

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS
CON UN MODELO FÍSICO DE UNA OBRA DE DERIVACIÓN**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**ELABORADO POR
MARTÍN ADRIÁN CIEZA UCEDA**

ID: 0009-0001-7121-1046

**ASESOR
Dr. MIGUEL ANGEL ZUBIAUR ALEJOS**

ID: 0000-0002-9753-3262

LIMA- PERÚ

2024

© 2024, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Cieza Uceda, Martín Adrián

mciezau@uni.pe

970710511

ÍNDICE

Resumen	7
Abstract.....	8
Prólogo.....	9
Lista de tablas.....	11
Lista de figuras	14
Lista de símbolos y siglas	25
Capítulo I: Introducción.....	27
1.1. Generalidades.....	27
1.2. Problemática	27
1.3. Objetivos.....	28
1.3.1. Objetivo General	28
1.3.2. Objetivos Específicos	28
1.4. Hipótesis	28
1.4.1. Hipótesis General.....	28
Capítulo II: Marco teórico y conceptual.....	29
2.1. Modelo físico.....	29
2.1.1. Métodos del análisis dimensional	30
2.1.2. Parámetros adimensionales en mecánica de fluidos	34
2.1.3. Similitud y modelos	35
2.1.4. Similitud absoluta y paradoja de la imposibilidad	36
2.1.5. Similitud restringida y efectos de escala.....	37
2.1.6. Modelos de escurrimiento a superficie libre.....	37
2.1.7. Modelos de canales y ríos a fondo fijo	37
2.1.8. Flujo turbulento rugoso en canales	38
2.1.9. Otras consideraciones en un modelo físico	38
2.2. Modelo numérico	39
2.2.1. Modelo unidimensional.....	39
2.2.2. Modelo bidimensional	40
2.2.3. Modelo Hec-Ras	40

2.3. Teoría del error	43
2.3.1. Tipos de error.....	43
2.3.2. Precisión, exactitud y sensibilidad.....	44
2.3.3. Error relativo y absoluto	44
2.4. Obra de derivación.....	45
Capítulo III: Modelo físico.....	46
3.1. Introducción	46
3.2. Descripción del modelo de lecho fijo	47
3.2.1. Suministro de agua	48
3.2.2. Esquema de modelo físico	48
3.2.3. Esquema sistema de recirculación de agua	49
3.2.4. Primer diseño de las estructuras	50
3.2.5. Segundo diseño de las estructuras	51
3.3. Escalas del modelo	52
3.4. Construcción del modelo.....	53
3.5. Calibración.....	54
3.6. Metodología de las mediciones.....	56
3.6.1. Medición de niveles de agua.....	56
3.6.2. Medición de velocidad media	57
3.6.3. Medición del caudal de entrada y de salida.....	57
3.6.4. Hidrograma de los caudales de ensayo	58
3.7. Fuentes de error	60
3.8. Relación de simulaciones en el modelo físico	60
3.9. Resultados.....	61
3.9.1. Simulación del modelo físico con el primer diseño de estructuras en el escenario 'sin colmatar'.....	61
3.9.2. Simulación del modelo físico con el primer diseño de estructuras en el escenario 'colmataado'	65

3.9.3. Simulación del modelo físico con el segundo diseño de estructuras en el escenario 'sin colmatar'	67
3.9.4. Simulación del modelo físico con el segundo diseño de estructuras en el escenario 'colmataado'	81
Capítulo IV: Modelos numéricos.....	93
4.1. Introducción	93
4.2. Metodología de la simulación de modelos numéricos	93
4.3. Relación de simulación de modelos numéricos	94
4.4. Construcción de los modelos numéricos sin estructuras	96
4.4.1. Definición del dominio computacional	96
4.4.2. Configuración de la malla.....	96
4.4.3. Representación del terreno	96
4.4.4. Definición de la rugosidad del cauce	97
4.4.5. Definición de las condiciones de borde	97
4.4.6. Definición de las ecuaciones a utilizar.....	98
4.4.7. Configuración del paso de tiempo (<i>timestep</i>)	99
4.5. Resultados para el escenario de caudal permanente $Q=129,17 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q=276,19 \text{ m}^3/\text{s}$	100
4.5.1. Tirante máximo	100
4.5.2. Velocidades máximas	101
4.5.3. Niveles máximos.....	103
4.5.4. Distribución de caudales	104
4.6. Construcción de los modelos numéricos con estructuras.....	105
4.6.1. Configuración de la malla.....	105
4.6.2. Representación del terreno	106
4.6.3. Definición de la rugosidad del cauce	107
4.6.4. Calibración del coeficiente de descarga del vertedero	108
4.6.5. Definición de las condiciones de borde	109
4.7. Sensibilidad del tamaño de malla.....	111

4.7.1. Escenario de comparación.....	111
4.7.2. Diferentes configuraciones de la malla.....	111
4.7.3. Comparación de resultados	112
4.7.4. Comparación de los tiempos computacionales	118
4.7.5. Elección de la malla	119
4.8. Resultados para el escenario de TR de 50 años con el primer diseño de estructuras con el lecho sin colmatar	119
4.8.1. Tirantes máximos	119
4.8.2. Velocidades Máximas	120
4.8.3. Niveles máximos.....	121
4.8.4. Distribución de caudales	122
4.9. Resultados para el escenario de TR de 50 años con el primer diseño de estructuras con el lecho colmatado	124
4.9.1. Tirantes máximos.....	124
4.9.2. Velocidades Máximas	124
4.9.3. Niveles máximos.....	125
4.9.4. Distribución de caudales	126
4.10. Resultados para el escenario de TR de 50 años y de 100 años con el segundo diseño de estructuras con el lecho sin colmatar	127
4.10.1. Tirantes máximos.....	127
4.10.2. Velocidades Máximas	128
4.10.3. Niveles máximos	130
4.10.4. Distribución de caudales	131
4.11. Resultados para el escenario de TR de 50 años y de 100 años con el segundo diseño de estructuras con el lecho colmatado.....	132
4.11.1. Tirantes máximos.....	132
4.11.2. Velocidades Máximas	133
4.11.3. Niveles máximos.....	135
4.11.4. Distribución de caudales	136

Capítulo V: Análisis y comparación de resultados	138
5.1. Introducción	138
5.2. Metodología	138
5.2.1. Comparación de patrones de flujo	138
5.2.2. Comparación de desbordes	139
5.2.3. Comparación de distribución de caudales	139
5.2.4. Comparación de niveles de agua y determinación de borde libre sugerido	139
5.2.5. Comparación de velocidades medias y determinación de factor de corrección de velocidad media	139
5.3. Comparación de resultados del escenario con el primer diseño de estructuras con el lecho sin colmatar	140
5.3.1. Patrón de flujo	140
5.3.2. Desbordes	140
5.3.3. Distribución de caudales	142
5.4. Comparación de resultados del escenario con el primer diseño de estructuras con el lecho colmatado	143
5.4.1. Patrón de flujo	143
5.4.2. Desbordes	144
5.4.3. Distribución de caudales	145
5.5. Comparación de resultados del escenario con el segundo diseño de estructuras con el lecho sin colmatar	146
5.5.1. Niveles de agua	146
5.5.2. Velocidades	163
5.5.3. Distribución de caudales	167
5.6. Comparación de resultados del escenario con el segundo diseño de estructuras con el lecho colmatado	168
5.6.1. Niveles de agua	168
5.6.2. Velocidades	184
5.6.3. Distribución de caudales	188

Conclusiones	190
Recomendaciones	193
Referencias bibliográficas	194
Anexos	195

RESUMEN

En esta tesis se presenta el estudio en modelo físico de un río con una bifurcación, en la que se encuentra, además, una estructura derivadora que consta de dos barrajes y tiene la función de distribuir los caudales de manera equitativa hacia dos ríos. La presente tesis se conforma de las siguientes partes: Recopilación de la información del modelo físico 'Partidor Conta', construcción y la ejecución de los modelos numéricos, y comparación de los resultados de ambos.

Para la construcción de los modelos numéricos se utilizó dos ecuaciones: *Shallow Water Equation* (Ecuaciones de aguas someras), y *Difussion wave equation* (Ecuaciones de onda difusa) utilizando el software HEC-RAS 2D. De esta manera se busca encontrar recomendaciones para el diseño de estructuras hidráulicas a partir de la comparación del modelo numérico y el modelo físico. Se realizaron las modelaciones hidráulicas para los siguientes escenarios: 'sin estructuras', 'primer diseño de estructuras con el lecho sin colmatar', 'primer diseño de estructuras con el lecho colmatado', 'segundo diseño de estructuras con el lecho sin colmatar' y 'segundo diseño de estructuras con el lecho colmatado'.

Los resultados demuestran que el modelo que utiliza las ecuaciones SWE se asemejan mejor a los resultados en el modelo físico en todos los escenarios. En el primer diseño de estructuras este modelo reprodujo todos los desbordes que se produjo excepto uno. En cambio, con el modelo que utiliza las ecuaciones DWE solo se produjo algunos. En el segundo diseño, al igual que en el modelo físico, en ninguno de los modelos numéricos se presentaron desbordes; sin embargo, los resultados con el modelo de las ecuaciones SWE fueron más acertados.

Se observó que las mayores diferencias de resultados entre modelo físico y modelos numéricos se da en las zonas curvas; también en los flujos rápidamente variados: saltos hidráulicos y caídas; y en las zonas donde el agua choca con los muros.

Así mismo se obtuvo que para caudales mayores a $800 \text{ m}^3/\text{s}$, la distribución de caudales del río San Juan fueron similares en los modelos numéricos y físico.

Finalmente, se plantean factores de corrección para los niveles de agua y velocidades obtenidos con los modelos numéricos respecto a los medidos con el modelo físico. Los resultados en la estructura hidráulica analizada nos muestran que los modelos bidimensionales podrían ser aplicados a este tipo de estructuras, considerando algunos factores de corrección.

ABSTRACT

This thesis presents the study in a physical model of a river with a bifurcation, which there is also a diversion structure that consisting of two barrages and has the function of distributing flows equally to two rivers. This thesis consists of the following parts: Compilation of the information of the physical model 'Partidor Conta', the construction and execution of numerical models, and the comparison of the results of both.

Two equations were used for the construction of the numerical models: Shallow Water Equation, and Difussion wave equation using HEC-RAS 2D software. In this way, it seeks to find recommendations for the design of hydraulic structures from the comparison of the numerical model and the physical model. Hydraulic modeling was carried out for the following scenarios: 'without structures', 'first design of structures with unfilled bed', 'first design of structures with filled bed', 'second design of structures with unfilled bed' and 'second design of structures with the clogged bed'.

The results show that the model that uses the SWE equations better resemble the results in the physical model in all scenarios. In the first design of structures, this model reproduced all the overflows that occurred except one. In contrast, with the model using the DWE equations, only a few overflows occurred. In the second design of structures, in none of the models there was any overflow, but numerically the model with the SWE equations were more accurate.

It was observed that the greatest differences in the results between the physical model and the numerical models were in the convex areas; also in the rapidly varying flows: hydraulic jumps and falls; and in the areas where the water collides with the walls.

It was also obtained that for flows greater than 800 m³/s, the flow distribution of the San Juan River was similar in the numerical and physical models.

Finally, correction factors are proposed for the water levels and velocities obtained with the numerical models with respect to those measured with the physical model. The results for the hydraulic structure analyzed show that the two-dimensional models could be applied to this type of structure, considering some correction factors.

PRÓLOGO

Las obras hidráulicas son estructuras que deben ser correctamente diseñadas para que puedan funcionar adecuadamente durante toda su vida útil, considerando los periodos de avenidas y estiaje, en ese sentido, el planteamiento numérico que se realice debe representar de manera similar el comportamiento real del flujo en la estructura hidráulica.

Las fórmulas y coeficientes que se aplican para estos diseños han sido obtenidos de manera experimental considerando principalmente flujos unidireccionales los cuales no representan la realidad, por esta razón, durante muchos años se ha optado por realizar modelos hidráulicos a escala reducida de obras hidráulicas de gran tamaño o en las cuales predomina el flujo netamente tridimensional. La experiencia indica que estos modelos permitieron en todos los casos optimizar el diseño de las estructuras hidráulicas, mejorar su funcionamiento y operatividad, así como, un ahorro económico durante su etapa de construcción. Sin embargo, el tiempo que demora la construcción y pruebas en un modelo hidráulico ha significado que algunas veces no se realice, a pesar de sus evidentes ventajas.

En la actualidad, el desarrollo de programas numéricos que consideran movimientos bidimensionales y tridimensionales, así como, el avance de las computadoras de alto rendimiento (HPC) están permitiendo la aplicación de estas herramientas en el diseño de las estructuras hidráulicas, pero la aplicación de estos programas no garantiza que sus resultados sean representativos. Los programas numéricos tridimensionales se acercan mejor al comportamiento real, sin embargo, su aplicación requiere mayor tiempo en su modelación y estructuración, así como mayor tiempo de ejecución por este motivo mayormente se opta por la aplicación de modelos numéricos bidimensionales.

Con estos antecedentes, se presentó la inquietud de conocer que tan diferentes pueden ser los resultados de estudiar un fenómeno real aplicando modelos numéricos bidimensionales. Por esta razón, se comparó los resultados obtenidos con un modelo físico aplicado al estudio de una bifurcación que divide el cauce principal de un río en dos ramales, en condiciones de máximas avenidas, con los resultados obtenidos con la aplicación de modelos numéricos bidimensionales. La comparación indicó que en algunas situaciones se obtuvieron valores similares, pero en otros como la velocidad y el nivel máximo del agua los valores fueron menores, identificándose factores de corrección para cada situación.

Por lo expuesto, considero que la investigación realizada representa un importante aporte en el diseño de estructuras hidráulicas, porque evidencia con resultados numéricos y comparaciones, las diferencias que se presentan al analizar un fenómeno real aplicando un modelo numérico bidimensional.

Asesor

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Valores de coeficiente de Manning para diferentes materiales.....	42
Tabla 3.1: Resumen de escalas.....	53
Tabla 3.2: Características de la prueba de calibración de rugosidad del cauce Primera iteración.	54
Tabla 3.3: Coeficientes de rugosidad de Manning en cada tramo Primera iteración.....	55
Tabla 3.4: Características de la prueba de calibración de rugosidad del cauce. Segunda iteración.	55
Tabla 3.5: Coeficiente de rugosidad de Manning en cada tramo de río. Segunda iteración.	55
Tabla 3.6: Hidrograma del caudal de entrada para periodos de retorno de 50 y 100 años.....	59
Tabla 3.7: Relación de ensayos en el modelo físico.	61
Tabla 3.8: Distribución de caudales en ríos Chico y Matagente en el primer diseño sin colmatar.....	62
Tabla 3.9: Distribución de caudales en ríos Chico y Matagente en el primer diseño en el escenario 'colmataado'.....	66
Tabla 3.10: Distribución de caudales en el segundo diseño.....	69
Tabla 3.11: Nivel máximo de agua y borde libre - Dique derecho. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño	71
Tabla 3.12: Nivel máximo de agua y borde libre - Dique izquierdo. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.	72
Tabla 3.13: Nivel máximo de agua y borde libre - Dique central lado río Chico. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.	73
Tabla 3.14: Nivel máximo de agua y borde libre - Dique central lado río Matagente. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.....	74
Tabla 3.15: Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Laminador muro derecho. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.....	75
Tabla 3.16: Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Laminador muro izquierdo. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.	75
Tabla 3.17: Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Laminador. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.	76
Tabla 3.18: Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Partidor muro derecho. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.....	76
Tabla 3.19: Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Partidor muro izquierdo. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.	77

Tabla 3.20: Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Partidor. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.	77
Tabla 3.21: Nivel máximo de agua y borde libre – Muro divisorio. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.	78
Tabla 3.22: Velocidades en la sección 1-1 para el TR 50 años - Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.	79
Tabla 3.23: Velocidades en la sección 2-2 para el TR 50 años - Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.	79
Tabla 3.24: Velocidades en la sección 3-3 para el TR 50 años - Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.	79
Tabla 3.25: Velocidades en la sección 4-4 para el TR 50 años - Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.	80
Tabla 3.26: Velocidades en la sección 5-5 para el TR 50 años - Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.	80
Tabla 3.27: Velocidades en la sección 6-6 para el TR 50 años - Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.	81
Tabla 3.28: Distribución de caudales en ríos Chico y Matagente en el segundo diseño colmatado.	82
Tabla 3.29: Nivel máximo de agua y borde libre - Dique derecho. Lecho colmatado – Segundo Diseño.	83
Tabla 3.30: Nivel máximo de agua y borde libre - Dique izquierdo. Lecho colmatado – Segundo Diseño.	84
Tabla 3.31 Nivel máximo de agua y borde libre - Dique central lado río Chico. Lecho colmatado – Segundo Diseño.	85
Tabla 3.32: Nivel máximo de agua y borde libre - Dique central lado río Matagente. Lecho colmatado– Segundo Diseño.	86
Tabla 3.33: Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Laminador muro derecho. Lecho colmatado – Segundo Diseño.	87
Tabla 3.34: Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Laminador muro izquierdo. Lecho colmatado – Segundo Diseño.	87
Tabla 3.35: Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Laminador. Lecho colmatado – Segundo Diseño.	88
Tabla 3.36: Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Partidor muro derecho. Lecho colmatado – Segundo Diseño.	88
Tabla 3.37: Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Partidor muro izquierdo. Lecho colmatado – Segundo Diseño.	89

Tabla 3.38: Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Partidor. Lecho colmatado – Segundo Diseño.....	89
Tabla 3.39: Nivel máximo de agua y borde libre – Muro divisorio. Lecho colmatado – Segundo Diseño.....	90
Tabla 3.40: Velocidades en la sección 1-1 para el TR 50 años - Lecho colmatado – Segundo Diseño.....	90
Tabla 3.41: Velocidades en la sección 2-2 el TR 50 años - Lecho colmatado – Segundo Diseño.....	91
Tabla 3.42: Velocidades en la sección 3-3 para el TR 50 años - Lecho colmatado – Segundo Diseño.....	91
Tabla 3.43: Velocidades en la sección 4-4 para el TR 50 años - Lecho colmatado – Segundo Diseño.....	92
Tabla 3.44: Velocidades en la sección 5-5 para el TR 50 años - Lecho colmatado – Segundo Diseño.....	92
Tabla 3.45: Velocidades en la sección 6-6 para el TR 50 años - Lecho colmatado – Segundo Diseño.....	92
Tabla 4.1: Relación de modelos numéricos sin estructuras	95
Tabla 4.2: Relación de modelos numéricos con el primer diseño de estructuras	95
Tabla 4.3: Relación de modelos numéricos con el segundo diseño de estructuras	95
Tabla 4.4: Hidrogramas para los modelos en el escenario “Sin Estructuras” ..	98
Tabla 4.5: Hidrograma para el TR 50 años y 100 años.....	110
Tabla 4.6: Tamaño de las mallas computacionales para la sensibilidad del tamaño de malla.....	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: La piedra ritual de Saywite.....	30
Figura 2.2: Canal Trapezoidal.....	31
Figura 2.3: Vertedero triangular.....	33
Figura 3.1: Imagen satelital de la ubicación de la zona de estudio.....	46
Figura 3.2: Muro de ladrillos para controlar el flujo entrante.....	48
Figura 3.3: Esquema del modelo físico.....	49
Figura 3.4: Esquema del sistema de recirculación del agua.....	49
Figura 3.5: Sección típica de dique lateral.....	50
Figura 3.6: Sección típica de dique central.....	50
Figura 3.7: Esquema del corte transversal del barraje partidor.....	51
Figura 3.8: Medición de nivel de agua en un muro.....	57
Figura 3.9: Variaciones en la medición de niveles de agua.....	60
Figura 3.10: Distribución de caudales en el primer diseño sin colmatar.....	63
Figura 3.11: Patrón del flujo en el escenario colmatado.....	66
Figura 3.12: Distribución de caudales en el primer diseño.....	67
Figura 3.13: Distribución de caudales en el segundo diseño.....	69
Figura 3.14: Ubicación de puntos de medición de niveles de agua.....	71
Figura 3.15: Ubicación de puntos de velocidades medias para el TR 50 años - Lecho sin colmatar – Segundo Diseño.....	78
Figura 3.16: Distribución de caudales en el primer diseño.....	82
Figura 4.1: Flujograma de la metodología de la simulación del escenario sin estructuras.....	94
Figura 4.2: Flujograma de la metodología de la simulación del escenario con estructuras.....	94
Figura 4.3: Configuración de la malla para el modelo “sin estructuras”.....	96
Figura 4.4: Curvas de nivel del terreno en el escenario “sin estructuras”.....	97
Figura 4.5: Modelo Digital de Elevaciones del terreno en el escenario: “Sin estructuras”.....	97
Figura 4.6: Hidrogramas para los modelos en el escenario “Sin Estructuras”.....	98
Figura 4.7: Ventana de opciones computacionales y tolerancias.....	99
Figura 4.8: Ventana de la configuración avanzada del paso de tiempo.....	99
Figura 4.9: Tirantes máximos para el escenario – sin estructuras para un caudal de 129,17 m ³ /s.....	100
Figura 4.10: Tirantes máximos para el escenario – sin estructuras para un caudal de 276.19 m ³ /s.....	101

Figura 4.11: Velocidades máximas para el escenario – sin estructuras para un caudal de 129,17 m ³ /s.....	102
Figura 4.12: Velocidades máximas para el escenario – sin estructuras para un caudal de 276,19 m ³ /s.....	102
Figura 4.13: Niveles máximos para el escenario – sin estructuras para un caudal de 129,17 m ³ /s.....	103
Figura 4.14: Niveles máximos para el escenario – sin estructuras para un caudal de 276,19 m ³ /s.....	104
Figura 4.15: Configuración de la malla para los escenarios ‘con estructuras’	105
Figura 4.16: Zoom en las estructuras de los vertederos de la configuración de la malla para los escenarios ‘con estructuras’	106
Figura 4.17: MDT para el escenario 'primer diseño de estructuras - sin colmatar'	106
Figura 4.18: MDT para el escenario 'primer diseño de estructuras – colmatado’	107
Figura 4.19: MDT para el escenario 'segundo diseño de estructuras - sin colmatar'	107
Figura 4.20: MDT para el escenario 'segundo diseño de estructuras - colmatado’	107
Figura 4.21: Mapa de rugosidades para el escenario 'primer diseño de estructuras - sin colmatar’	108
Figura 4.22: Hidrogramas para el TR 50 años y 100 años.....	110
Figura 4.23: Configuración de las mallas computacionales para la sensibilidad del tamaño de malla	111
Figura 4.24: Comparación del mapa de tirantes máximos entre la malla 01, 02 y 03.....	113
Figura 4.25: Comparación de los tirantes máximos entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 01	114
Figura 4.26: Comparación de los tirantes máximos entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 02.....	114
Figura 4.27: Comparación de los tirantes máximos entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 03.....	114
Figura 4.28: Comparación de los tirantes máximos entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 04.....	115
Figura 4.29: Comparación de los tirantes máximos entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 05.....	115

Figura 4.30: Comparación del mapa de velocidades máximas entre la malla 01, 02 y 03.....	116
Figura 4.31: Comparación de las velocidades máximas entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 01	117
Figura 4.32: Comparación de las velocidades máximas entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 02	117
Figura 4.33: Comparación de las velocidades máximas entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 03	117
Figura 4.34: Comparación de las velocidades máximas entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 04	118
Figura 4.35: Comparación de las velocidades máximas entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 05	118
Figura 4.36: Comparación de las velocidades máximas entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 06	118
Figura 4.37: Tirantes máximos para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho sin colmatar para el TR 50 años.....	120
Figura 4.38: Velocidades máximas para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho sin colmatar para el TR 50 años.....	121
Figura 4.39: Niveles máximos para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho sin colmatar para un el TR 50 años.....	122
Figura 4.40: Distribución de caudales obtenido con los modelos numéricos para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho sin colmatar.....	123
Figura 4.41: Tirantes máximos para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho colmatado para el TR 50 años	124
Figura 4.42: Velocidades máximas para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho colmatado el TR 50 años	125
Figura 4.43: Niveles máximos para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho colmatado para el TR 50 años	126
Figura 4.44: Distribución de caudales obtenido con los modelos numéricos para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho colmatado.....	127
Figura 4.45: Tirantes máximos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho sin colmatar para el TR 50 años.....	127
Figura 4.46: Tirantes máximos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho sin colmatar el TR 100 años.....	128

Figura 4.47: Velocidades máximas para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho sin colmatar para un TR de 50 años	129
Figura 4.48: Velocidades máximas para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho sin colmatar para el TR 100 años.....	129
Figura 4.49: Niveles máximos para el escenario –segundo diseño de estructuras – lecho sin colmatar para el TR 50 años.....	130
Figura 4.50: Niveles máximos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho sin colmatar para el TR 50 años.....	131
Figura 4.51: Distribución de caudales obtenido con los modelos numéricos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho sin colmatar.....	132
Figura 4.52: Tirantes máximos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho colmatado para el TR 50 años	132
Figura 4.53: Tirantes máximos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho colmatado para el TR de 100 años	133
Figura 4.54: Velocidades máximas para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho colmatado para un TR de 50 años	134
Figura 4.55: Velocidades máximas para el escenario –segundo diseño de estructuras – lecho colmatado para el TR de 100 años	134
Figura 4.56: Niveles máximos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho colmatado para un TR de 50 años	135
Figura 4.57: Niveles máximos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho colmatado para el TR de 100 años	136
Figura 4.58: Distribución de caudales obtenido con los modelos numéricos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho colmatado.....	137
Figura 5.1: Mapa de caudal específico de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años	140
Figura 5.2: Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años	141
Figura 5.3: Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años. Zoom 1	141
Figura 5.4: Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años. Zoom 3	142

Figura 5.5: Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años. Zoom 4	142
Figura 5.6: Comparación de distribución de caudales de los modelos numéricos con el modelo físico en el escenario: primer diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años.....	143
Figura 5.7: Mapa de caudal específico de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho colmatado – TR de 50 años... ..	143
Figura 5.8: Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho colmatado – TR de 50 años... ..	144
Figura 5.9: Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho colmatado – TR de 50 años. Zoom 1	144
Figura 5.10: Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho colmatado – TR de 50 años. Zoom 3	145
Figura 5.11: Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho colmatado – TR de 50 años. Zoom 4	145
Figura 5.12: Comparación de distribución de caudales de los modelos numéricos con el modelo físico en el escenario: primer diseño – lecho colmatado – TR de 50 años.....	146
Figura 5.13: Ubicación de las secciones y perfiles longitudinales de comparación de los niveles de agua	148
Figura 5.14: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del dique derecho en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años.....	149
Figura 5.15: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del lado izquierdo en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años.....	149
Figura 5.16: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 01 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años.....	150

Figura 5.17: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 02 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años..... 150

Figura 5.18: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 03 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años..... 151

Figura 5.19: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 04 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años..... 151

Figura 5.20: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 05 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años..... 152

Figura 5.21: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 06 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años..... 152

Figura 5.22: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 07 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años..... 153

Figura 5.23: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 08 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años..... 153

Figura 5.24: Ubicación de los perfiles longitudinales donde se observa que hay un resalto hidráulico 154

Figura 5.25: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 01 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años 154

Figura 5.26: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 02 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años 155

Figura 5.27: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 03 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años 155

Figura 5.28: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del lado derecho en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años..... 157

Figura 5.29: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del lado izquierdo en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años..... 158

Figura 5.30: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 01 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años..... 158

Figura 5.31: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 02 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años..... 159

Figura 5.32: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 03 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años..... 159

Figura 5.33: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 04 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años..... 160

Figura 5.34: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 05 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años..... 160

Figura 5.35: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 06 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años..... 161

Figura 5.36: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 07 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años..... 161

Figura 5.37: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 08 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años..... 162

Figura 5.38: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 01 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años 162

Figura 5.39: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 02 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años 163

Figura 5.40: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 03 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años 163

Figura 5.41: Comparación de velocidades de la sección 1 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años	164
Figura 5.42: Comparación de velocidades de la sección 2 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años	164
Figura 5.43: Comparación de velocidades de la sección 3 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años	165
Figura 5.44: Comparación de velocidades de la sección 4 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años	165
Figura 5.45: Comparación de velocidades de la sección 5 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años	166
Figura 5.46: Comparación de velocidades de la sección 6 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años	167
Figura 5.47: Comparación de distribución de caudales de los modelos numéricos con el modelo físico en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años	168
Figura 5.48: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del dique derecho en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años.....	171
Figura 5.49: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del lado izquierdo en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años.....	171
Figura 5.50: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 01 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años	172
Figura 5.51: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 02 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años	172
Figura 5.52: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 03 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años	173
Figura 5.53: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 04 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años	173

Figura 5.54: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 05 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años 174

Figura 5.55: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 06 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años 174

Figura 5.56: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 07 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años 175

Figura 5.57: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 08 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años 175

Figura 5.58: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 01 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años..... 176

Figura 5.59: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 02 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años..... 176

Figura 5.60: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 03 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatado – TR de 50 años 176

Figura 5.61: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del dique derecho en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años..... 179

Figura 5.62: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del lado izquierdo en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años..... 179

Figura 5.63: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 01 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años 180

Figura 5.64: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 02 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años 180

Figura 5.65: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 03 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años	181
Figura 5.66: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 04 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años	181
Figura 5.67: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 05 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años	182
Figura 5.68: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 06 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años	182
Figura 5.69: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 07 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años	183
Figura 5.70: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 08 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años	183
Figura 5.71: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 01 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años.....	184
Figura 5.72: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 02 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años.....	184
Figura 5.73: Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 03 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años.....	184
Figura 5.74: Comparación de velocidades de la sección 1 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años.....	185
Figura 5.75: Comparación de velocidades de la sección 2 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años.....	186
Figura 5.76: Comparación de velocidades de la sección 3 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años.....	186
Figura 5.77: Comparación de velocidades de la sección 4 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años.....	187
Figura 5.78: Comparación de velocidades de la sección 5 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años.....	187

Figura 5.79: Comparación de velocidades de la sección 6 en el escenario:
segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años..... 188

Figura 5.80: Comparación de distribución de caudales de los modelos
numéricos con el modelo físico en el escenario: segundo diseño
– lecho colmatado – TR de 50 años..... 189

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

A : Área hidráulica

B : Ancho de base

C_d Coeficiente de vertedero

D : Profundidad hidráulica media (A/T)

E_L : Escala de longitud

E_Q : Escala de caudal

E_T : Escala de tiempo

E_U : Escala de velocidad

Fr : Número de Froude

Fr' : Número de Froude en el modelo

g : Aceleración de la gravedad

h : Tirante de agua

h_* : Parámetro adimensional del tirante

K_i : Exponentes del método de análisis dimensional

K_o : Rugosidad relativa

K_o' : Rugosidad relativa en el modelo

L : Longitud del tramo

P : Perímetro hidráulico

Q : Caudal

q : fuente o sumidero

Q_* : Parámetro adimensional del caudal

R : Radio hidráulico (A/P)

Re : Número de Reynolds

Re' : Número de Reynolds en el modelo

Re^* : Reynolds de corte

Re_o^* : Reynolds de corte a partir del cual el flujo es turbulento

S : Pendiente

T : Ancho superficial

t : Tiempo

T_w : Periodo de onda

t_* : Parámetro adimensional del tiempo

U : Velocidad

$U_{x,y}$: Velocidad en las direcciones x e y

x : valor verdadero

x_o : valor observado

Z : Altura de referencia del nivel del agua respecto a un plano horizontal

z : Talud

Z_u : Cota del nivel de agua, ubicado aguas arriba del vertedero

Z_w : Cota de coronación del vertedero

Δx : Error absoluto

ε : Error relativo

η : Coeficiente de Manning

σ : Tensión superficial

μ : Viscosidad cinemática

μ' : Viscosidad cinemática en el modelo

Π_i : Factor del método de análisis dimensional

ρ : Densidad

ρ' : Densidad en el modelo

ν : Viscosidad dinámica

ν_t : Tensor de viscosidad

ν' : Viscosidad dinámica en el modelo

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

La obra de derivación Partidor Conta se encuentra en la provincia de Chincha, en la región Ica, en el cauce del río San Juan y sus derivaciones: río Chico (margen derecha) y río Matagente (margen izquierda). Y está ubicado entre las coordenadas UTM WGS84 18S: 8514500 N y 8513500 N y las coordenadas 394050 E y 395300 E. Esta estructura tiene como función dividir el caudal del río San Juan en parte iguales hacia el río Chico y el río Matagente.

El 2018 se construyó un modelo físico de esta estructura de derivación y se realizó pruebas para optimizar su diseño. Este modelo físico tenía como objetivo reajustar las dimensiones de las estructuras para que el caudal se distribuya equitativamente a cada río y para que no haya desbordes de las estructuras.

La presente tesis tiene como objetivo calibrar y modelar modelos numéricos y comparar con los resultados obtenidos en este modelo físico para determinar su aplicabilidad.

1.2. PROBLEMÁTICA

La estructura de derivación Partidor Conta, tiene la función de dividir el caudal de avenida del río San Juan en partes iguales hacia los ríos Chico y Matagente para que de esta manera se evite los problemas de erosión o inundación. En el diseño de esta estructura surge la duda respecto a la aplicabilidad de los modelos numéricos bidimensionales Como menciona (Rocha, 2003): “Las fórmulas que se usan no sirven para los ríos de verdad, solo para el río que está en tu mente”, en este contexto no son las fórmulas sino los modelos numéricos (conjunto de ecuaciones y esquemas de solución) los que tienen que ser analizados y saber en qué medida se pueden confiar en sus resultados.

Algunas veces se aplican estos modelos sin considerar sus limitaciones o sin tener en cuenta en qué casos son aplicables y esto puede conducir a diseños inadecuados o inseguros, en los que la falla de la estructura podría afectar hectáreas de cultivo o incluso vidas humanas, por lo tanto, conocer las limitaciones de estos modelos numéricos y su aplicabilidad ayudarán a realizar un diseño óptimo en el que exista un balance entre seguridad y costo de las estructuras.

Si se llegara a fallar en el modelamiento hidráulico y posteriormente en el diseño, no solo se afectarían cientos de hectáreas de cultivo, siendo una pérdida

económica sustancial, sino también es un riesgo para las personas que viven cerca.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Calibrar y comparar modelos numéricos con los resultados obtenidos de un modelo físico de una obra de derivación.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Revisar las mediciones realizadas en un modelo físico de una obra de derivación.
- Calibrar el modelo numérico Hec-Ras 2D con los datos tomados en el modelo físico considerando dos escenarios: utilizando las ecuaciones para aguas poco profundas y utilizando las ecuaciones de onda difusa
- Determinar recomendaciones para el diseño de estructuras hidráulicas a partir de la comparación del modelo numérico y el modelo físico.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis General

El modelo Hec-Ras 2D representa mejor el comportamiento del flujo en una obra de derivación, no obstante, se prevé que un modelo 2D no es suficientemente preciso para reproducir el comportamiento real del flujo, por lo que será necesario utilizar un modelo físico. Sin embargo, con un adecuado borde libre y factor de seguridad, los modelos numéricos pueden ser utilizados para fines de diseño de estructuras hidráulicas.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. MODELO FÍSICO

En la ingeniería se necesitan de los modelos físicos, es una herramienta indispensable en la concepción y diseño de obras, piezas y estructuras. (Fuentes Aguilar, 2002)

Hay dos grupos de motivos por el cual se requiere de modelos físicos: En algunas ocasiones las ecuaciones del fenómeno en cuestión se conocen, y también los parámetros que influyen en esta; pero por su complejidad, la solución es imposible de encontrar o las condiciones iniciales

les y de frontera son difíciles de cumplir aun empleando el análisis numérico y computacional, pero en otras ocasiones no se conocen ni las ecuaciones del movimiento ni los parámetros que influyen en esta. (Fuentes Aguilar, 2002)

Para que los modelos físicos y sus resultados obtenidos tengan una interpretación correcta, se requiere establecer leyes que permitan trasvasar en forma concreta y certera dichos resultados al prototipo y viceversa. Estas leyes están contenidas en la Teoría de la similitud y esta se basa en el análisis dimensional. (Fuentes Aguilar, 2002)

No es sencillo comparar los modelos físicos y los modelos numéricos, pero es posible. Fuentes Aguilar cita a Chollet “Los modelos físicos y matemáticos no son competitivos, sino complementarios. Es frecuente que un modelo físico se acople con un modelo matemático o aún, que ellos se superpongan y se alimenten mutuamente”. (Fuentes Aguilar, 2002)

Los modelos físicos tienen un antecedente en nuestra región: La piedra ritual de Saywite, mostrada en la Figura 2.1, que se encuentra en la provincia de Abancay, departamento de Apurímac, al norte de Cusco, la cual muestra un modelo de un complejo sistema de distribución de aguas. (Fuentes Aguilar, 2002). (Choque Arce, 2009) lo describe con detalle: los templos, las puertas trapezoidales incas, los andenes, etc. son representados de manera exacta. Y cuando se vierte el agua, este recorre por la piedra de manera majestuosa.

Figura 2.1 La piedra ritual de Saywite. Adoptado desde (Choque Arce, 2009)



2.1.1. Métodos del análisis dimensional

El análisis dimensional es un método en la que deducimos información de un fenómeno físico, considerando que esta ecuación, en la cual hay ciertas variables, es dimensionalmente homogénea.

Se dice que una ecuación es dimensionalmente homogénea si la forma de la ecuación no depende del sistema de unidades.

Es de suma importancia la correcta elección de variables. Para ello se requiere entender de manera precisa el fenómeno en estudio. Y hay que entender la palabra variable en un sentido físico general.

Una parte importante del análisis dimensional consiste en establecer productos o parámetros adimensionales que se formen entre las variables en juego. Esto debido a que con estos parámetros se proporcionan criterios de similitud y también porque se reduce el número de variables.

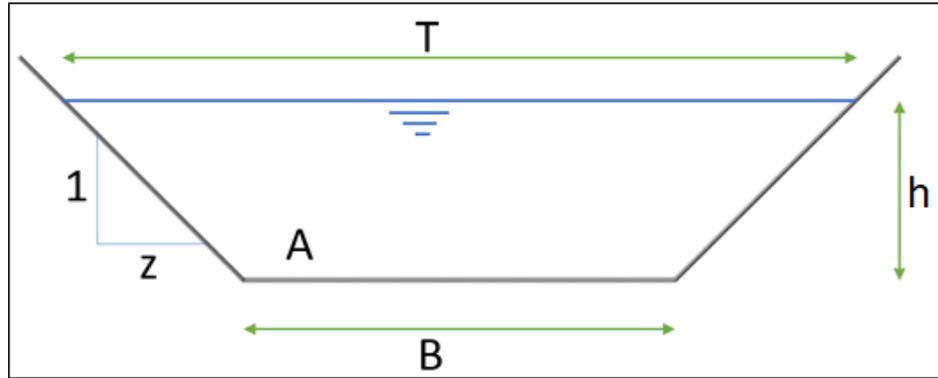
Hay varios métodos para el análisis dimensional: Método de las proporciones de Galileo, Método de las potencias de Rayleigh, el Análisis Inspeccional y el Método del Teorema pi. En este caso se presentan solo los dos últimos

2.1.1.1. *Análisis Inspeccional*

Este es un análisis que puede complementar al análisis dimensional. Su ventaja es que es un análisis que no toma mucho tiempo y se puede realizar fácilmente. Consiste en buscar los parámetros adimensionales de un fenómeno, analizando las ecuaciones de origen. (Fuentes Aguilar, 2002)

Ejemplo: Se desea construir un diagrama para el cálculo del tirante crítico en canales trapezoidales, cuyo esquema se muestra en la Figura 2.2. (Ejemplo extraído de (Fuentes Aguilar, 2002))

Figura 2.2 Canal Trapezoidal. Adoptado desde (Fuentes Aguilar, 2002)



La condición de tirante crítico:

$$Q^2 = \frac{gA^3}{T} = g \frac{(Bh + h^2z)^3}{B + 2hz}$$

Donde:

Q: caudal

A: área transversal

T: ancho superficial

B: ancho de base

h: tirante

z: talud

Como puede verse, el problema depende de dos variables (Q, y) y de tres parámetros (g, B, z).

La variable y se divide entre B para obtener la variable adimensional:

$$h_* = \frac{h}{B}$$

La variable Q se divide entre $\sqrt{gb^5}$ para obtener la variable adimensional:

$$Q_*^2 = h_*^3 \frac{(1 + z \cdot h_*)^3}{1 + 2 \cdot z \cdot h_*}$$

Ahora Q_* depende solamente de h_* y del parámetro z, pero se puede simplificar de la siguiente forma:

La variable y se divide entre B/z para obtener la variable adimensional:

$$h_* = \frac{h}{B} z$$

La variable Q se divide entre $\frac{\sqrt{gb^5}}{z^{3/2}}$ para obtener la variable adimensional:

$$Q_*^2 = h_*^3 \frac{(1 + h_*)^3}{1 + 2 \cdot h_*}$$

Y ahora Q_* depende solamente de h_* y los parámetros han desaparecido.

2.1.1.2. Teorema Pi

El teorema pi o de Vaschy- Buckingham (T V-B) es sencillo de usar, pero se pueden cometer errores o se puede utilizar de manera falaz.

Este teorema está basado en el siguiente enunciado:

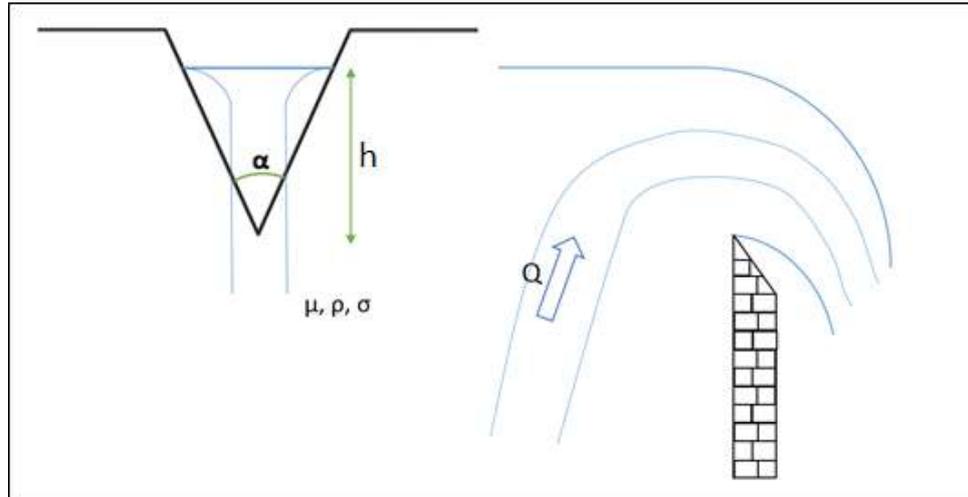
Cuando una ecuación tiene homogeneidad dimensional, es posible simplificarla a una relación que involucra un conjunto integral de productos sin dimensiones.

Otro enunciado es:

Si se presenta una relación con homogénea dimensional entre n variables, esta puede ser representada por la ecuación $p=n-r$, donde p representa el número de productos adimensionales y r la cantidad de dimensiones fundamentales.

Tomaremos como ejemplo el flujo sobre un vertedero triangular, cuyo esquema se observa en la Figura 2.3. En la cual se desea encontrar una relación para el gasto Q e investigar la eventual influencia de la tensión superficial y la viscosidad. Para simplificar, se supondrá que el cajón del vertedero tiene un área indefinida y una velocidad de aproximación nula.

Figura 2.3 Vertedero triangular. Adoptado desde (Fuentes Aguilar, 2002)



Entonces se deduce que:

$$f(Q, h, \alpha, g, \rho, \mu, \sigma) = 0$$

Como una relación dimensionalmente homogénea. Alfa siendo un parámetro adimensional será omitido del análisis e incorporado nuevamente en la parte final.

De acuerdo al teorema pi la relación anterior puede llevarse a una entre productos adimensionales. La ecuación correctamente dimensional es:

$$0 = Q^{k1} * \mu^{k2} * \sigma^{k3} * h^{k4} * g^{k5} * \rho^{k6}$$

La matriz adimensional correspondiente es:

	k	k	k	k	k	k
	1	2	3	4	5	6
	Q	μ	σ	h	g	ρ
M	0	1	1	0	0	1
L	3	-1	0	1	1	-3
T	-1	-1	-2	0	-2	0

Las ecuaciones para los k pueden escribirse como:

$$k2 + k3 + k6 = 0$$

$$3k1 - k2 + k4 + k5 - 3k6 = 0$$

$$k1 + k2 + 2k3 + 2k5 = 0$$

Dado que se quiere saber la influencia de la tensión superficial y de la viscosidad, se tomará como variables básicas a Q, μ y σ ; y se tomará como variables repetitivas a: h, g y ρ

$$k4 - \frac{5}{2}k1 - \frac{3}{2}k2 - 2k3$$

$$k5 = -\frac{1}{2}k1 - \frac{1}{2}k2 - k3$$

$$k6 = -k2 - k3$$

Ahora despejamos los productos adimensionales:

	k 1 Q	k 2 μ	k 3 σ	k 4 h	k 5 g	k 6 ρ
Π 1	0	1	1	0	0	1
Π 2	3	-1	0	1	1	-3
Π 3	-1	-1	-2	0	-2	0

Entonces:

$$\Pi1 = \frac{Q}{h^{\frac{5}{2}}g^{\frac{1}{2}}} = Cq$$

$$\Pi2 = \frac{\mu}{h^{\frac{3}{2}}g^{\frac{1}{2}}\rho} = \frac{1}{Re}$$

$$\Pi3 = \frac{\sigma}{h^2g\rho} = \frac{1}{We}$$

2.1.2. Parámetros adimensionales en mecánica de fluidos

2.1.2.1. Número de Froude

En los escurrimientos que tienen superficie libre tales como canales, ríos, etc., la fuerza de la gravedad es la predominante. Entonces el número de Froude es un parámetro básico como criterio de análisis y similitud.

2.1.2.2. Número de Reynolds

Define la influencia relativa de la viscosidad y por tanto el comportamiento cerca de la capa límite. Cuando su valor es relativamente pequeño es relevante en el comportamiento del fluido en singularidades.

2.1.2.3. Número de Weber

En modelos con gran caudal no tiene influencia, pero para sistemas de pequeñas dimensiones puede modificar notablemente el flujo. Así mismo

tiene gran influencia en el comportamiento dinámico de pequeñas burbujas y de gotas.

Hay otros parámetros adimensionales que no tienen influencia en el modelo estudiado en esta tesis tales como: el Número de Mach, Número de Prandtl, Número de Grashof, Número de Eckert y Número de Strouhal.

2.1.3. Similitud y modelos

Para construir un modelo deben ser planteados estos tres problemas: Primero el modelo y su función deben ser definidos de manera precisa, segundo es necesario explicar las condiciones para que la similitud se produzca y por último se debe plantear un método cuantitativo para trasladar los resultados en el modelo al prototipo y viceversa.

2.1.3.1. *Similitud geométrica*

Se da cuando la distancia entre dos puntos del modelo y los dos puntos homólogos del prototipo tienen la misma proporción. Cuando hay una similitud geométrica, las propiedades geométricas: talud, pendiente y forma son los mismos tanto en modelo como en prototipo.

2.1.3.2. *Similitud cinemática*

Se da cuando cualquier punto en el prototipo y su punto homólogo en el modelo tienen velocidades con la misma proporción en cualquier instante.

Si se cumple lo anterior entonces se dice que los sistemas son cinemáticamente semejantes. También es importante saber que una condición necesaria para que sea posible esta similitud es que los sistemas tengan similitud geométrica.

Además, si existe similitud cinemática, este puede extenderse a las aceleraciones. Es decir que las aceleraciones de un punto y su homólogo serán proporcionales.

2.1.3.3. *Similitud dinámica*

Existe similitud dinámica si los puntos homólogos de los dos sistemas están sometidos a la suma de fuerza que son similares.

2.1.3.4. Otras similitudes

También los parámetros adimensionales estudiados anteriormente: Número de Reynolds, Número de Weber, Número de Froude pueden ser usados para que haya similitud entre los modelos.

2.1.4. Similitud absoluta y paradoja de la imposibilidad

Es un caso hipotético donde se cumplen todas las similitudes estudiadas. Sin embargo, físicamente es imposible de que esto suceda, a menos que la escala sea 1 a 1. Por ejemplo, consideremos un canal, el cual debe tener una similitud geométrica, y al mismo tiempo tenga una similitud en el Número de Reynolds y el Número de Froude.

Para que el modelo y el prototipo tengan el mismo número de Reynolds debe cumplirse la siguiente relación:

$$Re = Re'$$
$$\frac{\rho U R}{\mu} = \frac{\rho' U' R'}{\mu'}$$

Considerando que el fluido será el mismo en ambos casos y que estará a la misma temperatura:

$$U R = U' R'$$

$$E_U \cdot E_L = 0$$

Entonces la escala de la velocidad será:

$$E_U = E_L^{-1}$$

Para que el modelo y el prototipo tengan el mismo número de Froude debe cumplirse la siguiente relación:

$$Fr = Fr'$$

$$\frac{U}{\sqrt{g D}} = \frac{U'}{\sqrt{g D'}}$$

$$\frac{E_U}{\sqrt{E_L}} = 1$$

$$E_U = E_L^{1/2}$$

Y en este caso para que se pueda cumplir las dos condiciones dadas, la escala geométrica debe ser uno. Lo que hace imposible usar todas las similitudes al mismo tiempo.

2.1.5. Similitud restringida y efectos de escala

Dado que es imposible de reproducir la similitud absoluta, se puede omitir algunos parámetros que no influyen notablemente en el fenómeno estudiado. Esto posibilita realizar modelos que no son perfectos, pero que en la práctica son aprovechables.

2.1.6. Modelos de escurrimiento a superficie libre

La superficie libre en cuya parte superior limita un líquido se caracteriza por tener presión constante, normalmente atmosférica. En este tipo de escurrimiento, el agente motor primordial es la gravedad y de allí que claramente el número de Froude sea de importancia. Un ejemplo clásico es el escurrimiento sobre un evacuador de crecidas, puesto que estos flujos se realizan sobre contornos sólidos, el frotamiento viscoso y la rugosidad pueden ser relevantes. La capilaridad también juega un papel importante si las dimensiones del escurrimiento son pequeñas, por este motivo es necesario escoger bien la escala del modelo. Como el fluido, normalmente aire, que está más allá de la superficie libre puede tener un movimiento, en principio arbitrario, su acción puede influir sensiblemente sobre la napa líquida. En particular si la velocidad del líquido es elevada, se presentan fenómenos de incorporación de aire capaces de modificar en forma profunda el escurrimiento líquido. Las condiciones de similitud usadas en estos modelos son: condición de Froude, de Reynolds y similitud geométrica. (Fuentes Aguilar, 2002)

2.1.7. Modelos de canales y ríos a fondo fijo

Estos modelos se caracterizan por tener un fondo que no cambiará de forma. El material por ejemplo puede ser concreto. En realidad, los ríos no son de fondo fijo, sino que constantemente varían su forma, (Rocha Felices, 2010) lo llama "Autoajuste". Pero los modelos de canales y ríos a fondo fijo no cambian el lecho. Esta es una simplificación que se realiza por practicidad, por economía o por tiempo.

2.1.7.1. Parámetros

Los parámetros que intervienen son: propiedades del flujo: densidad, viscosidad, gravedad; una dimensión lineal característica; la rugosidad equivalente; el gasto y la pendiente de fondo.

Mediante el método π , se obtiene los siguientes parámetros adimensionales:

Número de Reynolds (Re); Número de Froude (Fr); Rugosidad relativa (K_o); Pendiente (S)

En caso de que el modelo represente un flujo impermanente, se debe agregar un parámetro adimensional adicional:

$$t_* = \frac{t}{t_0}$$

2.1.7.2. Condiciones de similitud

Las condiciones de similitud que se deben cumplir para que los fenómenos hidráulicos que se producen en el prototipo se reproduzcan en el modelo son: $Re=Re'$; $Fr=Fr'$; $K_o=K_o'$; $S=S'$

Aparece entonces la paradoja de la imposibilidad.

2.1.8. Flujo turbulento rugoso en canales

Esto ocurre cuando el Reynolds de corte: Re^* es mayor a un valor Re_o^* Slichting dedujo que este valor $Re_o^* = 70$

Por lo que para que se considere que hay un flujo turbulento tanto en el modelo como en el prototipo se debe cumplir que:

$$Re^* > 70$$

Entonces no es necesario tomar en cuenta la condición de Reynolds, quedando por tanto las relaciones: Velocidad, longitud, pendiente, rugosidad

2.1.9. Otras consideraciones en un modelo físico

Para la construcción de un modelo físico y la determinación de su escala se considera también los siguientes aspectos: Disponibilidad de espacio, capacidad de flujo, materiales y recursos humanos.

2.2. MODELO NUMÉRICO

2.2.1. Modelo unidimensional

Los ríos y estuarios usualmente tienen una dimensión predominante, siendo el largo mucho más grande que el ancho o la altura. (Metcalf & Eddy, 1995) Como consecuencia de esto el flujo se puede discretizar en una serie de secciones, en la que cada una de estas tiene características propias (área, perímetro, velocidad, rugosidad, tirante). Un modelo unidimensional se rige por las siguientes ecuaciones:

2.2.1.1. Ecuación de conservación de masa

El principio de conservación de la masa implica que el flujo neto a través del volumen de control en un lapso debe ser igual al cambio de volumen de control en el mismo lapso.

$$U \frac{\partial h}{\partial x} + h \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

2.2.1.2. Ecuaciones de cantidad de movimiento

(Ponce, 2015) indica que en esta ecuación la suma de las fuerzas actuantes sobre el volumen de control más la suma de cantidad de movimiento que ingresa hacia dicho volumen es equivalente a la tasa de cambio acumulativa de cantidad de movimiento.

- Modelo de onda dinámica

En el modelo de onda dinámica no se simplifica ningún componente. Y la ecuación de cantidad de movimiento se puede expresar con la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \cdot A \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + g \cdot A (S_f - S_o) = 0$$

- Modelo de onda difusa

En el modelo de onda difusa se simplifica la componente del flujo no permanente y de advección. Quedando la siguiente expresión:

$$g \cdot A \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + g \cdot A (S_f - S_o) = 0$$

- Modelo de onda cinemática

En el modelo de onda cinemática se simplifica aún más, y se asume que la pendiente de fondo es equivalente a la pendiente de energía. Tal como lo muestra la siguiente expresión:

$$g \cdot A(S_f - S_o) = 0$$

Criterios para la definición del tipo de onda:

De acuerdo con (Ponce, 2015), el criterio para utilizar las ecuaciones de onda cinemática, difusa o dinámica es la siguiente:

$$Tw \cdot S_o \left(\frac{g}{h}\right)^{1/2} \geq 171 \qquad 30 \leq Tw \cdot S_o \left(\frac{g}{h}\right)^{1/2} < 171 \qquad Tw \cdot S_o \left(\frac{g}{h}\right)^{1/2} < 30$$

Onda cinemática

Onda difusa

Onda dinámica

Siendo:

Tw : periodo de onda

2.2.2. Modelo bidimensional

El flujo unidimensional no siempre es válido, por ejemplo, en canales no prismáticos o en inundaciones. A pesar de que el flujo es naturalmente tridimensional, se puede simplificar el análisis considerando un flujo bidimensional, usando el promedio en una columna vertical (Hanif Chaudhry, 2008)

2.2.3. Modelo Hec-Ras

Son las siglas de: River Analysis System developed by the Hydrologic Engineering Center, el cual es un sistema de análisis de río en superficie libre y tiene un módulo para realizar modelos numéricos 2D utilizando las ecuaciones de onda difusa, o las ecuaciones de aguas poco profundas. Este modelo utiliza una malla computacional no estructurada, que asume que las celdas son ortogonales unas con otras. Las celdas pueden ser polígonos de 3, 4, 5, 6, 7 u 8 lados. Con el fin de optimizar los métodos numéricos utilizados, se hace uso de una grilla dual donde el dominio es sub-dividido en polígonos que no se superponen para formar una cuadrícula. Además, el modelo utiliza la sub-grilla batimétrica propuesta por (Vincenzo, 2009), en el cual cada subgrilla tiene como información topográfica una curva de área vs altitud y radio hidráulico vs altitud. Para la solución de las ecuaciones del modelo 2D

utiliza un algoritmo implícito de volúmenes finitos y puede manejar flujos subcríticos, supercríticos, o mixtos.

2.2.3.1. Ecuaciones de aguas poco profundas (*Shallow water equation*)

Abreviado como SWE. Las ecuaciones de aguas poco profundas son un conjunto de ecuaciones matemáticas utilizadas en la hidráulica para modelar el comportamiento del agua en canales y ríos con poca profundidad. Estas ecuaciones se basan en la teoría del equilibrio hidrostático y la conservación del momento lineal y se utilizan para calcular la velocidad y altura del agua en un determinado punto del canal o río. Suponen que existe una distribución de presión hidrostática junto con una distribución de velocidad que es relativamente constante en profundidad. Las ecuaciones son las siguientes:

Ecuación de la conservación de masa:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

Ecuación de conservación del momentum:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + (U \cdot \nabla)U = -g\nabla Z + \frac{1}{h} \nabla \cdot (\nu_t h \nabla U) - \frac{\tau_b}{\rho R}$$

Donde:

A : área hidráulica

Q : caudal

U : vector de velocidad

t : tiempo

g : gravedad

Z : nivel del agua

h : tirante

ν_t : tensor de viscosidad

τ_b : vector de esfuerzo cortante en el fondo

ρ : densidad del agua

R : radio hidráulico

q : fuente o sumidero

2.2.3.2. Ecuaciones de onda difusa (*Difussion water equation*)

Abreviado como DWE. Estas ecuaciones son una simplificación de las ecuaciones de aguas poco profundas. Se usa la misma ecuación de conservación de masa, y la ecuación de conservación de momentum se simplifica asumiendo que los términos de flujo no permanente, de advección y de turbulencia pueden ser simplificados. Y de estas simplificaciones se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{n^2}{R^{4/3}} |U|U = -\nabla Z$$

Donde:

n : coeficiente de Manning

2.2.3.3. Coeficiente de Manning

El coeficiente de Manning es el parámetro más importante en un modelo bidimensional, dado que controla los niveles de agua.

Para determinar este coeficiente, se puede utilizar tablas, que nos indican el valor del coeficiente de Manning de acuerdo al material, y cuando se tratan de lechos de ríos, es recomendable que este valor sea calibrado.

Por ejemplo, en la Tabla 2.1, se encuentran valores del coeficiente de Manning para distintos materiales. Por ejemplo, para el concreto no pulido se puede utilizar un valor de 0.015 y para la mampostería de piedra se puede utilizar un valor de 0.025

Tabla 2.1 Valores de coeficiente de Manning para diferentes materiales. Adoptado desde Fuente (Chow, 1994)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
A-1. No Metal			
a. Concreto			
1. Bien terminado	0.011	0.013	0.014
2. Sin pulir, formaleta o encofrado metálico	0.012	0.013	0.014
3. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera lisa	0.012	0.014	0.016
4. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa	0.015	0.017	0.020
b. Mampostería de piedra, cementada	0.018	0.025	0.030

Para las estructuras de enrocado se ha empleado la fórmula del Manual de (US Army Corps of Engineers, 1994)

$$n = K (D_{90}(\text{min}))^{1/6}$$

Donde:

K , 0.036, valor promedio
 0.034, para el cálculo de la velocidad y tamaño del
enrocado
 0.038, para el cálculo de la capacidad y borde libre.
 $D_{90}(\text{min})$, tamaño del cual el 90 por ciento de la muestra es más fina,
de la curva límite mínima o inferior de la especificación de gradación,
(pies)

Considerando un valor de $K = 0.038$, $d_{90} = 1.20\text{m} = 3.94\text{ ft}$, se obtiene un valor de coeficiente de Manning de 0.048

2.3. TEORÍA DEL ERROR

Las magnitudes físicas que se obtienen por una medida hecha de manera directa o por medio de valores medidos de otra magnitud (indirecta), siempre son afectados por imprecisiones, debiéndose aceptar que no se puede tomar el valor exacto de medición alguna.

2.3.1. Tipos de error

2.3.1.1. Errores sistemáticos

Errores que son constante en todo el experimento por lo que influye en todas las medidas de manera específica y su impacto es consistente en todos los ensayos."

2.3.1.2. Errores instrumentales

Los errores inherentes a los instrumentos de medición, por ejemplo, si hay un error en la calibración del equipo.

2.3.1.3. Error personal

Este error se refiere al tipo visual o a los errores de paralaje.

2.3.1.4. Error de método de medida

Este error se debe a una mala elección del método de medida; lo que puede incluir: el observador, el método o el aparato.

2.3.1.5. Errores accidentales

Atribuibles a las pequeñas fluctuaciones que surgen entre múltiples observaciones continuas realizadas por el mismo observador bajo condiciones idénticas. Estos errores se producen de manera completamente aleatoria y sus causas son impredecibles.

Aunque no son corregibles, realizar varias observaciones puede mitigar su impacto. Con un número suficiente de observaciones, se obtienen tanto desviaciones positivas como negativas, y mediante un análisis estadístico de los datos recopilados, es posible derivar algunas conclusiones sobre el valor más probable.

2.3.2. Precisión, exactitud y sensibilidad

2.3.2.1. Precisión

Es el nivel de concordancia entre varias mediciones de una misma magnitud.

2.3.2.2. Exactitud

Es el nivel de concordancia entre el valor experimental y el verdadero.

2.3.2.3. Sensibilidad del instrumento

Guarda relación con la mínima magnitud que puede ser detectada por el dispositivo. Comúnmente, se acepta que la sensibilidad de un instrumento se refleja en el valor de la mínima subdivisión de la escala medida.

2.3.3. Error relativo y absoluto

Al medir una magnitud, el cual tiene un valor verdadero x_0 , se obtiene una medida x , esta diferencia será llamada error absoluto:

$$\Delta x = |x - x_0|$$

El error relativo, en cambio, es definido como la razón entre absoluto y el valor verdadero.

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_0}$$

También es expresado de forma porcentual, multiplicándolo por 100. El valor absoluto nunca debe exceder de dos cifras significativas, y la magnitud medida solo debe contener las cifras necesarias para que su última cifra

significativa coincide en orden decimal con la última cifra del error absoluto, conocida como cifra de acotamiento.

2.4. OBRAS DE DERIVACIÓN

Constituyen elementos esenciales en la regulación de caudales. La estructura implica la creación de una vía secundaria sobre el lecho del curso de agua, desviando así una fracción del flujo hacia una región distinta. (García Reyes, Priego Hernández, Soto Cortes, & Rivera Trejo, 2017)

Y en general una obra de derivación es un tipo de estructura hidráulica que se utiliza para desviar una parte del caudal de un río o canal hacia otra dirección. Esta estructura se utiliza para diversos propósitos, como regular el caudal de un río, aprovechar su energía para generar electricidad, o para llevar agua a zonas donde es necesaria para riego o consumo humano o para controlar las inundaciones.

CAPÍTULO III: MODELO FÍSICO

3.1. INTRODUCCIÓN

Se construyó un modelo físico de una obra de derivación ubicada sobre el río San Juan, el cual de manera natural se bifurca en los ríos Chico y Matagente tal como lo muestra en la Figura 3.1.



Figura 3.1 Imagen satelital de la ubicación de la zona de estudio (Fuente Google Earth)

Normalmente la mayor parte del caudal del río San Juan se dirige hacia el río Chico siendo propenso a inundaciones, las cuales pueden causar daños a grandes extensiones de cultivo y a viviendas de la zona. Por ello la función de la estructura derivadora partidor Conta es que en época de avenidas el caudal del río San Juan se divida en partes iguales hacia a los ríos Matagente y Chico.

Esta obra consta de dos barrajes: El primer barraje o barraje laminador tiene como función reducir la turbulencia del flujo. El segundo barraje o barraje partidor tiene como función dividir el flujo en partes iguales en épocas de avenidas.

Aguas arriba del segundo barraje hay diques laterales que impiden que el agua se desborde. Aguas abajo del segundo barraje hay un dique central que busca que el agua del Río Chico no se desborde hacia el Río Matagente o viceversa.

Para que la estructura funcione correctamente se puede variar la longitud de los vertederos del segundo barraje, de esta manera se busca controlar como se distribuye el caudal por los dos ramales.

Hacer únicamente un modelo numérico bidimensional de como interactúa esta estructura con el río no es suficiente, ya que debido a la influencia de los barrajes se generan fenómenos netamente tridimensionales, las cuales no serían correctamente representados en un modelo bidimensional.

Para realizar la investigación se contó con la topografía y batimetría del lecho del río. El modelo se representó a la escala no distorsionada de 1:40 y fue calibrado con caudales que variaron desde 276,19 m³/s hasta 2436 m³/s.

La obra de derivación es un tipo de estructura que en este caso mitiga los efectos de las posibles inundaciones. Este tipo de estructuras puede ser aplicado en el Perú, en zonas donde hay gran riesgo de desbordes e inundaciones.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE LECHO FIJO

El modelo dispuso de un área de 358 m² y un perímetro de 89 m. Para medir el caudal de entrada se instaló un vertedero triangular de 90° de cresta delgada; el cual podía verter un caudal en el rango de 2,54 l/s hasta 170,89 l/s, lo cual equivale a 25,67 m³/s y 1729 m³/s en el prototipo respectivamente. El caudal que pasaba por el vertedero era controlado por tres válvulas: dos grandes y una pequeña para precisar mejor el caudal. En la Foto 3.1 se muestra el vertedero triangular de 90° del modelo físico.

Foto 3.1 Vertedero triangular del modelo físico



El agua pasaba a una poza de disipación para reducir la turbulencia generada por la caída del agua, posteriormente ingresaba a una segunda poza a través de agujeros dispuestos en la parte inferior de un muro de ladrillos kinkong de un ancho de 2,00m de ancho y 0,85m de alto, para ingresar de manera uniforme y sin turbulencia al modelo y con un tirante adecuado. En la Figura 3.2 se muestra

una foto, y un esquema de la estructura utilizada al inicio del modelo para controlar la condición de borde aguas arriba del modelo físico.



Figura 3.2 Muro de ladrillos para controlar el flujo entrante

En la condición de aguas abajo el agua se dividió en dos ramales: El Río Chico y el Río Matagente, de las cuales solo se midió el caudal que salió por el Río Matagente mediante un vertedero de 90° de cresta delgada, el caudal del Río Chico se obtuvo por diferencia.

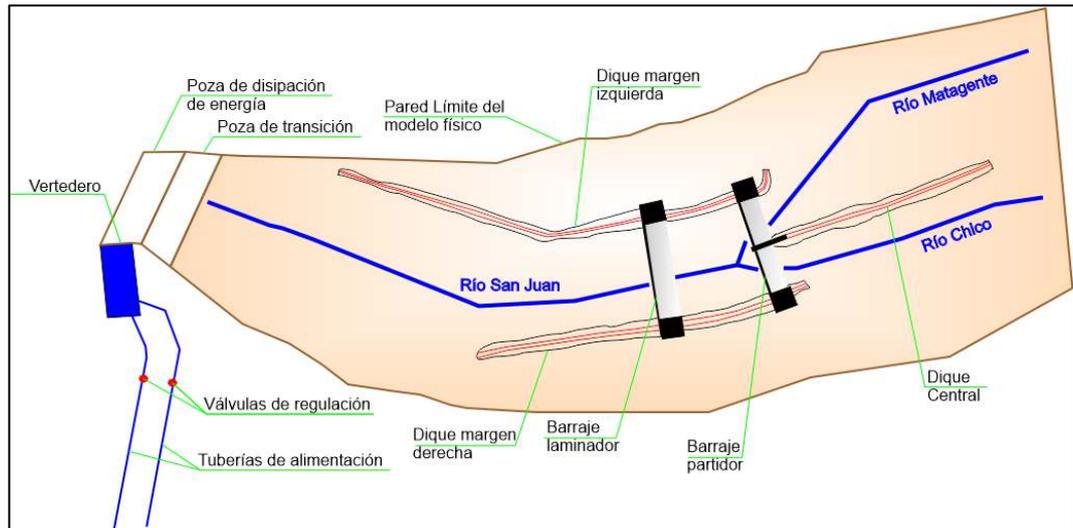
3.2.1. Suministro de agua

El suministro provino de un tanque elevado con una capacidad de 60 m³ y de una cisterna subterránea con una capacidad de 500 m³.

3.2.2. Esquema de modelo físico

El modelo representó el cauce del Río San Juan de la progresiva 24+800 hasta 23+900, que es el punto donde inicia la bifurcación, siguiendo hasta la progresiva 24+900 en el Río Matagente y hasta la progresiva 23+400 en el Río Chico, el cual se puede observar en el ANEXO 2: 'PLANO CON ESTRUCTURAS DEL MODELO PARTIDOR CONTA'. Ambas márgenes del río, aguas arriba del barraje partidor, estaban protegidas por diques de enrocado con un diámetro medio de 1,20 m que evitan el desborde del río. De la misma manera, aguas abajo de este barraje se ubicó un dique central formado por enrocado con un diámetro medio de 1,20 m que impide el desborde de agua del río Chico hacia el río Matagente y viceversa. En la Figura 3.3 se muestra el esquema del modelo físico.

Figura 3.3 Esquema del modelo físico



3.2.3. Esquema sistema de recirculación de agua

El sistema de recirculación empezaba cuando las bombas hidráulicas impulsan el agua de la cisterna hacia el tanque elevado. Del tanque elevado el agua se transportaba hacia el modelo físico mediante una tubería de alimentación de 14" de diámetro y después retornaba a la cisterna mediante un canal de retorno de 0,50 m de ancho y 0,60 m de alto. En la Figura 3.4 se muestra el esquema del sistema de recirculación del agua.

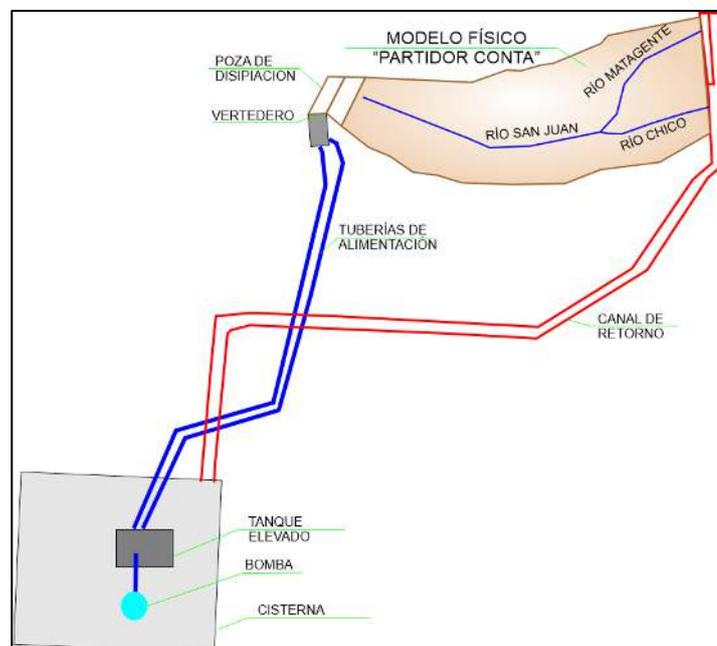


Figura 3.4 Esquema del sistema de recirculación del agua

3.2.4. Primer diseño de las estructuras

El diseño original de las estructuras, que inicialmente se representó en el modelo físico, tuvo las siguientes características:

3.2.4.1. Diques Laterales de Protección

Se ubicaron en ambas márgenes del río San Juan, aguas arriba de barraje partidor, cuyas longitudes en las márgenes derecha e izquierda fueron 536,19 m y 718 m respectivamente. El ancho de la cresta fue de 4 m con altura variable, presentando un talud $z=3$ por el lado seco y $z=1,2$ por el lado en contacto con el agua cubierto por un enrocado con un talud $z=1,5$. Una sección típica se muestra en la Figura 3.5.

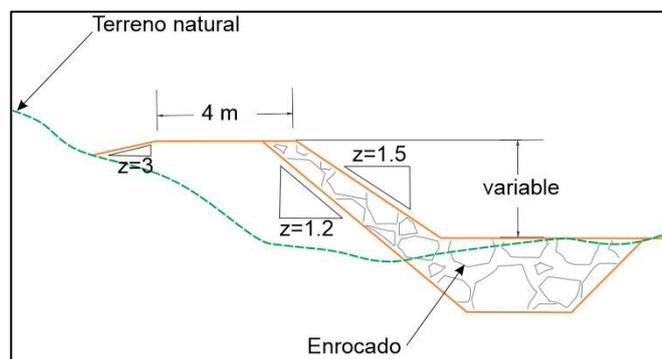


Figura 3.5 Sección típica de dique lateral

3.2.4.2. Dique Central

Se ubicó aguas abajo del barraje partidor, con una longitud de 373,9 metros, un ancho de cresta de 4 m, altura variable y taludes $Z = 1,2$ protegido por enrocado con talud $Z = 1,5$. Su objetivo fue evitar el desborde del río Chico hacia el río Matagente y viceversa. Una sección típica se muestra en la Figura 3.6.

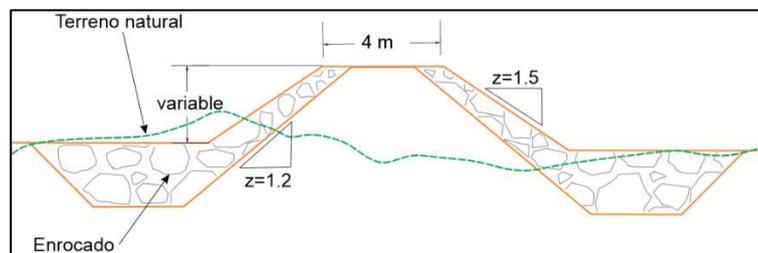


Figura 3.6 Sección típica de dique central

3.2.4.3. Barraje Laminador

Estructura de concreto con un vertedero de 4,2 m de alto y 150 m de ancho, cuya cota de cresta estuvo en 308, msnm. Aguas abajo se ubicó un cuenco

de disipación de 15m de longitud cuya función fue proteger el lecho del río de la socavación producida por el resalto hidráulico.

3.2.4.4. *Barraje partidor*

Este segundo barraje de 150 m de longitud, estuvo formado por dos vertederos divididos por un muro central de 1,5m de espesor. Por el lado del río Chico (Margen derecha), el vertedero presentó una cresta central de 35 m de longitud y cota en 305,20 msnm y dos crestas laterales de 20 m de longitud y cota en 305,70 msnm. Por el lado del río Matagente (Margen izquierda), el vertedero presentó una cresta central de 53 m de longitud y cota en 305,20 msnm y dos crestas laterales de 11 m de longitud y cota en 305,70 msnm.

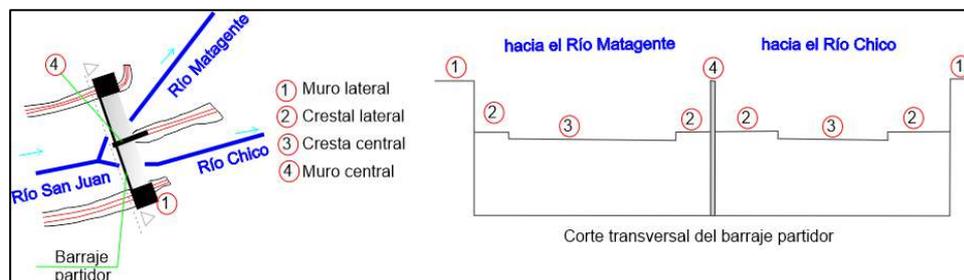


Figura 3.7 Esquema del corte transversal del barraje partidor

3.2.4.5. *Cuenca de resalto*

Esta estructura se ubicó aguas abajo de los barrajes laminador y partidor y tuvo la función de evitar la socavación al pie de estos. Tuvo una longitud de 10 m protegido con concreto y 15 m protegido con enrocado con un diámetro medio de 1,20 m

3.2.5. Segundo diseño de las estructuras

Con los resultados obtenidos del diseño original con el modelo físico, se realizó una optimización de las estructuras. Los cambios que se realizaron entre el primer y segundo diseño fueron las siguientes:

Se incrementaron las alturas de los diques laterales derecho, izquierdo y central, de manera que sean mayores al nivel de agua observado y no se produzcan desbordes, asimismo, se modificó las dimensiones de los vertederos del barraje partidor. En el vertedero de la margen derecha (Río Chico) se cambió la longitud de la cresta central de 35 m a 39 m y la longitud de las crestas laterales de 20 m a 18 m. En el vertedero de la margen izquierda (Río Matagente) se cambió la longitud de la cresta central de 53 m a 49 m y

la longitud de las crestas laterales de 11 m a 13 m. También se modificó la cota de los muros de la margen derecha e izquierda y del muro divisorio de 309 mnsa a 309,5. Así mismo se aumentó la longitud del cuenco amortiguador del barraje laminador de 15,0 m a 25,18 m de longitud, el del barraje partidor mantuvo las dimensiones del diseño original. Los planos del modelo con estructuras se muestran en el ANEXO 2: 'PLANO CON ESTRUCTURAS DEL MODELO PARTIDOR CONTA'.

3.3. ESCALAS DEL MODELO

Al ser un modelo de escurrimiento libre, las fuerzas gravitatorias son las más importantes, por lo tanto, para que se cumpla la similitud dinámica se debe verificar que el número de Froude en el modelo y en el prototipo sean los mismos.

Tenemos que la escala geométrica del modelo es:

$$E_x = E_y = E_z = E_L = 40$$

Escala de tirante

$$E_y = E_L = 40$$

Y el número de Froude del modelo en escala y del prototipo deben ser iguales

$$Fr' = Fr$$

Entonces se deduce que la escala de velocidad:

$$\frac{U'}{\sqrt{g * \frac{A'}{T'}}} = \frac{U}{\sqrt{g * \frac{A}{T}}}$$

$$\frac{U \cdot E_U}{\sqrt{g * \frac{A \cdot E_L^2}{T \cdot E_L}}} = \frac{U}{\sqrt{g * \frac{A}{T}}}$$

$$E_U = E_L^{1/2}$$

$$E_U = E_L^{1/2}$$

Escala de tiempo

$$E_U = \frac{E_L}{E_T}$$

$$E_T = \frac{E_L}{E_U}$$

$$E_T = E_L^{1/2}$$

Escala de caudal

$$Q = \frac{U}{t}$$

$$E_Q = \frac{E_L^3}{E_L^2} = E_L^{5/2}$$

$$E_Q = 40^{5/2}$$

Escala del coeficiente de Manning

Para ello se usó la ecuación de Manning:

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

$$E_n = \frac{E_L^{8/3}}{E_Q}$$

$$E_n = E_L^{1/6}$$

Resumen de escalas:

Tabla 3.1 Resumen de escalas

Escala geométrica	E_L	40,000
Escala de tirante	E_L	40,000
Escala de velocidad	$E_L^{0.5}$	6,325
Escala de tiempo	$E_L^{0.5}$	6,325
Escala de caudal	$E_L^{2.5}$	10119,289
Escala de coeficiente de Manning	$E_L^{1/6}$	1,849

3.4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Para representar el lecho del cauce, se realizó un levantamiento topográfico y batimétrico del río. Se escogió un tramo de 1500 m. y se realizó un diseño de modelo físico que incluye vertedero, poza de disipación, canal de limpia y sistema de recirculación del agua. Se escogió una escala de 1/40 considerando el espacio, disponibilidad del agua y los posibles efectos de escala. Para replantear el lecho del río se sacaron secciones transversales a cada 20 m, se plotearon a escala y se pegaron a un triplay, para esto se utilizó una estación total marca Sokkia, modelo CX – 105, serie TN 3241 y un nivel de ingeniero Marca PENTAX, modelo AP-228, Serie 618331. Se rellenó con arena el modelo hasta 5 cm menos de la

forma indicaba por el triplay, completándose la sección con mortero de cemento. De esta manera se verificó que el modelo representaba fielmente la topografía del río. En el ANEXO 1: 'PLANO SIN ESTRUCTURAS DEL MODELO PARTIDOR CONTA', se muestra las curvas de nivel del modelo en la situación 'sin estructuras'.

3.5. CALIBRACIÓN

La calibración consistió en verificar el coeficiente de Manning en el modelo a partir del valor que presenta el prototipo ($n = 0.044$). El procedimiento que se siguió fue el siguiente: (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)

- Se reguló en el modelo un caudal equivalente a $276,19 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Se eligieron tres secciones en la cuales se pueda medir la sección transversal del flujo, estas fueron: 23+820; 23+880 y 23+900.
- Se midió la sección transversal del flujo en cada una de las secciones indicadas, los resultados se muestran en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2 Características de la prueba de calibración de rugosidad del cauce Primera iteración. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)

Progresiva	A (m ²)	P (m)	R (m)	L (m)	Z (m)	ΔZ (m)	S
23+900	40	32	1,25		19,02		
23+880	51,2	36,64	1,4	20	18,52	0,52	0,026
23+820	35,2	30,32	1,16	60	17,76	0,76	0,013

Donde:

- A: Área mojada de la sección del flujo
P: Perímetro mojado.
R: Radio hidráulico
L: Longitud del tramo
Z: Altura de referencia del nivel del agua.
 ΔZ : Diferencia de nivel de agua
S: Pendiente del flujo

- De la ecuación de Manning, despejamos el coeficiente de rugosidad (n):

$$Q = A R^{2/3} S^{1/2} / n$$

$$n = A R^{2/3} S^{1/2} / Q$$

- El área y el radio hidráulico se obtuvieron promediando los correspondientes a dos progresivas contiguas, reemplazando los datos del cuadro anterior,

obtenemos el coeficiente de rugosidad (n) para cada tramo, estos se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Coeficientes de rugosidad de Manning en cada tramo Primera iteración. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)

Progresiva	L (m)	n
23+900		
23+880	20	0.032
23+820	60	0.021

- f. El coeficiente de rugosidad promedio (n_p) para el tramo comprendido entre las progresivas 23+900 y 23+820, se obtuvo aplicando la siguiente ecuación:

$$n_p = \frac{n_1 L_1 + n_2 L_2}{L_1 + L_2} \dots\dots\dots (I)$$

Reemplazando los resultados de la Tabla 3.3, obtenemos: **$n_p = 0,024$**

- g. El resultado fue menor al de la rugosidad del cauce del río ($n = 0,044$), por lo que se procedió a cubrir con una capa de confitillo (Gravilla) toda la superficie del modelo y se repitió el procedimiento anterior, pero esta vez, para un caudal de 129,17 m³/s. Los resultados se muestran en la Tabla 3.4 y Tabla 3.5

Tabla 3.4 Características de la prueba de calibración de rugosidad del cauce. Segunda iteración. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)

Prog.	A (m ²)	P (m)	R (m)	L (m)	Z (m)	Δ Z (m)	S
23+900	38,4	31,52	1,22		1,2		
23+880	48	35,44	1,35	20	1,36	0,12	0,006
23+820	33,6	29,44	1,14	60	1,16	1,08	0,018

Tabla 3.5 Coeficiente de rugosidad de Manning en cada tramo de río. Segunda iteración. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)

Progresiva	L (m)	n
23+900		
23+880	20	0,031
23+820	60	0,049

- h. Reemplazando los valores de la Tabla 3.5 en la ecuación (I), obtenemos:
 $n_p = 0,045$

De acuerdo al resultado hallado, se dio por concluida la etapa de calibración del cauce del río, la capa de gravilla agregada a la superficie permitió alcanzar la rugosidad natural del lecho del río.

3.6. METODOLOGÍA DE LAS MEDICIONES

Se realizaron ensayos sin estructuras para los siguientes caudales: 276.19 m³/s y 129.17 m³/s, y se utilizaron principalmente para realizar la calibración del coeficiente de rugosidad. Después se realizaron ensayos con los dos barrajes y con enrocados de protección para caudales con periodos de retorno de, 50 y 100 años.

3.6.1. Medición de niveles de agua

Para medir el nivel de agua se utilizó un nivel de ingeniero, se tomó como referencia uno de los BM que se colocaron en el modelo al momento de ser construido (el más cercano).

Se midió el nivel de agua en los bordes de los diques laterales y central, también se tomaron mediciones en una sección inmediatamente aguas arriba del barraje laminador y del barraje partidor; así como al costado de los muros. Los lugares exactos de medición se muestran en la Figura 3.14, en la Foto 3.2 se muestra la medición de los niveles de agua en el modelo físico utilizando el nivel de ingeniero y el limnómetro.

Foto 3.2 Medición de niveles de agua en modelo físico. Fuente (Elaboración propia)



En el caso de los niveles de agua en los muros, se midió el nivel máximo alcanzado observándose que se producía una sobre elevación debido al choque del agua contra el muro, este efecto se ilustra en la Figura 3.8.

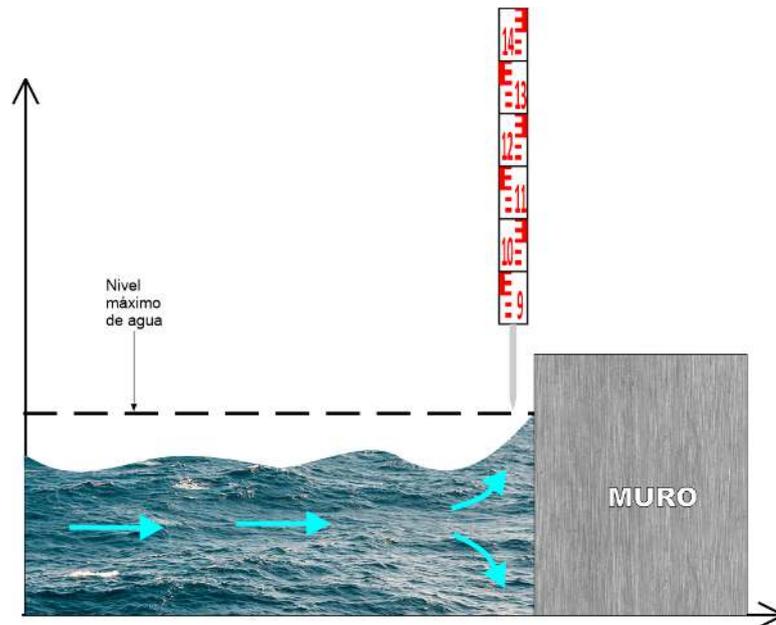


Figura 3.8 Medición de nivel de agua en un muro. Fuente (Elaboración propia)

3.6.2. Medición de velocidad media

Se midió la velocidad media del agua en diferentes secciones utilizando un correntómetro electromagnético marca SENSA, modelo RC2. La razón por la que se escogió este instrumento fue su facilidad para las mediciones con tirantes pequeños y su disponibilidad en el laboratorio.

Para la medición de velocidades participaron tres personas: uno que sujetó el correntómetro en el punto de medición y en la posición correcta, otro que leyó las mediciones del medidor portátil y otro que anotó dichas lecturas en un formato.

Para la medición de la velocidad media se utilizó el método de medición en un punto, el cual consiste en medir la velocidad del agua a una altura igual a 0.4 por el tirante medido desde el fondo.

3.6.3. Medición del caudal de entrada y de salida

Para medir el caudal de entrada, se usó un vertedero rectangular, el cual medía el nivel de agua con un limnómetro de punta. Una vez que se regula el caudal de entrada, se esperaba un tiempo hasta que el flujo se estabilice, luego con el vertedero triangular de 53° de salida instalado al final del cauce del río Matagente se medía el caudal que transporta, finalmente por diferencia se obtuvo el caudal en el río Chico. En la Foto 3.3 Medición del caudal de salida del río Matagente

Foto 3.3 Medición del caudal de salida. Fuente (Elaboración propia)



3.6.4. Hidrograma de los caudales de ensayo

Los hidrogramas utilizados para los modelos corresponden a los periodos de retorno de 50 y 100 años, estos fueron obtenidos mediante un estudio hidrológico de la cuenca, para su aplicación en el modelo fueron escalados de manera adecuada, tanto los caudales y el tiempo. La escala de caudales es 10119.289 y la escala de tiempo es 6.325. En el caudal pico se prolongó su duración a media hora para que se pueda tomar datos de nivel de superficie de agua y de velocidades. En la Tabla 3.6 se presenta los hidrogramas en el modelo y en el prototipo asociados a periodos de retorno de 50 y 100 años.

Tabla 3.6 Hidrograma del caudal de entrada para periodos de retorno de 50 y 100 años.
Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)

T (h)	ΔT Prot. (h)	T Mod. (min)	Caudal (m ³ /s)		Caudal (l/s)	
			Prototipo		Modelo	
			T=50 años	T=100 años	T=50 años	T=100 años
1	1	9.5	42.4	55.5	4.2	5.5
2	1	9.5	150.8	189.0	14.9	18.7
3	1	9.5	340.5	419.6	33.6	41.5
4	1	9.5	608.7	742.2	60.2	73.3
5	1	9.5	886.1	1072.7	87.6	106.0
6	1	9.5	1080.9	1302.0	106.8	128.7
7	1	9.5	1199.9	1436.8	118.6	142.0
8	1	9.5	1199.9	1436.8	118.6	142.0
9	1	9.5	1199.9	1436.8	118.6	142.0
10	1	9.5	1050.3	1249.0	103.8	123.4
11	1	9.5	800.1	945.3	79.1	93.4
12	1	9.5	607.6	714.0	60.0	70.6
13	1	9.5	466.0	544.9	46.1	53.8
14	1	9.5	343.2	399.8	33.9	39.5
15	1	9.5	231.5	269.1	22.9	26.6
16	1	9.5	143.8	167.0	14.2	16.5

Estos hidrogramas representan los caudales que ingresaron al modelo. El caudal fue controlado mediante válvulas que se cierran y se abren hasta que el limnómetro muestre la medida requerida, y una vez se alcanzó el caudal deseado se mantuvo constante durante el tiempo establecido

Las mediciones de velocidad y niveles de agua se realizaron cuando se alcanzó el caudal máximo del hidrograma

Para comprobar que el flujo se estabilizó, se realizaron mediciones en el vertedero de salida cada 5 minutos; si el caudal ya no varía, entonces el flujo se ha estabilizado.

3.7. FUENTES DE ERROR

Debemos tener en cuenta que el flujo de agua estudiado presentó un régimen turbulento, siendo los tirantes y velocidades instantáneas en un punto variables con el tiempo. En este caso se tomaron medidas como si fueran estáticas, pero la presencia de ondas que dificultaron las mediciones representando una fuente de error al realizar las mediciones.

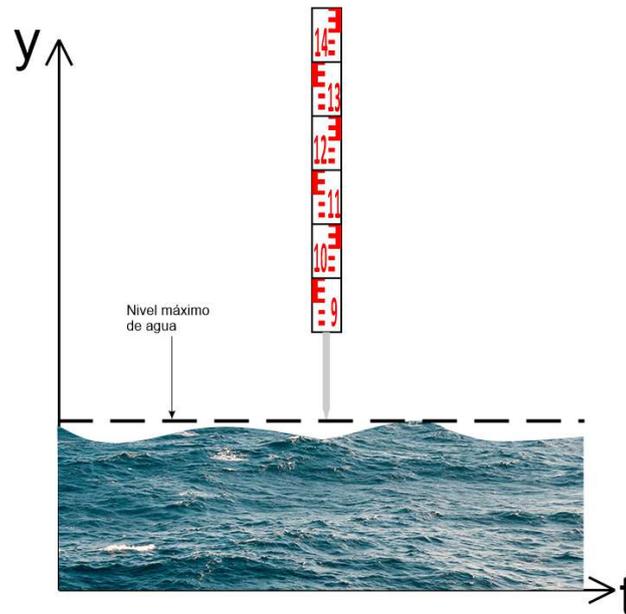


Figura 3.9 Variaciones en la medición de niveles de agua. Fuente (Elaboración propia)

Al medir el nivel de agua se tuvo en cuenta que la sensibilidad del limnómetro es de 1 mm, además colocarlo al ras del agua mientras se mantiene en posición vertical fue una actividad compleja que requiere de concentración y equilibrio.

Este instrumento tiene una sensibilidad de 1 diezmilímetro, a partir de la lectura de esta altura “h” se hace un cálculo para obtener el caudal de entrada.

3.8. RELACIÓN DE SIMULACIONES EN EL MODELO FÍSICO

Con el objetivo de realizar el estudio de investigación en modelo físico de la estructura de derivación partidor Conta, se realizaron varios ensayos, primero sin colocar las estructuras hidráulicas para los caudales de 276,19 m³/s y 129,17 m³/s cuyo objetivo fue la calibración del modelo lo cual fue descrito en el ítem 3.5. Posteriormente se hicieron ensayos colocando las estructuras hidráulicas y considerando diferentes escenarios, esto se muestra en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Relación de ensayos en el modelo físico. Fuente (Elaboración propia)

Estructura	Escenario Barrajes:	TR de hidrograma o caudal máximo
Sin estructuras		276.19 m ³ /s
		129.17m ³ /s
Primer diseño (Diseño original)	Sin colmatar	T=50 años
	Colmatado	
Segundo diseño (Diseño modificado)	Sin colmatar	T=50 años
		T=100 años
	Colmatado	T=50 años
		T=100 años

3.9. RESULTADOS

3.9.1. Simulación del modelo físico con el primer diseño de estructuras en el escenario 'sin colmatar'

3.9.1.1. Patrón de flujo

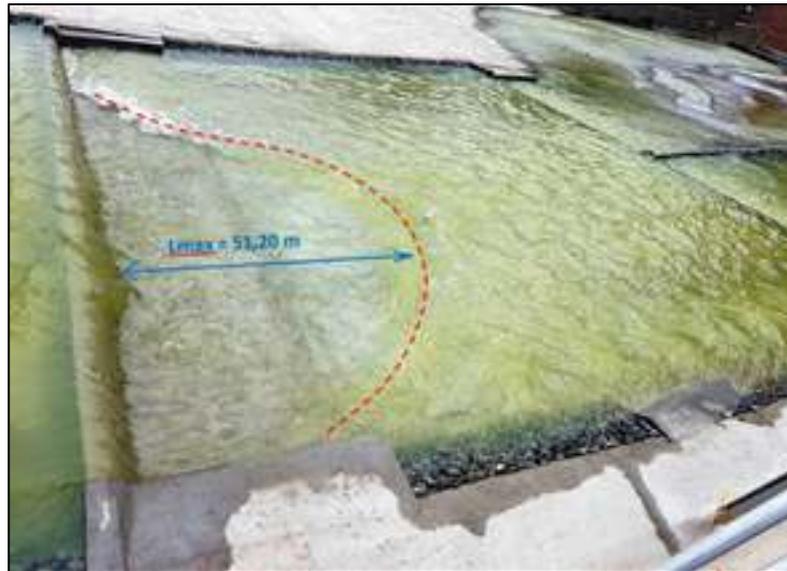
Para una simulación con TR de 50 años se observó mediante la aplicación de un colorante, que debido a la topografía y curvatura que presenta el río San Juan, el flujo se concentró en mayor proporción en la parte central derecha, asimismo, la mayor concentración del colorante confirmó que el flujo se concentró en mayor proporción hacia el río Chico. En la Foto 3.4 se muestra el patrón de flujo en la simulación del primer diseño.

Foto 3.4 Patrón de flujo en la simulación del primer diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)



El resalto producido aguas abajo del barraje laminador no fue uniforme a lo ancho del cauce, debido a la irregular distribución del flujo ya mencionada. La mayor longitud del resalto fue de 51,20 m y se produjo a 60 m de la cara del muro del extremo derecho del barraje laminador. En la Foto 3.5 se muestra el resalto hidráulico en el primer diseño.

Foto 3.5 Resalto hidráulico en el primer diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)



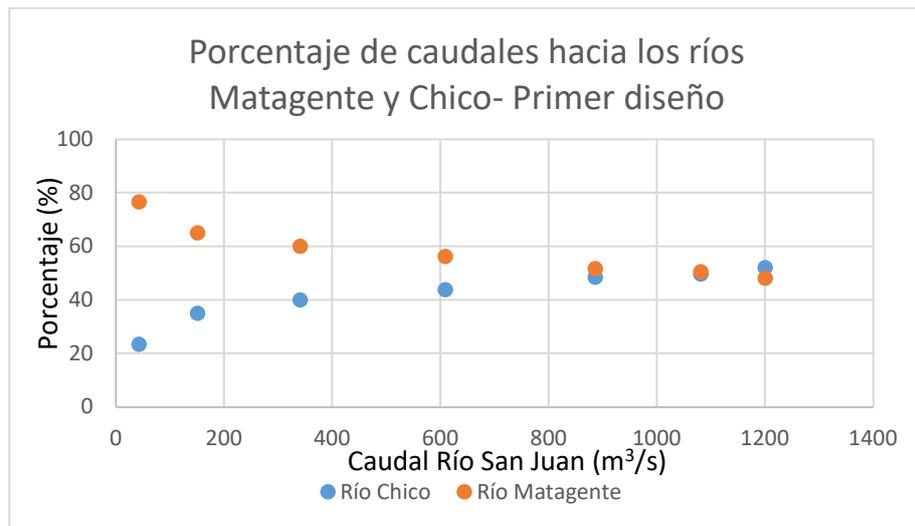
3.9.1.2. Distribución de Caudales

Para alguno de los caudales transportados por el río San Juan, se midió la distribución hacia los ríos Chico y Matagente, los resultados se muestran en Tabla 3.8 y en la Figura 3.10.

Tabla 3.8 Distribución de caudales en ríos Chico y Matagente en el primer diseño sin colmatar. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)

RÍO SAN JUAN	CAUDALES (m ³ /s)		PORCENTAJE (%)	
	RÍO CHICO	RÍO MATAGENTE	RÍO CHICO	RÍO MATAGENTE
42,35	9,90	32,45	23,4	76,6
150,8	52,70	98,10	35,0	65,0
340,5	135,96	204,54	40,0	60,0
608,7	266,37	342,33	43,8	56,2
886,1	429,10	457,00	48,4	51,6
1080,85	536,14	544,71	49,6	50,4
1199,9	624,39	575,51	52,0	48,0

Figura 3.10 Distribución de caudales en el primer diseño sin colmatarse. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)



3.9.1.3. Niveles máximos de agua

Para el caudal correspondiente al TR de 50 años, se observó que el agua se desbordó por el dique de protección ubicado en la margen derecha, aguas arriba del barraje laminador, entre las progresivas 0+450 y 0+536, alcanzando un nivel máximo de 314,15 msnm. En la Foto 3.6 se muestra el desborde del dique de la margen derecha.

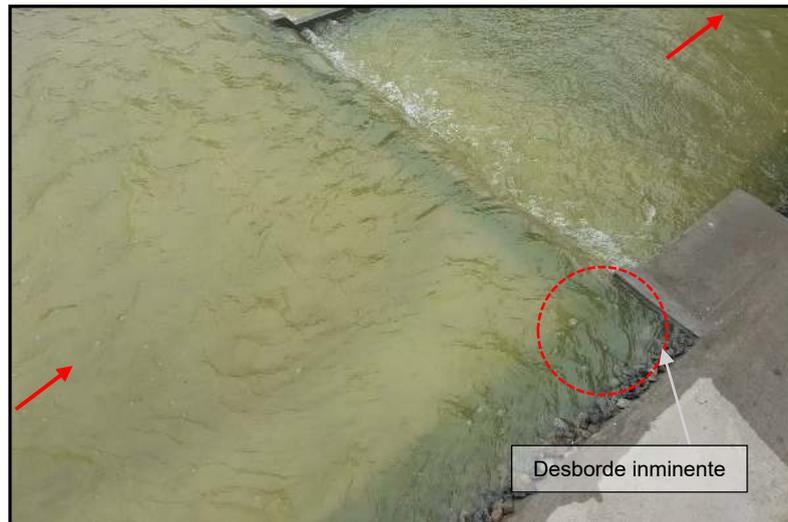
Así mismo, en la margen izquierda se presentó bordes libres de alrededor de 5 cm en la progresiva 0+420 y de 25 cm entre las progresivas 0+650 y 0+680.

Foto 3.6 Desborde del dique de la margen derecha. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)



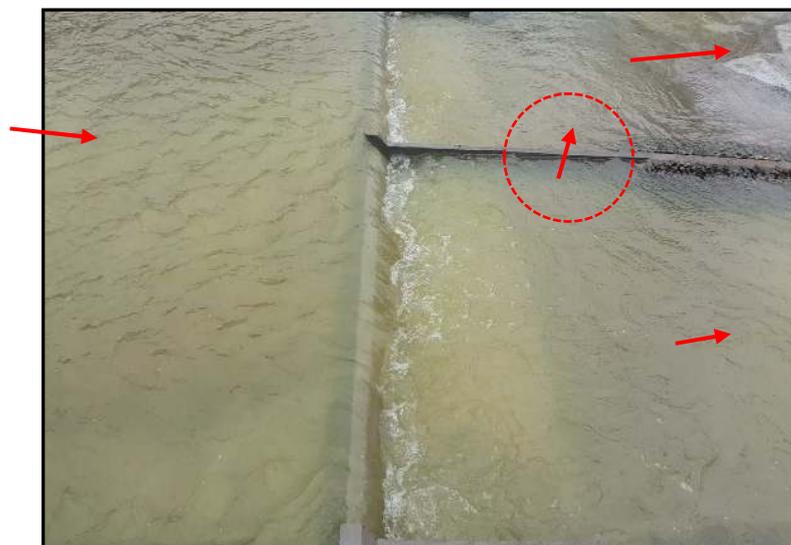
El agua en contacto con el muro de la margen derecha del barraje laminador estuvo en una situación de desborde inminente, situación similar ocurrió en la margen derecha del barraje partidor, esto se muestra en la Foto 3.7. En los muros de la margen izquierda de los barrajes laminador y partidor, el borde libre fue superior a 0,70 m.

Foto 3.7 Desborde inminente en el muro derecho del barraje partidor. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)



El muro divisorio del barraje partidor también fue cubierto por el agua. En la Foto 3.8 se muestra el desborde del muro divisorio del barraje partidor.

Foto 3.8 Desborde del muro divisorio del barraje partidor. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)



En el dique central, el agua se desbordó en el tramo comprendido entre las progresivas 0+150 a 0+250, pasando el agua del río Chico al río

Matagente. En la Foto 3.9 se muestra el desborde del río Chico hacia el río Matagente.

Foto 3.9 Desborde del río Chico hacia el Río Matagente. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)



3.9.2. Simulación del modelo físico con el primer diseño de estructuras en el escenario 'colmatado'

3.9.2.1. *Patrón de flujo*

Para una simulación con TR de 50 años se observó que hay un patrón de flujo más uniforme que cuando el lecho no estaba colmatado. Igualmente, el flujo tiene una ligera predominancia hacia su margen derecha aguas arriba del barraje laminador. Este comportamiento se muestra en la Figura 3.11.

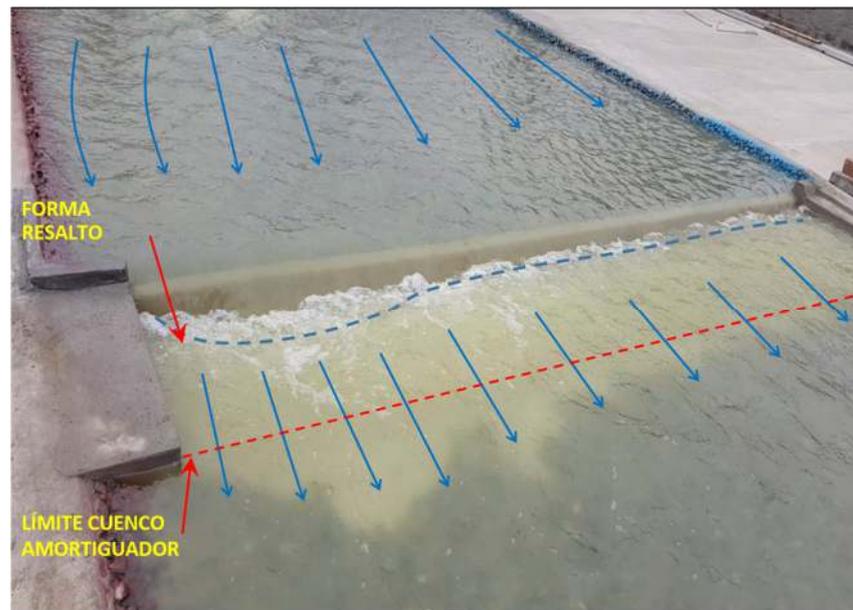


Figura 3.11 Patrón del flujo en el escenario colmatado. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)

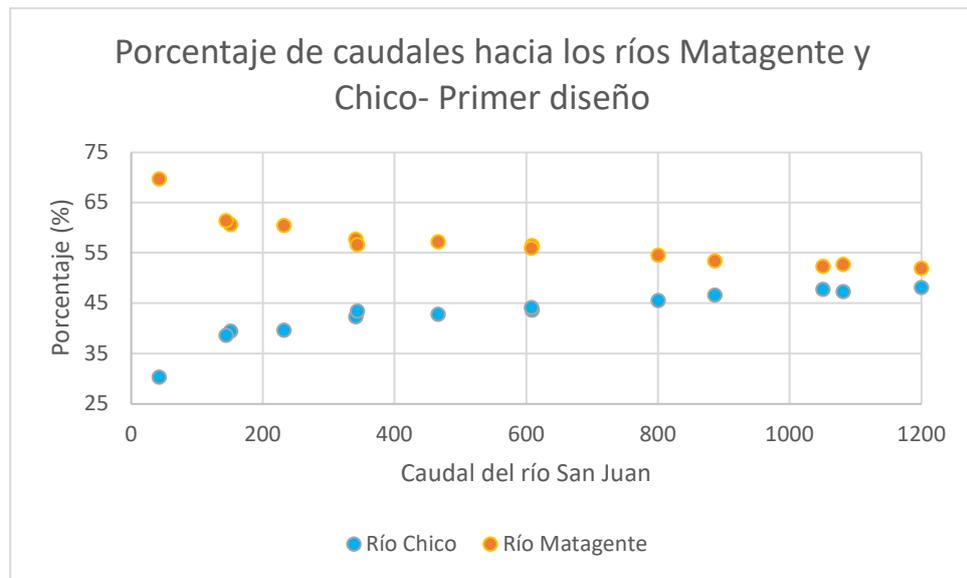
3.9.2.2. Distribución de Caudales

Para alguno de los caudales transportados por el río San Juan, se midió la distribución hacia los ríos Chico y Matagente, los resultados se muestran en Tabla 3.9 y en la Figura 3.12.

Tabla 3.9 Distribución de caudales en ríos Chico y Matagente en el primer diseño en el escenario 'colmatado'. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)

RÍO SAN JUAN	CAUDALES (m ³ /s)		PORCENTAJE (%)	
	RÍO CHICO	RÍO MATAGENTE	RÍO CHICO	RÍO MATAGENTE
42,35	12,83	29,52	30,3	69,7
143,8	55,51	88,29	38,6	61,4
150,8	59,48	91,32	39,4	60,6
231,53	91,57	139,96	39,6	60,4
340,5	144,13	196,37	42,3	57,7
343,2	148,98	194,22	43,4	56,6
466	199,48	266,52	42,8	57,2
607,57	268,24	339,33	44,1	55,9
608,7	265,62	343,08	43,6	56,4
800,13	364,28	435,85	45,5	54,5
886,1	412,84	473,26	46,6	53,4
1050,33	500,64	549,69	47,7	52,3
1080,85	510,97	569,88	47,3	52,7
1199,9	577,08	622,82	48,1	51,9

Figura 3.12 Distribución de caudales en el primer diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018)



3.9.2.3. Niveles máximos de agua

Para el caudal correspondiente al TR de 50 años se observó inundaciones en los mismos puntos que en el escenario 'sin colmatar'.

3.9.3. Simulación del modelo físico con el segundo diseño de estructuras en el escenario 'sin colmatar'

Debido a los desbordes que tuvo el primer diseño de estructuras, se incrementó las cotas de los muros, así como de los diques derecho, izquierdo y central. Para mejorar la distribución de caudales se modificaron las dimensiones de los vertederos del barraje partidor, las cuales fueron descritas en el ítem 3.2.5.

3.9.3.1. Patrón de flujo

Se observó un patrón de flujo similar al observado en el primer diseño, es decir que el flujo se concentró hacia la margen derecha, lo que nos indica que las modificaciones que se hizo al diseño inicial no cambiaron el este patrón.

Aguas abajo del barraje laminador se produjo un resalto hidráulico no uniforme, debido a la irregular distribución del flujo aguas arriba. La mayor longitud del resalto hidráulico fue de 51,20m, igual que en el primer diseño. Sin embargo, para el caudal con un TR de 100 años, la longitud de resalto excedió en 8,50 m la longitud del cuenco amortiguador ampliado. En la

Foto 3.10 se muestra el patrón de flujo de la simulación del segundo diseño.

Foto 3.10 Patrón de flujo en la simulación del segundo diseño



3.9.3.2. *Distribución de Caudales*

Para diferentes caudales, se midió el porcentaje en que estos se distribuyen hacia los ríos Chico y Matagente.

Se observó que para caudales menores a $600 \text{ m}^3/\text{s}$, por el río Matagente se desvía mayor caudal, alrededor del 53%. A partir de ese caudal hasta $665 \text{ m}^3/\text{s}$, se sigue desviando caudal hacia el río Matagente, pero gradualmente se llega a un punto donde se distribuye equitativamente el caudal entre ambos ríos. Desde este punto en adelante el caudal se empieza a desviar más hacia el río Chico, incluso para los caudales de $1190,7 \text{ m}^3/\text{s}$; $1237,3 \text{ m}^3/\text{s}$ y $1299,1 \text{ m}^3/\text{s}$ se desvía un 60% hacia este río. Para el caudal de $1428,2 \text{ m}^3/\text{s}$ se desvía un 54% al río Chico. En la Figura 3.13 se muestra la distribución de caudales para este segundo diseño y en la Tabla 3.10 se presenta esta distribución en forma tabular.

Figura 3.13 Distribución de caudales en el segundo diseño. Fuente (Elaboración propia)

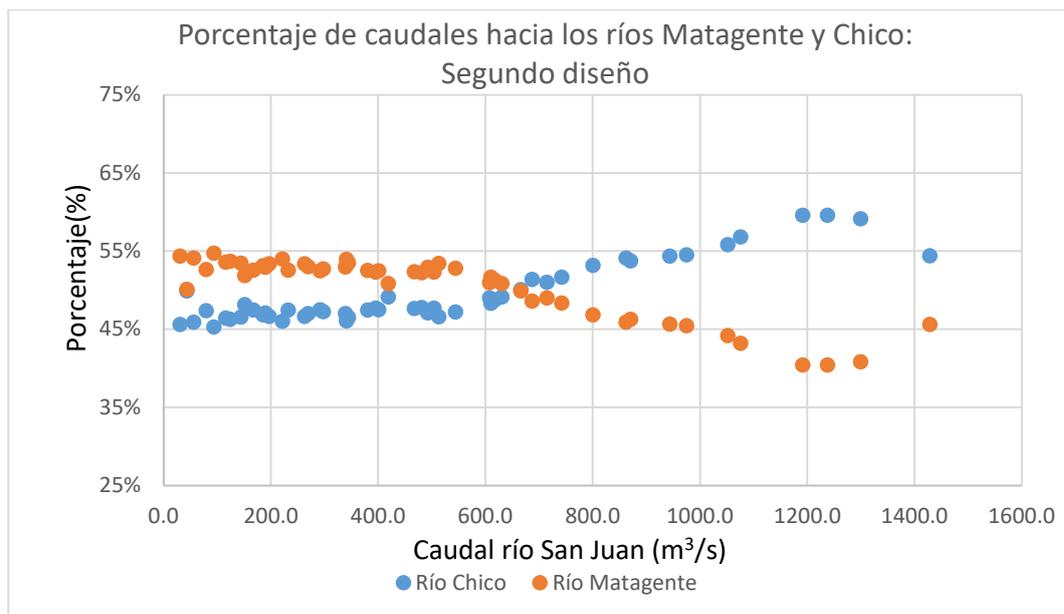


Tabla 3.10 Distribución de caudales en el segundo diseño. Fuente (Elaboración propia)

RÍO SAN JUAN	CAUDALES (m³/s)		PORCENTAJE (%)	
	RÍO CHICO	RÍO MATAGENTE	RÍO CHICO	RÍO MATAGENTE
30,4	13,9	16,5	46%	54%
42,6	21,2	21,3	50%	50%
55,7	25,5	30,1	46%	54%
79,1	37,4	41,6	47%	53%
93,2	42,2	51,0	45%	55%
115,3	53,5	61,8	46%	54%
124,0	57,4	66,6	46%	54%
143,9	67,0	76,9	47%	53%
150,7	72,5	78,1	48%	52%
167,0	79,3	87,8	47%	53%
185,2	86,8	98,4	47%	53%
189,3	89,1	100,2	47%	53%
196,3	91,5	104,7	47%	53%
221,1	101,7	119,3	46%	54%
231,6	109,9	121,8	47%	53%
262,5	122,4	140,1	47%	53%
269,0	126,4	142,5	47%	53%
291,0	138,2	152,7	48%	52%
297,1	140,4	156,7	47%	53%
338,8	159,3	179,5	47%	53%
340,3	156,7	183,6	46%	54%
343,7	159,8	183,9	46%	54%
379,8	180,3	199,5	47%	53%
395,1	188,5	206,7	48%	52%
400,1	190,1	210,0	48%	52%

CAUDALES (m ³ /s)			PORCENTAJE (%)	
RÍO SAN JUAN	RÍO CHICO	RÍO MATAGENTE	RÍO CHICO	RÍO MATAGENTE
418,5	205,7	212,8	49%	51%
466,7	222,3	244,3	48%	52%
480,8	229,7	251,1	48%	52%
492,4	231,8	260,6	47%	53%
503,2	240,1	263,2	48%	52%
512,7	238,9	273,9	47%	53%
543,9	256,7	287,2	47%	53%
607,5	297,8	309,7	49%	51%
609,7	294,6	315,0	48%	52%
617,7	301,2	316,5	49%	51%
630,1	309,6	320,4	49%	51%
665,3	333,2	332,1	50%	50%
686,2	352,6	333,6	51%	49%
713,9	364,2	349,7	51%	49%
741,7	383,1	358,5	52%	48%
799,7	425,2	374,6	53%	47%
861,8	466,2	395,5	54%	46%
870,3	467,7	402,5	54%	46%
943,0	512,6	430,4	54%	46%
974,4	531,4	443,0	55%	45%
1051,5	587,1	464,4	56%	44%
1075,2	610,8	464,4	57%	43%
1190,7	709,4	481,3	60%	40%
1237,3	737,4	499,9	60%	40%
1299,1	768,4	530,6	59%	41%
1428,2	776,8	651,4	54%	46%

3.9.3.3. Niveles máximos de agua

Se realizaron las mediciones de los niveles máximos de agua, se observó en todos los casos que el nivel de agua no superó la altura de los muros, ni de los diques de protección. En la Figura 3.14 se presenta el plano de ubicación de los puntos de medición en las estructuras: dique izquierdo, dique derecho, dique central, barraje laminador, barraje partidor y muros, en la Tabla 3.11 se muestran los niveles máximos de agua en el dique derecho para los periodos de retorno de 50 años y 100 años.

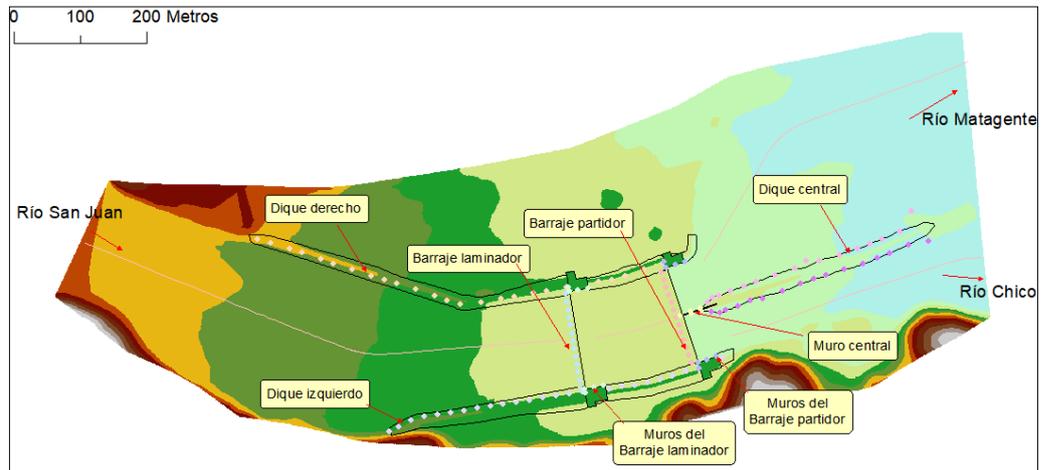


Figura 3.14 Ubicación de puntos de medición de niveles de agua

Tabla 3.11 Nivel máximo de agua y borde libre - Dique derecho. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

Prog.	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
0+536	315,4	314,25	1,15	314,93	0,47
0+520	315,26	314,07	1,19	314,57	0,69
0+500	314,97	313,49	1,48	313,97	1,00
0+480	314,25	312,87	1,38	313,33	0,92
0+460	313,53	312,05	1,48	312,25	1,28
0+440	313,15	311,59	1,56	311,93	1,22
0+420	313,12	310,54	2,58	310,85	2,27
0+400	313,09	310,29	2,8	310,53	2,56
0+380	312,93	310,33	2,6	310,61	2,32
0+360	312,77	310,31	2,46	310,65	2,12
0+340	312,69	310,25	2,44	310,57	2,12
0+320	312,68	310,37	2,31	310,53	2,15
0+300	312,67	310,27	2,4	310,73	1,94
0+280	312,66	310,35	2,31	310,77	1,89
0+260	312,66	310,39	2,27	310,77	1,89
0+240	312,6	310,57	2,03	311,05	1,55
0+200	309,5	308,01	1,49	308,29	1,21
0+180	309,5	308,45	1,05	308,69	0,81
0+160	309,5	308,29	1,21	308,65	0,85
0+140	309,5	308,09	1,41	308,45	1,05
0+120	309,5	308,17	1,33	308,53	0,97
0+100	309,5	308,45	1,05	308,73	0,77
0+080	309,5	308,21	1,29	308,93	0,57
0+060	309,26	308,19	1,07	308,97	0,29
0+020	306,95	306,21	0,74	306,57	0,38

Los niveles máximos de agua en el dique izquierdo para los periodos de retorno de 50 años y 100 años se muestran en la Tabla 3.12, así como el borde libre que varió entre 0,57 m y 1,81 m para el TR de 50 años y entre 0,30 m y 1,79 m para el TR de 100 años.

Tabla 3.12 Nivel máximo de agua y borde libre - Dique izquierdo. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

Prog.	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
0+700	316,15	*	*	315,85	0,30
0+680	316,92	*	*	315,97	0,95
0+650	316,34	*	*	315,89	0,45
0+630	315,95	*	*	315,61	0,34
0+600	315,62	315,05	0,57	315,37	0,25
0+580	315,52	*	*	314,93	0,59
0+550	315,37	314,05	1,32	314,37	1,00
0+520	315,22	*	*	313,47	1,75
0+500	314,46	312,65	1,81	312,93	1,53
0+480	313,55	*	*	312,61	0,94
0+450	313,26	312,25	1,01	312,53	0,73
0+420	312,97	*	*	312,09	0,88
0+400	312,77	311,61	1,16	311,87	0,90
0+380	312,58	*	*	311,17	1,41
0+350	312,29	310,05	2,24	310,31	1,98
0+320	312,00	*	*	310,37	1,63
0+300	311,80	310,11	1,69	310,31	1,49
0+270	311,67	*	*	310,43	1,24
0+250	311,60	310,09	1,51	310,39	1,21
0+220	311,50	310,23	1,27	310,51	0,99
0+170	309,00	307,87	1,13	308,03	0,97
0+150	309,00	307,73	1,27	308,15	0,85
0+130	309,00	307,73	1,27	308,09	0,91
0+100	309,00	307,77	1,23	308,01	0,99
0+070	308,97	307,93	1,04	308,05	0,92

Los niveles máximos de agua en el dique central, en el lado del río Chico, para los periodos de retorno de 50 años y 100 años se muestran en la Tabla 3.13, así como el borde libre que varió entre 0.83 m y 2.72 m para un TR de 50 años y entre 0.21 m y 2.16 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.13 Nivel máximo de agua y borde libre - Dique central lado río Chico. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

Prog.	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
0+360	306,93	306,38	0,55	306,65	0,28
0+350	306,93	306,54	0,39	306,65	0,28
0+340	306,93	306,18	0,75	306,29	0,64
0+320	306,77	305,86	0,91	306,15	0,62
0+300	306,61	305,9	0,71	306,05	0,56
0+280	306,45	305,82	0,63	306,17	0,28
0+250	306,22	305,7	0,52	306,01	0,21
0+220	305,98	304,42	1,56	304,65	1,33
0+200	305,49	303,1	2,39	303,33	2,16
0+180	305,00	302,78	2,22	303,21	1,79
0+150	303,57	302,66	0,91	303,01	0,56
0+120	302,99	301,22	1,77	301,57	1,42
0+100	302,60	300,58	2,02	301,05	1,55
0+080	302,21	300,66	1,55	300,77	1,44
0+050	301,62	300,38	1,24	300,65	0,97
0+020	301,22	300,3	0,92	300,57	0,65

Los niveles máximos de agua en el dique central, en el lado del río Matagente, para los periodos de retorno de 50 años y 100 años se muestran en la Tabla 3.14, así como el borde libre que varió entre 0,52 m y 2,39 m para un TR de 50 años y entre 0,28 m y 3,19 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.14 Nivel máximo de agua y borde libre - Dique central lado río Matagente. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

Prog.	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
0+360	306,93	306,10	0,83	306,65	0,28
0+350	306,93	306,10	0,83	306,57	0,36
0+340	306,93	306,00	0,93	306,19	0,74
0+320	306,77	305,50	1,27	305,51	1,26
0+300	306,61	304,62	1,99	304,77	1,84
0+280	306,45	303,98	2,47	304,21	2,24
0+250	306,22	303,50	2,72	303,53	2,69
0+220	305,98	303,38	2,60	303,55	2,43
0+200	305,49	302,94	2,55	303,11	2,38
0+180	305	301,60	3,40	301,81	3,19
0+150	303,57	301,20	2,37	301,29	2,28
0+120	302,99	300,34	2,65	300,65	2,34
0+100	302,6	300,02	2,58	300,33	2,27
0+080	302,21	299,82	2,39	300,11	2,1
0+050	301,62	299,78	1,84	300,09	1,53
0+020	301,22	299,82	1,40	299,99	1,23

Los niveles máximos de agua en el muro derecho del barraje laminador para los periodos de retorno de 50 años y 100 años se muestran en la Tabla 3.15, así como el borde libre que varió entre 1,18 m y 1,96 m para un TR de 50 años y entre 0,90 m y 1,64 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.15 Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Laminador muro derecho. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

PUNTO	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
LD-1	312,65	310,69	1,96	311,13	1,52
LD-2	312,65	310,67	1,98	311,01	1,64
LD-3	309,75	308,57	1,18	308,85	0,9
LD-4	309,75	307,95	1,8	308,85	0,9

Los niveles máximos de agua en el muro izquierdo del barraje laminador, para los periodos de retorno de 50 años y 100 años, se muestran en la Tabla 3.16, así como el borde libre que varió entre 1,26 m y 2,28 m para un TR de 50 años y entre 1.14 m y 2.04 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.16 Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Laminador muro izquierdo. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

PUNTO	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
LI-1	312,65	310,37	2,28	310,65	2,00
LI-2	312,65	310,37	2,28	310,61	2,04
LI-3	309,75	308,49	1,26	308,61	1,14
LI-4	309,75	307,97	1,78	307,65	2,10

Los niveles máximos de agua, inmediatamente aguas arriba del barraje laminador, para los periodos de retorno de 50 años y 100 años, se muestran en la Tabla 3.17, así como las cargas de agua que en promedio fue igual a 2.34 m para un TR de 50 años y de 2.68 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.17 Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Laminador. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

PUNTO	Cota cresta laminador (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Carga de agua (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Carga de agua (m)
L-1	308,2	310,01	1,81	310,21	2,01
L-2	308,2	309,99	1,79	310,11	1,91
L-3	308,2	310,01	1,81	310,19	1,99
L-4	308,2	310,09	1,89	310,41	2,21
L-5	308,2	310,49	2,29	311,01	2,81
L-6	308,2	310,57	2,37	311,17	2,97
L-7	308,2	310,97	2,77	311,43	3,23
L-8	308,2	310,95	2,75	311,39	3,19
L-9	308,2	311,01	2,81	311,37	3,17
L-10	308,2	311,33	3,13	311,57	3,37
L-11	308,2	310,97	2,77	311,21	3,01
L-12	308,2	310,29	2,09	310,67	2,47
L-13	308,2	310,29	2,09	310,73	2,53

Los niveles máximos de agua en el muro derecho del barraje partidor para los periodos de retorno de 50 años y 100 años se muestran en la Tabla 3.18, así como el borde libre que varió entre 0,58 m y 1,43 m para un TR de 50 años y entre 0,37 m y 0,64 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.18 Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Partidor muro derecho. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

PUNTO	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
PD-1	309,50	308,13	1,37	309,13	0,37
PD-2	309,50	308,07	1,43	309,05	0,45
PD-3	307,25	306,67	0,58	306,93	0,32
PD-4	307,25	306,37	0,88	306,61	0,64

Los niveles máximos de agua en el muro izquierdo del barraje partidor para los periodos de retorno de 50 años y 100 años, se muestran en la Tabla 3.19, así como el borde libre que varió entre 0,92 m y 1,49 m para un TR de 50 años y entre 0,72 m y 1,33 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.19 Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Partidor muro izquierdo. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

PUNTO	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
PI-1	309,50	308,13	1,37	308,17	1,33
PI-2	309,50	308,01	1,49	308,21	1,29
PI-3	307,25	306,33	0,92	306,53	0,72
PI-4	307,25	306,41	0,84	306,33	0,92

Los niveles máximos de agua inmediatamente aguas arriba del barraje partidor, para los periodos de retorno de 50 años y 100 años, se muestran en la Tabla 3.20, así como las cargas de agua que en promedio fue igual a 2,42 m para un TR de 50 años y 3,24 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.20 Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Partidor. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

PUNTO	Cota cresta laminador (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Carga de agua (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Carga de agua (m)
P-1	305,70	307,47	1,77	308,05	2,35
P-2	305,20	307,41	2,21	308,03	2,83
P-3	305,20	307,43	2,23	308,05	2,85
P-4	305,20	307,41	2,21	308,11	2,91
P-5	305,20	307,59	2,39	308,35	3,15
P-6	305,70	308,01	2,31	308,83	3,13
P-7	305,70	308,33	2,63	309,09	3,39
P-8	305,70	308,33	2,63	309,13	3,43
P-9	305,20	308,35	3,15	309,09	3,89
P-10	305,20	307,99	2,79	309,17	3,97
P-11	305,20	307,83	2,63	309,01	3,81
P-12	305,20	307,75	2,55	308,69	3,49
P-13	305,70	307,75	2,05	308,65	2,95

Los niveles máximos de agua en el muro divisorio, para los periodos de retorno de 50 años y 100 años, se muestran en la Tabla 3.21, así como el borde libre que varió entre 0,08 m y 1,12 m para un TR de 50 años y entre 0,01 m y 0,60 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.21 Nivel máximo de agua y borde libre – Muro divisorio. Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

PUNTO	Nivel superior muro (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
MC-1	309,50	309,25	0,25	309,49	0,01
MC-2	307,25	307,17	0,08	306,83	0,42
MC-3	307,25	306,99	0,26	306,81	0,44
MC-4	307,25	306,17	1,08	306,65	0,60
MC-5	307,25	306,13	1,12	306,69	0,56

3.9.3.4. Velocidad media

Para el caudal que corresponde al TR de 50 años, se midió la velocidad media en seis secciones, las cuales se muestran en la Figura 3.15.

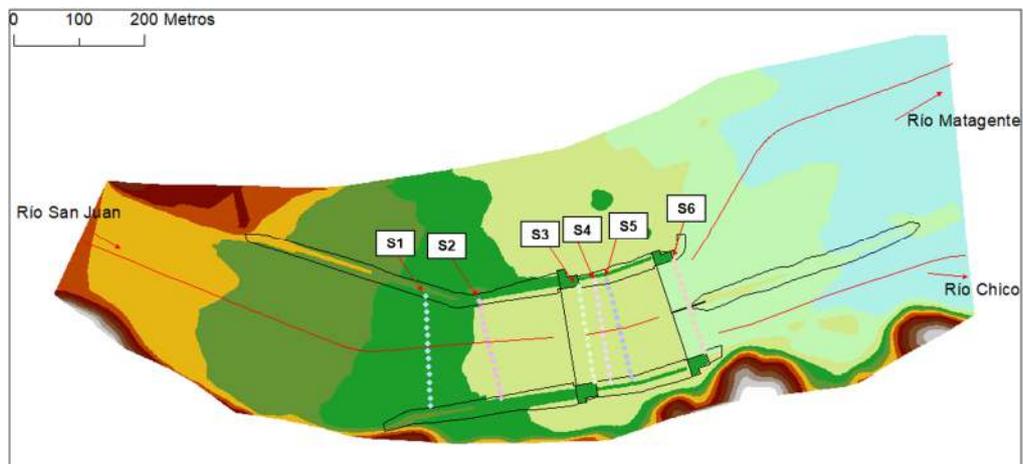


Figura 3.15 Ubicación de puntos de velocidades medias para el TR 50 años - Lecho sin colmatar – Segundo Diseño

Las velocidades medias en la sección 1-1, se presentan en la Tabla 3.22, se observa que la velocidad máxima fue 2,42 m/s, asimismo se calculó que la velocidad promedio en la sección fue 1,77 m/s.

Tabla 3.22 Velocidades en la sección 1-1 para el TR 50 años - Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

SECCIÓN 1-1			
Punto	Velocidad (m/s)	Punto	Velocidad (m/s)
P-1	1,48	P-8	1,68
P-2	1,95	P-9	2,42
P-3	2,19	P-10	1,70
P-4	1,91	P-11	1,70
P-5	1,66	P-12	1,87
P-6	1,50	P-13	2,04
P-7	1,05	P-14	1,66

Las velocidades medias en la sección 2-2, se muestran en la Tabla 3.23, se observa que la velocidad máxima fue 5,50 m/s, asimismo, se calculó que la velocidad promedio en la sección fue 2,89 m/s.

Tabla 3.23 Velocidades en la sección 2-2 para el TR 50 años - Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

SECCIÓN 2-2			
Punto	Velocidad (m/s)	Punto	Velocidad (m/s)
P-1	1,33	P-8	5,07
P-2	2,33	P-9	4,22
P-3	1,12	P-10	5,50
P-4	0,75	P-11	3,68
P-5	2,09	P-12	2,42
P-6	3,13	P-13	1,95
P-7	3,97		

Las velocidades medidas en la sección 3-3, se muestra en la Tabla 3.24, se observa que la velocidad máxima fue de 5,18 m/s, así mismo, se calculó que la velocidad promedio fue de 3,30 m/s.

Tabla 3.24 Velocidades en la sección 3-3 para el TR 50 años - Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

SECCIÓN 3-3			
Punto	Velocidad (m/s)	Punto	Velocidad (m/s)
P-1	2,34	P-8	4,90
P-2	2,63	P-9	4,78
P-3	1,38	P-10	5,18
P-4	1,16	P-11	4,62
P-5	2,56	P-12	3,73
P-6	4,11	P-13	2,72
P-7	4,99	P-14	1,14

Las velocidades medias en la sección 4-4, se muestra en la Tabla 3.25, se observa que la velocidad máxima fue de 8,61 m/s, así mismo, se calculó que la velocidad promedio fue de 4,38 m/s.

Tabla 3.25 Velocidades en la sección 4-4 para el TR 50 años - Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

SECCIÓN 4-4			
Punto	Velocidad (m/s)	Punto	Velocidad (m/s)
P-1	2,46	P-7	7,87
P-2	1,47	P-8	8,04
P-3	1,09	P-9	8,61
P-4	3,04	P-10	3,68
P-5	4,42	P-11	3,99
P-6	5,56	P-12	2,30

Las velocidades medias en la sección 5-5, se muestra en la Tabla 3.26, se observa que la velocidad máxima fue de 7,99 m/s, así mismo, se calculó que la velocidad promedio fue de 5,37 m/s.

Tabla 3.26 Velocidades en la sección 5-5 para el TR 50 años - Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

SECCIÓN 5-5			
Punto	Velocidad (m/s)	Punto	Velocidad (m/s)
P-1	0,94	P-7	7,57
P-2	5,23	P-8	7,65
P-3	5,77	P-9	7,99
P-4	5,99	P-10	7,02
P-5	6,00	P-11	4,46
P-6	6,69	P-12	1,98

Las velocidades medias en la sección 6-6, se muestra en la Tabla 3.27, se observa que la velocidad máxima fue de 6,66 m/s, así mismo, se calculó que la velocidad promedio fue de 5,32 m/s.

Tabla 3.27 Velocidades en la sección 6-6 para el TR 50 años - Lecho sin colmatar – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

SECCIÓN 6-6			
Punto	Velocidad (m/s)	Punto	Velocidad (m/s)
P-1	2,83	P-9	5,81
P-2	5,06	P-10	5,18
P-3	3,85	P-11	6,01
P-4	4,16	P-12	6,45
P-5	4,31	P-13	6,55
P-6	4,83	P-14	6,66
P-7	4,49	P-15	4,12
P-8	5,21		

3.9.4. Simulación del modelo físico con el segundo diseño de estructuras en el escenario 'colmataado'

3.9.4.1. Patrón de flujo

Se observó un patrón de flujo similar al observado en el primer diseño, es decir que el flujo se concentró hacia la margen derecha lo que nos indica que las modificaciones que se hizo al diseño inicial no cambiaron el patrón de flujo.

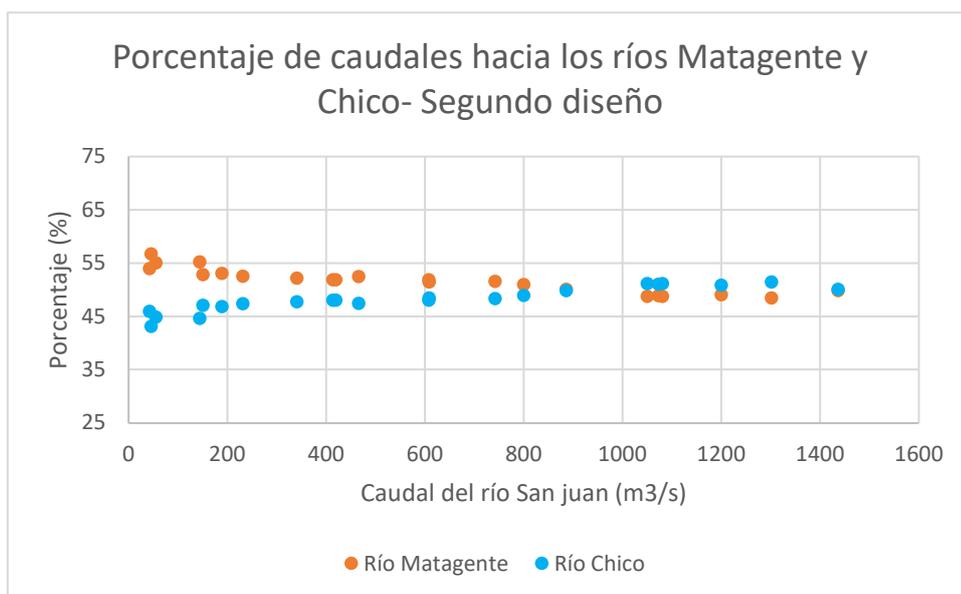
3.9.4.2. Distribución de Caudales

Para alguno de los caudales transportados por el río San Juan, se midió la distribución hacia los ríos Chico y Matagente, los resultados se muestran en Tabla 3.8 y en la Figura 3.10, se observó que para caudales bajos la distribución es más heterogénea, incluso para un caudal en el río de 42,35 m³/s la distribución fue de 54% y 46% para el río Matagente y río Chico respectivamente. Para caudales mayores a 800 m³/s, el caudal se deriva más hacia el río Chico. El caudal con TR de 50 años (1199,9 m³/s) se distribuyó entre los ríos Matagente y Chico en 49,1% y 50,9% respectivamente, mientras que para el caudal con TR de 100 años (1436,8 m³/s) esta distribución fue de 49,9% y 50,1%.

Tabla 3.28 Distribución de caudales en ríos Chico y Matagente en el segundo diseño colmatado

Caudal m ³ /s			Proporción (%)	
San Juan	Matagente	Chico	Matagente	Chico
42,35	22,86	19,49	54	46
45,72	25,95	19,77	56,8	43,2
55,45	30,53	24,92	55,1	44,9
143,8	79,57	64,23	55,3	44,7
150,8	79,81	70,99	52,9	47,1
189	100,35	88,65	53,1	46,9
231,53	121,82	109,71	52,6	47,4
340,5	177,69	162,81	52,2	47,8
413,61	214,62	198,99	51,9	48,1
419,6	217,62	201,98	51,9	48,1
466	244,77	221,23	52,5	47,5
607,57	315,56	292,01	51,9	48,1
608,7	313,41	295,29	51,5	48,5
742,15	382,76	359,39	51,6	48,4
800,13	407,74	392,39	51	49
886,1	443,71	442,39	50,1	49,9
1050,33	513,01	537,32	48,8	51,2
1072,7	524,1	548,6	48,9	51,1
1080,85	527,01	553,84	48,8	51,2
1199,9	589,47	610,43	49,1	50,9
1301,95	632,01	669,94	48,5	51,5
1436,8	716,61	720,19	49,9	50,1

Figura 3.16 Distribución de caudales en el primer diseño



3.9.4.3. Niveles máximos de agua

Se realizaron las mediciones de los niveles máximos de agua, se observó en que el nivel de agua no superó la altura de los muros, ni de los diques de protección (izquierdo, derecho y central). También se midió el nivel máximo del agua en el barraje laminador y barraje partidor. El plano de ubicación de estos puntos de medición se mostró en la Figura 3.14.

Los niveles máximos de agua en el dique derecho para los periodos de retorno de 50 años y 100 años se muestran en la Tabla 3.29. El borde libre varió entre 0,83 m y 2,18 m para un TR de 50 años y entre 0,43 m y 1,72 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.29 Nivel máximo de agua y borde libre - Dique derecho. Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

Prog.	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
0+536	315,4	314,37	1,03	314,87	0,53
0+520	315,26	314,15	1,11	314,43	0,83
0+500	314,97	313,55	1,42	313,99	0,98
0+480	314,25	312,91	1,34	313,23	1,02
0+460	313,53	312,25	1,28	312,39	1,14
0+440	313,15	311,83	1,32	312,01	1,14
0+420	313,12	311,75	1,37	311,93	1,19
0+400	313,09	311,75	1,34	311,95	1,14
0+380	312,93	311,85	1,08	312,05	0,88
0+360	312,77	311,83	0,94	312,03	0,74
0+340	312,69	311,39	1,3	311,67	1,02
0+320	312,68	310,95	1,73	311,15	1,53
0+300	312,67	310,49	2,18	310,95	1,72
0+280	312,66	310,69	1,97	311,11	1,55
0+260	312,66	310,81	1,85	311,25	1,41
0+240	312,60	310,87	1,73	311,27	1,33
0+200	309,50	308,67	0,83	308,99	0,51
0+180	309,50	308,67	0,83	309,07	0,43
0+160	309,50	308,31	1,19	308,79	0,71
0+140	309,50	308,17	1,33	308,51	0,99
0+120	309,50	308,27	1,23	308,49	1,01
0+100	309,50	308,43	1,07	308,71	0,79
0+080	309,50	308,31	1,19	308,73	0,77
0+060	309,26	308,35	0,91	308,65	0,61
0+020	306,95	305,93	1,02	306,23	0,72

Los niveles máximos de agua en el dique izquierdo para los periodos de retorno de 50 años y 100 años se muestran en la Tabla 3.30, así como el borde libre que varió entre 0,36 m y 1,99 m para un TR de 50 años y entre 0,21 m y 1,79 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.30 Nivel máximo de agua y borde libre - Dique izquierdo. Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

Prog,	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
0+700	316,15	315,79	0,36	315,85	0,3
0+680	316,92	315,81	1,11	315,99	0,93
0+650	316,34	315,71	0,63	315,87	0,47
0+630	315,95	315,47	0,48	315,55	0,4
0+600	315,62	315,15	0,47	315,31	0,31
0+580	315,52	314,79	0,73	314,95	0,57
0+550	315,37	314,17	1,2	314,31	1,06
0+520	315,22	313,23	1,99	313,43	1,79
0+500	314,46	312,77	1,69	312,87	1,59
0+480	313,55	312,43	1,12	312,61	0,94
0+450	313,26	312,33	0,93	312,45	0,81
0+420	312,97	312,11	0,86	312,15	0,82
0+400	312,77	312,03	0,74	312,15	0,62
0+380	312,58	311,35	1,23	311,63	0,95
0+350	312,29	311,13	1,16	311,47	0,82
0+320	312,00	310,59	1,41	310,91	1,09
0+300	311,80	310,51	1,29	310,91	0,89
0+270	311,67	310,65	1,02	311,07	0,6
0+250	311,60	310,71	0,89	310,99	0,61
0+220	311,50	310,75	0,75	311,03	0,47
0+170	309,00	308,41	0,59	308,79	0,21
0+150	309,00	308,31	0,69	308,61	0,39
0+130	309,00	308,23	0,77	308,75	0,25
0+100	309,00	308,23	0,77	308,59	0,41
0+070	308,97	308,13	0,84	308,67	0,3

Los niveles máximos de agua en el dique central en el lado del río Chico para los periodos de retorno de 50 años y 100 años se muestran en la Tabla 3.31, así como el borde libre varió entre 0,92 m y 2,60 m para un TR de 50 años y entre 0,26 m y 2,32 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.31 Nivel máximo de agua y borde libre - Dique central lado río Chico. Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

Prog,	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
0+360	306,93	306,01	0,92	306,53	0,4
0+350	306,93	305,99	0,94	306,67	0,26
0+340	306,93	305,69	1,24	306,13	0,8
0+320	306,77	305,53	1,24	305,81	0,96
0+300	306,61	305,41	1,20	305,83	0,78
0+280	306,45	305,61	0,84	305,95	0,5
0+250	306,22	305,43	0,79	305,77	0,45
0+220	305,98	304,29	1,69	304,49	1,49
0+200	305,49	302,89	2,60	303,17	2,32
0+180	305,00	302,65	2,35	302,93	2,07
0+150	303,57	302,39	1,18	302,79	0,78
0+120	302,99	300,97	2,02	301,33	1,66
0+100	302,60	300,57	2,03	300,73	1,87
0+080	302,21	300,45	1,76	300,65	1,56
0+050	301,62	300,25	1,37	300,47	1,15
0+020	301,22	300,13	1,09	300,29	0,93

Los niveles máximos de agua en el dique central, en el lado del río Matagente, para los periodos de retorno de 50 años y 100 años se muestran en la Tabla 3.32, así como el borde libre que varió entre 0.24 m y 3.35 m para un TR de 50 años y entre 0.10 m y 3.23 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.32 Nivel máximo de agua y borde libre - Dique central lado río Matagente. Lecho colmatado– Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

Prog,	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
0+360	306,93	306,41	0,52	306,83	0,1
0+350	306,93	306,69	0,24	306,78	0,15
0+340	306,93	306,07	0,86	306,33	0,6
0+320	306,77	305,49	1,28	305,61	1,16
0+300	306,61	304,93	1,68	304,97	1,64
0+280	306,45	303,97	2,48	304,17	2,28
0+250	306,22	303,49	2,73	303,77	2,45
0+220	305,98	303,49	2,49	303,77	2,21
0+200	305,49	303,09	2,4	303,41	2,08
0+180	305,00	301,65	3,35	301,77	3,23
0+150	303,57	301,29	2,28	301,01	2,56
0+120	302,99	300,53	2,46	300,77	2,22
0+100	302,60	300,25	2,35	300,63	1,97
0+080	302,21	300,01	2,20	300,45	1,76
0+050	301,62	299,97	1,65	300,37	1,25
0+020	301,22	299,85	1,37	300,33	0,89

Los niveles máximos de agua en el dique central en el muro derecho del barraje laminador para los periodos de retorno de 50 años y 100 años se muestran en la Tabla 3.33, así como el borde libre que varió entre 1,08 m y 1,62 m para un TR de 50 años y entre 0,84 m y 1,30 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.33 Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Laminador muro derecho. Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

PUNTO	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
LD-1	312,65	311,03	1,62	311,35	1,3
LD-2	312,65	311,07	1,58	311,51	1,14
LD-3	309,75	308,67	1,08	308,91	0,84
LD-4	309,75	308,51	1,24	308,67	1,08

Los niveles máximos de agua en el dique central en el muro izquierdo del barraje laminador para los periodos de retorno de 50 años y 100 años se muestran en la Tabla 3.34, así como el borde libre que varió entre 1,12 m y 1,78 m para un TR de 50 años y entre 0,92 m y 1,54 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.34 Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Laminador muro izquierdo. Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

PUNTO	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
LI-1	312,65	310,87	1,78	311,11	1,54
LI-2	312,65	310,99	1,66	311,31	1,34
LI-3	309,75	308,59	1,16	308,81	0,94
LI-4	309,75	308,63	1,12	308,83	0,92

Los niveles máximos de agua, inmediatamente aguas arriba del barraje laminador para los periodos de retorno de 50 años y 100 años se muestran en la Tabla 3.35, así como las cargas de agua que en promedio fue igual a 2,16 m para un TR de 50 años y de 2,68m para un TR de 100 años.

Tabla 3.35 Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Laminador. Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

PUNTO	Cota cresta laminador (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Carga de agua (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Carga de agua (m)
L-1	308,20	310,41	2,21	310,79	2,59
L-2	308,20	310,33	2,13	310,83	2,63
L-3	308,20	310,21	2,01	310,59	2,39
L-4	308,20	310,21	2,01	310,59	2,39
L-5	308,20	310,33	2,13	310,69	2,49
L-6	308,20	310,33	2,13	310,95	2,75
L-7	308,20	310,33	2,13	310,79	2,59
L-8	308,20	310,13	1,93	310,63	2,43
L-9	308,20	310,33	2,13	310,75	2,55
L-10	308,20	310,33	2,13	311,23	3,03
L-11	308,20	310,53	2,33	311,03	2,83
L-12	308,20	310,55	2,35	311,27	3,07
L-13	308,20	310,61	2,41	311,31	3,11

Los niveles máximos de agua en el muro derecho del barraje partidor para los periodos de retorno de 50 años y 100 años se muestran en la Tabla 3.36, así como el borde libre que varió entre 0,95 m y 1,34 m para un TR de 50 años y entre 0,71 m y 1,22 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.36 Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Partidor muro derecho. Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

PUNTO	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
PD-1	309,5	308,55	0,95	308,79	0,71
PD-2	309,5	308,19	1,31	308,79	0,71
PD-3	307,25	305,91	1,34	306,03	1,22
PD-4	307,25	305,91	1,34	306,23	1,02

Los niveles máximos de agua en el muro izquierdo del barraje partidor para los periodos de retorno de 50 años y 100 años se muestran en la Tabla 3.37, así como el borde libre que varió entre 1,06 m y 1,23 m para un TR de 50 años y entre 0,36 m y 0,83 m para un TR de 100 años.

Tabla 3.37 Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Partidor muro izquierdo. Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

PUNTO	Nivel superior dique (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
PI-1	309,5	308,27	1,23	308,67	0,83
PI-2	309,5	308,39	1,11	308,87	0,63
PI-3	307,25	306,19	1,06	306,47	0,78
PI-4	307,25	306,11	1,14	306,89	0,36

Los niveles máximos de agua inmediatamente aguas arriba del barraje partidor para los periodos de retorno de 50 años y 100 años se muestran en la Tabla 3.38, así como las cargas de agua que en promedio fue igual a 2,02 m para un TR de 50 años y 2,47m para un TR de 100 años.

Tabla 3.38 Nivel máximo de agua y borde libre – Barraje Partidor. Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

PUNTO	Cota cresta laminador (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Carga de agua (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Carga de agua (m)
P-1	305,70	307,75	2,05	308,15	2,45
P-2	305,20	307,41	2,21	307,91	2,71
P-3	305,20	307,19	1,99	307,71	2,51
P-4	305,20	307,29	2,09	307,71	2,51
P-5	305,20	307,13	1,93	307,67	2,47
P-6	305,70	307,41	1,71	307,75	2,05
P-7	305,70	307,69	1,99	308,03	2,33
P-8	305,70	307,55	1,85	307,71	2,01
P-9	305,20	307,33	2,13	307,79	2,59
P-10	305,20	307,09	1,89	307,83	2,63
P-11	305,20	307,17	1,97	307,85	2,65
P-12	305,20	307,57	2,37	307,95	2,75
P-13	305,70	307,73	2,03	308,15	2,45

Los niveles máximos de agua en el muro divisorio para los periodos de retorno de 50 y 100 años se muestran en la Tabla 3.39, así como el borde libre que varió entre 0,67 m y 0,78 m para un TR de 50 años y entre 0,00 m y 0,50 m para un TR de 100 años, es decir, una situación de desborde inminente.

Tabla 3.39 Nivel máximo de agua y borde libre – Muro divisorio. Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

PUNTO	Nivel superior muro (msnm)	Q ₅₀		Q ₁₀₀	
		Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)	Nivel máximo agua (msnm)	Borde libre (m)
MC-1	309,50	308,83	0,67	309,5	0,00
MC-2	307,25	306,47	0,78	306,95	0,30
MC-3	307,25	306,51	0,74	306,75	0,50
MC-4	307,25	306,47	0,78	306,95	0,30
MC-5	307,25	306,51	0,74	306,95	0,30

3.9.4.4. Velocidad media

Para el caudal que corresponde al TR de 50 años, se midió la velocidad media en seis secciones, las cuales se presentaron en la Figura 3.15

Las velocidades medias en la sección 1-1, se muestran en la Tabla 3.40, se observa que la velocidad máxima fue 3,15 m/s, asimismo se calculó que la velocidad promedio en la sección fue 1.98 m/s.

Tabla 3.40 Velocidades en la sección 1-1 para el TR 50 años - Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

SECCIÓN 1-1			
Punto	Velocidad (m/s)	Punto	Velocidad (m/s)
P-1	1.08	P-8	1.42
P-2	2.28	P-9	2.39
P-3	1.76	P-10	2.07
P-4	3.15	P-11	2.69
P-5	1.78	P-12	2.32
P-6	1.98	P-13	2.42
P-7	1.32	P-14	1.03

Las velocidades medias en la sección 2-2, se muestra en la Tabla 3.41, se observa que la velocidad máxima fue 3,67 m/s, asimismo se calculó que la velocidad promedio en la sección fue 3.30 m/s.

Tabla 3.41 Velocidades en la sección 2-2 el TR 50 años - Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

SECCIÓN 2-2			
Punto	Velocidad (m/s)	Punto	Velocidad (m/s)
P-1	2,41	P-8	3,45
P-2	3,43	P-9	3,38
P-3	3,54	P-10	3,27
P-4	3,12	P-11	3,41
P-5	3,46	P-12	3,36
P-6	3,67	P-13	3,45
P-7	3,50	P-14	2,71

Las velocidades medias en la sección 3-3, se muestra en la Tabla 3.42, se observa que la velocidad máxima fue 2,94 m/s, asimismo se calculó que la velocidad promedio en la sección fue 2,55 m/s.

Tabla 3.42 Velocidades en la sección 3-3 para el TR 50 años - Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

SECCIÓN 3-3			
Punto	Velocidad (m/s)	Punto	Velocidad (m/s)
P-1	1,44	P-8	2,94
P-2	2,72	P-9	2,80
P-3	2,58	P-10	2,70
P-4	2,60	P-11	2,88
P-5	2,62	P-12	2,90
P-6	2,78	P-13	2,51
P-7	2,60	P-14	1,60

Las velocidades medias en la sección 4-4, se muestra en la Tabla 3.43, en la cual se observa que la velocidad promedio es de 1,94 m/s y la velocidad máxima es de 2,88 m/s.

Tabla 3.43 Velocidades en la sección 4-4 para el TR 50 años - Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

SECCIÓN 4-4			
Punto	Velocidad (m/s)	Punto	Velocidad (m/s)
P-1	0,37	P-8	2,68
P-2	2,60	P-9	2,18
P-3	2,61	P-10	2,57
P-4	2,65	P-11	2,20
P-5	2,48	P-12	2,88
P-6	2,88	P-13	2,84
P-7	2,05	P-14	1,74

Las velocidades medias en la sección 5-5, se muestra en la Tabla 3.44, se observa que la velocidad máxima fue 6,05 m/s, asimismo se calculó que la velocidad promedio en la sección fue 4,31 m/s.

Tabla 3.44 Velocidades en la sección 5-5 para el TR 50 años - Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

SECCIÓN 5-5			
Punto	Velocidad (m/s)	Punto	Velocidad (m/s)
P-1	2,89	P-8	4,42
P-2	3,89	P-9	4,33
P-3	4,05	P-10	5,85
P-4	3,41	P-11	6,05
P-5	4,21	P-12	5,10
P-6	4,32	P-13	4,27
P-7	4,64	P-14	2,88

Las velocidades medias en la sección 6-6, se muestra en la Tabla 3.45, se observa que la velocidad máxima fue 6,99 m/s, asimismo se calculó que la velocidad promedio en la sección fue 4,40 m/s.

Tabla 3.45 Velocidades en la sección 6-6 para el TR 50 años - Lecho colmatado – Segundo Diseño. Fuente (Laboratorio Nacional de Hidráulica, 2018).

SECCIÓN 6-6			
Punto	Velocidad (m/s)	Punto	Velocidad (m/s)
P-1	2,11	P-9	4,72
P-2	3,69	P-10	4,03
P-3	3,82	P-11	5,28
P-4	3,14	P-12	6,24
P-5	3,62	P-13	6,93
P-6	3,20	P-14	6,99
P-7	2,82	P-15	6,03
P-8	3,36		

CAPÍTULO IV: MODELOS NUMÉRICOS

4.1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior se explicó cómo se realizó el modelo físico de la obra de derivación: “Partidor Conta”, se describieron los escenarios planteados como: “Sin estructuras”, “Con el primer diseño de estructuras” y “Con el segundo diseño de estructuras”. En este capítulo se aplicaron los modelos numéricos considerando los mismos escenarios, y finalmente se realizaron las comparaciones entre los resultados obtenidos con ambos modelos.

Para el análisis con los modelos numéricos se utilizó el software: Hec-Ras v6.2, aplicándose de manera separada las ecuaciones de *Difussion Wave Equation* (DWE) y de *Shallow Water Equation* (SWE) con la finalidad de determinar cuál de estas presenta mejores resultados.

En el ítem 4.2 se describió la metodología seguida para la simulación de los modelos numéricos. En el ítem 4.3 se presentó la relación de todos los modelos numéricos utilizados. En el ítem 4.4 se detalló el proceso de modelación del escenario “sin estructuras” y en el ítem 4.5 los resultados de estos escenarios. En el ítem 4.6 se detalló el proceso de modelación de los escenarios con estructuras, el ítem 4.7 se muestra el análisis de sensibilidad del tamaño de la malla. Y en los ítems 4.8 y 4.9 se detallaron los resultados del escenario “primer diseño de las estructuras”, con el lecho sin colmatar y con el lecho colmatado respectivamente. Finalmente, en los ítems 4.10 y 4.11 se detallaron los resultados del escenario “segundo diseño de las estructuras”, con el lecho sin colmatar y con el lecho colmatado respectivamente.

4.2. METODOLOGÍA DE LA SIMULACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS

Se simularon 3 escenarios: Sin estructuras, con el primer diseño de las estructuras y con el segundo diseño de las estructuras. Para el primer escenario se siguió la metodología mostrada en la Figura 4.1: Se determinó el objetivo de la simulación, seguidamente se definió el dominio computacional, se prosiguió con la construcción del modelo (Configuración de la malla, representación del terreno, determinación del coeficiente de Manning, y determinación de las condiciones de borde) y se ejecutó la simulación de los modelos numéricos.

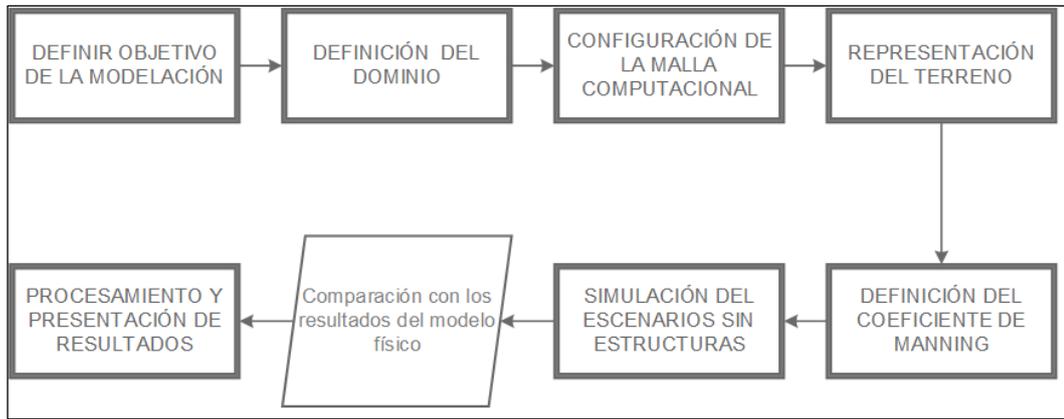


Figura 4.1 Flujograma de la metodología de la simulación del escenario sin estructuras.

Para el segundo y tercer escenario, en la que se realizó la simulación con estructuras se siguió la metodología mostrada en la Figura 4.2. Se inició determinando el objetivo de la simulación, se mantuvo el dominio computacional usado en el escenario sin estructuras se calibró el coeficiente de descarga de vertedero con datos tomados en el modelo físico. Se realizó un análisis de sensibilidad utilizando diferentes tamaños de malla computacional. Y finalmente se ejecutaron los modelos numéricos.

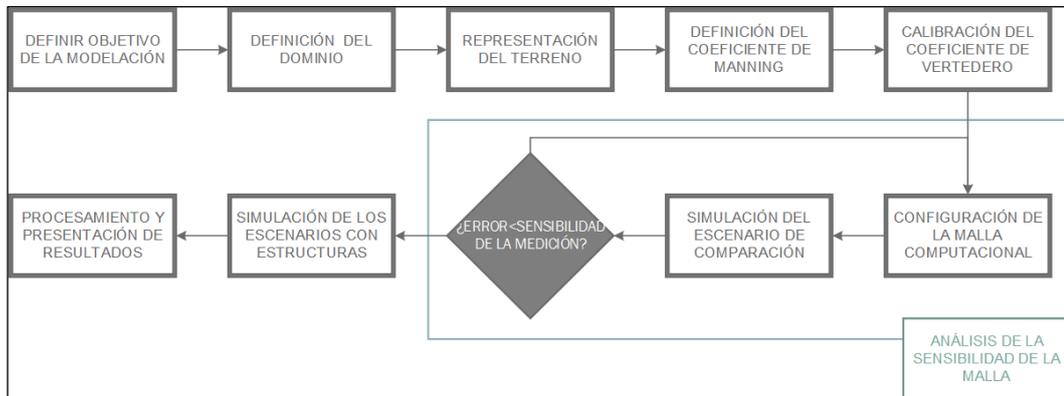


Figura 4.2 Flujograma de la metodología de la simulación del escenario con estructuras.

4.3. RELACIÓN DE SIMULACIONES DE MODELOS NUMÉRICOS

Primero se simuló el río sin ninguna estructura. En el modelo físico se realizó una simulación sin estructuras para calibrar el coeficiente de rugosidad del lecho. En los modelos numéricos también se realizaron simulaciones para saber el comportamiento natural del río.

En la simulación sin estructuras se usaron dos modelos: HecRas 2D con las ecuaciones de aguas someras o *Shallow water equation* (SWE) y HecRas 2D con las ecuaciones de onda difusa o *Difussion wave equation* (DWE). Fueron simulaciones con un caudal constante, primero con un caudal de 129.17m³/s y

luego con un caudal de 276.19 m³/s. En la Tabla 4.1 se muestra la relación de modelos numéricos ‘sin estructuras’.

Tabla 4.1 Relación de modelos numéricos sin estructuras

Software	Escenario	Caudal máximo	Ecuaciones a utilizar
Hec-Ras	sin estructura	276.19 m ³ /s	DWE
Hec-Ras	sin estructura	129.17m ³ /s	DWE
Hec-Ras	sin estructura	276.19 m ³ /s	SWE
Hec-Ras	sin estructura	129.17m ³ /s	SWE

En la simulación con el primer diseño de estructuras se realizó una simulación con un hidrograma que corresponde a un TR de 50 años con el lecho sin colmatarse y con el lecho colmatado.

Tabla 4.2 Relación de modelos numéricos con el primer diseño de estructuras

Software	Escenario	Lecho	TR o caudal máximo	Ecuaciones a utilizar
Hec-Ras	Primer diseño	Sin colmatarse	TR50	DWE
Hec-Ras	Primer diseño	Sin colmatarse	TR50	SWE
Hec-Ras	Primer diseño	Colmatado	TR50	DWE
Hec-Ras	Primer diseño	Colmatado	TR50	SWE

En la simulación con el segundo diseño de estructuras se realizó una simulación con los hidrogramas que corresponden a los periodos de retorno de 50 años y 100 años, con el lecho sin colmatarse y con el lecho colmatado. En la Tabla 4.3 se muestra la relación de modelos numéricos con ‘el segundo diseño de estructuras’.

Tabla 4.3 Relación de modelos numéricos con el segundo diseño de estructuras

Software	Escenario	Lecho	TR o caudal máximo	Ecuaciones a utilizar
Hec-Ras	Segundo diseño	Sin colmatarse	TR50	DWE
Hec-Ras	Segundo diseño	Sin colmatarse	TR50	SWE
Hec-Ras	Segundo diseño	Colmatado	TR50	DWE
Hec-Ras	Segundo diseño	Colmatado	TR50	SWE
Hec-Ras	Segundo diseño	Sin colmatarse	TR100	DWE
Hec-Ras	Segundo diseño	Sin colmatarse	TR100	SWE
Hec-Ras	Segundo diseño	Colmatado	TR100	DWE
Hec-Ras	Segundo diseño	Colmatado	TR100	SWE

4.4. CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS NUMÉRICOS SIN ESTRUCTURAS

4.4.1. Definición del dominio computacional

El dominio computacional usado es el mismo dominio que se utilizó en el modelo físico. De manera que se aprovechó todo el espacio disponible.

4.4.2. Configuración de la malla

El tamaño de malla utilizada tiene un máximo de 25 m² y es del tipo no estructurada. Además, se utilizó los breaklines para que la malla estuviera orientada con la dirección del flujo. De esta manera se aseguraron mejores resultados. En la Figura 4.3 se presenta la malla, las condiciones de borde y los breaklines utilizados.

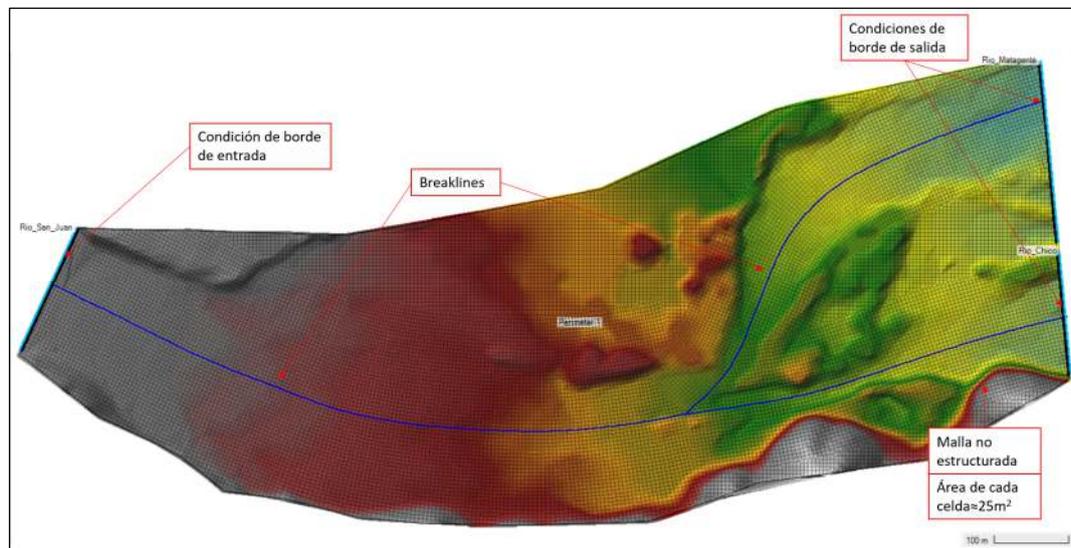


Figura 4.3 Configuración de la malla para el modelo "sin estructuras"

4.4.3. Representación del terreno

La topografía usada ha sido la misma que se usó en la construcción del modelo físico, pero a una escala real. En la Figura 4.4 se presenta las curvas de nivel utilizadas para el modelo sin estructuras.

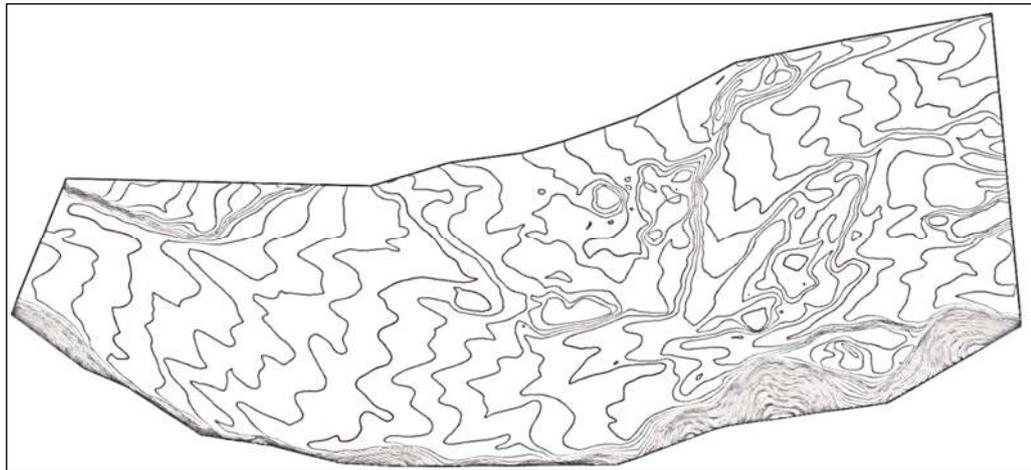


Figura 4.4 Curvas de nivel del terreno en el escenario "sin estructuras"

A partir de esas curvas de nivel se ha generado un modelo digital de elevaciones. En la Figura 4.5 se muestra el modelo digital de elevaciones (MDE) del terreno natural sin estructuras.

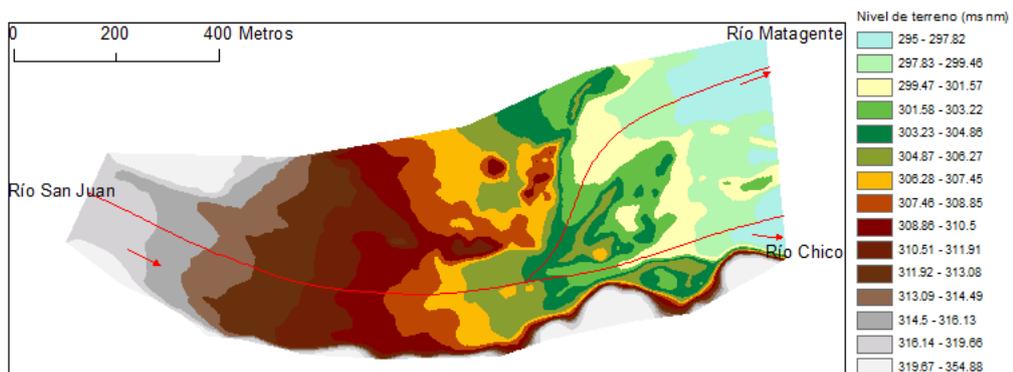


Figura 4.5 Modelo Digital de Elevaciones del terreno en el escenario: "Sin estructuras"

4.4.4. Definición de la rugosidad del cauce

El coeficiente de Manning utilizado para todo el lecho fue de 0,045 que fue el mismo que se obtuvo en la calibración del modelo físico.

4.4.5. Definición de las condiciones de borde

Como condición de borde de entrada se utilizó el mismo hidrograma aplicado en el modelo físico a escala real. En la Tabla 4.4 y Figura 4.6 se muestra en hidrograma de forma tabular y de manera gráfica.

Tabla 4.4 Hidrogramas para los modelos en el escenario “Sin Estructuras”

Hidrograma 1		Hidrograma 2	
t (h)	Q (m ³ /s)	t (h)	Q (m ³ /s)
0	129,17	0	276,19
1	129,17	1	276,19
2	129,17	2	276,19
3	129,17	3	276,19
4	129,17	4	276,19

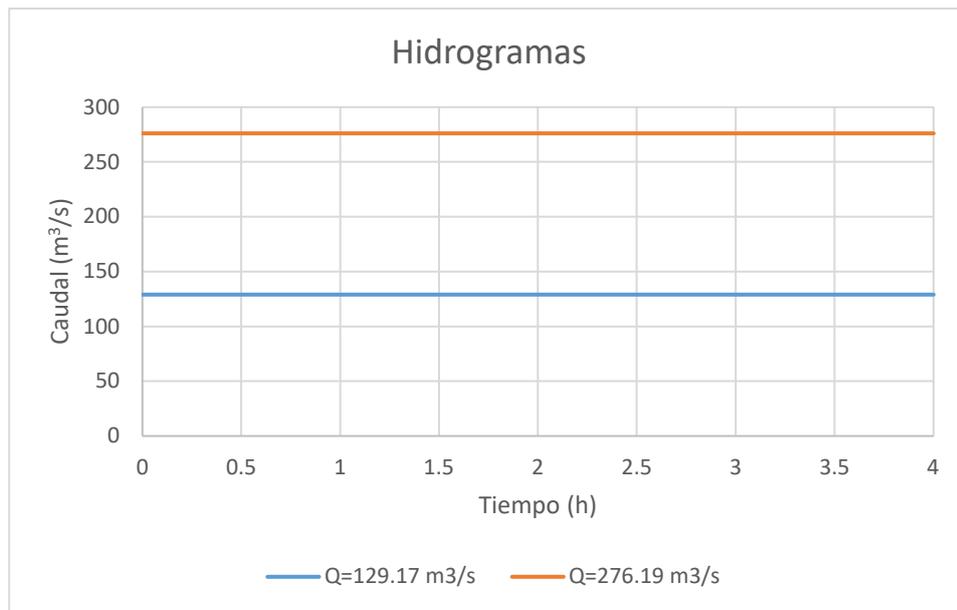


Figura 4.6 Hidrogramas para los modelos en el escenario “Sin Estructuras”

Como condición de borde de salida (ver la Figura 4.3) se consideró la pendiente del cauce natural en su último tramo.

4.4.6. Definición de las ecuaciones a utilizar

Las ecuaciones utilizadas en el software Hec-Ras 2D fueron: Ecuaciones de onda difusa o *Diffusion wave equation* (DWE), y las ecuaciones de aguas poco profundas o *Shallow water equation* (SWE), estas fueron definidas en la ventana de Opciones Computacionales y Tolerancias, la cual se muestra en la Figura 4.7.

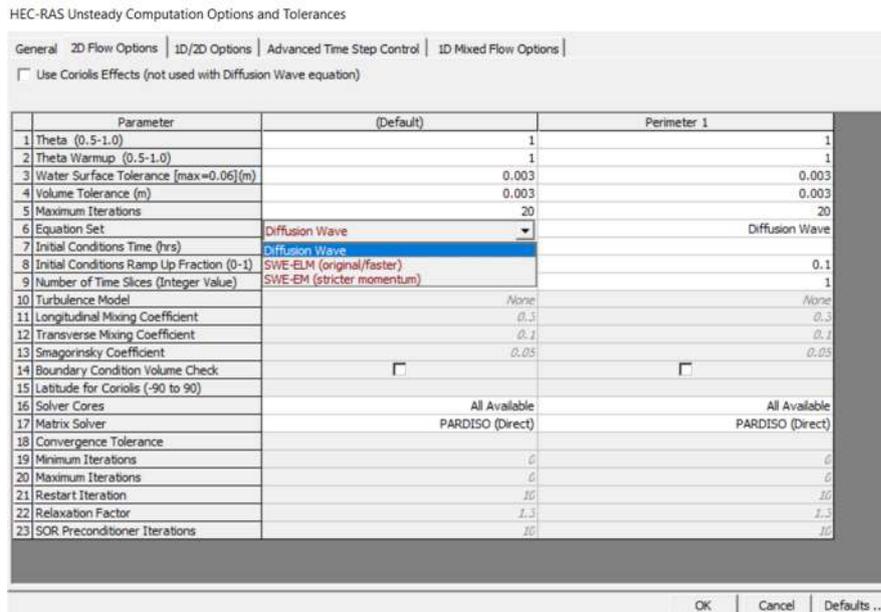


Figura 4.7 Ventana de opciones computacionales y tolerancias

4.4.7. Configuración del paso de tiempo (timestep)

La configuración utilizada para el paso del tiempo es que varíe de acuerdo al número de Courant, que es un indicador de la estabilidad numérica del modelo. En este caso particular, por la presencia de dos barrajes, se ha considerado un número de Courant máximo de 0,5 asegurando la estabilidad del proyecto. En la Figura 4.8 se presenta la configuración y el máximo y mínimo número de Courant

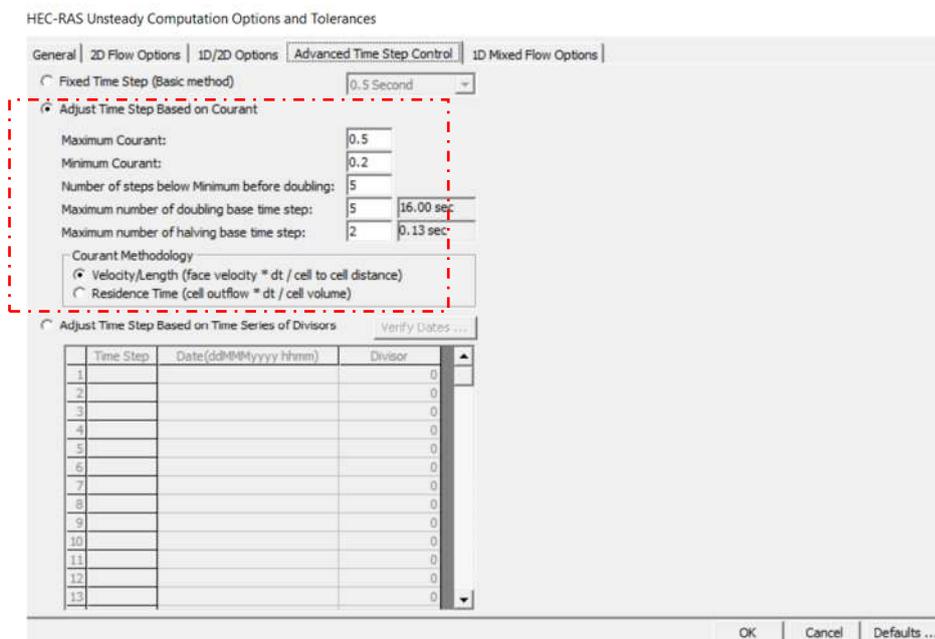


Figura 4.8 Ventana de la configuración avanzada del paso de tiempo

4.5. RESULTADOS PARA EL ESCENARIO DE CAUDAL PERMANENTE Q=129,17 m³/s Y Q=276,19 m³/s

4.5.1. Tirante máximo

El análisis de los tirantes para cada simulación se presenta en las Figura 4.9 y Figura 4.10 observándose que en la bifurcación el Río Chico se presentó un tirante mayor que luego va disminuyendo, en cambio el Río Matagente se presentó un tirante muy pequeño.

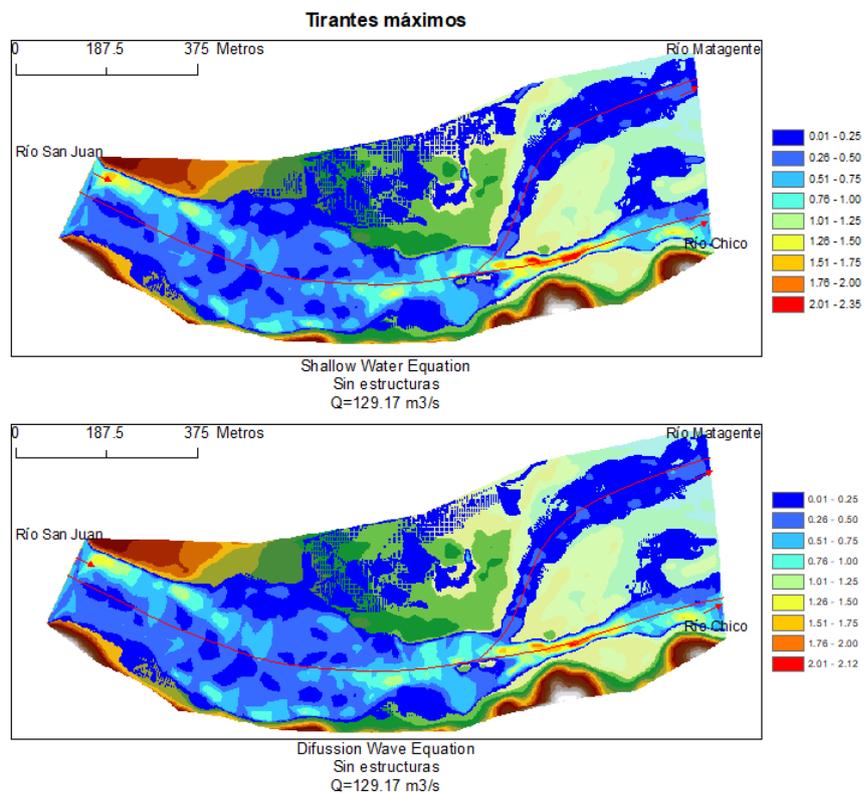


Figura 4.9 Tirantes máximos para el escenario – sin estructuras para un caudal de 129,17 m³/s

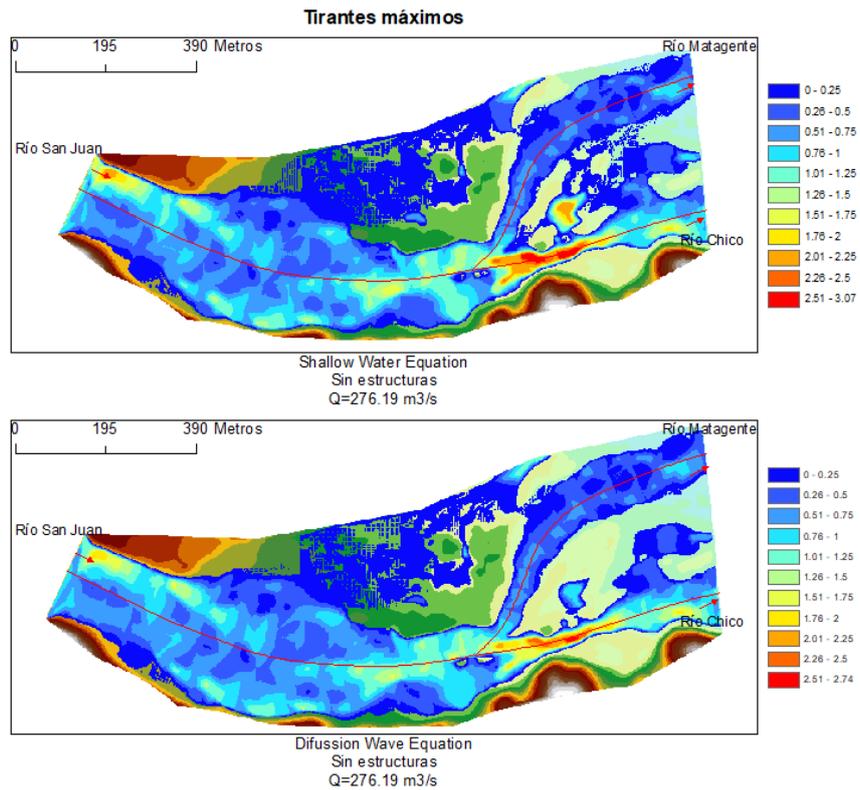


Figura 4.10 Tirantes máximos para el escenario – sin estructuras para un caudal de 276.19 m³/s

4.5.2. Velocidades máximas

Para analizar las velocidades se presentan la Figura 4.11 y Figura 4.12, en la que se muestra la velocidad para cada una de las simulaciones. Con ambos caudales se observó que en la entrada del modelo la velocidad se concentró en la margen izquierda. También se observó que gran parte del agua se dirigió hacia el Río Chico, alcanzando mayores velocidades. Asimismo, se observó que el área de inundación de la margen izquierda presentó velocidades cercanas a cero para el caudal de 129,17 m³/s.

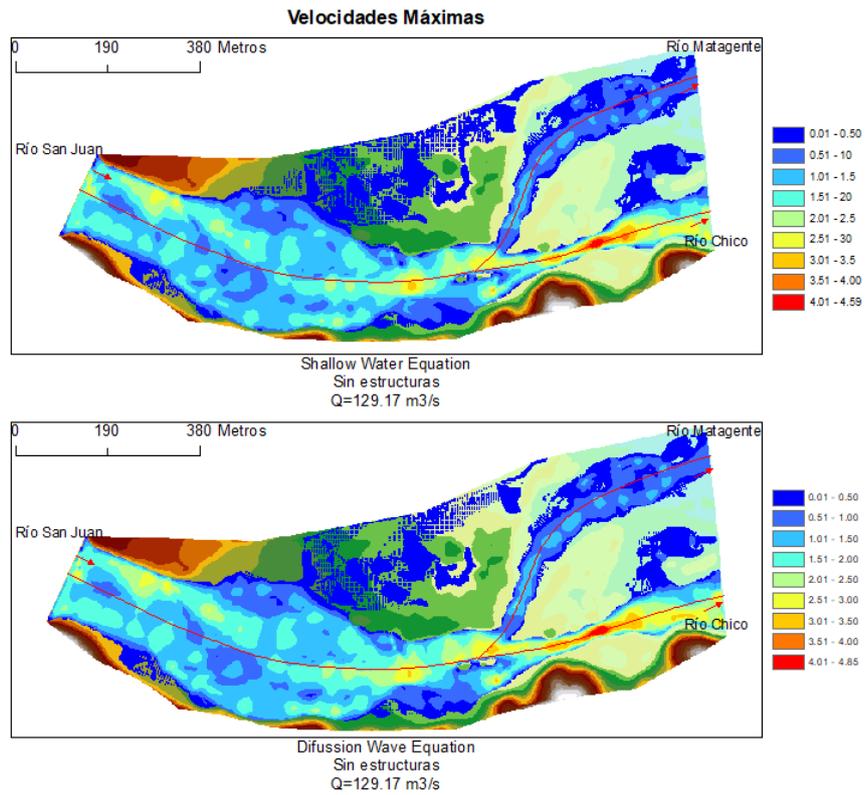


Figura 4.11 Velocidades máximas para el escenario – sin estructuras para un caudal de 129,17 m³/s

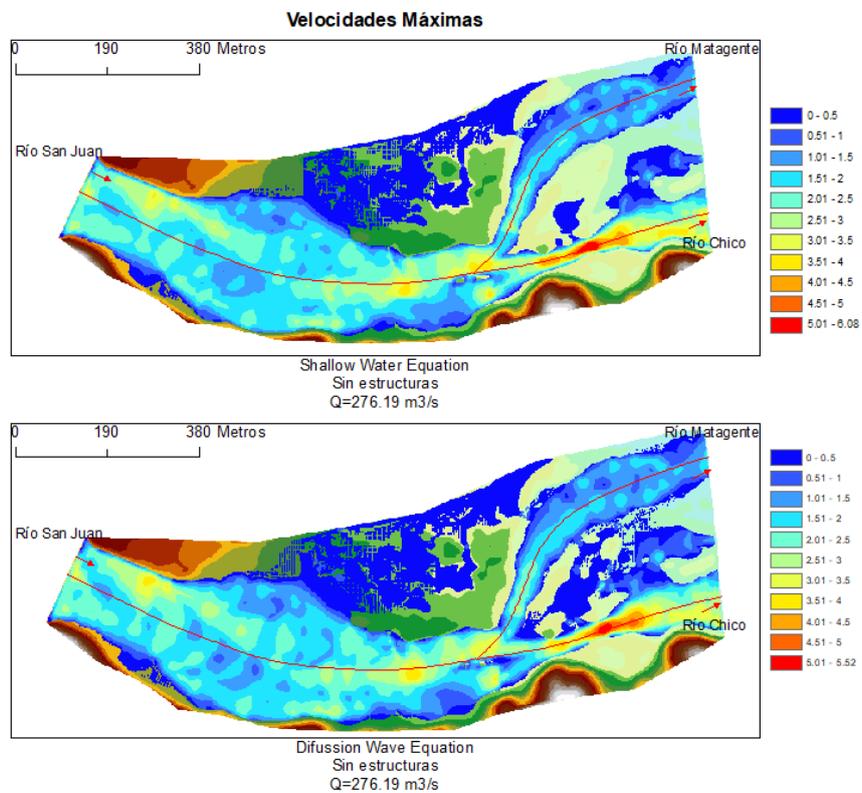


Figura 4.12 Velocidades máximas para el escenario – sin estructuras para un caudal de 276,19 m³/s

4.5.3. Niveles máximos

En la Figura 4.13 y Figura 4.14, se muestran los niveles máximos de agua alcanzados en cada una de las simulaciones. Con ambas ecuaciones y con cada uno de los caudales simulados se presentó un desborde hacia la margen izquierda.

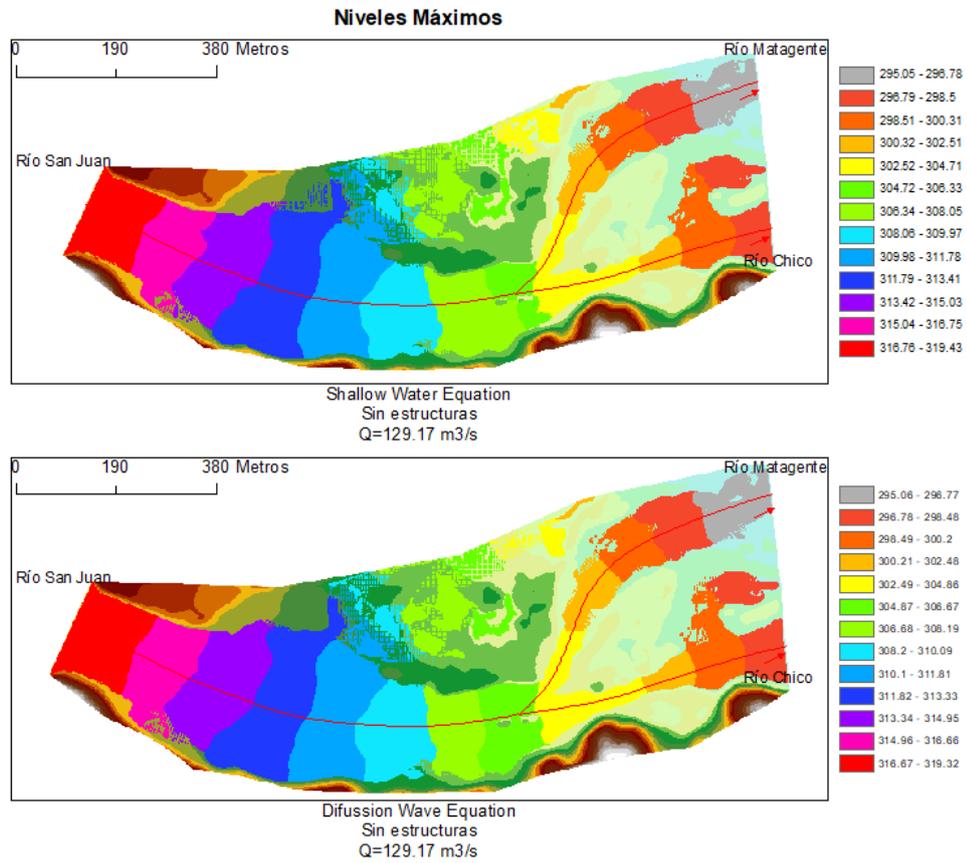


Figura 4.13 Niveles máximos para el escenario – sin estructuras para un caudal de 129,17 m³/s

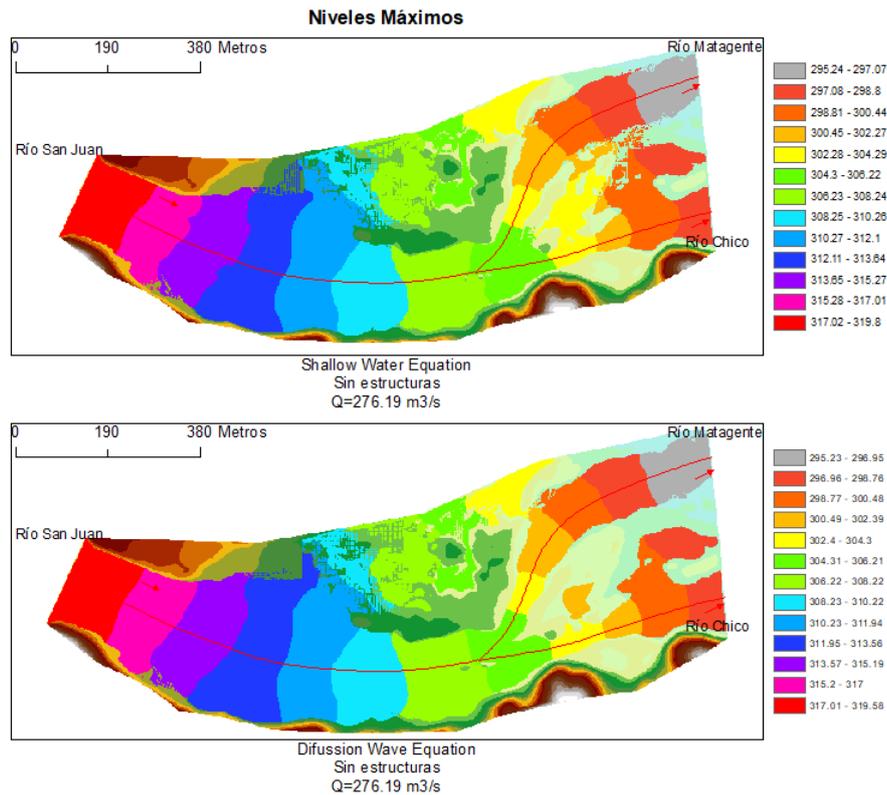


Figura 4.14 Niveles máximos para el escenario – sin estructuras para un caudal de 276,19 m³/s

4.5.4. Distribución de caudales

Para un caudal de 129,17 m³/s:

Con las ecuaciones de aguas poco profundas, el caudal que se dirigió hacia el río Chico fue 121,2 m³/s y el caudal hacia el Río Matagente 8,1 m³/s, es decir, que hacia el primer río se dirigió el 93,7% del caudal total y hacia el otro solo el 6,3%.

Con las ecuaciones de onda difusa, el caudal que se dirigió hacia el río Chico fue 120.9 m³/s y el caudal hacia el Río Matagente 8.9 m³/s, es decir, que hacia el primer río se dirigió el 93.1% del caudal total y hacia el otro solo el 6.9%.

Para un caudal de 276.19 m³/s:

Con las ecuaciones de aguas poco profundas, el caudal que se dirigió hacia el río Chico fue de 229,30 m³/s y el caudal hacia el Río Matagente 47,3 m³/s, es decir, que hacia el primer río se dirigió el 82,9% del caudal total y hacia el otro el 17,1%.

Con las ecuaciones de onda difusa, el caudal que se dirigió hacia el río Chico fue 231,6 m³/s y el caudal hacia el Río Matagente 44,7 m³/s, es decir que hacia el primer río se dirigió el 83,8% del caudal total y hacia el otro el 16,2%.

En todos los casos la distribución de caudal del río San Juan fue muy heterogénea hacia ambos ríos, esto llevó a la necesidad de diseñar una estructura que distribuya los caudales de manera más equitativa.

4.6. CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS NUMÉRICOS CON ESTRUCTURAS

El dominio computacional utilizado, las ecuaciones utilizadas y la configuración del paso del tiempo son los mismos que los utilizados en el modelo numérico sin estructuras y han sido descritos en los ítems 4.4.1, 4.4.6 y 4.4.7.

4.6.1. Configuración de la malla

Se utilizó un tamaño de malla máximo de 2,5 m en zonas donde no hay estructuras y de 1,5 m en zonas donde se ubican las estructuras, además, se utilizó los *breaklines* para que la malla este orientada con la dirección del flujo, y para tener una malla más fina donde se ubican las estructuras. En las Figura 4.15 y Figura 4.16 se observa la malla, las condiciones de borde y los *breaklines* utilizados.

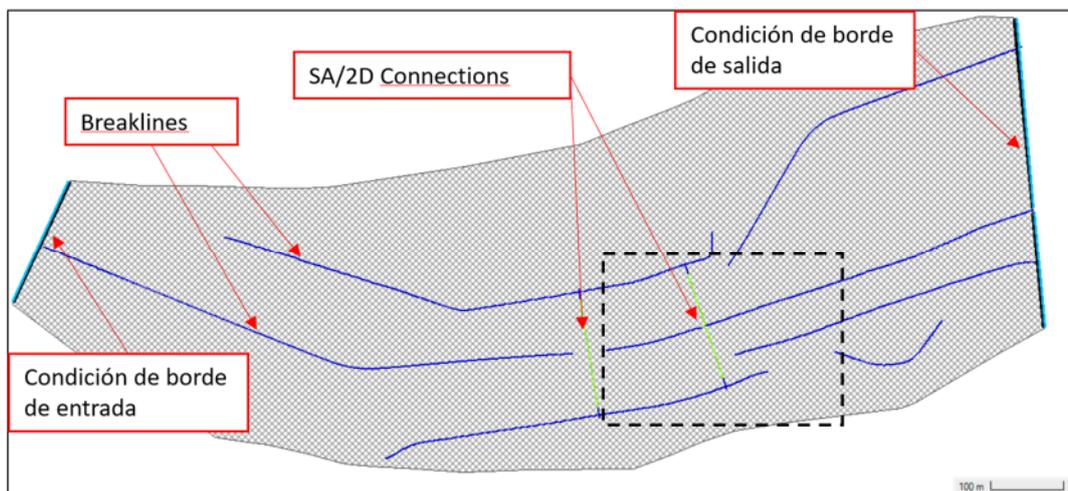


Figura 4.15 Configuración de la malla para los escenarios 'con estructuras'

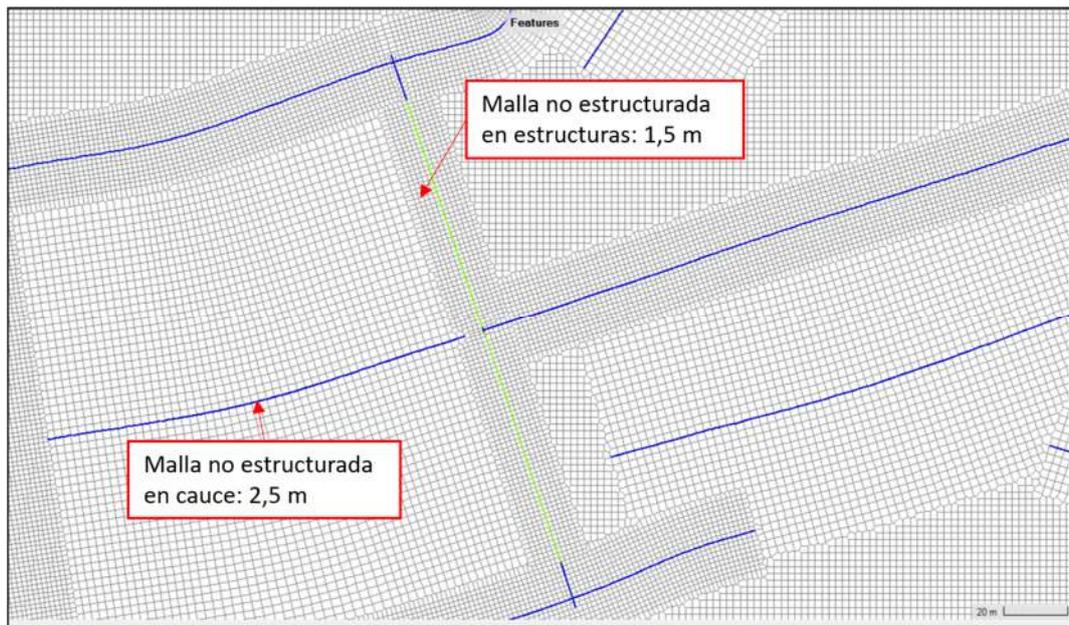


Figura 4.16 Zoom en las estructuras de los vertederos de la configuración de la malla para los escenarios 'con estructuras'

4.6.2. Representación del terreno

La topografía usada fue la misma que se usó en la construcción del modelo físico, pero a una escala real. En esta topografía incorporó las estructuras proyectadas: diques laterales, dique central, muros y barrajes. En la Figura 4.17, Figura 4.18, Figura 4.19 y Figura 4.20 se muestran los modelos digitales de terreno (MDT) para cada uno de los escenarios planteados.

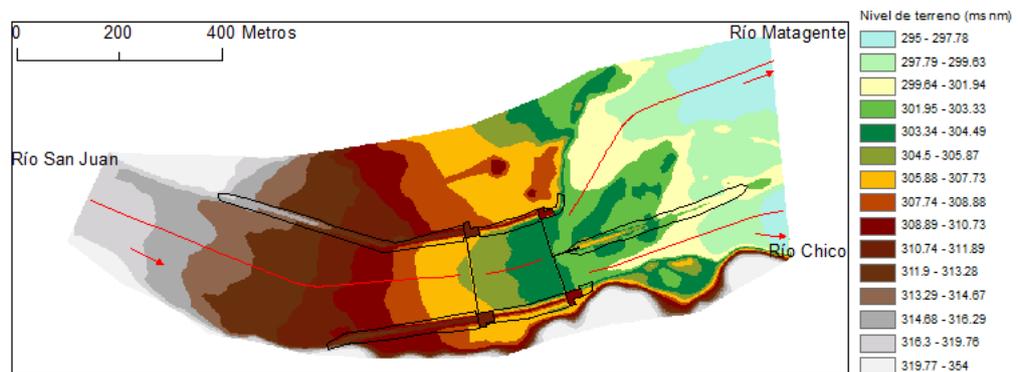


Figura 4.17 MDT para el escenario 'primer diseño de estructuras - sin colmatar'

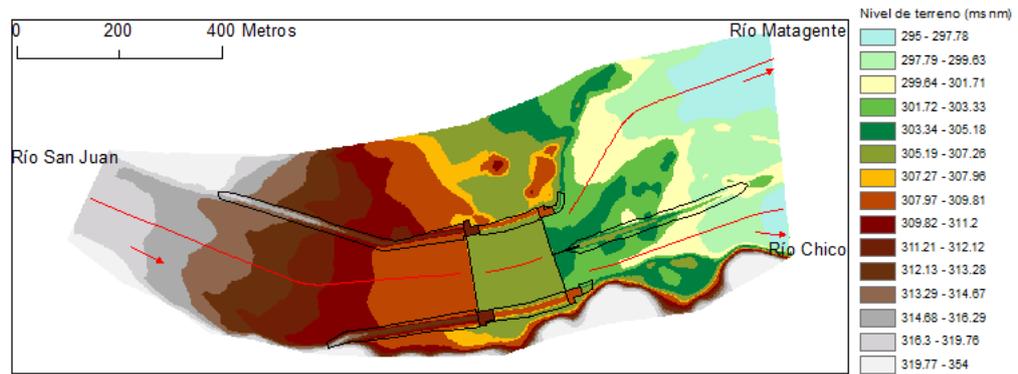


Figura 4.18 MDT para el escenario 'primer diseño de estructuras – colmatado'

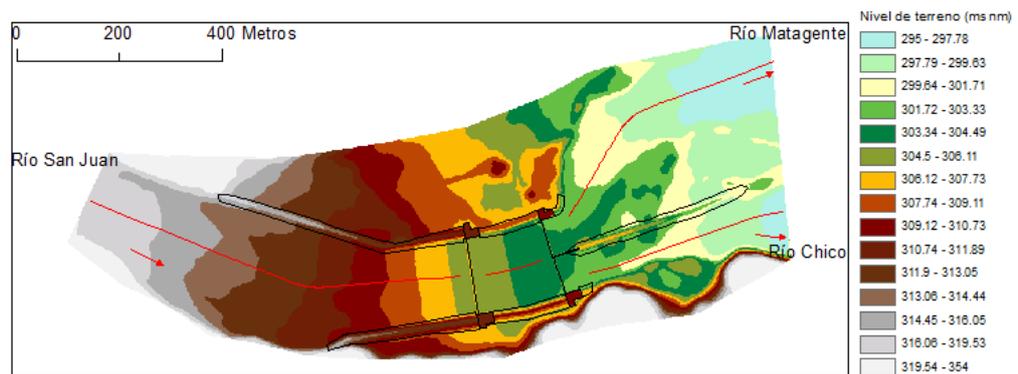


Figura 4.19 MDT para el escenario 'segundo diseño de estructuras - sin colmatar'

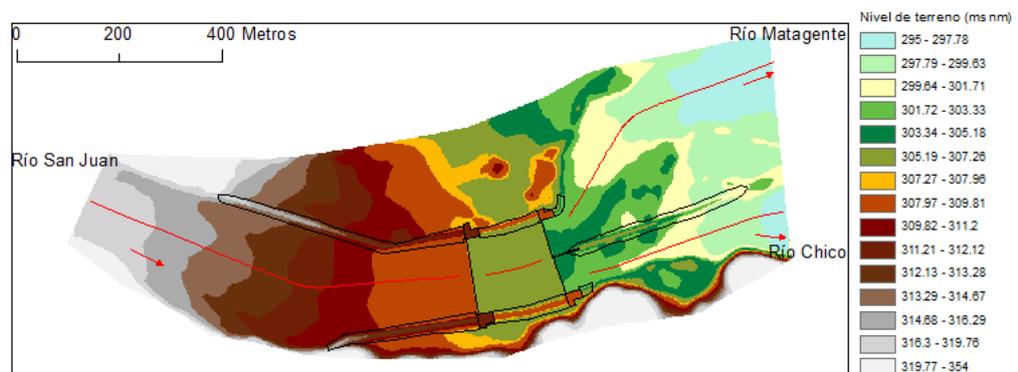


Figura 4.20 MDT para el escenario 'segundo diseño de estructuras - colmatado'

4.6.3. Definición de la rugosidad del cauce

El coeficiente de Manning utilizado para todo el lecho fue de 0,045; para el enrocado fue de 0,048; para el concreto fue de 0,015 y para la mampostería de piedra fue de 0,025; esto valores son concordantes con la información recopilada en el ítem 2.2.3. En la Figura 4.21 se muestra el mapa de rugosidades.

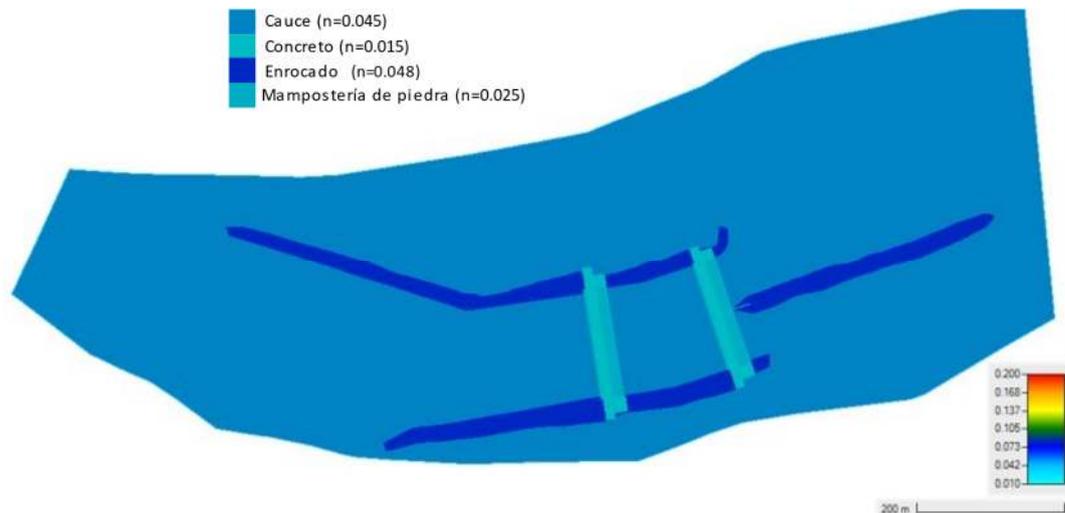


Figura 4.21 Mapa de rugosidades para el escenario 'primer diseño de estructuras - sin colmatar'

4.6.4. Calibración del coeficiente de descarga del vertedero

En el modelo se ha incluido los barrajes laminador y partidor como vertederos, y el dato de entrada fue el coeficiente de descarga C_d . En el fundamento teórico se ha observado que el caudal de descarga viene dado por:

$$Q = C_d \cdot B \cdot (Z_u - Z_w)^{1.5}$$

Donde: Q es caudal de descarga, B es ancho del vertedero, Z_u es la cota aguas arriba del vertedero, y Z_w es la cota de cresta del vertedero.

Para el cálculo del coeficiente de vertedero se ha tomado los resultados del modelo físico para un caudal de 1199,99 m³/s. Específicamente, se ha tomado los datos de los niveles de agua, aguas arriba de los barrajes laminador y partidor; las dimensiones de estos barrajes; y el caudal.

En el capítulo 3 se mencionó que la cota de coronación del barraje laminador fue: 308,2 m ($Z_w = 308,2$ m), que la longitud del vertedero fue 150 m, que el caudal fue 1199,9 m³/s y que el nivel de agua promedio en el barraje laminador es 310,54 m ($Z_u = 310,54$ m).

Despejando la ecuación se tiene:

$$C_d = \frac{Q}{B \cdot (Z_u - Z_w)^{1.5}}$$

Y así se puede calcular un valor de $C_d = 2,24$.

También se mencionó que la cota de coronación de la cresta lateral del barraje partidor es 305,7 m ($Z_w = 305,7$ m) y de la cresta central es 305,2

($Z_w=305,2\text{m}$). Así mismo, se calculó que la longitud total de la cresta lateral fue 62 m; y que la longitud total de la cresta central fue 88 m. El caudal fue de 1199,9 m³/s y el nivel de agua promedio en el barraje partidor fue 307,82 m. ($Z_u=307,82\text{ m}$).

Dado que es un vertedero compuesto, se usó la siguiente fórmula para el cálculo del coeficiente de descarga:

$$C_d = \frac{Q}{B^c \cdot (Z_u - Z_w^c)^{1.5} + B^l \cdot (Z_u - Z_w)^{1.5}}$$

Donde:

B^c : Longitud total de la cresta central

B^l : Longitud total la cresta lateral

Z_w^c : Nivel de coronación del barraje central

Z_u^l : Nivel de coronación del barraje lateral

Con la fórmula presentada se obtuvo que el coeficiente de descarga del vertedero del barraje partidor fue 2,13.

Se promedió los coeficientes de descarga de ambos vertederos y se obtuvo 2,18 y este el valor que finalmente se utilizó en los modelos hidráulicos.

4.6.5. Definición de las condiciones de borde

Como condición de borde de entrada se utilizó hidrogramas con periodos de retorno de 50 años y 100 años. En la Tabla 4.5 y la Figura 4.22 se muestra el hidrograma de forma tabular y gráfica.

Tabla 4.5 Hidrograma para el TR 50 años y 100 años

t(h)	Q(m ³ /s)	
	TR 50	TR100
1	42,4	55,5
2	150,8	189,0
3	340,5	419,6
4	608,7	742,2
5	886,1	1072,7
6	1080,9	1302,0
7	1199,9	1436,8
8	1050,3	1249,0
9	800,1	945,3
10	607,6	714,0
11	466,0	544,9
12	343,2	399,8
13	231,5	269,1
14	143,8	167,0

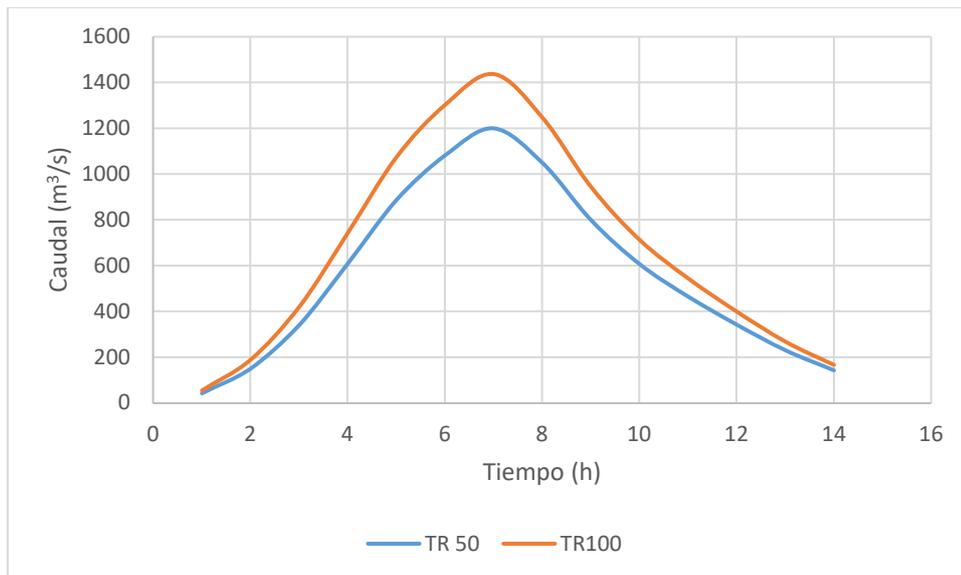


Figura 4.22 Hidrogramas para el TR 50 años y 100 años

4.7. SENSIBILIDAD DEL TAMAÑO DE MALLA

4.7.1. Escenario de comparación

Se escogió un escenario de comparación para extrapolar los resultados hacia los demás escenarios. Y fue el segundo diseño de estructuras con el lecho sin colmatar para un TR de 50 años.

4.7.2. Diferentes configuraciones de la malla

A continuación, se muestra la configuración de las 3 mallas computacionales con las cuales se realizó el modelamiento respectivo y las comparaciones correspondientes. Estas tres mallas eran no estructuradas y tuvieron los mismos breaklines y SA/2D connections; únicamente se diferenciaron en el tamaño de las celdas computacionales. La malla 01 tenía las celdas computacionales de un tamaño de 0,7 m de lado en las estructuras; la malla 02, de 1,5 m, y la malla 03, de 3,0 m.

En la Figura 4.23, se muestra la configuración de cada una de las mallas mencionadas, y en la Tabla 4.6 se muestra el tamaño de las celdas computacionales.

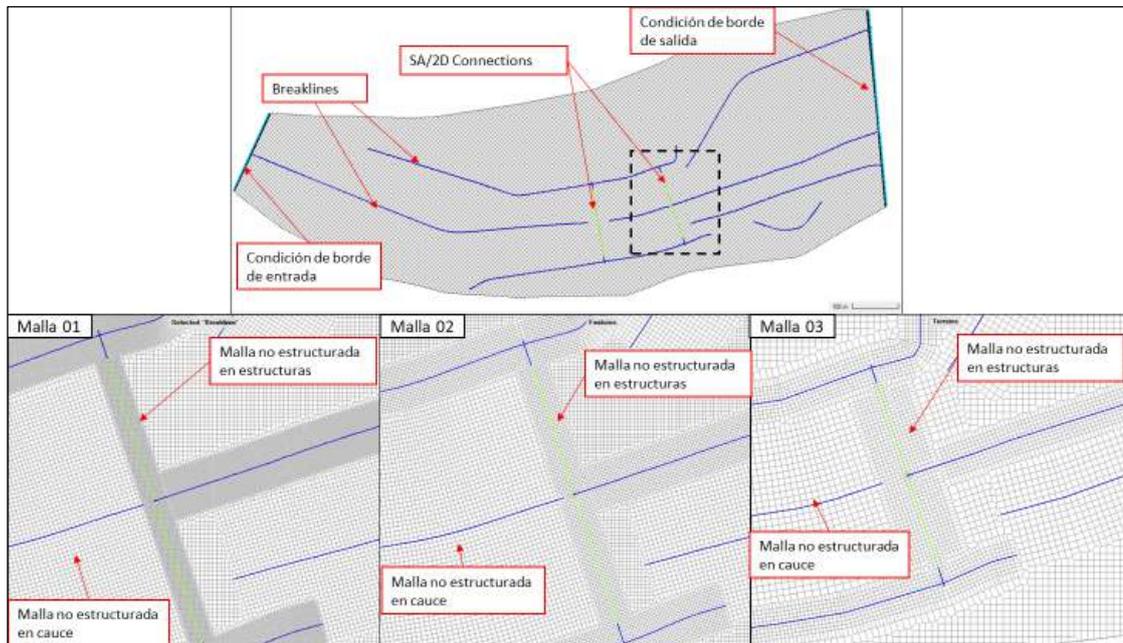


Figura 4.23 Configuración de las mallas computacionales para la sensibilidad del tamaño de malla

Tabla 4.6 Tamaño de las mallas computacionales para la sensibilidad del tamaño de malla

Tamaño de malla	Malla 01	Malla 02	Malla 03
En cauce	2,1 m	2,5 m	5,0 m
En estructuras	0,7 m	1,5 m	3,0 m

4.7.3. Comparación de resultados

Con estos tres tamaños de malla se ejecutaron los modelos numéricos. En la Figura 4.24 se presenta el mapa de tirantes máximos de la malla 01, el mapa de la diferencia de tirantes entre la malla 01 y la malla 02, y el mapa de diferencia de tirantes entre la malla 01 y la malla 03. Se realizó la presentación de esta manera para resaltar las diferencias de los resultados entre las distintas mallas. En dicha figura se observó que entre las mallas 01 y 02 las diferencias son mínimas en los puntos de medición de niveles. Y que entre las mallas 01 y 03 hay importantes diferencias aguas abajo de los partidores laminador y partidor.

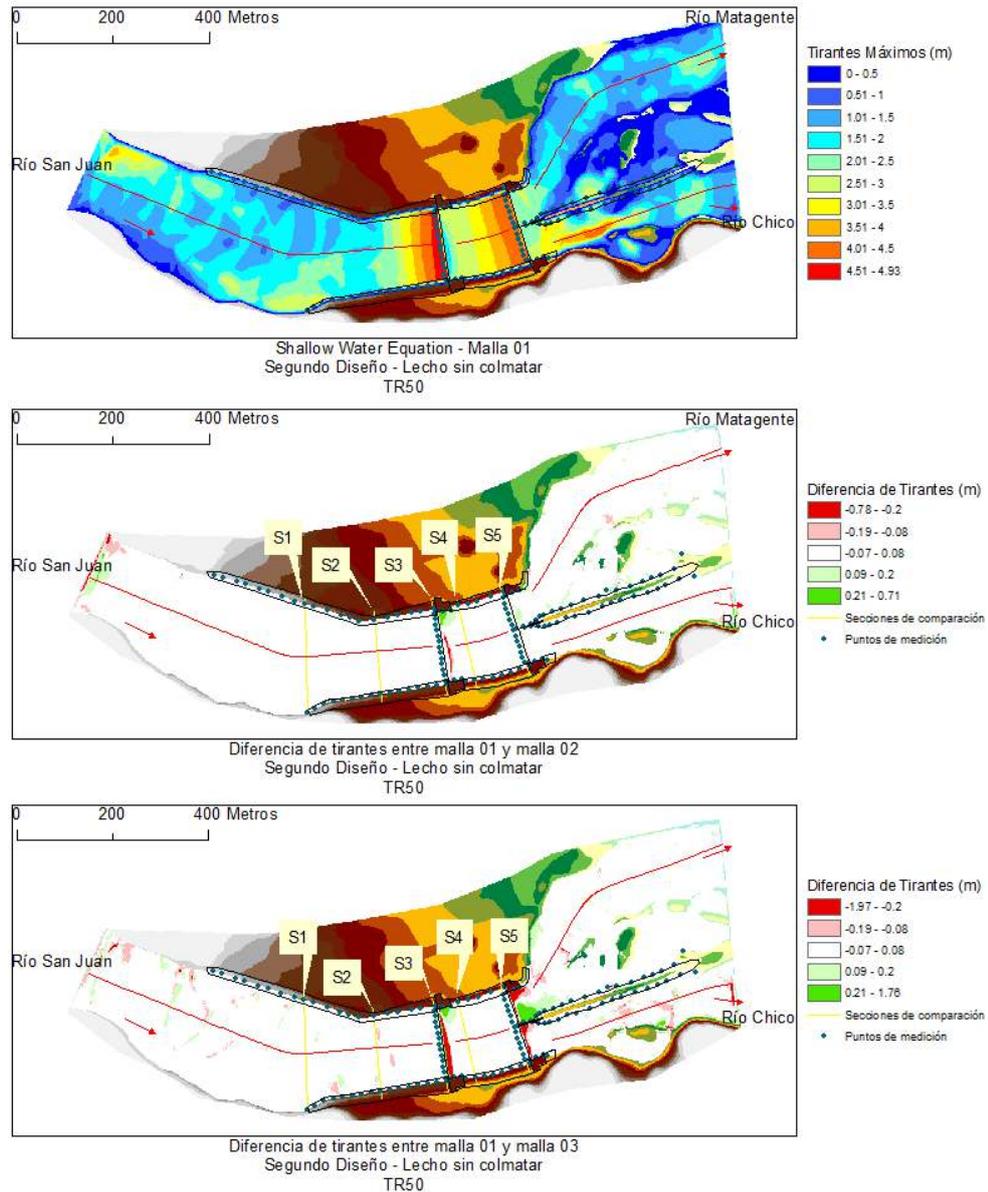


Figura 4.24 Comparación del mapa de tirantes máximos entre la malla 01, 02 y 03

En las Figura 4.25, Figura 4.26, Figura 4.27, Figura 4.28 y Figura 4.29 se muestra la diferencia entre las mallas 1, 2 y 3 en las secciones 1, 2, 3, 4 y 5. En todas estas secciones se observa que los tirantes son casi idénticos entre las tres mallas.

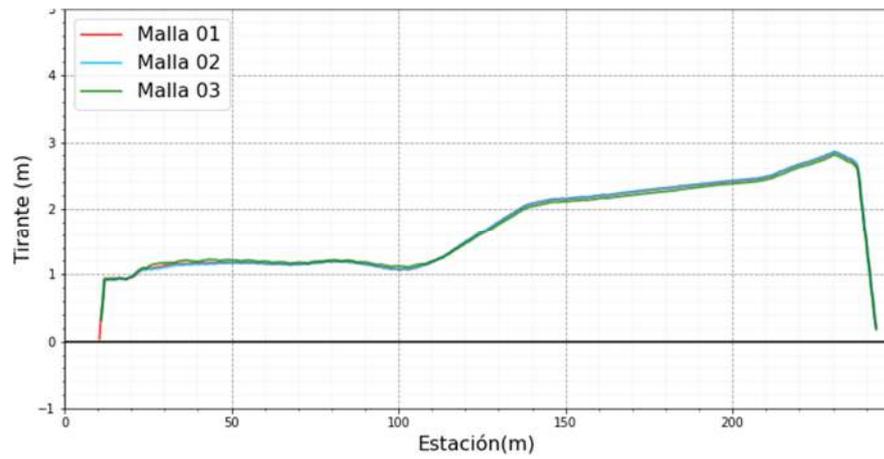


Figura 4.25 Comparación de los tirantes máximos entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 01

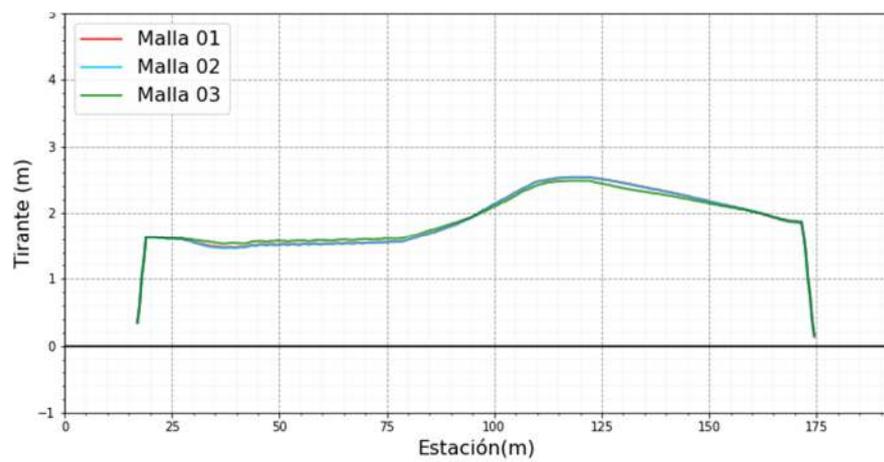


Figura 4.26 Comparación de los tirantes máximos entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 02

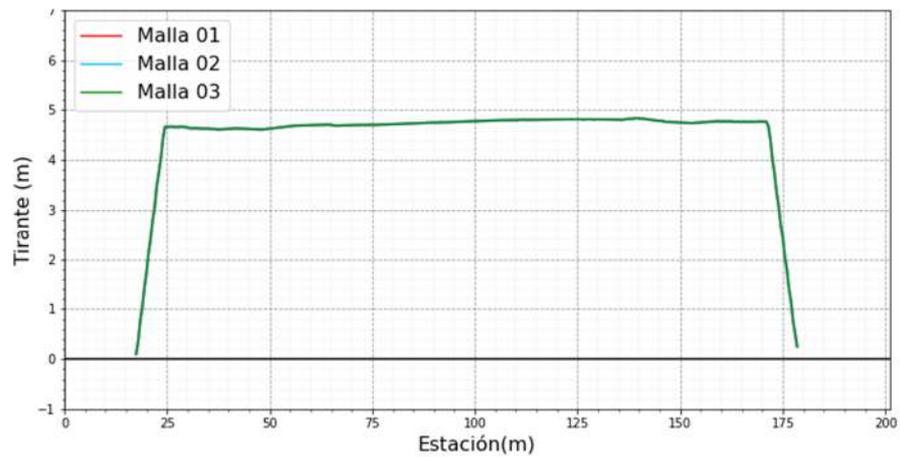


Figura 4.27 Comparación de los tirantes máximos entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 03

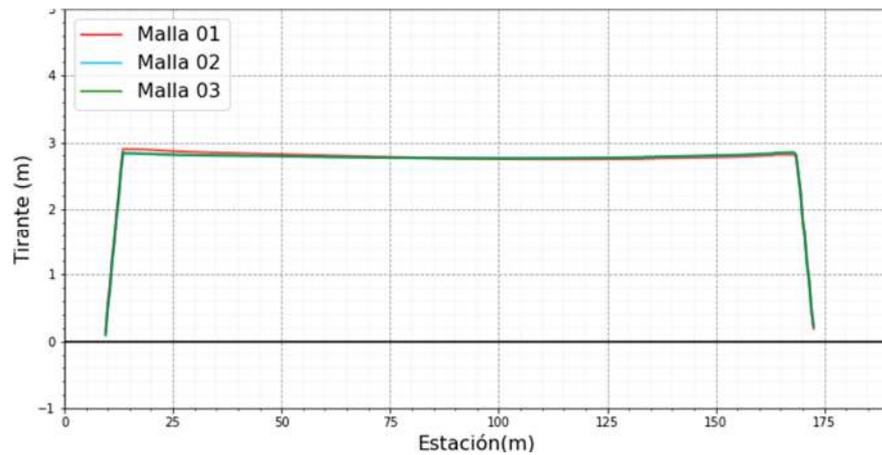


Figura 4.28 Comparación de los tirantes máximos entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 04

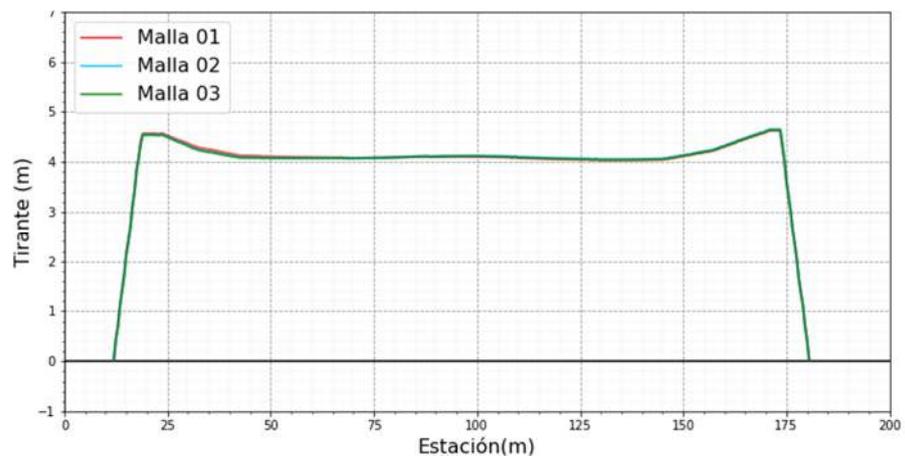


Figura 4.29 Comparación de los tirantes máximos entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 05

En la Figura 4.30 se presenta el mapa de velocidades máximas de la malla 01, el mapa de la diferencia de velocidades entre la malla 01 y la malla 02, y el mapa de diferencia de velocidades entre la malla 01 y la malla 03. Se realizó la presentación de esta manera para resaltar las diferencias de los resultados entre las distintas mallas. En dicha figura se observó que entre las mallas 01 y 02 las diferencias son mínimas en los puntos de medición de velocidades. Y que entre las mallas 01 y 03 hay importantes diferencias aguas abajo de los partidores laminador y partidor y en los ríos Chico y Matagente.

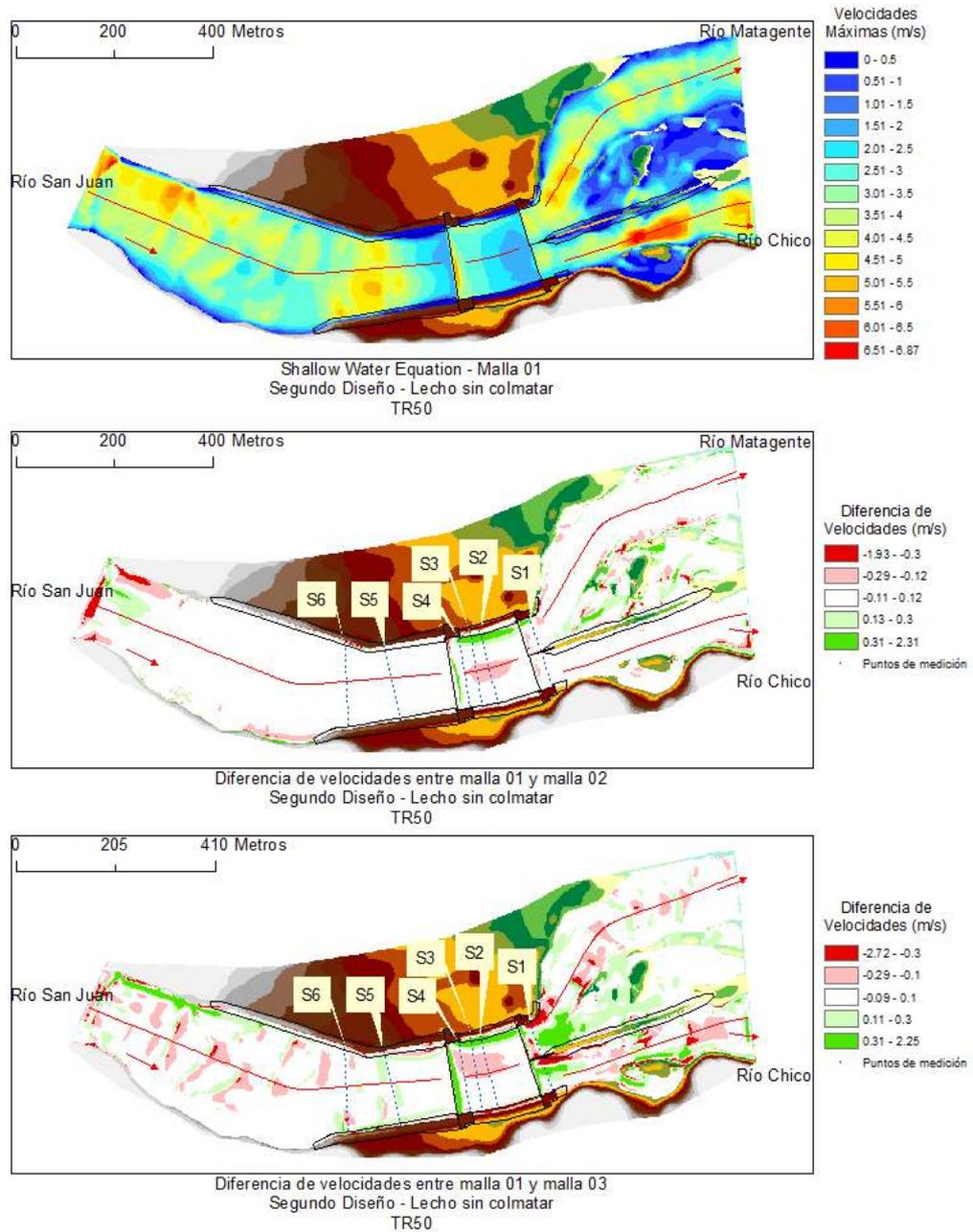


Figura 4.30 Comparación del mapa de velocidades máximas entre la malla 01, 02 y 03

En las Figura 4.31, Figura 4.32, Figura 4.33, Figura 4.34 y Figura 4.35 se muestra la diferencia entre las mallas 1; 2 y 3 en las secciones 1; 2; 3; 4; 5 y 6 que son las mismas secciones donde se tomó mediciones de velocidad en el modelo físico. En la sección 1 se observa que las velocidades de la malla 01 y 02 son similares, mientras que las velocidades de la malla 03 se distancia hasta en 1.2 m/s aproximadamente de las velocidades de las otras mallas. En las secciones 2; 3 y 4 las diferencias de velocidades se encontraron en una zona puntual en la margen izquierda, la diferencia máxima entre la malla 01 y 02 es de 0,5 m/s mientras que la diferencia máxima entre la malla 01 y 03 es

de 0,8 m/s aproximadamente. En las secciones 5 y 6 se observa que las velocidades en las tres mallas son casi idénticas.

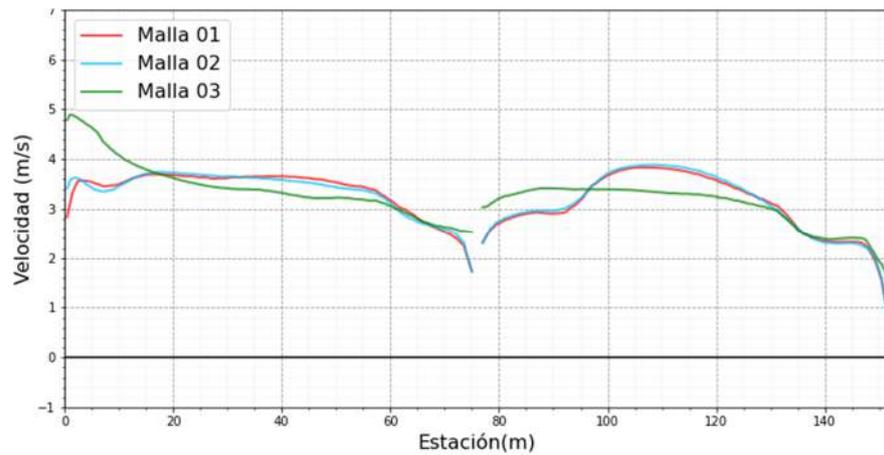


Figura 4.31 Comparación de las velocidades máximas entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 01

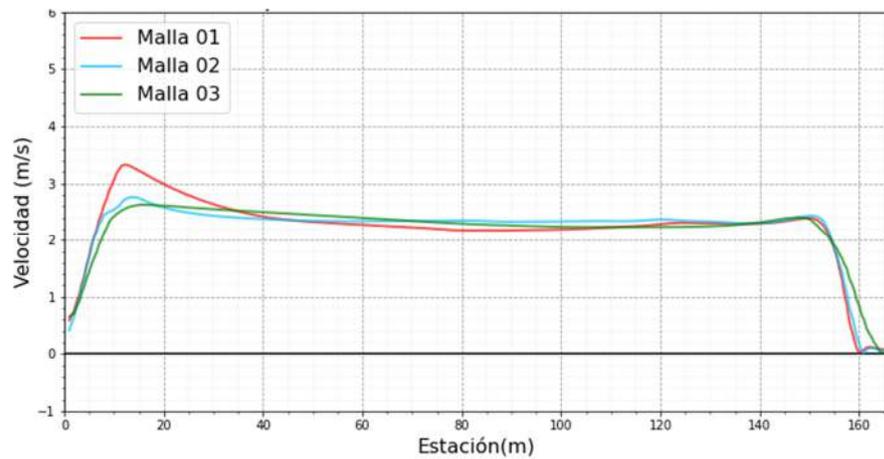


Figura 4.32 Comparación de las velocidades máximas entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 02

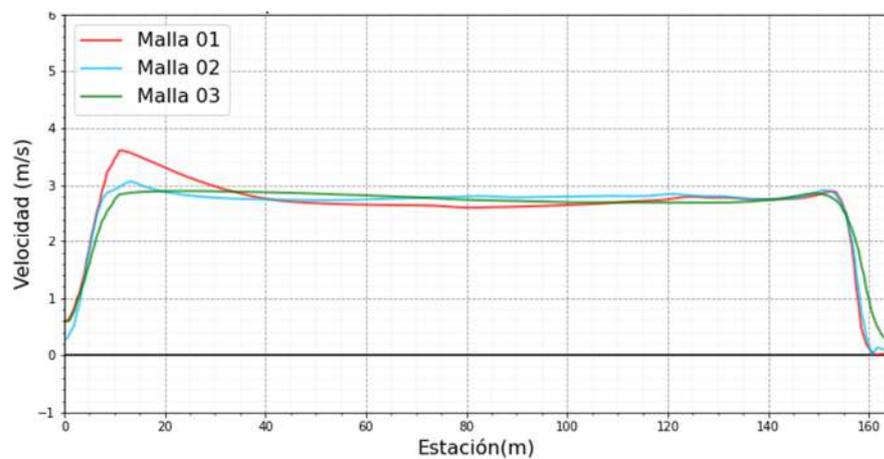


Figura 4.33 Comparación de las velocidades máximas entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 03

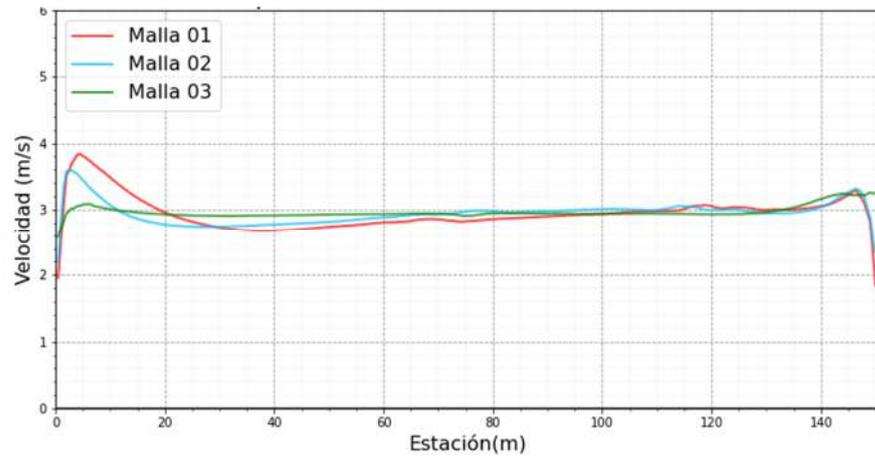


Figura 4.34 Comparación de las velocidades máximas entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 04

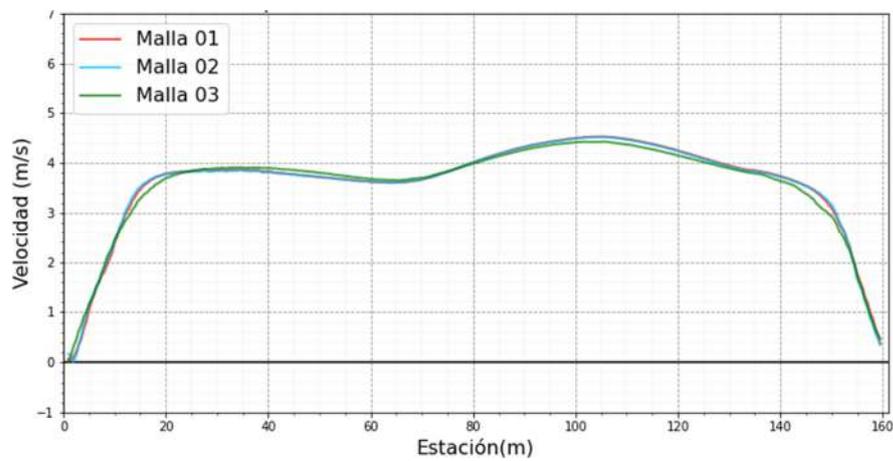


Figura 4.35 Comparación de las velocidades máximas entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 05

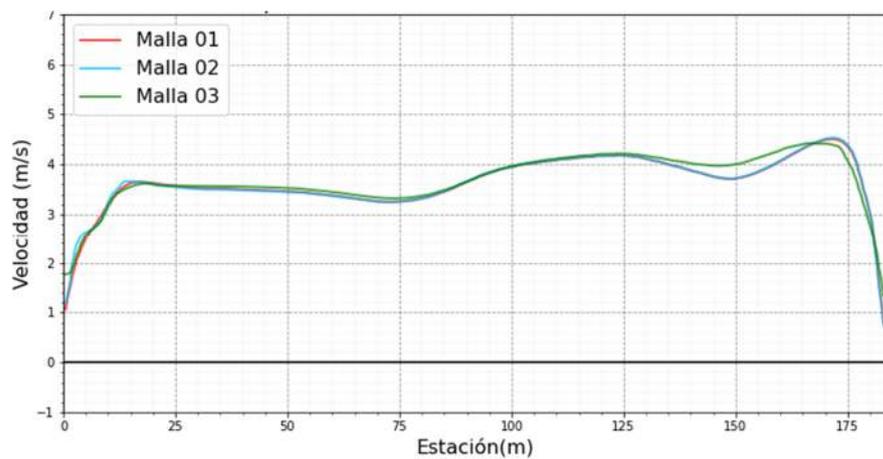


Figura 4.36 Comparación de las velocidades máximas entre la malla 01, 02 y 03 en la sección 06

4.7.4. Comparación de los tiempos computacionales

El tiempo computacional es el tiempo que demora el modelo en ejecutarse; depende del tamaño del modelo, del tamaño de la malla, de las ecuaciones

utilizadas, y de las características de la computadora donde se ejecuta el modelo. Estos modelos han sido ejecutados en una laptop Core i7 con 16 Gb de memoria RAM. Y demoró 3 horas en simular el modelo con la malla 03; 10 horas, el modelo con la malla 02; y 51 horas, el modelo con la malla 01.

4.7.5. Elección de la malla

La malla 01 arrojó resultados comparables a la malla 02, aunque su rendimiento computacional es aproximadamente cinco veces superior. Asimismo, se observaron similitudes en los resultados entre la malla 01 y la malla 03, no obstante, se identificaron discrepancias significativas en las zonas aguas abajo a los barrajes laminador y partidor. Por consiguiente, se concluyó que la malla 02 destacó como la opción más eficiente tanto en términos de rendimiento computacional como de resultados obtenidos.

4.8. RESULTADOS PARA EL ESCENARIO DE TR DE 50 AÑOS CON EL PRIMER DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON EL LECHO SIN COLMATAR

4.8.1. Tirantes máximos

En la Figura 4.37 se muestra los tirantes para cada una de las simulaciones. Se observó que aguas arriba de los barrajes laminador y partidor, el tirante tiene los valores más altos y que va disminuyendo progresivamente hacia aguas arriba.

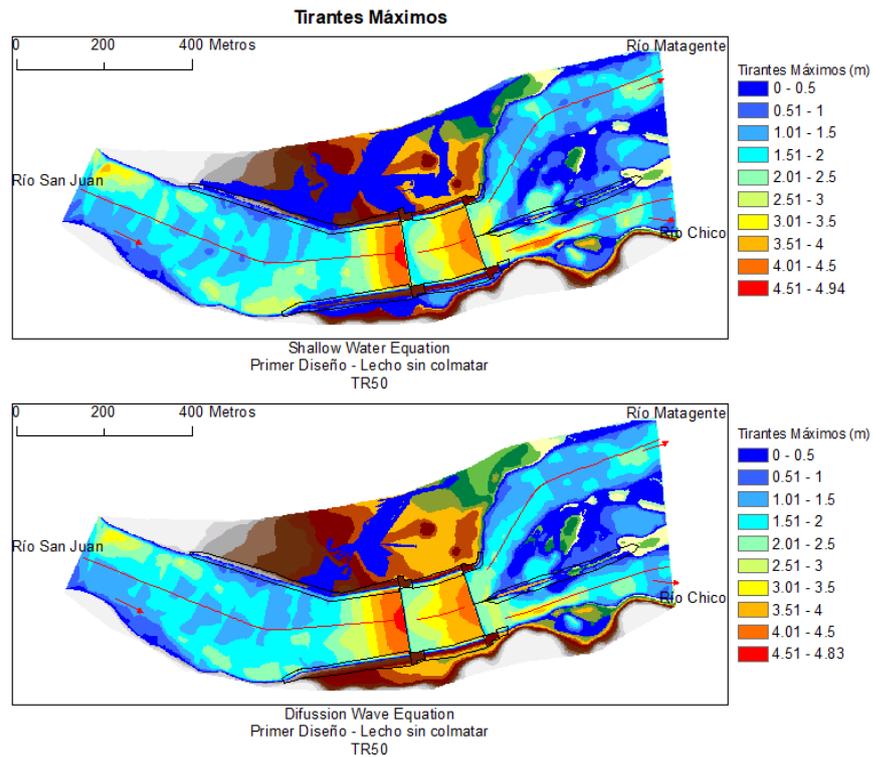


Figura 4.37 Tirantes máximos para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho sin colmatar para el TR 50 años

4.8.2. Velocidades Máximas

En la Figura 4.38 se muestra la velocidad para cada una de las simulaciones. Se observó que aguas arriba de los barrajes las velocidades disminuyen y que aguas abajo de los barrajes se generaron velocidades altas. Las máximas velocidades se encontraron en el lado del río Chico, con las ecuaciones SWE se presentaron velocidades de hasta 6,9 m/s y con las ecuaciones DWE, 16.09 m/s.

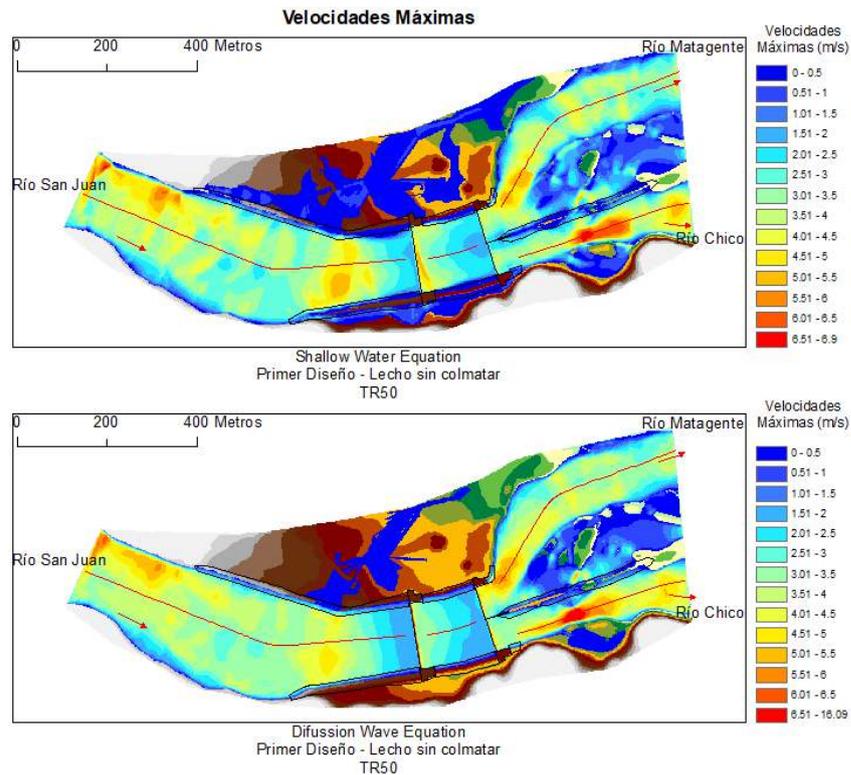


Figura 4.38 Velocidades máximas para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho sin colmatar para el TR 50 años.

4.8.3. Niveles máximos

En la Figura 4.39 se muestra los niveles de agua máximo de cada una de las simulaciones. Con ambas ecuaciones se observó un desborde del dique izquierdo y en el dique central. Con las ecuaciones SWE se observó que hay un desborde en la margen derecha, mientras que con las ecuaciones DWE no observó este desborde.

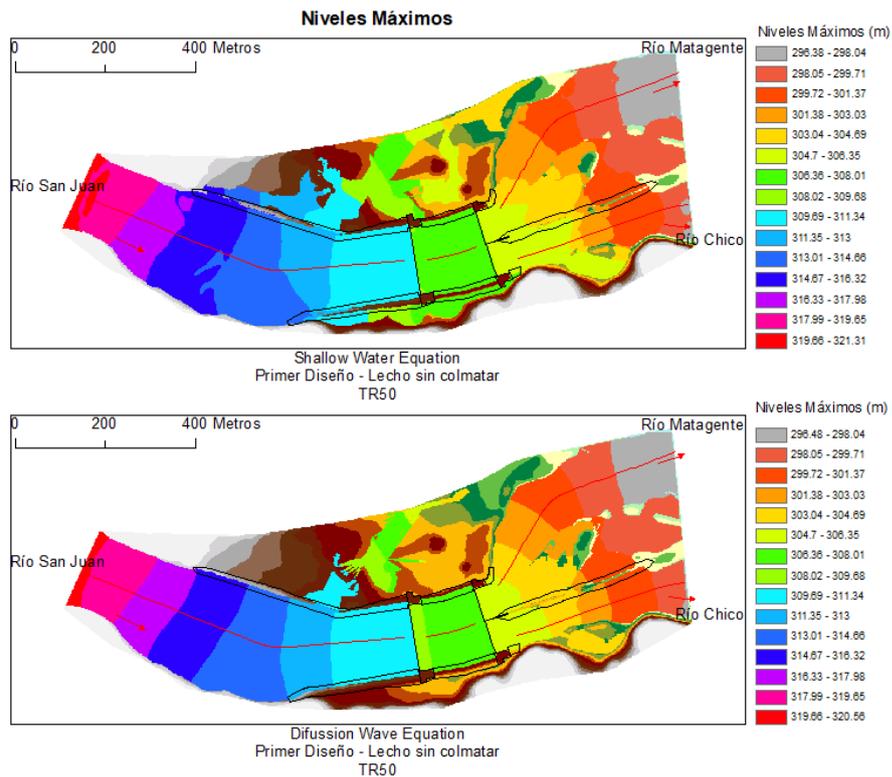


Figura 4.39 Niveles máximos para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho sin colmatar para un el TR 50 años

4.8.4. Distribución de caudales

La distribución de caudales del río San Juan hacia los ríos Chico y Matagente se muestran en la Figura 4.40 para las ecuaciones SWE y DWE.

Con ambas ecuaciones la distribución de caudales fue similar, para caudales bajos el agua se dirigió en mayor proporción hacia el río Matagente, por ejemplo, para un caudal de 250 m³/s, con las ecuaciones DWE el agua se distribuyó hacia el río Matagente 46% y hacia el río Chico 54% y con las ecuaciones SWE 45% y 55%. Y para los caudales mayores la distribución fue más equitativa. Por ejemplo, para el caudal pico correspondiente a un TR de 50 años (1199,9 m³/s) el agua se distribuyó 53% hacia el río Matagente y 47% hacia el río Chico.

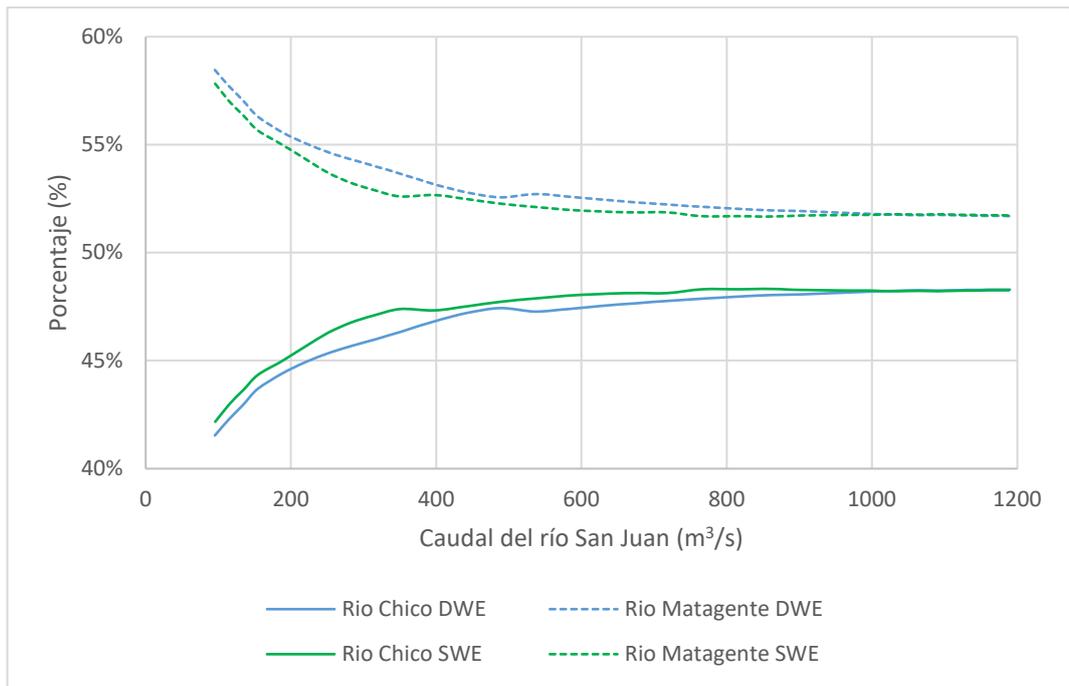


Figura 4.40 Distribución de caudales obtenido con los modelos numéricos para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho sin colmatar.

4.9. RESULTADOS PARA EL ESCENARIO DE TR DE 50 AÑOS CON EL PRIMER DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON EL LECHO COLMATADO

4.9.1. Tirantes máximos

En la Figura 4.41 se muestra los tirantes para cada una de las simulaciones.

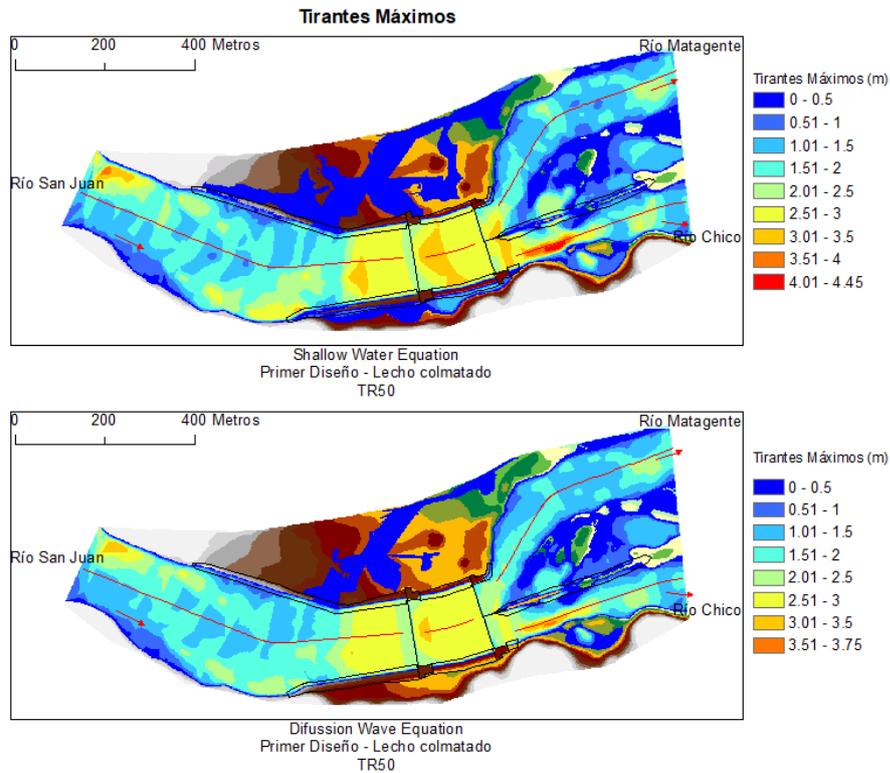


Figura 4.41 Tirantes máximos para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho colmatado para el TR 50 años

4.9.2. Velocidades Máximas

En la Figura 4.42 se muestra la velocidad para cada una de las simulaciones. Las máximas velocidades se encuentran en el lado del río Chico, con las ecuaciones SWE se presentaron velocidades de hasta 6,9 m/s y con las ecuaciones DWE, 14.2 m/s.

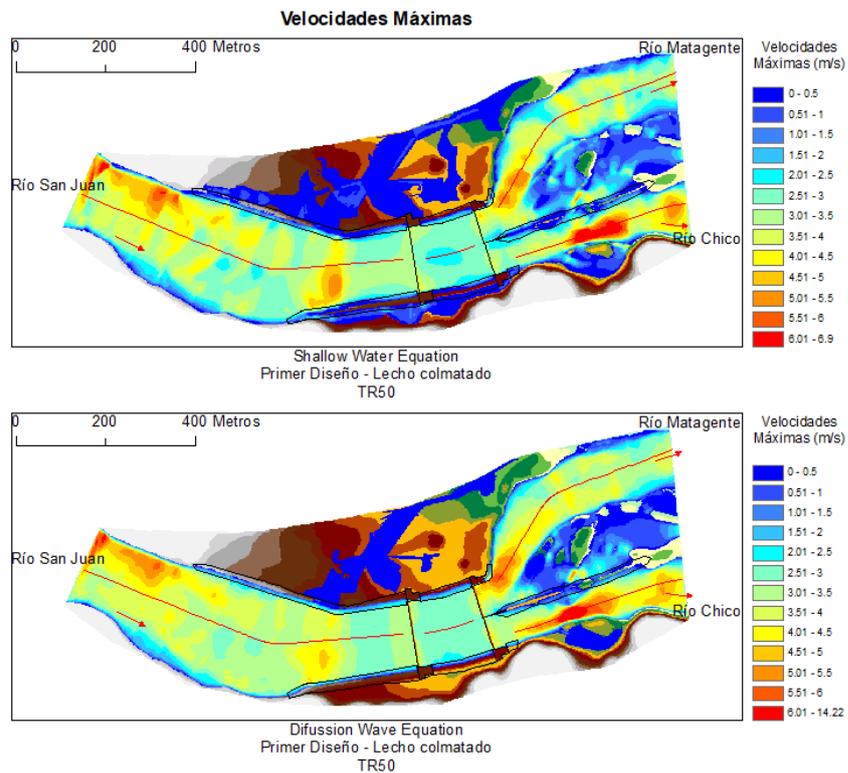


Figura 4.42 Velocidades máximas para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho colmatado el TR 50 años

4.9.3. Niveles máximos

En la Figura 4.43 se muestra los niveles de agua máximo de cada una de las simulaciones. Con ambas ecuaciones se observó un desborde del dique izquierdo y en el dique central. Con las ecuaciones SWE se observó que hay un desborde en la margen derecha, mientras que con las ecuaciones DWE no observó este desborde.

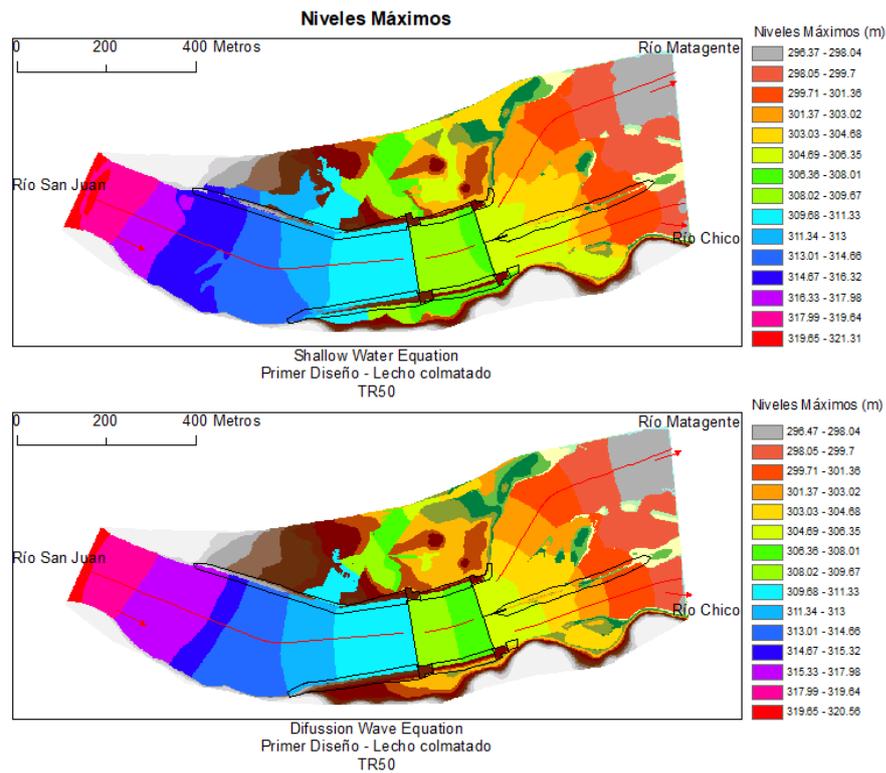


Figura 4.43 Niveles máximos para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho colmatado para el TR 50 años

4.9.4. Distribución de caudales

La distribución de caudales del río San Juan hacia los ríos Chico y Matagente se muestran en la Figura 4.44 para las ecuaciones SWE y DWE.

Con ambas ecuaciones la distribución de caudales fue similar, y tanto para caudales bajos como para caudales altos el agua se distribuyó de manera equitativa. Por ejemplo, para un caudal de 250 m³/s, con las ecuaciones DWE el agua se distribuyó hacia el río Matagente 47% y hacia el río Chico 53% y con las ecuaciones SWE 48% y 52%. Así mismo, para el caudal pico correspondiente a un TR de 50 años el agua se distribuyó 51% hacia el río Matagente y 49% hacia el río Chico.

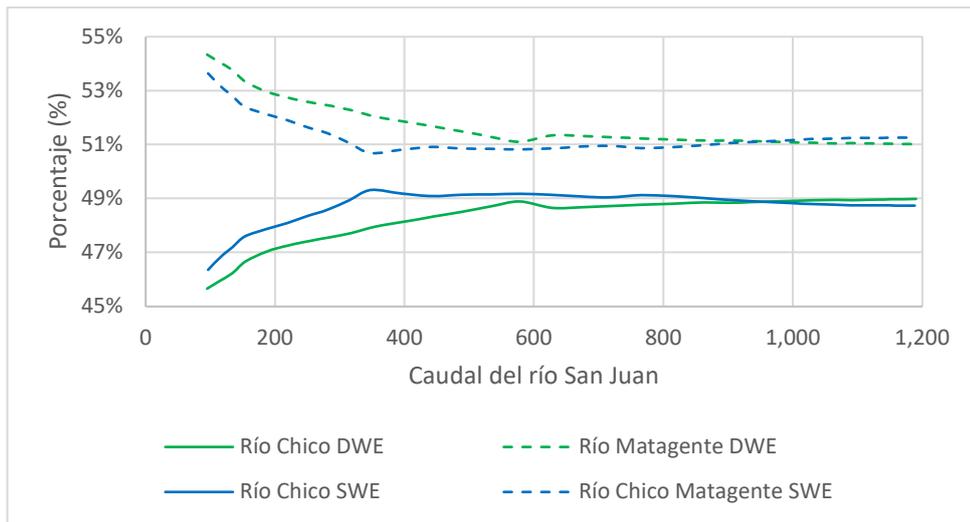


Figura 4.44 Distribución de caudales obtenido con los modelos numéricos para el escenario – primer diseño de estructuras – lecho colmatado

4.10. RESULTADOS PARA EL ESCENARIO DE PERIODOS DE RETORNO DE 50 AÑOS Y DE 100 AÑOS CON EL SEGUNDO DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON EL LECHO SIN COLMATAR

4.10.1. Tirantes máximos

En la Figura 4.45 y Figura 4.46 se muestra los tirantes para cada una de las simulaciones. Se observó que aguas arriba de los barrajes laminador y partidor, el tirante tenía los valores más altos y que iba disminuyendo progresivamente hacia aguas arriba.

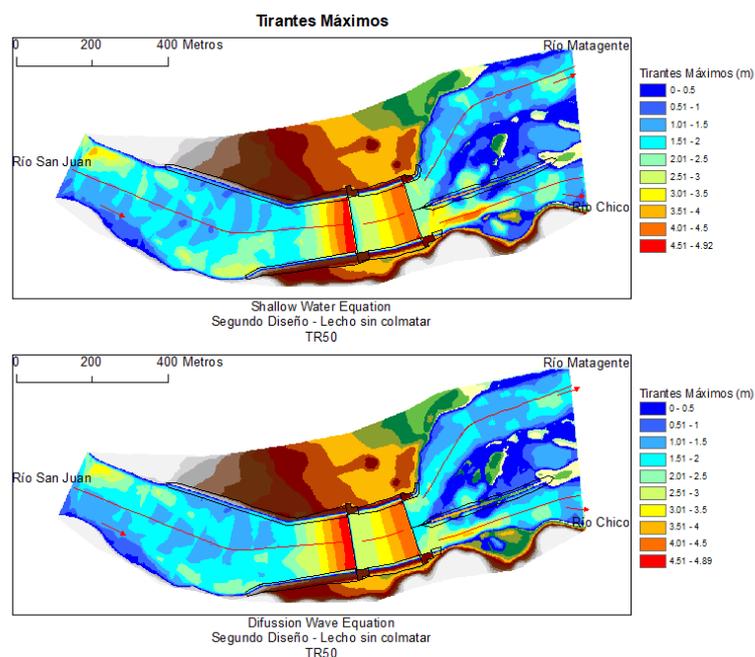


Figura 4.45 Tirantes máximos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho sin colmatar para el TR 50 años

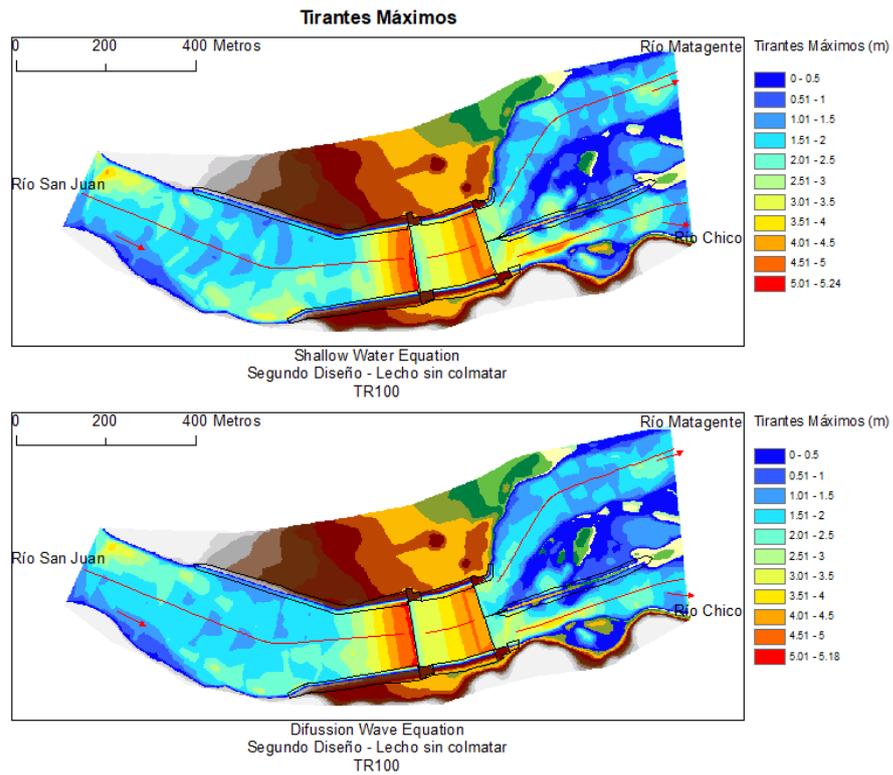


Figura 4.46 Tirantes máximos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho sin colmatar el TR 100 años

4.10.2. Velocidades Máximas

En la Figura 4.47 y Figura 4.48 se muestran las velocidades para cada una de las simulaciones. Se observó que aguas arriba de los barrajes las velocidades disminuyeron y que aguas abajo de los barrajes se generaron velocidades altas.

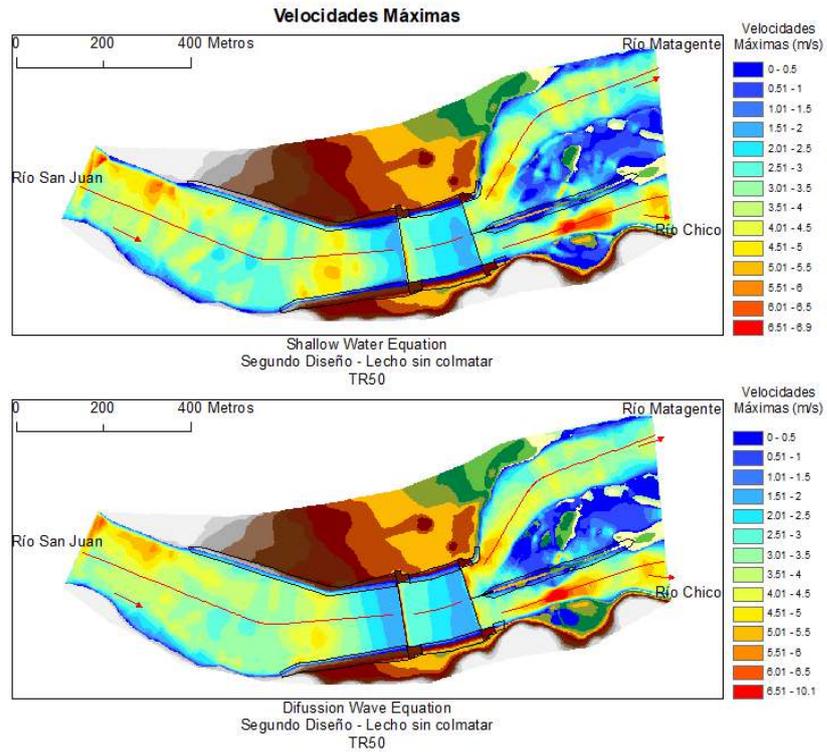


Figura 4.47 Velocidades máximas para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho sin colmatar para un TR de 50 años

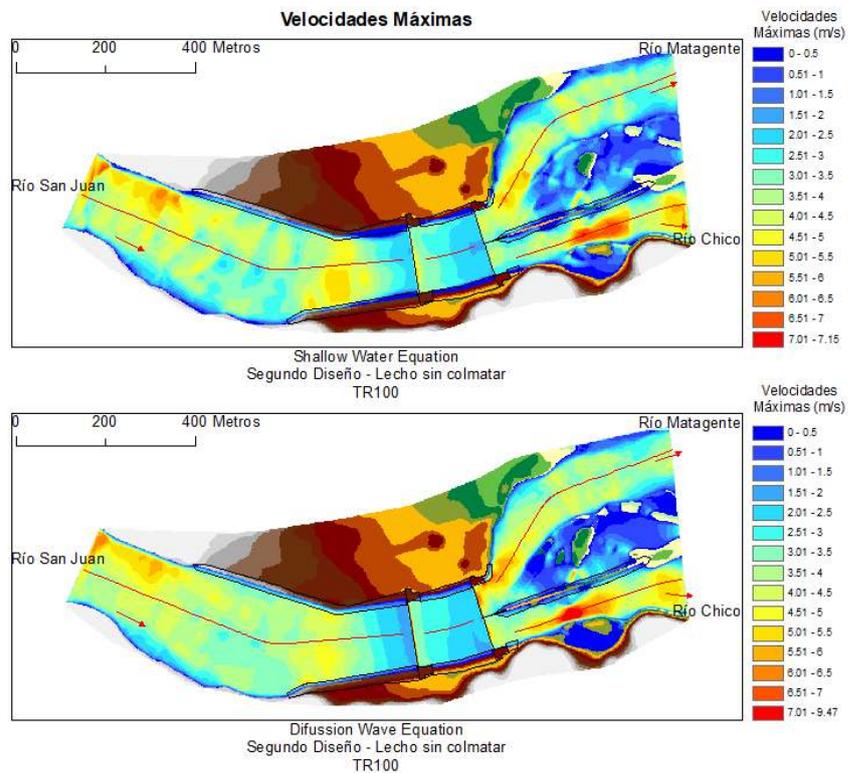


Figura 4.48 Velocidades máximas para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho sin colmatar para el TR 100 años

4.10.3. Niveles máximos

En la Figura 4.49 y Figura 4.50 se muestran los niveles de agua máximo de cada una de las simulaciones. No se observó ningún desborde. Comparando los resultados con las ecuaciones SWE y DWE, en la zona de la curva se observó que con las ecuaciones SWE el agua se eleva hacia el margen derecho, mientras que con las ecuaciones DWE no se observa este efecto.

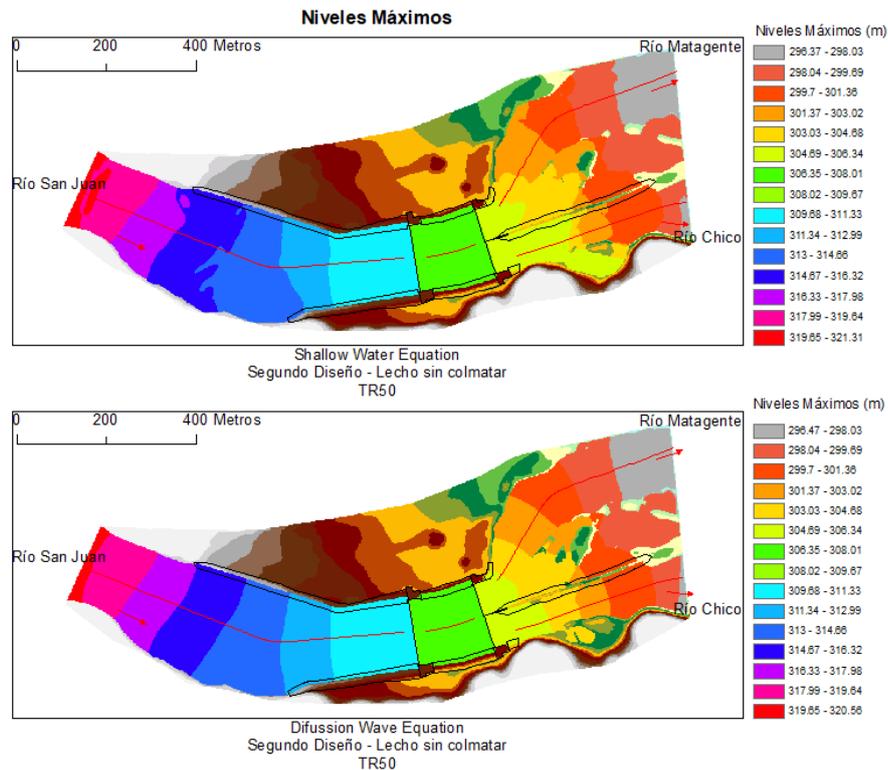


Figura 4.49 Niveles máximos para el escenario –segundo diseño de estructuras – lecho sin colmatarse para el TR 50 años

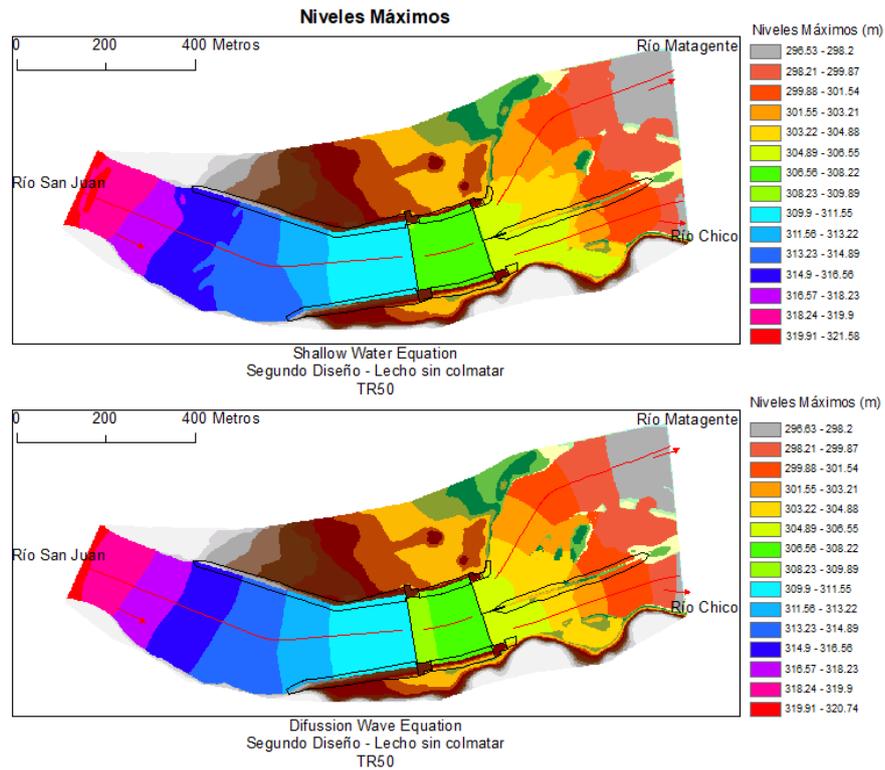


Figura 4.50 Niveles máximos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho sin colmatar para el TR 50 años

4.10.4. Distribución de caudales

La distribución de caudales del río San Juan hacia los ríos Chico y Matagente se muestran en la Figura 4.51 para las ecuaciones SWE y DWE respectivamente.

Con ambas ecuaciones la distribución de caudales fue similar, para caudales bajos el agua se distribuyó 54% hacia el río Matagente y 46% hacia el río Chico, y para el caudal pico correspondiente a un TR de 50 años ($1199,9 \text{ m}^3/\text{s}$) fue de 51% hacia en el río Matagente y 49% hacia el río Chico. Y para el TR de 100 años ($1436,8 \text{ m}^3/\text{s}$) fue de 51% hacia en el río Matagente y 49% hacia el río Chico. Se puede observar que, en el segundo diseño de estructuras, el caudal se distribuye de manera equitativa para caudales altos.

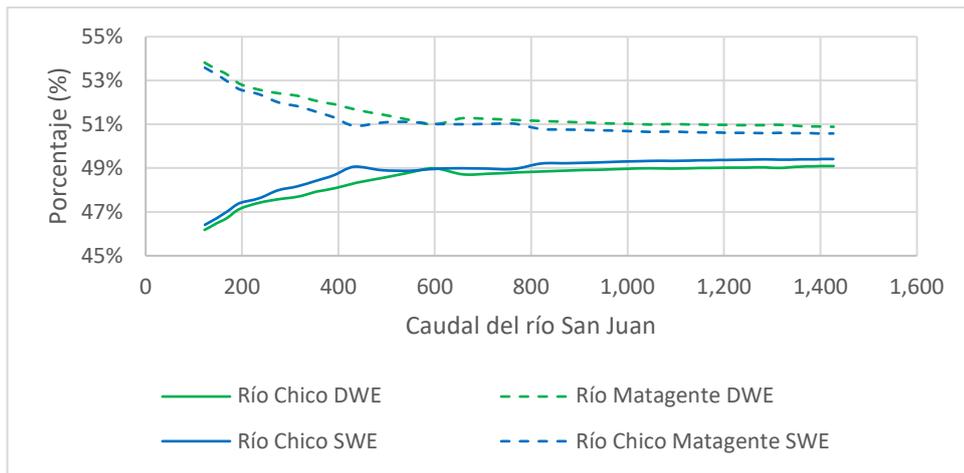


Figura 4.51 Distribución de caudales obtenido con los modelos numéricos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho sin colmatarse

4.11. RESULTADOS PARA EL ESCENARIO DE PERIODOS DE RETORNO DE 50 AÑOS Y DE 100 AÑOS CON EL SEGUNDO DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON EL LECHO COLMATADO

4.11.1. Tirantes máximos

En la Figura 4.52 y Figura 4.53 se muestra el tirante para cada una de las simulaciones.

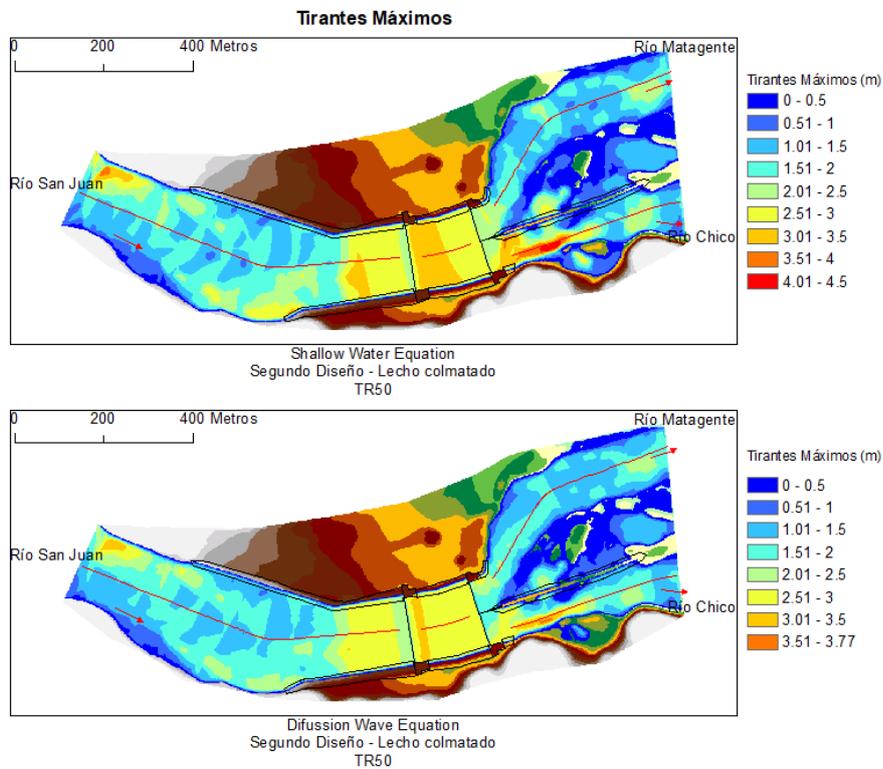


Figura 4.52 Tirantes máximos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho colmatado para el TR 50 años

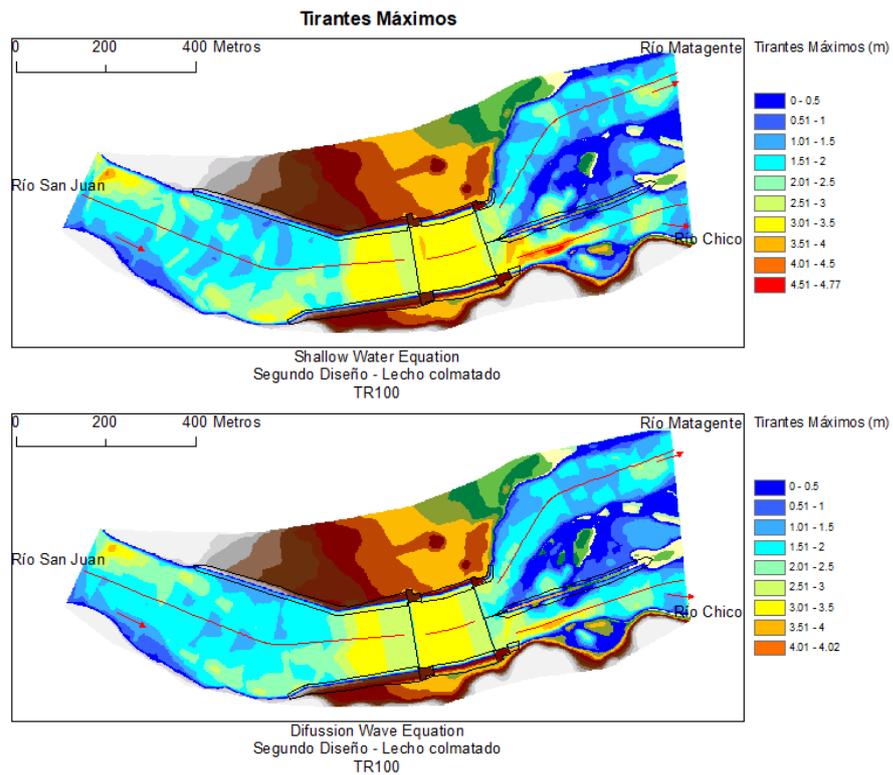


Figura 4.53 Tirantes máximos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho colmatado para el TR de 100 años

4.11.2. Velocidades Máximas

En la Figura 4.54 y Figura 4.55 se muestra la velocidad para cada una de las simulaciones.

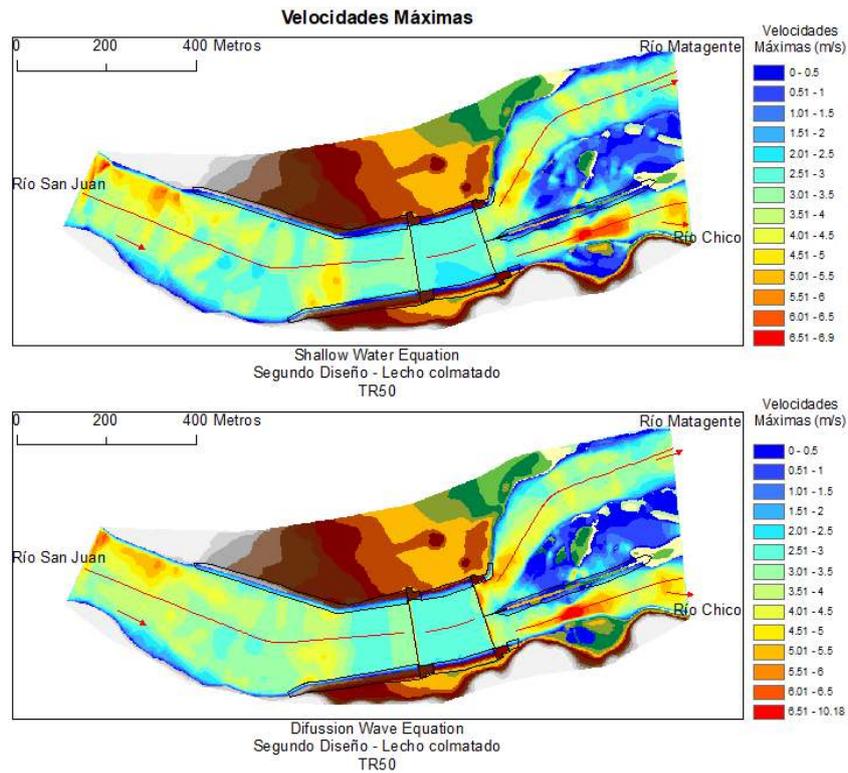


Figura 4.54 Velocidades máximas para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho colmatado para un TR de 50 años

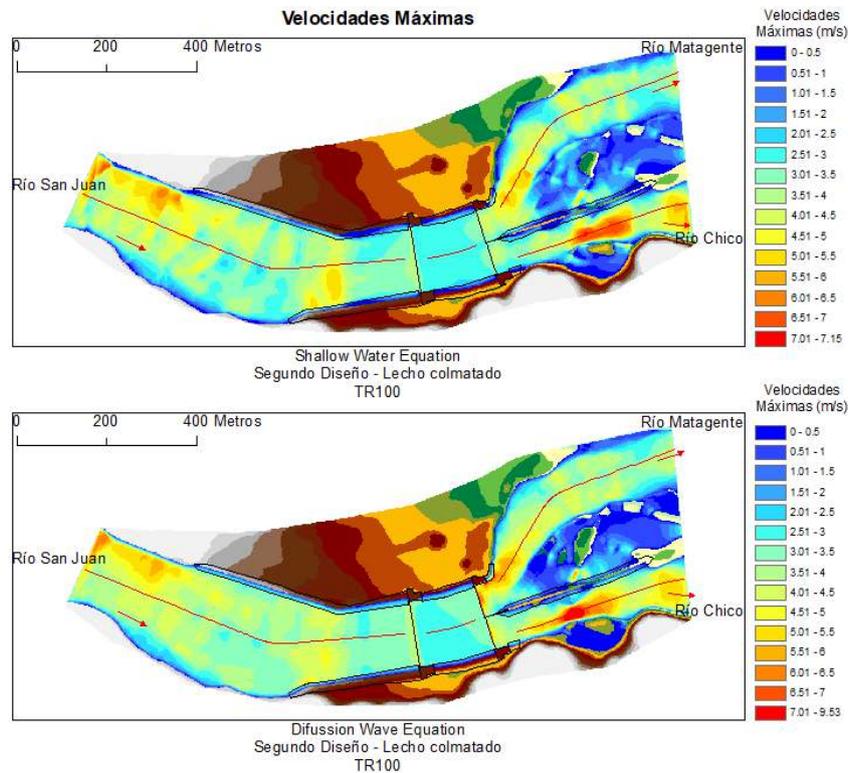


Figura 4.55 Velocidades máximas para el escenario –segundo diseño de estructuras – lecho colmatado para el TR de 100 años

4.11.3. Niveles máximos

En la Figura 4.56 y Figura 4.57 se muestran los niveles de agua máximo de cada una de las simulaciones. No se observó ningún desborde. Comparando los resultados con ecuaciones SWE y DWE, en la zona de la curva se observó que con las ecuaciones SWE el agua se eleva hacia el margen derecho, mientras que con las ecuaciones DWE no se observó este efecto.

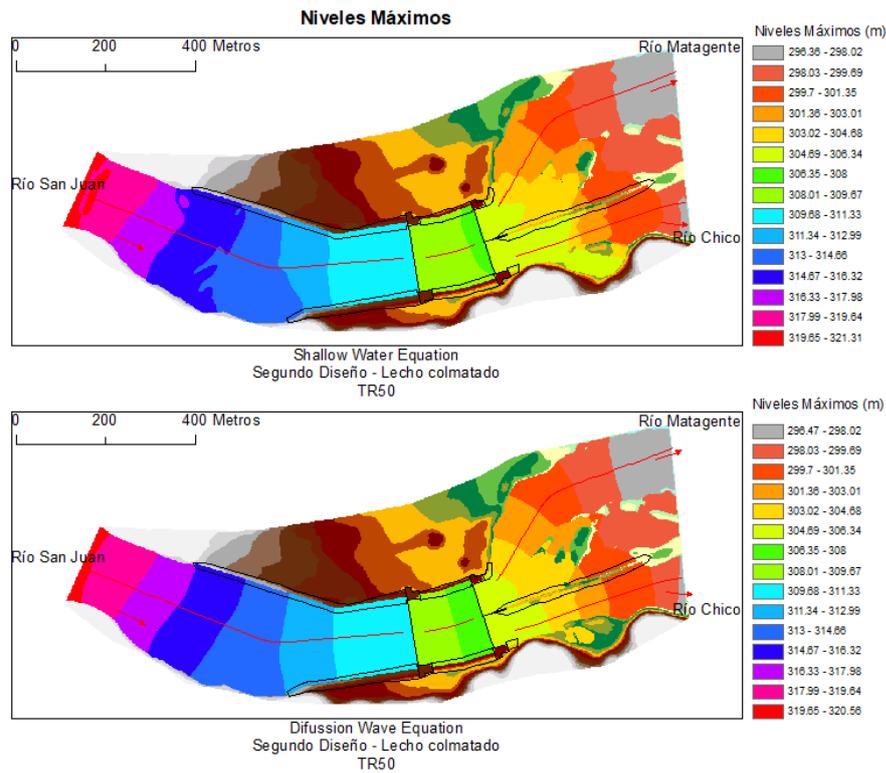


Figura 4.56 Niveles máximos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho colmatado para un TR de 50 años

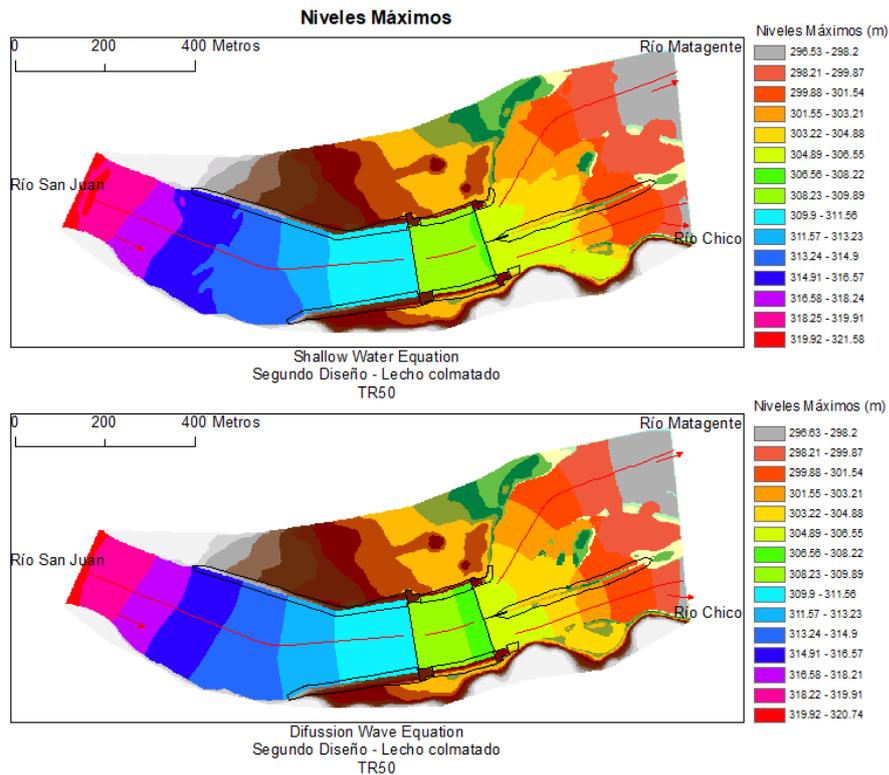


Figura 4.57 Niveles máximos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho colmatado para el TR de 100 años

4.11.4. Distribución de caudales

La distribución de caudales del río San Juan hacia los ríos Chico y Matagente se muestran en la Figura 4.58 para las ecuaciones SWE y DWE respectivamente.

Con ambas ecuaciones la distribución de caudales fue similar, para caudales bajos el agua se distribuyó 51,5% hacia el río Matagente y 49,5% hacia el río Chico, y para el caudal pico correspondiente a un TR de 50 años ($1199,9 \text{ m}^3/\text{s}$) fue de 50,5% hacia en el río Matagente y 49,5% hacia el río Chico. Y para el TR de 100 años ($1436,8 \text{ m}^3/\text{s}$) fue de 50,5% hacia en el río Matagente y 49,5% hacia el río Chico. Se observó que, en el segundo diseño de estructuras en el escenario colmatado, el caudal se distribuyó de manera equitativa para caudales altos y para caudales bajos.

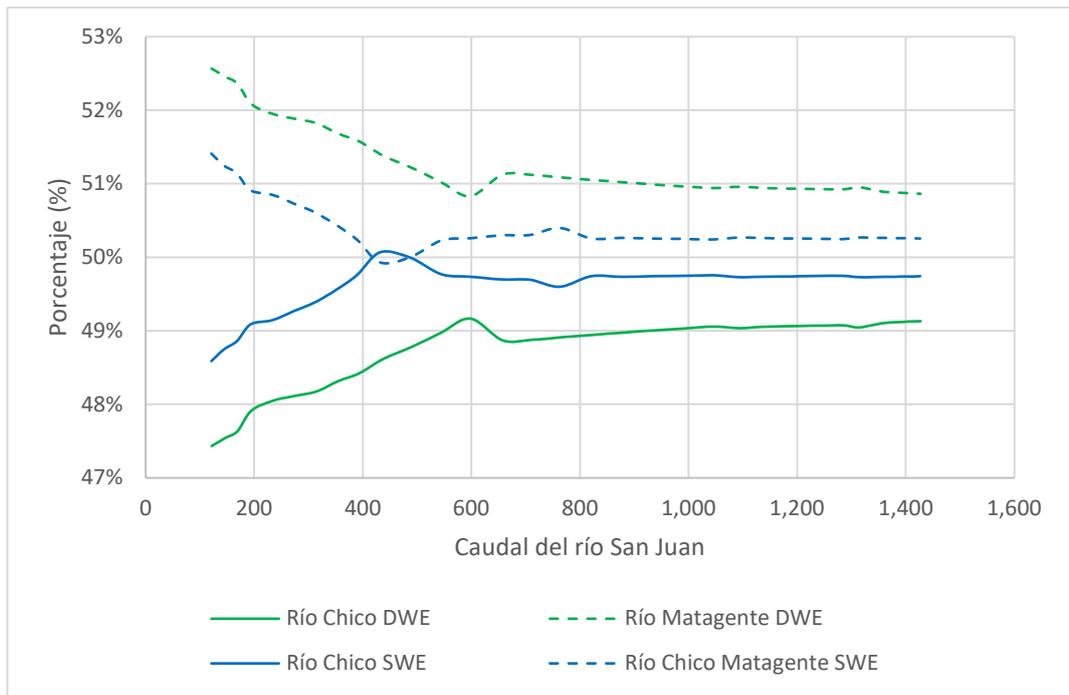


Figura 4.58 Distribución de caudales obtenido con los modelos numéricos para el escenario – segundo diseño de estructuras – lecho colmatado

CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

5.1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo 3 se describió la construcción, calibración y medición de datos en el modelo físico, así mismo, se presentó los resultados de estas simulaciones.

En el capítulo 4 se describió el proceso realizado de los modelos numéricos utilizados: El modelo Hec-Ras aplicando las ecuaciones SWE y las ecuaciones DWE. Se simuló los mismos escenarios que en el modelo físico: 'sin estructuras', 'con el primer diseño de estructuras', y 'con el segundo diseño de estructuras'.

Y en el presente capítulo se realizó una comparación de los resultados de los dos capítulos precedentes. En el ítem 5.2 se describió la metodología seguida para comparar estos resultados y para la determinación de factores de corrección de velocidad y de niveles. En los ítems 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6 se describió la comparación de resultados y se mostró los factores de corrección de velocidad y de elevación de los escenarios 'con el primer diseño de estructuras' con el lecho colmatado y sin colmatar y 'con el segundo diseño de estructuras' con el lecho colmatado y sin colmatar respectivamente.

5.2. METODOLOGÍA

En el escenario del primer diseño se realizó una comparación cualitativa de los patrones de flujo, se comparó con los desbordes ocurridos en el modelo físico y se comparó la distribución de caudales.

Mientras que en el escenario del segundo diseño de estructuras se realizó una comparación cuantitativa de los de niveles de agua, de velocidades medias y de la distribución de caudales. A partir de estas comparaciones se establecieron sugerencias de factor de corrección de nivel de agua y de un factor de corrección de velocidad.

5.2.1. Comparación de patrones de flujo

En este punto se comparó el comportamiento del flujo en términos cualitativos.

5.2.2. Comparación de desbordes

En este punto se comparó los desbordes ocurridos en el modelo físico: el desborde inminente en la margen izquierda, el desborde en la margen derecha, el desborde inminente en el muro derecho del barraje laminador, el desborde del muro central y el desborde en el dique central.

5.2.3. Comparación de distribución de caudales

Se superpuso la distribución de caudales obtenidos del modelo físico y de los modelos numéricos. Y se describió de manera cualitativa y cuantitativa la diferencia entre los resultados de los modelos.

5.2.4. Comparación de niveles de agua y determinación de borde libre sugerido

Se extrajo los niveles de agua en los puntos que tomó datos en el modelo físico. Seguidamente se calculó la diferencia entre los resultados en el modelo físico y los modelos numéricos. Se calculó el valor absoluto de la diferencia de los resultados en el modelo físico y modelo numérico, y de cada estructura se calculó la diferencia promedio y máximo en cada escenario.

Un valor positivo de la diferencia entre modelo físico y uno de los modelos numéricos, significaba que, de usarse ese modelo numérico para el dimensionamiento de los diques o muros, las dimensiones de las estructuras estarían subdimensionadas. Así mismo, se calculó el tirante que es la diferencia entre el nivel de agua y el nivel de terreno más bajo en la sección. Y se calculó relación entre la diferencia de niveles entre el tirante, que sería el factor de corrección de niveles de agua. Finalmente, se calculó estadísticamente un factor de corrección para cada tipo de estructura estudiada.

5.2.5. Comparación de velocidades medias y determinación de factor de corrección de velocidad media

Se extrajo las velocidades en los puntos que se tomaron datos en el modelo físico. Seguidamente se calculó el promedio de las velocidades en cada sección. Y se calculó un factor entre la velocidad promedio obtenido del modelo físico y de los modelos numéricos.

El máximo valor entre los factores de cada sección, fue el valor que se recomendó usar para fines de cálculo de socavación.

Así mismo, se calculó la diferencia entre el valor obtenido del modelo físico y de los modelos numéricos. Y el valor absoluto de estas diferencias fue la 'diferencia', y se calculó la diferencia promedio y máxima de cada sección.

5.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DEL ESCENARIO CON EL PRIMER DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON EL LECHO SIN COLMATAR

5.3.1. Patrón de flujo

A continuación, en la Figura 5.1 se muestra el mapa de caudal específico del primer tramo de los modelos numéricos con las ecuaciones *Shallow Water Equation* (SWE) y *Diffusion Wave equation* (DWE). Se observó que el flujo se concentró en la margen izquierda con ambas ecuaciones. Así mismo antes del barraje laminador el flujo se concentró hacia la margen derecha, este efecto de curva se observó con más énfasis con las ecuaciones SWE. Este efecto también se observó en el modelo físico tal como se muestra en el ítem 3.9.1.

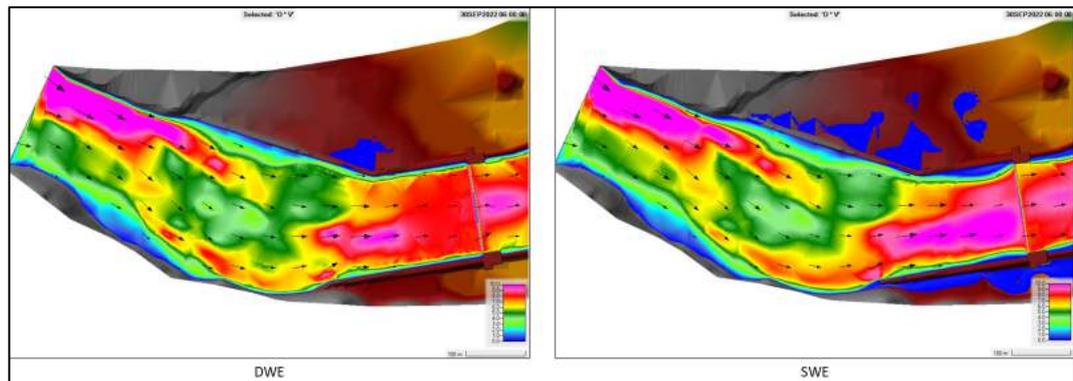


Figura 5.1 Mapa de caudal específico de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

5.3.2. Desbordes

En la Figura 5.2 se muestra un mapa de vectores de velocidad, a partir del cual se realizó el análisis de los desbordes.

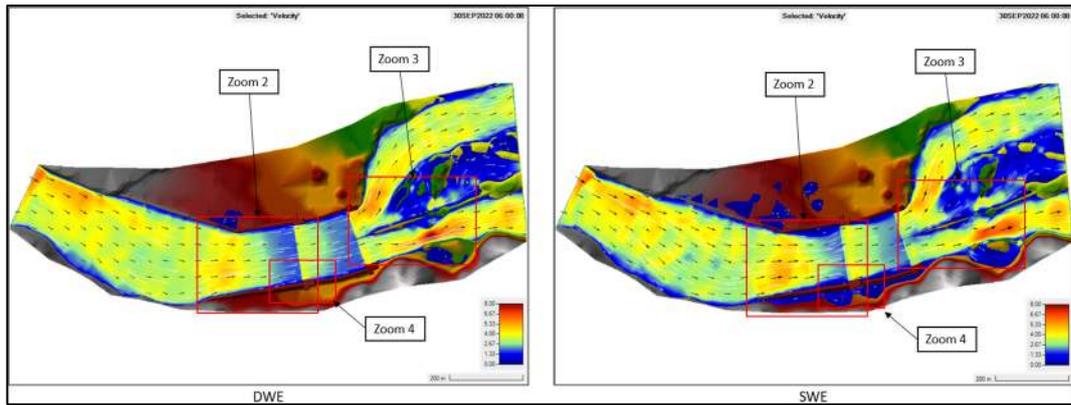


Figura 5.2 Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

En la Figura 5.3 (Zoom 1) se muestra los mapas de vectores de velocidad. En los resultados de ambos modelos se observó que hay un desborde en la margen izquierda. Con las ecuaciones DWE el desborde fue puntual y en la progresiva 0+420, mientras que con las ecuaciones SWE fue en dos puntos: en la progresiva 0+420 y entre las progresivas 0+600 y 0+680. En el modelo físico en el dique de la margen izquierda se presentó bordes libres de alrededor de 5 cm en la progresiva 0+420 y de 25 cm entre las progresivas 0+650 y 0+680.

En los resultados del modelo con las ecuaciones SWE se observó que hay un desborde en la margen derecha entre las progresivas 0+450 y 0+536, mientras que con las ecuaciones DWE no se observó ningún desborde. En el modelo físico también se produjo este desborde.

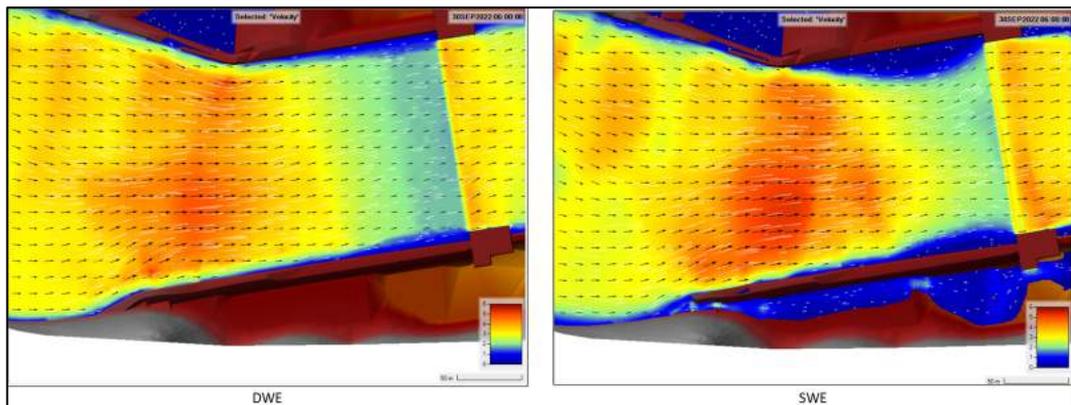


Figura 5.3 Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años. Zoom 1

En la Figura 5.4 (Zoom 2) se muestra el mapa de vectores de velocidad. En esta vista se mostró los desbordes del río Chico hacia el río Matagente entre las progresivas 0+180 y 0+220 con ambas ecuaciones. Y solo con las

ecuaciones SWE se mostró el desborde en la progresiva 0+350. En el modelo físico el agua se desbordó entre las progresivas 0+150 y 0+250 del dique central.

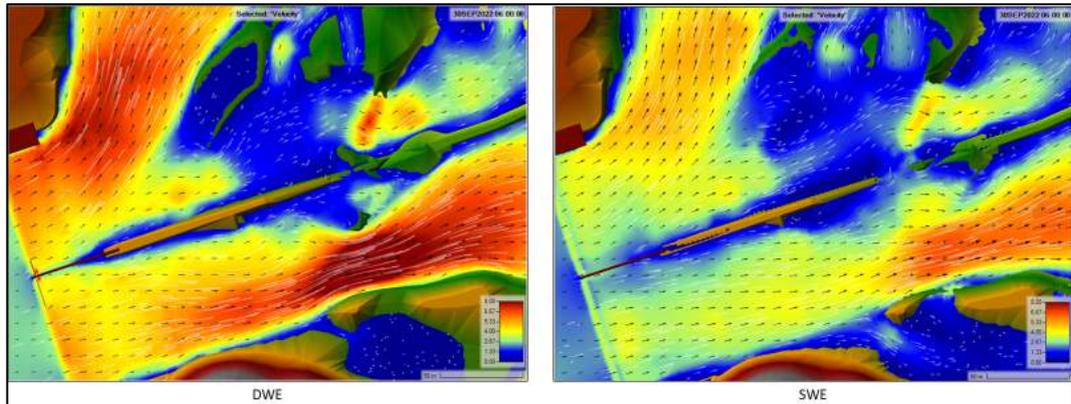


Figura 5.4 Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años. Zoom 3

En la Figura 5.5 (Zoom 3) se muestra el mapa de vectores de velocidad, que enfoca al muro del barraje laminador. En ninguno de los modelos se observó que hay un desborde inminente. Sino que todavía había un borde libre. Con las ecuaciones SWE había un borde libre de 1,22 m y con las ecuaciones DWE, de 1,18 m.

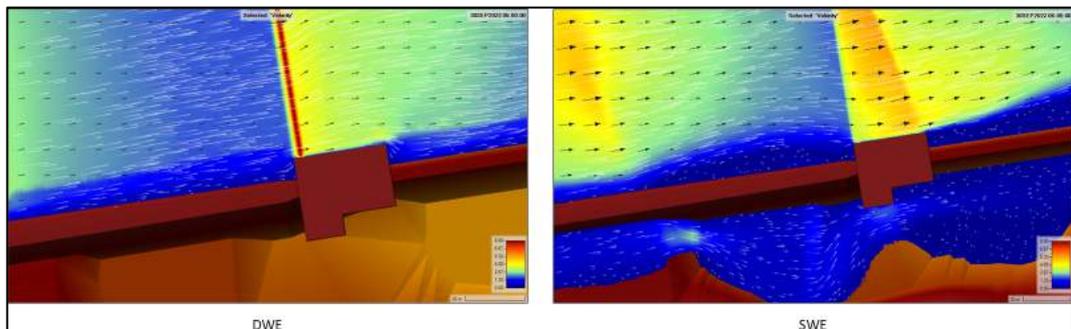


Figura 5.5 Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años. Zoom 4

5.3.3. Distribución de caudales

En la Figura 5.6 se muestra la comparación de la distribución de caudales de los modelos numéricos con el modelo físico. Las distribuciones de caudales fueron muy similares para caudales mayores a 800 m³/s, y se alejaron bastante para caudales menores a este valor. Es decir que cuando el flujo tenía menos turbulencia; el modelo físico y los modelos numéricos tenían una mayor diferencia y cuando la turbulencia estaba totalmente desarrollada ambos modelos tenían mayor similitud.

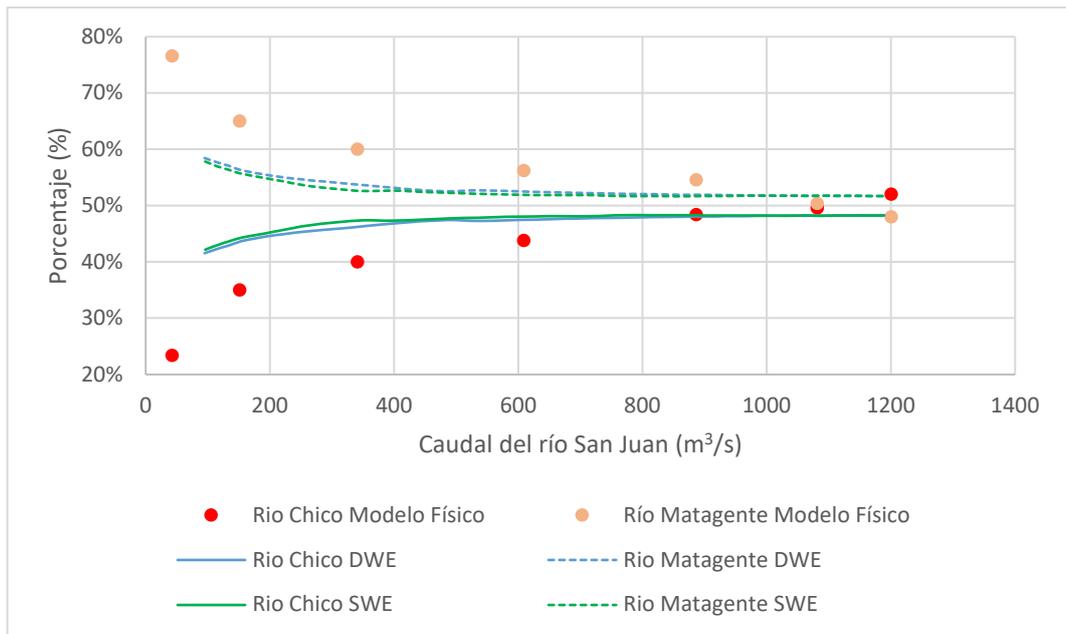


Figura 5.6 Comparación de distribución de caudales de los modelos numéricos con el modelo físico en el escenario: primer diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

5.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DEL ESCENARIO CON EL PRIMER DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON EL LECHO COLMATADO

5.4.1. Patrón de flujo

A continuación, en la Figura 5.1 se muestra el mapa de caudal específico del primer tramo de los modelos numéricos con las ecuaciones *Shallow Water Equation* (SWE) y *Diffusion Wave equation* (DWE). Se observó que el flujo se concentra en la margen izquierda con ambas ecuaciones. Así mismo, antes del barraje laminador el flujo se concentró hacia la margen derecha, este efecto de curva se observó con más énfasis con las ecuaciones SWE. Este efecto también se observó en los resultados del modelo físico tal como se describe en el ítem 3.9.2.

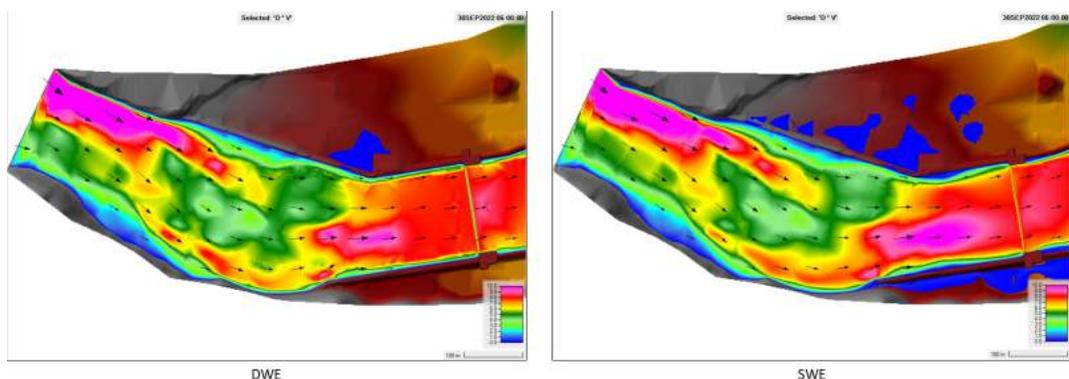


Figura 5.7 Mapa de caudal específico de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

5.4.2. Desbordes

En la Figura 5.8 se muestra un mapa de vectores de velocidad, a partir del cual se realizó el análisis de los desbordes.

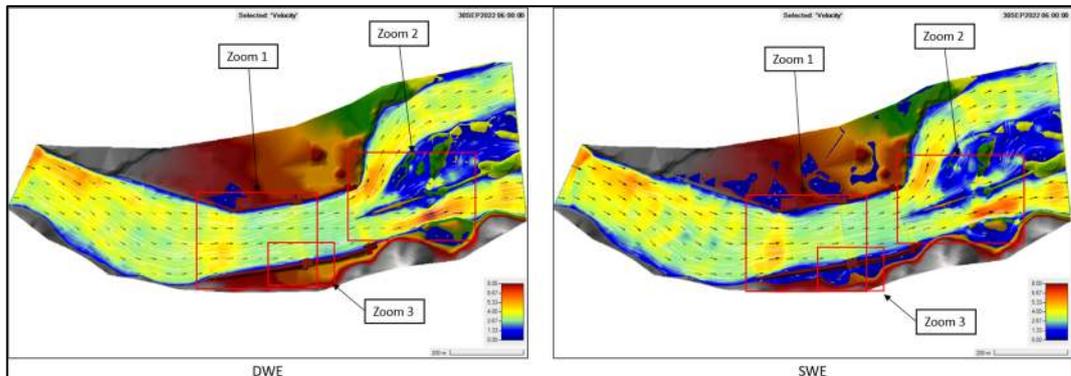


Figura 5.8 Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho colmatado – TR de 50 años.

En la Figura 5.9 (Zoom 1) se muestra los mapas de vectores de velocidad. En los resultados de ambos modelos se observó que hay un desborde en la margen izquierda. Con las ecuaciones DWE el desborde fue puntual y en la progresiva 0+420, mientras que con las ecuaciones SWE fue en dos puntos: en la progresiva 0+420 y entre las progresivas 0+600 y 0+680.

En los resultados del modelo con las ecuaciones SWE se observó que hay un desborde en la margen derecha entre las progresivas 0+450 y 0+536, mientras que con las ecuaciones DWE no se observó ningún desborde. En el modelo físico también se produjo este desborde.

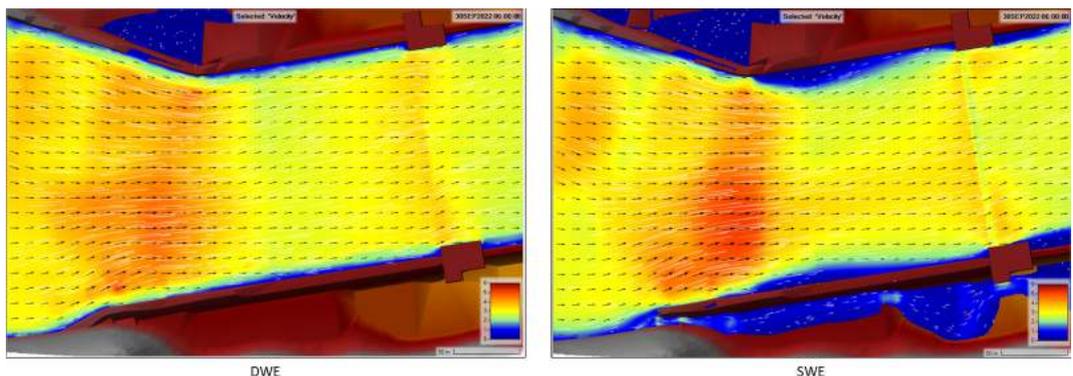


Figura 5.9 Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho colmatado – TR de 50 años. Zoom 1

En la Figura 5.10 (Zoom 2) se muestra el mapa de vectores de velocidad. En esta vista se mostró los desbordes del río Chico hacia el río Matagente entre las progresivas 0+180 y 0+220 con ambas ecuaciones. Y solo con las ecuaciones SWE se mostró el desborde en la progresiva 0+350. En el modelo

físico el agua se desbordó entre las progresivas 0+150 y 0+250 del dique central.

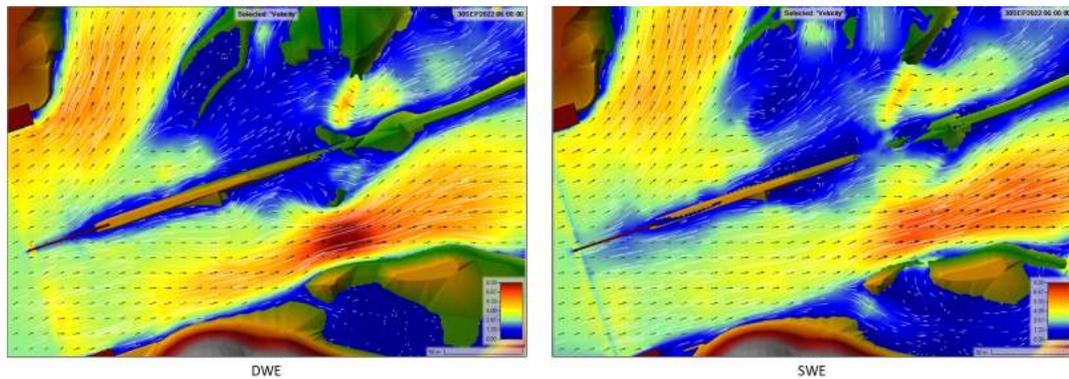


Figura 5.10 Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho colmatado – TR de 50 años. Zoom 3

En la Figura 5.11 (Zoom 3) se muestra el mapa de vectores de velocidad, que enfoca al muro del barraje laminador. En ninguno de los modelos se observó que hay un desborde inminente. Sino que todavía había un borde libre. Con las ecuaciones SWE había un borde libre de 1,22 m y con las ecuaciones DWE, de 1,18 m.

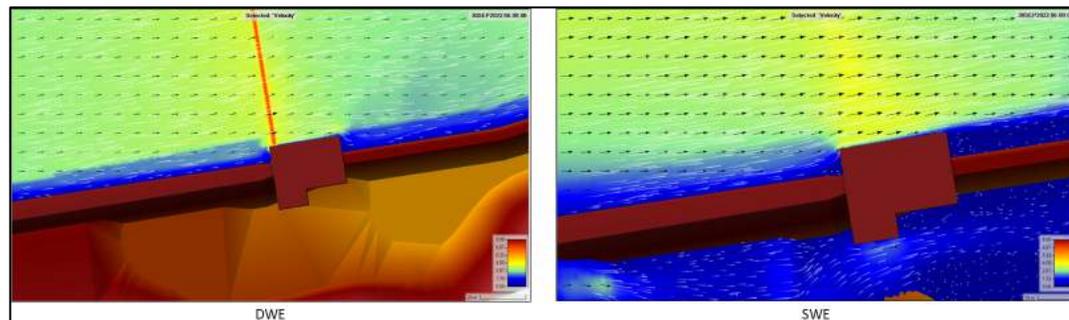


Figura 5.11 Mapa de vectores de velocidad de los modelos numéricos en el escenario: primer diseño – lecho colmatado – TR de 50 años. Zoom 4

5.4.3. Distribución de caudales

En la Figura 5.12 se muestra la comparación de la distribución de caudales de los modelos numéricos con el modelo físico. Las distribuciones de caudales fueron muy similares para caudales mayores a $800 \text{ m}^3/\text{s}$, y se alejaron bastante para caudales menores a este valor. Es decir, que cuando el flujo tenía menos turbulencia; el modelo físico y los modelos numéricos tenían mayor diferencia y cuando la turbulencia estaba totalmente desarrollada, ambos modelos tenían mayor similitud.

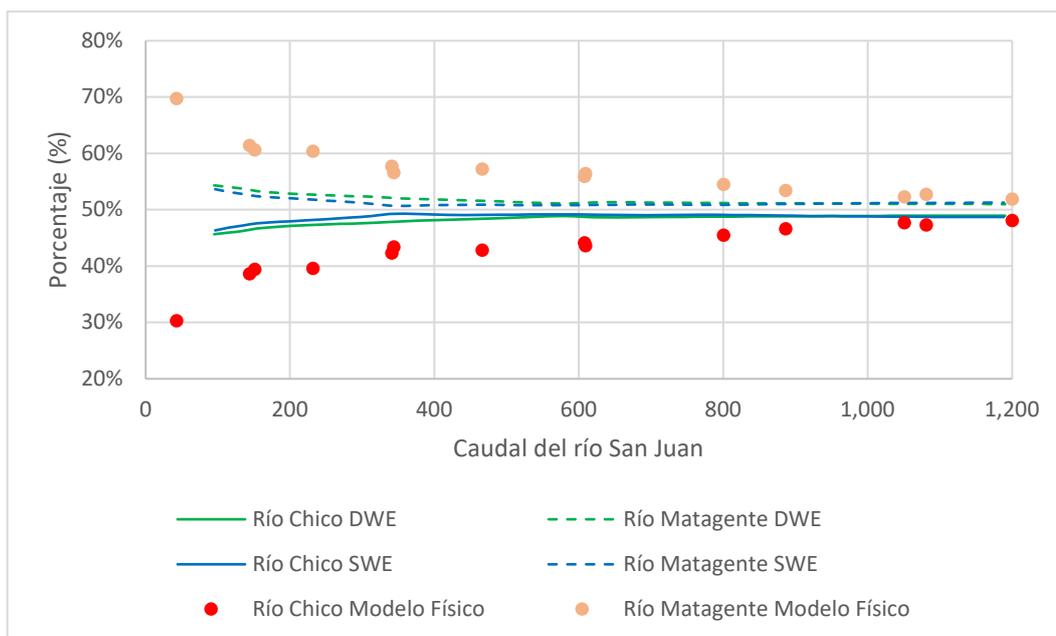


Figura 5.12 Comparación de distribución de caudales de los modelos numéricos con el modelo físico en el escenario: primer diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

5.5. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DEL ESCENARIO CON EL SEGUNDO DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON EL LECHO SIN COLMATAR

5.5.1. Niveles de agua

A continuación, se muestra los resultados de la comparación de los niveles de agua medidos en el modelo físico vs el nivel de agua obtenido con los modelos numéricos con las dos ecuaciones (DWE y SWE) para los periodos de retorno de 50 y 100 años. Para las estructuras en las que se ha realizado esta medición: Dique derecho, dique izquierdo, dique central, muro del barraje laminador, muro del barraje partidor y muro central.

5.5.1.1. TR de 50 años

En la Tabla 1 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique derecho. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,29 m; la diferencia promedio fue de 0,43 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,11. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,67 m; la diferencia promedio 0,30 m y el factor de corrección promedio fue de 1,08.

En la Tabla 2 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique izquierdo. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue 0,61 m; la diferencia promedio 0,11 m y el factor de corrección promedio fue 1,01. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue 0,39 m; la diferencia promedio 0,06 m y el factor de corrección promedio f 1,02.

En la Tabla 3 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique central del lado del río Chico. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue 1,22 m; la diferencia promedio fue 0,57 m y el factor de corrección promedio fue 1,17. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 1,20 m; la diferencia promedio 0,40 m y el factor de corrección promedio fue de 1,07.

En la Tabla 4 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique central del lado del río Matagente. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue 0,73 m; la diferencia promedio fue 0,37 m y el factor de corrección promedio fue 1,17. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue 0,95 m; la diferencia promedio 0,39 m y el factor de corrección promedio fue 1,06.

En la Tabla 5 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el barraje laminador. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue 1,02 m y la diferencia promedio fue 0,41 m. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue 0,93 m y la diferencia promedio 0,34 m.

En la Tabla 6 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el muro del barraje laminador. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue 0,57 m; la diferencia promedio fue 0,24 m y el factor de corrección de promedio fue 1,07. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue 0,80 m; la diferencia promedio 0,38 m y el factor de corrección promedio fue 1,12.

En la Tabla 7 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el barraje partidor. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima

fue de 0,63 m y la diferencia promedio fue de 0,30 m. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,62 m y la diferencia promedio 0,29 m.

En la Tabla 8 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el muro del barraje partidor. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,04 m; la diferencia promedio fue de 0,64 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,21. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 1,35 m; la diferencia promedio 0,60 m y el factor de corrección promedio fue de 1,20.

En la Tabla 9 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el muro central. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,54 m; la diferencia promedio fue de 1,12 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,36. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 1,44 m; la diferencia promedio 0,76 m y el factor de corrección promedio fue de 1,21

A continuación, se muestra figuras en las cuales se ha comparado los niveles de agua medidos en el modelo físico vs el nivel de agua obtenido con los modelos numéricos. Se realizó 2 perfiles longitudinales y 11 secciones de comparación. En la Figura 5.13 se muestra la ubicación de estas secciones y perfiles longitudinales.

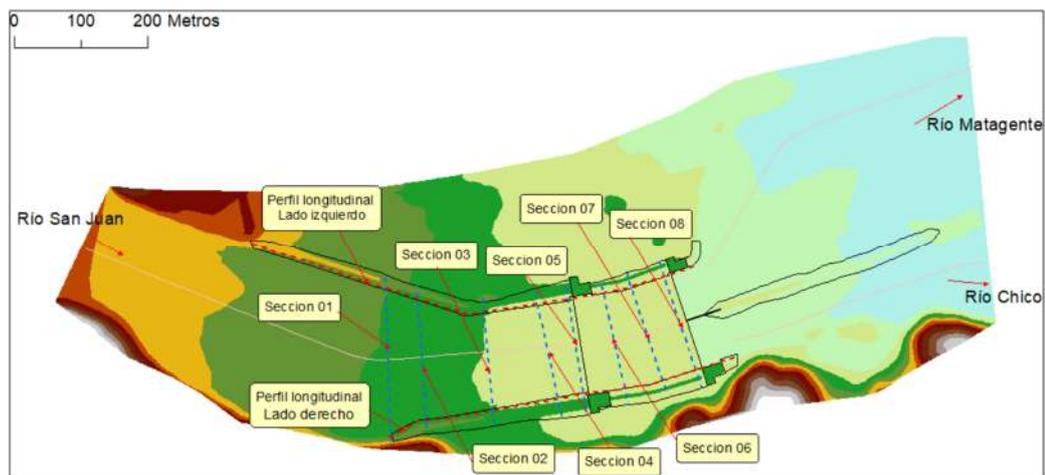


Figura 5.13 Ubicación de las secciones y perfiles longitudinales de comparación de los niveles de agua

En la Figura 5.14 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en el lado derecho, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico en el

dique derecho. Se observó que aguas arriba (de la estación 0 a 50) en el modelo físico se registró mayores niveles de agua que los registrados en los modelos numéricos. Y aguas abajo, entre el modelo físico y el modelo utilizando las ecuaciones SWE hubo mayor similitud.

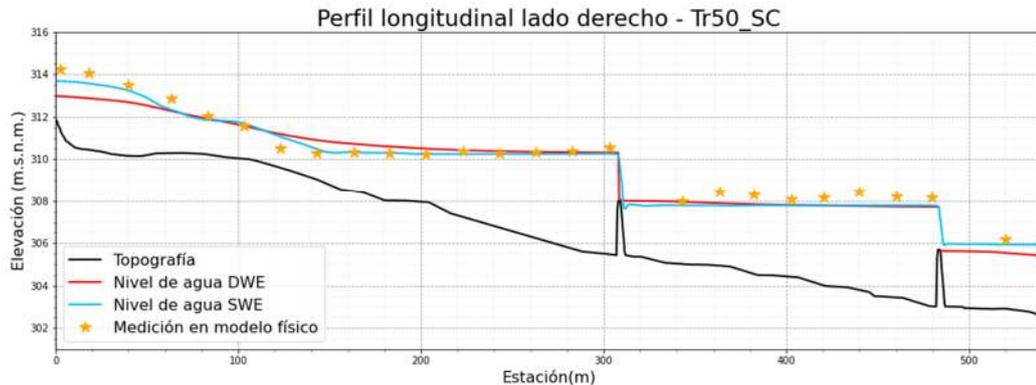


Figura 5.14 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del dique derecho en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

En la Figura 5.15 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en el lado izquierdo, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico en el dique izquierdo. A comparación del perfil longitudinal del lado derecho, en este hubo mayor similitud con los modelos numéricos en toda la longitud.

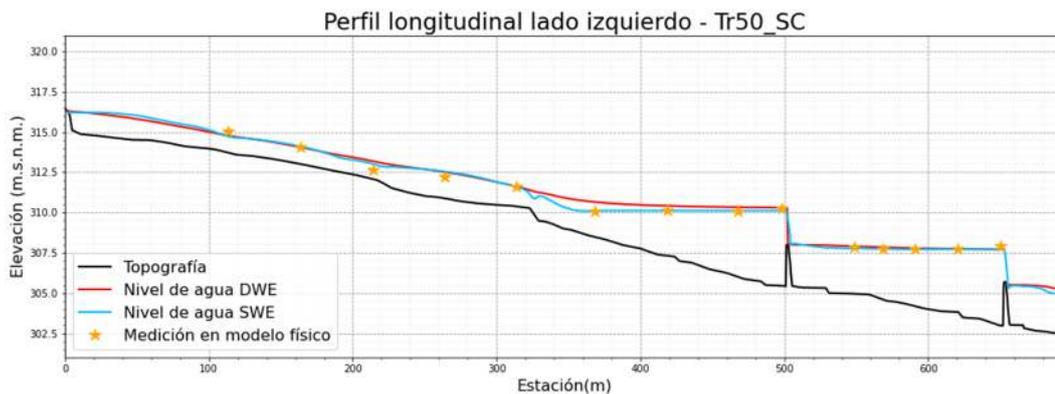


Figura 5.15 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del lado izquierdo en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

En la Figura 5.16 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 1, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

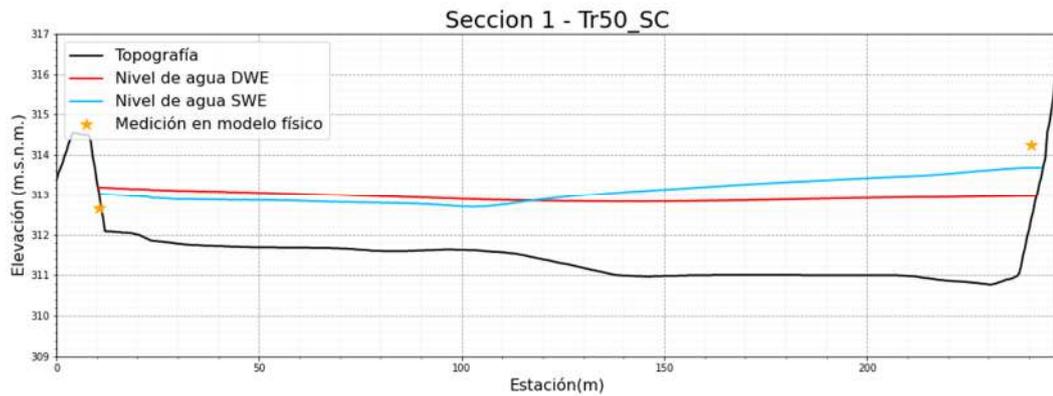


Figura 5.16 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 01 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

En la Figura 5.17 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 2, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

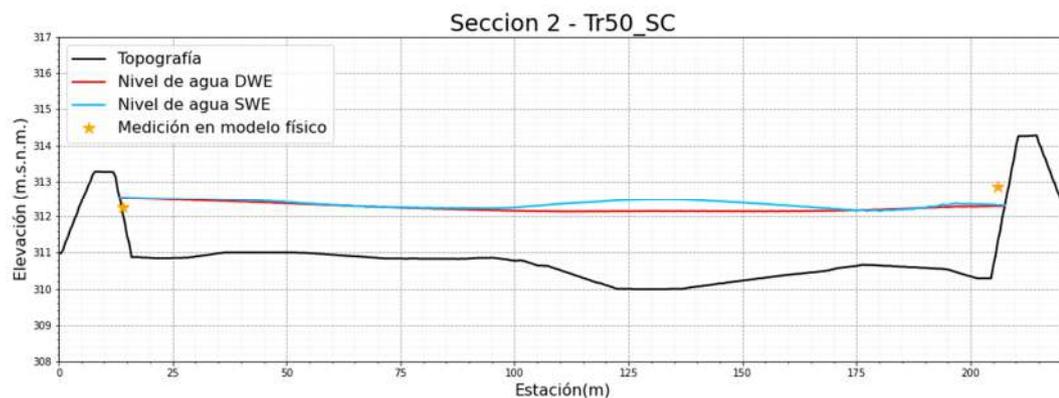


Figura 5.17 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 02 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

En la Figura 5.18 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 3, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

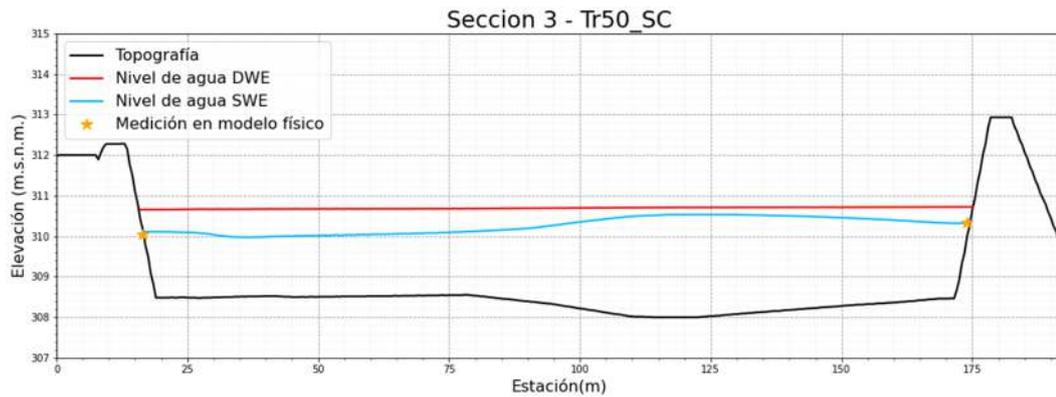


Figura 5.18 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 03 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

En la Figura 5.19 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 4, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

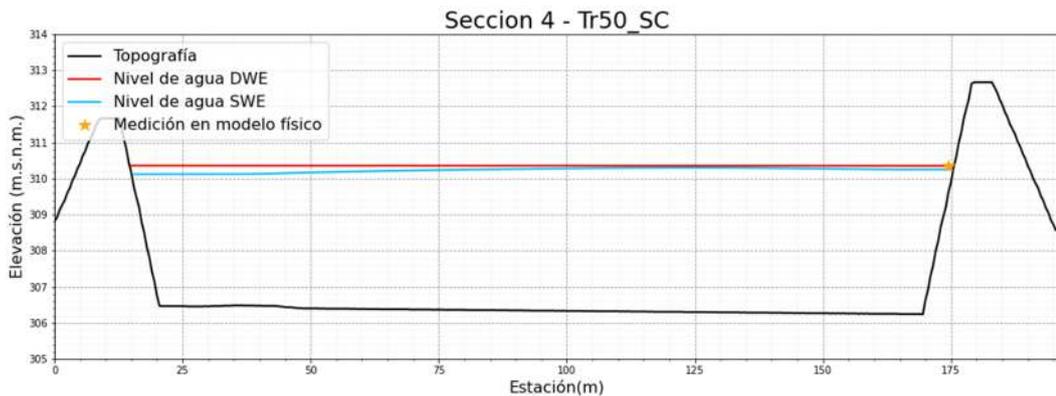


Figura 5.19 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 04 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

En la Figura 5.20 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 5, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

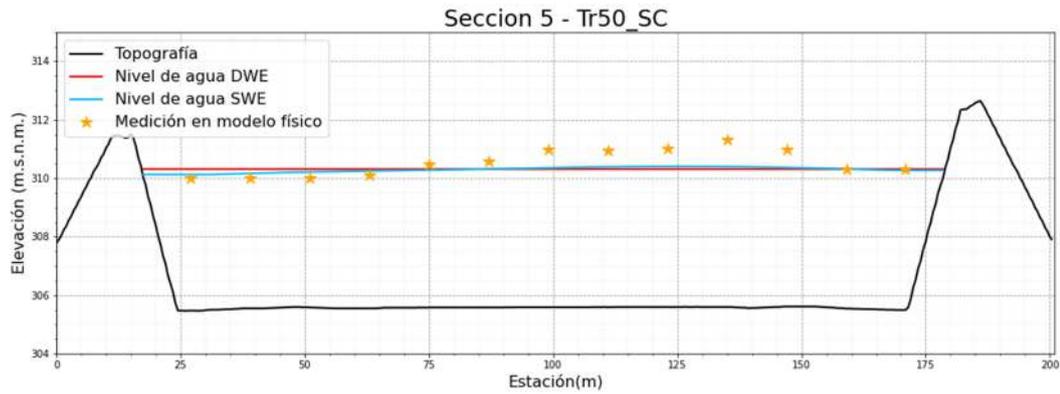


Figura 5.20 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 05 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

En la Figura 5.21 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 6, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

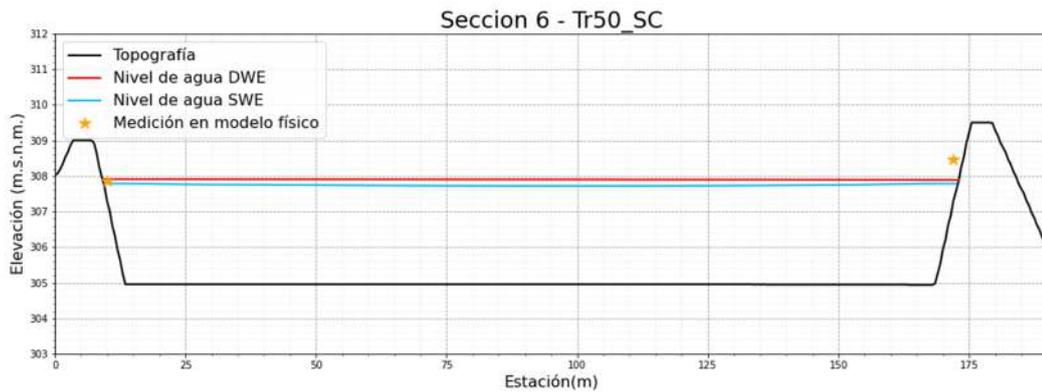


Figura 5.21 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 06 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

En la Figura 5.22 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 7, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

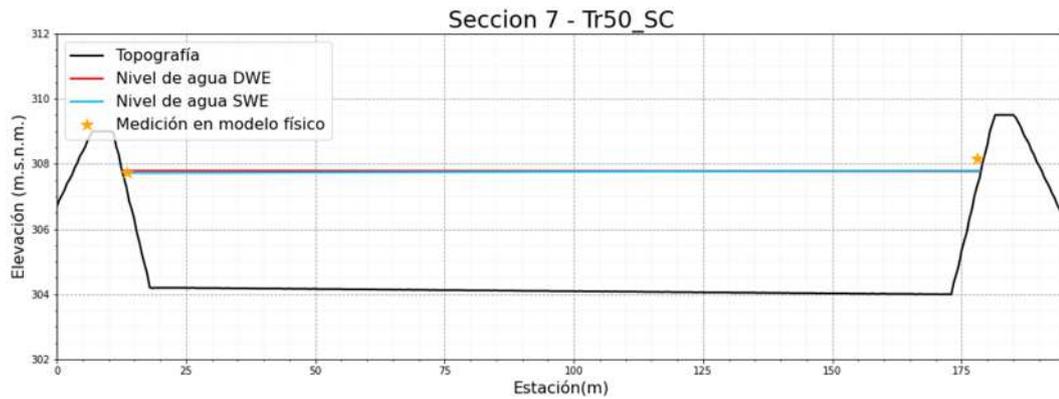


Figura 5.22 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 07 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

En la Figura 5.23 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 8, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

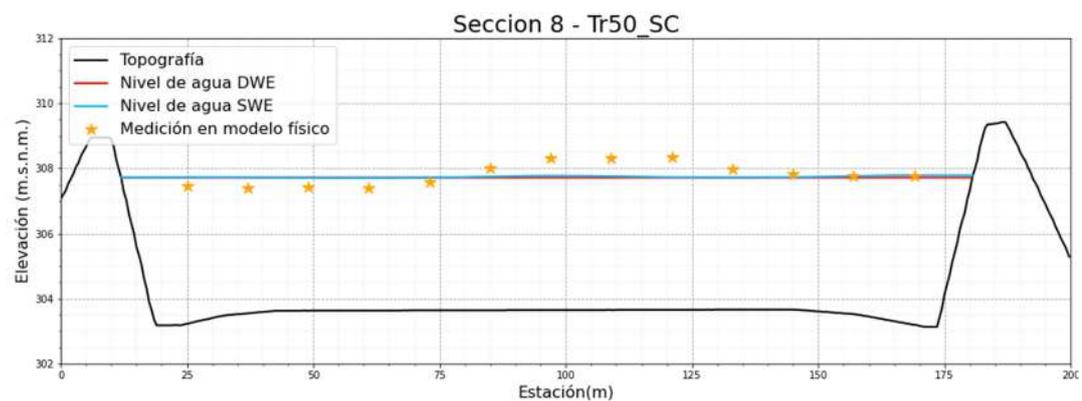


Figura 5.23 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 08 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

A continuación, se muestra figuras en las cuales se ha comparado los niveles de agua medidos obtenido con los modelos numéricos con las dos ecuaciones (DWE y SWE), en 3 perfiles longitudinales donde se observa que hay un resalto hidráulico más acentuado. En la Figura 5.24 se muestra la ubicación de estos perfiles.

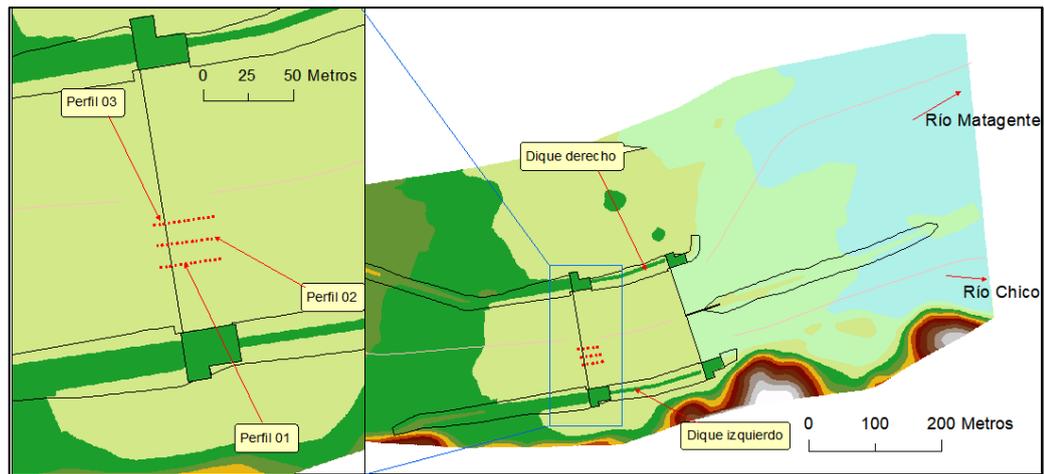


Figura 5.24 Ubicación de los perfiles longitudinales donde se observa que hay un resalto hidráulico

En las Figura 5.25, Figura 5.26 y Figura 5.27 se muestra la comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos en el perfil 1, 2 y 3, en este se observó que hay un resalto hidráulico de una longitud aproximada de 10 metros con el modelo que utiliza las ecuaciones SWE, en cambio con las ecuaciones DWE no se presentó ningún resalto hidráulico. Así mismo se observó que este resalto hidráulico influye en los niveles de agua hacia aguas abajo. En el modelo físico se observó que se produce un resalto hidráulico de 52 m de longitud (Ver la Foto 3.10).

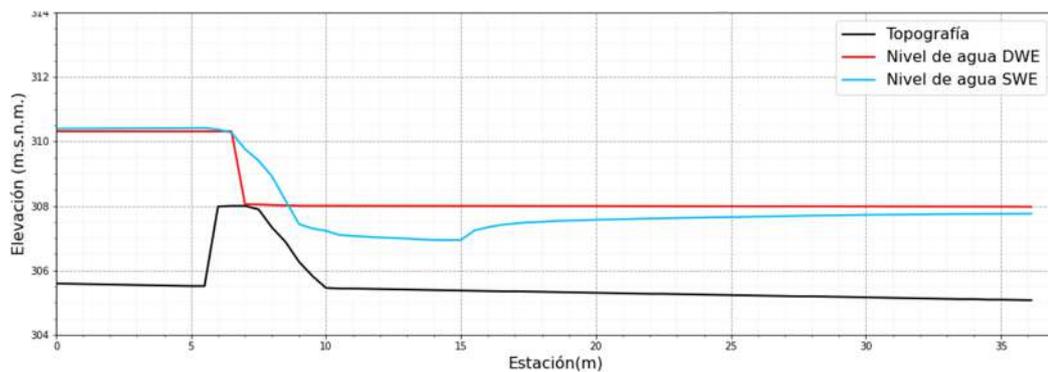


Figura 5.25 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 01 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

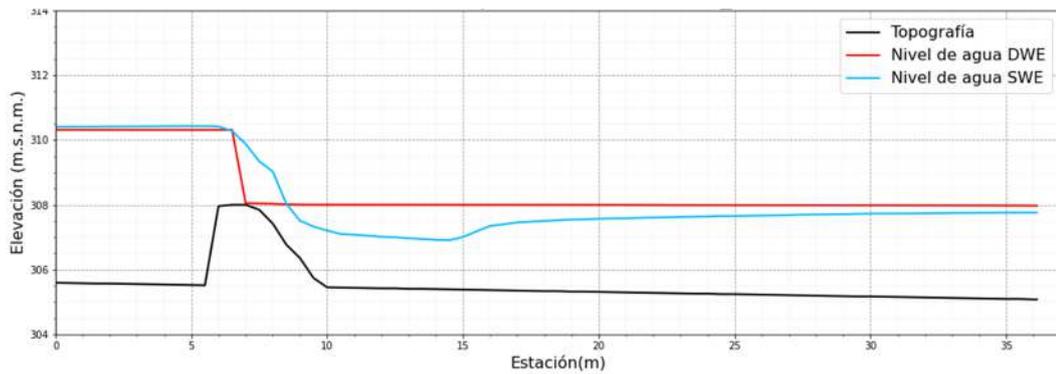


Figura 5.26 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 02 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

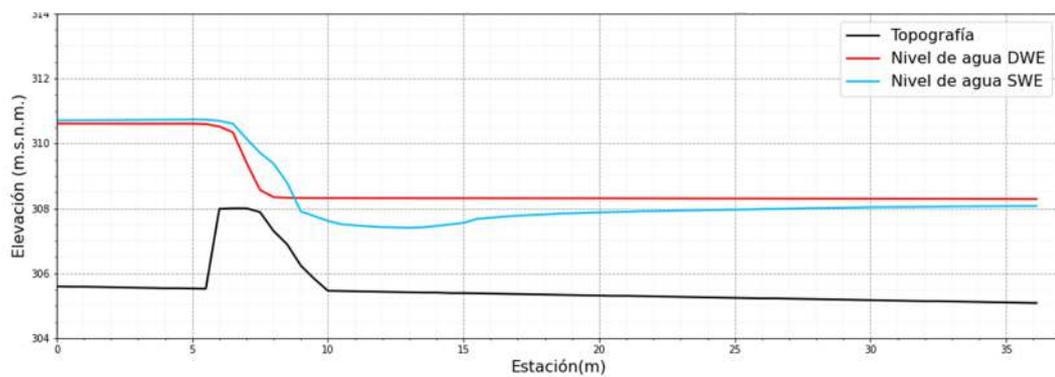


Figura 5.27 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 03 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

5.5.1.2. TR de 100 años

En la Tabla 10 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique derecho. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,77 m; la diferencia promedio fue de 0,55 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,14. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,95 m; la diferencia promedio 0,40 m y el factor de corrección promedio fue de 1,10.

En la Tabla 11 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique izquierdo. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 0,66 m; la diferencia promedio fue de 0,24 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,02. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima

fue de 0,50 m; la diferencia promedio 0,14 m y el factor de corrección promedio fue de 1,02.

En la Tabla 12 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique central lado del río Chico. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,29 m; la diferencia promedio fue de 0,57 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,17. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 1,23 m; la diferencia promedio 0,35 m y el factor de corrección promedio fue de 1,08.

En la Tabla 13 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique central lado del río Matagente. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 0,98 m; la diferencia promedio fue de 0,43 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,20. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,92 m; la diferencia promedio 0,35 m y el factor de corrección promedio fue de 1,05.

En la Tabla 14 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el barraje laminador. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 0,96 m; la diferencia promedio fue de 0,51 m. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,86 m; la diferencia promedio 0,43 m.

En la Tabla 15 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el muro del barraje laminador. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 0,63 m; la diferencia promedio fue de 0,39 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,08. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,74 m; la diferencia promedio 0,48 m y el factor de corrección promedio fue de 1,12.

En la Tabla 16 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el barraje partidor. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,16 m y la diferencia promedio fue de 0,62 m. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 1,13 m y la diferencia promedio 0,58 m.

En la Tabla 17 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el muro del barraje

partidor. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,12 m; la diferencia promedio fue de 0,73 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,21. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 1,13 m; la diferencia promedio 0,67 m y el factor de corrección promedio fue de 1,19.

En la Tabla 18 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el muro central. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,48 m; la diferencia promedio fue de 1,03 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,30. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 1,35 m; la diferencia promedio 0,57 m y el factor de corrección promedio fue de 1,14.

A continuación, se muestra figuras en las cuales se ha comparado los niveles de agua medidos en el modelo físico vs el nivel de agua obtenido con los modelos numéricos. Se ha realizado 2 perfiles longitudinales y 11 secciones de comparación. En la Figura 5.13 se muestra la ubicación de estas secciones y perfiles longitudinales.

En la Figura 5.28 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en el lado derecho, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico en el dique derecho.

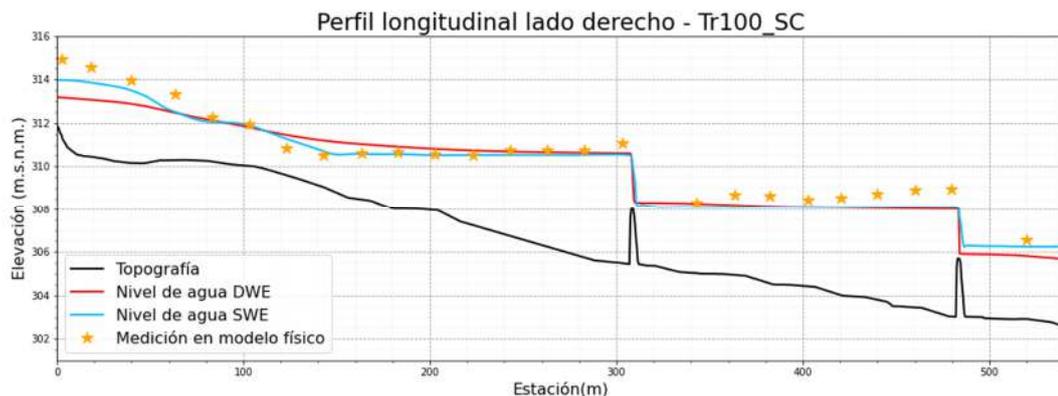


Figura 5.28 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del lado derecho en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años

En la Figura 5.29 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en el lado izquierdo, los puntos

mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico en el dique izquierdo.

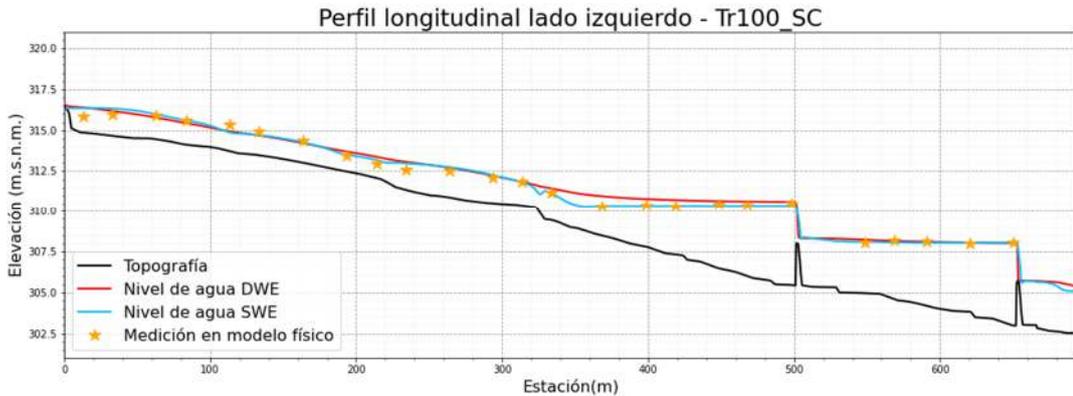


Figura 5.29 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del lado izquierdo en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años

En la Figura 5.30 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 1, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

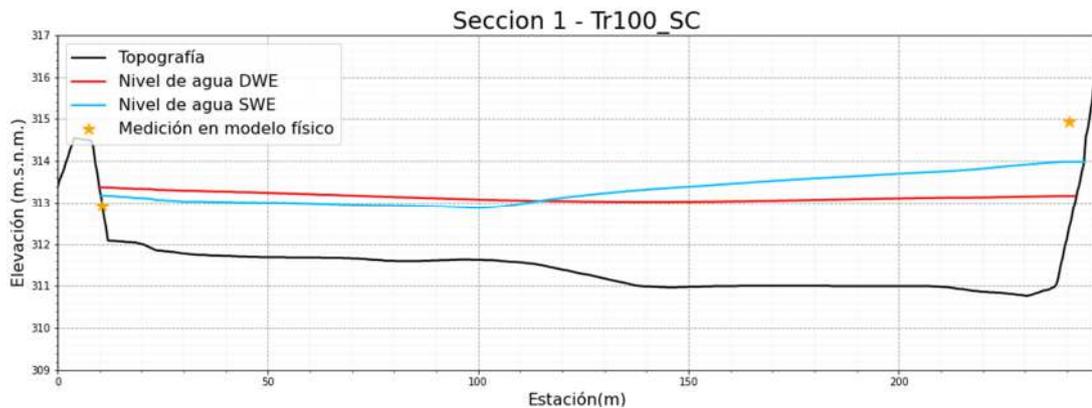


Figura 5.30 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 01 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años

En la Figura 5.31 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 2, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

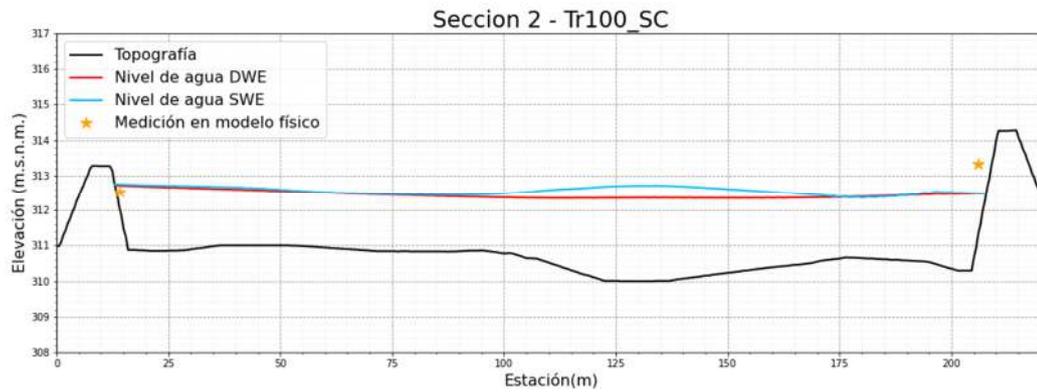


Figura 5.31 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 02 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años

En la Figura 5.32 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 3, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

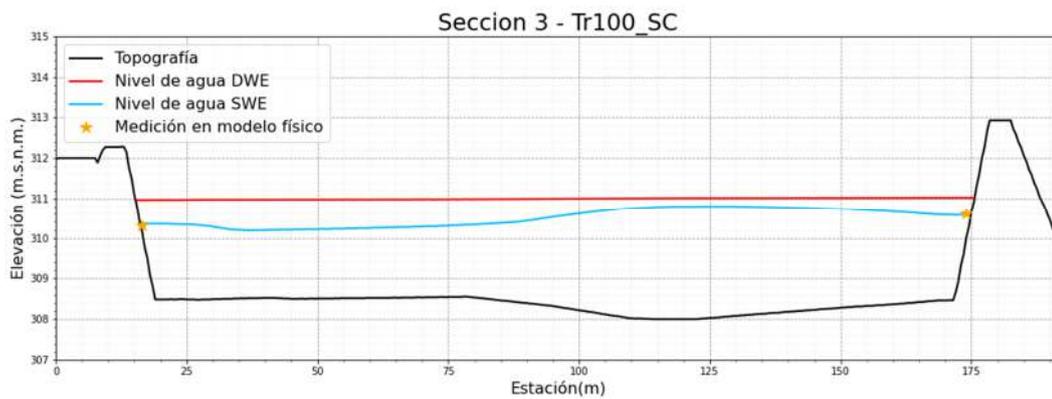


Figura 5.32 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 03 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años

En la Figura 5.33 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 4, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

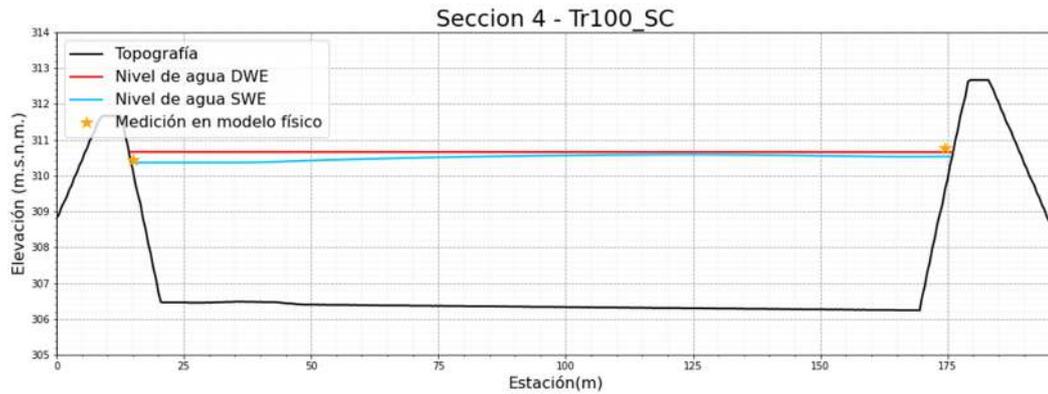


Figura 5.33 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 04 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años

En la Figura 5.34 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 5, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

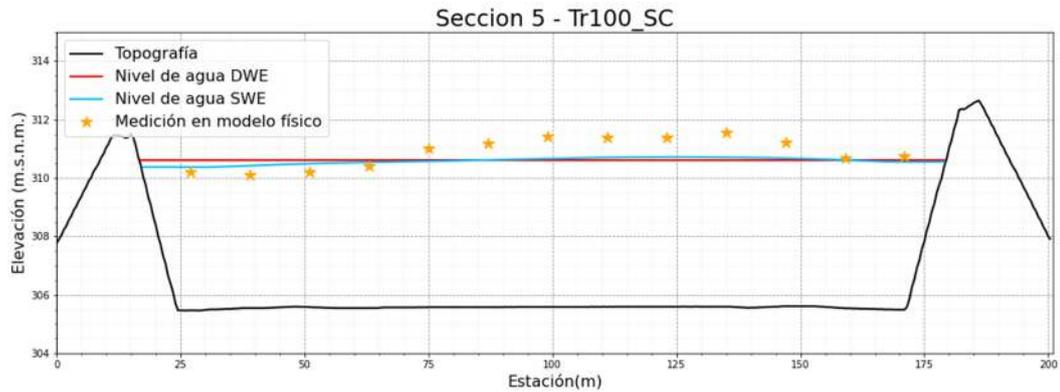


Figura 5.34 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 05 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años

En la Figura 5.35 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 6, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

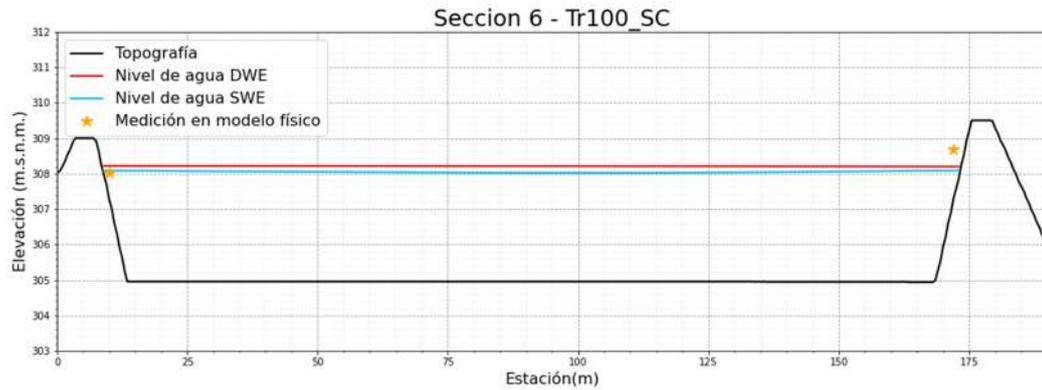


Figura 5.35 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 06 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años

En la Figura 5.36 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 7, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

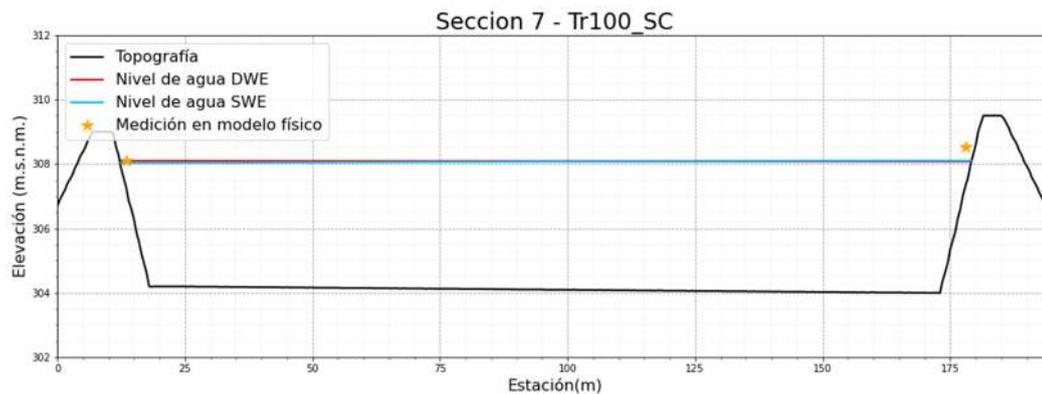


Figura 5.36 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 07 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años

En la Figura 5.37 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 8, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

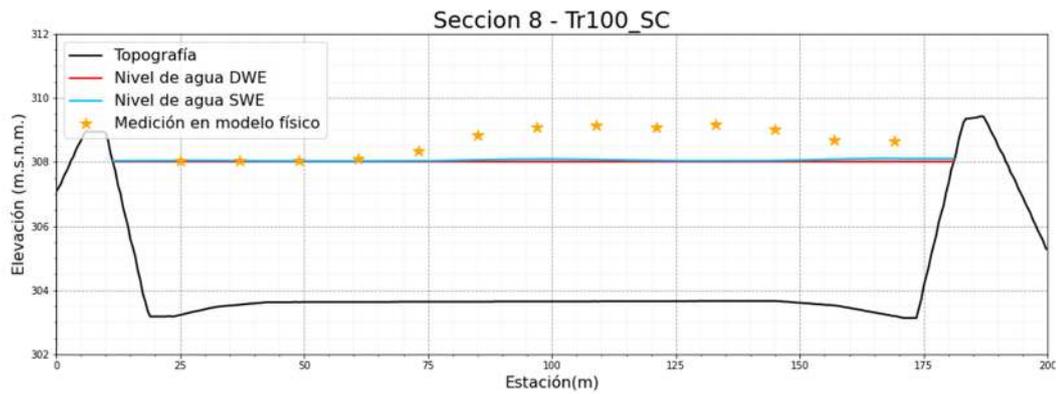


Figura 5.37 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 08 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años

A continuación, se muestra figuras en las cuales se ha comparado los niveles de agua medidos obtenidos con los modelos numéricos con las dos ecuaciones (DWE y SWE), en 3 perfiles longitudinales donde se observa que hay un resalto hidráulico más acentuado. En la Figura 5.24 se muestra la ubicación de estos perfiles.

En la Figura 5.38, Figura 5.39 y Figura 5.40 se muestra la comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos en el perfil 1, 2 y 3 respectivamente, en este se observa que hay un resalto hidráulico de una longitud aproximada de 12 metros con el modelo que utiliza las ecuaciones SWE, en cambio con las ecuaciones DWE no se presenta ningún resalto hidráulico. Así mismo se observa que este resalto hidráulico influye en los niveles de agua hacia aguas abajo. En el modelo físico se observó que se produce un resalto hidráulico de 66 m de longitud.

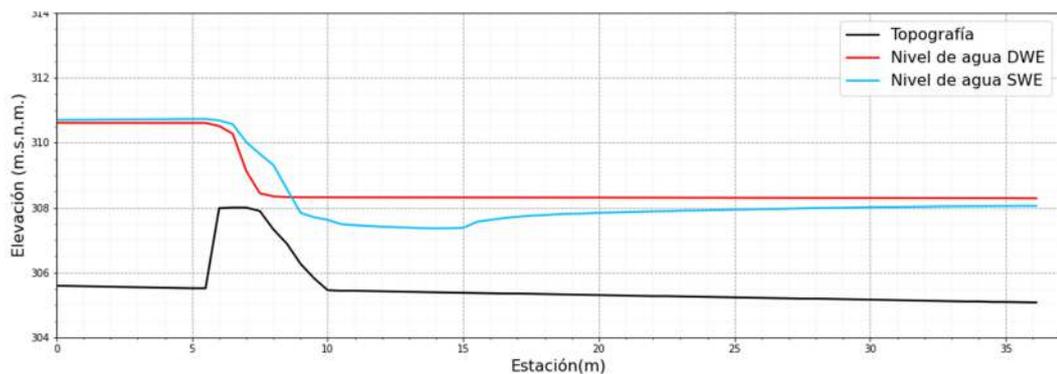


Figura 5.38 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 01 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 100 años

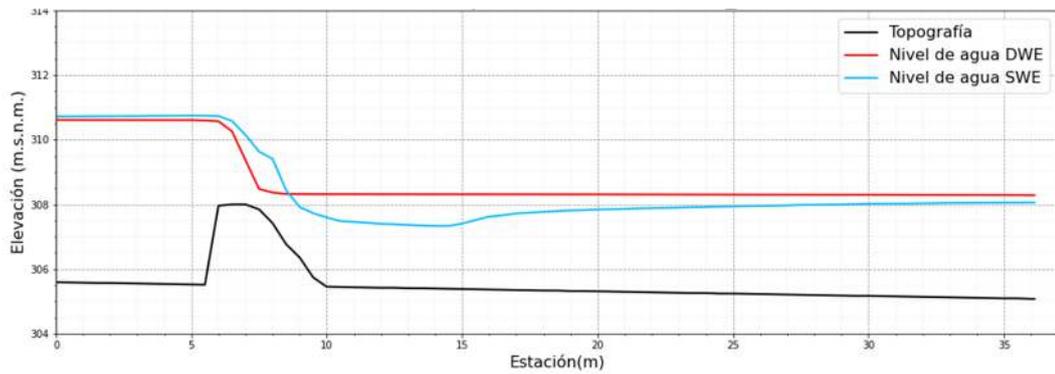


Figura 5.39 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 02 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatarse – TR de 100 años

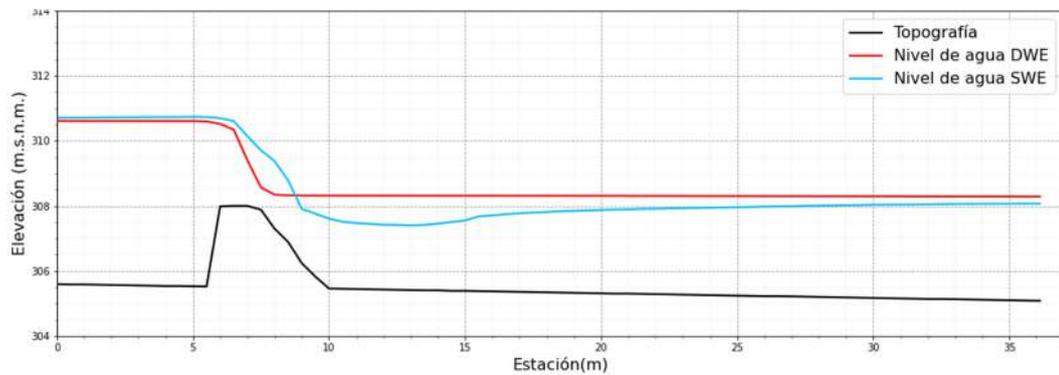


Figura 5.40 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 03 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatarse – TR de 100 años

5.5.2. Velocidades

A continuación, se muestra la comparación de velocidades para un TR de 50 años

5.5.2.1. TR de 50 años

En la Figura 5.41 se presenta la comparación de velocidades entre el modelo físico y los modelos numéricos con ambas ecuaciones en la sección 01. Y en la Tabla 1 del ANEXO 4, se muestra la comparación numérica entre estos modelos. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 5,56 m/s y la diferencia promedio fue de 1,89 m/s; mientras que con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 2,13 m/s y la diferencia promedio fue de 1,35 m/s. Además, el factor de la velocidad promedio del modelo numérico y del modelo físico fue de 0,48 para las ecuaciones DWE y de 0,57 para las ecuaciones SWE.

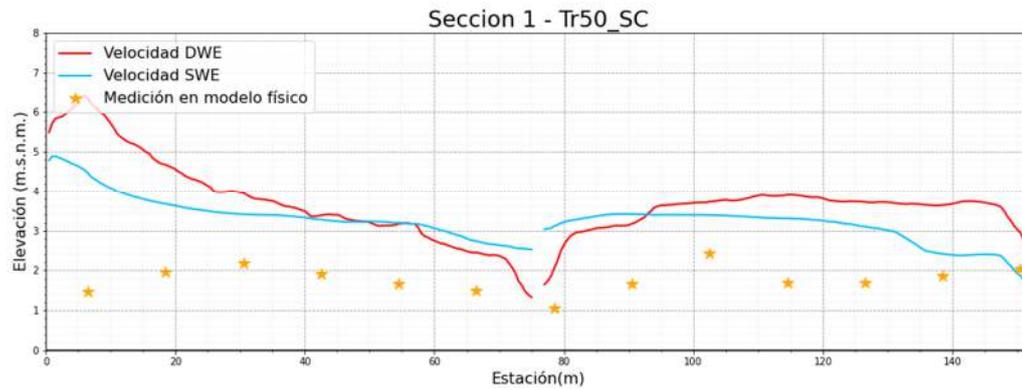


Figura 5.41 Comparación de velocidades de la sección 1 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

En la Figura 5.42 se presenta la comparación de velocidades entre el modelo físico y los modelos numéricos con ambas ecuaciones en la sección 02. Y en la tabla 2 del ANEXO 4 se muestra la comparación numérica entre estos modelos. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 3,25 m/s y la diferencia promedio fue de 1,23 m/s; mientras que con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 3,16 m/s y la diferencia promedio fue de 1,25 m/s. Además, el factor de la velocidad promedio del modelo numérico y del modelo físico fue de 1,33 para las ecuaciones DWE y de 1,32 para las ecuaciones SWE.

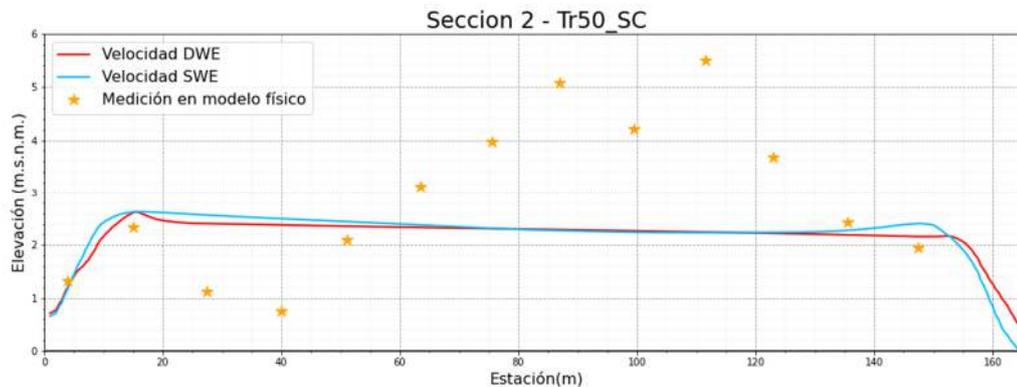


Figura 5.42 Comparación de velocidades de la sección 2 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

En la Figura 5.43 se presenta la comparación de velocidades entre el modelo físico y los modelos numéricos con ambas ecuaciones en la sección 03. Y en la tabla 3 del ANEXO 4 se muestra la comparación numérica entre estos modelos. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 2,58 m/s y la diferencia

promedio fue de 1,30 m/s; mientras que con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 2,37 m/s y la diferencia promedio fue de 1,30 m/s. Además, el factor de la velocidad promedio del modelo numérico y del modelo físico fue de 1,34 para las ecuaciones DWE y de 1,31 para las ecuaciones SWE.

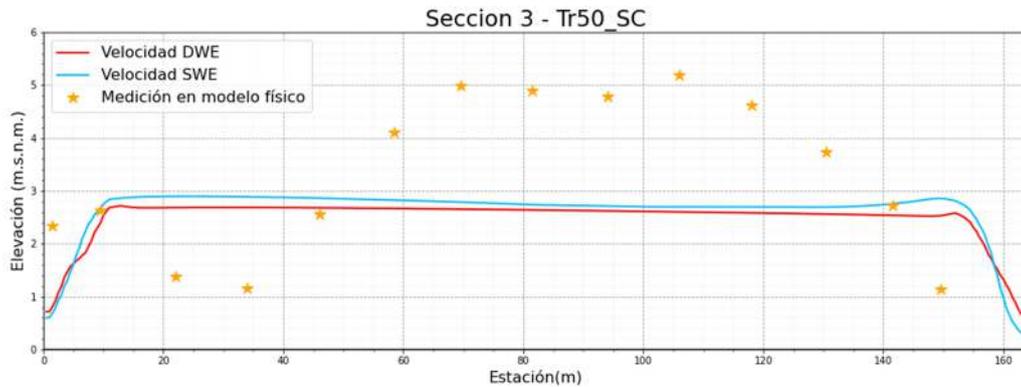


Figura 5.43 Comparación de velocidades de la sección 3 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

En la Figura 5.44 se presenta la comparación de velocidades entre el modelo físico y los modelos numéricos con ambas ecuaciones en la sección 04. Y en la tabla 4 del ANEXO 4 se muestra la comparación numérica entre estos modelos. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 5,90 m/s y la diferencia promedio fue de 2,28 m/s; mientras que con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 5,62 m/s y la diferencia promedio fue de 2,23 m/s. Además, el factor de la velocidad promedio del modelo numérico y del modelo físico fue de 1,62 para las ecuaciones DWE y de 1,49 para las ecuaciones SWE.

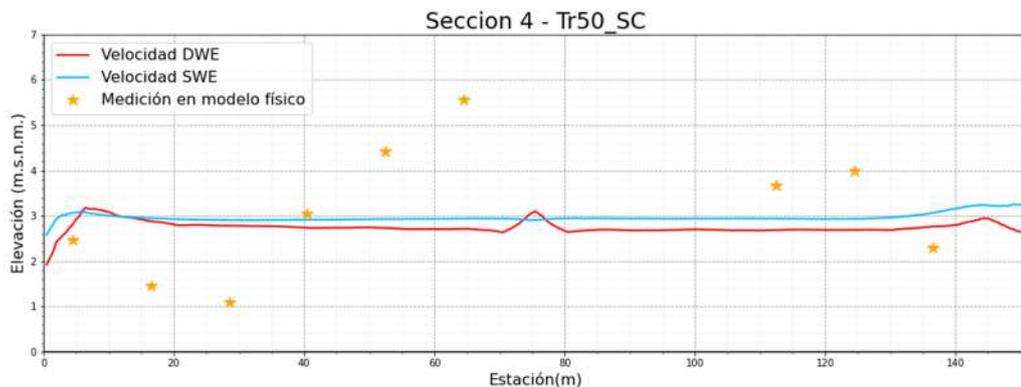


Figura 5.44 Comparación de velocidades de la sección 4 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

En la Figura 5.45 se presenta la comparación de velocidades entre el modelo físico y los modelos numéricos con ambas ecuaciones en la sección 05. Y en la tabla 5 del ANEXO 4 se muestra la comparación numérica entre estos modelos. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 4,73 m/s y la diferencia promedio fue de 2,79 m/s; mientras que con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 4,30 m/s y la diferencia promedio fue de 2,26 m/s. Además, el factor de la velocidad promedio del modelo numérico y del modelo físico fue de 1,83 para las ecuaciones DWE y de 1,56 para las ecuaciones SWE.

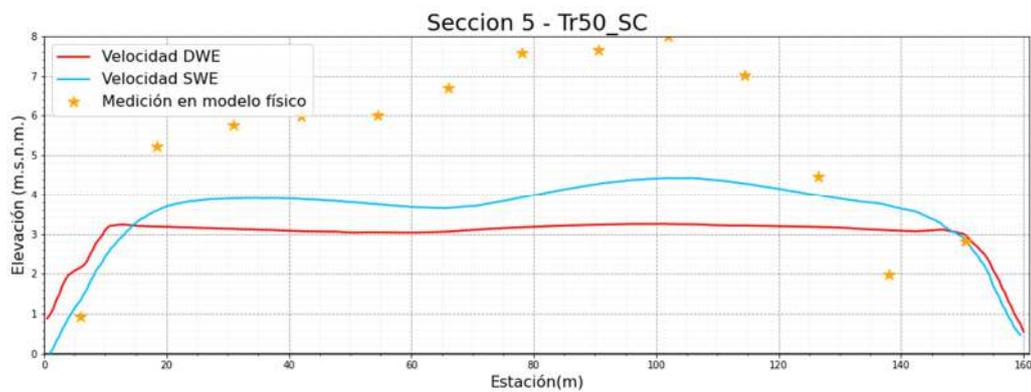


Figura 5.45 Comparación de velocidades de la sección 5 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

En la Figura 5.46 se presenta la comparación de velocidades entre el modelo físico y los modelos numéricos con ambas ecuaciones en la sección 06. Y en la tabla 6 del ANEXO 4 se muestra la comparación numérica entre estos modelos. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 2,75 m/s y la diferencia promedio fue de 1,59 m/s; mientras que con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 2,36 m/s y la diferencia promedio fue de 1,19 m/s. Además, el factor de la velocidad promedio del modelo numérico y del modelo físico fue de 1,29 para las ecuaciones DWE y de 1,40 para las ecuaciones SWE.

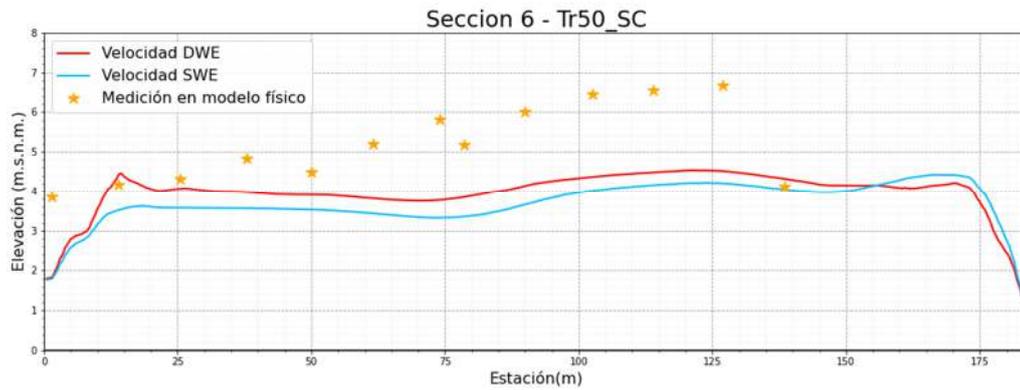


Figura 5.46 Comparación de velocidades de la sección 6 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

5.5.3. Distribución de caudales

En la Figura 5.47 se muestra la comparación de la distribución de caudales de los modelos numéricos con el modelo físico. En el segundo diseño de estructuras se observó que hay una distribución más equitativa de caudales, respecto al primer diseño de estructuras; tanto para caudales bajos como para caudales altos. Verificándose el funcionamiento correcto del barraje partidor. Las distribuciones de caudales fueron similares para caudales mayores a $800 \text{ m}^3/\text{s}$, y se alejaron bastante para caudales menores a este valor. Así mismo se observó que para caudales bajos, el modelo físico indicó que una mayor parte del caudal se dirigió hacia el río Chico, mientras que los modelos numéricos indicaron lo contrario.

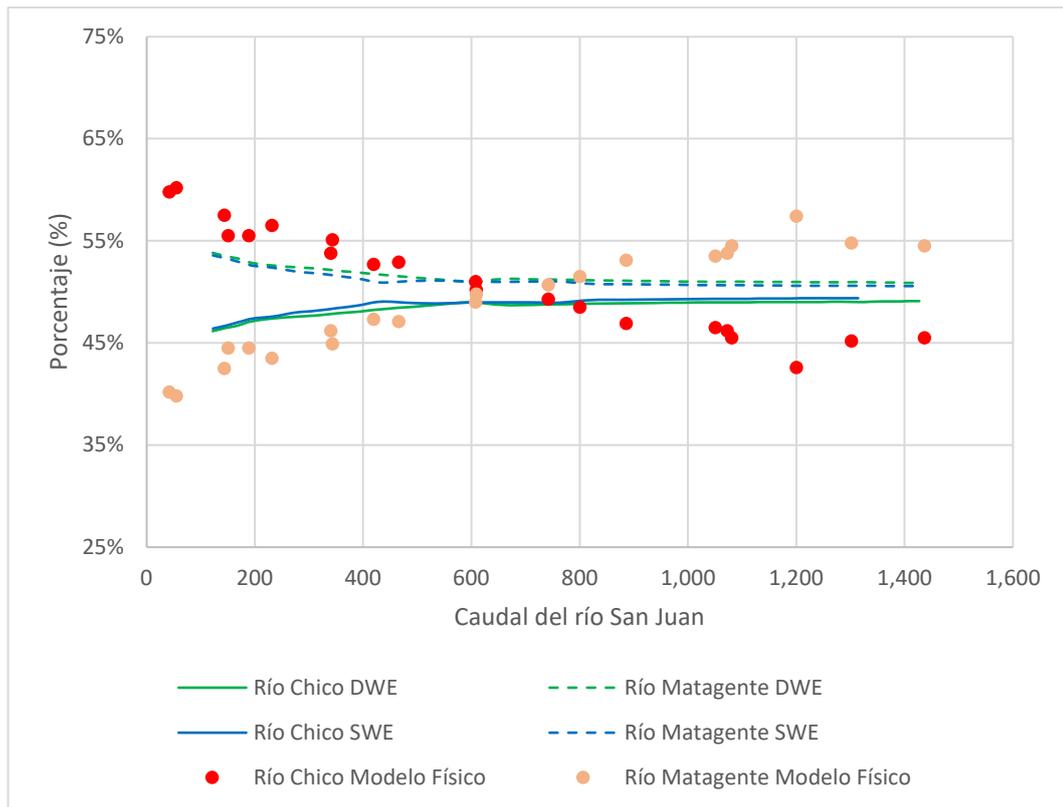


Figura 5.47 Comparación de distribución de caudales de los modelos numéricos con el modelo físico en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – TR de 50 años

5.6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DEL ESCENARIO CON EL SEGUNDO DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON EL LECHO COLMATADO

5.6.1. Niveles de agua

A continuación, se muestra los resultados de la comparación de los niveles de agua medidos en el modelo físico vs el nivel de agua obtenido con los modelos numéricos con las dos ecuaciones (DWE y SWE) para los periodos de retorno de 50 años y 100 años. Para las estructuras en las que se ha realizado esta medición: Dique derecho, dique izquierdo, dique central, muro del barraje laminador, muro del barraje partidor y muro central.

5.6.1.1. TR de 50 años

En la Tabla 19 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique derecho. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,40 m; la diferencia promedio fue de 0,52 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,23. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,84 m; la diferencia promedio 0,36 m y el factor de corrección promedio fue de 1,12.

En la Tabla 20 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique izquierdo. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 0,46 m; la diferencia promedio fue de 0,25 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,06. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,45 m; la diferencia promedio 0,22 m y el factor de corrección promedio fue de 1,05.

En la Tabla 21 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique central lado del río Chico. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,04 m, la diferencia promedio fue de 0,40 m y el factor de corrección de niveles promedio fue de 1,10. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 1,42 m; la diferencia promedio 0,43 m y el factor de corrección promedio fue de 1,04.

En la Tabla 22 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique central lado del río Matagente. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,27 m, la diferencia promedio fue de 0,47 m y el factor de corrección de niveles promedio fue de 1,28. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,80 m; la diferencia promedio 0,38 m y el factor de corrección promedio fue de 1,10.

En la Tabla 23 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el barraje laminador. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 0,27 m y la diferencia promedio fue de 0,10 m. Con las ecuaciones SWE fue de 0,27 m, mientras que con las ecuaciones DWE fue de 0,10.

En la Tabla 24 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el muro del barraje laminador. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 0,83 m, la diferencia promedio fue de 0,53 m y el factor de corrección de niveles promedio fue de 1,21. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,70 m, la diferencia promedio fue de 0,41 m y el factor de corrección de niveles promedio fue de 1,16.

En la Tabla 25 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el barraje partidor.

De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 0,66 m y la diferencia promedio fue de 0,34 m. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,72 m y la diferencia promedio fue de 0,46 m.

En la Tabla 26 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el muro del barraje partidido. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 0,80 m, la diferencia promedio fue de 0,56 m y el factor de corrección de niveles promedio fue de 1,22. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 1,10 m, la diferencia promedio fue de 0,47 m y el factor de corrección de niveles promedio fue de 1,19.

En la Tabla 27 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el muro central. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,11 m, la diferencia promedio fue de 0,94 m y el factor de corrección de niveles promedio fue de 1,35. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,86 m, la diferencia promedio fue de 0,48 m y el factor de corrección de niveles promedio fue de 1,16.

A continuación, se muestra figuras en las cuales se ha comparado los niveles de agua medidos en el modelo físico vs el nivel de agua obtenido con los modelos numéricos con las dos ecuaciones (DWE y SWE). Se ha realizado 2 perfiles longitudinales y 11 secciones de comparación. En la Figura 5.13 se muestra la ubicación de estas secciones y perfiles longitudinales.

En la Figura 5.48 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en el lado derecho, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico en el dique derecho.

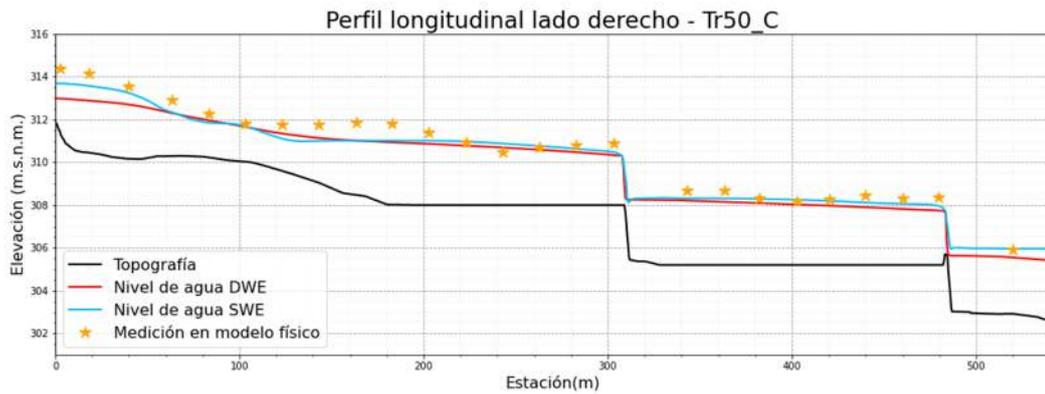


Figura 5.48 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del dique derecho en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

En la Figura 5.49 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en el lado izquierdo, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico en el dique izquierdo.

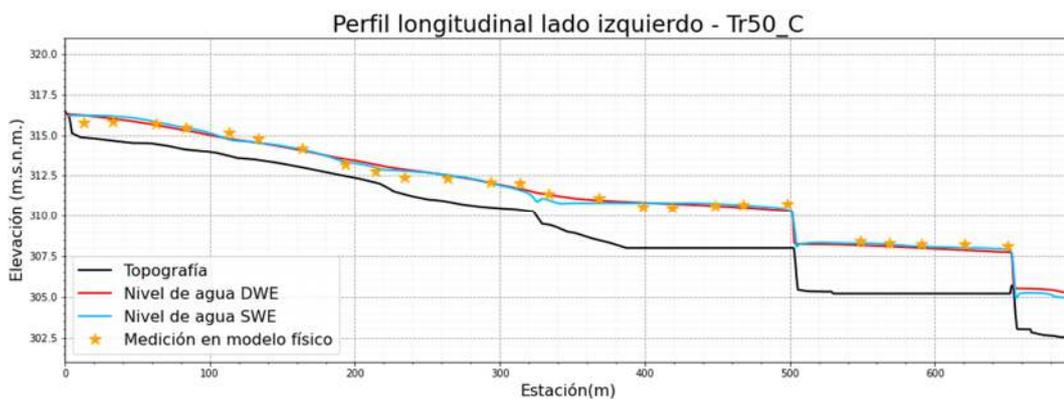


Figura 5.49 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del lado izquierdo en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

En la Figura 5.50 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 1, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

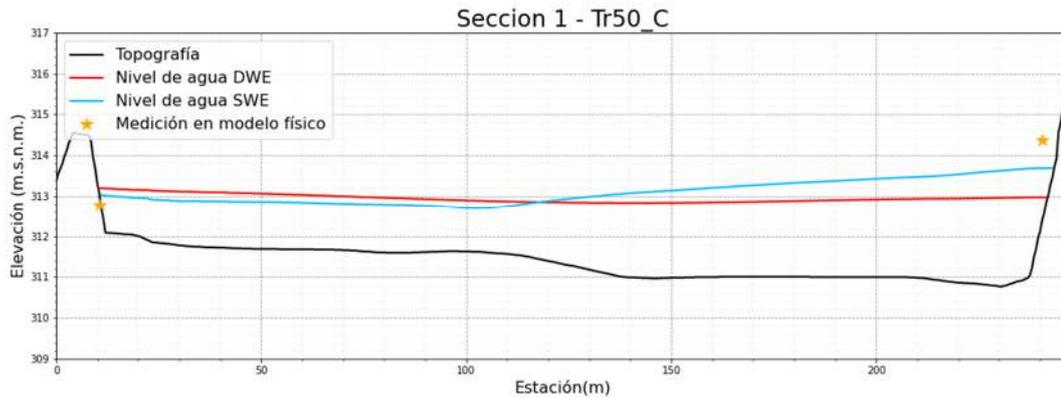


Figura 5.50 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 01 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

En la Figura 5.51 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 2, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

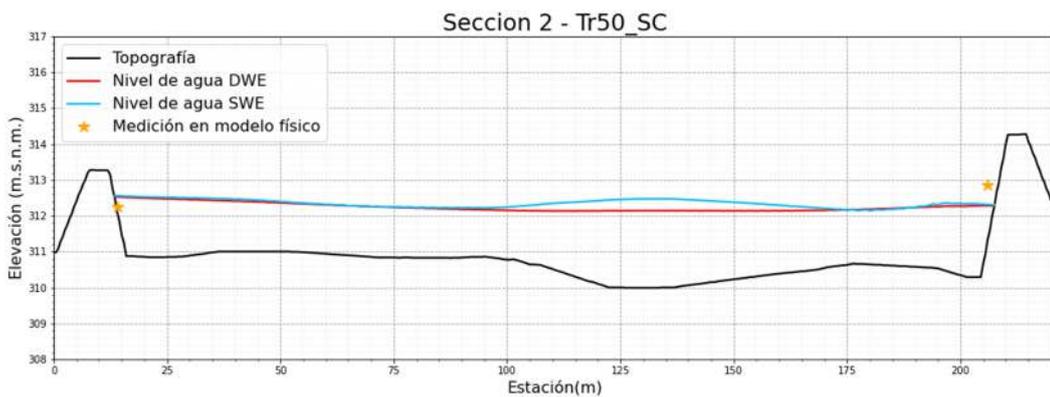


Figura 5.51 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 02 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

En la Figura 5.52 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 3, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

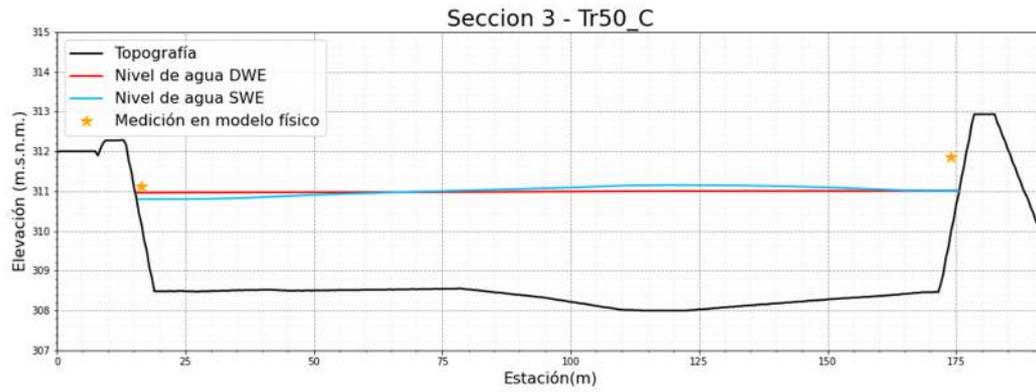


Figura 5.52 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 03 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

En la Figura 5.53 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 4, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

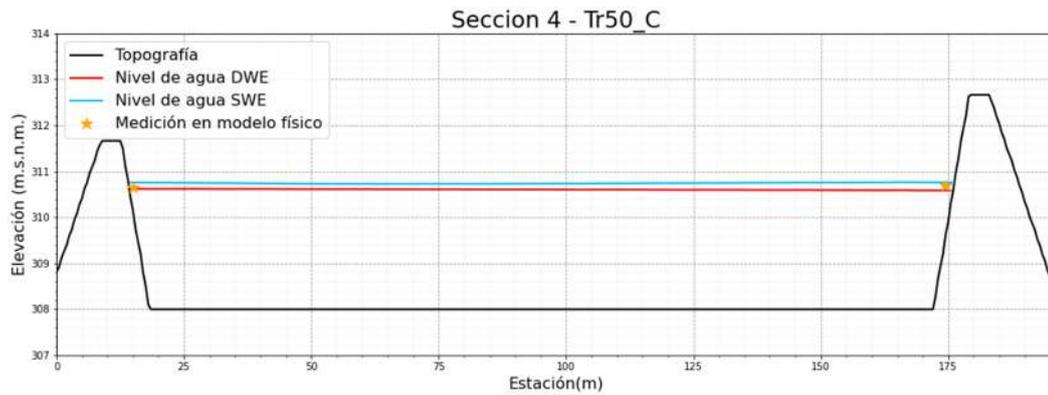


Figura 5.53 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 04 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

En la Figura 5.54 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 5, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

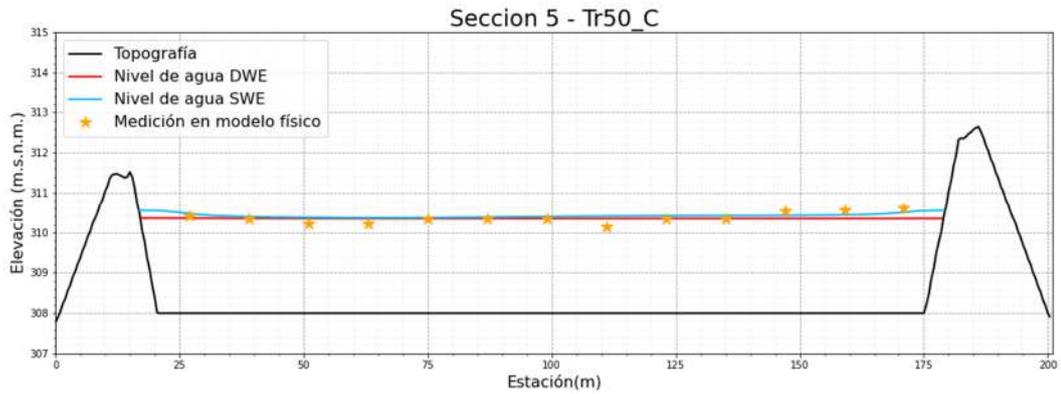


Figura 5.54 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 05 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

En la Figura 5.55 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 6, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

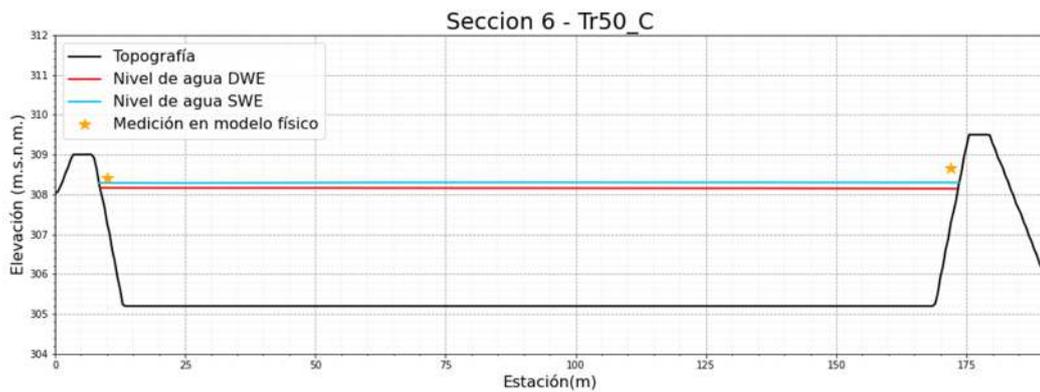


Figura 5.55 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 06 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

En la Figura 5.56 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 7, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

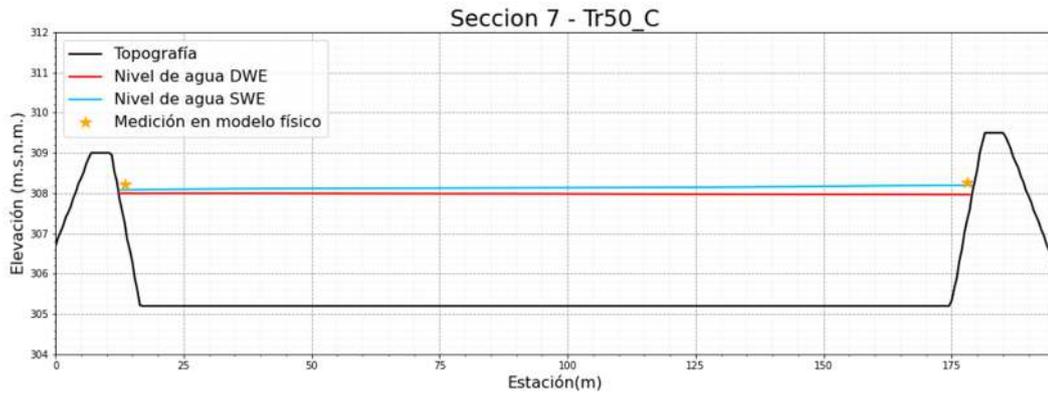


Figura 5.56 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 07 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

En la Figura 5.57 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 8, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

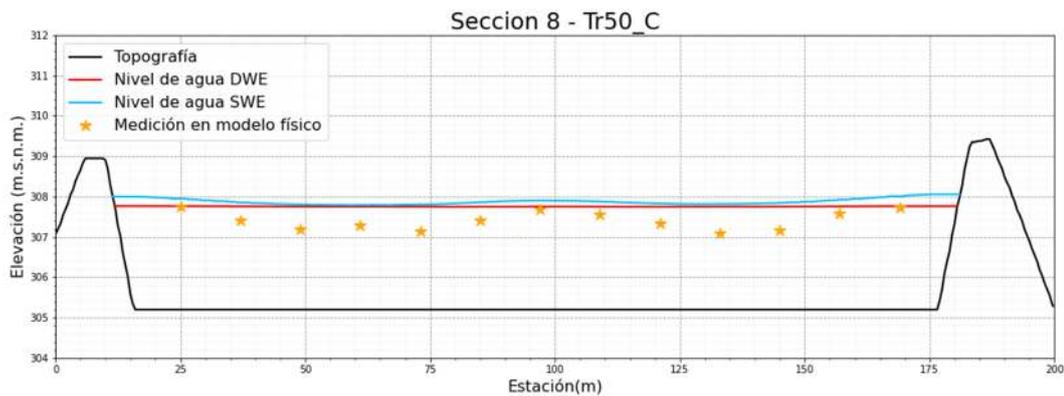


Figura 5.57 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 08 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

A continuación, se muestra figuras en las cuales se ha comparado los niveles de agua medidos obtenidos con los modelos numéricos con las dos ecuaciones (DWE y SWE), en 3 perfiles longitudinales donde se observa que hay un resalto hidráulico más acentuado. En la Figura 5.24 se muestra la ubicación de estos perfiles.

En las Figuras 5.58, 5.59 y 5.60 se muestra la comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos en el perfil 1, 2 y 3 respectivamente, en este se observa que hay un resalto hidráulico ahogado con el modelo que utiliza las ecuaciones SWE, en cambio con las ecuaciones DWE no se presenta ningún resalto hidráulico. Así mismo se observa que este resalto hidráulico influye en los niveles de agua hacia

aguas abajo. En el modelo físico se observó que se produce un resalto hidráulico ahogado.

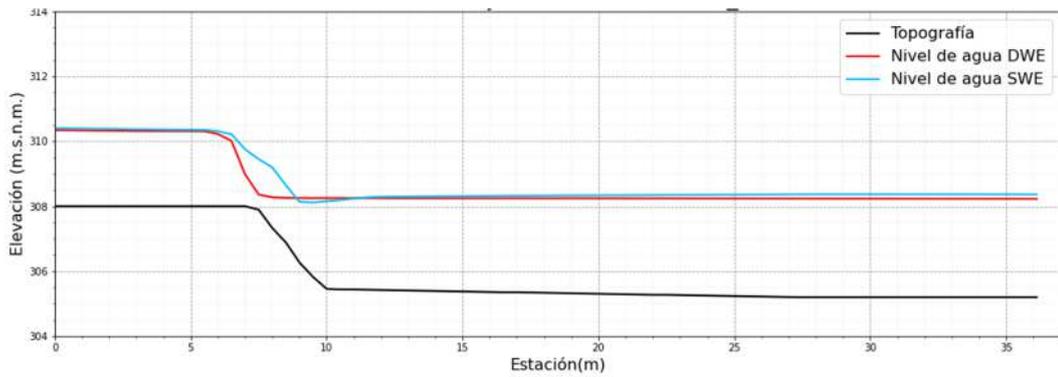


Figura 5.58 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 01 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

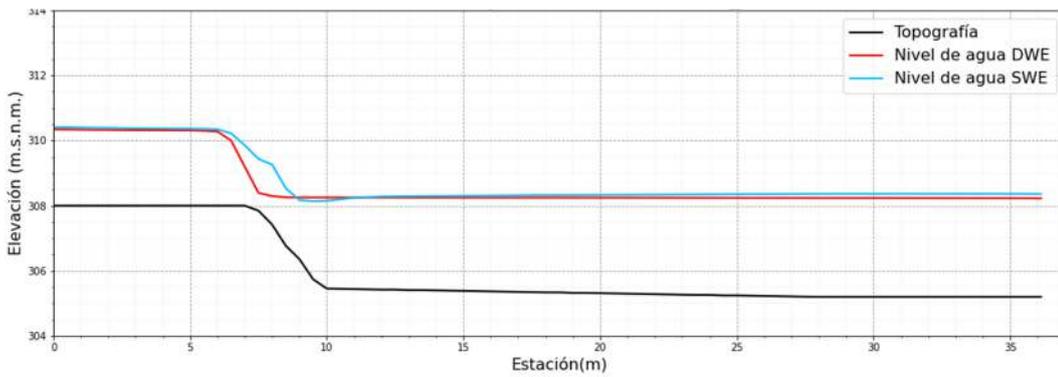


Figura 5.59 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 02 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

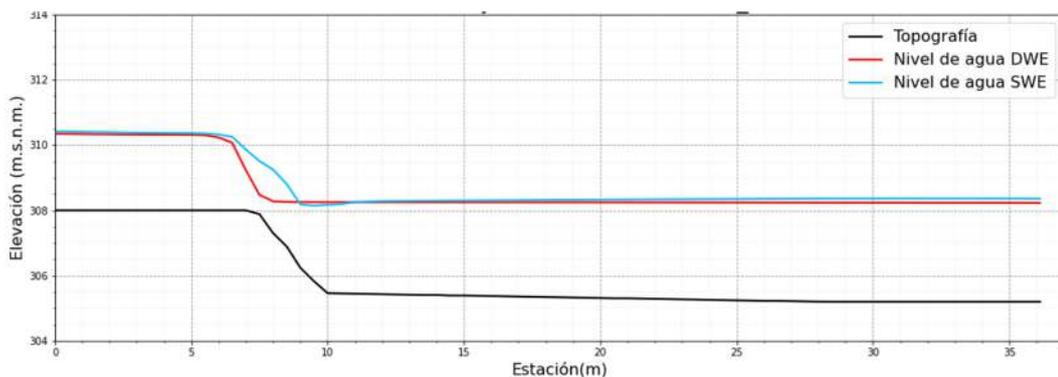


Figura 5.60 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 03 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatado – TR de 50 años

5.6.1.2. *TR de 100 años*

En la Tabla 28 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique derecho. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,70 m; la diferencia promedio fue de 0,55 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,21. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,89 m; la diferencia promedio 0,37 m y el factor de corrección promedio fue de 1,11.

En la Tabla 29 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique izquierdo. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,52 m; la diferencia promedio fue de 0,78 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,31. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 1,71 m; la diferencia promedio 0,75 m y el factor de corrección promedio fue de 1,31.

En la Tabla 30 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique central lado del río Chico. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,05 m; la diferencia promedio fue de 0,46 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,12. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 1,30 m; la diferencia promedio 0,44 m y el factor de corrección promedio fue de 1,06.

En la Tabla 31 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el dique central lado del río Matagente. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,18 m; la diferencia promedio fue de 0,51 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,29. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,85 m; la diferencia promedio 0,38 m y el factor de corrección promedio fue de 1,11.

En la Tabla 32 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el barraje laminador. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 0,67 m y la diferencia promedio fue de 0,26 m. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,53 m y la diferencia promedio 0,21 m.

En la Tabla 33 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el muro del barraje laminador. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 0,98 m; la diferencia promedio fue de 0,49 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,18. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,84 m; la diferencia promedio 0,37 m y el factor de corrección promedio fue de 1,13.

En la Tabla 34 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el barraje partidior. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 0,38 m y la diferencia promedio fue de 0,21 m. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 0,48 m y la diferencia promedio 0,32 m.

En la Tabla 35 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el muro del barraje partidior. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,29 m; la diferencia promedio fue de 0,70 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,25. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 1,75 m; la diferencia promedio 0,64 m y el factor de corrección promedio fue de 1,24.

En la Tabla 36 del ANEXO 3 se presenta la comparación de los niveles de agua del modelo físico con los modelos numéricos en el muro central. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,48 m; la diferencia promedio fue de 1,15 m y el factor de corrección de promedio fue de 1,39. Con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 1,20 m; la diferencia promedio 0,65 m y el factor de corrección promedio fue de 1,19.

A continuación, se muestra figuras en las cuales se ha comparado los niveles de agua medidos en el modelo físico vs el nivel de agua obtenido con los modelos numéricos con las dos ecuaciones (DWE y SWE). Se ha realizado 2 perfiles longitudinales y 11 secciones de comparación. En la Figura 5.13 se muestra la ubicación de estas secciones y perfiles longitudinales.

En la Figura 5.61 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en el lado derecho, los puntos

mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico en el dique derecho.

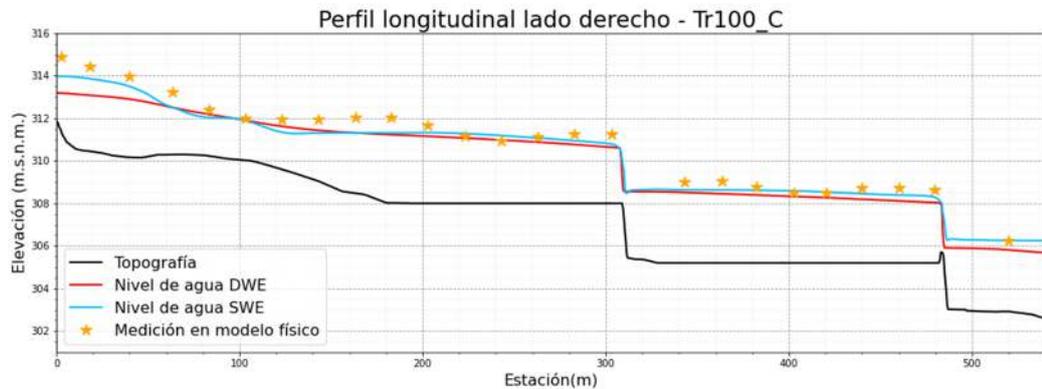


Figura 5.61 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del dique derecho en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años

En la Figura 5.62 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en el lado izquierdo, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico en el dique izquierdo.

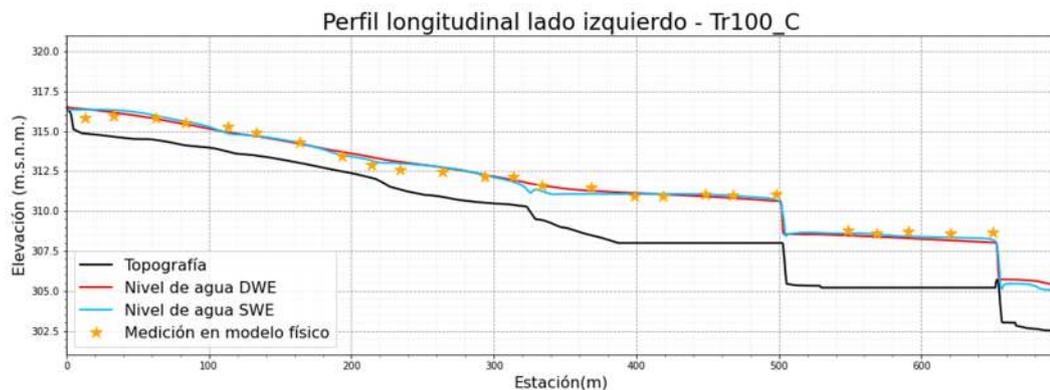


Figura 5.62 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del perfil longitudinal del lado izquierdo en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años

En la Figura 5.63 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 1, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

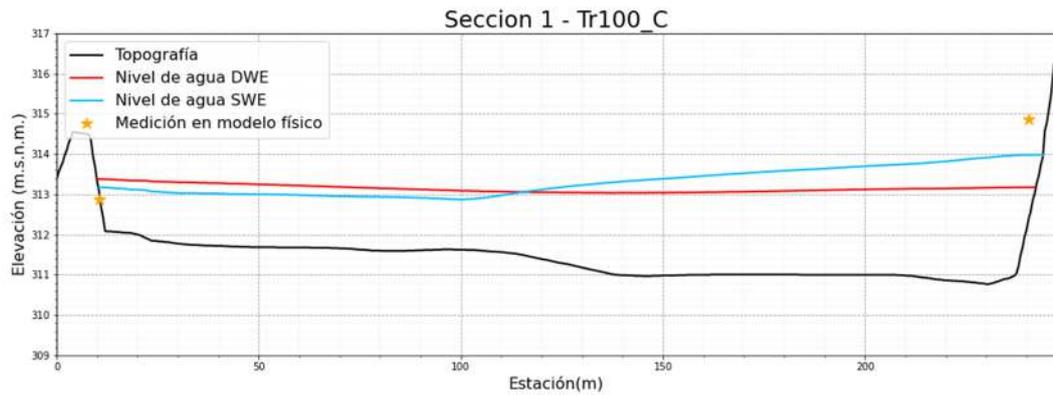


Figura 5.63 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 01 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años

En la Figura 5.64 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 2, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

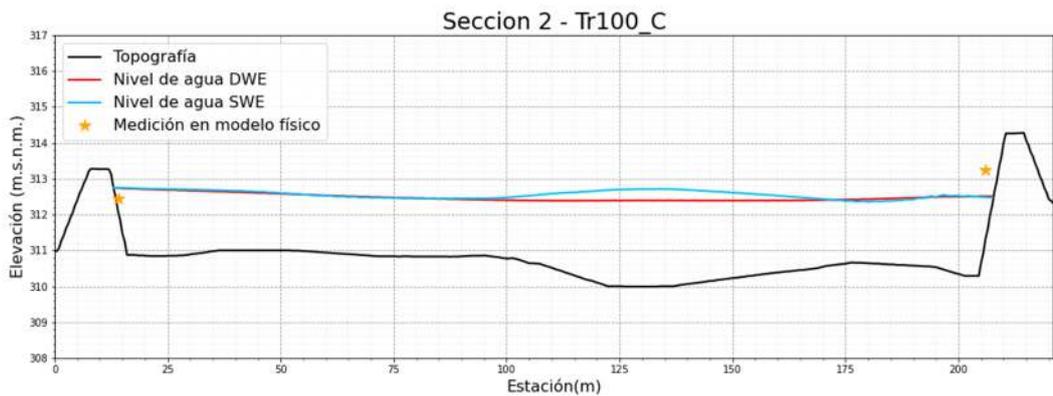


Figura 5.64 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 02 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años

En la Figura 5.65 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 3, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

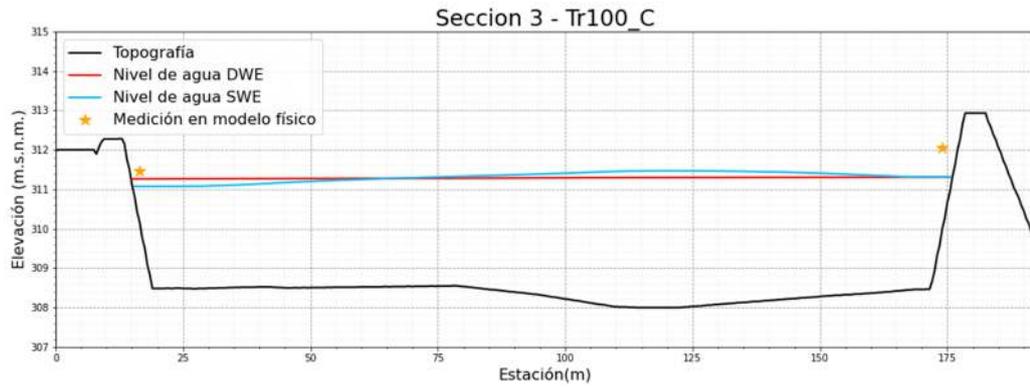


Figura 5.65 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 03 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años

En la Figura 5.66 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 4, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

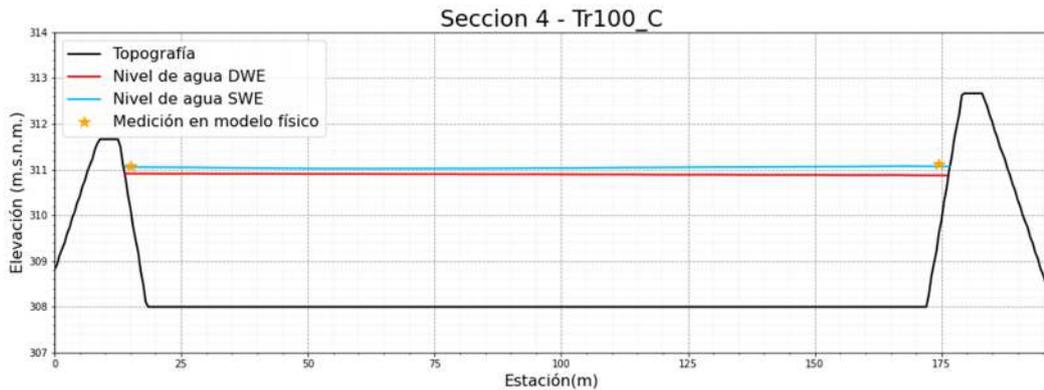


Figura 5.66 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 04 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años

En la Figura 5.67 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 5, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

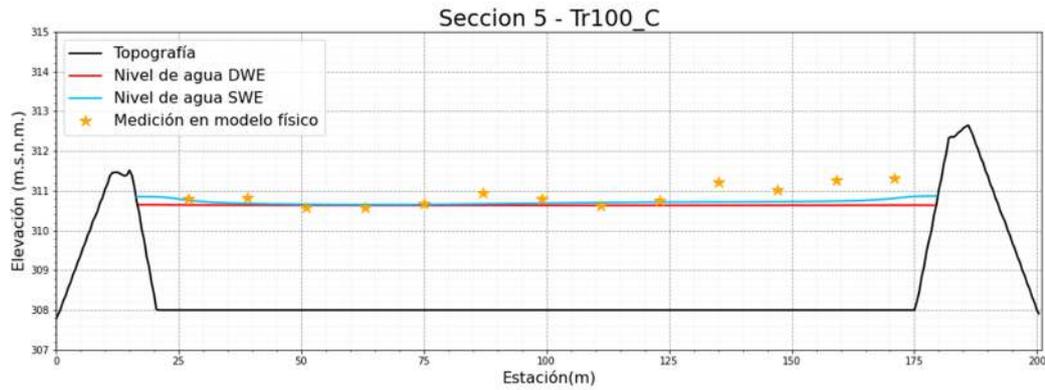


Figura 5.67 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 05 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años

En la Figura 5.68 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 6, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

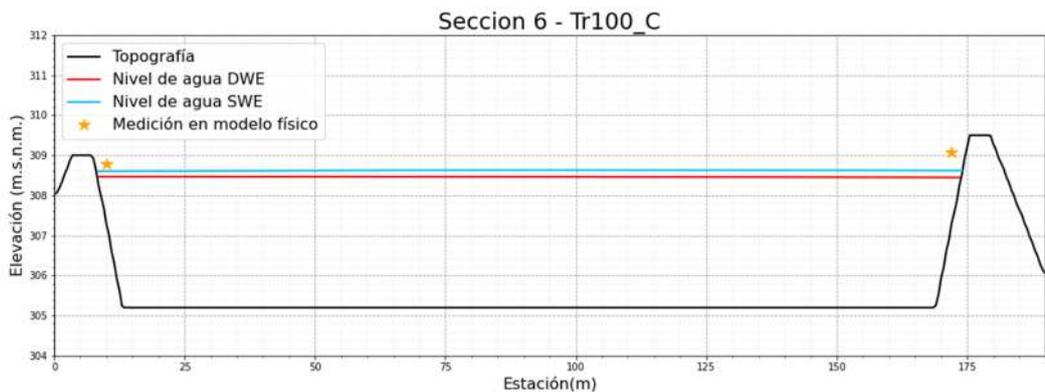


Figura 5.68 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 06 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años

En la Figura 5.69 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 7, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

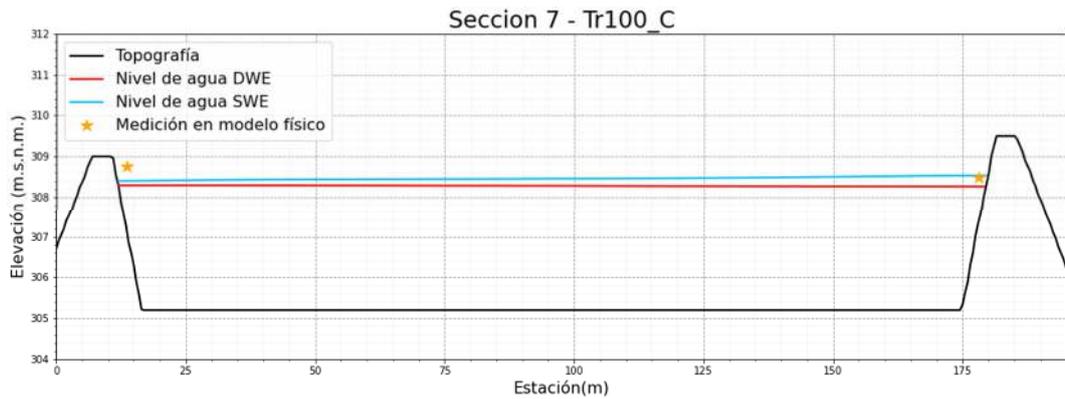


Figura 5.69 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 07 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años

En la Figura 5.70 se muestra la comparación de los niveles de agua del modelo numérico y del modelo físico en la sección 8, los puntos mostrados corresponden a mediciones realizadas en el modelo físico.

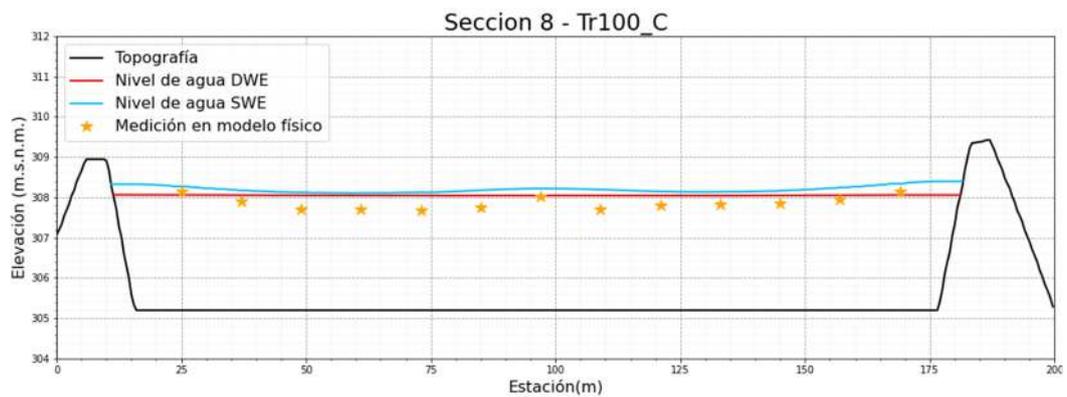


Figura 5.70 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 08 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años

En las Figura 5.71, Figura 5.72 y Figura 5.73 se muestra la comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos en el perfil 1, 2 y 3 respectivamente, en este se observó que hay un resalto hidráulico ahogado con el modelo que utiliza las ecuaciones SWE, en cambio con las ecuaciones DWE no se presentó ningún resalto hidráulico. Así mismo, se observó que este resalto hidráulico influye en los niveles de agua hacia aguas abajo. En el modelo físico se observó que se produce un resalto hidráulico ahogado.

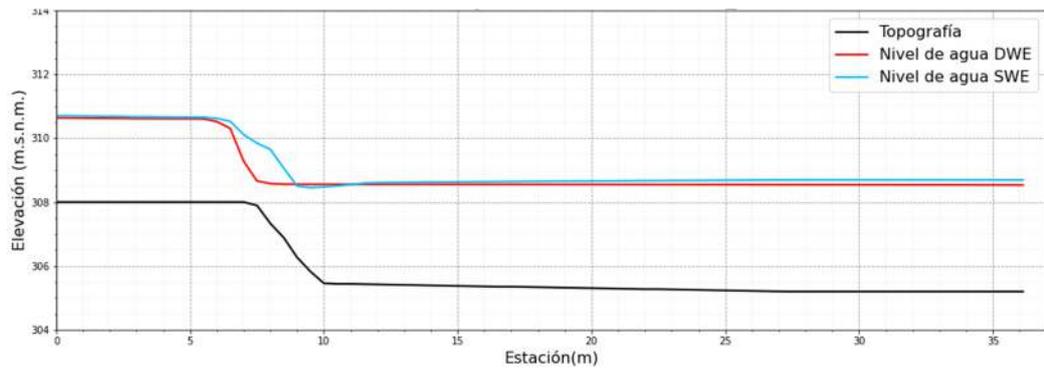


Figura 5.71 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 01 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años

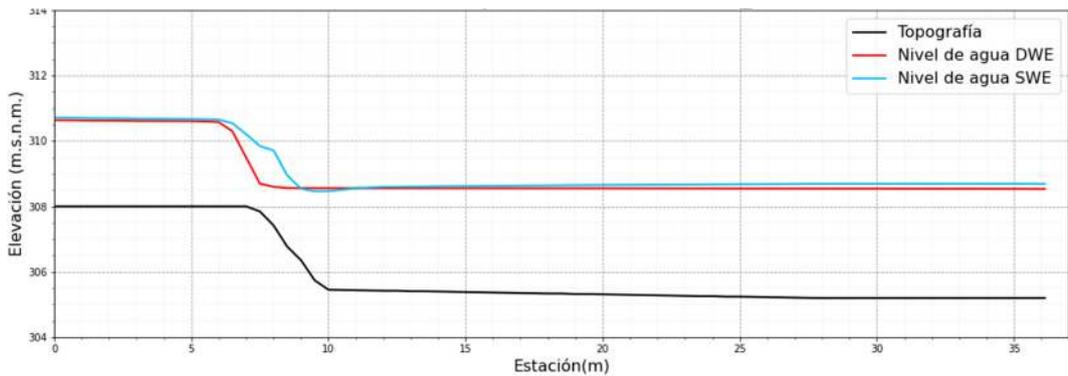


Figura 5.72 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 02 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años

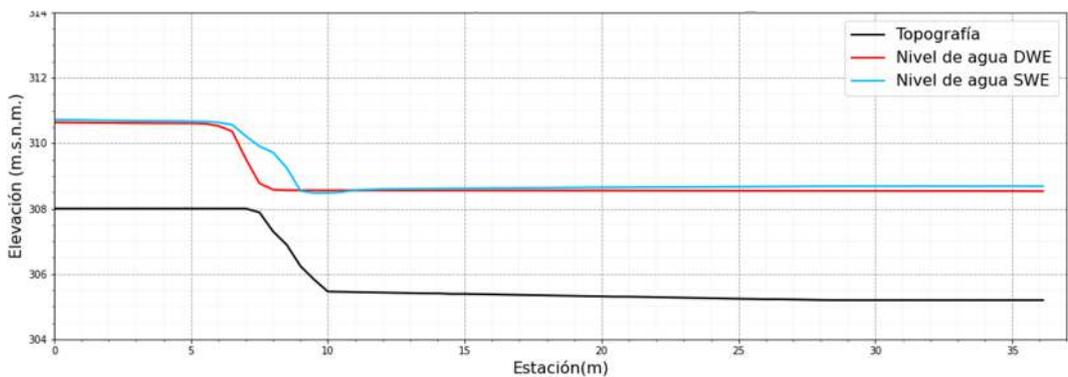


Figura 5.73 Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos perfil del resalto hidráulico 03 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 100 años

5.6.2. Velocidades

A continuación, se muestra la comparación de velocidades para un TR de 50 años

5.6.2.1. TR de 50 años

En la Figura 5.41 se muestra la comparación de velocidades entre el modelo físico y los modelos numéricos con ambas ecuaciones (DWE y SWE) en la sección 01. Y en la tabla 7 del ANEXO 4 se muestra la comparación numérica entre estos modelos. De esta tabla se pudo inferir que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 6,51 m/s y la diferencia promedio fue de 2,00 m/s; mientras que con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 2,99 m/s y la diferencia promedio fue de 1,40 m/s. Además, el factor de la velocidad promedio del modelo numérico y del modelo físico fue de 0,50 para las ecuaciones DWE y de 0,59 para las ecuaciones SWE.

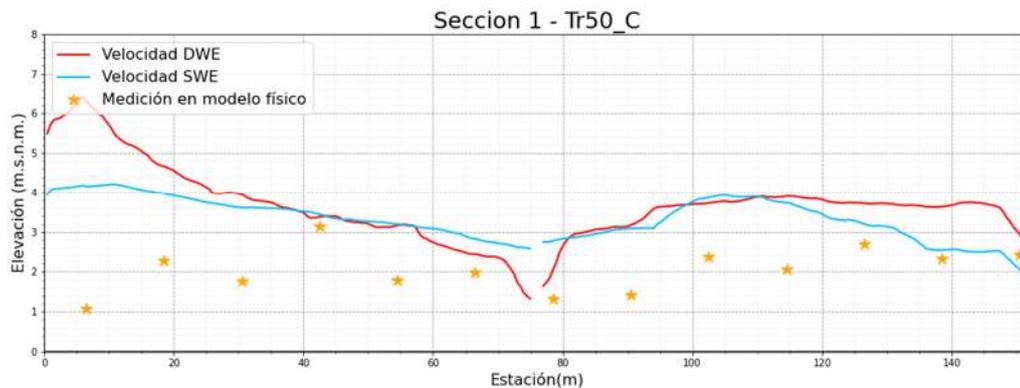


Figura 5.74 Comparación de velocidades de la sección 1 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

En la Figura 5.75 se muestra la comparación de velocidades entre el modelo físico y los modelos numéricos con ambas ecuaciones (DWE y SWE) en la sección 02. Y en la tabla 8 del ANEXO 4 se muestra la comparación numérica entre estos modelos. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 1,60 m/s y la diferencia promedio fue de 0,92 m/s; mientras que con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 2,57 m/s y la diferencia promedio fue de 0,89 m/s. Además, el factor de la velocidad promedio del modelo numérico y del modelo físico fue de 1,39 para las ecuaciones DWE y de 1,37 para las ecuaciones SWE.

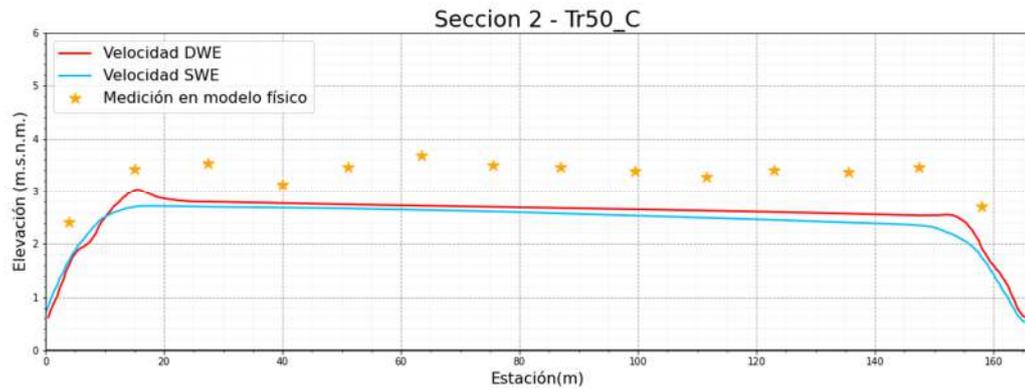


Figura 5.75 Comparación de velocidades de la sección 2 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

En la Figura 5.76 se muestra la comparación de velocidades entre el modelo físico y los modelos numéricos con ambas ecuaciones (DWE y SWE) en la sección 03. Y en la tabla 9 del ANEXO 4 se muestra la comparación numérica entre estos modelos. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 0,35 m/s y la diferencia promedio fue de 0,20 m/s; mientras que con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 1,49 m/s y la diferencia promedio fue de 0,39 m/s. Además, el factor de la velocidad promedio del modelo numérico y del modelo físico fue de 0,95 para las ecuaciones DWE y de 0,94 para las ecuaciones SWE.

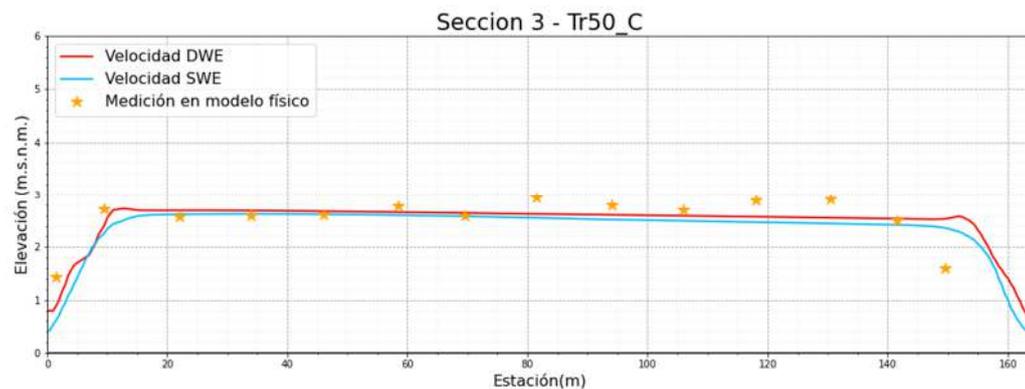


Figura 5.76 Comparación de velocidades de la sección 3 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

En la Figura 5.77 se muestra la comparación de velocidades entre el modelo físico y los modelos numéricos con ambas ecuaciones (DWE y SWE) en la sección 04. Y en la tabla 10 del ANEXO 4 se muestra la comparación numérica entre estos modelos. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 2,85 m/s y la

diferencia promedio fue de 0,58 m/s; mientras que con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 3,11 m/s y la diferencia promedio fue de 0,83 m/s. Además, el factor de la velocidad promedio del modelo numérico y del modelo físico fue de 0,80 para las ecuaciones DWE y de 0,84 para las ecuaciones SWE.

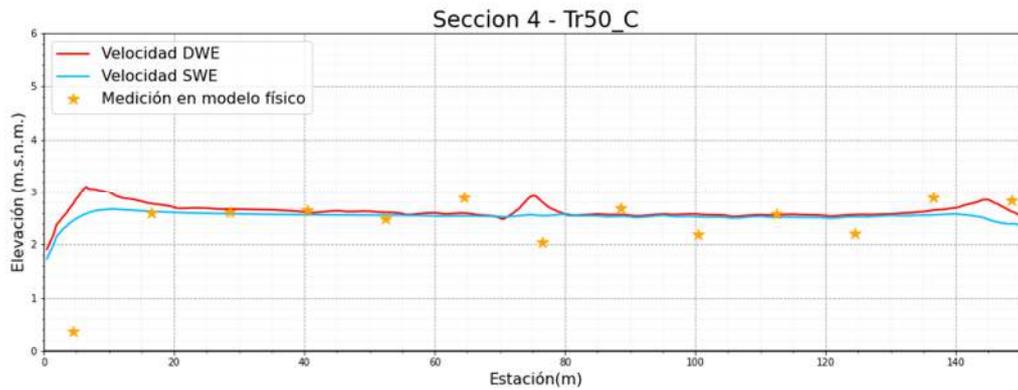


Figura 5.77 Comparación de velocidades de la sección 4 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

En la Figura 5.78 se muestra la comparación de velocidades entre el modelo físico y los modelos numéricos con ambas ecuaciones (DWE y SWE) en la sección 05. Y en la tabla 11 del ANEXO 4 se muestra la comparación numérica entre estos modelos. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 2,67 m/s y la diferencia promedio fue de 1,17 m/s; mientras que con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 2,38 m/s y la diferencia promedio fue de 0,82 m/s. Además, el factor de la velocidad promedio del modelo numérico y del modelo físico fue de 1,37 para las ecuaciones DWE y de 1,18 para las ecuaciones SWE.

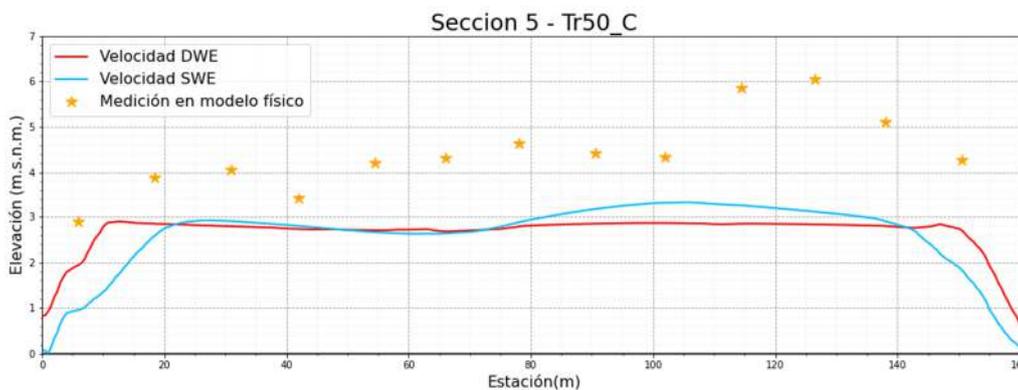


Figura 5.78 Comparación de velocidades de la sección 5 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

En la Figura 5.79 se muestra la comparación de velocidades entre el modelo físico y los modelos numéricos con ambas ecuaciones (DWE y SWE) en la sección 06. Y en la tabla 12 del ANEXO 4 se muestra la comparación numérica entre estos modelos. De esta tabla se calculó que con las ecuaciones DWE la diferencia máxima fue de 2,66 m/s y la diferencia promedio fue de 1,11 m/s; mientras que con las ecuaciones SWE la diferencia máxima fue de 2,89 m/s y la diferencia promedio fue de 0,92 m/s. Además, el factor de la velocidad promedio del modelo numérico y del modelo físico fue de 1,03 para las ecuaciones DWE y de 1,11 para las ecuaciones SWE.

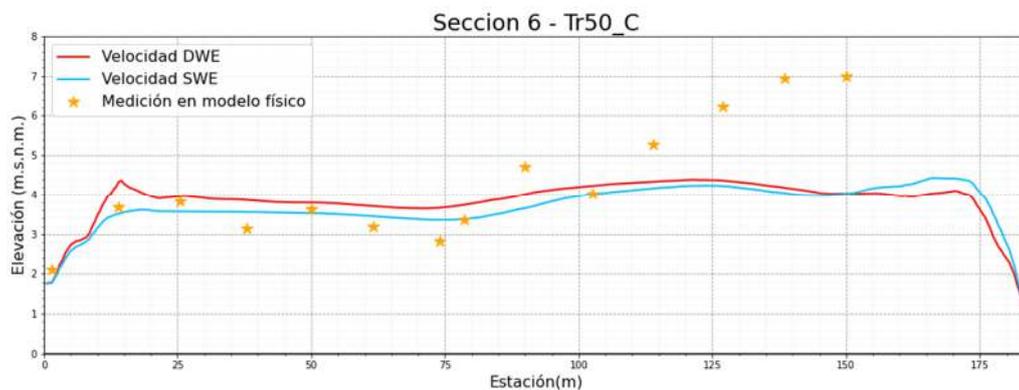


Figura 5.79 Comparación de velocidades de la sección 6 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

5.6.3. Distribución de caudales

En la Figura 5.80 se muestra la comparación de la distribución de caudales de los modelos numéricos con el modelo físico. En el segundo diseño de estructuras con el barraje colmatado se observó que hay una distribución más equitativa de caudales, respecto al segundo diseño de estructuras sin colmatar; tanto para caudales bajos como para caudales altos. Verificándose el funcionamiento correcto del barraje partidor. Las distribuciones de caudales fueron muy similares para caudales mayores a 800 m³/s, y se alejaron bastante para caudales menores a este valor. Así mismo se observó que para caudales bajos el modelo físico indicó que una mayor parte del caudal se dirigió hacia el río Chico, mientras que los modelos numéricos indicaron lo contrario.

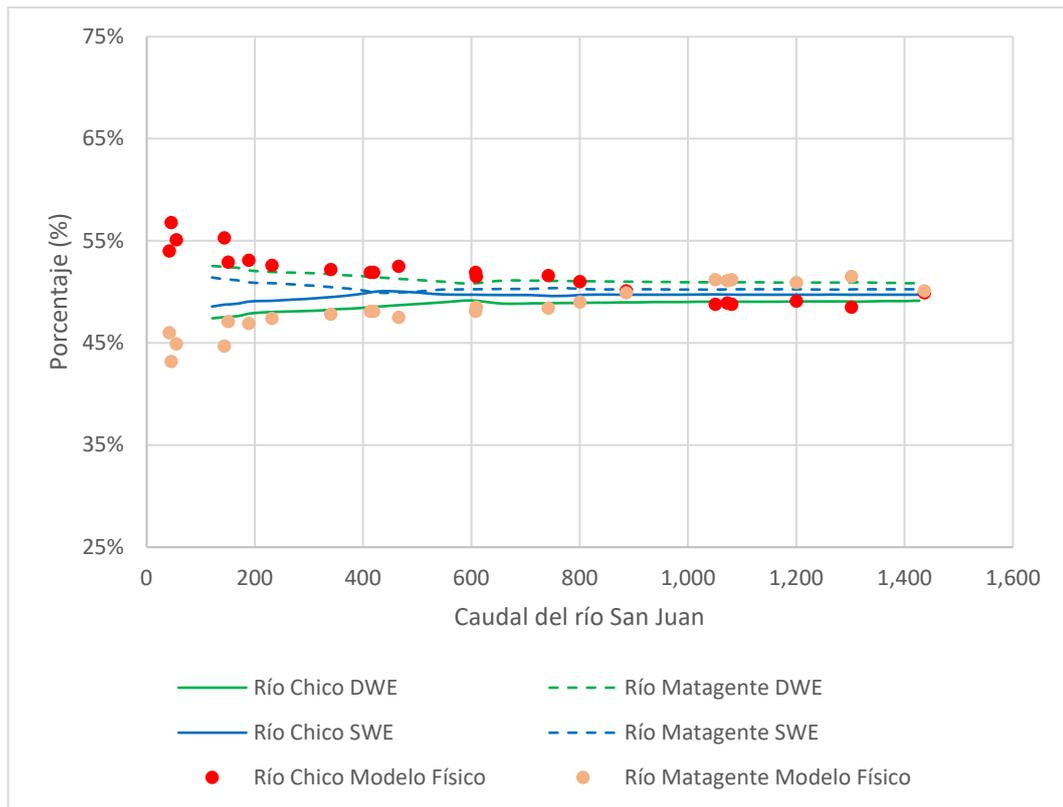


Figura 5.80 Comparación de distribución de caudales de los modelos numéricos con el modelo físico en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – TR de 50 años

CONCLUSIONES

En general:

Se efectuó el análisis exhaustivo de los resultados obtenidos de la aplicación de los modelos numéricos de aguas poco profundas (Shallow water equation SWE) y de onda difusa (*Diffusion wave equation* DWE) y se comparó con los obtenidos con un modelo físico. Para ello, se realizó la construcción de los modelos numéricos SWE y DWE y se calibró el coeficiente de descarga de los barrajes laminador y partidador para el modelo numérico, obteniéndose un valor de 2,18.

De la comparación de resultados se obtiene que en el escenario 'sin estructuras': Para un caudal de 276 m³/s, el río San Juan se distribuyó la mayor parte (83%) de su caudal hacia el río Chico.

De la comparación de resultados se obtiene que en el escenario 'con el primer diseño de estructuras':

El modelo con las ecuaciones DWE no representó los desbordes ocurridos en la margen derecha, al contrario, el modelo con las ecuaciones SWE sí las representó. El desborde de la margen izquierda y del dique central sí fue reproducido por ambos modelos. Sin embargo, ninguno de los modelos reprodujo el desbordamiento inminente en el muro derecho del barraje laminador.

Las distribuciones de caudales fueron muy similares entre el modelo físico y los modelos numéricos para caudales mayores a 800 m³/s, y se alejaron bastante para caudales menores a este valor.

El modelo numérico que representó mejor lo ocurrido en el modelo físico es el que utilizó las ecuaciones SWE, sin embargo, no se observó todos los desbordes que sí ocurrió en el modelo físico.

De la comparación de resultados se obtiene que en el escenario 'con el segundo diseño de estructuras – lecho sin colmatar':

Tanto en el modelo físico como en los modelos numéricos no se reportó ningún desborde.

El factor de corrección de elevación promedio para los diques fue de 1,12 con las ecuaciones DWE y de 1,06 con las ecuaciones SWE. Se encontró que las mayores diferencias se encuentran en la zona curva. Las ecuaciones SWE sí reflejaron un efecto de curva, pero no en la magnitud que se reflejó en el modelo físico. Las ecuaciones DWE no reflejaron ningún efecto de curva. Ver Figura 5.16 y Figura 5.30.

El factor de corrección de elevación en los muros fue de 1,21 con las ecuaciones DWE y de 1,16 con las ecuaciones SWE. Los modelos numéricos utilizados no representaron adecuadamente el efecto que se presenta cuando el agua golpea la estructura (Ver Figura 3.8.)

Se recomienda usar un factor de corrección de velocidad promedio de 1,83 con las ecuaciones DWE y de 1,56 con las ecuaciones SWE. Esto se debe a que un modelo bidimensional asume un perfil de velocidades uniforme en toda una columna de agua, condición que no real sobre todo en los tramos en curva donde se ubican el barraje partidor y el barraje laminador.

Los modelos numéricos utilizados no representaron de manera adecuada el flujo rápidamente variado. Se observó la generación de resalto hidráulico, únicamente con las ecuaciones SWE, y tendría una longitud máxima de 10,0 m, mientras que en el modelo físico fue de 51,20 m.

El modelo numérico que representó mejor lo ocurrido en el modelo físico es el que utilizó las ecuaciones SWE. Esto se explica debido a que las ecuaciones DWE son una simplificación de las ecuaciones SWE.

De la comparación de resultados se obtiene que en el escenario 'con el segundo diseño de estructuras – lecho colmatado':

Tanto en el modelo físico como en los modelos numéricos, no se reporta ningún desborde.

El factor de corrección de elevación promedio para los diques fue de 1,20 con las ecuaciones DWE y de 1,11 con las ecuaciones SWE. Se encontró que las mayores diferencias se encuentran en la zona curva. Las ecuaciones SWE sí reflejaron un efecto de curva, pero no en la magnitud que se observó en el modelo físico. Las ecuaciones DWE no reflejaron ningún efecto de curva (Ver Figura 5.16 y Figura 5.30).

Los modelos numéricos utilizados no representaron adecuadamente el efecto de sobre elevación que se presenta cuando el agua golpea la estructura (Ver Figura 3.8.)

El factor de corrección de elevación en los muros fue de 1,27 con las ecuaciones DWE y de 1,18 con las ecuaciones SWE.

Se recomienda usar un factor de corrección de velocidad promedio de 1,39 con las ecuaciones DWE y de 1,37 con las ecuaciones SWE. Esto se debe a que un modelo bidimensional asume un perfil de velocidades uniforme en toda una columna de agua, condición que no real sobre todo en los tramos en curva donde se ubican el barraje partidor y el barraje laminador.

Con las ecuaciones SWE se generó un salto hidráulico ahogado en una zona puntual, con las ecuaciones DWE no se generó ningún salto hidráulico; por otro lado, en el modelo físico también se reportó que el salto hidráulico fue ahogado para el escenario 'colmatado'

El modelo numérico que representó mejor lo ocurrido en el modelo físico es el que utilizó las ecuaciones SWE. Esto se explica debido a que las ecuaciones DWE son una simplificación de las ecuaciones SWE.

RECOMENDACIONES

Se recomienda incrementar el borde libre cuando se analiza un cauce con curvas utilizando el modelo numérico bidimensional Hec-Ras 2D, dado que se ha observado que este modelo sí representa un efecto de curva con sus ecuaciones SWE, pero no con la magnitud que se observó en el modelo físico.

Se recomienda tener en cuenta que los flujos rápidamente variados, por su propia naturaleza tridimensional, no son bien representados por un modelo bidimensional. En el caso estudiado se observó que el modelo que utilizaba las ecuaciones SWE representaba el salto hidráulico; sin embargo, comparándolo con el que se presentó en el modelo físico hubo diferencias tanto en su longitud, como en las velocidades.

Se recomienda considerar que cuando el flujo choca con estructuras transversales tales como muros o diques, se puede producir un efecto de choque que ocasiona que el agua tenga una sobreelevación. Este efecto no ha sido observado en los modelos numéricos estudiados en esta tesis, pero sí fue observado en el modelo físico.

Se recomienda utilizar en los modelos físicos, técnicas más modernas para la medición de niveles de agua y velocidades, como por ejemplo las mediciones láser de nivel de agua o el velocímetro perfilador que mide velocidades 3D. Estas técnicas permitirán obtener datos más precisos que ayudarán a comprender mejor la naturaleza del flujo.

Se recomienda investigar qué modelo numérico refleja mejor el comportamiento hidráulico de flujos rápidamente variados.

Se recomienda investigar qué modelo numérico puede reflejar mejor los efectos de curva y el efecto del choque de agua con las estructuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Choque Arce, A. (2009). *Conjunto Arqueológico de Saywite*.
- Chow, V. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*.
- Fuentes Aguilar, R. (2002). *Modelos Hidráulicos: Teoría y Diseño*. Dolmen Estudio.
- García Reyes, M., Priego Hernández, G., Soto Cortes, G., & Rivera Trejo, F. (2017). Análisis hidrodinámico en un canal de derivación: Caso El Censo, Municipio de Centro, Tabasco. *JEEOS*, 1(2), 23-42.
- Hanif Chaudhry, M. (2008). *Open-Channel Flow*. Columbia: Springer.
- Laboratorio Nacional de Hidráulica. (2018). *Estudio de investigación en modelo físico de la estructura de derivación Partidor Conta*. Lima.
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: redes de alcantarillado y bombeo*.
- Ponce, V. (2015). *Fundamentos de la hidráulica de canales*.
- PSI. (2017). *PROGRAMA DE PROTECCIÓN DE VALLES Y PROGRAMA DE PROTECCIÓN DE VALLES Y INUNDACIONES CÓDIGO SNIP PROG-97-2009 TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA LA ELABORACION DE ESTUDIOS A NIVEL DE EXPEDIENTES TECNICOS*.
- Rocha Felices, A. (2010). *Introducción a la Hidráulica de las Obras Viales*. ICG.
- Rocha, A. (2003). LOS MODELOS COMO HERRAMIENTA VALIOSA PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO. *INVESTIGACIÓN EN MODELOS FÍSICOS Y MATEMÁTICOS DE OBRAS HIDRÁULICAS*.
- US Army Corps of Engineers. (1994). *Hydraulic Design of Flood Control Channels*.
- Vincenzo, C. (2009). A high-resolution wetting and drying algorithm for free-surface hydrodynamics. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 391-408.

ANEXOS

ANEXO 1: PLANO SIN ESTRUCTURAS DEL MODELO PARTIDOR	
CONTA.....	196
ANEXO 2: PLANO CON ESTRUCTURAS DEL MODELO PARTIDOR	
CONTA.....	198
ANEXO 3: COMPARACIÓN DE NIVELES DE AGUA.....	200
ANEXO 4: COMPARACIÓN DE VELOCIDADES.....	229

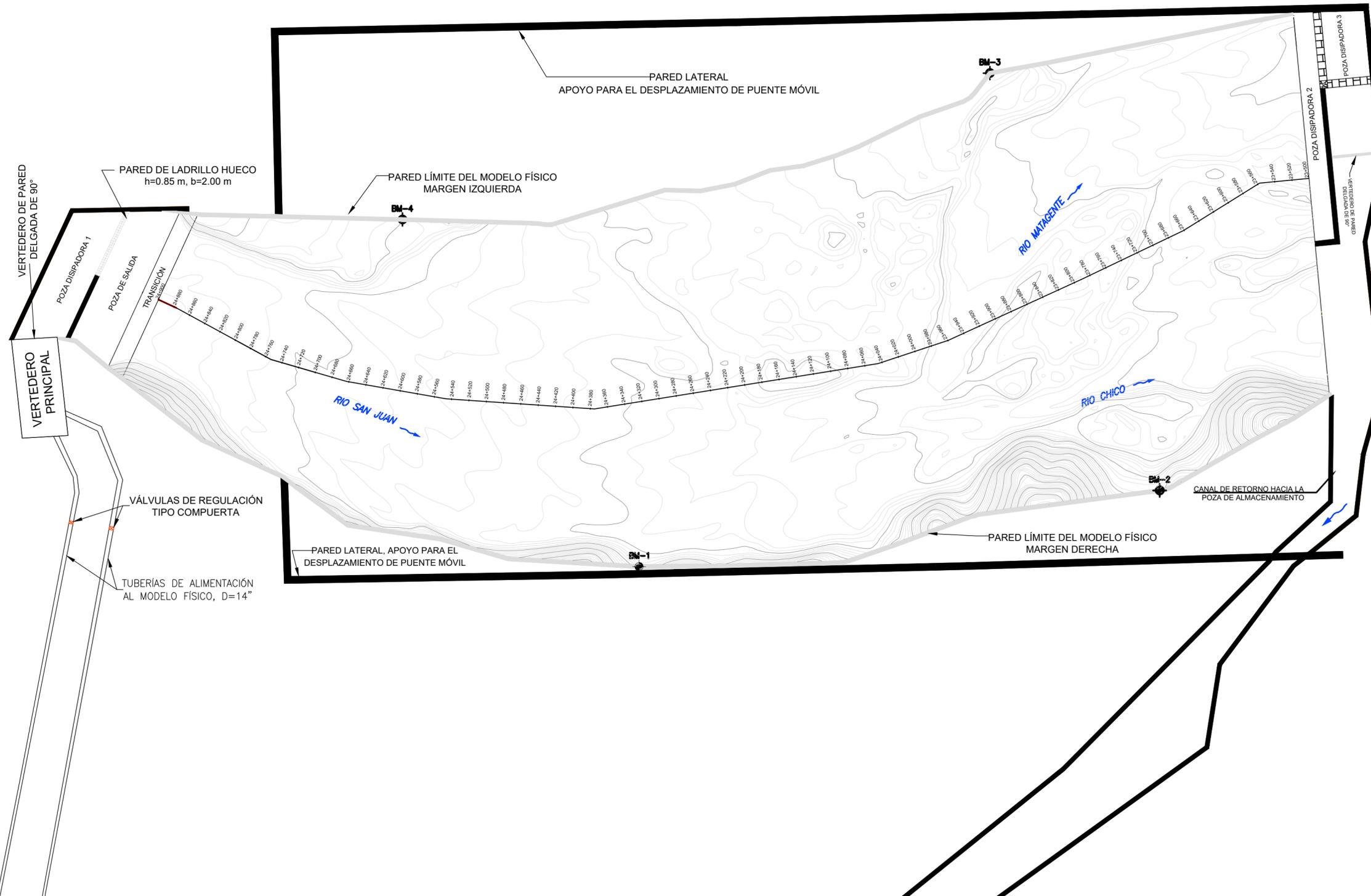
**ANEXO 1: PLANO SIN ESTRUCTURAS DEL MODELO
PARTIDOR CONTA**

LEYENDA	
SIMBOLO	DESCRIPCION
—	EJE DEL MODELO FÍSICO
⊕	PUNTO DE ESTACIÓN TOTAL
⬇	BENCH MARK
~	CURVAS MAYORES
~	CURVAS MENORES

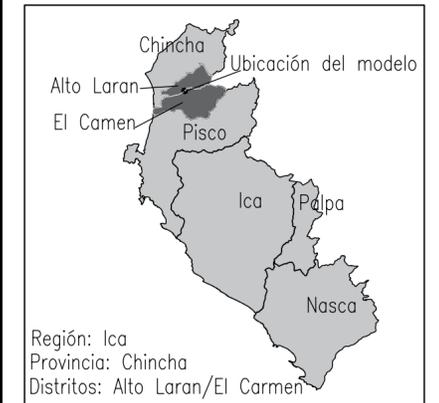
TABLA DE BM's - MODELO			
CÓDIGO	NORTE	ESTE	COTA
BM-1	8670378.0710	276841.9440	328.134
BM-2	8670380.2620	276856.9250	327.974
BM-3	8670392.2680	276852.0410	327.934
BM-4	8670388.0560	276835.1350	327.974



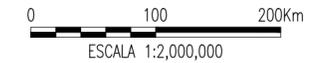
E-1



UBICACIÓN



ESCALA GRAFICA



Tesis: CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS CON UN MODELO FÍSICO DE UNA OBRA DE DERIVACIÓN

PLANO
**ANEXO 1
PLANO DEL MODELO FÍSICO
SIN ESTRUCTURAS**

TESISTA:

Bach. Martín Cieza Uceda

ASESOR:

Dr. Ing. Miguel Zubiaur Alejos

ESCALA :

1/50

FECHA :

2024

REV :

1

CODIGO DEL PLANO :

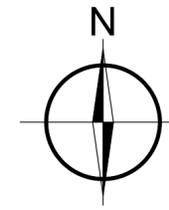
MOD-FIS-SIN-EST

**ANEXO 2: PLANO CON ESTRUCTURAS DEL MODELO
PARTIDOR CONTA**

LEYENDA	
SIMBOLO	DESCRIPCION
	EJE DEL MODELO FÍSICO
	PUNTO DE ESTACIÓN TOTAL
	BENCH MARK
	CURVAS MAYORES
	CURVAS MENORES

TABLA DE BM's - MODELO			
CÓDIGO	NORTE	ESTE	COTA
BM-1	8670378.0710	276841.9440	328.134
BM-2	8670380.2620	276856.9250	327.974
BM-3	8670392.2680	276852.0410	327.934
BM-4	8670388.0560	276835.1350	327.974

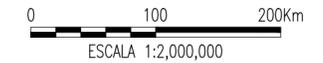
E-1 N: 8670395.00
E: 276836.00



UBICACIÓN



ESCALA GRAFICA



ESCALA 1:2,000,000



Tesis: CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS CON UN MODELO FÍSICO DE UNA OBRA DE DERIVACIÓN

PLANO ANEXO 2
PLANO DEL MODELO FÍSICO CON ESTRUCTURAS

TESISTA:

Bach. Martín Cieza Uceda

ASESOR:

Dr. Ing. Miguel Zubiaur Alejos

ESCALA :

1/50

FECHA :

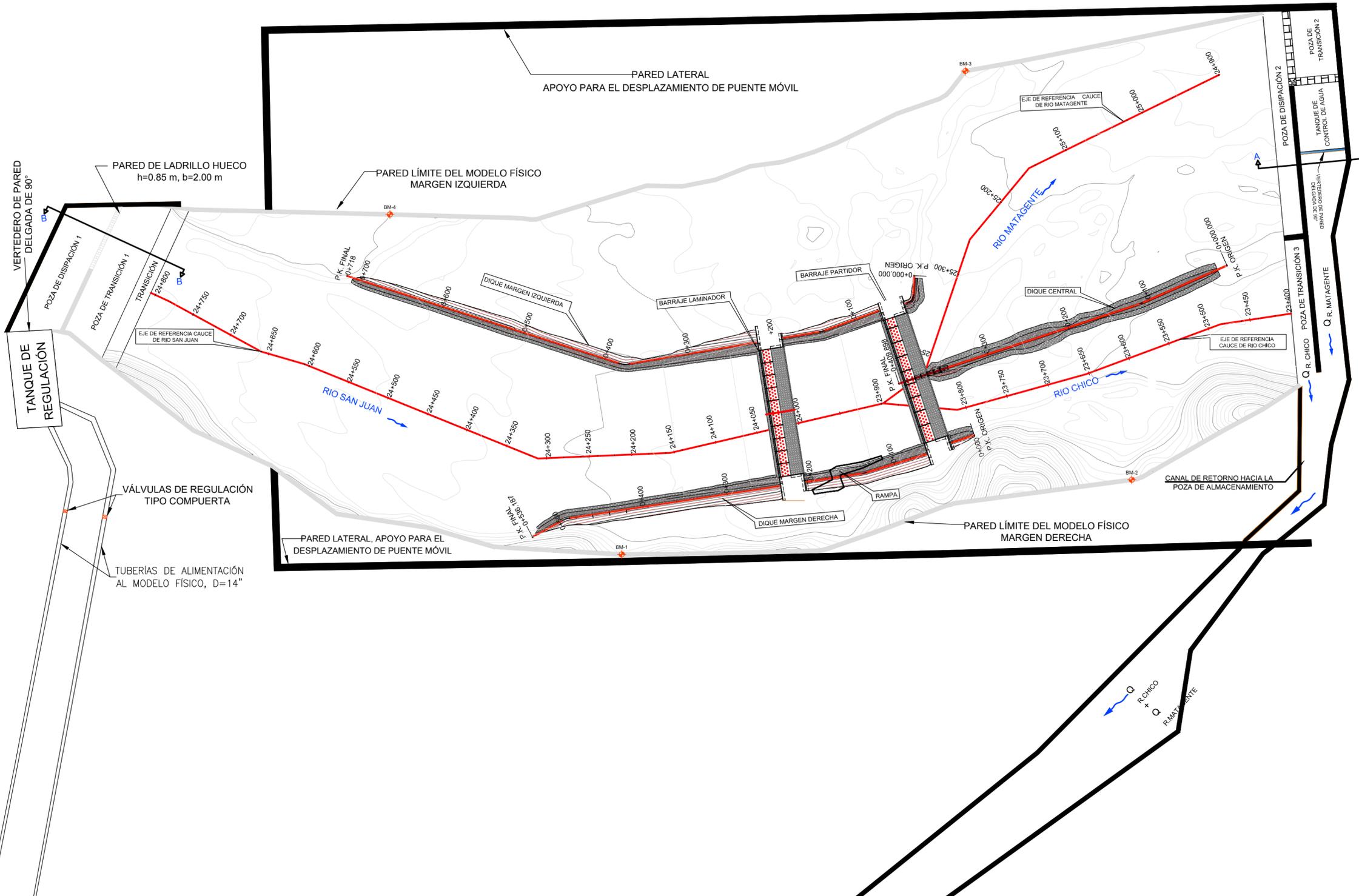
2024

REV :

1

CODIGO DEL PLANO :

MOD-FIS-CON-EST



ANEXO 3: COMPARACIÓN DE NIVELES DE AGUA

Tabla 1. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique derecho en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+536	315.4	314.25	1.15	312.96	313.69	1.29	0.56	310.58	2.38	3.11	3.67	1.54	1.18
0+520	315.26	314.07	1.19	312.87	313.57	1.2	0.5	310.2	2.67	3.37	3.87	1.45	1.15
0+500	314.97	313.49	1.48	312.68	313.22	0.81	0.27	309.99	2.69	3.23	3.5	1.30	1.08
0+480	314.25	312.87	1.38	312.28	312.31	0.59	0.56	309.95	2.33	2.36	2.92	1.25	1.24
0+460	313.53	312.05	1.48	311.91	311.84	0.14	0.21	309.43	2.48	2.41	2.62	1.06	1.09
0+440	313.15	311.59	1.56	311.57	311.68	0.02	-0.09	308.95	2.62	2.73	2.64	1.01	1.00
0+420	313.12	310.54	2.58	311.19	311.07	-0.65	-0.53	308.66	2.53	2.41	1.88	1.00	1.00
0+400	313.09	310.29	2.8	310.9	310.5	-0.61	-0.21	308.3	2.6	2.2	1.99	1.00	1.00
0+380	312.93	310.33	2.6	310.72	310.33	-0.39	0	308	2.72	2.33	2.33	1.00	1.00
0+360	312.77	310.31	2.46	310.6	310.32	-0.29	-0.01	307.95	2.65	2.37	2.36	1.00	1.00
0+340	312.69	310.25	2.44	310.5	310.25	-0.25	0	307.48	3.02	2.77	2.77	1.00	1.00
0+320	312.68	310.37	2.31	310.43	310.25	-0.06	0.12	306.95	3.48	3.3	3.42	1.00	1.04
0+300	312.67	310.27	2.4	310.38	310.25	-0.11	0.02	306.51	3.87	3.74	3.76	1.00	1.01
0+280	312.66	310.35	2.31	310.35	310.25	0	0.1	306.16	4.19	4.09	4.19	1.00	1.02
0+260	312.66	310.39	2.27	310.33	310.26	0.06	0.13	305.64	4.69	4.62	4.75	1.01	1.03
0+240	312.6	310.57	2.03	310.31	310.27	0.26	0.3	305.48	4.83	4.79	5.09	1.05	1.06
0+200	309.5	308.01	1.49	307.94	307.77	0.07	0.24	304.98	2.96	2.79	3.03	1.02	1.09
0+180	309.5	308.45	1.05	307.89	307.78	0.56	0.67	304.88	3.01	2.9	3.57	1.19	1.23
0+160	309.5	308.29	1.21	307.84	307.78	0.45	0.51	304.43	3.41	3.35	3.86	1.13	1.15
0+140	309.5	308.09	1.41	307.8	307.78	0.29	0.31	304.21	3.59	3.57	3.88	1.08	1.09
0+120	309.5	308.17	1.33	307.77	307.78	0.4	0.39	303.91	3.86	3.87	4.26	1.10	1.10
0+100	309.5	308.45	1.05	307.75	307.78	0.7	0.67	303.59	4.16	4.19	4.86	1.17	1.16
0+080	309.5	308.21	1.29	307.73	307.79	0.48	0.42	303.41	4.32	4.38	4.8	1.11	1.10
0+060	309.26	308.19	1.07	307.72	307.79	0.47	0.4	302.98	4.74	4.81	5.21	1.10	1.08
0+020	306.95	306.21	0.74	305.54	305.93	0.67	0.28	302.74	2.8	3.19	3.47	1.24	1.09

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.11
			0.43		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.08
			0.30		

Tabla 2. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique izquierdo en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+700	316.15	*	-	316.23	316.22	-	-	313.96	2.27	2.26	-	-	-
0+680	316.92	*	-	316.02	316.18	-	-	313.88	2.14	2.3	-	-	-
0+650	316.34	*	-	315.62	315.81	-	-	313	2.62	2.81	-	-	-
0+630	315.95	*	-	315.29	315.46	-	-	312.99	2.3	2.47	-	-	-
0+600	315.62	315.05	0.57	314.78	314.77	0.27	0.28	312.38	2.4	2.39	2.67	1.11	1.12
0+580	315.52	*	-	314.53	314.57	-	-	311.98	2.55	2.59	-	-	-
0+550	315.37	314.05	1.32	314.06	314.12	-0.01	-0.07	311.94	2.12	2.18	2.11	1.00	1.00
0+520	315.22	*	-	313.53	313.38	-	-	311.89	1.64	1.49	-	-	-
0+500	314.46	312.65	1.81	313.19	313.04	-0.54	-0.39	311.16	2.03	1.88	1.49	1.00	1.00
0+480	313.55	*	-	312.89	312.8	-	-	311	1.89	1.8	-	-	-
0+450	313.26	312.25	1.01	312.53	312.56	-0.28	-0.31	310.59	1.94	1.97	1.66	1.00	1.00
0+420	312.97	*	-	312.04	312.07	-	-	309.99	2.05	2.08	-	-	-
0+400	312.77	311.61	1.16	311.63	311.61	-0.02	0	309.95	1.68	1.66	1.66	1.00	1.00
0+380	312.58	*	-	311.16	310.84	-	-	309.42	1.74	1.42	-	-	-
0+350	312.29	310.05	2.24	310.66	310.11	-0.61	-0.06	308	2.66	2.11	2.05	1.00	1.00
0+320	312	*	-	310.48	310.12	-	-	307.76	2.72	2.36	-	-	-
0+300	311.8	310.11	1.69	310.41	310.12	-0.3	-0.01	307.23	3.18	2.89	2.88	1.00	1.00
0+270	311.67	*	-	310.36	310.12	-	-	306.48	3.88	3.64	-	-	-
0+250	311.6	310.09	1.51	310.34	310.12	-0.25	-0.03	305.97	4.37	4.15	4.12	1.00	1.00
0+220	311.5	310.23	1.27	310.31	310.13	-0.08	0.1	305.48	4.83	4.65	4.75	1.00	1.02
0+170	309	307.87	1.13	307.91	307.79	-0.04	0.08	304.95	2.96	2.84	2.92	1.00	1.03
0+150	309	307.73	1.27	307.84	307.74	-0.11	-0.01	304.61	3.23	3.13	3.12	1.00	1.00
0+130	309	307.73	1.27	307.79	307.72	-0.06	0.01	304.21	3.58	3.51	3.52	1.00	1.00
0+100	309	307.77	1.23	307.74	307.72	0.03	0.05	303.59	4.15	4.13	4.18	1.01	1.01
0+070	308.97	307.93	1.04	307.72	307.72	0.21	0.21	302.98	4.74	4.74	4.95	1.04	1.04

* No se tomó datos

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.01
			0.20	0.61	
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.02
			0.12	0.39	

Tabla 3. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique central lado del río Chico en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+360	306.93	306.38	0.55	305.5	306.06	0.88	0.32	302.64	2.86	3.42	3.74	1.31	1.09
0+350	306.93	306.54	0.39	305.44	306.08	1.1	0.46	302.5	2.94	3.58	4.04	1.37	1.13
0+340	306.93	306.18	0.75	305.39	306.02	0.79	0.16	302.37	3.02	3.65	3.81	1.26	1.04
0+320	306.77	305.86	0.91	305.32	306.02	0.54	-0.16	301.95	3.37	4.07	3.91	1.16	1.00
0+300	306.61	305.9	0.71	305.21	305.87	0.69	0.03	301.82	3.39	4.05	4.08	1.20	1.01
0+280	306.45	305.82	0.63	304.88	305.07	0.94	0.75	300.99	3.89	4.08	4.83	1.24	1.18
0+250	306.22	305.7	0.52	304.48	305.05	1.22	0.65	300.94	3.54	4.11	4.76	1.34	1.16
0+220	305.98	304.42	1.56	304.38	305.01	0.04	-0.59	300.88	3.5	4.13	3.54	1.01	1.00
0+200	305.49	303.1	2.39	303.93	304.3	-0.83	-1.2	300.02	3.91	4.28	3.08	1.00	1.00
0+180	305	302.78	2.22	302.88	303.13	-0.1	-0.35	299.97	2.91	3.16	2.81	1.00	1.00
0+150	303.57	302.66	0.91	301.81	301.73	0.85	0.93	299.91	1.9	1.82	2.75	1.45	1.51
0+120	302.99	301.22	1.77	301.3	301.37	-0.08	-0.15	299.48	1.82	1.89	1.74	1.00	1.00
0+100	302.6	300.58	2.02	300.83	300.9	-0.25	-0.32	298.77	2.06	2.13	1.81	1.00	1.00
0+080	302.21	300.66	1.55	300.47	300.51	0.19	0.15	298.06	2.41	2.45	2.6	1.08	1.06
0+050	301.62	300.38	1.24	300.16	300.5	0.22	-0.12	297.97	2.19	2.53	2.41	1.10	1.00
0+020	301.22	300.3	0.92	299.86	300.29	0.44	0.01	297.93	1.93	2.36	2.37	1.23	1.00

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.17
			0.57		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.07
			0.40		

Tabla 4. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique central lado del río Matagente en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+360	306.93	306.1	0.83	305.47	306.25	0.63	-0.15	302.53	2.94	3.72	3.57	1.21	1.00
0+350	306.93	306.1	0.83	305.42	306.15	0.68	-0.05	302.5	2.92	3.65	3.6	1.23	1.00
0+340	306.93	306	0.93	305.27	305.7	0.73	0.3	302.78	2.49	2.92	3.22	1.29	1.10
0+320	306.77	305.5	1.27	304.77	304.92	0.73	0.58	302.41	2.36	2.51	3.09	1.31	1.23
0+300	306.61	304.62	1.99	304.2	304.39	0.42	0.23	303.31	0.89	1.08	1.31	1.47	1.21
0+280	306.45	303.98	2.47	303.87	304.26	0.11	-0.28	302.51	1.36	1.75	1.47	1.08	1.00
0+250	306.22	303.5	2.72	303.73	304.2	-0.23	-0.7	301.54	2.19	2.66	1.96	1.00	1.00
0+220	305.98	303.38	2.6	303.72	304.2	-0.34	-0.82	301.7	2.02	2.5	1.68	1.00	1.00
0+200	305.49	302.94	2.55	303.67	303.89	-0.73	-0.95	302	1.67	1.89	0.94	1.00	1.00
0+180	305	301.6	3.4	301.79	302.12	-0.19	-0.52	301	0.79	1.12	0.6	1.00	1.00
0+150	303.57	301.2	2.37	300.94	301.16	0.26	0.04	300.34	0.6	0.82	0.86	1.43	1.05
0+120	302.99	300.34	2.65	300.36	300.54	-0.02	-0.2	299.75	0.61	0.79	0.59	1.00	1.00
0+100	302.6	300.02	2.58	300	300.22	0.02	-0.2	299.16	0.84	1.06	0.86	1.02	1.00
0+080	302.21	299.82	2.39	299.89	300.17	-0.07	-0.35	299	0.89	1.17	0.82	1.00	1.00
0+050	301.62	299.78	1.84	299.77	300.15	0.01	-0.37	299	0.77	1.15	0.78	1.01	1.00
0+020	301.22	299.82	1.4	299.13	299.35	0.69	0.47	298	1.13	1.35	1.82	1.61	1.35

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.17
			0.37		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.06
			0.39		

Tabla 5. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del barraje laminador en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
L01	308.2	310.01	1.81	310.31	310.12	-0.3	-0.11	305.45	4.86	4.67	4.56	1.00	1.00
L02	308.2	309.99	1.79	310.31	310.16	-0.32	-0.17	305.45	4.86	4.71	4.54	1.00	1.00
L03	308.2	310.01	1.81	310.31	310.22	-0.3	-0.21	305.45	4.86	4.77	4.56	1.00	1.00
L04	308.2	310.09	1.89	310.31	310.25	-0.22	-0.16	305.45	4.86	4.8	4.64	1.00	1.00
L05	308.2	310.49	2.29	310.31	310.28	0.18	0.21	305.45	4.86	4.83	5.04	1.04	1.04
L06	308.2	310.57	2.37	310.31	310.32	0.26	0.25	305.45	4.86	4.87	5.12	1.05	1.05
L07	308.2	310.97	2.77	310.31	310.36	0.66	0.61	305.45	4.86	4.91	5.52	1.14	1.12
L08	308.2	310.95	2.75	310.31	310.39	0.64	0.56	305.45	4.86	4.94	5.5	1.13	1.11
L09	308.2	311.01	2.81	310.31	310.41	0.7	0.6	305.45	4.86	4.96	5.56	1.14	1.12
L10	308.2	311.33	3.13	310.31	310.4	1.02	0.93	305.45	4.86	4.95	5.88	1.21	1.19
L11	308.2	310.97	2.77	310.31	310.37	0.66	0.6	305.45	4.86	4.92	5.52	1.14	1.12
L12	308.2	310.29	2.09	310.31	310.32	-0.02	-0.03	305.45	4.86	4.87	4.84	1.00	1.00
L13	308.2	310.29	2.09	310.31	310.27	-0.02	0.02	305.45	4.86	4.82	4.84	1.00	1.00

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo
			0.41
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo
			0.34

Tabla 6. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del muro del barraje laminador en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
LD01	312.65	310.69	1.96	310.31	310.27	0.38	0.42	305.45	4.86	4.82	5.24	1.08	1.09
LD02	312.65	310.67	1.98	310.31	310.2	0.36	0.47	305.45	4.86	4.75	5.22	1.07	1.10
LD03	309.75	308.57	1.18	308	307.77	0.57	0.8	305.25	2.75	2.52	3.32	1.21	1.32
LD04	309.75	307.95	1.8	307.97	307.79	-0.02	0.16	305.05	2.92	2.74	2.9	1.00	1.06
LI01	312.65	310.37	2.28	310.31	310.13	0.06	0.24	305.45	4.86	4.68	4.92	1.01	1.05
LI02	312.65	310.37	2.28	310.31	310.11	0.06	0.26	305.45	4.86	4.66	4.92	1.01	1.06
LI03	309.75	308.49	1.26	307.99	307.98	0.5	0.51	305.25	2.74	2.73	3.24	1.18	1.19
LI04	309.75	307.97	1.78	307.97	307.78	0	0.19	305.05	2.92	2.73	2.92	1.00	1.07

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.07
			0.24		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.12
			0.38		

Tabla 7. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del barraje partidor en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
P01	305.7	307.47	1.77	307.72	307.73	-0.25	-0.26	303.12	4.6	4.61	4.35	1.00	1.00
P02	305.2	307.41	2.21	307.72	307.72	-0.31	-0.31	303.12	4.6	4.6	4.29	1.00	1.00
P03	305.2	307.43	2.23	307.72	307.71	-0.29	-0.28	303.12	4.6	4.59	4.31	1.00	1.00
P04	305.2	307.41	2.21	307.72	307.71	-0.31	-0.3	303.12	4.6	4.59	4.29	1.00	1.00
P05	305.2	307.59	2.39	307.72	307.72	-0.13	-0.13	303.12	4.6	4.6	4.47	1.00	1.00
P06	305.7	308.01	2.31	307.72	307.75	0.29	0.26	303.12	4.6	4.63	4.89	1.06	1.06
P07	305.7	308.33	2.63	307.72	307.78	0.61	0.55	303.12	4.6	4.66	5.21	1.13	1.12
P08	305.7	308.33	2.63	307.72	307.76	0.61	0.57	303.12	4.6	4.64	5.21	1.13	1.12
P09	305.2	308.35	3.15	307.72	307.73	0.63	0.62	303.12	4.6	4.61	5.23	1.14	1.13
P10	305.2	307.99	2.79	307.72	307.72	0.27	0.27	303.12	4.6	4.6	4.87	1.06	1.06
P11	305.2	307.83	2.63	307.72	307.73	0.11	0.1	303.12	4.6	4.61	4.71	1.02	1.02
P12	305.2	307.75	2.55	307.72	307.77	0.03	-0.02	303.12	4.6	4.65	4.63	1.01	1.00
P13	305.7	307.75	2.05	307.72	307.79	0.03	-0.04	303.12	4.6	4.67	4.63	1.01	1.00

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo
			0.30
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo
			0.29

Tabla 8. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del muro del barraje partidor en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
PD01	309.5	308.13	1.37	307.72	307.79	0.41	0.34	303.12	4.6	4.67	5.01	1.09	1.07
PD02	309.5	308.07	1.43	307.72	307.76	0.35	0.31	303.12	4.6	4.64	4.95	1.08	1.07
PD03	307.25	306.67	0.58	305.63	305.95	1.04	0.72	302.95	2.68	3	3.72	1.39	1.24
PD04	307.25	306.37	0.88	305.59	305.94	0.78	0.43	302.91	2.68	3.03	3.46	1.29	1.14
PI01	309.5	308.13	1.37	307.72	307.72	0.41	0.41	303.12	4.6	4.6	5.01	1.09	1.09
PI02	309.5	308.01	1.49	307.71	307.72	0.3	0.29	303.12	4.59	4.6	4.89	1.07	1.06
PI03	307.25	306.33	0.92	305.5	305.4	0.83	0.93	302.82	2.68	2.58	3.51	1.31	1.36
PI04	307.25	306.41	0.84	305.4	305.06	1.01	1.35	302.59	2.81	2.47	3.82	1.36	1.55

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.21
			0.64		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.20
			0.60		

Tabla 9. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo central en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmar – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
MC1	309.5	309.25	0.25	307.71	307.81	1.54	1.44	303.12	4.59	4.69	6.13	1.34	1.31
MC2	307.25	307.17	0.08	305.65	305.96	1.52	1.21	302.95	2.7	3.01	4.22	1.56	1.40
MC3	307.25	306.99	0.26	305.61	305.98	1.38	1.01	302.91	2.7	3.07	4.08	1.51	1.33
MC4	307.25	306.17	1.08	305.58	306.18	0.59	-0.01	302.82	2.76	3.36	3.35	1.21	1.00
MC5	307.25	306.13	1.12	305.54	306.24	0.59	-0.11	302.59	2.95	3.65	3.54	1.20	1.00

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.36
			1.12	1.54	
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.21
			0.76	1.44	

Resumen del escenario segundo diseño – lecho sin colmar – periodo de retorno de 50 años

RESUMEN GENERAL	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	De diques	
			0.43	1.54	Factor DWE (m)
RESUMEN GENERAL	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	De muros	
			0.35	1.44	Factor SWE (m)
				Factor DWE (m)	1.19
				Factor SWE (m)	1.17

Tabla 10. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique derecho en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+536	315.4	314.93	0.47	313.16	313.98	1.77	0.95	310.58	2.58	3.4	4.35	1.69	1.28
0+520	315.26	314.57	0.69	313.06	313.85	1.51	0.72	310.2	2.86	3.65	4.37	1.53	1.20
0+500	314.97	313.97	1	312.87	313.48	1.1	0.49	309.99	2.88	3.49	3.98	1.38	1.14
0+480	314.25	313.33	0.92	312.47	312.48	0.86	0.85	309.95	2.52	2.53	3.38	1.34	1.34
0+460	313.53	312.25	1.28	312.12	312.03	0.13	0.22	309.43	2.69	2.6	2.82	1.05	1.08
0+440	313.15	311.93	1.22	311.8	311.89	0.13	0.04	308.95	2.85	2.94	2.98	1.05	1.01
0+420	313.12	310.85	2.27	311.45	311.27	-0.6	-0.42	308.66	2.79	2.61	2.19	1.00	1.00
0+400	313.09	310.53	2.56	311.19	310.71	-0.66	-0.18	308.3	2.89	2.41	2.23	1.00	1.00
0+380	312.93	310.61	2.32	311.02	310.57	-0.41	0.04	308	3.02	2.57	2.61	1.00	1.02
0+360	312.77	310.65	2.12	310.91	310.56	-0.26	0.09	307.95	2.96	2.61	2.7	1.00	1.03
0+340	312.69	310.57	2.12	310.81	310.52	-0.24	0.05	307.48	3.33	3.04	3.09	1.00	1.02
0+320	312.68	310.53	2.15	310.73	310.53	-0.2	0	306.95	3.78	3.58	3.58	1.00	1.00
0+300	312.67	310.73	1.94	310.68	310.53	0.05	0.2	306.51	4.17	4.02	4.22	1.01	1.05
0+280	312.66	310.77	1.89	310.65	310.53	0.12	0.24	306.16	4.49	4.37	4.61	1.03	1.05
0+260	312.66	310.77	1.89	310.63	310.54	0.14	0.23	305.64	4.99	4.9	5.13	1.03	1.05
0+240	312.6	311.05	1.55	310.61	310.55	0.44	0.5	305.48	5.13	5.07	5.57	1.09	1.10
0+200	309.5	308.29	1.21	308.26	308.09	0.03	0.2	304.98	3.28	3.11	3.31	1.01	1.06
0+180	309.5	308.69	0.81	308.2	308.09	0.49	0.6	304.88	3.32	3.21	3.81	1.15	1.19
0+160	309.5	308.65	0.85	308.15	308.1	0.5	0.55	304.43	3.72	3.67	4.22	1.13	1.15
0+140	309.5	308.45	1.05	308.11	308.1	0.34	0.35	304.21	3.9	3.89	4.24	1.09	1.09
0+120	309.5	308.53	0.97	308.08	308.1	0.45	0.43	303.91	4.17	4.19	4.62	1.11	1.10
0+100	309.5	308.73	0.77	308.05	308.1	0.68	0.63	303.59	4.46	4.51	5.14	1.15	1.14
0+080	309.5	308.93	0.57	308.03	308.1	0.9	0.83	303.41	4.62	4.69	5.52	1.19	1.18
0+060	309.26	308.97	0.29	308.01	308.11	0.96	0.86	302.98	5.03	5.13	5.99	1.19	1.17
0+020	306.95	306.57	0.38	305.8	306.23	0.77	0.34	302.74	3.06	3.49	3.83	1.25	1.10

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.14
			0.55		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.10
			0.40		

Tabla 11. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique izquierdo en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+700	316.15	315.85	0.3	316.39	316.35	-0.54	-0.5	313.96	2.43	2.39	1.89	1.00	1.00
0+680	316.92	315.97	0.95	316.17	316.33	-0.2	-0.36	313.88	2.29	2.45	2.09	1.00	1.00
0+650	316.34	315.89	0.45	315.77	315.97	0.12	-0.08	313	2.77	2.97	2.89	1.04	1.00
0+630	315.95	315.61	0.34	315.44	315.62	0.17	-0.01	312.99	2.45	2.63	2.62	1.07	1.00
0+600	315.62	315.37	0.25	314.94	314.89	0.43	0.48	312.38	2.56	2.51	2.99	1.17	1.19
0+580	315.52	314.93	0.59	314.68	314.7	0.25	0.23	311.98	2.7	2.72	2.95	1.09	1.08
0+550	315.37	314.37	1	314.22	314.27	0.15	0.1	311.94	2.28	2.33	2.43	1.07	1.04
0+520	315.22	313.47	1.75	313.7	313.51	-0.23	-0.04	311.89	1.81	1.62	1.58	1.00	1.00
0+500	314.46	312.93	1.53	313.37	313.17	-0.44	-0.24	311.16	2.21	2.01	1.77	1.00	1.00
0+480	313.55	312.61	0.94	313.08	312.98	-0.47	-0.37	311	2.08	1.98	1.61	1.00	1.00
0+450	313.26	312.53	0.73	312.72	312.75	-0.19	-0.22	310.59	2.13	2.16	1.94	1.00	1.00
0+420	312.97	312.09	0.88	312.24	312.27	-0.15	-0.18	309.99	2.25	2.28	2.1	1.00	1.00
0+400	312.77	311.87	0.9	311.86	311.83	0.01	0.04	309.95	1.91	1.88	1.92	1.01	1.02
0+380	312.58	311.17	1.41	311.42	311.05	-0.25	0.12	309.42	2	1.63	1.75	1.00	1.07
0+350	312.29	310.31	1.98	310.97	310.36	-0.66	-0.05	308	2.97	2.36	2.31	1.00	1.00
0+320	312	310.37	1.63	310.79	310.36	-0.42	0.01	307.76	3.03	2.6	2.61	1.00	1.00
0+300	311.8	310.31	1.49	310.72	310.36	-0.41	-0.05	307.23	3.49	3.13	3.08	1.00	1.00
0+270	311.67	310.43	1.24	310.66	310.36	-0.23	0.07	306.48	4.18	3.88	3.95	1.00	1.02
0+250	311.6	310.39	1.21	310.64	310.36	-0.25	0.03	305.97	4.67	4.39	4.42	1.00	1.01
0+220	311.5	310.51	0.99	310.61	310.38	-0.1	0.13	305.48	5.13	4.9	5.03	1.00	1.03
0+170	309	308.03	0.97	308.22	308.08	-0.19	-0.05	304.95	3.27	3.13	3.08	1.00	1.00
0+150	309	308.15	0.85	308.15	308.06	0	0.09	304.61	3.54	3.45	3.54	1.00	1.03
0+130	309	308.09	0.91	308.09	308.03	0	0.06	304.21	3.88	3.82	3.88	1.00	1.02
0+100	309	308.01	0.99	308.04	308.04	-0.03	-0.03	303.59	4.45	4.45	4.42	1.00	1.00
0+070	308.97	308.05	0.92	308.01	308.04	0.04	0.01	302.98	5.03	5.06	5.07	1.01	1.00

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.02
		0.24	0.66		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.02
		0.14	0.50		

Tabla 12. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique central lado del río Chico en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+360	306.93	306.65	0.28	305.76	306.38	0.89	0.27	302.64	3.12	3.74	4.01	1.29	1.07
0+350	306.93	306.65	0.28	305.71	306.4	0.94	0.25	302.5	3.21	3.9	4.15	1.29	1.06
0+340	306.93	306.29	0.64	305.65	306.32	0.64	-0.03	302.37	3.28	3.95	3.92	1.20	1.00
0+320	306.77	306.15	0.62	305.57	306.33	0.58	-0.18	301.95	3.62	4.38	4.2	1.16	1.00
0+300	306.61	306.05	0.56	305.45	306.15	0.6	-0.1	301.82	3.63	4.33	4.23	1.17	1.00
0+280	306.45	306.17	0.28	305.11	305.3	1.06	0.87	300.99	4.12	4.31	5.18	1.26	1.20
0+250	306.22	306.01	0.21	304.72	305.27	1.29	0.74	300.94	3.78	4.33	5.07	1.34	1.17
0+220	305.98	304.65	1.33	304.56	305.23	0.09	-0.58	300.88	3.68	4.35	3.77	1.02	1.00
0+200	305.49	303.33	2.16	304.02	304.46	-0.69	-1.13	300.02	4	4.44	3.31	1.00	1.00
0+180	305	303.21	1.79	302.91	303.26	0.3	-0.05	299.97	2.94	3.29	3.24	1.10	1.00
0+150	303.57	303.01	0.56	301.99	301.78	1.02	1.23	299.91	2.08	1.87	3.1	1.49	1.66
0+120	302.99	301.57	1.42	301.49	301.51	0.08	0.06	299.48	2.01	2.03	2.09	1.04	1.03
0+100	302.6	301.05	1.55	301.02	301.05	0.03	0	298.77	2.25	2.28	2.28	1.01	1.00
0+080	302.21	300.77	1.44	300.66	300.7	0.11	0.07	298.06	2.6	2.64	2.71	1.04	1.03
0+050	301.62	300.65	0.97	300.34	300.72	0.31	-0.07	297.97	2.37	2.75	2.68	1.13	1.00
0+020	301.22	300.57	0.65	300.04	300.55	0.53	0.02	297.93	2.11	2.62	2.64	1.25	1.01

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.17
			0.57		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.08
			0.35		

Tabla 13. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique central lado del río Matagente en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+360	306.93	306.65	0.28	305.67	306.54	0.98	0.11	302.53	3.14	4.01	4.12	1.31	1.03
0+350	306.93	306.57	0.36	305.6	306.42	0.97	0.15	302.5	3.1	3.92	4.07	1.31	1.04
0+340	306.93	306.19	0.74	305.44	305.9	0.75	0.29	302.78	2.66	3.12	3.41	1.28	1.09
0+320	306.77	305.51	1.26	304.94	305.09	0.57	0.42	302.41	2.53	2.68	3.1	1.23	1.16
0+300	306.61	304.77	1.84	304.39	304.57	0.38	0.2	303.31	1.08	1.26	1.46	1.35	1.16
0+280	306.45	304.21	2.24	304.05	304.43	0.16	-0.22	302.51	1.54	1.92	1.7	1.10	1.00
0+250	306.22	303.53	2.69	303.87	304.37	-0.34	-0.84	301.54	2.33	2.83	1.99	1.00	1.00
0+220	305.98	303.55	2.43	303.86	304.37	-0.31	-0.82	301.7	2.16	2.67	1.85	1.00	1.00
0+200	305.49	303.11	2.38	303.78	304.03	-0.67	-0.92	302	1.78	2.03	1.11	1.00	1.00
0+180	305	301.81	3.19	301.95	302.31	-0.14	-0.5	301	0.95	1.31	0.81	1.00	1.00
0+150	303.57	301.29	2.28	301.06	301.27	0.23	0.02	300.34	0.72	0.93	0.95	1.32	1.02
0+120	302.99	300.65	2.34	300.48	300.7	0.17	-0.05	299.75	0.73	0.95	0.9	1.23	1.00
0+100	302.6	300.33	2.27	300.15	300.37	0.18	-0.04	299.16	0.99	1.21	1.17	1.18	1.00
0+080	302.21	300.11	2.1	300.02	300.34	0.09	-0.23	299	1.02	1.34	1.11	1.09	1.00
0+050	301.62	300.09	1.53	299.89	300.32	0.2	-0.23	299	0.89	1.32	1.09	1.22	1.00
0+020	301.22	299.99	1.23	299.3	299.49	0.69	0.5	298	1.3	1.49	1.99	1.53	1.34

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.20
			0.43		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.05
			0.35		

Tabla 14. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del barraje laminador en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
L01	308.2	310.21	2.01	310.61	310.37	-0.4	-0.16	305.45	5.16	4.92	4.76	1.00	1.00
L02	308.2	310.11	1.91	310.61	310.42	-0.5	-0.31	305.45	5.16	4.97	4.66	1.00	1.00
L03	308.2	310.19	1.99	310.61	310.49	-0.42	-0.3	305.45	5.16	5.04	4.74	1.00	1.00
L04	308.2	310.41	2.21	310.61	310.54	-0.2	-0.13	305.45	5.16	5.09	4.96	1.00	1.00
L05	308.2	311.01	2.81	310.61	310.57	0.4	0.44	305.45	5.16	5.12	5.56	1.08	1.09
L06	308.2	311.17	2.97	310.61	310.62	0.56	0.55	305.45	5.16	5.17	5.72	1.11	1.11
L07	308.2	311.43	3.23	310.61	310.66	0.82	0.77	305.45	5.16	5.21	5.98	1.16	1.15
L08	308.2	311.39	3.19	310.61	310.7	0.78	0.69	305.45	5.16	5.25	5.94	1.15	1.13
L09	308.2	311.37	3.17	310.61	310.72	0.76	0.65	305.45	5.16	5.27	5.92	1.15	1.12
L10	308.2	311.57	3.37	310.61	310.71	0.96	0.86	305.45	5.16	5.26	6.12	1.19	1.16
L11	308.2	311.21	3.01	310.61	310.68	0.6	0.53	305.45	5.16	5.23	5.76	1.12	1.10
L12	308.2	310.67	2.47	310.61	310.61	0.06	0.06	305.45	5.16	5.16	5.22	1.01	1.01
L13	308.2	310.73	2.53	310.61	310.55	0.12	0.18	305.45	5.16	5.1	5.28	1.02	1.04

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo
		0.51	0.96
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo
		0.43	0.86

Tabla 15. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del muro del barraje laminador en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
LD01	312.65	311.13	1.52	310.61	310.55	0.52	0.58	305.45	5.16	5.1	5.68	1.10	1.11
LD02	312.65	311.01	1.64	310.52	310.48	0.49	0.53	305.45	5.07	5.03	5.56	1.10	1.11
LD03	309.75	308.85	0.9	308.31	308.11	0.54	0.74	305.25	3.06	2.86	3.6	1.18	1.26
LD04	309.75	308.85	0.9	308.29	308.11	0.56	0.74	305.05	3.24	3.06	3.8	1.17	1.24
LI01	312.65	310.65	2	310.61	310.38	0.04	0.27	305.45	5.16	4.93	5.2	1.01	1.05
LI02	312.65	310.61	2.04	310.61	310.36	0.01	0.25	305.45	5.15	4.91	5.16	1.00	1.05
LI03	309.75	308.61	1.14	308.31	308.3	0.3	0.31	305.25	3.06	3.05	3.36	1.10	1.10
LI04	309.75	307.65	2.1	308.28	308.09	-0.63	-0.44	305.05	3.23	3.04	2.6	1.00	1.00

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)
		0.39	0.63	1.08
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)
		0.48	0.74	1.12

Tabla 16. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del barraje partidor en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
P01	305.7	308.05	2.35	308.02	308.05	0.03	0	303.12	4.9	4.93	4.93	1.01	1.00
P02	305.2	308.03	2.83	308.02	308.04	0.01	-0.01	303.12	4.9	4.92	4.91	1.00	1.00
P03	305.2	308.05	2.85	308.02	308.02	0.03	0.03	303.12	4.9	4.9	4.93	1.01	1.01
P04	305.2	308.11	2.91	308.02	308.02	0.09	0.09	303.12	4.9	4.9	4.99	1.02	1.02
P05	305.2	308.35	3.15	308.02	308.03	0.33	0.32	303.12	4.9	4.91	5.23	1.07	1.07
P06	305.7	308.83	3.13	308.02	308.07	0.81	0.76	303.12	4.9	4.95	5.71	1.17	1.15
P07	305.7	309.09	3.39	308.02	308.09	1.07	1	303.12	4.9	4.97	5.97	1.22	1.20
P08	305.7	309.13	3.43	308.02	308.08	1.11	1.05	303.12	4.9	4.96	6.01	1.23	1.21
P09	305.2	309.09	3.89	308.01	308.05	1.08	1.04	303.12	4.89	4.93	5.97	1.22	1.21
P10	305.2	309.17	3.97	308.01	308.04	1.16	1.13	303.12	4.89	4.92	6.05	1.24	1.23
P11	305.2	309.01	3.81	308.02	308.05	0.99	0.96	303.12	4.9	4.93	5.89	1.20	1.19
P12	305.2	308.69	3.49	308.02	308.09	0.67	0.6	303.12	4.9	4.97	5.57	1.14	1.12
P13	305.7	308.65	2.95	308.02	308.11	0.63	0.54	303.12	4.9	4.99	5.53	1.13	1.11

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo
		0.62	1.16
	diferencia SWE (m)	promedio	máximo
		0.58	1.13

Tabla 17. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del muro del barraje partidor en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
PD01	309.5	309.13	0.37	308.01	308.11	1.12	1.02	303.12	4.89	4.99	6.01	1.23	1.20
PD02	309.5	309.05	0.45	308.01	308.07	1.04	0.98	303.12	4.89	4.95	5.93	1.21	1.20
PD03	307.25	306.93	0.32	305.89	306.26	1.04	0.67	302.95	2.94	3.31	3.98	1.35	1.20
PD04	307.25	306.61	0.64	305.85	306.24	0.76	0.37	302.91	2.94	3.33	3.7	1.26	1.11
PI01	309.5	308.17	1.33	308.01	308.04	0.16	0.13	303.12	4.89	4.92	5.05	1.03	1.03
PI02	309.5	308.21	1.29	308.01	308.03	0.2	0.18	303.12	4.89	4.91	5.09	1.04	1.04
PI03	307.25	306.53	0.72	305.7	305.62	0.83	0.91	302.82	2.88	2.8	3.71	1.29	1.32
PI04	307.25	306.33	0.92	305.6	305.2	0.73	1.13	302.59	3.01	2.61	3.74	1.24	1.43

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)
		0.73	1.12	
	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)
		0.67	1.13	

Tabla 18. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo central en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
MC1	309.5	309.49	0.01	308.01	308.14	1.48	1.35	303.12	4.89	5.02	6.37	1.30	1.27
MC2	307.25	306.83	0.42	305.92	306.25	0.91	0.58	302.95	2.97	3.3	3.88	1.31	1.18
MC3	307.25	306.81	0.44	305.87	306.29	0.94	0.52	302.91	2.96	3.38	3.9	1.32	1.15
MC4	307.25	306.65	0.6	305.78	306.44	0.87	0.21	302.82	2.96	3.62	3.83	1.29	1.06
MC5	307.25	306.69	0.56	305.74	306.51	0.95	0.18	302.59	3.15	3.92	4.1	1.30	1.05

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.30
			1.03	1.48	
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.14
			0.57	1.35	

Resumen del escenario segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 100 años

RESUMEN GENERAL	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.11
			0.50	1.77	
RESUMEN GENERAL	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.05
			0.39	1.35	
De diques					
				Factor DWE (m)	1.18
				Factor SWE (m)	1.15

Tabla 19. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique derecho en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+536	315.4	314.37	1.03	312.97	313.69	1.4	0.68	310.58	2.39	3.11	3.79	1.59	1.22
0+520	315.26	314.15	1.11	312.87	313.57	1.28	0.58	310.2	2.67	3.37	3.95	1.48	1.17
0+500	314.97	313.55	1.42	312.69	313.22	0.86	0.33	309.99	2.7	3.23	3.56	1.32	1.10
0+480	314.25	312.91	1.34	312.3	312.31	0.61	0.6	309.95	2.35	2.36	2.96	1.26	1.25
0+460	313.53	312.25	1.28	311.95	311.84	0.3	0.41	309.43	2.52	2.41	2.82	1.12	1.17
0+440	313.15	311.83	1.32	311.65	311.68	0.18	0.15	308.95	2.7	2.73	2.88	1.07	1.05
0+420	313.12	311.75	1.37	311.34	311.11	0.41	0.64	308.66	2.68	2.45	3.09	1.15	1.26
0+400	313.09	311.75	1.34	311.14	311	0.61	0.75	308.3	2.84	2.7	3.45	1.21	1.28
0+380	312.93	311.85	1.08	311.01	311.01	0.84	0.84	308	3.01	3.01	3.85	1.28	1.28
0+360	312.77	311.83	0.94	310.93	311.01	0.9	0.82	308	2.93	3.01	3.83	1.31	1.27
0+340	312.69	311.39	1.3	310.86	311.01	0.53	0.38	308	2.86	3.01	3.39	1.19	1.13
0+320	312.68	310.95	1.73	310.77	310.97	0.18	-0.02	308	2.77	2.97	2.95	1.06	1.00
0+300	312.67	310.49	2.18	310.68	310.87	-0.19	-0.38	308	2.68	2.87	2.49	1.00	1.00
0+280	312.66	310.69	1.97	310.58	310.76	0.11	-0.07	308	2.58	2.76	2.69	1.04	1.00
0+260	312.66	310.81	1.85	310.47	310.63	0.34	0.18	308	2.47	2.63	2.81	1.14	1.07
0+240	312.6	310.87	1.73	310.34	310.54	0.53	0.33	308	2.34	2.54	2.87	1.23	1.13
0+200	309.5	308.67	0.83	308.2	308.3	0.47	0.37	305.2	3	3.1	3.47	1.16	1.12
0+180	309.5	308.67	0.83	308.15	308.3	0.52	0.37	305.2	2.95	3.1	3.47	1.18	1.12
0+160	309.5	308.31	1.19	308.09	308.29	0.22	0.02	305.2	2.89	3.09	3.11	1.08	1.01
0+140	309.5	308.17	1.33	308.02	308.26	0.15	-0.09	305.2	2.82	3.06	2.97	1.05	1.00
0+120	309.5	308.27	1.23	307.97	308.2	0.3	0.07	305.2	2.77	3	3.07	1.11	1.02
0+100	309.5	308.43	1.07	307.89	308.12	0.54	0.31	305.2	2.69	2.92	3.23	1.20	1.11
0+080	309.5	308.31	1.19	307.81	308.06	0.5	0.25	305.2	2.61	2.86	3.11	1.19	1.09
0+060	309.26	308.35	0.91	307.75	308.06	0.6	0.29	305.2	2.55	2.86	3.15	1.24	1.10
0+020	306.95	305.93	1.02	305.54	305.95	0.39	-0.02	305.2	0.34	0.75	0.73	2.15	1.00

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.23
	diferencia SWE (m)	promedio	máximo		
		0.52	1.40		
		0.36	0.84		

Tabla 20. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique izquierdo en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+700	316.15	315.79	0.36	316.23	316.22	-0.44	-0.43	313.96	2.27	2.26	1.83	1.00	1.00
0+680	316.92	315.81	1.11	316.02	316.18	-0.21	-0.37	313.88	2.14	2.3	1.93	1.00	1.00
0+650	316.34	315.71	0.63	315.62	315.81	0.09	-0.1	313	2.62	2.81	2.71	1.03	1.00
0+630	315.95	315.47	0.48	315.29	315.46	0.18	0.01	312.99	2.3	2.47	2.48	1.08	1.00
0+600	315.62	315.15	0.47	314.78	314.77	0.37	0.38	312.38	2.4	2.39	2.77	1.15	1.16
0+580	315.52	314.79	0.73	314.53	314.57	0.26	0.22	311.98	2.55	2.59	2.81	1.10	1.08
0+550	315.37	314.17	1.2	314.06	314.12	0.11	0.05	311.94	2.12	2.18	2.23	1.05	1.02
0+520	315.22	313.23	1.99	313.53	313.38	-0.3	-0.15	311.89	1.64	1.49	1.34	1.00	1.00
0+500	314.46	312.77	1.69	313.19	313.04	-0.42	-0.27	311.16	2.03	1.88	1.61	1.00	1.00
0+480	313.55	312.43	1.12	312.89	312.8	-0.46	-0.37	311	1.89	1.8	1.43	1.00	1.00
0+450	313.26	312.33	0.93	312.54	312.56	-0.21	-0.23	310.59	1.95	1.97	1.74	1.00	1.00
0+420	312.97	312.11	0.86	312.07	312.07	0.04	0.04	309.99	2.08	2.08	2.12	1.02	1.02
0+400	312.77	312.03	0.74	311.7	311.61	0.33	0.42	309.95	1.75	1.66	2.08	1.19	1.25
0+380	312.58	311.35	1.23	311.31	310.9	0.04	0.45	309.42	1.89	1.48	1.93	1.02	1.30
0+350	312.29	311.13	1.16	310.96	310.8	0.17	0.33	308	2.96	2.8	3.13	1.06	1.12
0+320	312	310.59	1.41	310.83	310.8	-0.24	-0.21	308	2.83	2.8	2.59	1.00	1.00
0+300	311.8	310.51	1.29	310.76	310.8	-0.25	-0.29	308	2.76	2.8	2.51	1.00	1.00
0+270	311.67	310.65	1.02	310.62	310.76	0.03	-0.11	308	2.62	2.76	2.65	1.01	1.00
0+250	311.6	310.71	0.89	310.52	310.66	0.19	0.05	308	2.52	2.66	2.71	1.08	1.02
0+220	311.5	310.75	0.75	310.34	310.55	0.41	0.2	308	2.34	2.55	2.75	1.18	1.08
0+170	309	308.41	0.59	308.17	308.29	0.24	0.12	305.2	2.97	3.09	3.21	1.08	1.04
0+150	309	308.31	0.69	308.09	308.22	0.22	0.09	305.2	2.89	3.02	3.11	1.08	1.03
0+130	309	308.23	0.77	307.99	308.08	0.24	0.15	305.2	2.79	2.88	3.03	1.09	1.05
0+100	309	308.23	0.77	307.86	308.02	0.37	0.21	305.2	2.66	2.82	3.03	1.14	1.07
0+070	308.97	308.13	0.84	307.75	308	0.38	0.13	305.2	2.55	2.8	2.93	1.15	1.05

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.06
			0.25		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.05
			0.22		

Tabla 21. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique central lado del río Chico en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+360	306.93	306.01	0.92	305.5	306.08	0.51	-0.07	302.64	2.86	3.44	3.37	1.18	1.00
0+350	306.93	305.99	0.94	305.44	306.11	0.55	-0.12	302.5	2.94	3.61	3.49	1.19	1.00
0+340	306.93	305.69	1.24	305.39	306.04	0.3	-0.35	302.37	3.02	3.67	3.32	1.10	1.00
0+320	306.77	305.53	1.24	305.32	306.05	0.21	-0.52	301.95	3.37	4.1	3.58	1.06	1.00
0+300	306.61	305.41	1.2	305.21	305.89	0.2	-0.48	301.82	3.39	4.07	3.59	1.06	1.00
0+280	306.45	305.61	0.84	304.88	305.08	0.73	0.53	300.99	3.89	4.09	4.62	1.19	1.13
0+250	306.22	305.43	0.79	304.48	305.06	0.95	0.37	300.94	3.54	4.12	4.49	1.27	1.09
0+220	305.98	304.29	1.69	304.38	305.01	-0.09	-0.72	300.88	3.5	4.13	3.41	1.00	1.00
0+200	305.49	302.89	2.6	303.93	304.31	-1.04	-1.42	300.02	3.91	4.29	2.87	1.00	1.00
0+180	305	302.65	2.35	302.88	303.14	-0.23	-0.49	299.97	2.91	3.17	2.68	1.00	1.00
0+150	303.57	302.39	1.18	301.81	301.73	0.58	0.66	299.91	1.9	1.82	2.48	1.31	1.36
0+120	302.99	300.97	2.02	301.31	301.37	-0.34	-0.4	299.48	1.83	1.89	1.49	1.00	1.00
0+100	302.6	300.57	2.03	300.83	300.9	-0.26	-0.33	298.77	2.06	2.13	1.8	1.00	1.00
0+080	302.21	300.45	1.76	300.47	300.51	-0.02	-0.06	298.06	2.41	2.45	2.39	1.00	1.00
0+050	301.62	300.25	1.37	300.16	300.5	0.09	-0.25	297.97	2.19	2.53	2.28	1.04	1.00
0+020	301.22	300.13	1.09	299.86	300.3	0.27	-0.17	297.93	1.93	2.37	2.2	1.14	1.00

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.10
			0.40		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.04
			0.43		

Tabla 22. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique central lado del río Matagente en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+360	306.93	306.41	0.52	305.47	306.29	0.94	0.12	302.53	2.94	3.76	3.88	1.32	1.03
0+350	306.93	306.69	0.24	305.42	306.18	1.27	0.51	302.5	2.92	3.68	4.19	1.43	1.14
0+340	306.93	306.07	0.86	305.27	305.71	0.8	0.36	302.78	2.49	2.93	3.29	1.32	1.12
0+320	306.77	305.49	1.28	304.77	304.92	0.72	0.57	302.41	2.36	2.51	3.08	1.31	1.23
0+300	306.61	304.93	1.68	304.2	304.38	0.73	0.55	303.31	0.89	1.07	1.62	1.82	1.51
0+280	306.45	303.97	2.48	303.87	304.25	0.1	-0.28	302.51	1.36	1.74	1.46	1.07	1.00
0+250	306.22	303.49	2.73	303.73	304.19	-0.24	-0.7	301.54	2.19	2.65	1.95	1.00	1.00
0+220	305.98	303.49	2.49	303.72	304.19	-0.23	-0.7	301.7	2.02	2.49	1.79	1.00	1.00
0+200	305.49	303.09	2.4	303.67	303.89	-0.58	-0.8	302	1.67	1.89	1.09	1.00	1.00
0+180	305	301.65	3.35	301.79	302.12	-0.14	-0.47	301	0.79	1.12	0.65	1.00	1.00
0+150	303.57	301.29	2.28	300.94	301.16	0.35	0.13	300.34	0.6	0.82	0.95	1.58	1.16
0+120	302.99	300.53	2.46	300.36	300.54	0.17	-0.01	299.75	0.61	0.79	0.78	1.28	1.00
0+100	302.6	300.25	2.35	300	300.21	0.25	0.04	299.16	0.84	1.05	1.09	1.30	1.04
0+080	302.21	300.01	2.2	299.89	300.17	0.12	-0.16	299	0.89	1.17	1.01	1.13	1.00
0+050	301.62	299.97	1.65	299.77	300.15	0.2	-0.18	299	0.77	1.15	0.97	1.26	1.00
0+020	301.22	299.85	1.37	299.13	299.35	0.72	0.5	298	1.13	1.35	1.85	1.64	1.37

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.28
	diferencia SWE (m)	promedio	máximo		
		0.47	1.27		
		0.38	0.80		

Tabla 23. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del barraje laminador en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
L01	308.2	310.41	2.21	310.35	310.46	0.06	-0.05	308	2.35	2.46	2.41	1.03	1.00
L02	308.2	310.33	2.13	310.35	310.39	-0.02	-0.06	308	2.35	2.39	2.33	1.00	1.00
L03	308.2	310.21	2.01	310.34	310.37	-0.13	-0.16	308	2.34	2.37	2.21	1.00	1.00
L04	308.2	310.21	2.01	310.34	310.36	-0.13	-0.15	308	2.34	2.36	2.21	1.00	1.00
L05	308.2	310.33	2.13	310.34	310.37	-0.01	-0.04	308	2.34	2.37	2.33	1.00	1.00
L06	308.2	310.33	2.13	310.34	310.37	-0.01	-0.04	308	2.34	2.37	2.33	1.00	1.00
L07	308.2	310.33	2.13	310.34	310.39	-0.01	-0.06	308	2.34	2.39	2.33	1.00	1.00
L08	308.2	310.13	1.93	310.34	310.4	-0.21	-0.27	308	2.34	2.4	2.13	1.00	1.00
L09	308.2	310.33	2.13	310.34	310.41	-0.01	-0.08	308	2.34	2.41	2.33	1.00	1.00
L10	308.2	310.33	2.13	310.34	310.42	-0.01	-0.09	308	2.34	2.42	2.33	1.00	1.00
L11	308.2	310.53	2.33	310.34	310.42	0.19	0.11	308	2.34	2.42	2.53	1.08	1.05
L12	308.2	310.55	2.35	310.34	310.43	0.21	0.12	308	2.34	2.43	2.55	1.09	1.05
L13	308.2	310.61	2.41	310.34	310.5	0.27	0.11	308	2.34	2.5	2.61	1.12	1.04

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo
			0.10
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo
			0.10

Tabla 24. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del muro del barraje laminador en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
LD01	312.65	311.03	1.62	310.32	310.55	0.71	0.48	308	2.32	2.55	3.03	1.31	1.19
LD02	312.65	311.07	1.58	310.24	310.37	0.83	0.7	308	2.24	2.37	3.07	1.37	1.30
LD03	309.75	308.67	1.08	308.25	308.32	0.42	0.35	305.2	3.05	3.12	3.47	1.14	1.11
LD04	309.75	308.51	1.24	308.23	308.32	0.28	0.19	305.2	3.03	3.12	3.31	1.09	1.06
LI01	312.65	310.87	1.78	310.33	310.55	0.54	0.32	308	2.33	2.55	2.87	1.23	1.13
LI02	312.65	310.99	1.66	310.32	310.34	0.67	0.65	308	2.32	2.34	2.99	1.29	1.28
LI03	309.75	308.59	1.16	308.24	308.34	0.35	0.25	305.2	3.04	3.14	3.39	1.12	1.08
LI04	309.75	308.63	1.12	308.22	308.3	0.41	0.33	305.2	3.02	3.1	3.43	1.14	1.11

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.21
			0.53		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.16
			0.41		

Tabla 25. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del barraje partidor en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
P01	305.7	307.75	2.05	307.76	307.95	-0.01	-0.2	305.2	2.56	2.75	2.55	1.00	1.00
P02	305.2	307.41	2.21	307.76	307.85	-0.35	-0.44	305.2	2.56	2.65	2.21	1.00	1.00
P03	305.2	307.19	1.99	307.75	307.8	-0.56	-0.61	305.2	2.55	2.6	1.99	1.00	1.00
P04	305.2	307.29	2.09	307.75	307.79	-0.46	-0.5	305.2	2.55	2.59	2.09	1.00	1.00
P05	305.2	307.13	1.93	307.75	307.8	-0.62	-0.67	305.2	2.55	2.6	1.93	1.00	1.00
P06	305.7	307.41	1.71	307.75	307.86	-0.34	-0.45	305.2	2.55	2.66	2.21	1.00	1.00
P07	305.7	307.69	1.99	307.75	307.9	-0.06	-0.21	305.2	2.55	2.7	2.49	1.00	1.00
P08	305.7	307.55	1.85	307.75	307.87	-0.2	-0.32	305.2	2.55	2.67	2.35	1.00	1.00
P09	305.2	307.33	2.13	307.75	307.83	-0.42	-0.5	305.2	2.55	2.63	2.13	1.00	1.00
P10	305.2	307.09	1.89	307.75	307.81	-0.66	-0.72	305.2	2.55	2.61	1.89	1.00	1.00
P11	305.2	307.17	1.97	307.75	307.84	-0.58	-0.67	305.2	2.55	2.64	1.97	1.00	1.00
P12	305.2	307.57	2.37	307.76	307.92	-0.19	-0.35	305.2	2.56	2.72	2.37	1.00	1.00
P13	305.7	307.73	2.03	307.76	308.01	-0.03	-0.28	305.2	2.56	2.81	2.53	1.00	1.00

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo
			0.34
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo
			0.46

Tabla 26. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del muro del barraje partidor en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
PD01	309.5	308.55	0.95	307.75	308.06	0.8	0.49	305.2	2.55	2.86	3.35	1.31	1.17
PD02	309.5	308.19	1.31	307.7	307.89	0.49	0.3	305.2	2.5	2.69	2.99	1.20	1.11
PD03	307.25	305.91	1.34	305.63	305.97	0.28	-0.06	303	2.63	2.97	2.91	1.11	1.00
PD04	307.25	305.91	1.34	305.59	305.96	0.32	-0.05	303	2.59	2.96	2.91	1.12	1.00
PI01	309.5	308.27	1.23	307.75	308	0.52	0.27	305.2	2.55	2.8	3.07	1.20	1.10
PI02	309.5	308.39	1.11	307.72	307.86	0.67	0.53	305.2	2.52	2.66	3.19	1.27	1.20
PI03	307.25	306.19	1.06	305.5	305.23	0.69	0.96	303	2.5	2.23	3.19	1.28	1.43
PI04	307.25	306.11	1.14	305.4	305.01	0.71	1.1	303	2.4	2.01	3.11	1.30	1.55

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)
			0.56	
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)
			0.47	

Tabla 27. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo central en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
MC1	309.5	308.83	0.67	307.72	307.97	1.11	0.86	305.2	2.52	2.77	3.63	1.44	1.31
MC2	307.25	306.47	0.78	305.65	305.96	0.82	0.51	302.95	2.7	3.01	3.52	1.30	1.17
MC3	307.25	306.51	0.74	305.61	306	0.9	0.51	302.87	2.74	3.13	3.64	1.33	1.16
MC4	307.25	306.47	0.78	305.58	306.2	0.89	0.27	303	2.58	3.2	3.47	1.34	1.08
MC5	307.25	306.51	0.74	305.54	306.27	0.97	0.24	302.63	2.91	3.64	3.88	1.33	1.07

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio 0.94	máximo 1.11	Factor DWE (m)	1.35
	diferencia SWE (m)	promedio 0.48	máximo 0.86	Factor SWE (m)	1.16

Resumen del escenario segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

RESUMEN GENERAL	diferencia DWE (m)	promedio 0.40	máximo 1.40	De diques Factor DWE (m)	1.15
	diferencia SWE (m)	promedio 0.34	máximo 1.42	Factor SWE (m)	1.07
				De muros Factor DWE (m)	1.25
				Factor SWE (m)	1.17

Tabla 28. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique derecho en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+536	315.4	314.87	0.53	313.17	313.98	1.7	0.89	310.58	2.59	3.4	4.29	1.66	1.26
0+520	315.26	314.43	0.83	313.08	313.85	1.35	0.58	310.2	2.88	3.65	4.23	1.47	1.16
0+500	314.97	313.99	0.98	312.89	313.48	1.1	0.51	309.99	2.9	3.49	4	1.38	1.15
0+480	314.25	313.23	1.02	312.51	312.48	0.72	0.75	309.95	2.56	2.53	3.28	1.28	1.30
0+460	313.53	312.39	1.14	312.18	312.03	0.21	0.36	309.43	2.75	2.6	2.96	1.08	1.14
0+440	313.15	312.01	1.14	311.9	311.89	0.11	0.12	308.95	2.95	2.94	3.06	1.04	1.04
0+420	313.12	311.93	1.19	311.62	311.35	0.31	0.58	308.66	2.96	2.69	3.27	1.10	1.22
0+400	313.09	311.95	1.14	311.43	311.31	0.52	0.64	308.3	3.13	3.01	3.65	1.17	1.21
0+380	312.93	312.05	0.88	311.31	311.31	0.74	0.74	308	3.31	3.31	4.05	1.22	1.22
0+360	312.77	312.03	0.74	311.23	311.31	0.8	0.72	308	3.23	3.31	4.03	1.25	1.22
0+340	312.69	311.67	1.02	311.15	311.32	0.52	0.35	308	3.15	3.32	3.67	1.17	1.11
0+320	312.68	311.15	1.53	311.07	311.28	0.08	-0.13	308	3.07	3.28	3.15	1.03	1.00
0+300	312.67	310.95	1.72	310.97	311.18	-0.02	-0.23	308	2.97	3.18	2.95	1.00	1.00
0+280	312.66	311.11	1.55	310.87	311.07	0.24	0.04	308	2.87	3.07	3.11	1.08	1.01
0+260	312.66	311.25	1.41	310.76	310.94	0.49	0.31	308	2.76	2.94	3.25	1.18	1.11
0+240	312.6	311.27	1.33	310.63	310.87	0.64	0.4	308	2.63	2.87	3.27	1.24	1.14
0+200	309.5	308.99	0.51	308.5	308.62	0.49	0.37	305.2	3.3	3.42	3.79	1.15	1.11
0+180	309.5	309.07	0.43	308.45	308.62	0.62	0.45	305.2	3.25	3.42	3.87	1.19	1.13
0+160	309.5	308.79	0.71	308.39	308.62	0.4	0.17	305.2	3.19	3.42	3.59	1.13	1.05
0+140	309.5	308.51	0.99	308.32	308.59	0.19	-0.08	305.2	3.12	3.39	3.31	1.06	1.00
0+120	309.5	308.49	1.01	308.26	308.53	0.23	-0.04	305.2	3.06	3.33	3.29	1.08	1.00
0+100	309.5	308.71	0.79	308.19	308.45	0.52	0.26	305.2	2.99	3.25	3.51	1.17	1.08
0+080	309.5	308.73	0.77	308.11	308.4	0.62	0.33	305.2	2.91	3.2	3.53	1.21	1.10
0+060	309.26	308.65	0.61	308.04	308.4	0.61	0.25	305.2	2.84	3.2	3.45	1.21	1.08
0+020	306.95	306.23	0.72	305.8	306.25	0.43	-0.02	305.2	0.6	1.05	1.03	1.72	1.00

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.21
			0.55		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.11
			0.37		

**Tabla 29. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique izquierdo en el escenario:
segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 100 años**

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+700	316.15	316.15	0	316.39	316.35	-0.24	-0.2	313.96	2.43	2.39	2.19	1.00	1.00
0+680	316.92	316.92	0	316.17	316.33	0.75	0.59	313.88	2.29	2.45	3.04	1.33	1.24
0+650	316.34	316.34	0	315.77	315.97	0.57	0.37	313	2.77	2.97	3.34	1.21	1.12
0+630	315.95	315.95	0	315.44	315.62	0.51	0.33	312.99	2.45	2.63	2.96	1.21	1.13
0+600	315.62	315.62	0	314.94	314.89	0.68	0.73	312.38	2.56	2.51	3.24	1.27	1.29
0+580	315.52	315.52	0	314.68	314.7	0.84	0.82	311.98	2.7	2.72	3.54	1.31	1.30
0+550	315.37	315.37	0	314.22	314.27	1.15	1.1	311.94	2.28	2.33	3.43	1.50	1.47
0+520	315.22	315.22	0	313.7	313.51	1.52	1.71	311.89	1.81	1.62	3.33	1.84	2.06
0+500	314.46	314.46	0	313.38	313.17	1.08	1.29	311.16	2.22	2.01	3.3	1.49	1.64
0+480	313.55	313.55	0	313.09	312.98	0.46	0.57	311	2.09	1.98	2.55	1.22	1.29
0+450	313.26	313.26	0	312.74	312.75	0.52	0.51	310.59	2.15	2.16	2.67	1.24	1.24
0+420	312.97	312.97	0	312.29	312.27	0.68	0.7	309.99	2.3	2.28	2.98	1.30	1.31
0+400	312.77	312.77	0	311.95	311.83	0.82	0.94	309.95	2	1.88	2.82	1.41	1.50
0+380	312.58	312.58	0	311.6	311.16	0.98	1.42	309.42	2.18	1.74	3.16	1.45	1.82
0+350	312.29	312.29	0	311.26	311.07	1.03	1.22	308	3.26	3.07	4.29	1.32	1.40
0+320	312	312	0	311.13	311.07	0.87	0.93	308	3.13	3.07	4	1.28	1.30
0+300	311.8	311.8	0	311.05	311.08	0.75	0.72	308	3.05	3.08	3.8	1.25	1.23
0+270	311.67	311.67	0	310.92	311.06	0.75	0.61	308	2.92	3.06	3.67	1.26	1.20
0+250	311.6	311.6	0	310.81	310.96	0.79	0.64	308	2.81	2.96	3.6	1.28	1.22
0+220	311.5	311.5	0	310.63	310.86	0.87	0.64	308	2.63	2.86	3.5	1.33	1.22
0+170	309	309	0	308.47	308.6	0.53	0.4	305.2	3.27	3.4	3.8	1.16	1.12
0+150	309	309	0	308.39	308.54	0.61	0.46	305.2	3.19	3.34	3.8	1.19	1.14
0+130	309	309	0	308.29	308.4	0.71	0.6	305.2	3.09	3.2	3.8	1.23	1.19
0+100	309	309	0	308.16	308.34	0.84	0.66	305.2	2.96	3.14	3.8	1.28	1.21
0+070	308.97	308.97	0	308.05	308.33	0.92	0.64	305.2	2.85	3.13	3.77	1.32	1.20

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.31
		0.78	1.52		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.31
		0.75	1.71		

Tabla 30. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique central lado del río Chico en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+360	306.93	306.53	0.4	305.76	306.4	0.77	0.13	302.64	3.12	3.76	3.89	1.25	1.03
0+350	306.93	306.67	0.26	305.71	306.42	0.96	0.25	302.5	3.21	3.92	4.17	1.30	1.06
0+340	306.93	306.13	0.8	305.65	306.34	0.48	-0.21	302.37	3.28	3.97	3.76	1.15	1.00
0+320	306.77	305.81	0.96	305.57	306.35	0.24	-0.54	301.95	3.62	4.4	3.86	1.07	1.00
0+300	306.61	305.83	0.78	305.45	306.17	0.38	-0.34	301.82	3.63	4.35	4.01	1.10	1.00
0+280	306.45	305.95	0.5	305.12	305.31	0.83	0.64	300.99	4.13	4.32	4.96	1.20	1.15
0+250	306.22	305.77	0.45	304.72	305.27	1.05	0.5	300.94	3.78	4.33	4.83	1.28	1.12
0+220	305.98	304.49	1.49	304.56	305.23	-0.07	-0.74	300.88	3.68	4.35	3.61	1.00	1.00
0+200	305.49	303.17	2.32	304.02	304.47	-0.85	-1.3	300.02	4	4.45	3.15	1.00	1.00
0+180	305	302.93	2.07	302.91	303.26	0.02	-0.33	299.97	2.94	3.29	2.96	1.01	1.00
0+150	303.57	302.79	0.78	301.99	301.78	0.8	1.01	299.91	2.08	1.87	2.88	1.38	1.54
0+120	302.99	301.33	1.66	301.49	301.51	-0.16	-0.18	299.48	2.01	2.03	1.85	1.00	1.00
0+100	302.6	300.73	1.87	301.02	301.05	-0.29	-0.32	298.77	2.25	2.28	1.96	1.00	1.00
0+080	302.21	300.65	1.56	300.66	300.71	-0.01	-0.06	298.06	2.6	2.65	2.59	1.00	1.00
0+050	301.62	300.47	1.15	300.34	300.73	0.13	-0.26	297.97	2.37	2.76	2.5	1.05	1.00
0+020	301.22	300.29	0.93	300.04	300.55	0.25	-0.26	297.93	2.11	2.62	2.36	1.12	1.00

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.12
			0.46		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.06
			0.44		

Tabla 31. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del dique central lado del río Matagente en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
0+360	306.93	306.83	0.1	305.66	306.58	1.17	0.25	302.53	3.13	4.05	4.3	1.37	1.06
0+350	306.93	306.78	0.15	305.6	306.45	1.18	0.33	302.5	3.1	3.95	4.28	1.38	1.08
0+340	306.93	306.33	0.6	305.44	305.91	0.89	0.42	302.78	2.66	3.13	3.55	1.33	1.13
0+320	306.77	305.61	1.16	304.94	305.09	0.67	0.52	302.41	2.53	2.68	3.2	1.26	1.19
0+300	306.61	304.97	1.64	304.39	304.56	0.58	0.41	303.31	1.08	1.25	1.66	1.54	1.33
0+280	306.45	304.17	2.28	304.05	304.42	0.12	-0.25	302.51	1.54	1.91	1.66	1.08	1.00
0+250	306.22	303.77	2.45	303.87	304.36	-0.1	-0.59	301.54	2.33	2.82	2.23	1.00	1.00
0+220	305.98	303.77	2.21	303.86	304.36	-0.09	-0.59	301.7	2.16	2.66	2.07	1.00	1.00
0+200	305.49	303.41	2.08	303.78	304.02	-0.37	-0.61	302	1.78	2.02	1.41	1.00	1.00
0+180	305	301.77	3.23	301.95	302.3	-0.18	-0.53	301	0.95	1.3	0.77	1.00	1.00
0+150	303.57	301.01	2.56	301.06	301.27	-0.05	-0.26	300.34	0.72	0.93	0.67	1.00	1.00
0+120	302.99	300.77	2.22	300.48	300.69	0.29	0.08	299.75	0.73	0.94	1.02	1.40	1.09
0+100	302.6	300.63	1.97	300.15	300.37	0.48	0.26	299.16	0.99	1.21	1.47	1.48	1.21
0+080	302.21	300.45	1.76	300.02	300.33	0.43	0.12	299	1.02	1.33	1.45	1.42	1.09
0+050	301.62	300.37	1.25	299.89	300.32	0.48	0.05	299	0.89	1.32	1.37	1.54	1.04
0+020	301.22	300.33	0.89	299.3	299.48	1.03	0.85	298	1.3	1.48	2.33	1.79	1.57

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.29
			0.51		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.11
			0.38		

Tabla 32. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del barraje laminador en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
L01	308.2	310.79	2.59	310.64	310.76	0.15	0.03	308	2.64	2.76	2.79	1.06	1.01
L02	308.2	310.83	2.63	310.64	310.68	0.19	0.15	308	2.64	2.68	2.83	1.07	1.06
L03	308.2	310.59	2.39	310.64	310.66	-0.05	-0.07	308	2.64	2.66	2.59	1.00	1.00
L04	308.2	310.59	2.39	310.64	310.65	-0.05	-0.06	308	2.64	2.65	2.59	1.00	1.00
L05	308.2	310.69	2.49	310.64	310.66	0.05	0.03	308	2.64	2.66	2.69	1.02	1.01
L06	308.2	310.95	2.75	310.63	310.67	0.32	0.28	308	2.63	2.67	2.95	1.12	1.10
L07	308.2	310.79	2.59	310.64	310.69	0.15	0.1	308	2.64	2.69	2.79	1.06	1.04
L08	308.2	310.63	2.43	310.63	310.7	0	-0.07	308	2.63	2.7	2.63	1.00	1.00
L09	308.2	310.75	2.55	310.63	310.71	0.12	0.04	308	2.63	2.71	2.75	1.05	1.01
L10	308.2	311.23	3.03	310.64	310.72	0.59	0.51	308	2.64	2.72	3.23	1.22	1.19
L11	308.2	311.03	2.83	310.64	310.73	0.39	0.3	308	2.64	2.73	3.03	1.15	1.11
L12	308.2	311.27	3.07	310.64	310.74	0.63	0.53	308	2.64	2.74	3.27	1.24	1.19
L13	308.2	311.31	3.11	310.64	310.81	0.67	0.5	308	2.64	2.81	3.31	1.25	1.18

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo
			0.26
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo
			0.21

Tabla 33. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del muro del barraje laminador en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
LD01	312.65	311.35	1.3	310.62	310.87	0.73	0.48	308	2.62	2.87	3.35	1.28	1.17
LD02	312.65	311.51	1.14	310.53	310.67	0.98	0.84	308	2.53	2.67	3.51	1.39	1.31
LD03	309.75	308.91	0.84	308.55	308.64	0.36	0.27	305.2	3.35	3.44	3.71	1.11	1.08
LD04	309.75	308.67	1.08	308.53	308.64	0.14	0.03	305.2	3.33	3.44	3.47	1.04	1.01
LI01	312.65	311.11	1.54	310.63	310.86	0.48	0.25	308	2.63	2.86	3.11	1.18	1.09
LI02	312.65	311.31	1.34	310.61	310.62	0.7	0.69	308	2.61	2.62	3.31	1.27	1.26
LI03	309.75	308.81	0.94	308.55	308.66	0.26	0.15	305.2	3.35	3.46	3.61	1.08	1.04
LI04	309.75	308.83	0.92	308.53	308.61	0.3	0.22	305.2	3.33	3.41	3.63	1.09	1.06

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)
			0.49	0.98
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)
			0.37	0.84

Tabla 34. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del barraje partidor en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
P01	305.7	308.15	2.45	308.06	308.27	0.09	-0.12	305.2	2.86	3.07	2.95	1.03	1.00
P02	305.2	307.91	2.71	308.05	308.17	-0.14	-0.26	305.2	2.85	2.97	2.71	1.00	1.00
P03	305.2	307.71	2.51	308.05	308.12	-0.34	-0.41	305.2	2.85	2.92	2.51	1.00	1.00
P04	305.2	307.71	2.51	308.05	308.11	-0.34	-0.4	305.2	2.85	2.91	2.51	1.00	1.00
P05	305.2	307.67	2.47	308.05	308.12	-0.38	-0.45	305.2	2.85	2.92	2.47	1.00	1.00
P06	305.7	307.75	2.05	308.04	308.18	-0.29	-0.43	305.2	2.84	2.98	2.55	1.00	1.00
P07	305.7	308.03	2.33	308.05	308.22	-0.02	-0.19	305.2	2.85	3.02	2.83	1.00	1.00
P08	305.7	307.71	2.01	308.04	308.19	-0.33	-0.48	305.2	2.84	2.99	2.51	1.00	1.00
P09	305.2	307.79	2.59	308.04	308.15	-0.25	-0.36	305.2	2.84	2.95	2.59	1.00	1.00
P10	305.2	307.83	2.63	308.04	308.14	-0.21	-0.31	305.2	2.84	2.94	2.63	1.00	1.00
P11	305.2	307.85	2.65	308.05	308.16	-0.2	-0.31	305.2	2.85	2.96	2.65	1.00	1.00
P12	305.2	307.95	2.75	308.05	308.24	-0.1	-0.29	305.2	2.85	3.04	2.75	1.00	1.00
P13	305.7	308.15	2.45	308.06	308.34	0.09	-0.19	305.2	2.86	3.14	2.95	1.03	1.00

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo
			0.21
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo
			0.32

Tabla 35. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo físico del muro del barraje partidor en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
PD01	309.5	308.79	0.71	308.04	308.4	0.75	0.39	305.2	2.84	3.2	3.59	1.26	1.12
PD02	309.5	308.79	0.71	307.99	308.2	0.8	0.59	305.2	2.79	3	3.59	1.29	1.20
PD03	307.25	306.03	1.22	305.89	306.28	0.14	-0.25	303	2.89	3.28	3.03	1.05	1.00
PD04	307.25	306.23	1.02	305.86	306.25	0.37	-0.02	303	2.86	3.25	3.23	1.13	1.00
PI01	309.5	308.67	0.83	308.05	308.33	0.62	0.34	305.2	2.85	3.13	3.47	1.22	1.11
PI02	309.5	308.87	0.63	308.02	308.17	0.85	0.7	305.2	2.82	2.97	3.67	1.30	1.24
PI03	307.25	306.47	0.78	305.7	305.43	0.77	1.04	303	2.7	2.43	3.47	1.29	1.43
PI04	307.25	306.89	0.36	305.6	305.14	1.29	1.75	303	2.6	2.14	3.89	1.50	1.82

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)
			0.70	
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)
			0.64	

Tabla 36. Comparación de los niveles de agua de los modelos numéricos con el modelo central en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 100 años

Prog.	Nivel de dique (msnm)	Nivel de agua en el modelo físico (msnm)	Borde libre mod. físico (m)	Nivel de agua con DWE (msnm)	Nivel de agua con SWE (msnm)	Diferencia DWE (m)	Diferencia SWE (m)	Nivel de terreno más bajo (msnm)	Tirante con DWE (m)	Tirante con SWE (m)	Tirante de agua en el modelo físico (m)	Factor de corrección DWE	Factor de corrección SWE
MC1	309.5	309.5	0	308.02	308.3	1.48	1.2	305.2	2.82	3.1	4.3	1.52	1.39
MC2	307.25	306.95	0.3	305.92	306.26	1.03	0.69	302.95	2.97	3.31	4	1.35	1.21
MC3	307.25	306.75	0.5	305.87	306.3	0.88	0.45	302.87	3	3.43	3.88	1.29	1.13
MC4	307.25	306.95	0.3	305.78	306.46	1.17	0.49	303	2.78	3.46	3.95	1.42	1.14
MC5	307.25	306.95	0.3	305.74	306.54	1.21	0.41	302.63	3.11	3.91	4.32	1.39	1.10

RESUMEN	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	Factor DWE (m)	1.39
		1.15	1.48		
RESUMEN	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.19
		0.65	1.20		

Resumen del escenario segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 100 años

RESUMEN GENERAL	diferencia DWE (m)	promedio	máximo	De diques Factor DWE (m)	1.22
		0.54	1.70		
	diferencia SWE (m)	promedio	máximo	Factor SWE (m)	1.15
		0.46	1.75		
				De muros Factor DWE (m)	1.26
				Factor SWE (m)	1.19

ANEXO 4: COMPARACIÓN DE VELOCIDADES

Tabla 1. Comparación de velocidades de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 1 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 50 años

Punto	Velocidad Modelo Físico (m/s)	Velocidad con DWE (m/s)	Velocidad con SWE (m/s)	Diferencia DWE (m/s)	Diferencia SWE (m/s)
P01	1.48	7.04	3.61	5.56	2.13
P02	1.95	4.77	3.66	2.82	1.71
P03	2.19	3.97	3.68	1.78	1.49
P04	1.91	3.65	3.61	1.74	1.7
P05	1.66	3.19	3.45	1.53	1.79
P06	1.5	2.88	2.97	1.38	1.47
P07	1.05	1.84	2.14	0.79	1.09
P08	1.68	2.65	2.59	0.97	0.91
P09	2.42	2.95	2.96	0.53	0.54
P10	1.7	3.66	3.82	1.96	2.12
P11	1.7	3.73	3.83	2.03	2.13
P12	1.87	3.61	3.3	1.74	1.43
P13	2.04	3.78	2.36	1.74	0.32
P14	1.66	3.61	1.74	1.95	0.08
PROMEDIO	1.77	3.67	3.12	1.89	1.35
MÁXIMO	2.42	7.04	3.83	5.56	2.13

Tabla 2. Comparación de velocidades de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 2 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 50 años

Punto	Velocidad Modelo Físico (m/s)	Velocidad con DWE (m/s)	Velocidad con SWE (m/s)	Diferencia DWE (m/s)	Diferencia SWE (m/s)
P01	1.33	1.68	2.03	0.35	0.7
P02	2.33	2.47	2.62	0.14	0.29
P03	1.12	2.42	2.43	1.3	1.31
P04	0.75	2.38	2.37	1.63	1.62
P05	2.09	2.36	2.34	0.27	0.25
P06	3.13	2.34	2.34	0.79	0.79
P07	3.97	2.32	2.35	1.65	1.62
P08	5.07	2.29	2.33	2.78	2.74
P09	4.22	2.27	2.34	1.95	1.88
P10	5.5	2.25	2.34	3.25	3.16
P11	3.68	2.22	2.34	1.46	1.34
P12	2.42	2.19	2.3	0.23	0.12
P13	1.95	2.16	2.44	0.21	0.49
P14	nan	0.98	0.09	nan	nan
PROMEDIO	2.89	2.17	2.19	1.23	1.25
MÁXIMO	5.50	2.47	2.62	3.25	3.16

Tabla 3. Comparación de velocidades de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 3 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 50 años

Punto	Velocidad Modelo Físico (m/s)	Velocidad con DWE (m/s)	Velocidad con SWE (m/s)	Diferencia DWE (m/s)	Diferencia SWE (m/s)
P01	2.34	1.62	1.53	0.72	0.81
P02	2.63	2.71	2.96	0.08	0.33
P03	1.38	2.71	2.79	1.33	1.41
P04	1.16	2.7	2.75	1.54	1.59
P05	2.56	2.69	2.73	0.13	0.17
P06	4.11	2.67	2.76	1.44	1.35
P07	4.99	2.65	2.79	2.34	2.2
P08	4.9	2.63	2.79	2.27	2.11
P09	4.78	2.62	2.8	2.16	1.98
P10	5.18	2.6	2.81	2.58	2.37
P11	4.62	2.57	2.82	2.05	1.8
P12	3.73	2.55	2.76	1.18	0.97
P13	2.72	2.52	2.83	0.2	0.11
P14	1.14	1.29	0.08	0.15	1.06
PROMEDIO	3.30	2.47	2.51	1.30	1.30
MÁXIMO	5.18	2.71	2.96	2.58	2.37

Tabla 4. Comparación de velocidades de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 4 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 50 años

Punto	Velocidad Modelo Físico (m/s)	Velocidad con DWE (m/s)	Velocidad con SWE (m/s)	Diferencia DWE (m/s)	Diferencia SWE (m/s)
P01	2.46	2.95	3.44	0.49	0.98
P02	1.47	2.82	3.08	1.35	1.61
P03	1.09	2.77	2.76	1.68	1.67
P04	3.04	2.75	2.75	0.29	0.29
P05	4.42	2.74	2.8	1.68	1.62
P06	5.56	2.73	2.88	2.83	2.68
P07	7.87	2.72	2.93	5.15	4.94
P08	8.04	2.72	2.97	5.32	5.07
P09	8.61	2.71	2.99	5.9	5.62
P10	3.68	2.7	3	0.98	0.68
P11	3.99	2.7	3.02	1.29	0.97
P12	2.3	2.72	2.95	0.42	0.65
P13	nan	2.8	3.09	nan	nan
P14	nan	1.97	2.54	nan	nan
PROMEDIO	4.38	2.70	2.94	2.28	2.23
MÁXIMO	8.61	2.95	3.44	5.90	5.62

Tabla 5. Comparación de velocidades de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 5 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 50 años

Punto	Velocidad Modelo Físico (m/s)	Velocidad con DWE (m/s)	Velocidad con SWE (m/s)	Diferencia DWE (m/s)	Diferencia SWE (m/s)
P01	0.94	2.04	0.69	1.1	0.25
P02	5.23	3.25	3.53	1.98	1.7
P03	5.77	3.15	3.83	2.62	1.94
P04	5.99	3.1	3.81	2.89	2.18
P05	6	3.06	3.7	2.94	2.3
P06	6.69	3.04	3.61	3.65	3.08
P07	7.57	3.16	3.86	4.41	3.71
P08	7.65	3.23	4.25	4.42	3.4
P09	7.99	3.26	4.49	4.73	3.5
P10	7.02	3.23	4.44	3.79	2.58
P11	4.46	3.18	4.14	1.28	0.32
P12	1.98	3.14	3.83	1.16	1.85
P13	2.83	3.04	3.39	0.21	0.56
P14	5.06	1.21	0.76	3.85	4.3
PROMEDIO	5.37	2.94	3.45	2.79	2.26
MÁXIMO	7.99	3.26	4.49	4.73	4.30

Tabla 6. Comparación de velocidades de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 6 en el escenario: segundo diseño – lecho sin colmatar – periodo de retorno de 50 años

Punto	Velocidad Modelo Físico (m/s)	Velocidad con DWE (m/s)	Velocidad con SWE (m/s)	Diferencia DWE (m/s)	Diferencia SWE (m/s)
P01	3.85	2.88	2.72	0.97	1.13
P02	4.16	4.08	3.63	0.08	0.53
P03	4.31	3.99	3.5	0.32	0.81
P04	4.83	3.91	3.48	0.92	1.35
P05	4.49	3.89	3.42	0.6	1.07
P06	5.21	3.73	3.3	1.48	1.91
P07	5.81	3.81	3.3	2	2.51
P08	5.18	4.17	3.69	1.01	1.49
P09	6.01	4.37	4	1.64	2.01
P10	6.45	4.48	4.14	1.97	2.31
P11	6.55	4.5	4.16	2.05	2.39
P12	6.66	4.3	3.91	2.36	2.75
P13	4.12	4.09	3.73	0.03	0.39
P14	nan	4.08	4.21	nan	nan
P15	nan	4.15	4.41	nan	nan
PROMEDIO	5.20	4.03	3.71	1.19	1.59
MÁXIMO	6.66	4.50	4.41	2.36	2.75

RESUMEN				
	diferencia DWE	diferencia SWE	Coef vel DWE	Coef vel SWE
PROMEDIO	1.78	1.66	1.32	1.27
MÁXIMO	5.9	5.62	1.83	1.56

Tabla 7. Comparación de velocidades de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 1 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

Punto	Velocidad Modelo Físico (m/s)	Velocidad con DWE (m/s)	Velocidad con SWE (m/s)	Diferencia DWE (m/s)	Diferencia SWE (m/s)
P01	1.08	7.59	4.07	6.51	2.99
P02	2.28	5.19	3.96	2.91	1.68
P03	1.76	4.35	3.93	2.59	2.17
P04	3.15	4.01	3.85	0.86	0.7
P05	1.78	3.51	3.68	1.73	1.9
P06	1.98	3.19	3.25	1.21	1.27
P07	1.32	2.04	2.39	0.72	1.07
P08	1.42	2.88	2.81	1.46	1.39
P09	2.39	3.18	3.22	0.79	0.83
P10	2.07	3.93	3.96	1.86	1.89
P11	2.69	3.98	3.96	1.29	1.27
P12	2.32	3.86	3.49	1.54	1.17
P13	2.42	4.07	2.66	1.65	0.24
P14	1.03	3.93	2.06	2.9	1.03
PROMEDIO	1.98	3.98	3.38	2.00	1.40
MÁXIMO	3.15	7.59	4.07	6.51	2.99

Tabla 8. Comparación de velocidades de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 2 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

Punto	Velocidad Modelo Físico (m/s)	Velocidad con DWE (m/s)	Velocidad con SWE (m/s)	Diferencia DWE (m/s)	Diferencia SWE (m/s)
P01	2.41	1.85	2.22	0.56	0.19
P02	3.43	2.71	2.92	0.72	0.51
P03	3.54	2.65	2.65	0.89	0.89
P04	3.12	2.61	2.59	0.51	0.53
P05	3.46	2.58	2.56	0.88	0.9
P06	3.67	2.56	2.55	1.11	1.12
P07	3.5	2.54	2.55	0.96	0.95
P08	3.45	2.51	2.54	0.94	0.91
P09	3.38	2.49	2.56	0.89	0.82
P10	3.27	2.46	2.57	0.81	0.7
P11	3.41	2.43	2.56	0.98	0.85
P12	3.36	2.4	2.54	0.96	0.82
P13	3.45	2.36	2.72	1.09	0.73
P14	2.71	1.11	0.14	1.6	2.57
PROMEDIO	3.30	2.38	2.41	0.92	0.89
MÁXIMO	3.67	2.71	2.92	1.60	2.57

Tabla 9. Comparación de velocidades de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 3 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

Punto	Velocidad Modelo Físico (m/s)	Velocidad con DWE (m/s)	Velocidad con SWE (m/s)	Diferencia DWE (m/s)	Diferencia SWE (m/s)
P01	1.44	1.76	1.61	0.32	0.17
P02	2.72	2.94	3.28	0.22	0.56
P03	2.58	2.93	3.02	0.35	0.44
P04	2.6	2.92	2.97	0.32	0.37
P05	2.62	2.91	2.96	0.29	0.34
P06	2.78	2.89	2.97	0.11	0.19
P07	2.6	2.87	2.99	0.27	0.39
P08	2.94	2.85	3.01	0.09	0.07
P09	2.8	2.83	3.02	0.03	0.22
P10	2.7	2.81	3.04	0.11	0.34
P11	2.88	2.79	3.02	0.09	0.14
P12	2.9	2.76	2.97	0.14	0.07
P13	2.51	2.73	3.12	0.22	0.61
P14	1.6	1.43	0.11	0.17	1.49
PROMEDIO	2.55	2.67	2.72	0.20	0.39
MÁXIMO	2.94	2.94	3.28	0.35	1.49

Tabla 10. Comparación de velocidades de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 4 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

Punto	Velocidad Modelo Físico (m/s)	Velocidad con DWE (m/s)	Velocidad con SWE (m/s)	Diferencia DWE (m/s)	Diferencia SWE (m/s)
P01	0.37	3.22	3.48	2.85	3.11
P02	2.6	3.05	3.4	0.45	0.8
P03	2.61	3	3	0.39	0.39
P04	2.65	2.97	2.97	0.32	0.32
P05	2.48	2.96	3.03	0.48	0.55
P06	2.88	2.95	3.1	0.07	0.22
P07	2.05	2.93	3.14	0.88	1.09
P08	2.68	2.93	3.2	0.25	0.52
P09	2.18	2.92	3.22	0.74	1.04
P10	2.57	2.91	3.24	0.34	0.67
P11	2.2	2.92	3.22	0.72	1.02
P12	2.88	2.94	3.16	0.06	0.28
P13	2.84	3.04	3.35	0.2	0.51
P14	1.74	2.1	2.8	0.36	1.06
PROMEDIO	2.34	2.92	3.17	0.58	0.83
MÁXIMO	2.88	3.22	3.48	2.85	3.11

Tabla 11. Comparación de velocidades de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 5 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

Punto	Velocidad Modelo Físico (m/s)	Velocidad con DWE (m/s)	Velocidad con SWE (m/s)	Diferencia DWE (m/s)	Diferencia SWE (m/s)
P01	2.89	2.2	0.51	0.69	2.38
P02	3.89	3.47	3.76	0.42	0.13
P03	4.05	3.38	4.12	0.67	0.07
P04	3.41	3.33	4.06	0.08	0.65
P05	4.21	3.28	3.97	0.93	0.24
P06	4.32	3.26	3.89	1.06	0.43
P07	4.64	3.36	4.13	1.28	0.51
P08	4.42	3.42	4.5	1	0.08
P09	4.33	3.45	4.73	0.88	0.4
P10	5.85	3.42	4.69	2.43	1.16
P11	6.05	3.38	4.4	2.67	1.65
P12	5.1	3.33	4.11	1.77	0.99
P13	4.27	3.24	3.66	1.03	0.61
P14	2.88	1.38	0.77	1.5	2.11
PROMEDIO	4.31	3.14	3.66	1.17	0.82
MÁXIMO	6.05	3.47	4.73	2.67	2.38

Tabla 12. Comparación de velocidades de los modelos numéricos con el modelo físico de la sección 6 en el escenario: segundo diseño – lecho colmatado – periodo de retorno de 50 años

Punto	Velocidad Modelo Físico (m/s)	Velocidad con DWE (m/s)	Velocidad con SWE (m/s)	Diferencia DWE (m/s)	Diferencia SWE (m/s)
P01	2.11	3.05	2.86	0.94	0.75
P02	3.69	4.33	3.79	0.64	0.1
P03	3.82	4.25	3.71	0.43	0.11
P04	3.14	4.17	3.7	1.03	0.56
P05	3.62	4.15	3.67	0.53	0.05
P06	3.2	4	3.57	0.8	0.37
P07	2.82	4.07	3.59	1.25	0.77
P08	3.36	4.42	3.94	1.06	0.58
P09	4.72	4.61	4.22	0.11	0.5
P10	4.03	4.71	4.37	0.68	0.34
P11	5.28	4.73	4.41	0.55	0.87
P12	6.24	4.54	4.2	1.7	2.04
P13	6.93	4.34	4.04	2.59	2.89
P14	6.99	4.33	4.49	2.66	2.5
P15	6.03	4.4	4.69	1.63	1.34
PROMEDIO	4.07	4.27	3.95	1.11	0.92
MÁXIMO	6.93	4.73	4.69	2.66	2.89

RESUMEN				
	diferencia DWE	diferencia SWE	Coef vel DWE	Coef vel SWE
PROMEDIO	1.00	0.87	0.99	0.97
MÁXIMO	6.51	3.11	1.39	1.37