril 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 15 metros, evento 12 - 14 abril 2017.

Fuente: Autor.

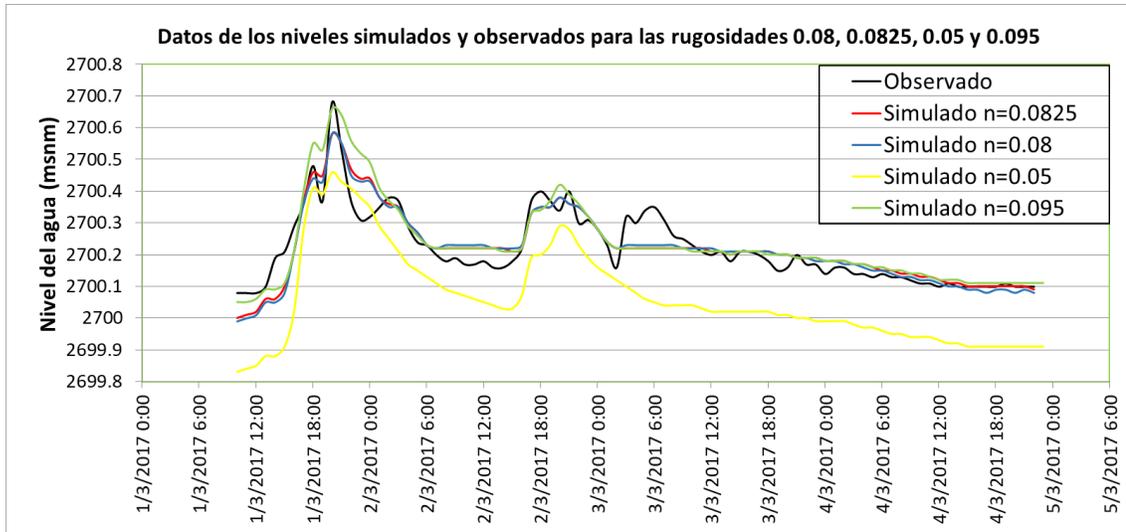
Evento del 1 – 4 marzo 2017 (25 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.16	0.17	0.00095	0.31	0.0060
	Squared	0.16	0.17	0.00095	0.31	0.0060
0.08	Average	0.04	0.05	0.00008	0.14	0.0014
	Squared	0.04	0.05	0.00009	0.14	0.0015
0.0825	Average	0.04	0.05	0.00008	0.13	0.0013
	Squared	0.04	0.05	0.00009	0.14	0.0029
0.095	Average	0.04	0.06	0.00011	0.21	0.0015
	Squared	0.05	0.06	0.00013	0.21	0.0015

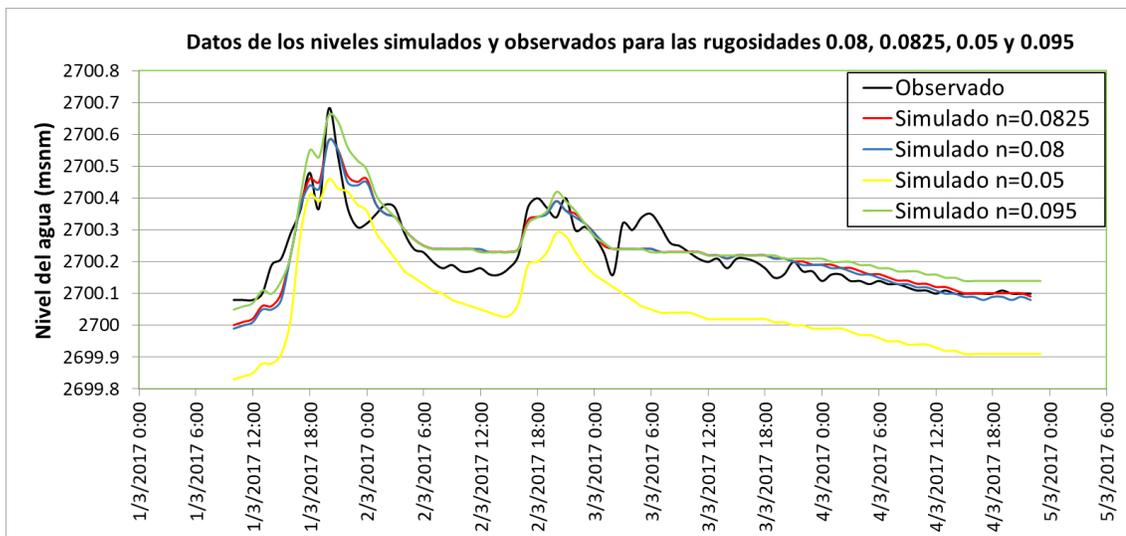
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 01 - 04 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 01 - 04 marzo 2017.

Fuente: Autor.

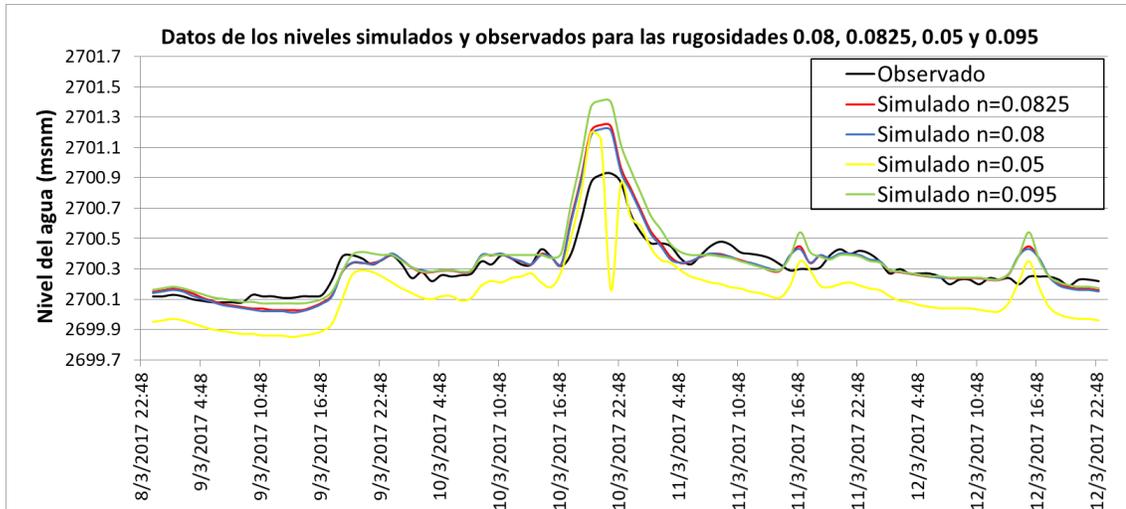
Evento del 9 – 12 marzo 2017 (25 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balance de Masas (m)
0.05	Average	0.20	0.21	0.00146	0.77	0.0064
	Squared	0.08	0.14	0.00060	0.5	0.0027
0.08	Average	0.06	0.09	0.00027	0.31	0.0021
	Squared	0.06	0.09	0.00027	0.31	0.0021
0.0825	Average	0.06	0.09	0.00030	0.34	0.0021
	Squared	0.06	0.09	0.00030	0.34	0.0022
0.095	Average	0.08	0.14	0.00059	0.5	0.0027
	Squared	0.08	0.14	0.00059	0.5	0.0027

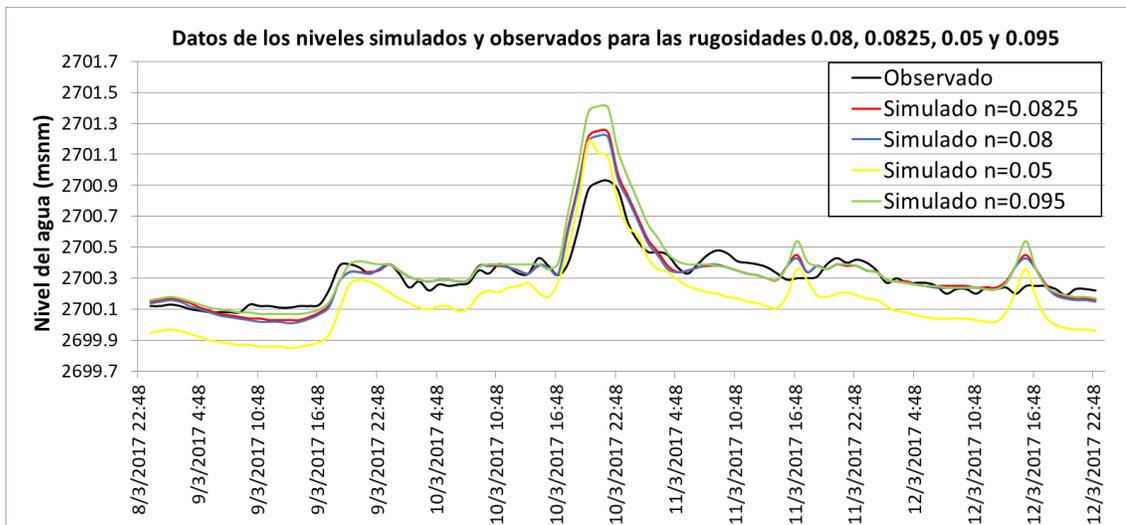
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 09 - 12 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 09 - 12 marzo 2017.

Fuente: Autor.

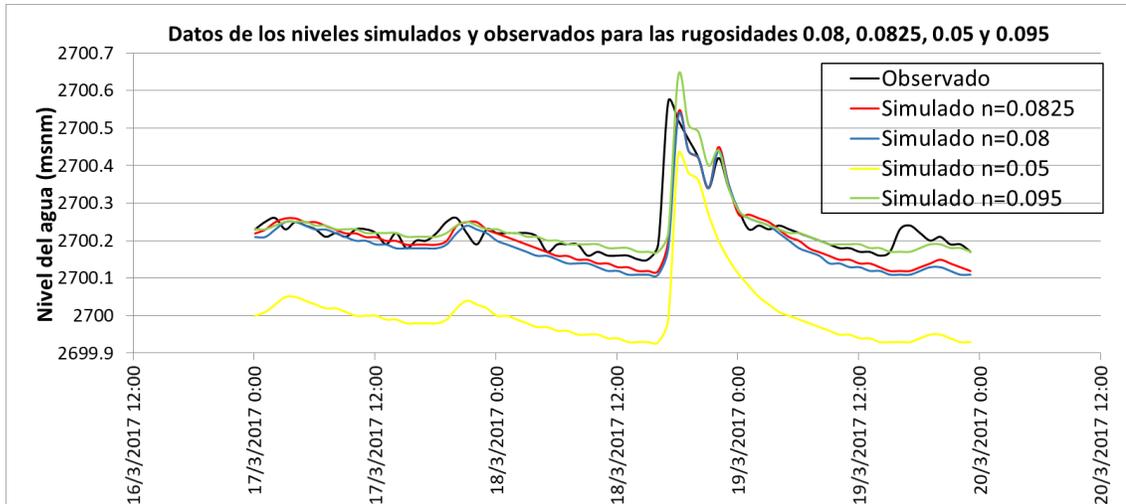
Evento del 17 – 19 marzo 2017 (25 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.22	0.23	0.00140	0.58	0.0082
	Squared	0.22	0.23	0.00139	0.58	0.0082
0.08	Average	0.04	0.06	0.00011	0.39	0.0015
	Squared	0.04	0.06	0.00011	0.39	0.0016
0.0825	Average	0.03	0.06	0.00009	0.37	0.0012
	Squared	0.04	0.06	0.00009	0.37	0.0013
0.095	Average	0.02	0.05	0.00006	0.35	0.0008
	Squared	0.04	0.05	0.00008	0.33	0.0013

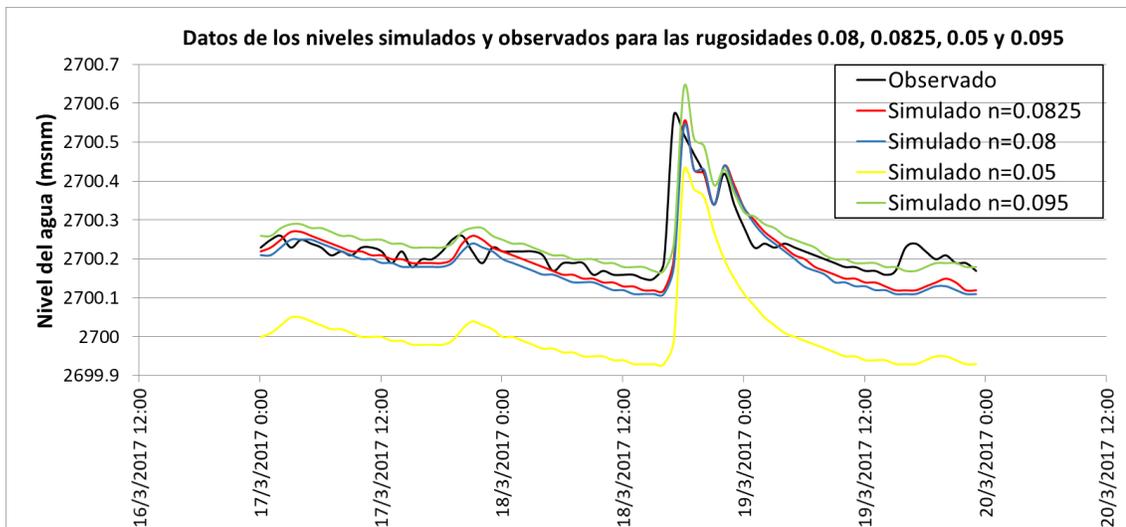
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 17 - 19 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 17 - 19 marzo 2017.

Fuente: Autor.

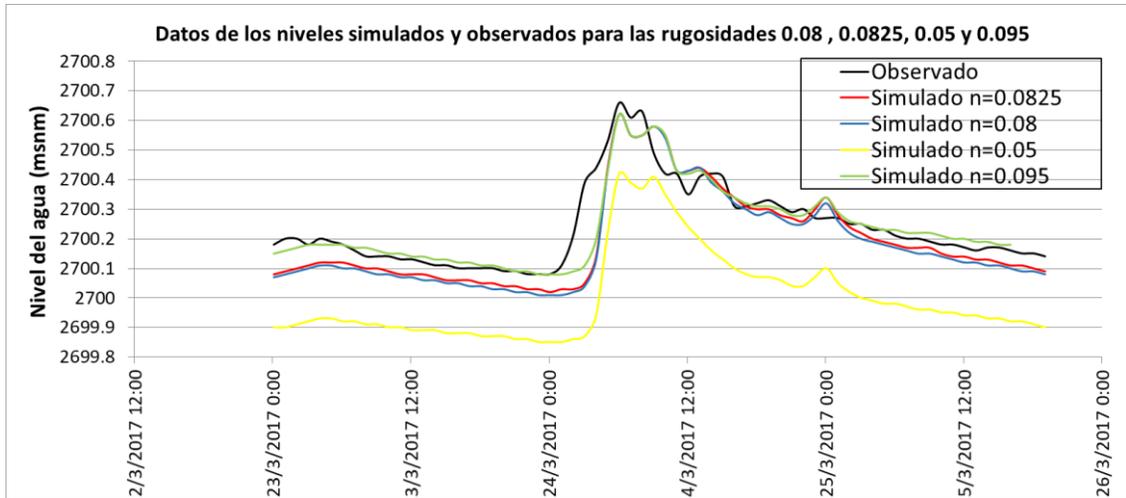
Evento del 23 – 25 marzo 2017 (25 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.24	0.25	0.00156	0.52	0.0089
	Squared	0.24	0.25	0.00156	0.52	0.0089
0.08	Average	0.07	0.09	0.00019	0.35	0.0025
	Squared	0.07	0.09	0.00019	0.35	0.0025
0.0825	Average	0.06	0.08	0.00016	0.34	0.0021
	Squared	0.06	0.08	0.00016	0.34	0.0021
0.095	Average	0.03	0.06	0.00009	0.28	0.0012
	Squared	0.04	0.06	0.00009	0.28	0.0013

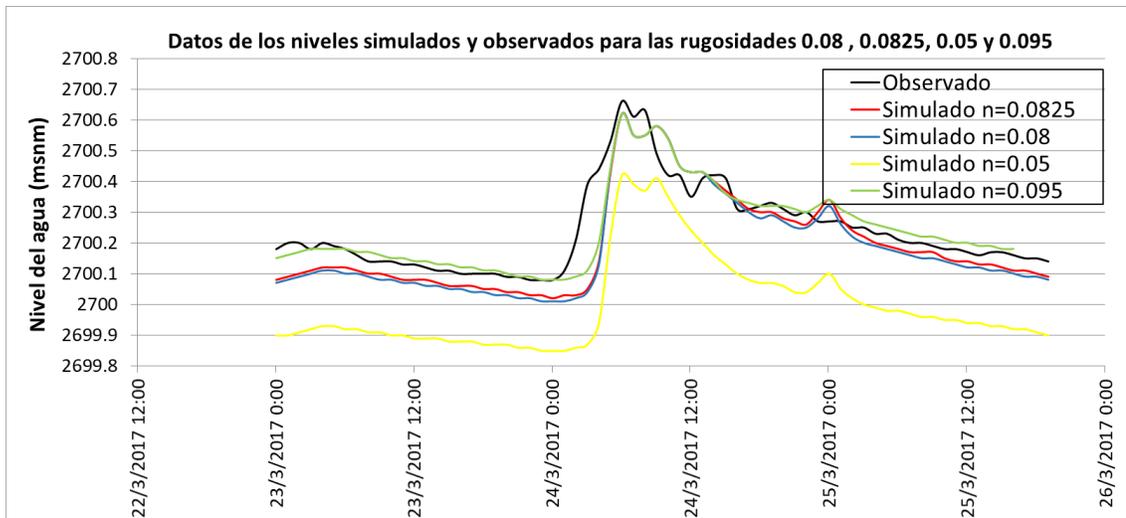
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 23 - 25 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 23 - 25 marzo 2017.

Fuente: Autor.

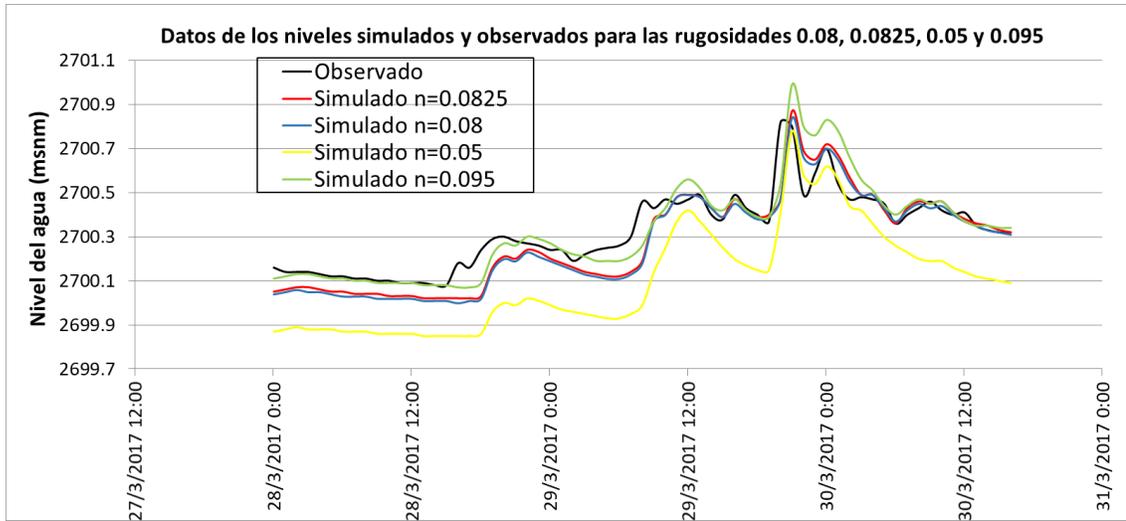
Evento del 28 – 30 marzo 2017 (25 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.22	0.24	0.00142	0.47	0.0083
	Squared	0.22	0.24	0.00142	0.47	0.0083
0.08	Average	0.07	0.10	0.00023	0.35	0.0027
	Squared	0.08	0.10	0.00023	0.32	0.0028
0.0825	Average	0.07	0.09	0.00021	0.35	0.0026
	Squared	0.07	0.09	0.00021	0.32	0.0026
0.095	Average	0.06	0.09	0.00019	0.31	0.0020
	Squared	0.06	0.09	0.00019	0.31	0.0021

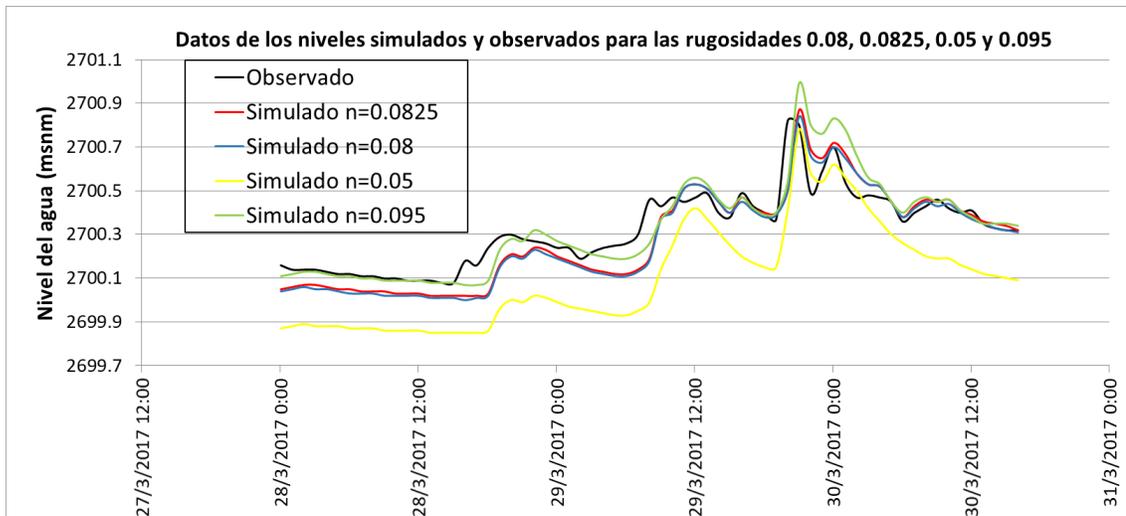
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 28 - 30 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 12 - 14 abril 2017.

Fuente: Autor.

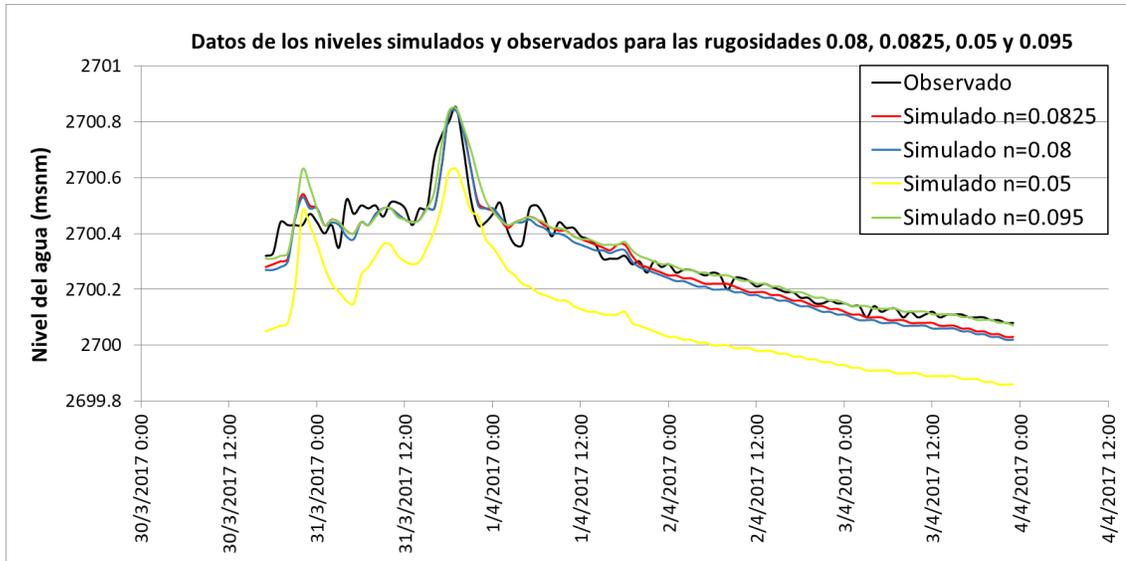
Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (25 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.21	0.22	0.0019	0.37	0.0079
	Squared	0.21	0.22	0.0019	0.37	0.0079
0.08	Average	0.05	0.06	0.0001	0.18	0.0017
	Squared	0.05	0.06	0.0001	0.16	0.0018
0.0825	Average	0.04	0.05	0.0001	0.18	0.0015
	Squared	0.04	0.05	0.0001	0.16	0.0015
0.095	Average	0.03	0.05	0.0001	0.2	0.0011
	Squared	0.03	0.05	0.0001	0.2	0.0012

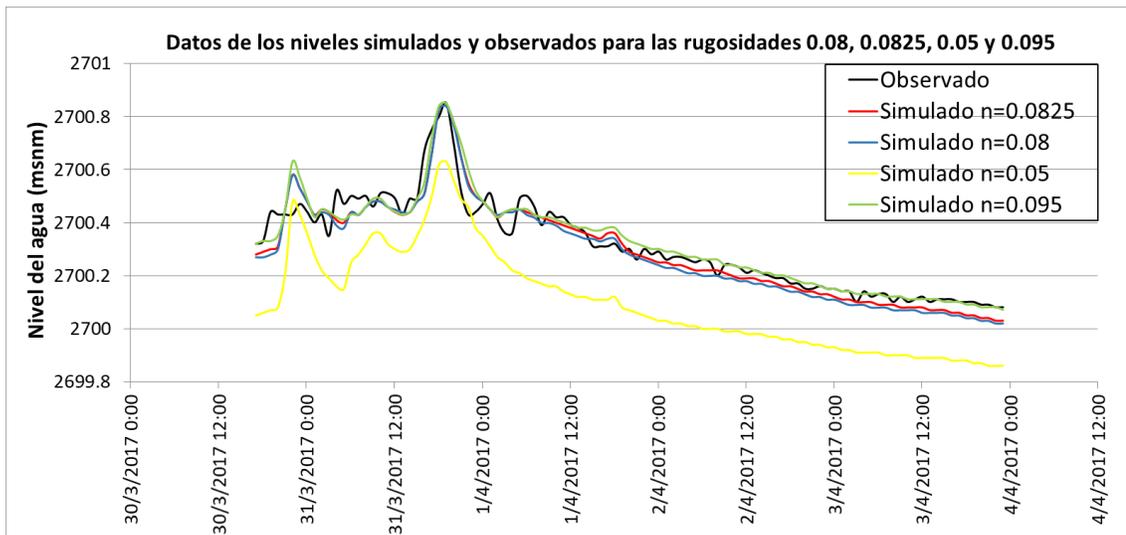
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

Fuente: Autor.

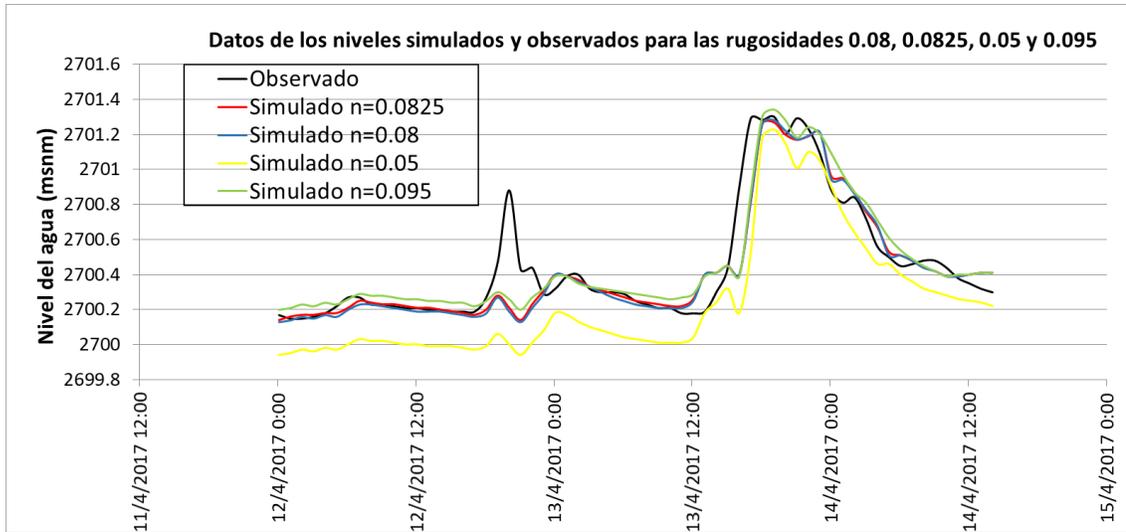
Evento del 12 – 14 abril 2017 (25 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.21	0.26	0.00161	0.88	0.0078
	Squared	0.21	0.26	0.00161	0.88	0.0078
0.08	Average	0.08	0.14	0.00049	0.69	0.0028
	Squared	0.08	0.15	0.00051	0.69	0.0031
0.0825	Average	0.07	0.14	0.00047	0.67	0.0027
	Squared	0.08	0.15	0.00049	0.67	0.0031
0.095	Average	0.21	0.26	0.00161	0.88	0.0078
	Squared	0.10	0.15	0.00049	0.6	0.0038

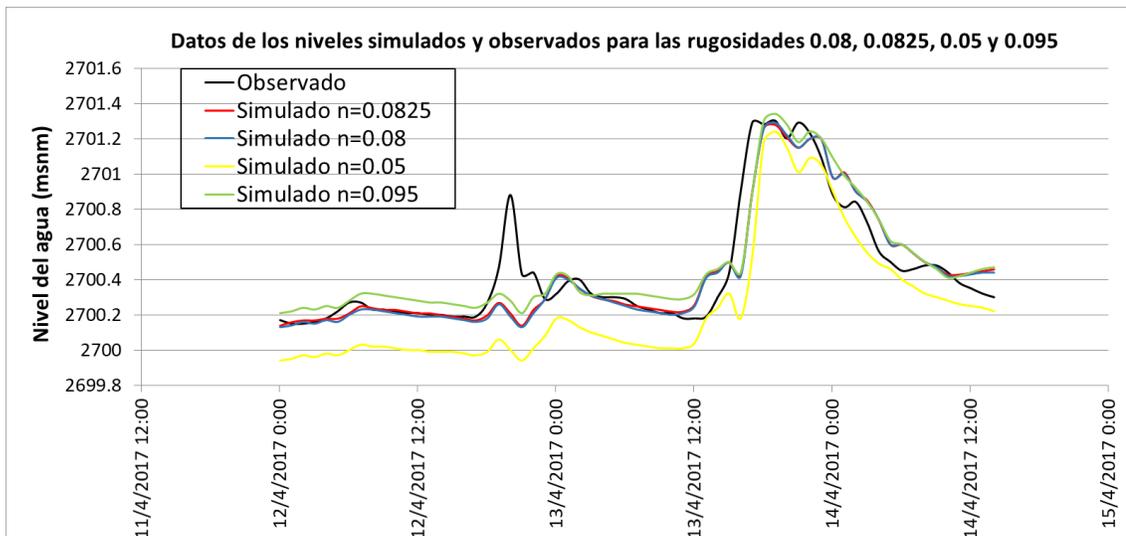
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 12 - 14 abril 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 25 metros, evento 12 - 14 abril 2017.

Fuente: Autor.

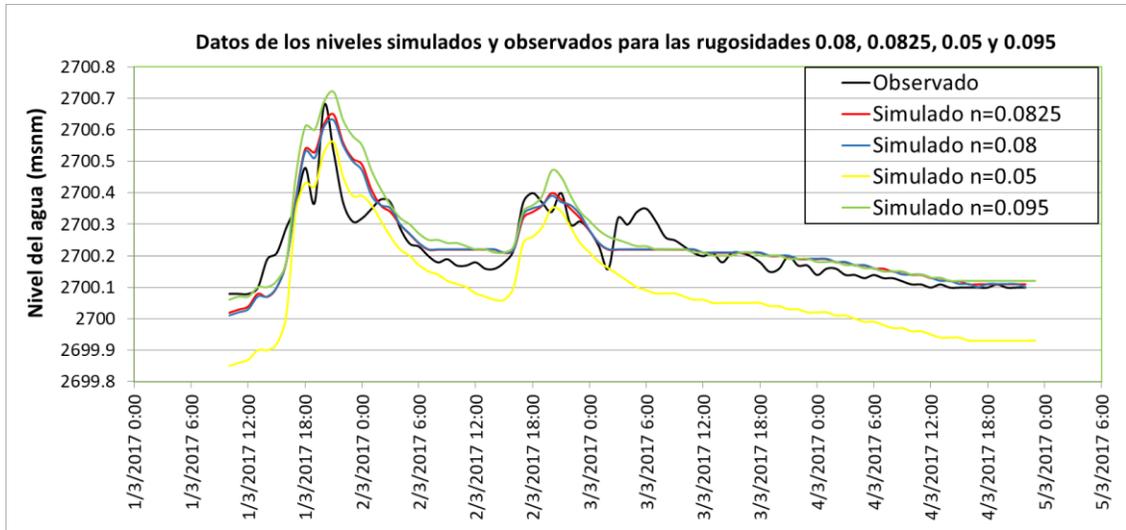
Evento del 1 – 4 marzo 2017 (50 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.13	0.15	0.00068	0.29	0.0048
	Squared	0.13	0.15	0.00068	0.29	0.0048
0.08	Average	0.04	0.06	0.00011	0.19	0.0015
	Squared	0.05	0.06	0.00011	0.19	0.0017
0.0825	Average	0.04	0.06	0.00012	0.2	0.0016
	Squared	0.05	0.06	0.00012	0.2	0.0036
0.095	Average	0.05	0.08	0.00018	0.27	0.0019
	Squared	0.06	0.08	0.00020	0.27	0.0021

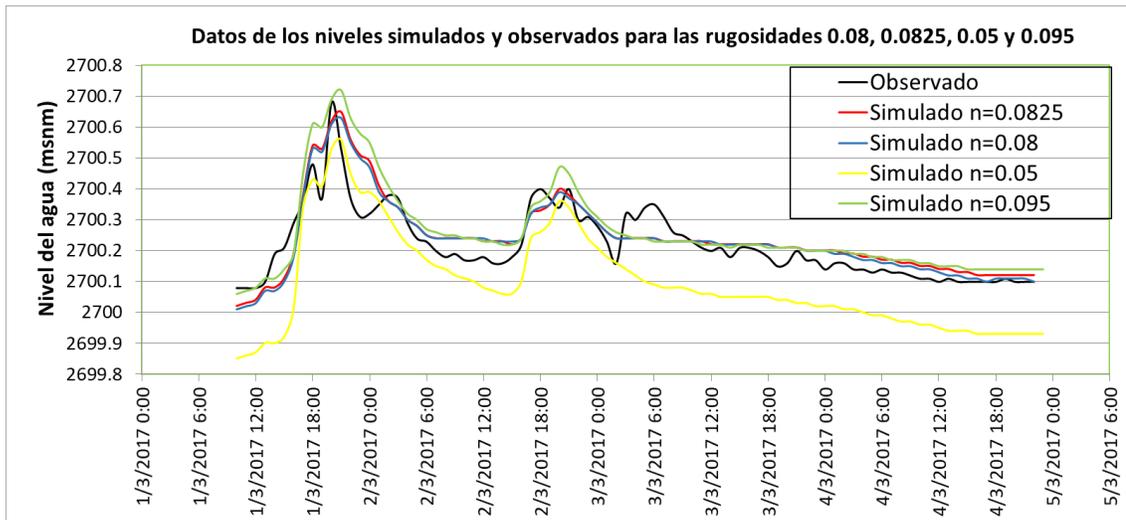
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 01 - 04 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 01 - 04 marzo 2017.

Fuente: Autor.

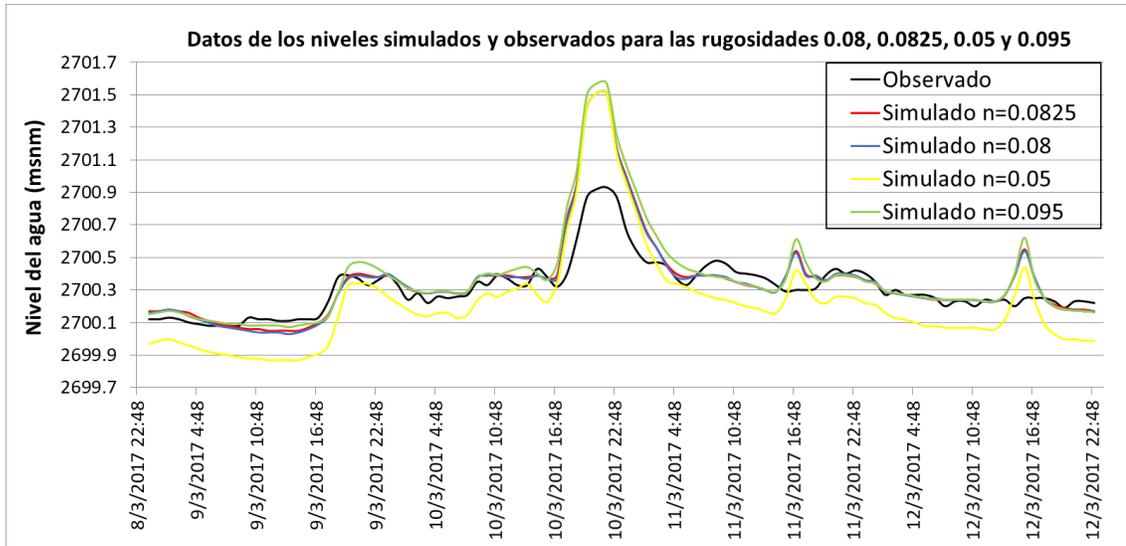
Evento del 9 – 12 marzo 2017 (50 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.18	0.20	0.00132	0.59	0.0058
	Squared	0.18	0.20	0.00132	0.59	0.0058
0.08	Average	0.08	0.14	0.00070	0.59	0.0028
	Squared	0.08	0.14	0.00070	0.59	0.0028
0.0825	Average	0.08	0.14	0.00071	0.59	0.0028
	Squared	0.08	0.14	0.00072	0.59	0.0028
0.095	Average	0.10	0.18	0.00098	0.65	0.0033
	Squared	0.10	0.18	0.00098	0.65	0.0034

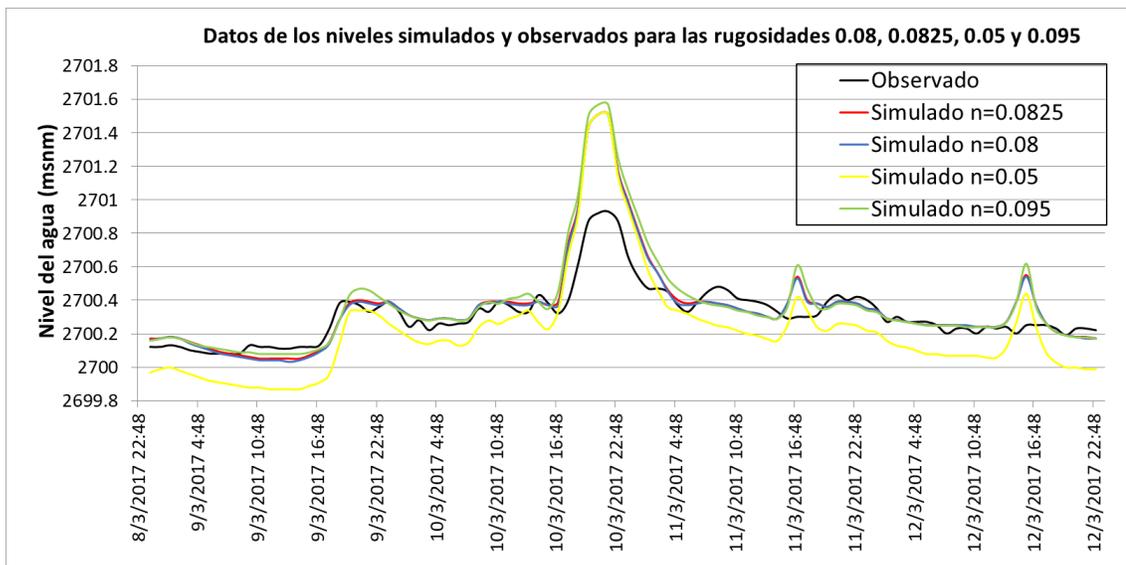
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 09 - 12 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 09 - 12 marzo 2017.

Fuente: Autor.

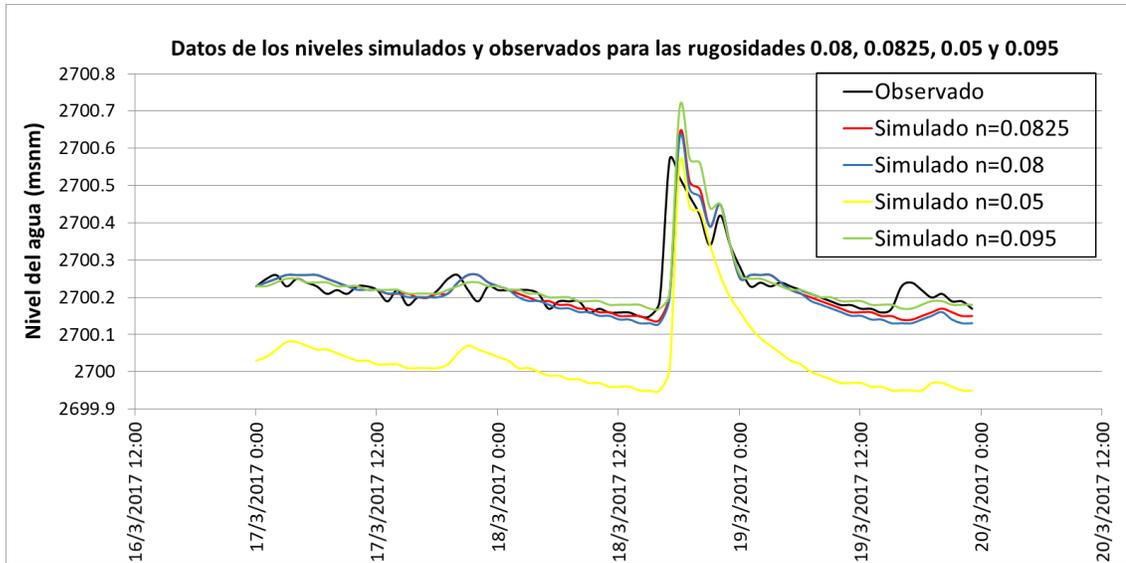
Evento del 17 – 19 marzo 2017 (50 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.19	0.20	0.00110	0.56	0.0071
	Squared	0.19	0.20	0.00110	0.56	0.0071
0.08	Average	0.03	0.06	0.00009	0.37	0.0012
	Squared	0.03	0.06	0.00009	0.37	0.0012
0.0825	Average	0.03	0.05	0.00008	0.36	0.0010
	Squared	0.03	0.06	0.00008	0.35	0.0011
0.095	Average	0.03	0.06	0.00009	0.36	0.0010
	Squared	0.04	0.06	0.00010	0.33	0.0015

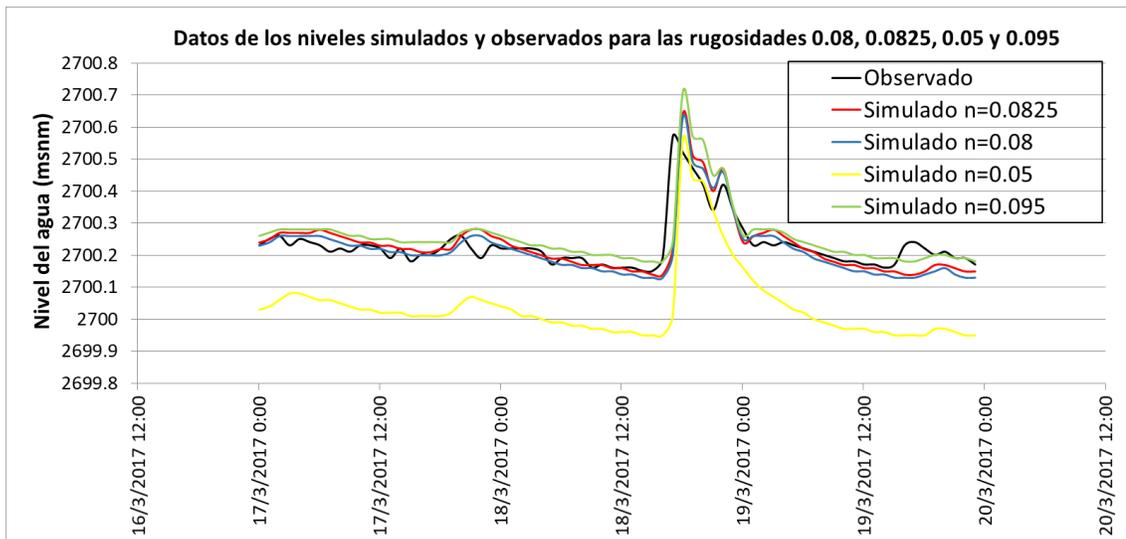
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 17 - 19 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 17 - 19 marzo 2017.

Fuente: Autor.

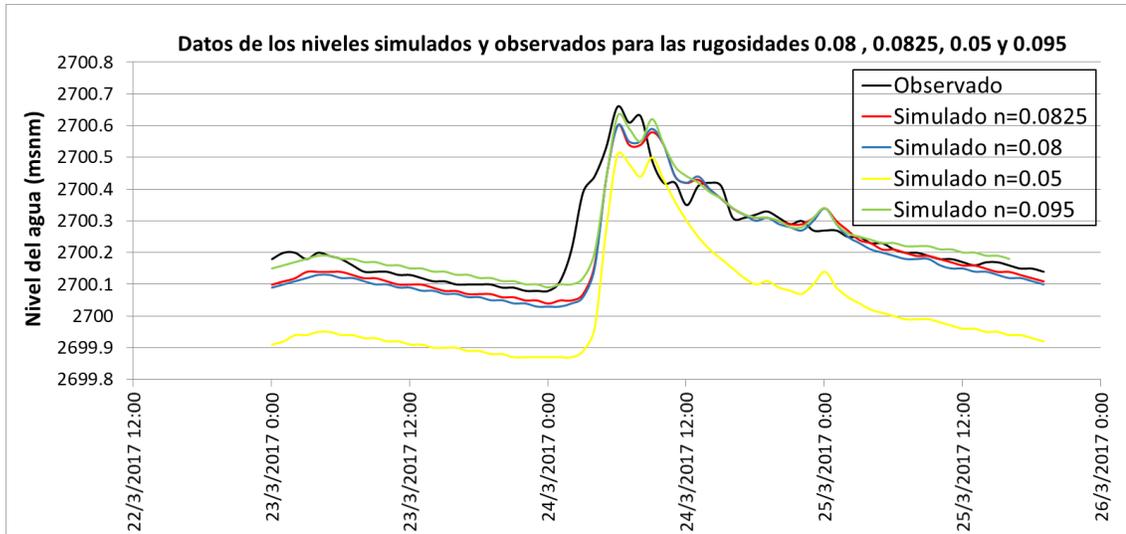
Evento del 23 – 25 marzo 2017 (50 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.21	0.22	0.00125	0.5	0.0078
	Squared	0.21	0.22	0.00125	0.5	0.0078
0.08	Average	0.05	0.07	0.00014	0.33	0.0019
	Squared	0.05	0.08	0.00014	0.33	0.0019
0.0825	Average	0.04	0.07	0.00012	0.32	0.0016
	Squared	0.04	0.07	0.00012	0.32	0.0016
0.095	Average	0.04	0.06	0.00009	0.27	0.0014
	Squared	0.04	0.06	0.00009	0.26	0.0017

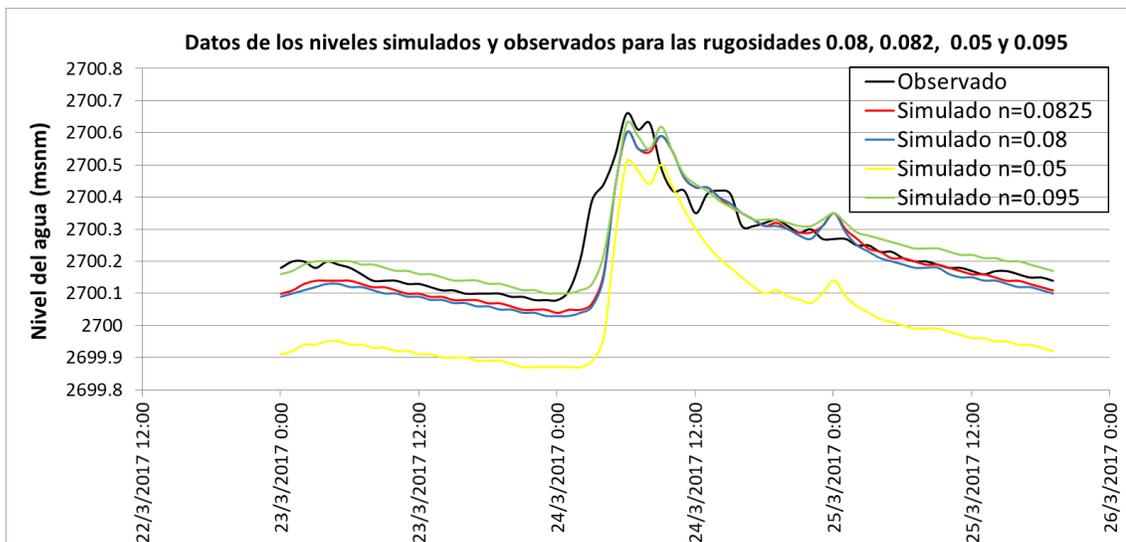
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 23 - 25 marzo abril 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 23 - 25 marzo 2017.

Fuente: Autor.

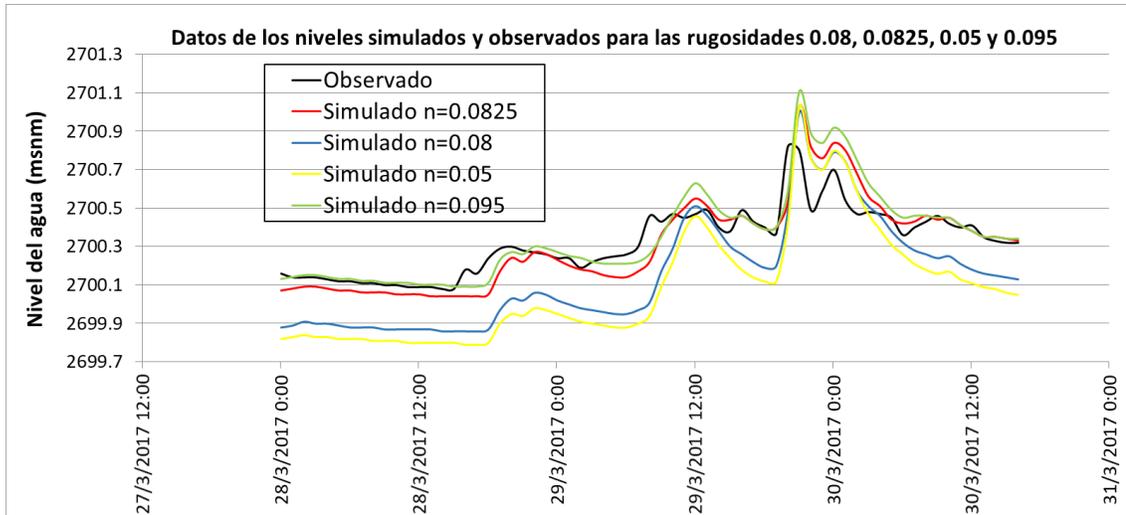
Evento del 28 – 30 marzo 2017 (50 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.27	0.28	0.00195	0.52	0.0099
	Squared	0.20	0.22	0.00120	0.45	0.0076
0.08	Average	0.08	0.11	0.00027	0.31	0.0029
	Squared	0.08	0.11	0.00027	0.31	0.0029
0.0825	Average	0.07	0.10	0.00026	0.33	0.0027
	Squared	0.07	0.10	0.00026	0.33	0.0027
0.095	Average	0.07	0.11	0.00030	0.4	0.0025
	Squared	0.07	0.11	0.00030	0.4	0.0025

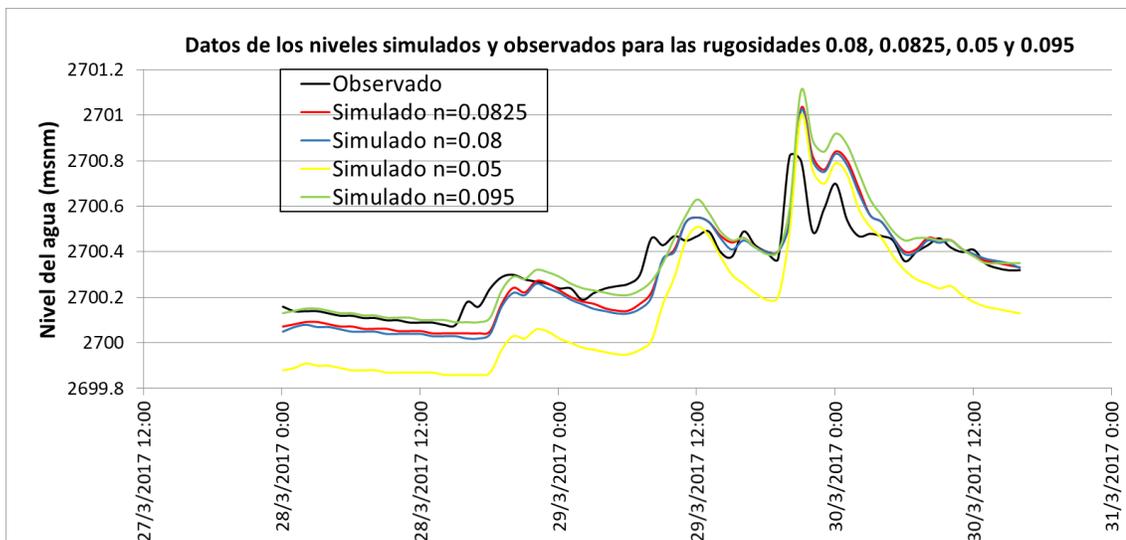
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 28 - 30 marzo 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 28 - 30 marzo 2017.

Fuente: Autor.

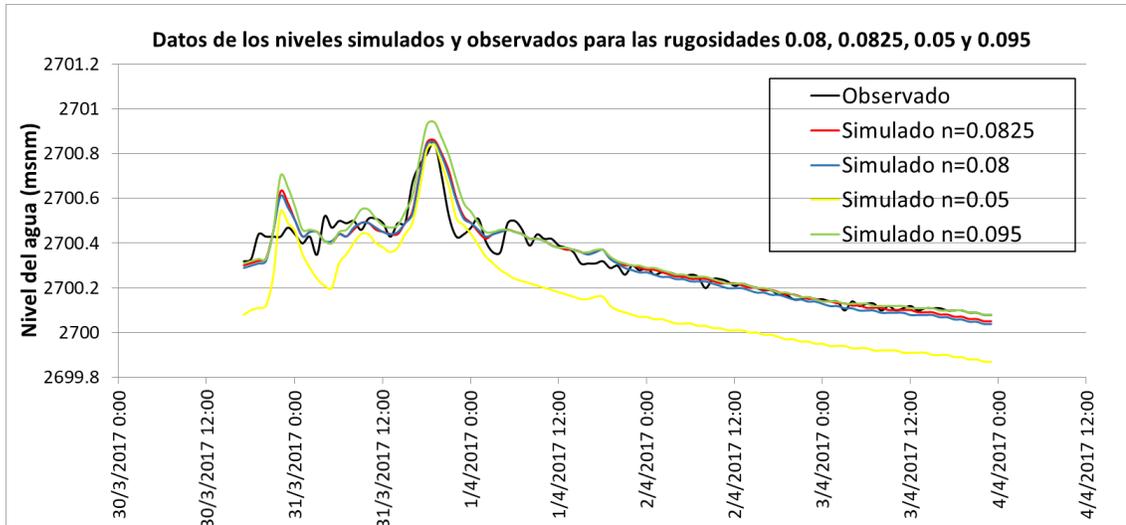
Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (50 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 30 - 03 abril 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balace de Masas (m)
0.05	Average	0.17	0.19	0.00131	0.33000	0.00639
	Squared	0.17	0.19	0.00132	0.33000	0.00644
0.08	Average	0.04	0.05	0.00010	0.18000	0.00139
	Squared	0.04	0.05	0.00010	0.18000	0.00141
0.0825	Average	0.03	0.05	0.00011	0.20000	0.00129
	Squared	0.04	0.05	0.00011	0.20000	0.00131
0.095	Average	0.04	0.07	0.00017	0.27000	0.00140
	Squared	0.04	0.07	0.00017	0.27000	0.00142

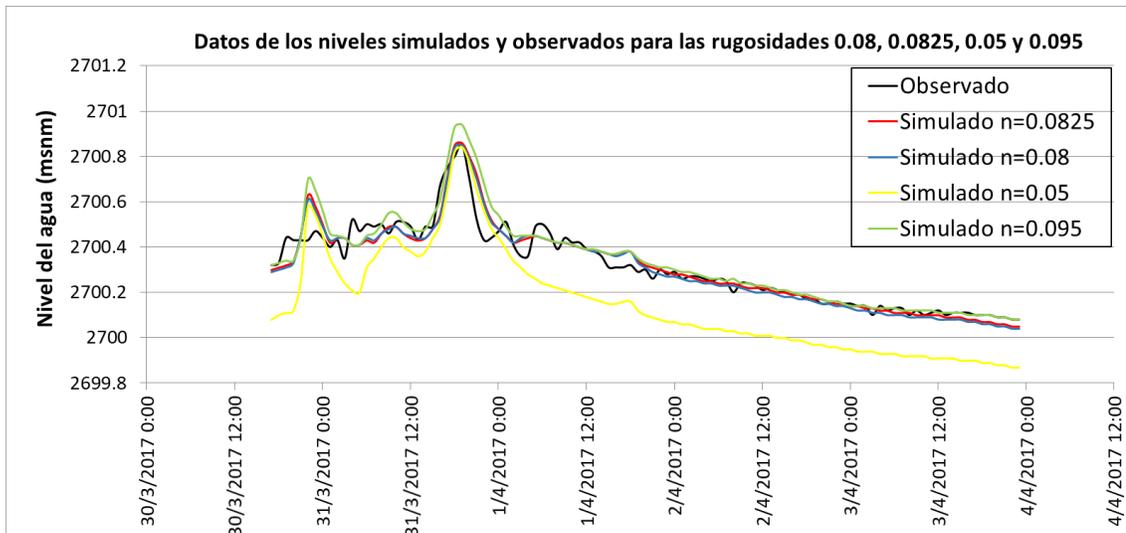
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 30 - 03 abril 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 30 - 03 abril 2017.

Fuente: Autor.

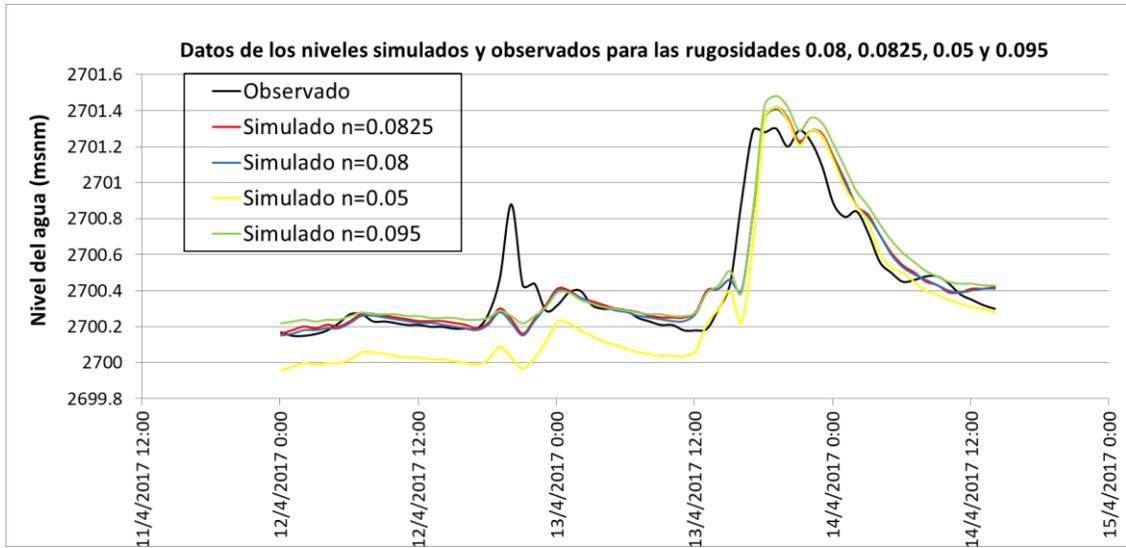
Evento del 12 – 14 abril 2017 (50 METROS)

Variación de la n Manning examinado con cinco técnicas distintas en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Error Medio (E)	Error medio cuadrático (EMC)	Chi Cuadrado (Chi)	Smirnov-Kolmogorov (D)	Balance de Masas (m)
0.05	Average	0.18	0.23	0.00126	0.85	0.0065
	Squared	0.18	0.23	0.00126	0.85	0.0066
0.08	Average	0.08	0.15	0.00051	0.66	0.0031
	Squared	0.09	0.15	0.00054	0.66	0.0035
0.0825	Average	0.09	0.15	0.00051	0.64	0.0033
	Squared	0.10	0.15	0.00054	0.64	0.0037
0.095	Average	0.11	0.16	0.00061	0.62	0.0040
	Squared	0.13	0.16	0.00063	0.57	0.0047

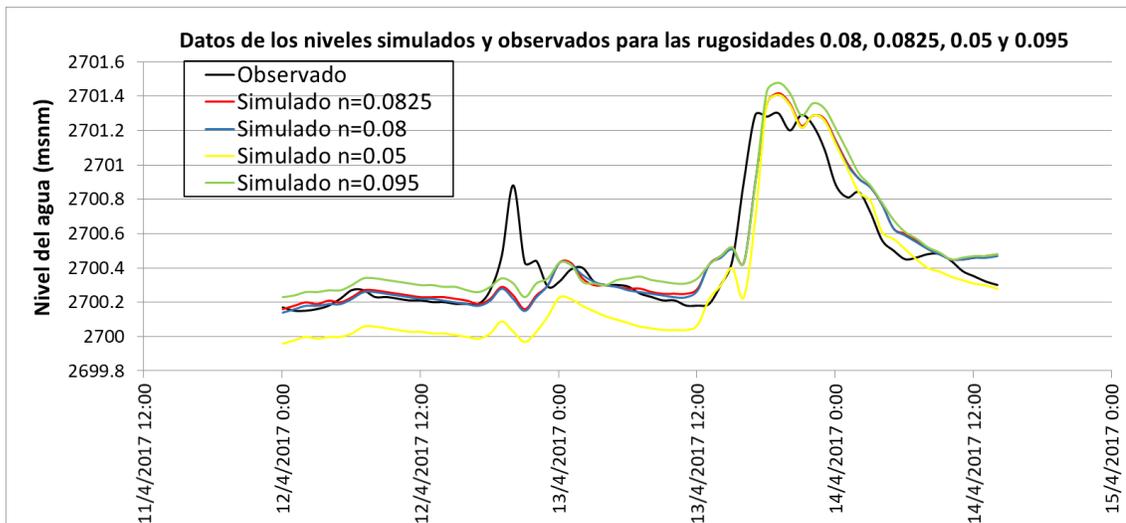
Fuente: Autor.

Las siguientes tablas están realizadas en base a las alturas de agua obtenidas de las simulaciones hechas anteriormente, en donde la curva negra representa el comportamiento real, mientras que la demás curva representa las alturas con su respectivo coeficiente de rugosidad.



Niveles de agua del río, error promedio, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 12 - 14 abril 2017.

Fuente: Autor.



Niveles de agua del río, error cuadrático, $n = 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095$ en una distancia entre secciones de 50 metros, evento 12 - 14 abril 2017.

Fuente: Autor.

Anexo 3: Resultados de los eventos sometidos al método Schultz, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095, cambiando el intervalo de tiempo entre: 5, 10 y 15 segundos.

Evento del 01 – 04 marzo 2017 (5 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 5 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	10	Bueno
	Squared	10	Bueno
0.08	Average	3	Bueno
	Squared	3	Bueno
0.0825	Average	3	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.095	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 09 – 12 marzo 2017 (5 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 5 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	12	Satisfactorio
	Squared	12	Satisfactorio
0.08	Average	6	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.0825	Average	6	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.095	Average	8	Bueno
	Squared	8	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 17 – 19 marzo 2017 (5 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 5 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	14	Satisfactorio
	Squared	14	Satisfactorio
0.08	Average	2	Muy Bueno
	Squared	2	Muy Bueno
0.0825	Average	2	Muy Bueno
	Squared	2	Muy Bueno
0.095	Average	2	Muy Bueno
	Squared	3	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 23 – 25 marzo 2017 (5 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 5 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	16	Satisfactorio
	Squared	16	Satisfactorio
0.08	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.0825	Average	3	Bueno
	Squared	3	Bueno
0.095	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 28 – 30 marzo 2017 (5 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 5 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	15	Satisfactorio
	Squared	15	Satisfactorio
0.08	Average	6	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.0825	Average	5	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.095	Average	5	Bueno
	Squared	5	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (5 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 5 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 30 - 03 abril 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	13	Satisfactorio
	Squared	13	Satisfactorio
0.08	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno
0.0825	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno
0.095	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 12 – 14 abril 2017 (5 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 5 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	13	Satisfactorio
	Squared	13	Satisfactorio
0.08	Average	6	Bueno
	Squared	7	Bueno
0.0825	Average	7	Bueno
	Squared	7	Bueno
0.095	Average	8	Bueno
	Squared	9	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 01 – 04 marzo 2017 (10 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 10 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	10	Bueno
	Squared	10	Bueno
0.08	Average	3	Bueno
	Squared	3	Bueno
0.0825	Average	3	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.095	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 09 – 12 marzo 2017 (10 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 10 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	12	Satisfactorio
	Squared	12	Satisfactorio
0.08	Average	6	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.0825	Average	6	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.095	Average	8	Bueno
	Squared	8	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 17 – 19 marzo 2017 (10 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 10 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	14	Satisfactorio
	Squared	14	Satisfactorio
0.08	Average	2	Muy Bueno
	Squared	2	Muy Bueno
0.0825	Average	2	Muy Bueno
	Squared	2	Muy Bueno
0.095	Average	2	Muy Bueno
	Squared	3	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 23 – 25 marzo 2017 (10 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 10 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	16	Satisfactorio
	Squared	16	Satisfactorio
0.08	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.0825	Average	3	Bueno
	Squared	3	Bueno
0.095	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 28 – 30 marzo 2017 (10 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 10 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	20	Insuficiente
	Squared	15	Satisfactorio
0.08	Average	6	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.0825	Average	5	Bueno
	Squared	5	Bueno
0.095	Average	5	Bueno
	Squared	5	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (10 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 10 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	13	Satisfactorio
	Squared	13	Satisfactorio
0.08	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno
0.0825	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno
0.095	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 12 – 14 abril 2017 (10 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 10 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	13	Satisfactorio
	Squared	13	Satisfactorio
0.08	Average	6	Bueno
	Squared	7	Bueno
0.0825	Average	7	Bueno
	Squared	7	Bueno
0.095	Average	8	Bueno
	Squared	9	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 01 – 04 marzo 2017 (15 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 15 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	10	Bueno
	Squared	10	Bueno
0.08	Average	3	Bueno
	Squared	3	Bueno
0.0825	Average	3	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.095	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 09 – 12 marzo 2017 (15 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 15 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	12	Satisfactorio
	Squared	12	Satisfactorio
0.08	Average	6	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.0825	Average	6	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.095	Average	8	Bueno
	Squared	8	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 17 – 19 marzo 2017 (15 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 15 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	14	Satisfactorio
	Squared	14	Satisfactorio
0.08	Average	2	Muy Bueno
	Squared	2	Muy Bueno
0.0825	Average	2	Muy Bueno
	Squared	2	Muy Bueno
0.095	Average	2	Muy Bueno
	Squared	3	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 23 – 25 marzo 2017 (15 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 15 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	16	Satisfactorio
	Squared	16	Satisfactorio
0.08	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.0825	Average	3	Bueno
	Squared	3	Bueno
0.095	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 28 – 30 marzo 2017 (15 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 15 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	15	Satisfactorio
	Squared	15	Satisfactorio
0.08	Average	6	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.0825	Average	5	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.095	Average	5	Bueno
	Squared	5	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (15 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 15 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	13	Satisfactorio
	Squared	13	Satisfactorio
0.08	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno
0.0825	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno
0.095	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 12 – 14 abril 2017 (15 SEGUNDOS)

Criterio de Schultz en un intervalo de cálculo de 15 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	13	Satisfactorio
	Squared	13	Satisfactorio
0.08	Average	6	Bueno
	Squared	7	Bueno
0.0825	Average	7	Bueno
	Squared	7	Bueno
0.095	Average	8	Bueno
	Squared	9	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 01 – 04 marzo 2017 (15 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 15 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	12	Satisfactorio
	Squared	12	Satisfactorio
0.08	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Bueno
0.0825	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno
0.095	Average	3	Muy Bueno
	Squared	4	Bueno

Fuente: Autor.

Anexo 4: Resultados de los eventos sometidos al método Schultz, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095 cambiando la distancia entre secciones: 15, 25 y 50 metros.

Evento del 09 – 12 marzo 2017 (15 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 15 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
	Squared	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
0.08	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.0825	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.095	Average	6	Bueno
	Squared	6	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 17 – 19 marzo 2017 (15 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 15 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	16	Satisfactorio
	Squared	16	Satisfactorio
0.08	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Bueno
0.0825	Average	2	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno
0.095	Average	167	Insuficiente
	Squared	3	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 23 – 25 marzo 2017 (15 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 15 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	17	Satisfactorio
	Squared	17	Satisfactorio
0.08	Average	5	Bueno
	Squared	5	Bueno
0.0825	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.095	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 28 – 30 marzo 2017 (15 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 15 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	16	Satisfactorio
	Squared	17	Satisfactorio
0.08	Average	5	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.0825	Average	5	Bueno
	Squared	5	Bueno
0.095	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (15 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 15 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	15	Satisfactorio
	Squared	15	Satisfactorio
0.08	Average	3	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.0825	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno
0.095	Average	2	Muy Bueno
	Squared	15	Satisfactorio

Fuente: Autor.

Evento del 12 – 14 abril 2017 (15 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 15 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
	Squared	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
0.08	Average	5	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.0825	Average	5	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.095	Average	6	Bueno
	Squared	8	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 01 – 04 marzo 2017 (25 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 25 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	12	Satisfactorio
	Squared	12	Satisfactorio
0.08	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno
0.0825	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno
0.095	Average	3	Muy Bueno
	Squared	4	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 09 – 12 marzo 2017 (25 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 25 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	13	Satisfactorio
	Squared	6	Bueno
0.08	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.0825	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.095	Average	6	Bueno
	Squared	6	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 17 – 19 marzo 2017 (25 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 25 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	16	Satisfactorio
	Squared	16	Satisfactorio
0.08	Average	3	Bueno
	Squared	3	Bueno
0.0825	Average	2	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno
0.095	Average	2	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 23 – 25 marzo 2017 (25 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 25 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	18	Satisfactorio
	Squared	18	Satisfactorio
0.08	Average	5	Bueno
	Squared	5	Bueno
0.0825	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.095	Average	2	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 28 – 30 marzo 2017 (25 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 25 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	17	Satisfactorio
	Squared	17	Satisfactorio
0.08	Average	5	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.0825	Average	5	Bueno
	Squared	5	Bueno
0.095	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (25 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 25 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	16	Satisfactorio
	Squared	16	Satisfactorio
0.08	Average	3	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.0825	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Bueno
0.095	Average	2	Muy Bueno
	Squared	2	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 12 – 14 abril 2017 (25 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 25 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	16	Satisfactorio
	Squared	16	Satisfactorio
0.08	Average	6	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.0825	Average	5	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.095	Average	16	Satisfactorio
	Squared	8	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 01 – 04 marzo 2017 (50 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 50 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	10	Bueno
	Squared	10	Bueno
0.08	Average	3	Bueno
	Squared	3	Bueno
0.0825	Average	3	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.095	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 09 – 12 marzo 2017 (50 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 50 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	12	Satisfactorio
	Squared	12	Satisfactorio
0.08	Average	6	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.0825	Average	6	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.095	Average	8	Bueno
	Squared	8	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 17 – 19 marzo 2017 (50 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 50 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	14	Satisfactorio
	Squared	14	Satisfactorio
0.08	Average	2	Muy Bueno
	Squared	2	Muy Bueno
0.0825	Average	2	Muy Bueno
	Squared	2	Muy Bueno
0.095	Average	2	Muy Bueno
	Squared	3	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 23 – 25 marzo 2017 (50 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 50 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	16	Satisfactorio
	Squared	16	Satisfactorio
0.08	Average	4	Bueno
	Squared	4	Bueno
0.0825	Average	3	Bueno
	Squared	3	Bueno
0.095	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Bueno

Evento del 28 – 30 marzo 2017 (50 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 50 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	20	Insuficiente
	Squared	15	Satisfactorio
0.08	Average	6	Bueno
	Squared	6	Bueno
0.0825	Average	5	Bueno
	Squared	5	Bueno
0.095	Average	5	Bueno
	Squared	5	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (50 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 50 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	13	Satisfactorio
	Squared	13	Satisfactorio
0.08	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno
0.0825	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno
0.095	Average	3	Muy Bueno
	Squared	3	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 12 – 14 abril 2017 (50 METROS)

Criterio de Schultz en un espaciamiento entre secciones de 50 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Schultz	
		S	Ajuste
0.05	Average	13	Satisfactorio
	Squared	13	Satisfactorio
0.08	Average	6	Bueno
	Squared	7	Bueno
0.0825	Average	7	Bueno
	Squared	7	Bueno
0.095	Average	8	Bueno
	Squared	9	Bueno

Fuente: Autor.

Anexo 5: Resultados de los eventos sometidos criterio de Nash – Sutcliffe, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095 cambiando el intervalo de tiempo entre: 5, 10 y 15 segundos.

Evento del 01 – 04 marzo 2017 (5 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 5 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-0.65	Insuficiente
	Squared	-0.65	Insuficiente
0.08	Average	0.73	Muy Bueno
	Squared	0.72	Muy Bueno
0.0825	Average	0.71	Muy Bueno
	Squared	0.70	Muy Bueno
0.095	Average	0.55	Bueno
	Squared	0.52	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 09 – 12 marzo 2017 (5 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 5 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-0.10	Insuficiente
	Squared	-0.10	Insuficiente
0.08	Average	0.34	Satisfactorio
	Squared	0.34	Satisfactorio
0.0825	Average	0.32	Satisfactorio
	Squared	0.32	Satisfactorio
0.095	Average	0.12	Insuficiente
	Squared	0.12	Insuficiente

Fuente: Autor.

Evento del 17 – 19 marzo 2017 (5 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 5 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-5.62	Insuficiente
	Squared	-5.62	Insuficiente
0.08	Average	0.48	Bueno
	Squared	0.47	Bueno
0.0825	Average	0.52	Bueno
	Squared	0.48	Bueno
0.095	Average	0.46	Bueno
	Squared	0.37	Satisfactorio

Fuente: Autor.

Evento del 23 – 25 marzo 2017 (5 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 5 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-1.61	Insuficiente
	Squared	-1.61	Insuficiente
0.08	Average	0.70	Muy Bueno
	Squared	0.70	Muy Bueno
0.0825	Average	0.75	Muy Bueno
	Squared	0.74	Muy Bueno
0.095	Average	0.88	Excelente
	Squared	0.87	Excelente

Fuente: Autor.

Evento del 28 – 30 marzo 2017 (5 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 5 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-0.68	Insuficiente
	Squared	-0.68	Insuficiente
0.08	Average	0.62	Muy Bueno
	Squared	0.62	Muy Bueno
0.0825	Average	0.64	Muy Bueno
	Squared	0.63	Muy Bueno
0.095	Average	0.57	Bueno
	Squared	0.58	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (5 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 5 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-0.33	Insuficiente
	Squared	-0.17	Insuficiente
0.08	Average	0.91	Excelente
	Squared	0.91	Excelente
0.0825	Average	0.91	Excelente
	Squared	0.91	Excelente
0.095	Average	0.85	Excelente
	Squared	0.85	Excelente

Fuente: Autor.

Evento del 12 – 14 abril 2017 (5 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 5 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	0.52	Bueno
	Squared	0.52	Bueno
0.08	Average	0.80	Excelente
	Squared	0.80	Muy Bueno
0.0825	Average	0.80	Excelente
	Squared	0.80	Muy Bueno
0.095	Average	0.77	Muy Bueno
	Squared	0.76	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 01 – 04 marzo 2017 (10 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 10 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-0.65	Insuficiente
	Squared	-0.65	Insuficiente
0.08	Average	0.74	Muy Bueno
	Squared	0.72	Muy Bueno
0.0825	Average	0.71	Muy Bueno
	Squared	0.70	Muy Bueno
0.095	Average	0.55	Bueno
	Squared	0.52	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 09 – 12 marzo 2017 (10 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 10 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-0.10	Insuficiente
	Squared	-0.10	Insuficiente
0.08	Average	0.34	Satisfactorio
	Squared	0.34	Satisfactorio
0.0825	Average	0.32	Satisfactorio
	Squared	0.32	Satisfactorio
0.095	Average	0.12	Insuficiente
	Squared	0.12	Insuficiente

Fuente: Autor.

Evento del 17 – 19 marzo 2017 (10 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 10 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-5.62	Insuficiente
	Squared	-5.62	Insuficiente
0.08	Average	0.49	Bueno
	Squared	0.48	Bueno
0.0825	Average	0.53	Bueno
	Squared	0.51	Bueno
0.095	Average	0.48	Bueno
	Squared	0.39	Satisfactorio

Fuente: Autor.

Evento del 23 – 25 marzo 2017 (10 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 10 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-1.61	Insuficiente
	Squared	-1.61	Insuficiente
0.08	Average	0.71	Muy Bueno
	Squared	0.70	Muy Bueno
0.0825	Average	0.75	Muy Bueno
	Squared	0.74	Muy Bueno
0.095	Average	0.81	Excelente
	Squared	0.80	Excelente

Fuente: Autor.

Evento del 28 – 30 marzo 2017 (10 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 10 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-1.74	Insuficiente
	Squared	-0.69	Insuficiente
0.08	Average	0.62	Muy Bueno
	Squared	0.62	Muy Bueno
0.0825	Average	0.64	Muy Bueno
	Squared	0.63	Muy Bueno
0.095	Average	0.58	Bueno
	Squared	0.58	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (10 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 10 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-0.33	Insuficiente
	Squared	-0.17	Insuficiente
0.08	Average	0.91	Excelente
	Squared	0.91	Excelente
0.0825	Average	0.91	Excelente
	Squared	0.90	Excelente
0.095	Average	0.85	Excelente
	Squared	0.85	Excelente

Fuente: Autor.

Evento del 12 – 14 abril 2017 (10 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 10 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	0.52	Bueno
	Squared	0.52	Bueno
0.08	Average	0.81	Excelente
	Squared	0.80	Muy Bueno
0.0825	Average	0.81	Excelente
	Squared	0.80	Muy Bueno
0.095	Average	0.77	Muy Bueno
	Squared	0.76	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 01 – 04 marzo 2017 (15 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 15 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-0.65	Insuficiente
	Squared	-0.66	Insuficiente
0.08	Average	0.74	Muy Bueno
	Squared	0.73	Muy Bueno
0.0825	Average	0.71	Muy Bueno
	Squared	0.70	Muy Bueno
0.095	Average	0.55	Bueno
	Squared	0.52	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 09 – 12 marzo 2017 (15 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 15 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-0.10	Insuficiente
	Squared	-0.10	Insuficiente
0.08	Average	0.34	Satisfactorio
	Squared	0.34	Satisfactorio
0.0825	Average	0.32	Satisfactorio
	Squared	0.32	Satisfactorio
0.095	Average	0.12	Insuficiente
	Squared	0.12	Insuficiente

Fuente: Autor.

Evento del 17 – 19 marzo 2017 (15 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 15 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-5.62	Insuficiente
	Squared	-5.62	Insuficiente
0.08	Average	0.49	Bueno
	Squared	0.49	Bueno
0.0825	Average	0.54	Bueno
	Squared	0.51	Bueno
0.095	Average	0.48	Bueno
	Squared	0.39	Satisfactorio

Fuente: Autor.

Evento del 23 – 25 marzo 2017 (15 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 15 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-1.61	Insuficiente
	Squared	-1.61	Insuficiente
0.08	Average	0.71	Muy Bueno
	Squared	0.70	Muy Bueno
0.0825	Average	0.75	Muy Bueno
	Squared	0.74	Muy Bueno
0.095	Average	0.88	Excelente
	Squared	0.87	Excelente

Fuente: Autor.

Evento del 28 – 30 marzo 2017 (15 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 15 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-0.68	Insuficiente
	Squared	-0.68	Insuficiente
0.08	Average	0.62	Muy Bueno
	Squared	0.62	Muy Bueno
0.0825	Average	0.64	Muy Bueno
	Squared	0.64	Muy Bueno
0.095	Average	0.58	Bueno
	Squared	0.58	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (15 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 15 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-0.32	Insuficiente
	Squared	-0.17	Insuficiente
0.08	Average	0.91	Excelente
	Squared	0.91	Excelente
0.0825	Average	0.91	Excelente
	Squared	0.91	Excelente
0.095	Average	0.85	Excelente
	Squared	0.85	Excelente

Fuente: Autor.

Evento del 12 – 14 abril 2017 (15 SEGUNDOS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un intervalo de cálculo de 15 segundos variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	0.53	Bueno
	Squared	0.52	Bueno
0.08	Average	0.81	Excelente
	Squared	0.80	Muy Bueno
0.0825	Average	0.80	Excelente
	Squared	0.80	Muy Bueno
0.095	Average	0.77	Muy Bueno
	Squared	0.76	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Anexo 6: Resultados de los eventos sometidos criterio de Nash – Sutcliffe, para los distintos valores de rugosidad: 0.05, 0.08, 0.0825, 0.095 cambiando la distancia entre secciones: 15, 25 y 50 metros.

Evento del 01 – 04 marzo 2017 (15 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 15 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-1.35	Insuficiente
	Squared	-1.36	Insuficiente
0.08	Average	0.80	Excelente
	Squared	0.79	Muy Bueno
0.0825	Average	0.81	Excelente
	Squared	0.79	Muy Bueno
0.095	Average	0.73	Muy Bueno
	Squared	0.69	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 09 – 12 marzo 2017 (15 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 15 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
	Squared	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
0.08	Average	0.76	Muy Bueno
	Squared	0.76	Muy Bueno
0.0825	Average	0.72	Muy Bueno
	Squared	0.72	Muy Bueno
0.095	Average	0.47	Bueno
	Squared	0.47	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 17 – 19 marzo 2017 (15 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 15 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-7.52	Insuficiente
	Squared	-7.53	Insuficiente
0.08	Average	0.34	Satisfactorio
	Squared	0.33	Satisfactorio
0.0825	Average	0.48	Bueno
	Squared	0.46	Bueno
0.095	Average	-902.87	Insuficiente
	Squared	0.53	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 23 – 25 marzo 2017 (15 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 15 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-2.21	Insuficiente
	Squared	-2.21	Insuficiente
0.08	Average	0.60	Muy Bueno
	Squared	0.61	Muy Bueno
0.0825	Average	0.67	Muy Bueno
	Squared	0.67	Muy Bueno
0.095	Average	0.88	Excelente
	Squared	0.88	Excelente

Fuente: Autor.

Evento del 28 – 30 marzo 2017 (15 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 15 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-1.00	Insuficiente
	Squared	-1.01	Insuficiente
0.08	Average	0.68	Muy Bueno
	Squared	0.68	Muy Bueno
0.0825	Average	0.71	Muy Bueno
	Squared	0.71	Muy Bueno
0.095	Average	0.74	Muy Bueno
	Squared	0.74	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (15 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 15 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-1.15	Insuficiente
	Squared	-0.58	Insuficiente
0.08	Average	0.90	Excelente
	Squared	0.89	Excelente
0.0825	Average	0.92	Excelente
	Squared	0.91	Excelente
0.095	Average	0.92	Excelente
	Squared	-0.58	Insuficiente

Fuente: Autor.

Evento del 12 – 14 abril 2017 (15 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 15 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
	Squared	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
0.08	Average	0.82	Excelente
	Squared	0.81	Excelente
0.0825	Average	0.82	Excelente
	Squared	0.81	Excelente
0.095	Average	0.82	Excelente
	Squared	0.81	Excelente

Fuente: Autor.

Evento del 01 – 04 marzo 2017 (25 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 25 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-1.32	Insuficiente
	Squared	-1.32	Insuficiente
0.08	Average	0.81	Excelente
	Squared	0.79	Muy Bueno
0.0825	Average	0.80	Excelente
	Squared	0.79	Muy Bueno
0.095	Average	0.73	Muy Bueno
	Squared	0.69	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 09 – 12 marzo 2017 (25 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 25 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-0.22	Insuficiente
	Squared	0.50	Bueno
0.08	Average	0.74	Muy Bueno
	Squared	0.74	Muy Bueno
0.0825	Average	0.71	Muy Bueno
	Squared	0.71	Muy Bueno
0.095	Average	0.47	Bueno
	Squared	0.47	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 17 – 19 marzo 2017 (25 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 25 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-7.43	Insuficiente
	Squared	-7.42	Insuficiente
0.08	Average	0.34	Satisfactorio
	Squared	0.32	Satisfactorio
0.0825	Average	0.48	Bueno
	Squared	0.45	Bueno
0.095	Average	0.61	Muy Bueno
	Squared	0.53	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 23 – 25 marzo 2017 (25 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 25 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-2.27	Insuficiente
	Squared	-2.27	Insuficiente
0.08	Average	0.61	Muy Bueno
	Squared	0.61	Muy Bueno
0.0825	Average	0.67	Muy Bueno
	Squared	0.67	Muy Bueno
0.095	Average	0.88	Excelente
	Squared	0.88	Excelente

Fuente: Autor.

Evento del 28 – 30 marzo 2017 (25 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 25 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-1.00	Insuficiente
	Squared	-1.00	Insuficiente
0.08	Average	0.67	Muy Bueno
	Squared	0.67	Muy Bueno
0.0825	Average	0.70	Muy Bueno
	Squared	0.70	Muy Bueno
0.095	Average	0.74	Muy Bueno
	Squared	0.73	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (25 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 25 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-1.31	Insuficiente
	Squared	-0.65	Insuficiente
0.08	Average	0.90	Excelente
	Squared	0.89	Excelente
0.0825	Average	0.92	Excelente
	Squared	0.91	Excelente
0.095	Average	0.91	Excelente
	Squared	0.91	Excelente

Fuente: Autor.

Evento del 12 – 14 abril 2017 (25 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 25 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	0.39	Satisfactorio
	Squared	0.39	Satisfactorio
0.08	Average	0.81	Excelente
	Squared	0.81	Excelente
0.0825	Average	0.82	Excelente
	Squared	0.81	Excelente
0.095	Average	0.39	Satisfactorio
	Squared	0.81	Excelente

Fuente: Autor.

Evento del 01 – 04 marzo 2017 (50 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 50 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 01 - 04 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-0.65	Insuficiente
	Squared	-0.65	Insuficiente
0.08	Average	0.74	Muy Bueno
	Squared	0.72	Muy Bueno
0.0825	Average	0.71	Muy Bueno
	Squared	0.70	Muy Bueno
0.095	Average	0.55	Bueno
	Squared	0.52	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 09 – 12 marzo 2017 (50 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamento entre secciones de 50 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 09 - 12 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-0.10	Insuficiente
	Squared	-0.10	Insuficiente
0.08	Average	0.34	Satisfactorio
	Squared	0.34	Satisfactorio
0.0825	Average	0.32	Satisfactorio
	Squared	0.32	Satisfactorio
0.095	Average	0.12	Insuficiente
	Squared	0.12	Insuficiente

Fuente: Autor.

Evento del 17 – 19 marzo 2017 (50 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamento entre secciones de 50 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 17 - 19 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-5.62	Insuficiente
	Squared	-5.62	Insuficiente
0.08	Average	0.49	Bueno
	Squared	0.48	Bueno
0.0825	Average	0.53	Bueno
	Squared	0.51	Bueno
0.095	Average	0.48	Bueno
	Squared	0.39	Satisfactorio

Fuente: Autor.

Evento del 23 – 25 marzo 2017 (50 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 50 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 23 - 25 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-1.61	Insuficiente
	Squared	-1.61	Insuficiente
0.08	Average	0.71	Muy Bueno
	Squared	0.70	Muy Bueno
0.0825	Average	0.75	Muy Bueno
	Squared	0.74	Muy Bueno
0.095	Average	0.81	Excelente
	Squared	0.80	Excelente

Fuente: Autor.

Evento del 28 – 30 marzo 2017 (50 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 50 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 28 - 30 marzo 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-1.74	Insuficiente
	Squared	-0.69	Insuficiente
0.08	Average	0.62	Muy Bueno
	Squared	0.62	Muy Bueno
0.0825	Average	0.64	Muy Bueno
	Squared	0.63	Muy Bueno
0.095	Average	0.58	Bueno
	Squared	0.58	Bueno

Fuente: Autor.

Evento del 30 marzo – 03 abril 2017 (50 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 50 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 30 marzo - 03 abril 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	-0.33	Insuficiente
	Squared	-0.17	Insuficiente
0.08	Average	0.91	Excelente
	Squared	0.91	Excelente
0.0825	Average	0.91	Excelente
	Squared	0.90	Excelente
0.095	Average	0.85	Excelente
	Squared	0.85	Excelente

Fuente: Autor.

Evento del 12 – 14 abril 2017 (50 METROS)

Criterio de Nash - Sutcliffe en un espaciamiento entre secciones de 50 metros variando el método de evaluación de error entre el error promedio (Average) y error medio cuadrático (Squared) con su respectiva n de Manning, evento 12 - 14 abril 2017.

n de Manning		Nash y Sutcliffe	
		NSE	Ajuste
0.05	Average	0.52	Bueno
	Squared	0.52	Bueno
0.08	Average	0.81	Excelente
	Squared	0.80	Muy Bueno
0.0825	Average	0.81	Excelente
	Squared	0.80	Muy Bueno
0.095	Average	0.77	Muy Bueno
	Squared	0.76	Muy Bueno

Fuente: Autor.

Anexo 7: Anexo digital, tablas en el software Excel “Análisis de sensibilidad de la calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente mediante los métodos propuestos ante la variación de la n de Manning inicial” en un intervalo de cálculo de 5 segundos.

Anexo 8: Anexo digital, tablas en el software Excel “Análisis de sensibilidad de la calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente mediante los métodos propuestos ante la variación de la n de Manning inicial” en un intervalo de cálculo de 10 segundos.

Anexo 9: Anexo digital, tablas en el software Excel “Análisis de sensibilidad de la calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente mediante los métodos propuestos ante la variación de la n de Manning inicial” en un intervalo de cálculo de 15 segundos.

Anexo 10: Anexo digital, tablas en el software Excel “Análisis de sensibilidad de la calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente mediante los métodos propuestos ante la variación de la n de Manning inicial” en una distancia entre secciones de 15 metros.

Anexo 11: Anexo digital, tablas en el software Excel “Análisis de sensibilidad de la calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente mediante los métodos propuestos ante la variación de la n de Manning inicial” en una distancia entre secciones de 25 metros.

Anexo 12: Anexo digital, tablas en el software Excel “Análisis de sensibilidad de la calibración del modelo hidráulico en régimen impermanente mediante los métodos propuestos ante la variación de la n de Manning inicial” en una distancia entre secciones de 50 metros.