

**MODELACIÓN DE UNA ESTRUCTURA HIDRÁULICA DE CONFLUENCIA DE
CANALES URBANOS. (CASO ESTUDIO: RÍO ARZOBISPO, BOGOTÁ D.C.)**



PRESENTADO POR:
NOMBRE: JOHANN SEBASTIAN TORRES GARZÓN CÓDIGO: 503739
NOMBRE: JAIRO LEONARDO VIVAS LUNA CÓDIGO: 503888

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD
BOGOTÁ
2018

**MODELACIÓN DE UNA ESTRUCTURA HIDRÁULICA DE CONFLUENCIA DE
CANALES URBANOS. (CASO ESTUDIO: RÍO ARZOBISPO, BOGOTÁ D.C.)**



PRESENTADO POR:
NOMBRE: JOHANN SEBASTIAN TORRES GARZÓN CÓDIGO: 503739
NOMBRE: JAIRO LEONARDO VIVAS LUNA CÓDIGO: 503888

TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR
GUILLERMO HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD
BOGOTÁ
2018



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

BOGOTÁ, MAYO 2018

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
1. GENERALIDADES.....	13
1.1 ANTECEDENTES.....	13
1.1.1 Recorrido por el río Arzobispo.....	13
1.1.2 Historia.....	13
1.1.3 Mantenimiento.....	14
1.1.4 Limpieza comunitaria.....	14
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1 Descripción del problema.....	14
1.2.2 Formulación del problema.....	15
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 Objetivo general.....	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
1.4 JUSTIFICACION.....	16
1.5 DELIMITACIÓN.....	16
1.5.1 Espacio.....	16
1.5.1.1 Datos.....	16
1.5.1.2 El sector a estudiar.....	17
1.5.2 Tiempo.....	17
1.5.2.1 Caudales.....	17
1.5.3 Contenido.....	17
1.5.4 Alcance.....	17
1.6 MARCO REFERENCIAL.....	17
1.6.1 Marco teórico.....	17
1.6.1.1 Canal hidráulico.....	17
1.6.1.2 Clasificación de los canales.....	18
• Canales naturales.....	18
• Canales artificiales.....	18
• Canales de riego.....	19
1.6.1.3 Modelación hidráulica.....	19
1.6.1.4 Clasificación de modelos hidráulicos.....	19
• Modelo físico.....	19

• Modelos analógicos.....	19
• Modelo matemático.....	19
1.6.1.5 Elementos geométricos de un canal.....	20
1.6.1.6 Tipos de flujo	21
• Flujo permanente.....	21
• Flujo no permanente.....	21
• Flujo uniforme.....	21
• Flujo no uniforme.....	21
1.6.1.7 Régimen de flujo.....	21
1.6.1.8 Flujo crítico	22
1.6.1.9 Flujo suscritico.....	22
1.6.1.10 Flujo supercrítico.....	22
1.6.1.11 Diseño de secciones hidráulicas.....	22
1.6.1.12 Criterios de diseño.....	23
1.6.1.13 Rugosidad.....	23
1.6.1.14 Software HEC-RAS.....	23
1.6.2 Marco conceptual.....	25
1.7 METODOLOGÍA	26
1.7.1 Fuentes de información.....	26
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO.....	26
1.8.1 Objetivo específico 1.....	26
1.8.1.1 Visita de campo.....	26
1.8.1.2 Topografía.....	26
1.8.2 Objetivo específico 2.....	27
1.8.2.1 Construcción del modelo.....	27
1.8.2.2 Modelar para diferentes caudales y periodos de retorno.....	27
1.8.2.3 Análisis de velocidades de flujo, energía, fuerza específica.....	27
1.8.2.4 Identificar el Régimen de flujo del tramo en estudio.....	27
1.8.3 Objetivo específico 3.....	27
1.8.3.1 Análisis de niveles de agua.....	27
1.8.3.2 Zonas de desbordamiento.....	27
1.8.3.3 Riesgo de colapso de la estructura que soporta la vía Av. 68	27
2. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA	28

2.2	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	30
2.2.1	Delta 1.	30
	Ilustración 9. Posición Delta 1.....	31
2.2.2	Delta 2	31
2.2.3	Topografía de la estructura hidráulica.....	32
2.2.3.1	Topografía del.....	33
2.2.3.2	Topografía, secciones.....	33
2.2.3.3	Topografía de la estructura vial	37
2.3	DIMENSIONAMIENTO	39
2.3.1	Estructura hidráulica Rio Negro	40
2.3.1.1	Sección 1	41
2.3.1.2	Sección 2	42
2.3.1.3	Sección 3	43
2.3.2	Estructura hidráulica Rio Arzobispo parte superior	44
2.3.2.1	Sección 4	45
2.3.2.2	Sección 5	46
2.3.3	Estructura hidráulica Rio Nuevo	46
2.3.3.1	Sección 6	47
2.3.3.2	Sección 7	48
2.3.4	Estructura hidráulica Rio Arzobispo parte inferior.....	49
2.3.4.1	Sección 8	50
2.3.4.2	Sección 9.	51
2.3.5	Sitio de confluencia de los tres canales hidráulicos	51
2.3.5.1	Sección 10	52
2.3.6	Estructura vial	53
3.	MODELACION HIDRAULICA.	55
3.1	ELEMENTOS GEOMÉTRICOS Y CAUDALES	55
3.1.1	Pendientes entre secciones.....	55
3.1.2	Caudales de las secciones a distintas alturas del canal	56
3.2	MODELACIÓN HEC-RAS.....	60
3.2.1	Modelo condición geométrica	60
3.3	RESULTADOS	63
3.3.1	Modelación #1 Altura H-5	64
3.3.2	Modelación # 2 Altura H4.....	74

3.2.3 Modelacion #3 H-3.....	82
3.3.4 Modelación #4 H-2.....	91
2.3.5 Modelación # 5 H-1.....	100
CONCLUSIONES	113
RECOMEDACIONES	114
BIBLIOGRAFIA.....	115
ANEXOS.....	117

TABLA DE FIGURAS

Ilustración 1. Flujo en Conductos	18
Ilustración 2. Sección transversal de un canal.....	20
Ilustración 3. Marco conceptual	25
Ilustración 4. Ubicación canal Río Arzobispo.....	28
Ilustración 5. Base y Confluencia de los 3 canales.....	29
Ilustración 6. Puente peatonal, canal Río Negro	29
Ilustración 7. Diseño de la estructura hidráulica.....	30
Ilustración 8. Delta 1	31
Ilustración 9. Posición Delta 1	31
Ilustración 10. Vista Delta 2	32
Ilustración 11. Posición Delta 2.....	32
Ilustración 12. Topografía del terreno.....	33
Ilustración 13. Sección hombro, Río Negro	34
Ilustración 14. Sección corona, Río Negro.....	34
Ilustración 15. Profundidad, Río Negro	35
Ilustración 16. Sección izquierda, Río Arzobispo.....	35
Ilustración 17. Profundidad sección, Río Arzobispo.....	36
Ilustración 18. Sección derecha, Río Arzobispo.....	36
Ilustración 19. Sección Box Culver.	37
Ilustración 20. Topografía izquierda, estructura vial.....	37
Ilustración 21. Topografía central, estructura vial.....	38
Ilustración 22. Topografía central, estructura vial.....	38
Ilustración 23. Altura de la rampa, Canal Rio Negro	39
Ilustración 24. Vista canal Rio Negro.....	40
Ilustración 25. Perfil de la sección 1	41
Ilustración 26. Vista sección 2.....	42
Ilustración 27. Perfil sección 2	43
Ilustración 28 Perfil sección 3.	44
Ilustración 29. Vista canal Arzobispo parte superior	44
Ilustración 30. Perfil sección 4	45
Ilustración 31. Perfil sección 5.	46
Ilustración 32. Vista canal Rio Nuevo	47
Ilustración 33. Perfil sección 6	48
Ilustración 34. Perfil sección 7	49
Ilustración 35. Vista canal Arzobispo parte inferior.....	49
Ilustración 36. Perfil sección 8	50
Ilustración 37. Perfil sección 9	51

Ilustración 38. Vista sitio de confluencia.....	52
Ilustración 39. Perfil sección 10	53
Ilustración 40. Vista estructura vial.....	53
Ilustración 41. Perfil Puente	54
Ilustración 42. Canal general identificando su característica geométrica.....	60
Ilustración 43. Modelación de secciones por tramos	61
Ilustración 44. Caudales para modelar el Canal Río Arzobispo.....	61
Ilustración 45. Condición de flujo permanente.....	62
Ilustración 46. Perfil del Canal Río Arzobispo	62
Ilustración 47. Resultados condición actual del canal	63
Ilustración 48. Sección 1 Río Negro, Caudal 16.861 m3/s	64
Ilustración 49. Sección 2 Río Negro, Caudal 16.861 m3/s	64
Ilustración 50. Sección 3 Río Negro, Caudal 16.861 m3/s	65
Ilustración 51. Sección 4 Río Arzobispo, Caudal 22.49 m3/s	66
Ilustración 52. Sección 5 Río Arzobispo, Caudal 22.49 m3/s	67
Ilustración 53. Sección 6 Río Nuevo, Caudal 1.091 m3/s.....	68
Ilustración 54. Sección 7 Río Nuevo, Caudal 1.091 m3/s.....	69
Ilustración 55. Sección 8 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 34.612 m3/s	70
Ilustración 56. Sección 9 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 34.612 m3/s	71
Ilustración 57. Sección 9 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 34.612 m3/s	71
Ilustración 58. Perfil de llenado, Río Negro Sección 1,2 y 3.....	73
Ilustración 59. Perfil de llenado, Río Arzobispo Sección 4 y 5... ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 60. Perfil de llenado, Río Nuevo Sección 6 y 7	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 61. Perfil de llenado, Canal Río Arzobispo, sección 8,9 y 10 .¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 62. Perfil Canal General..... ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 63. Sección 1 Canal Negro, Caudal 48.034 m3/s	74
Ilustración 64. Sección 2 Río Negro, Caudal 48.034 m3/s	74
Ilustración 65. Sección 3 Río Negro, Caudal 48.034 m3/s	75
Ilustración 66 Sección 4 Río Arzobispo, Caudal 69.977 m3/s	76
Ilustración 67. Sección 5 Río Arzobispo, Caudal 69.977 m3/s	76
Ilustración 68. Sección 6 Río Nuevo, Caudal 6.836 m3/s.....	77
Ilustración 69. Sección 7 Río Arzobispo, Caudal 6.836 m3/s	78
Ilustración 70. Sección 8 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 128.265 m3/s	79
Ilustración 71. Sección 9 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 128.265 m3/s	79
Ilustración 72. Sección 10 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 128.265 m3/s	80
Ilustración 73. Perfil de llenado, Río Negro Sección 1,2 y 3.....	80
Ilustración 74. Perfil de llenado, Río Arzobispo Sección 4 y 5.....	81
Ilustración 75. Perfil de llenado, Río Nuevo Sección 6 y 7	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 76. Perfil de llenado, Canal Río Arzobispo, sección 8,9 y 10 .¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 77. Perfil Canal General, Modelación 2..... ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 78. Sección 1 Canal Negro, Caudal 48.034 m3/s	82
Ilustración 79. Sección 2 Río Negro, Caudal 48.034 m3/s	82
Ilustración 80. Sección 3 Río Negro, Caudal 48.034 m3/s	83
Ilustración 81. Sección 4 Río Arzobispo, Caudal 69.977 m3/s	84
Ilustración 82. Sección 5 Río Arzobispo, Caudal 69.977 m3/s	84
Ilustración 83. Sección 6 Río Nuevo, Caudal 6.836 m3/s.....	86
Ilustración 84. Sección 7 Río Arzobispo, Caudal 6.836 m3/s	86
Ilustración 85. Sección 8 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 128.265 m3/s	88
Ilustración 86. Sección 9 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 128.265 m3/s	88
Ilustración 87, Sección 10 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 128.265 m3/s	89
Ilustración 88. Perfil de llenado, Río Negro Sección 1,2 y 3..... ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 89. Perfil de llenado, Río Arzobispo Sección 4 y 5.....	90

Ilustración 90. Perfil de llenado, Río Nuevo Sección 6 y 7	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 91. Perfil de llenado, Canal Río Arzobispo, sección 8,9 y 10. ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 92. Perfil Canal General.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 93. Sección 1 Canal Negro, Caudal 177.05 m3/s	91
Ilustración 94. Sección 2 Río Negro, Caudal 177.05 m3/s	91
Ilustración 95. Sección 3 Río Negro, Caudal 177.05 m3/s	92
Ilustración 96. Sección 4 Río Arzobispo, Caudal 648.276 m3/s	93
Ilustración 97. Sección 5 Río Arzobispo, Caudal 648.76 m3/s	93
Ilustración 98. Sección 6 Río Nuevo, Caudal 25.933 m3/s.....	95
Ilustración 99. Sección 7 Río Arzobispo, Caudal 25.933 m3/s	95
Ilustración 100. Sección 8 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 872.186 m3/s	97
Ilustración 101. Sección 9 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 872.186 m3/s	97
Ilustración 102. Sección 10 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 872.186 m3/s	98
Ilustración 103. Perfil de llenado, Río Negro Sección 1,2 y 3.....	98
Ilustración 104. Perfil de llenado, Río Arzobispo Sección 4 y 5.....	99
Ilustración 105. Perfil de llenado, Río Nuevo Sección 6 y 7	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 106. Perfil de llenado, Canal Río Arzobispo, sección 8,9 y 10¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 107. Perfil Canal General.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 108. Sección 1 Canal Negro, Caudal 283.955 m3/s	100
Ilustración 109. Sección 2 Río Negro, Caudal 283.955 m3/s	100
Ilustración 110. Sección 3 Río Negro, Caudal 283.955 m3/s	101
Ilustración 111. Sección 4 Río Arzobispo, Caudal 1156.624 m3/s	101
Ilustración 112. Sección 5 Río Arzobispo, Caudal 1156.624 m3/s	102
Ilustración 113. Sección 6 Río Nuevo, Caudal 36.564 m3/s.....	104
Ilustración 114. Sección 7 Río Arzobispo, Caudal 36.564 m3/s	104
Ilustración 115. Sección 8 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 1438.578 m3/s	106
Ilustración 116. Sección 9 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 1438.578 m3/s	106
Ilustración 117. Sección 10 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 1438.578 m3/s	107
Ilustración 118. Perfil de llenado	107

TABLA DE TABLAS

Tabla 1. Elevación y distancias, sección 1.....	41
Tabla 2. Elevación y distancias, sección 2.....	42
Tabla 3. Elevación y distancias, sección 3.....	43
Tabla 4. Elevación y distancias, sección 4.....	45
Tabla 5. Elevación y distancias, sección 5.....	46
Tabla 6. Elevación y distancias, sección 6.....	47
Tabla 7. Elevación y distancias, sección 7.....	48
Tabla 8. Elevación y distancias, sección 8.....	50
Tabla 9. Elevación y distancias, sección 9.....	51
Tabla 10. Elevación y distancias, sección 10.....	52
Tabla 11. Elevación y distancias, sección puente.....	54
Tabla 12. Elevación y distancias, sección baranda.....	54
Tabla 13. Pendiente sección 1 a sección 2.....	55
Tabla 14. Pendiente sección 2 a sección 3.....	55
Tabla 15. Pendiente sección 4 a sección 5.....	55
Tabla 16. Pendiente sección 6 a sección 7.....	56
Tabla 17. Pendiente sección 8 a sección 9.....	56
Tabla 18. Pendiente sección 10, lugar de confluencia.....	56
Tabla 19. Caudales, sección 1	56
Tabla 20. Caudales, sección 2	57
Tabla 21. Caudales, sección 3	57
Tabla 22. Caudales, sección 4	57
Tabla 23. Caudales, sección 5	58
Tabla 24. Caudales, sección 6	58
Tabla 25. Caudales, sección 7	58
Tabla 26. Caudales, sección 8	59
Tabla 27. Caudales, sección 9	59
Tabla 28. Geometría, sección 10.	59
Tabla 29. Caudales, sección 10	60

INTRODUCCIÓN.

En el presente trabajo de investigación se busca estudiar y analizar el comportamiento hidráulico fluido que presenta el canal por donde pasa el Río Arzobispo. En base a estudios topográficos e hidráulicos se evaluará el comportamiento de la unión entre tres canales urbanos bajo diferentes condiciones de flujo y periodos de retorno.

El análisis y modelación hidráulica permitirán caracterizar e identificar las zonas de riesgo que pueda afectar un posible desbordamiento en el sitio de confluencia, así como un deterioro en la estructura vial de la Avenida 68 con calle 80 y posibles inundaciones en el sector urbano. El canal del Río Arzobispo está ubicado entre los barrios Simón Bolívar y Entre Ríos a la altura de la Avenida Carrera 68 con Calle 80.

El estudio y procedimiento de este trabajo de investigación se realizará por medio de estudios topográficos e hidráulicos en donde se pueda tener un modelamiento claro de la estructura, analizando cómo se pueden satisfacer las necesidades y problemáticas de la zona. Para finalizar la expectativa del proyecto es encontrar un diagnóstico preciso en el cual se pueda establecer posibles soluciones.

1. GENERALIDADES

En este título se especifican los antecedentes, el planteamiento del problema, los objetivos, su respectiva justificación, la delimitación, el marco referencial, el cual incluye el marco teórico y conceptual, la metodología y el diseño metodológico de acuerdo a la modelación hidráulica de la estructura del canal en el sitio de confluencia de los tres canales que allí se conectan; como lo son el Rio Nuevo, Rio Negro y Rio Arzobispo , el cual es el rio principal en el punto.

1.1 ANTECEDENTES

A continuación, se darán varios antecedentes sobre el rio Arzobispo y mantenimientos que ha tenido el canal a la altura de la Av. Carrera 68 y la Calle 80.

1.1.1 Recorrido por el río Arzobispo

El rio Arzobispo, más conocido como el rio Salitre tiene una longitud de 21.56 km que nace en el parque nacional y desemboca en el rio Bogotá, el rio salitre está dividido en cuatro tramos; el primer tramo corresponde desde el nacimiento del rio Arzobispo y la Carrera 7, el segundo entre la Carrera 7 y la Carrera 30, el tercer tramo se comprende entre la Carrera 30 y la Calle 80 sitio en el cual se va a centrar el trabajo de investigación, y el cuarto tramo y ultimo va desde la Calle 80 hasta la planta de tratamiento de aguas residuales. (EL TIEMPO [en línea]. (14 de jul., 2008). Disponible en: <<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4376415>> [Citado el 12 de marzo de 2018])

1.1.2 Historia

Históricamente el rio Arzobispo hizo parte en el siglo XIX del paisaje urbano, el suministro de materias primas para la construcción de la ciudad y uno de los más importantes el abastecimiento de agua potable y fue uno de los principales recursos hídricos potables para alimentar las pilas y chorros de Bogotá. (SANDOVAL GONZÁLEZ, NICOLÁS. El Arzobispo, más que un separador vial [en línea]. <http://evirtual.lasalle.edu.co/info_basica/nuevos/guia/GuiaClaseNo.3.pdf> [Citado el 12 de marzo de 2018])

1.1.3 Mantenimiento

La primera intervención que se le hizo al canal donde se interceptan el río Nuevo, el río Negro y el Río Arzobispo fue en el año 2009, donde la contaminación era la mayor preocupación de la comunidad. Esta rehabilitación del canal prometía la eliminación de las basuras que generaban olores repugnantes.

En esta obra se construyó un canal de aguas mínimas para mejorar la fuerza de arrastre y evitar sedimentación en el lugar, también se construyó una sección transversal que se creía que era la solución para el desvío de aguas contaminantes hacia la planta de tratamiento de agua potable. Después de finalizado el mantenimiento la obra fue un fracaso debido a que siguieron los problemas de contaminación y la obra como tal se pudría entre hierros oxidados y basura; para finalizar el presupuesto de la obra fue aproximadamente de 12.156 millones de pesos. (EL TIEMPO [en línea]. (02 de nov., 2013). Disponible en: <<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13156141> > [Citado el 12 de marzo de 2018])

1.1.4 Limpieza comunitaria

El día 01 de septiembre de 2013 se hizo una limpieza comunitaria para la recuperación del río Arzobispo debido al gran nivel de basuras en el sector en la cual participo la comunidad y el distrito. (NATURALEZA. Jornada de apropiación, recuperación y limpieza del Río Arzobispo Localidad de Teusaquillo [en línea]. <<http://naturalezaypatrimonio.com/rio-arzobispo-sigue-vivo-limpieza-1-sept/>> [Citado el 12 de marzo de 2018])

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema

En el presente proyecto a realizar, se tendrán varios factores y problemáticas a explorar, en donde la principal problemática es el riesgo de desbordamiento del canal en el punto de confluencia, es decir, en el punto más crítico, el cual genera inconvenientes, tanto para el sector urbano del lugar como también los problemas de movilidad y daños estructurales que pueda tener la vía Av. Carrera 68 que pasa por un tramo del río Arzobispo.

Esta problemática se debe primero a la contaminación que ocasionan los residuos domésticos que se generan por parte de la comunidad, en donde la falta de cultura ciudadana y los pocos lugares que se tienen asignados para estos residuos forman un porcentaje elevado para el desbordamiento del canal. Otro

factor importante de este problema es el mal dimensionamiento de la infraestructura del canal en los puntos críticos, debido a que no se tienen en cuenta los altos periodos de lluvia y el régimen de flujo en el sitio a tratar.

1.2.2 Formulación del problema

Se realizará un análisis hidráulico en la zona en que se unen los tres canales y también en el punto donde se ve afectada la vía, primero para saber el riesgo de inundación en el sector, segundo para saber qué grado de posibilidad hay de que la estructura vial puede llegar a colapsarse y por último tener una imagen clara y adecuada del dimensionamiento de la estructura hidráulica, específicamente entre la intersección de los tres ríos y la estructura vial.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Modelar hidráulicamente una estructura de confluencia de canales con el fin de identificar riesgos de inundación en su zona de influencia.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar una caracterización topográfica de la estructura hidráulica bajo estudio e identificar la zona de influencia con posible riesgo de inundación.
- Modelar hidráulicamente la estructura de confluencia utilizando una herramienta computacional para analizar el comportamiento de la obra civil.
- Analizar el riesgo de inundación que se genera debido a la unión de caudales provenientes de los canales que conforman la estructura.

1.4 JUSTIFICACION

Este trabajo de investigación está centrado en el ámbito de la modelación de canales, en donde el punto neutro de la investigación se centra en el lugar donde se interceptan tres canales importantes de Bogotá, como lo son el canal Río Nuevo, el canal Río Negro y el canal del Río Arzobispo.

La importancia de este trabajo se basa en la fuerza y cantidad de caudal con el que llega el agua a éste punto en especial, debido a las grandes problemáticas que tiene este sector de la ciudad al momento de tener una época de invierno fuerte, como en la zona residencial que existe en este sector o bien sea el tema vial, ya que, en la unión de estos tres canales, a pocos metros se encuentra una vía muy importante de Bogotá, como lo es la Av. Carrera 68.

Una de las principales problemáticas es el desbordamiento del canal en épocas de lluvia, esto produce inundaciones en los lugares cercanos, ya sea, en la zona residencial o comercial. En donde por medio de la investigación se logrará evaluar la zona de confluencia de los canales por diferente clase de estudios y datos que se encontraran en campo, llegando así a encontrar una solución adecuada que contra-reste en su totalidad este problema.

Las bajas pendientes en el tramo a estudiar ocasionan que la velocidad disminuya generando problemas de sedimentación y de descomposición orgánica. La materia que se acumula en esta parte del canal se empieza a descomponer, razón por la cual el sector comprendido entre el barrio Ríos y la Calle 80 presenta malos olores. A la altura de la avenida 68, los canales de Río Negro y Río Nuevo, que transportan las aguas del norte y la zona de apartamentos de Metrópolis respectivamente, tienden a disminuir aún más la velocidad del río, debido a la carga contaminante del sector.

1.5 DELIMITACIÓN

1.5.1 Espacio

1.5.1.1 Datos. No se obtendrán datos muy precisos, ya que la topografía es un poco complicada de determinar, debido al terreno y superficie de confluencia, otro factor que influye, es el equipo con el que se va a trabajar, el cual es manual y por consiguiente tiende a arrojar datos con errores considerables.

1.5.1.2 El sector a estudiar. Tiene un alto grado de contaminación ambiental, donde los desperdicios domésticos y comerciales dificultan la investigación ya que estos residuos se contraen en las zonas bajas canal.

1.5.2 Tiempo

1.5.2.1 Caudales. No se pueden conseguir datos estadísticos de caudales, ya que ninguna entidad privada o la EAAB (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá) provee los documentos necesarios para hacer un análisis más detallado y más preciso del sistema hidráulico y no hay el suficiente tiempo ni los diferentes equipos disponibles para la realización de unos estudios de caudales en las épocas de lluvia, que puedan dar a conocer las diferencias entre los caudales en los tiempos secos y los tiempos de lluvia.

1.5.3 Contenido

Las delimitaciones que se presentan a lo largo del proyecto, son las cuales por medio de diferentes procesos, métodos y procedimientos se deben suprimir de acuerdo a cada una de las actividades; no solo tenemos este tipo de limitaciones, las cuales tienen una solución; también se tendrán las que en el trabajo de investigación no se podrán realizar, una de ellas es la recuperación, restauración y mantenimiento de la estructura hidráulica ya que no se tendrá el recurso económico necesario para comenzar con este proceso.

1.5.4 Alcance

El proyecto se encuentra ubicado en la Avenida 68 con Calle 80, donde se desarrollará un estudio topográfico en el cual se obtendrán datos de altimetría y planimetría del sector a intervenir. Se realizará un modelo hidráulico con el programa HEC-RAS y se procederá con un análisis bajo condiciones de precipitaciones con valores altos y así lograr un mejor diagnóstico del porque ocurren las inundaciones en este sector de Bogotá.

1.6 MARCO REFERENCIAL

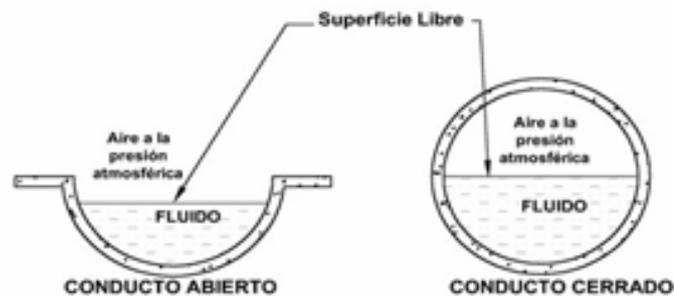
1.6.1 Marco teórico

1.6.1.1 Canal hidráulico. El canal es un conducto cerrado o abierto por el cual el fluido (agua) circula sin ninguna presión y debido a la fuerza que ejerce la

gravidad, pues donde la superficie del fluido está en contacto con la atmósfera, es decir, que el agua fluye sobre el canal con una presión atmosférica.

También se usa como canal artificial de navegación, en donde la función y su diseño son parte fundamental de la hidráulica y se centra en el campo de la ingeniería civil. (RODRIGUEZ RUIZ, PEDRO. Conceptos y elementos de una canal [en línea]. <<https://civilgeeks.com/2010/11/10/conceptos-y-elementos-de-un-canal/>> [Citado el 26 de marzo de 2018])

Ilustración 1. Flujo en Conductos



(RODRIGUEZ RUIZ, PEDRO. Conceptos y elementos de una canal [en línea]. <<https://civilgeeks.com/2010/11/10/conceptos-y-elementos-de-un-canal/>> [Citado el 04 de abril de 2018])

1.6.1.2 Clasificación de los canales.

- **Canales naturales.** Un canal natural se les llama a las deprecaciones naturales de la corteza terrestre, donde algunos tienen alta profundidad y otros son poco profundos, de acuerdo a lugar donde se encuentren.

Estos canales intervienen en los diferentes tipos de agua que existen en la tierra, los cuales se modifican desde pequeños arroyuelos en lugares montañosos hasta arroyos, quebradas, ríos grandes y pequeños, y estuarios de mareas. Los canales abiertos naturales son considerados como corrientes subterráneas las cuales transportan agua con una superficie libre; ya que los canales naturales tienen propiedades hidráulicas sobre el canal. (WIKIPEDIA. Canal (Ingeniería) [en línea]. <[https://es.wikipedia.org/wiki/Canal_\(ingenier%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Canal_(ingenier%C3%ADa))> [Citado el 26 de marzo de 2018])

- **Canales artificiales.** Los canales artificiales son los que se desarrollaron por la mano del hombre, que son: los canales de navegación, riego, canales de centrales hidroeléctricas, alcantarillado pluvial, sanitario, control de inundaciones, canaletas de madera, canales de desborde, canales de modelos construidos en laboratorio y cunetas a lo largo de carretera.

Estos canales generalmente se diseñan con forma prismática, como un canal construido con una sección transversal con pendiente de fondo constante y una sección inalterable, por eso se conoce como canal prismático. La sección del canal se toma de forma perpendicular de acuerdo con la dirección del flujo. (NINA,WALTER.Canalesnaturales[enlínea]. <<http://walter24na.blogspot.com.co/2013/02/canales-naturales.html>> [Citado el 26 de marzo de 2018])

- **Canales de riego.** Se denominan canales de riego a los que tienen como función conducir el agua de capitación hasta la huerta o campo donde serán regados los cultivos. En el ámbito de la ingeniería son parte fundamental ya que deben ser cuidadosamente elaborados para tratar que se gaste la menor cantidad de agua posible y para evitar daños en el medio ambiente. Están reducidamente vinculados a las características que pueda tener el terreno siguiendo las curvas de nivel, descendiendo lentamente hacia una pendiente baja, para que el agua pueda fluir rápidamente y se gaste menos agua. (WIKIPEDIA. Canal de riego [en línea]. <https://es.wikipedia.org/wiki/Canal_de_riego > [Citado el 26 de marzo de 2018])

1.6.1.3 Modelación hidráulica. En el campo hidráulico la modelación se ha desarrollado satisfactoriamente, en donde existen varios estudios de diseño hidráulico realizados en la antigüedad, mediante pequeñas representaciones de máquinas y estructuras por el cual se ha llegado a mencionar como los principios fundamentales de la hidráulica; pero con el tiempo se pudieron hacer experimentos hidráulicos que se llevaban a cabo en una escala real ya sea en canales, tuberías vertederos y presas.

1.6.1.4 Clasificación de modelos hidráulicos.

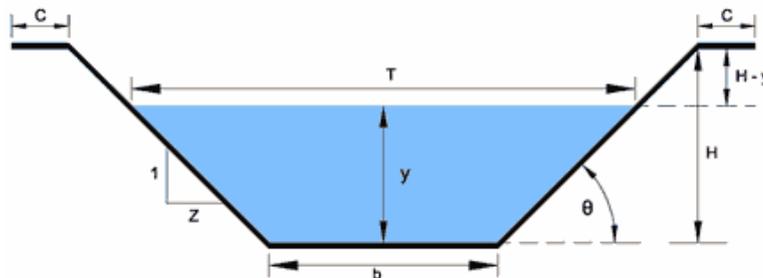
- **Modelo físico.** En relación con una obra de ingeniería, la simulación física de un caso hidráulico en un sistema semejante, permite controlarlo y observarlo con mucha facilidad, además ratifica la validez de diseño de la obra optimizando los efectos colaterales, que deberán ser considerados en el plazo de ejecución del proyecto.
- **Modelos analógicos.** En la reproducción de un prototipo de estudio en un sistema físico que es diferente al modelo convencional, pero que aprovecha la semejanza de las leyes matemáticas en ambos sistemas.
- **Modelo matemático:** El uso de este modelo no es muy común en la actualidad; es frecuente que uno de los dos casos de estudio sea de mayor facilidad que el otro por lo que éste trabaja para resolver el otro. De acuerdo con lo anterior el fenómeno análogo tiene la posibilidad de resolver problemas

hidráulicos teniendo en cuenta mediciones hechas anteriormente. ((UNIVERSIDAD DE PIURA. MODELACIÓN HIDRÁULICA. En: Biblioteca UDEP [base de datos en línea]. Capítulo 13-15 [Citado el 26 de marzo de 2018]))

1.6.1.5 Elementos geométricos de un canal. La sección de un canal este constituido por elementos geométricos, donde las propiedades de la sección del canal pueden ser definidas por la profundidad del flujo y en especial por la geometría de la sección. Los elementos geométricos son muy importantes y se utilizan bastante en el cálculo de flujo.

Para canales de sección rectangular y simple, los elementos geométricos pueden definirse matemáticamente en términos de la profundidad del flujo y de las diferentes dimensiones de la sección del canal. El canal trapezoidal de sección transversal es el más utilizado. (INGENIERIA CIVIL. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal [en línea]. <<http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/02/elementos-geometricos-de-la-seccion.html>> [Citado el 04 de abril de 2018])

Ilustración 2. Sección transversal de un canal



Dónde:

- y : Tirante de agua, altura que el agua adquiere en la sección transversal.
- θ : Ángulo de inclinación de las paredes laterales con la horizontal
- b : Base del canal.
- T : Superficie libre de agua.
- H : Profundidad total del canal.
- $H-y$: Borde libre.
- C : Ancho de la corona.

1.6.1.6 Tipos de flujo. Los tipos de flujo que hay en un canal abierto se realiza a partir de la variación de determinadas características del flujo con respecto al espacio y al tiempo, siendo las principales características la velocidad (V), el caudal (Q) y la profundidad de flujo (Y).

- **Flujo permanente.** Es el flujo donde la profundidad (Y) no varía con respecto al tiempo en un determinado punto de la sección transversal de una canal.

$$\frac{vy}{vt} = 0$$

- **Flujo no permanente.** Es el flujo donde la profundidad (Y) varia con respecto al tiempo en un determinado punto de la sección transversal.

$$\frac{vy}{vt} \neq 0$$

- **Flujo uniforme.** Es el flujo donde la profundidad (Y) permanece constante a lo largo de la longitud (L) del canal.

$$\frac{vy}{vt} = 0$$

- **Flujo no uniforme.** Es el flujo variado donde la profundidad (Y) varia a lo largo de la longitud (L) del canal.

$$\frac{vy}{vt} \neq 0 \text{ (FLUIDOS.EIA.EDU.CO. Flujo gradualmente graduado$$

[en línea].
<<http://fluidos.eia.edu.co/lhidraulica/guias/flujogradualmentevariado/flujogradualmentevariado.html>> [Citado el 6 de abril de 2018])

1.6.1.7 Régimen de flujo. El número de Froude (Fr) es un número de valor adimensional el cual está relacionado con la fuerza de inercia y la fuerza de gravedad las cuales están actuando sobre el líquido. Esto fue gracias al Ingeniero Inglés William Froude. La fórmula para determinar el número de Froude es:

$$Fr = \frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza de gravedad}}$$

En cuanto el número de Froude se encuentre en un canal abierto, esto arrojará datos sobre el estado de flujo hidráulico, mientras el número de Froude este en un canal se denomina como:

$$N.Fr = \frac{V}{\sqrt{Dh * g}}$$

Dónde:

- v: Velocidad media de la sección del canal.
- Dh: Profundidad hidráulica (A/T)
- A: Área de la sección transversal.
- T: Ancho de la lámina libre.
- g: Aceleración de la gravedad. (numeroDE. Número de Froude [en línea]. <<http://numerode.com/para/nmero-de-froude.php>> [Citado el 6 de abril de 2018])

1.6.1.8 Flujo crítico. El flujo Crítico demuestra una combinación entre las fuerzas gravitacionales e inerciales que lo transforman en un flujo inestable, donde en la mayor parte se encuentra en un estado variable e intermedio entre los diferentes tipos de flujo. Por esta razón su grado de confiabilidad para el diseño hidráulico es bajo. En este tipo de flujo el número de Froude es igual a 1 y debido a esto no genera resaltos hidráulicos en el sistema

1.6.1.9 Flujo suscritico. Además de flujo suscritico también se denomina flujo lento, porque el nivel efectivo del agua en determinada sección se condiciona con el nivel de que tenga la sección aguas abajo. El número de Froude es ($Fr < 1$).

1.6.1.10 Flujo supercrítico. Para el flujo supercrítico, también conocido como flujo veloz, en una sección determinada el nivel de agua efectivo está condicionado a la situación del contorno que está situada agua arriba. En este caso el número de Froude es ($Fr > 1$). (numeroDE. Número de Froude [en línea]. <<http://numerode.com/para/nmero-de-froude.php>> [Citado el 6 de abril de 2018])

1.6.1.11 Diseño de secciones hidráulicas. En el diseño de secciones hidráulicas se deben tener en cuenta varios componentes como lo son: Tipo de material del cuerpo del canal, coeficiente de rugosidad, velocidad máxima y mínima permitida, pendiente del canal y taludes.

La ecuación más utilizada es la de Manning y su expresión es:

$$Q = \frac{((A * Rh)^{2/3} * S^{1/2}}{N}$$

Donde:

- Q: Caudal.
- n: Rugosidad.
- A: Área.
- R: Radio hidráulico. $(A_h)/(P_m)$.
- A_h : Área húmeda.
- P_m : Perímetro mojado.

1.6.1.12 Criterios de diseño. En el diseño de canales abiertos se consideran varios factores, donde el diseño final se deberá hacer considerando las diferentes posibilidades y el resultado será una solución comprometida, debido a que nunca se podrá eliminar las desventajas y riesgos.

1.6.1.13 Rugosidad. Este concepto tiende a depender del talud y del cauce, porque las paredes laterales, irregularidad, vegetación, radio hidráulico, obstrucciones en el canal y trazado del canal, donde la probabilidad es diseñar los canales en tierra, para que inicialmente quede limpio, abierto y con un trazado uniforme, pero se debe tomar el valor inicial de la rugosidad asumiendo que se conservara con el tiempo, es decir, que prácticamente se hará un cambio continuo de la rugosidad. (Cuaderno virtual ppd. TOPOGRAFIA DE CANALES [en línea]. <<http://todotieneuninicioyfinal.blogspot.com.co/2016/09/topografia-de-canales.html>> [Citado el 6 de abril de 2018])

1.6.1.14 Software HEC-RAS. HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System), se denomina un programa para la modelación hidráulica unidimensional que está conformada por cuatro tipos de análisis:

- Modelización de flujo en régimen permanente.
- Modelización de flujo en el régimen no permanente.
- Análisis de calidad de aguas.
- Modelización de transporte de sedimentos. Modelización del transporte de sedimentos.

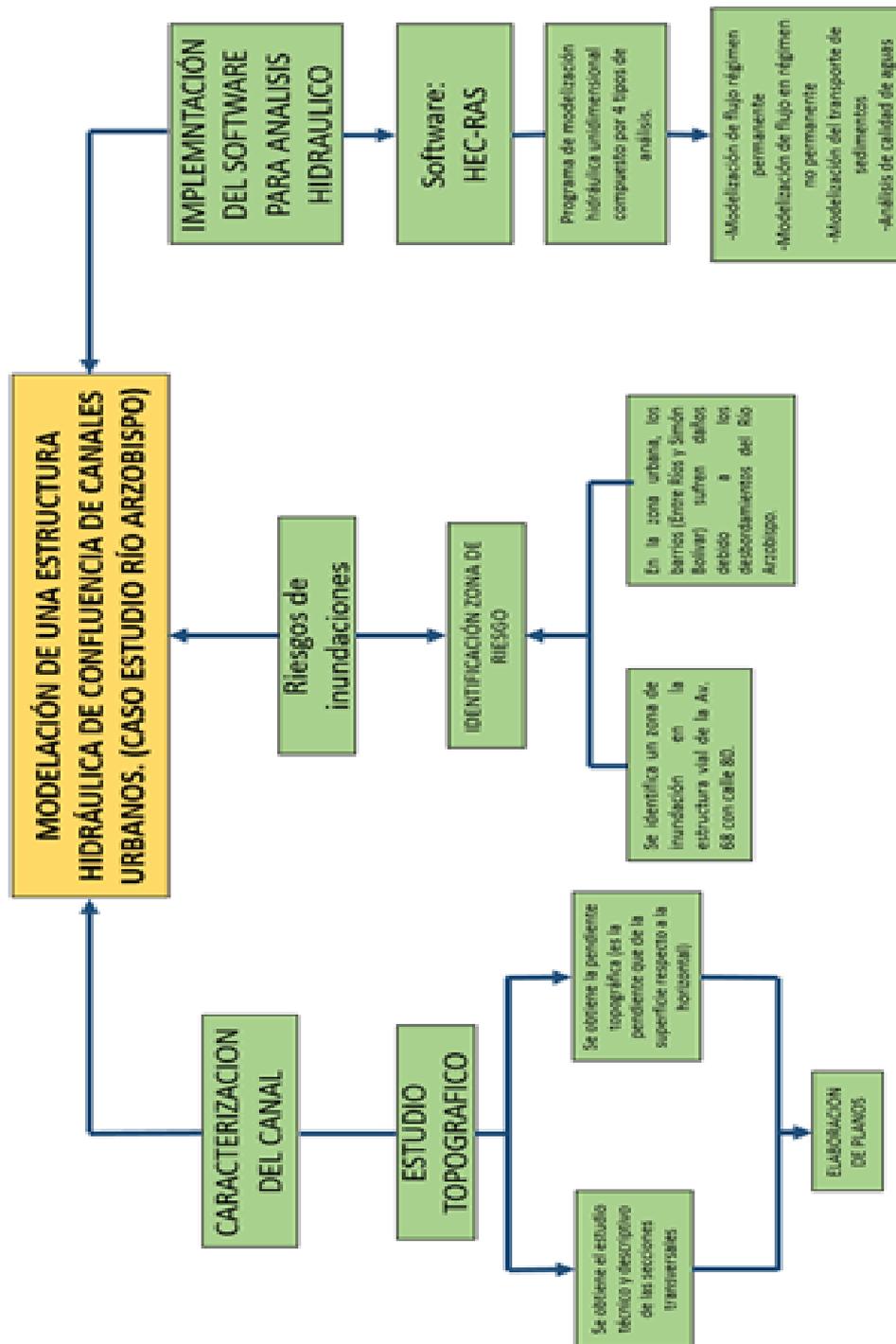
Este software nos permite simular el flujo en los canales artificiales y naturales para identificar el nivel del agua, donde su objetivo general es realizar estudios de inundabilidad y determinar las diferentes zonas de inundamiento.

Está constituido por una serie de procedimientos, herramientas y utilidades diseñadas para que pueda procesar datos georreferenciados lo cual permita realizar la modelación de los datos geométricos e importarlos al HEC-RAS, mediante a otro tipo de software creando un archivo de importación, que procede a tomar los datos de la geometría del terreno incluyendo las secciones transversales, el cauce del río, las líneas de flujo, etc. Ya con el archivo importado en el HEC-RAS, se empezará con la determinación de los cálculos hidráulicos y se identificarán los resultados de caudal y velocidad.

El HEC-RAS es un software totalmente gratuito su uso es bastante generalizado y se encuentra en un proceso continuo de actualizaciones por temporadas, debido a esto ha hecho que gran parte de administraciones hayan comenzado a exigirlo y usarlo. (BENAYAS POLO, REBECA. ¿Qué es HEC-RAS y opera que sirve? En: Grupo TYC GIS formación [en línea]. (24 de nov., 2014). <<http://www.cursosgis.com/que-es-hec-ras-y-para-que-sirve/> > [citado el 20 de abril de 2018])

1.6.2 Marco conceptual

Ilustración 3. Marco conceptual



Fuente: Autores

1.7 METODOLOGÍA

1.7.1 Fuentes de información. Con el aporte de tesis y artículos sobre el Río Arzobispo se hace un mejor análisis de los antecedentes y tener un buen criterio de la problemática de la zona a la cual se le va hacer el estudio, para datos de lluvia en la zona será solicitada en la base de datos del IDEAM el cual tiene las curvas de Intensidad Duración Frecuencia (IDF) el cual representa la intensidad o magnitud de una lluvia fuerte expresada en mm/hora, para una duración determinada que va en minutos y también una frecuencia expresada en años, esta última se conoce como periodo de retorno, estos datos son necesarios para modelar con ayuda del software HEC-RAS el canal del Río Arzobispo y así tener un mejor análisis de la problemática que presenta el sector de inundación en los periodos de altas lluvias. Con el programa Google Maps obtendremos los planos de la zona de influencia.

1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

1.8.1 Objetivo específico 1. Para el cumplimiento de este objetivo se realizará el siguiente proceso metodológico.

1.8.1.1 Visita de campo. Se realizará una visita de identificación y caracterización del tramo que compone el canal principal del Río Arzobispo en altura de la Av. 68 con Calle 80. El objeto de esta salida es obtener el dimensionamiento del canal e identificar las características geomorfológicas de las secciones del canal del Río Arzobispo en la altura de la Av. 68 con Calle 80.

1.8.1.2 Topografía. En la a salida de campo se planteará un estudio topográfico en el cual obtenemos el estudio técnico y descriptivo de las secciones transversales para el cálculo de volúmenes. Este estudio es importante para hallar las pendientes y el dimensionamiento de la estructura para realizar una caracterización e identificación del canal. Con la elaboración de los estudios de Altimetría y planimetría son necesarios para la elaboración del plano topográfico.

Con los datos tomados en el estudio topográfico realizamos el plano en AutoCAD para tener un mejor detalle del terreno, con esto conseguimos identificar y delimitar las respectivas áreas y los perfiles del canal por donde transita el Río Arzobispo.

Identificar las Áreas de la zona de influencia ya que en este punto se unen tres canales de escorrentía urbana los cuales son: Río Nuevo, Río Negro y Río Arzobispo. Esto se deben identificar ya que se puede hacer un mejor pronóstico del porque ocurren inundaciones y bajas velocidades cuando estos se unen en el canal Arzobispo.

1.8.2 Objetivo específico 2

1.8.2.1 Construcción del modelo. De acuerdo con los datos e información obtenidos por medio del objetivo específico, se realizará el diseño de la estructura hidráulica utilizando un software adecuado para observar desde diferentes puntos la estructura hidráulica a tratar.

1.8.2.2 Modelar para diferentes caudales y periodos de retorno. Con el diseño computacional de la estructura ya finalizado, se da inicio a la modelación de los diferentes caudales y periodos de retorno. Para los caudales y periodos de retorno del sistema, ya que, ninguna entidad del estado ni la empresa de acueducto y alcantarillado brinda datos exactos de los caudales y periodos en el sitio de confluencia, es necesario por diferentes métodos llegar a unos datos cercanos que puedan ayudar con la modelación y el comportamiento que pueda tener la estructura en diferentes periodos.

1.8.2.3 Análisis de velocidades de flujo, energía, fuerza específica. Un tercer paso, es el análisis de la velocidad, energía y fuerza específica de los tres canales, como también el análisis en el punto de confluencia. El cual se analizará para el periodo en donde la estructura hidráulica se encuentra en la situación más crítica y en una situación estable, que son los periodos de lluvia y periodos secos respectivamente; donde el modelo creado por el software Hec-Ras, permitirá ver las diferencias que hay de velocidad, energía y fuerza específica en el sitio de confluencia de los tres ríos y en la vía de la Av. 68.

1.8.2.4 Identificar el Régimen de flujo del tramo en estudio. Con ayuda del Software Hec-Ras, se obtendrá un mejor análisis del flujo y así hacer un mejor diagnóstico, para determinar el régimen de flujo que influye en la estructura en diferentes tramos.

1.8.3 Objetivo específico 3

1.8.3.1 Análisis de niveles de agua. Realizar un análisis de niveles de agua en diferentes puntos identificando los tramos donde se presenta los problemas de inundación y bajas velocidades del fluido.

1.8.3.2 Zonas de desbordamiento. Por medio del software HEC-RAS que nos permite modelar y hacer una evaluación de las condiciones hídricas

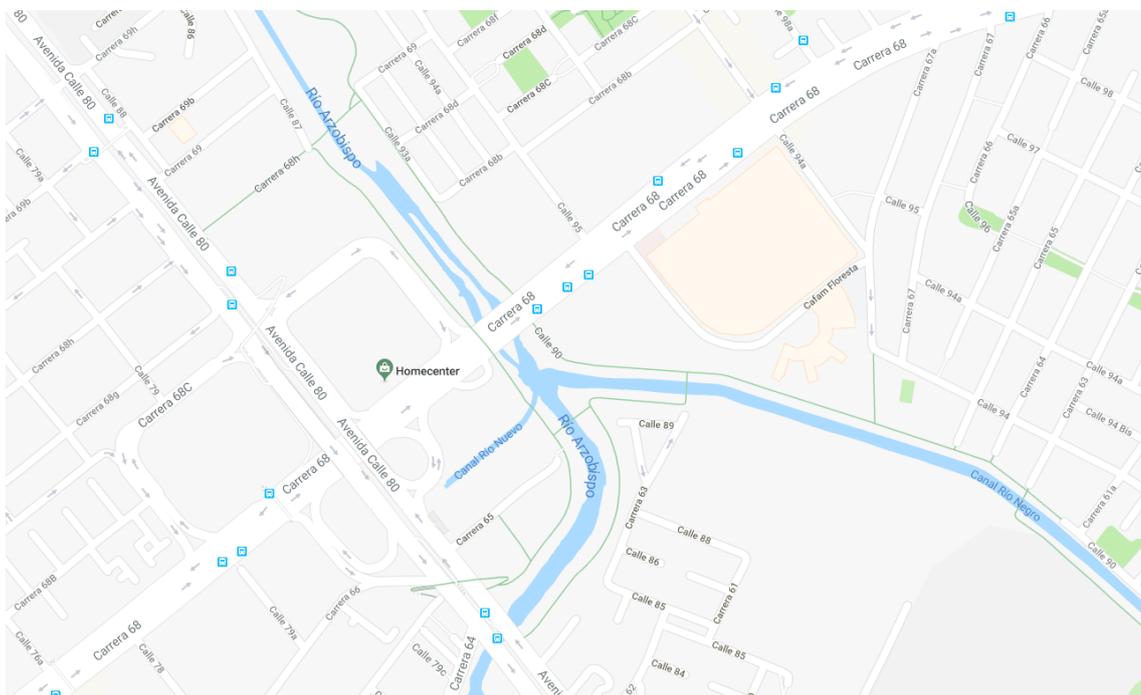
1.8.3.3 Riesgo de colapso de la estructura que soporta la vía Av. 68. Con el análisis hidráulico y estructural; se obtendrá una evaluación de posibles fallos estructurales ocasionados por inundaciones y bajas velocidades en el tramo entre la estructura vial y el canal.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA

2.1 VISITA TÉCNICA CANAL RÍO ARZOBISPO

Para la elaboración del estudio topográfico, con anterioridad se hizo una visita técnica, el día 12 de febrero del año 2018, para obtener un reconocimiento preliminar en el cual, se estudió las ubicaciones de los puntos donde se van a ubicar los deltas, y las características que presentan los tres ríos que desembocan en el Canal Río Arzobispo, a la altura de la 68 con Calle 90.

Ilustración 4. Ubicación canal Río Arzobispo



Fuente: GOOGLE MAPS

En esta visita se evidencian las afectaciones que sufre el Canal en esta altura, como son los malos olores y basuras que están sedimentadas por la baja velocidad que presenta el Río Arzobispo en el punto.

Se identificó las rutas de acceso, para tomar puntos en la base del canal, y así reconocer donde van a estar ubicadas las diferentes secciones.

Ilustración 5. Base y Confluencia de los 3 canales



Fuente: Autores

Otro punto importante está ubicado en el primer puente peatonal, subiendo de la avenida 68 a la avenida suba, este sirve como referencia de uno de los puntos deltas, para tomar las secciones del Río Negro y tener presente el Caudal que este le brinda a la estructura.

Ilustración 6. Puente peatonal, canal Río Negro

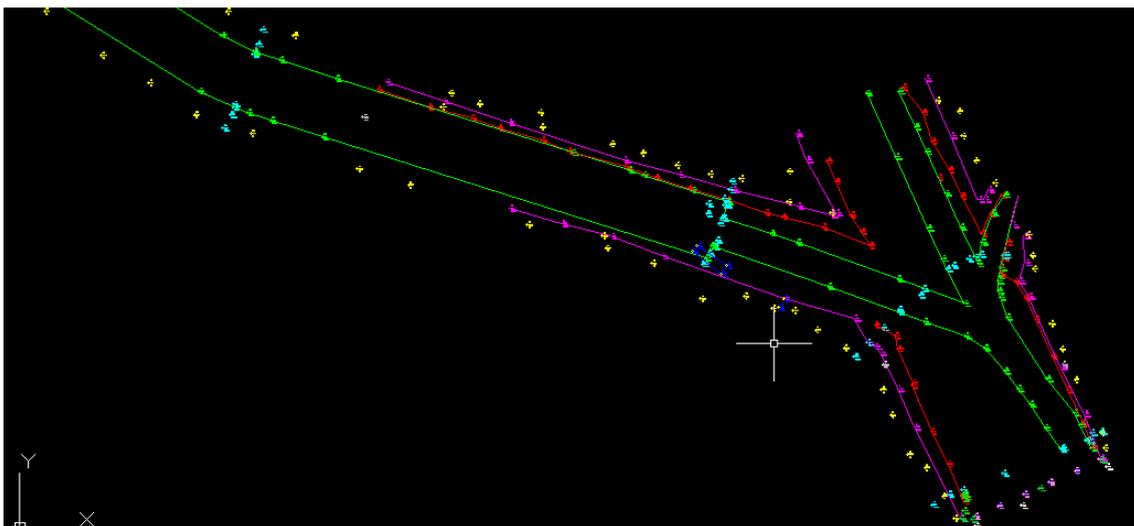


Fuente: Autores

2.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Se realizará un resumen general de todo el proceso del levantamiento topográfico que se realizó en la estructura hidráulica en el sitio de confluencia de los tres canales y continuando con el canal Río Arzobispo hasta la estructura vial de la Av. Carrera 68.

Ilustración 7. Diseño de la estructura hidráulica



Fuentes: Autores

2.2.1 Delta 1. El primer paso que se realizó fue la localización del Delta 1, ya que, era necesario que estuviera localizado adecuadamente para la buena ubicación y toma de datos, tanto los puntos topográficos de la parte alta, como lo puntos más bajos del canal; también se necesitaba una excelente localización del delta 1 para minimizar el número de estaciones, es decir, de deltas que se tendrían que tomar en toda la topografía de la estructura.

Otro dato importante es la coordenada de elevación donde se colocó el Delta 1 y las coordenadas de Norte y Este. La coordenada de elevación del Delta 1 fue de 100m, es decir, que todos los puntos tomados desde ese delta serán menores que este valor; y las coordenadas Norte y Este se tomaron arbitrariamente y de esas coordenadas, parten las coordenadas de cada uno de los puntos.

En este Delta se consiguió tomar la mayoría de los datos, tanto del terreno, hombro, corona, talud, superficie y profundidad de cada uno de los tres canales, la estructura y la continuación del canal hasta la estructura vial.

Ilustración 8. Delta 1



Fuente: Autores

Ilustración 9. Posición Delta 1



Fuente: Autores

2.2.2 Delta 2. Este Delta se tomó debido a que con el primer Delta no pudieron tomar todos los puntos topográficos necesarios de la estructura hidráulica, específicamente los puntos de la corona, superficie y profundidad del canal Río Negro y la rampa que se encuentra allí, exactamente en la parte izquierda, ya que, no se podían ver y tomar dichos puntos. Con este Delta ya tomado, se prosiguió a tomar los puntos faltantes y terminar con la topografía.

Ilustración 10. Vista Delta 2



Fuente: Autores

Ilustración 11. Posición Delta 2



Fuente: Autores

2.2.3 Topografía de la estructura hidráulica. La topografía inició tomando los puntos del terreno alrededor del canal, continuando con el hombro, corona, talud

y profundidad de los tres canales; tomando puntos de más o menos un intervalo de 10 a 15 metros; después se definieron diferentes secciones para cada uno de los canales y se tomó diferentes puntos para cada una de las secciones, esto con el fin de tener los datos de elevación, pendiente y forma que tienen los canales, para así llegar a obtener una modelación detallada de la estructura. A continuación, se mostrarán varias evidencias del cómo se tomó la topografía de la estructura hidráulica de los tres canales.

2.2.3.1 Topografía del canal. En esta primera fase de la topografía de la estructura, se realizó una topografía detallada a la parte externa del canal, es decir, al terreno natural situado al lado del canal, más o menos a unos de 2 a 5 metros del hombro del canal y se determinaron varios puntos alrededor de toda la estructura y así sucesivamente en partes importantes de la estructura. Y se tomó de la misma manera, alrededor de la estructura los puntos topográficos del hombro, talud, corona y profundidades del canal.

Ilustración 12. Topografía del terreno



Fuente: Autores

2.2.3.2 Topografía, secciones. En esta parte de la topografía, se buscaba tener una topografía detallada de las diferentes secciones de cada uno de los canales, ya que en cada canal eran distintas las formas de las secciones.

Se inició tomando el punto de la parte superior izquierda del canal, el hombro que es el punto principal donde comienza el canal, es decir, es la parte donde ya se tiene concreto; el segundo paso, era tomar el punto donde terminaba el talud y empezaba la pequeña corona del canal, continuando con otro punto al

final de la corona, después, se tomaba la primera profundidad del canal, que se encontraba después del segundo talud, luego se encontraba el segundo, pero más pequeño canal trapezoidal para algunas secciones de los canales; para el canal del Río Nuevo, no contenía este tipo de canal; en el punto antes del talud del segundo canal se tomó otro dato de la sección para así si proseguir a tomar la profundidad máxima del canal, por último, se hizo el mismo proceso con la topografía del lado derecho de la sección de cada uno de los distintos canales a distancias considerables.

Ilustración 13. Sección hombro, Río Negro



Fuente: Autores

Ilustración 14. Sección corona, Río Negro



Fuente: Autores

Ilustración 15. Profundidad, Río Negro



Fuente: Autores

Ilustración 16. Sección izquierda, Río Arzobispo



Fuente: Autores

Ilustración 17. Profundidad sección, Río Arzobispo



Fuente: Autores

Ilustración 18. Sección derecha, Río Arzobispo



Fuente: Autores

2.2.3.3 Topografía de la estructura vial. La estructura vial, fue la última parte de topografía. Primero, se tomaron los puntos de la parte de abajo de la estructura, los puntos separados por las columnas de los Box Culver; y se finalizó tomando la sección de parte superior del puente, tomando datos de la parte izquierda, centro y derecha

Ilustración 19. Sección Box Culver.



Fuente: Autores

Ilustración 20. Topografía izquierda, estructura vial



Fuente: Autores

Ilustración 21. Topografía central, estructura vial



Fuente: Autores

Ilustración 22. Topografía central, estructura vial



Fuente: Autores

En esta parte, se tomo la topografía de la rampa en un tramo del canal del Rio Negro, siyuado en una de las secciones, tomando sus r4espectivas distancias y elevaciones.

Ilustración 23. Altura de la rampa, Canal Rio Negro



Fuente: Autores

2.3 DIMENSIONAMIENTO

El dimensionamiento de la estructura hidráulica se realizó de acuerdo con el levantamiento topográfico realizado en la zona de estudio.

Para este dimensionamiento se comenzará exportando a CivilCad 3D todos las coordenadas, elevaciones y distancia de cada uno de los puntos tomados, esto con fin de tener la forma detallada de la estructura hidráulica, con sus diferentes profundidades, inclinaciones, alturas, distancias de cada uno de los elementos que contienen la estructura en el tramo a tratar. Otro dato importante son los puntos de cada una de las secciones tomadas en cada uno de los canales y de la estructura vial. Ver anexo A

Con el plano estructural de toda la topografía de los canales y la estructura vial en CivilCad, se prosiguió a determinar las secciones de cada canal y así mismo dibujar las secciones de los canales con sus respectivas distancias y elevaciones, dando forma a cada uno de los canales y la estructura vial y hallando las distancias entre secciones de cada canal. Posteriormente, se compararon las secciones halladas en CivilCad, con registros topográficos de

cada uno de los canales, esto para tener más precisión y exactitud a la hora de modelar la estructura hidráulica en cada uno de los diferentes caudales y periodos de retorno.

2.3.1 Estructura hidráulica Rio Negro. En esta ilustración, se muestra claramente la forma y dimensión del canal Rio Negro, con sus respectivos elementos estructurales y nivel de agua.

Ilustración 24. Vista canal Rio Negro



Fuente: Autores

Ahora con la elevación y las distancias entre puntos, se mostrará el diseño de tres secciones tomadas con sus respectivas distancias y elevaciones que conforman este canal, para así ver la similitud entre el diseño realizado y la estructura real.

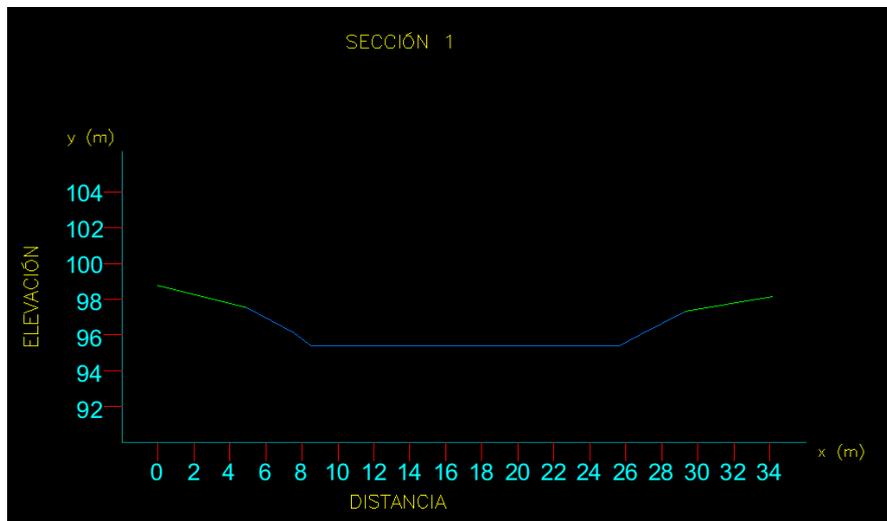
2.3.1.1 Sección 1. Esta sección comienza de la parte superior del canal Río Negro, es decir, aguas arriba del canal.

Tabla 1. Elevación y distancias, sección 1

SECCION 1		
ELEVACION	Y	X
98,77	1,23	0
97,53	2,47	4,98
96,14	3,86	2,57
95,41	4,59	0,98
95,37	4,63	17,1
96,02	3,98	1,18
97,34	2,66	2,5
98,14	1,86	4,84

Fuente: Autores

Ilustración 25. Perfil de la sección 1



Fuente: Autores, CivilCad 3D

2.3.1.2 Sección 2. Esta sección es un tramo intermedio entre la sección 1 y 3 del canal Río Negro. En esta sección se tiene un pequeño cambio, debido a que hay una pequeña rampa, la cual se utiliza para la movilidad de los vehículos y máquinas para el mantenimiento de la estructura, por ende, al lado izquierdo de esta sección no hay talud, ni corona; en vez de eso se tiene la rampa y un muro de piedra aproximadamente de dos metros.

Ilustración 26. Vista sección 2



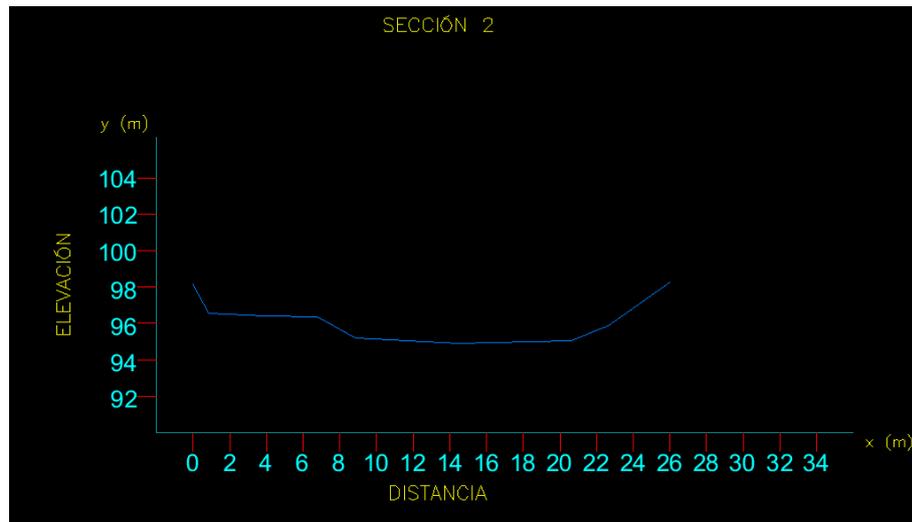
Fuente: Autores

Tabla 2. Elevación y distancias, sección 2

SECCION 2		
ELEVACION	Y	X
98,17	1,83	0
96,54	3,46	0,87
96,39	3,61	3,05
96,37	3,63	2,88
95,19	4,81	2,07
94,89	5,11	5,6
94,95	5,05	1,89
95,07	4,93	4,23
95,87	4,13	2,07
98,25	1,75	3,34
99,05	0,95	2,89

Fuente: Autores

Ilustración 27. Perfil sección 2



Fuente: Autores, CivilCad 3D

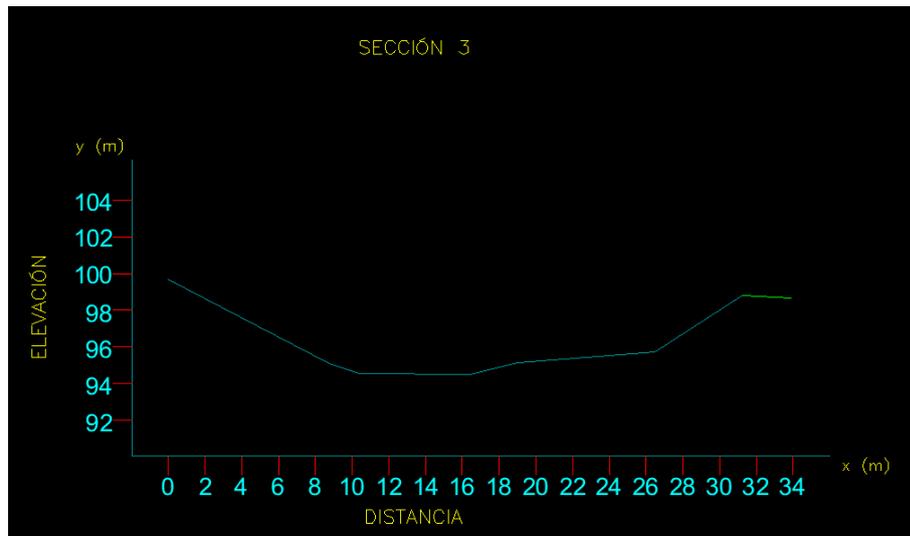
2.3.1.3 Sección 3. La sección 3, es la que está ubicada aguas abajo del canal Río Negro, casi llegando a la intersección de los tres canales.

Tabla 3. Elevación y distancias, sección 3

SECCION 3		
ELEVACION	Y	X
99,67	0,33	0
95,09	4,91	8,75
94,55	5,45	1,65
94,51	5,49	6,03
95,1	4,9	2,57
95,7	4,3	7,49
98,8	1,2	4,75
98,67	1,33	1,67

Fuente: Autores

Ilustración 28 Perfil sección 3.



Fuente: Autores, CivilCad 3D

2.3.2 Estructura hidráulica Río Arzobispo parte superior. En canal Río Arzobispo se tomó una distancia corta en la parte superior, la cual se muestra en la imagen. Este canal tiene un ancho mucho mayor al del Río Arzobispo y es totalmente diferente.

Ilustración 29. Vista canal Arzobispo parte superior



Fuente: Autores

Para este tramo del canal, se realizaron 2 secciones; una en parte superior del canal, más o menos a la distancia del puente peatonal y la otra en la parte inferior del canal, antes del sitio de confluencia.

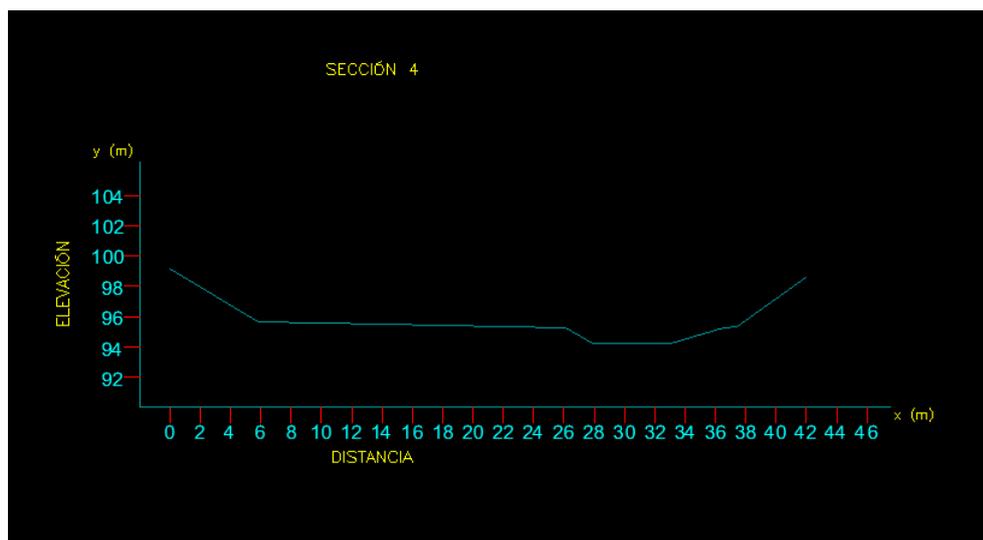
2.3.2.1 Sección 4. Esta sección se tiene un ancho de superficie bastante alto y un poco más de altura, así mismo, se tendría mucha más área y perímetro por el transcurre el agua.

Tabla 4. Elevación y distancias, sección 4

SECCION 4		
ELEVACION	Y	X
99,14	0,86	0
95,64	4,36	5,8
95,22	4,78	20,36
94,2	5,8	1,69
94,2	5,8	5,21
95,24	4,76	3,49
95,3	4,7	1,889
98,62	1,38	7,56

Fuente: Autores

Ilustración 30. Perfil sección 4



Fuente: Autores, CivilCad 3D

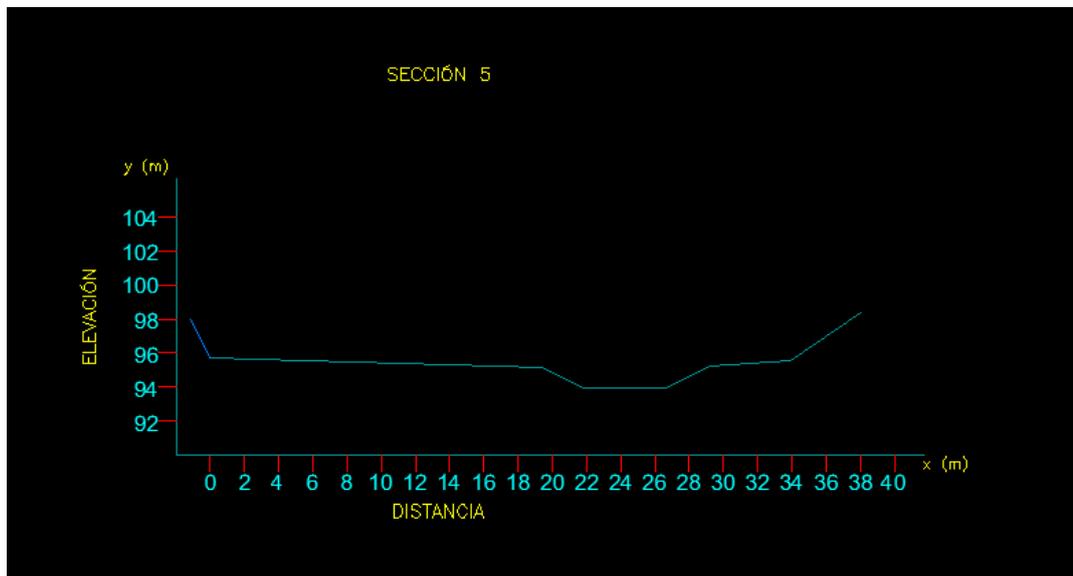
2.3.2.2 Sección 5. Esta sección está situada aguas abajo de la parte superior del canal Río Arzobispo, muy cercana a la intersección de los tres canales.

Tabla 5. Elevación y distancias, sección 5

SECCION 5		
ELEVACION	Y	X
95,74	19,4	0
95,12	4,88	19,4
93,98	6,02	2,34
93,98	6,02	4,9
95,19	4,81	2,54
95,55	4,45	4,72
98,39	1,61	4,1

Fuente: Autores

Ilustración 31. Perfil sección 5.



Fuente: Autores, CivilCad 3D

2.3.3 Estructura hidráulica Río Nuevo. El canal Río Nuevo es el más pequeño de los tres canales, tanto en el ancho del canal, como en la altura y en el área del canal en concreto que contiene, también su longitud es muy corta; tiene aproximadamente 25 metros desde la intersección con los otros canales hasta su comienzo.

Ilustración 32. Vista canal Rio Nuevo



Fuente: Autores

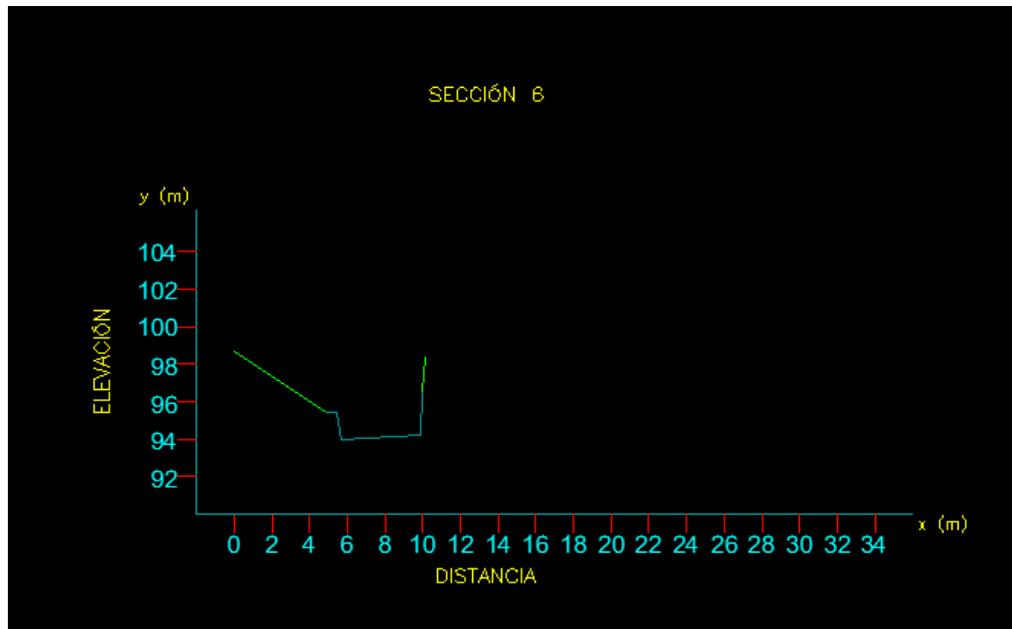
2.3.3.1 Sección 6. Esta sección está situada aguas arriba, pero no tiene una distancia considerable con la siguiente sección, debido a la corta longitud del canal y la estructura en concreto que tranca el flujo del agua.

Tabla 6. Elevación y distancias, sección 6

SECCION 6		
ELEVACION	Y	X
98,66	1,34	0
95,41	4,59	4,84
95,41	4,59	0,55
94,01	5,99	0,29
94,2	5,8	4,17
96,6	3,4	0,14
98,36	1,64	0,14

Fuente: Autores

Ilustración 33. Perfil sección 6



Fuente: Autores, CivilCad 3D

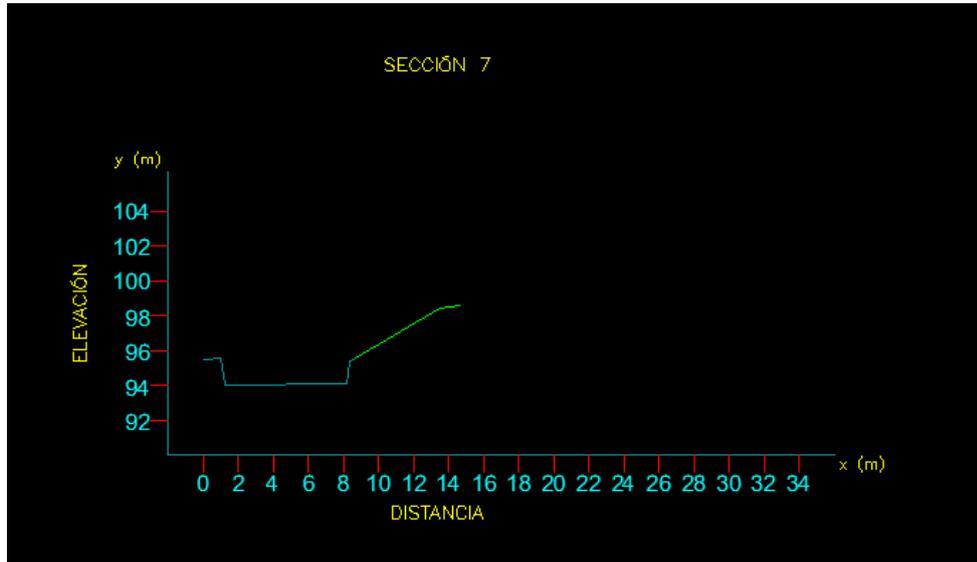
2.3.3.2 Sección 7. La sección 7, se encuentra localizada aguas abajo de este canal y está relativamente cerca al sitio de intersección.

Tabla 7. Elevación y distancias, sección 7

SECCION 7		
ELEVACION	Y	X
95,5	4,5	0
95,56	4,44	1
94	6	0,25
94,05	5,95	6,94
95,42	4,58	0,18
95,53	4,47	0,27
98,42	1,58	4,85
98,55	1,45	1,14

Fuente: Autores

Ilustración 34. Perfil sección 7



Fuente: Autores, CivilCad 3D

2.3.4 Estructura hidráulica Río Arzobispo parte inferior. Este tramo de la estructura hidráulica es el canal Río Arzobispo, también conocido como Río Salitre en la parte inferior, es decir, después de la intersección de los tres canales hasta la estructura del puente; tiene un ancho de superficie bastante alto y por ende un área superior a la de los tres anteriores tramos ya descritos. Se tomaron 2 secciones en dicho tramo, una un poco después del sitio de confluencia de los tres canales y la otra unos metros antes de la estructura vial.

Ilustración 35. Vista canal Arzobispo parte inferior.



Fuente: Autores

En el tramo de las secciones tomadas, hay muy pocos cambios en cuanto a sus distancias, elevaciones, areas, etc; pero si hay un leve cambio de direccion en el canal trapezoidal pequeño, que hace que las secciones tengan un leve pero nada grave cambio.

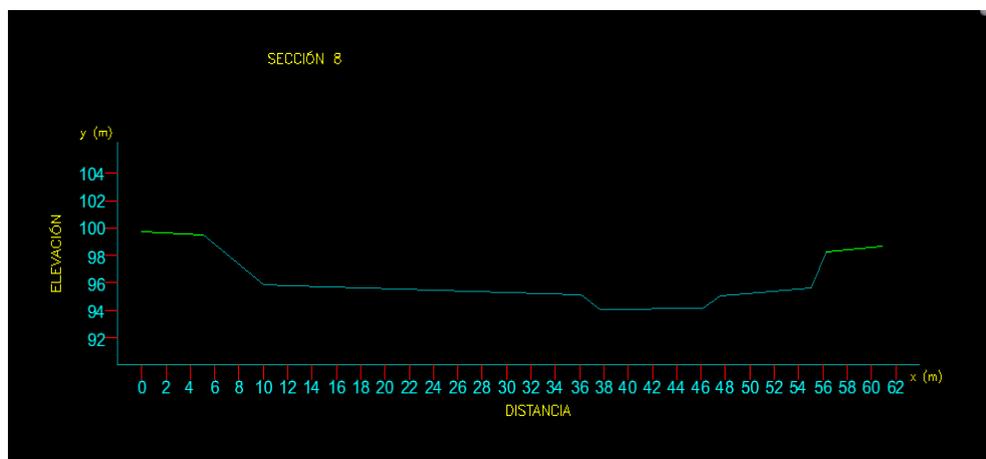
2.3.4.1 Sección 8. Esta seccion es la mas grande que se tendra, hablando de solo un canal, debido a que esta situada a unos metros del lugar donde se intersecctan los tres canales; y esta aguas arriba.

Tabla 8. Elevación y distancias, sección 8

SECCION 8		
ELEVACION	Y	X
99,74	0,26	0
99,52	0,48	5,07
95,9	4,1	4,95
95,8	4,2	2,24
95,14	4,86	23,86
94,5	5,5	3,28
94,18	5,82	6,75
95,06	4,94	1,39
95,65	4,35	7,49
98,27	1,73	1,23
98,64	1,36	4,62

Fuente: Autores

Ilustración 36. Perfil sección 8



Fuente: Autores, CivilCad 3D

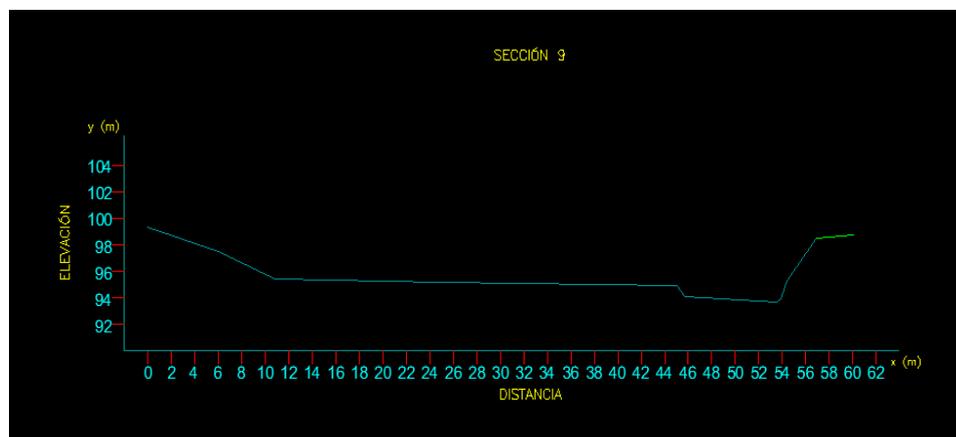
2.3.4.2 Sección 9. La sección 9 se encuentra aguas abajo del canal Rio Arzobispo en la parte inferior del mismo y se encuentra cercano a la estructura vial.

Tabla 9. Elevación y distancias, sección 9

SECCION 9		
ELEVACION	Y	X
99,31	0,69	0
97,52	2,48	6
95,4	4,6	4,82
95,14	4,86	14,1
94,88	5,12	20,15
94,12	5,88	0,62
93,7	6,3	7,88
93,94	6,06	0,34
95,27	4,73	0,45
98,52	1,48	2,54
98,77	1,23	3,17

Fuente: Autores

Ilustración 37. Perfil sección 9



Fuente: Autores, CivilCad 3D

2.3.5 Sitio de confluencia de los tres canales hidráulicos. En este punto se encuentra el área central de la estructura, en donde se interceptan los tres canales ya descritos anteriormente, por ende, se tiene una superficie más alta y es un punto con un alto porcentaje de peligro, ya que, los tres canales llegan a un mismo punto en direcciones diferentes, con distintos caudales, pendientes, elevaciones y por supuestos residuos.

Ilustración 38. Vista sitio de confluencia



Fuente: Autores

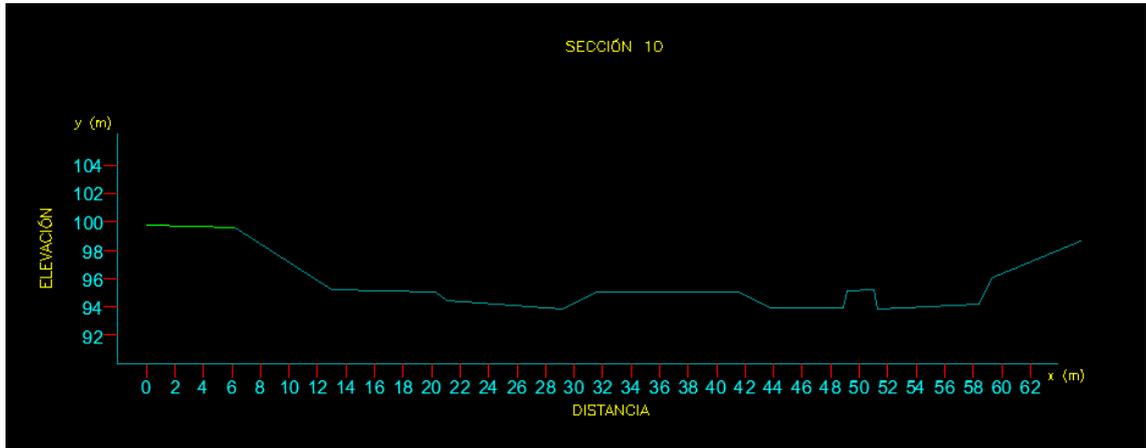
2.3.5.1 Sección 10. Esta sección, da una vista clara de cómo es la intercepción en ese punto y da la diferencia de anchos y alturas de cada uno de los tres canales, que como ya se vio anteriormente, son totalmente diferentes en carios aspectos

Tabla 10. Elevación y distancias, sección 10

SECCION 10		
ELEVACION	Y	X
99,79	0,21	0
99,61	0,39	6,19
95,24	4,76	6,8
95,02	4,98	7,28
94,48	5,52	0,75
93,85	6,15	8,15
95,03	4,97	2,37
95,02	4,98	9,95
93,96	6,04	2,21
93,96	6,04	5,18
95,15	4,85	2,24
93,87	6,13	1,93
95,21	4,79	7,36
94,21	5,79	0,91
96,06	3,94	6,17
98,43	1,57	1,95
98,64	1,36	

Fuente: Autores

Ilustración 39. Perfil sección 10



Fuente: Autores, CivilCad 3D

2.3.6 Estructura vial. La estructura del puente, en la parte de abajo está dividida por varios Box Culver, para controlar el paso del agua por este sitio; por uno de esos tramos a lado izquierdo para ser exacto se encuentra ubicado el canal secundario, que es el mismo en donde los tres canales se unen.

Ilustración 40. Vista estructura vial



Fuente: Autores

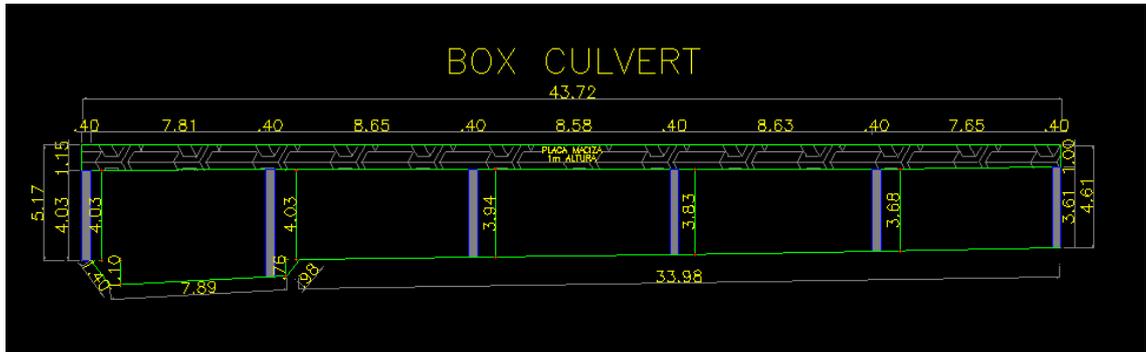
Para el diseño de la estructura vial, se tienen las diferentes distancias, alturas, ancho y alto de las columnas, espesores, etc.

Tabla 11. Elevación y distancias, sección puente

SECCION PUENTE		
ELEVACION	Y	X
99,89	0,11	0
99,83	0,17	8,42
99,83	0,17	9,04
99,85	0,15	8,98
99,85	0,15	9,03
99,74	0,26	8,25

Fuente: Autores

Ilustración 41. Perfil Puentes



Fuentes: Autores

Tabla 12. Elevación y distancias, sección baranda

SECCION BARANDA		
Y		X
99,08	0,92	0
99,21	0,79	21,82
99,05	0,95	23,91

Fuente: Autores

3. MODELACION HIDRAULICA.

3.1 ELEMENTOS GEOMÉTRICOS Y CAUDALES.

Para la modelación hidráulica de cada uno de los canales y del sitio de confluencia, se necesitan hallar los elementos geométricos como pendiente de cada una de las secciones y de tramo a tramo, la distancias entre secciones. Luego se aplica la fórmula de Manning para hallar los diferentes elementos, como el área de la sección, el perímetro mojado, el coeficiente de Manning, que para concreto de hormigón es de 0.013, se prosigue a calcular el radio hidráulico con el área de la sección y el perímetro mojado, para finalmente calcular el caudal.

3.1.1 Pendientes entre secciones. Para las secciones de cada uno de los canales y del sitio de confluencia, se determinan las pendientes, primero se determina la diferencia de alturas de la cota mayor menos la cota menor, el resultado sobre la distancia y finalmente se calcula la pendiente entre secciones.

Tabla 13. Pendiente sección 1 a sección 2

COTA ALTA	COTA BAJA	DISTANCIA	PENDIENTE	PENDIENTE %
95,39	95,04	158,64	0,0022	0,22

Fuente: Autores

Tabla 14. Pendiente sección 2 a sección 3

COTA ALTA	COTA BAJA	DISTANCIA	PENDIENTE	PENDIENTE %
95,04	94,9	29,81	0,0047	0,47

Fuente: Autores

Tabla 15. Pendiente sección 4 a sección 5

COTA ALTA	COTA BAJA	DISTANCIA	PENDIENTE	PENDIENTE %
94,2	93,8	44,73	0,0089	0,89

Fuente: Autores

Tabla 16. Pendiente sección 6 a sección 7

COTA ALTA	COTA BAJA	DISTANCIA	PENDIENTE	PENDIENTE %
94,1	94,025	12,8	0,0059	0,586

Fuente: Autores

Tabla 17. Pendiente sección 8 a sección 9

COTA ALTA	COTA BAJA	DISTANCIA	PENDIENTE	PENDIENTE %
94,34	93,910	41,86	0,0103	1,027

Fuente: Autores

Tabla 18. Pendiente sección 10, lugar de confluencia

SECCION 10	COTA ALTA	COTA BAJA	DISTANCIA	PENDIENTE	PENDIENTE %
RIO NEGRO	94,53	94,170	36,06	0,00998	0,998
RIO ARZOBISPO	93,98	93,960	15,3	0,00131	0,131
RIO NUEVO	94,025	93,960	15,3	0,00425	0,425

Fuente: Autores

3.1.2 Caudales de las secciones a distintas alturas del canal. Para calcular los caudales de cada sección, primero se quiere modelar cada estructura a diferentes caudales, para eso, en el perfil del canal se determinan cinco alturas con las cuales se trabajarán, por ende, por cada sección se tendrán cinco caudales. Para determinar el área y el perímetro mojado, se usa la ayuda de CivilCad 3D dependiendo de cada una de las alturas y para cada uno de los canales hidráulicos, con esto realizado, se tendría el radio hidráulico que es el último elemento para poder calcular el caudal, y se prosigue a solucionar la ecuación de Manning y determinar los respectivos caudales para cada una de las secciones.

Tabla 19. Caudales, sección 1

SECCIÓN 1		MANNING					
		n	A	S	Pm	Rh	Q
HTOTAL	2,12		m2		m	m	m3/s
H1	2	0,013	42,83	0,0022	49,22	0,870	140,849
H2	1,6	0,013	31,68	0,0022	46,28	0,685	88,780
H3	1,2	0,013	22,47	0,0022	43,63	0,515	52,089
H4	1	0,013	18,98	0,0022	41,64	0,456	40,559
H5	0,5	0,013	10,89	0,0022	38,74	0,281	16,861

Fuente: Autores

Tabla 20. Caudales, sección 2

SECCIÓN 2		MANNING					
		n	A	S	Pm	Rh	Q
HTOTAL	4,11		m2		m	m	m3/s
H1	3,5	0,013	67,25	0,0022	53,12	1,266	283,955
H2	2,8	0,013	49,63	0,0022	50,48	0,983	177,050
H3	2,1	0,013	35,21	0,0022	48,06	0,733	103,242
H4	1,4	0,013	19,25	0,0022	33,47	0,575	48,034
H5	0,7	0,013	8,43	0,0022	28,43	0,297	13,525

Fuente: Autores

Tabla 21. Caudales, sección 3

SECCIÓN 3		MANNING					
		n	A	S	Pm	Rh	Q
H TOTAL	4,29		m2		m	m	m3/s
H1	4	0,013	80,06	0,0047	58,91	1,359	518,011
H2	3,2	0,013	57,79	0,0047	52,84	1,094	323,508
H3	2,4	0,013	38,87	0,0047	47,08	0,826	180,401
H4	1,6	0,013	20,8	0,0047	40,57	0,513	70,265
H5	0,8	0,013	7,4	0,0047	26,67	0,277	16,601

Fuente: Autores

Tabla 22. Caudales, sección 4

SECCIÓN 4		MANNING					
		n	A	S	Pm	Rh	Q
H TOTAL	5,24		m2		m	m	m3/s
H1	4,5	0,013	127,29	0,0089	90,85	1,401	1156,624
H2	3,6	0,013	86,45	0,0089	82,30	1,050	648,276
H3	2,7	0,013	52,62	0,0089	75,26	0,699	300,811
H4	1,8	0,013	21	0,0089	67,49	0,311	69,977
H5	0,9	0,013	6,25	0,0089	17,90	0,349	22,490

Fuente: Autores

Tabla 23. Caudales, sección 5

SECCIÓN 5		MANNING					
		n	A	S	Pm	Rh	Q
H TOTAL	4,46		m2		m	m	m3/s
H1	4	0,013	105,42	0,0089	84,87	1,242	884,003
H2	3,2	0,013	74,94	0,0089	79,52	0,942	522,745
H3	2,4	0,013	43,31	0,0089	73,31	0,591	221,287
H4	1,6	0,013	16	0,0089	54,70	0,293	51,163
H5	0,8	0,013	5,1	0,0089	16,50	0,309	16,919

Fuente: Autores

Tabla 24. Caudales, sección 6

SECCIÓN 6		MANNING					
		n	A	S	Pm	Rh	Q
H TOTAL	2,4		m2		m	m	m3/s
H1	2	0,013	8,45	0,0059	14,90	0,567	34,207
H2	1,6	0,013	6,19	0,0059	13,19	0,469	22,087
H3	1,2	0,013	4,26	0,0059	10,62	0,401	13,690
H4	0,8	0,013	2,54	0,0059	9,73	0,261	6,130
H5	0,4	0,013	0,85	0,0059	8,83	0,096	1,055

Fuente: Autores

Tabla 25. Caudales, sección 7

SECCIÓN 7		MANNING					
		n	A	S	Pm	Rh	Q
H TOTAL	1,56		m2		m	m	m3/s
H1	1,5	0,013	9,8	0,0059	19,53	0,502	36,564
H2	1,2	0,013	7,42	0,0059	16,31	0,455	25,933
H3	0,9	0,013	5,41	0,0059	15,66	0,345	15,738
H4	0,6	0,013	3,22	0,0059	14,95	0,215	6,836
H5	0,3	0,013	1,05	0,0059	14,23	0,074	1,091

Fuente: Autores

Tabla 26. Caudales, sección 8

SECCIÓN 8		MANNING					
		n	A	S	Pm	Rh	Q
H TOTAL	4,09		m2		m	m	m3/s
H1	3,5	0,013	116,61	0,0103	99,25	1,175	1013,634
H2	2,8	0,013	82,98	0,0103	93,78	0,885	597,068
H3	2,1	0,013	53,54	0,0103	91,68	0,584	292,027
H4	1,4	0,013	20,73	0,0103	71,98	0,288	70,577
H5	0,7	0,013	7,15	0,0103	21,90	0,326	26,466

Fuente: Autores

Tabla 27. Caudales, sección 9

SECCIÓN 9		MANNING					
		n	A	S	Pm	Rh	Q
H TOTAL	4,52		m2		m	m	m3/s
H1	4	0,013	110,58	0,0103	98,56	1,122	932,114
H2	3,2	0,013	81,56	0,0103	94,80	0,860	575,968
H3	2,4	0,013	55,16	0,0103	92,50	0,596	305,085
H4	1,6	0,013	18,96	0,0103	82,65	0,229	55,468
H5	0,8	0,013	6,87	0,0103	31,88	0,215	19,278

Fuente: Autores

Tabla 28. Geometría, sección 10.

SECCIÓN 10			MANNING					
			n	A	S	Pm	Rh	Q
RIO NEGRO	H TOTAL	4,29		m2		m	m	m3/s
	H1	4	0,013	80,06	0,0047	58,91	1,359	518,011
	H2	3,2	0,013	57,79	0,0047	52,84	1,094	323,508
	H3	2,4	0,013	38,87	0,0047	47,08	0,826	180,401
	H4	1,6	0,013	20,8	0,0047	40,57	0,513	70,265
	H5	0,8	0,013	7,4	0,0047	26,67	0,277	16,601
RIO ARZOBISPO	H TOTAL	4,46		m2		m	m	m3/s
	H1	4	0,013	105,42	0,0089	84,87	1,242	884,003
	H2	3,2	0,013	74,94	0,0089	79,52	0,942	522,745
	H3	2,4	0,013	43,31	0,0089	73,31	0,591	221,287
	H4	1,6	0,013	16	0,0089	54,70	0,293	51,163
	H5	0,8	0,013	5,1	0,0089	16,50	0,309	16,919
RIO NUEVO	H TOTAL	1,56		m2		m	m	m3/s
	H1	1,5	0,013	9,8	0,0059	19,53	0,502	36,564
	H2	1,2	0,013	7,42	0,0059	16,31	0,455	25,933
	H3	0,9	0,013	5,41	0,0059	15,66	0,345	15,738
	H4	0,6	0,013	3,22	0,0059	14,95	0,215	6,836
	H5	0,3	0,013	1,05	0,0059	14,23	0,074	1,091

Fuente: Autores

Tabla 29. Caudales, sección 10

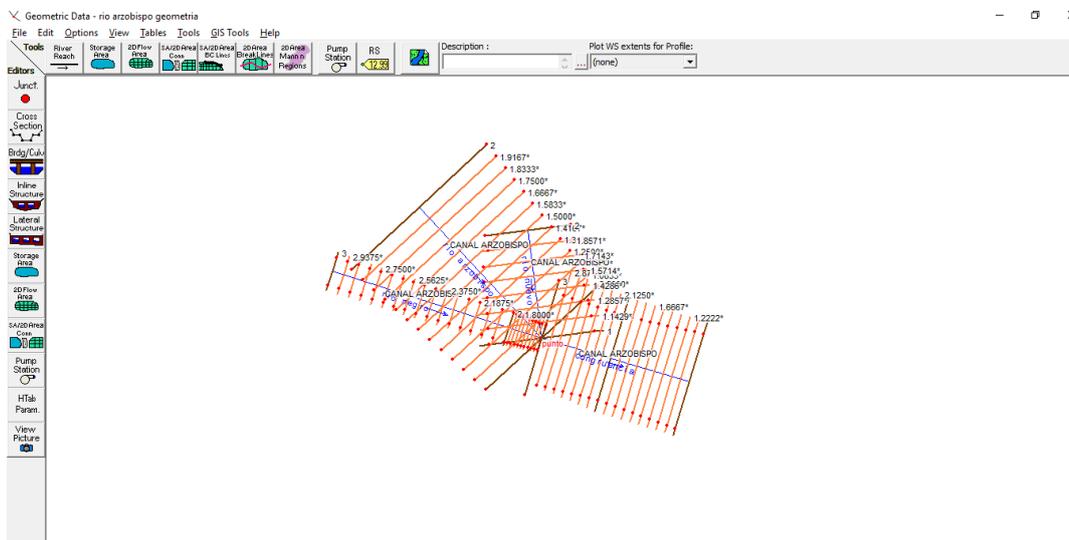
CAUDAL TOTAL SECCION 10	
ALTURAS	CAUDAL
H1	1438,578
H2	872,186
H3	417,426
H4	128,265
H5	34,612

Fuente: Autores

3.2 MODELACIÓN HEC-RAS

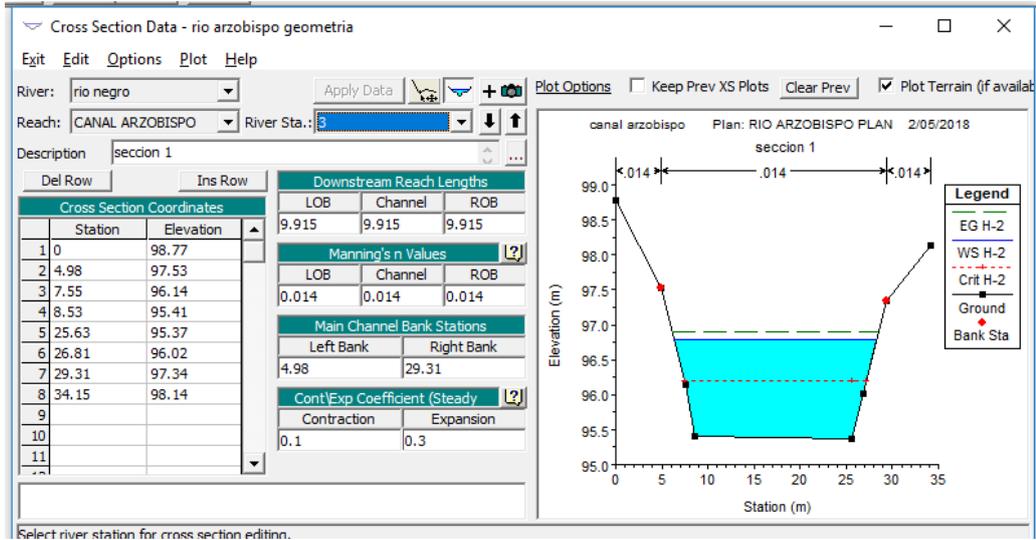
3.2.1 Modelo condición geométrica. Con las secciones topográficas identificadas se modela en HEC-RAS para tener una geometría detallada del sitio.

Ilustración 42. Canal general identificando su característica geométrica



Fuente: Autores, Hec-Ras

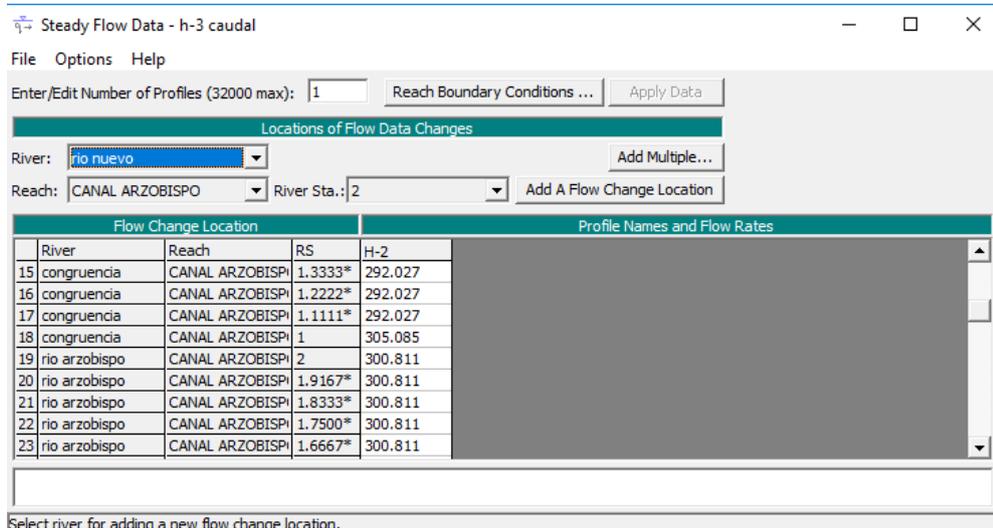
Ilustración 43. Modelación de secciones por tramos



Fuente: Autores, Hec-Ras

Con la geometría general del Canal Río Arzobispo, se incluyen los respectivos caudales de cada sección elaboradas en las tablas (caudal, secciones), con el fin de observar, la reacción de la estructura con la variación de datos.

Ilustración 44. Caudales para modelar el Canal Río Arzobispo

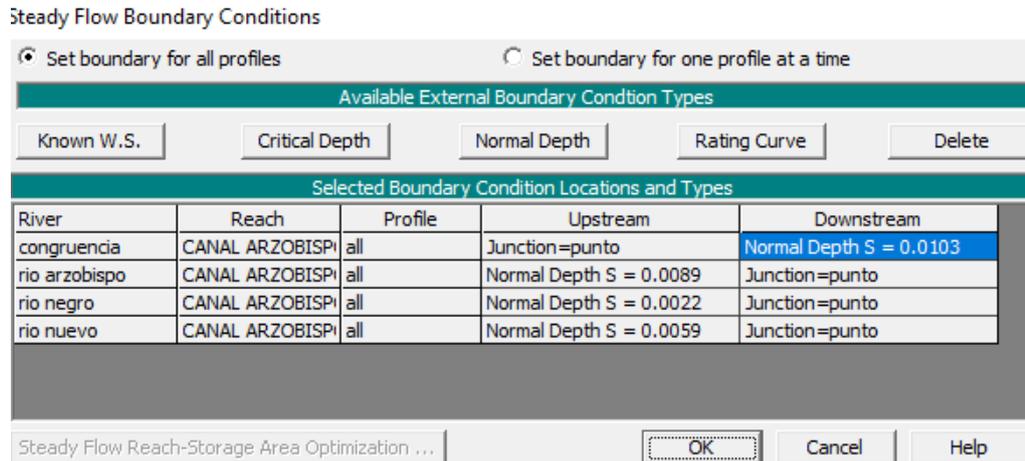


Fuente: Autores, Hec-Ras

Los caudales para este modelo se obtuvieron, con la ecuación de Manning, con esto se determina los datos para las condiciones aguas arriba del canal.

Para obtener un mejor resultado del programa se digita las pendientes, calculadas en la tabla (caudal, secciones), para condicionar la profundidad y el flujo permanente.

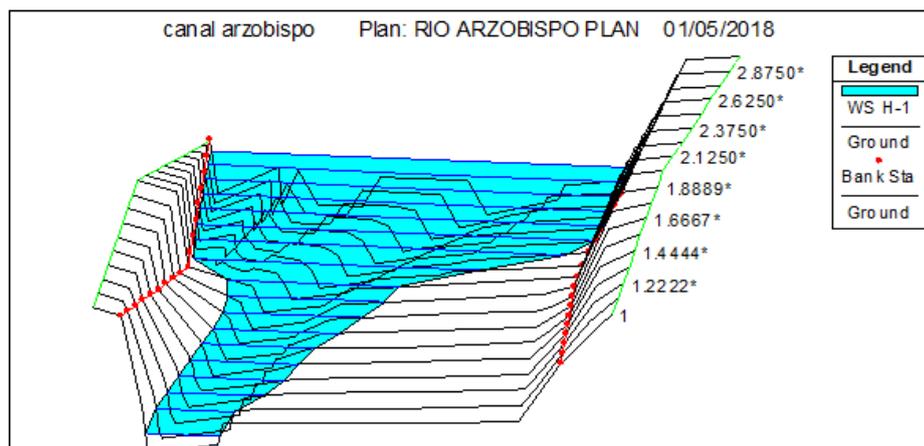
Ilustración 45. Condición de flujo permanente



Fuente: Autores, Hec-Ras

Al correr el programa con las condiciones definidas en los cálculos obtenemos las definiciones de profundidades hidráulicas.

Ilustración 46. Perfil del Canal Río Arzobispo



Fuente: Autores, Hec-Ras

Los resultados se imprimen luego de la modelación:

Ilustración 47. Resultados condición actual del canal

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: RIO ARZOBISP River: rio negro Reach: CANAL ARZOBISPO Profile: H-2												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
CANAL ARZOBISPO	3	H-2	40.56	95.37	96.79	96.20	96.90	0.000344	1.49	27.16	21.92	0.43
CANAL ARZOBISPO	2.9375*	H-2	40.56	95.34	96.78		96.90	0.000369	1.52	26.60	22.00	0.44
CANAL ARZOBISPO	2.8750*	H-2	40.56	95.31	96.77		96.89	0.000393	1.55	26.10	22.08	0.46
CANAL ARZOBISPO	2.8125*	H-2	40.56	95.28	96.76		96.89	0.000417	1.58	25.66	22.16	0.47
CANAL ARZOBISPO	2.7500*	H-2	40.56	95.25	96.75		96.89	0.000440	1.60	25.28	22.24	0.48
CANAL ARZOBISPO	2.6875*	H-2	40.56	95.22	96.75		96.88	0.000460	1.62	24.97	22.32	0.49
CANAL ARZOBISPO	2.6250*	H-2	40.56	95.19	96.74		96.88	0.000476	1.64	24.73	22.40	0.50
CANAL ARZOBISPO	2.5625*	H-2	40.56	95.16	96.73		96.87	0.000489	1.65	24.56	22.47	0.50
CANAL ARZOBISPO	2.5000*	H-2	40.56	95.13	96.73		96.87	0.000497	1.66	24.48	22.53	0.51
CANAL ARZOBISPO	2.4375*	H-2	40.56	95.10	96.72		96.86	0.000499	1.66	24.47	22.60	0.51
CANAL ARZOBISPO	2.3750*	H-2	40.56	95.07	96.72		96.86	0.000497	1.65	24.53	22.66	0.51
CANAL ARZOBISPO	2.3125*	H-2	40.56	95.04	96.71		96.85	0.000491	1.64	24.67	22.73	0.50
CANAL ARZOBISPO	2.2500*	H-2	48.03	95.01	96.60		96.83	0.000939	2.15	22.36	22.46	0.69
CANAL ARZOBISPO	2.1875*	H-2	40.56	94.98	96.65		96.80	0.000544	1.69	23.94	22.74	0.53
CANAL ARZOBISPO	2.1250*	H-2	40.56	94.95	96.65		96.79	0.000523	1.67	24.28	22.81	0.52
CANAL ARZOBISPO	2.0625*	H-2	40.56	94.92	96.65		96.79	0.000497	1.64	24.71	22.87	0.50
CANAL ARZOBISPO	2	H-2	48.03	94.89	96.55		96.77	0.000896	2.10	22.85	22.74	0.67
CANAL ARZOBISPO	1.9000*	H-2	48.03	94.85	96.56		96.76	0.000702	1.96	24.48	22.45	0.60
CANAL ARZOBISPO	1.8000*	H-2	48.03	94.81	96.58		96.75	0.000579	1.86	25.83	22.16	0.55
CANAL ARZOBISPO	1.7000*	H-2	48.03	94.78	96.58		96.75	0.000496	1.78	26.95	21.88	0.51
CANAL ARZOBISPO	1.6000*	H-2	48.03	94.74	96.59		96.74	0.000437	1.72	27.88	21.61	0.48
CANAL ARZOBISPO	1.5000*	H-2	48.03	94.70	96.59		96.74	0.000394	1.68	28.65	21.37	0.46
CANAL ARZOBISPO	1.4000*	H-2	48.03	94.66	96.60		96.73	0.000355	1.64	29.33	21.47	0.44
CANAL ARZOBISPO	1.3000*	H-2	48.03	94.62	96.60		96.73	0.000326	1.61	29.98	21.61	0.43
CANAL ARZOBISPO	1.2000*	H-2	48.03	94.59	96.60		96.73	0.000302	1.59	30.64	21.75	0.42
CANAL ARZOBISPO	1.1000*	H-2	48.03	94.55	96.60		96.73	0.000283	1.57	31.31	21.89	0.41
CANAL ARZOBISPO	1	H-2	70.27	94.51	96.29		96.70	0.001193	2.86	25.13	20.93	0.81

Fuente: Autores, Hec-Ras

3.3 RESULTADOS

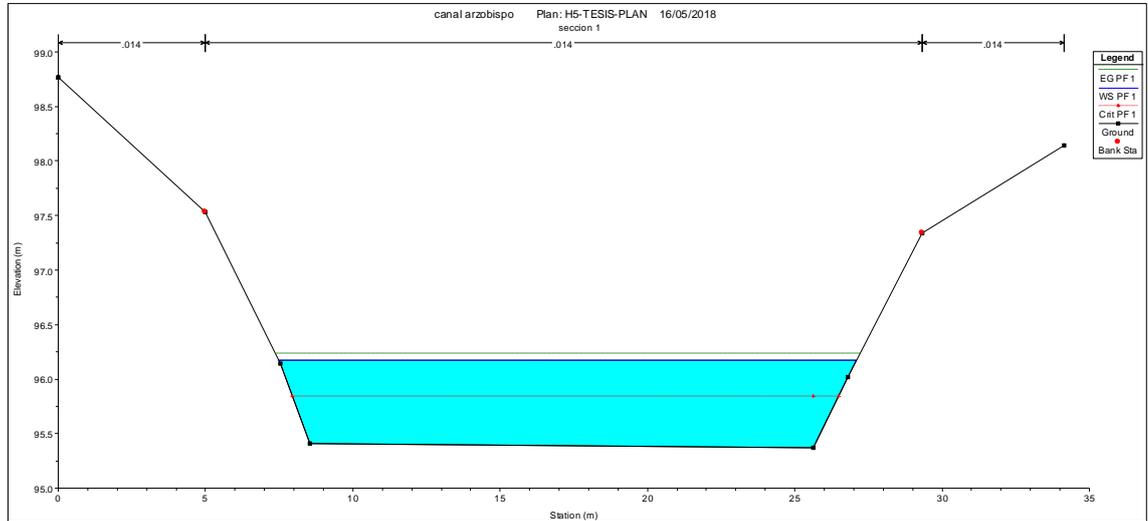
Se ejecutaron 5 diferentes modelaciones del Canal, con 5 tipo de diferentes caudales por sección, en donde se observa, que tramo de la estructura sufre un colapso por altos niveles de agua.

3.3.1 Modelación Canal Río Arzobispo.

En la primera modelación, se observa que el canal no sufre ninguna inundación, teniendo en cuenta que se hizo con el cálculo del caudal más bajo. A continuación, se observa las secciones y el nivel de agua que estas soportan por un determinado caudal.

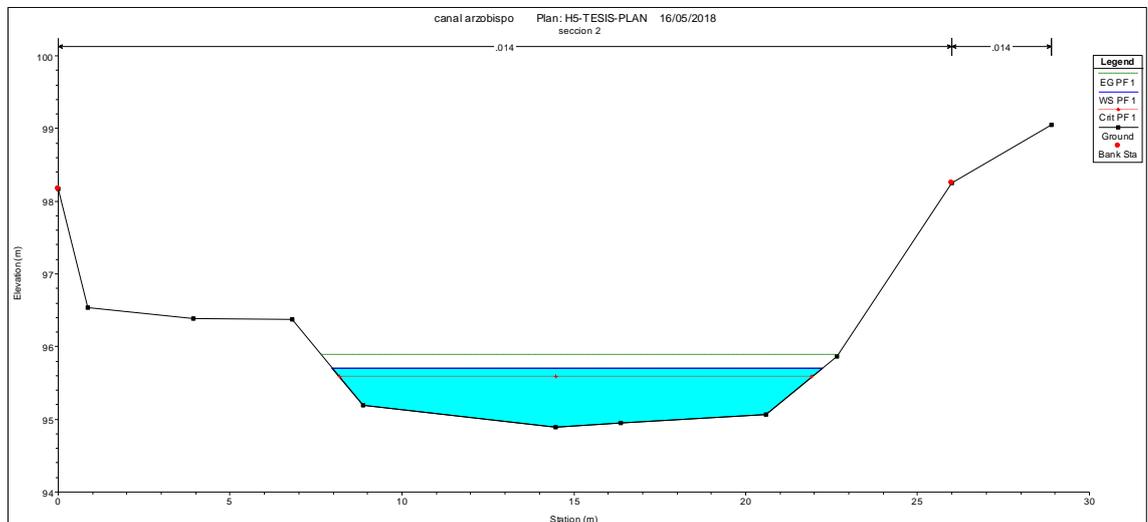
3.3.1 Modelación #1 Altura H-5

Ilustración 48. Sección 1 Río Negro, Caudal 16.861 m³/s



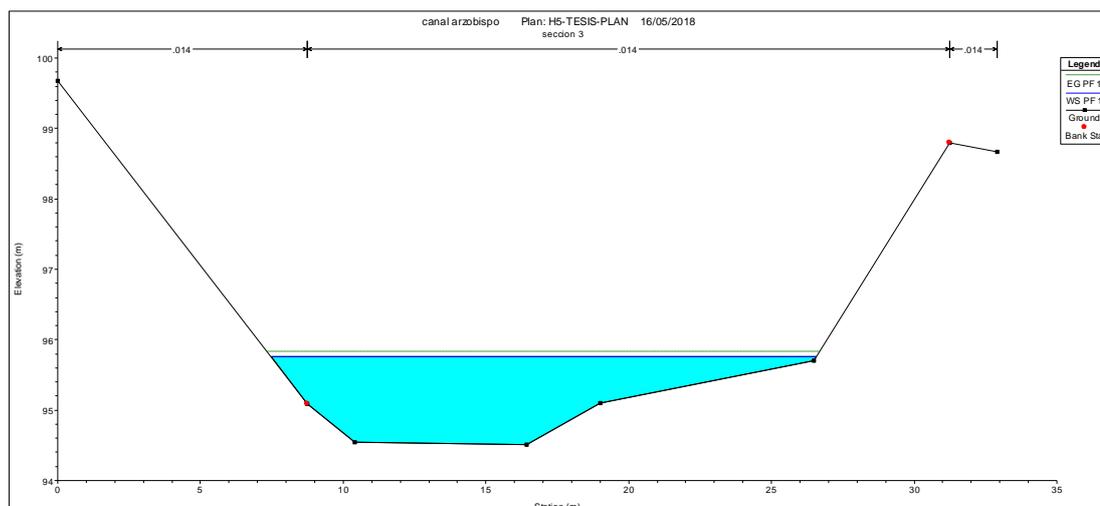
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 49. Sección 2 Río Negro, Caudal 16.861 m³/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

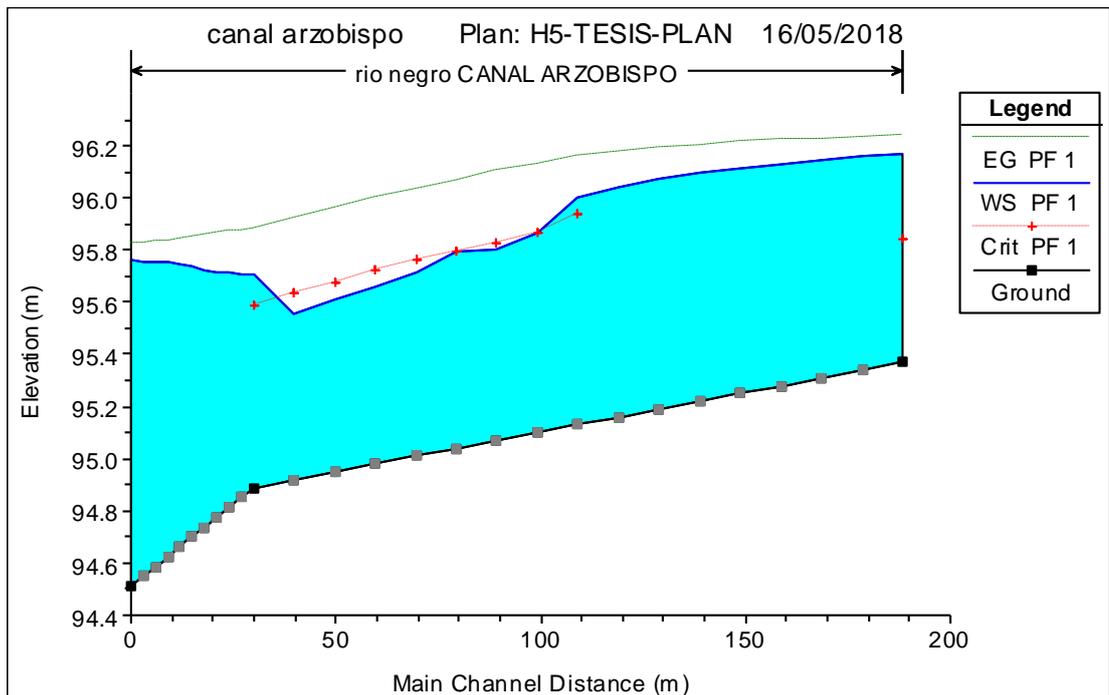
Ilustración 50. Sección 3 Río Negro, Caudal 16.861 m³/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

En las primeras 3 secciones del canal arzobispo que comunica el Río Negro con la estructura ubicada en la Av.68 con Calle 80; se modelo con un caudal de 16,861 m³/s de la Tabla 19, se evidencia que no sufre ninguna falla y el canal trabaja con total normalidad, en la primera sección el agua alcanza una altura de 0.8 m, la segunda sección no alcanza los 0.8 m de elevación y por último la sección #3, ni siquiera alcanza los 40 cm de llenado.

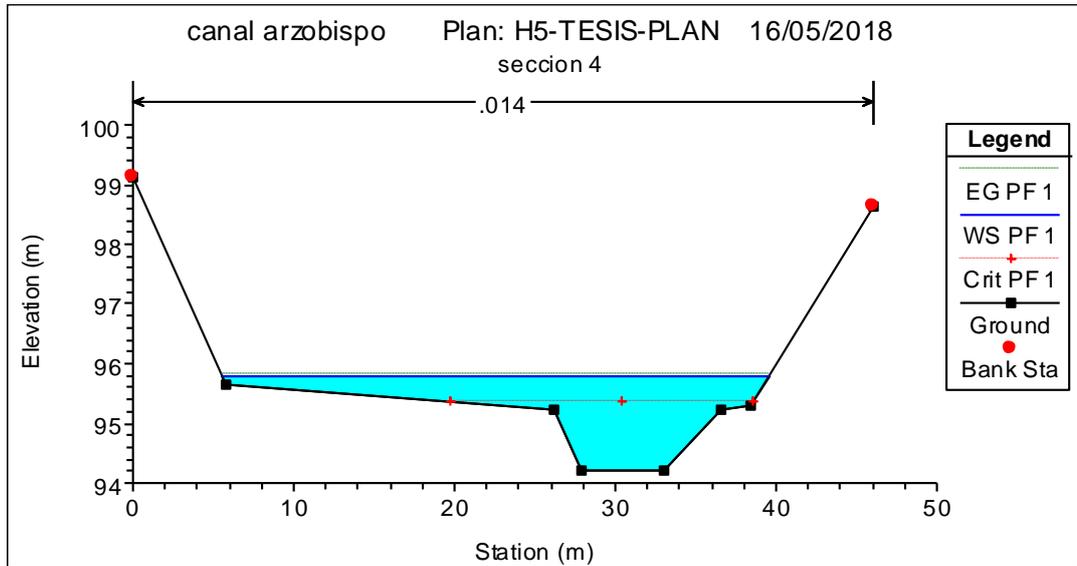
Ilustración 51. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (RÌO NEGRO)



Fuente: Autores, Hec-Ras

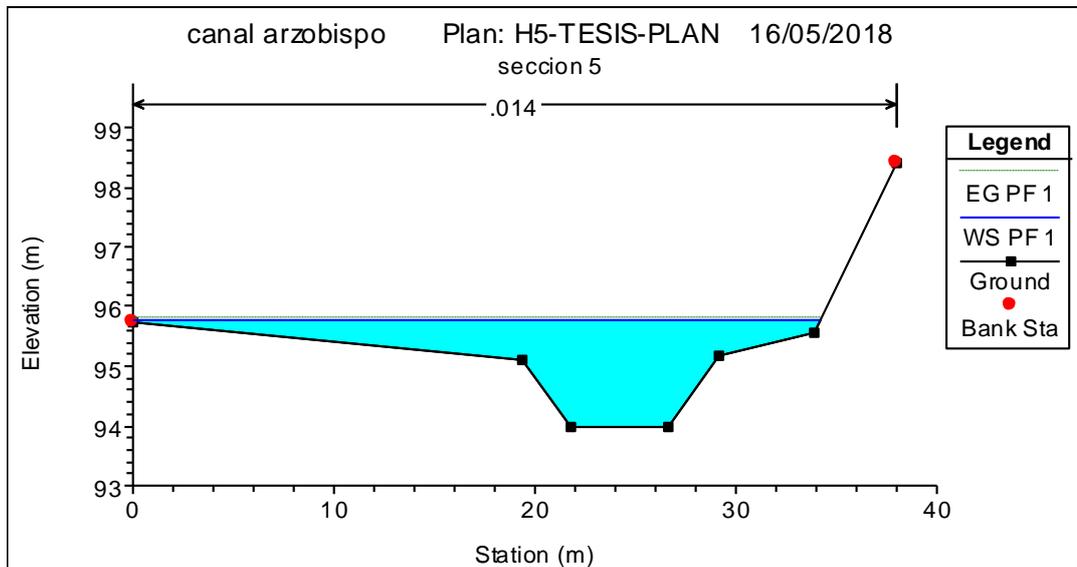
El perfil de llenado muestra el comportamiento de la estructura con el caudal, donde se observa que la elevación del agua no sube más de 1.8 m, esto quiere decir que no sufriría ninguna inundación ya que el canal tiene una altura superior a los 5 metros.

Ilustración 522. Sección 4 Río Arzobispo, Caudal 22.49 m³/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

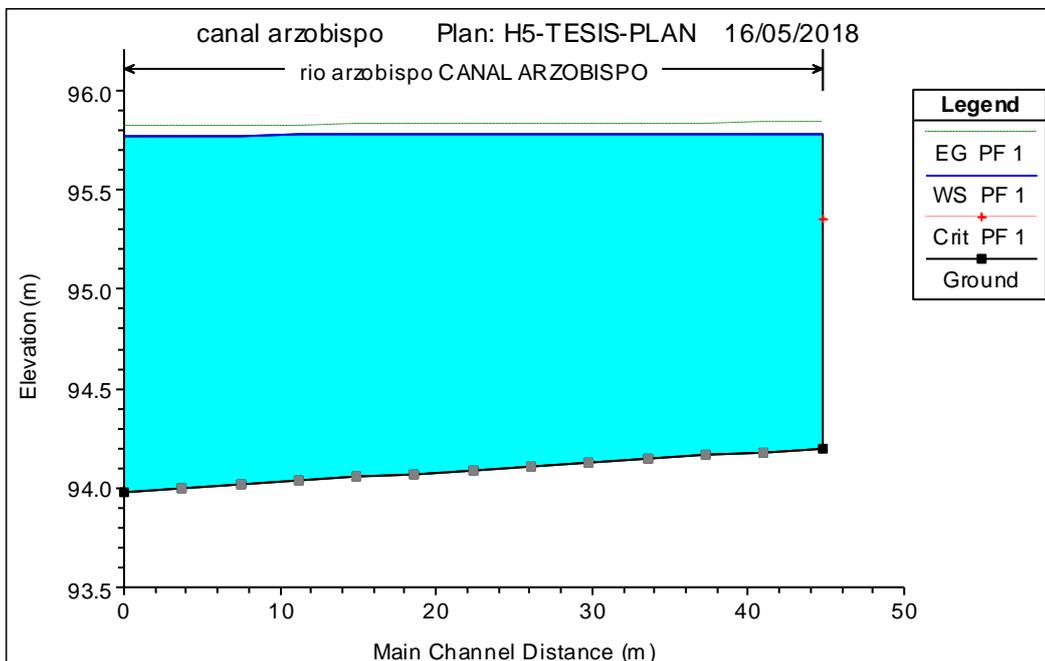
Ilustración 533. Sección 5 Río Arzobispo, Caudal 22.49 m³/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

En el tramo del Río Arzobispo tiene una elevación mayor en sus secciones, aunque en su perfil de llenado muestra una altura muy similar, en esta sección se evaluó con un caudal de 22.49 m³/s, siendo mayor que el caudal Río Negro. En este también se evidenció que no sufriría ningún colapso debido a inundaciones con este caudal.

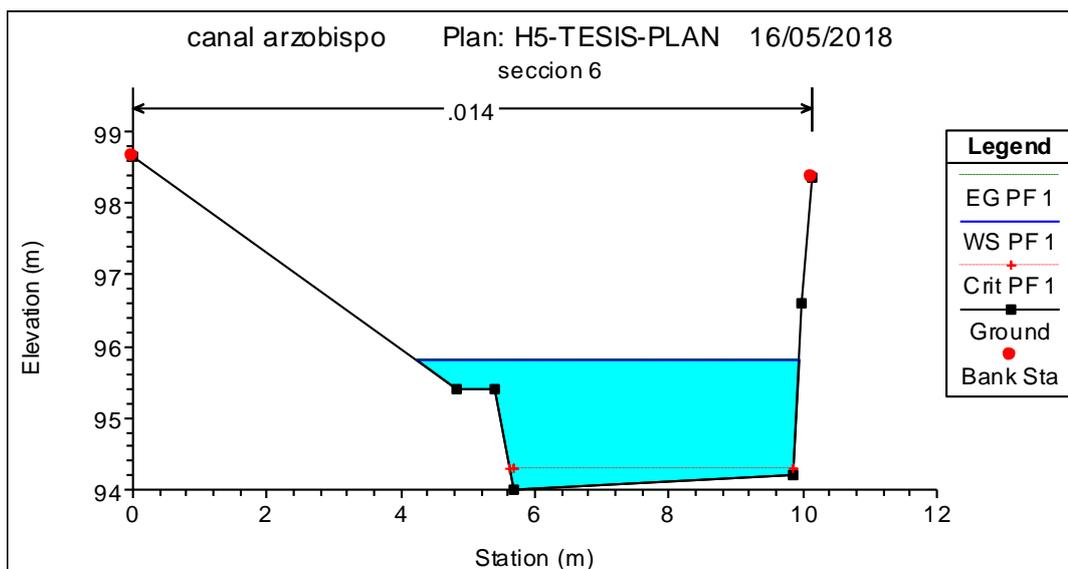
Ilustración 544. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (RÍO ARZOBISPO)



Fuente: Autores, Hec-Ras

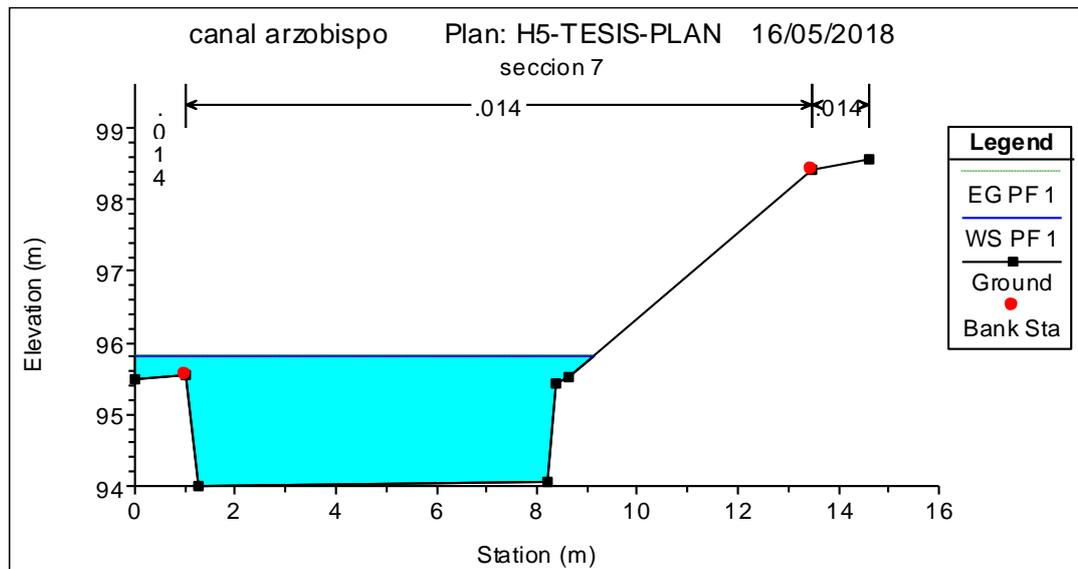
El perfil de llenado del tramo del Río Arzobispo tiene una elevación promedio de 1.80 metros, la cual no es una amenaza para la estructura, de lo colapso por inundaciones.

Ilustración 555. Sección 6 Río Nuevo, Caudal 1.091 m³/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

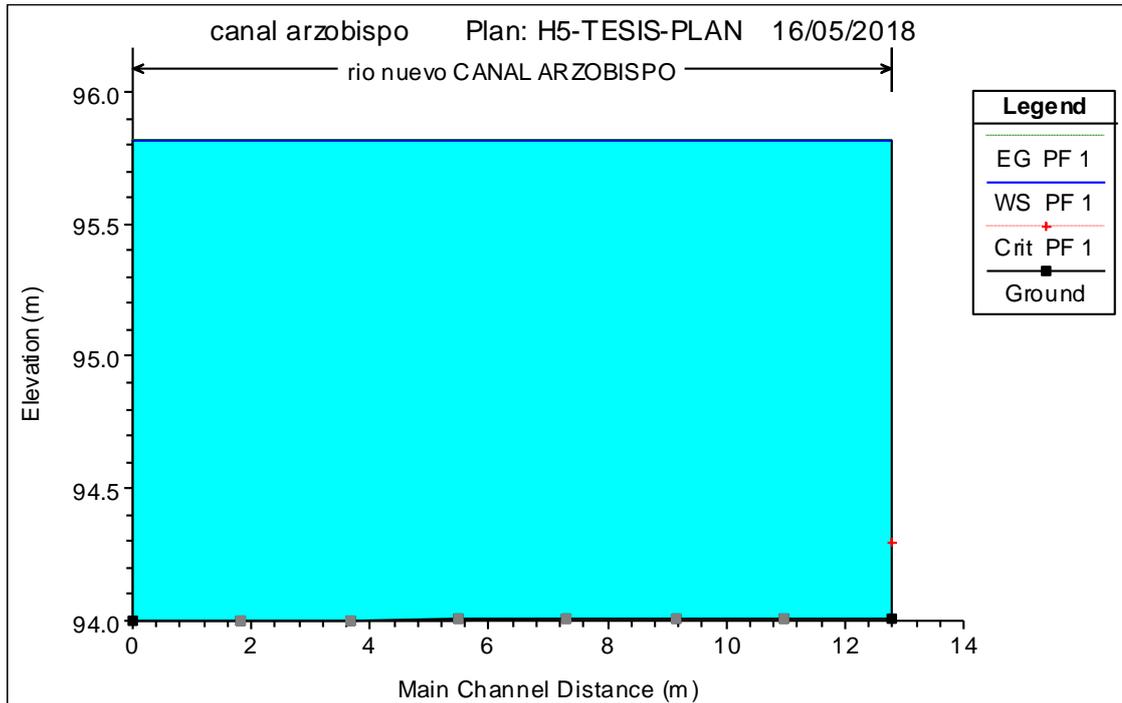
Ilustración 566. Sección 7 Río Nuevo, Caudal 1.091 m³/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

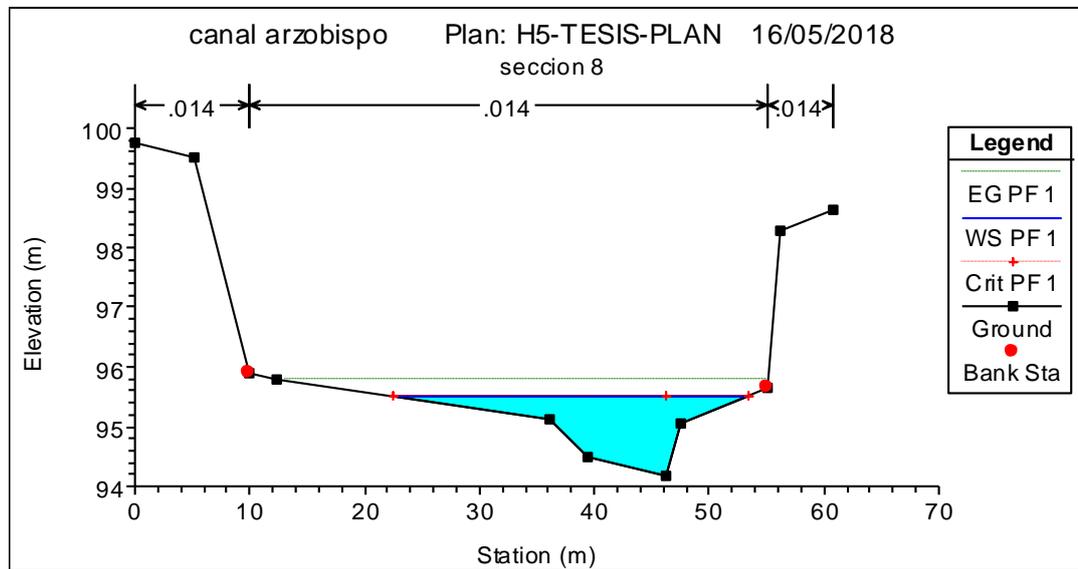
En la sección 4 y 5 que comprende el tramo del Río Nuevo, se observó, que en la estructura, va a tener un perfil de llenado de 1.75 a 1.80 m, esto nos demuestra que a pesar de que lleguen 3 caudales diferentes al mismo punto la estructura, va a mantener un nivel de elevación constante.

Ilustración 577. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (RÌO NUEVO)



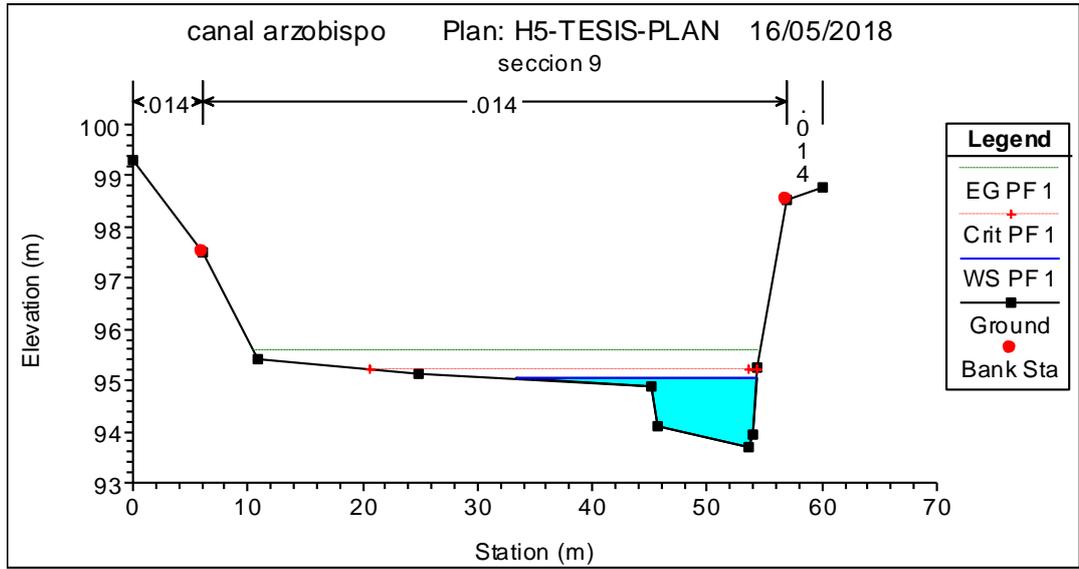
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 588. Sección 8 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 34.612 m³/s



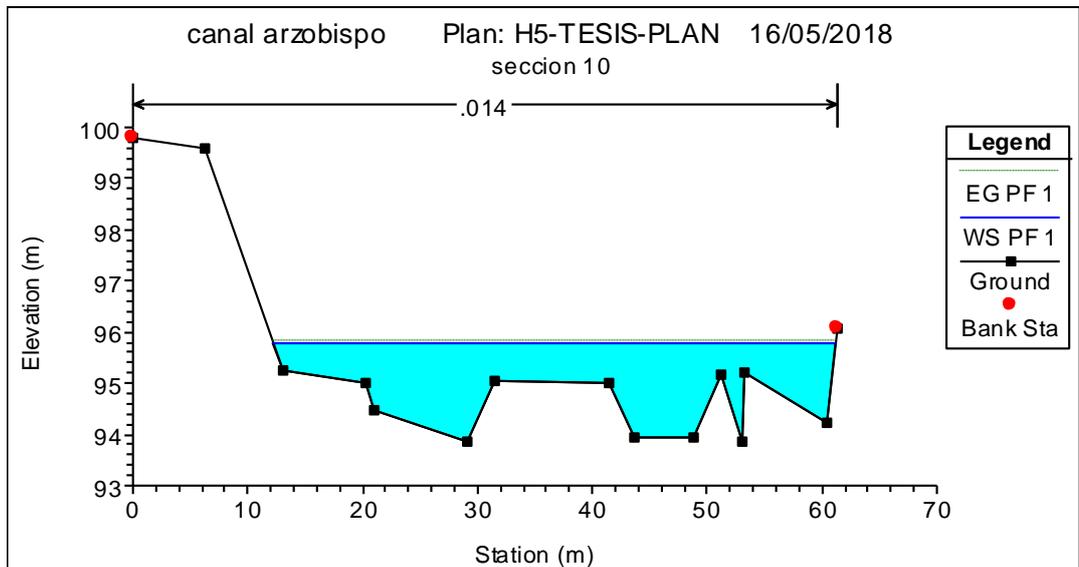
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 59. Sección 9 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 34.612 m3/s



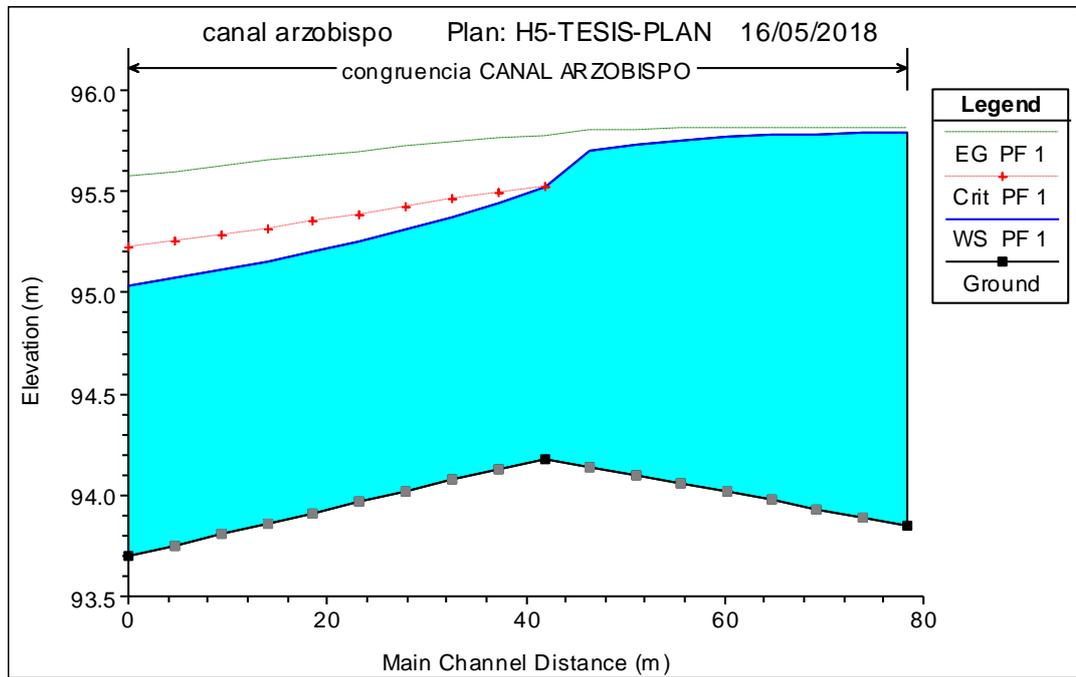
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 60. Sección 9 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 34.612 m3/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

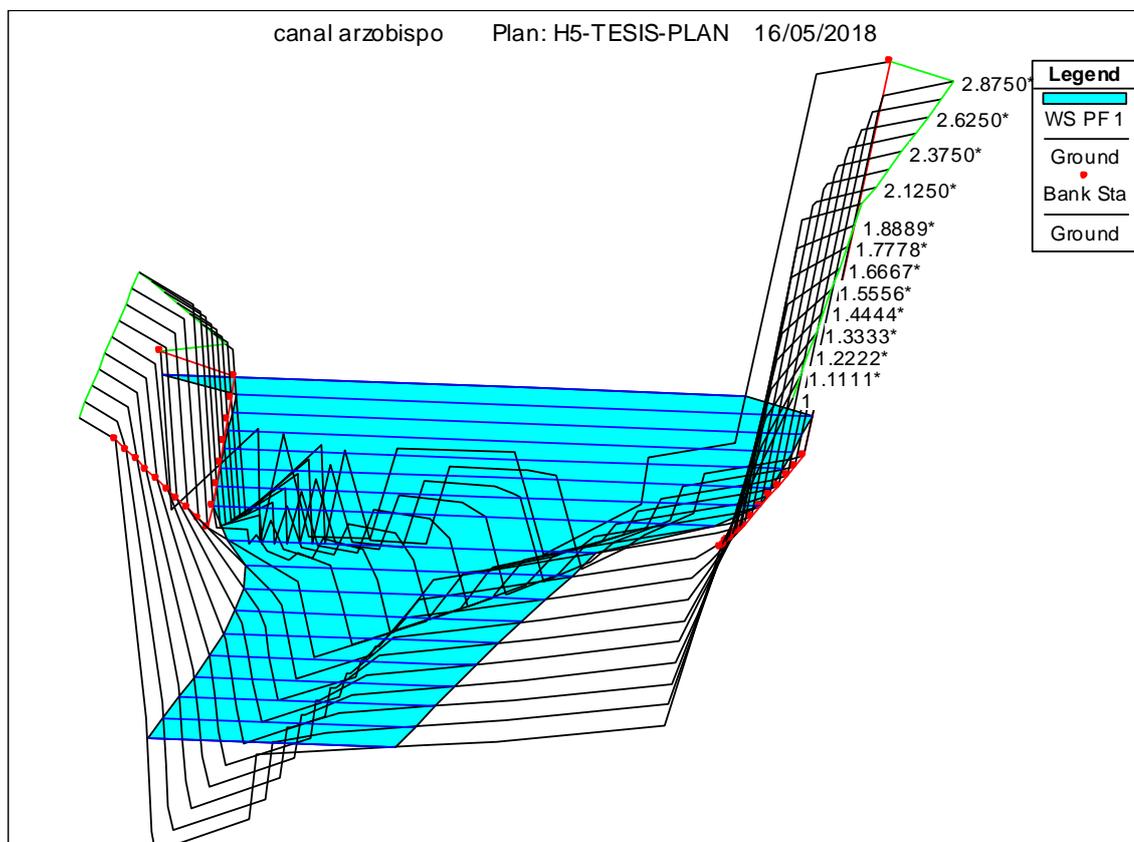
Ilustración 618. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (SECCIÓN DE CONFLUENCIA DE LOS TRES CANALES)



Fuente: Autores, Hec-Ras

En el punto de confluencia, sigue teniendo un comportamiento similar, aunque este se trabaje con un caudal de 36.612 m³/s, que es superior a los caudales ya evaluados con anterioridad, esto puede ser porque el área de contacto es mayor y deja circular caudales grandes con facilidad y sin padecer de rebosamientos.

Ilustración 629. Perfil de flujo canal Río Arzobispo (Estructura completa) (condición actual) H5



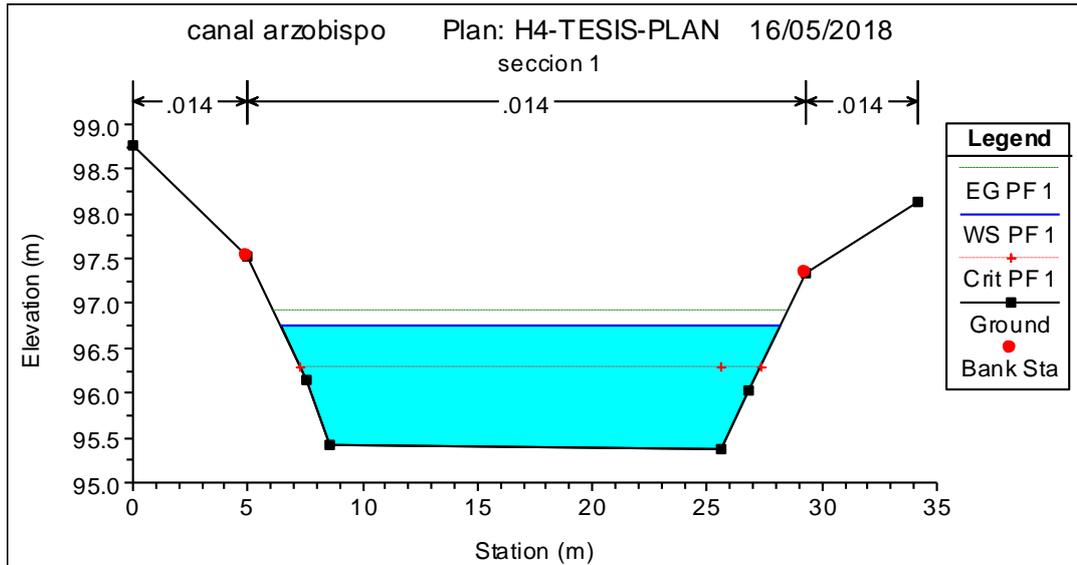
Fuente: Autores, Hec-Ras

El perfil de flujo muestra que la estructura está lejos de sufrir una inundación, producida por los caudales evaluados en la primera modelación.

3.3.2 Modelación # 2 Altura H4

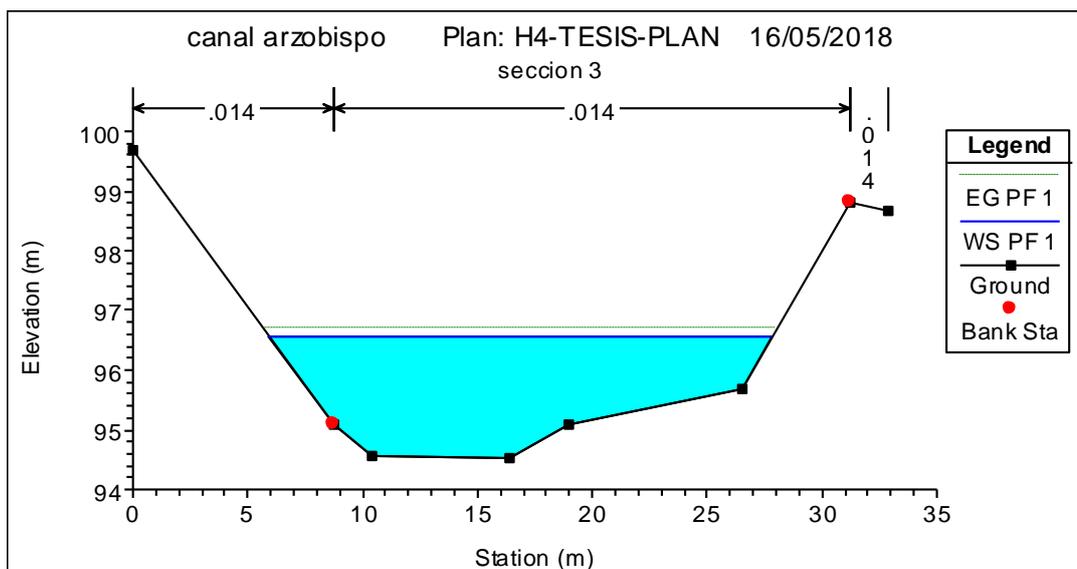
Con caudales calculados con una altura de H4 la estructura tiene un perfil de llenado promedio de 1.8 a 2.2 metros de elevación del agua, estos niveles de agua no afectarían al canal y se transportaría con normalidad el fluido.

Ilustración 630. Sección 1 Canal Negro, Caudal 48.034 m³/s



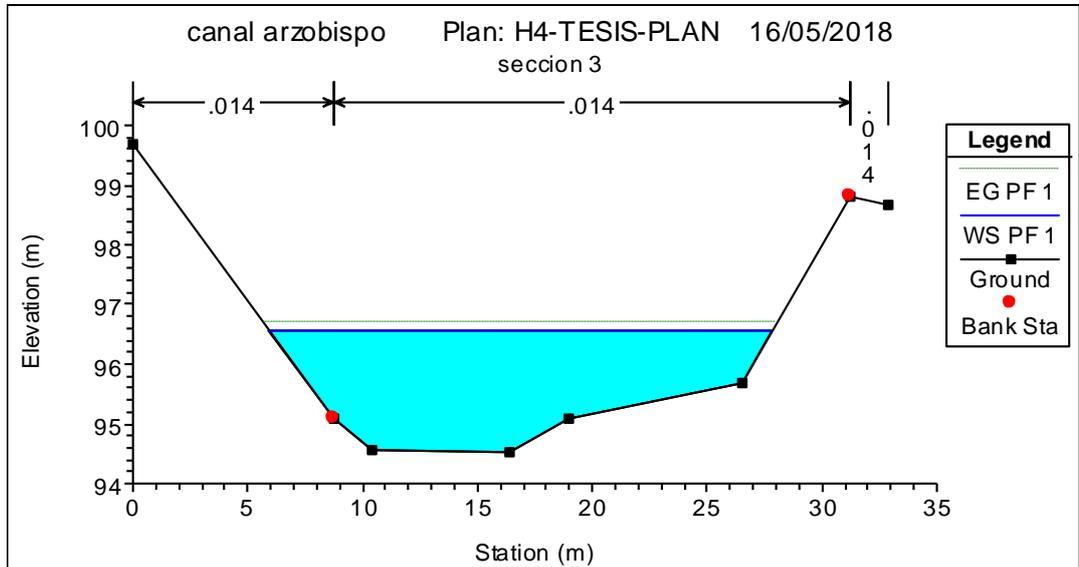
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 641. Sección 2 Rio Negro, Caudal 48.034 m³/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

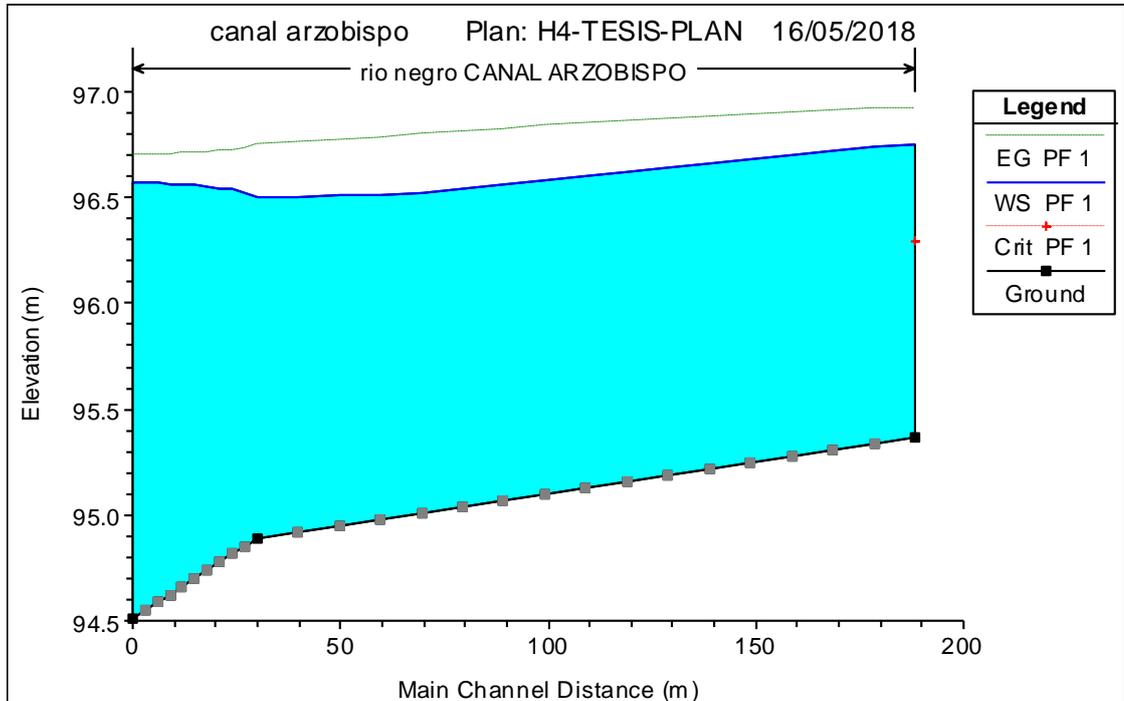
Ilustración 652. Sección 3 Río Negro, Caudal 48.034 m3/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

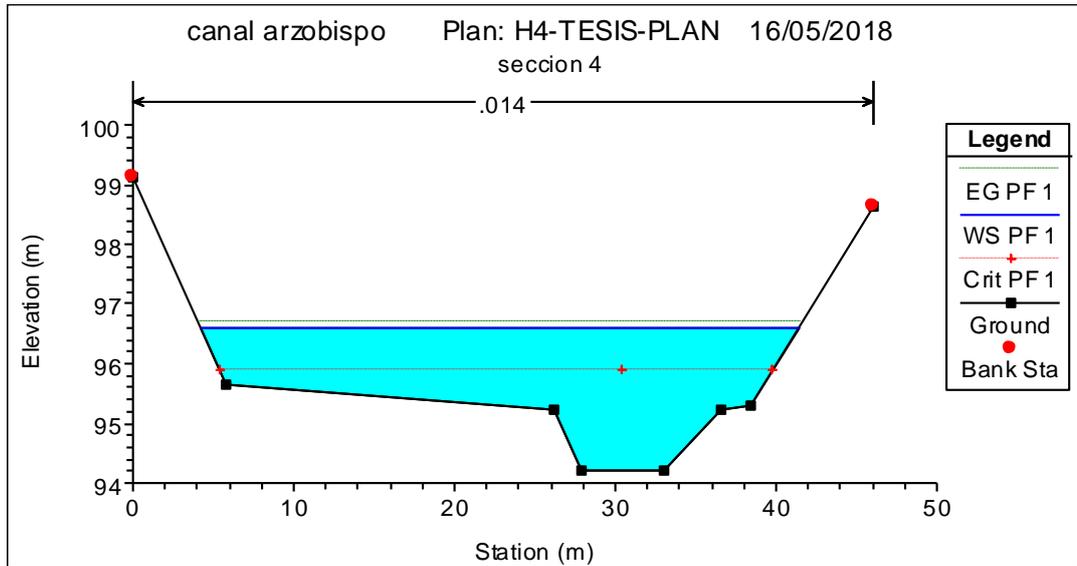
El nivel del fluido no sobrepasa los 1.8 metros de altitud en el canal, lo que demuestra que la estructura es confiable para caudales de 48.034 m³/s

Ilustración 63. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (Río Negro)



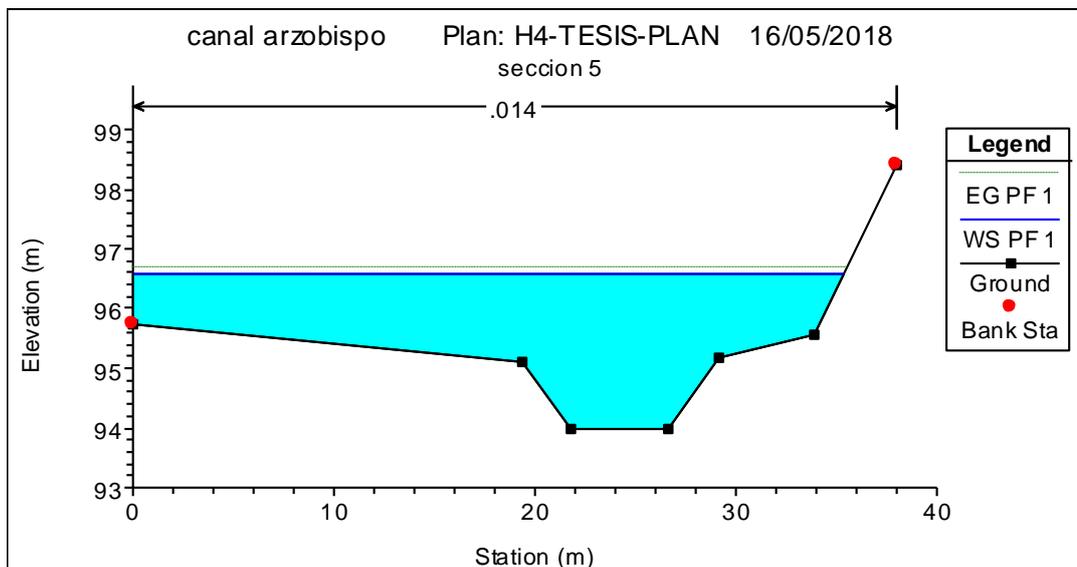
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 664. Sección 4 Rio Arzobispo, Caudal 69.977 m3/s



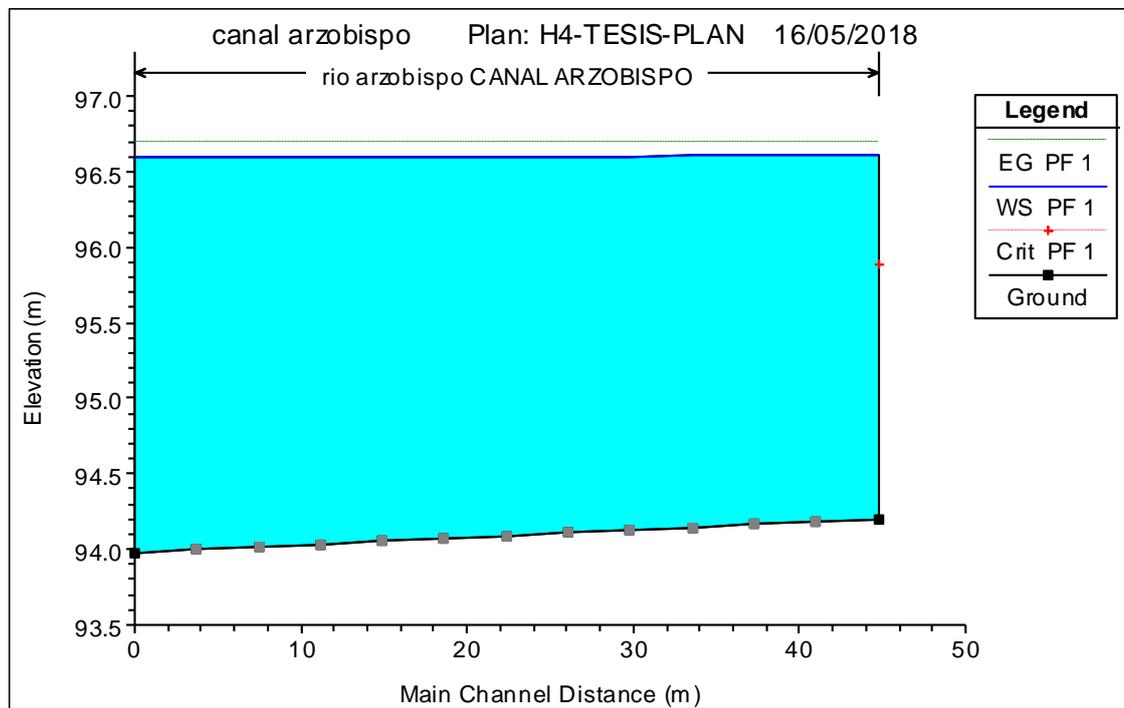
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 675. Sección 5 Rio Arzobispo, Caudal 69.977 m3/s



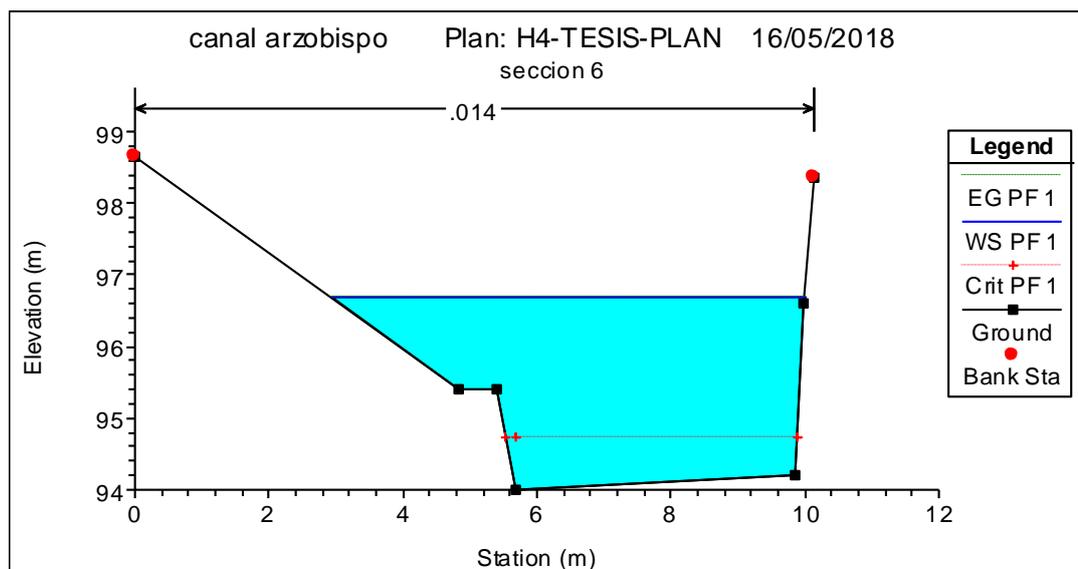
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 66. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (Río Arzpbispo)



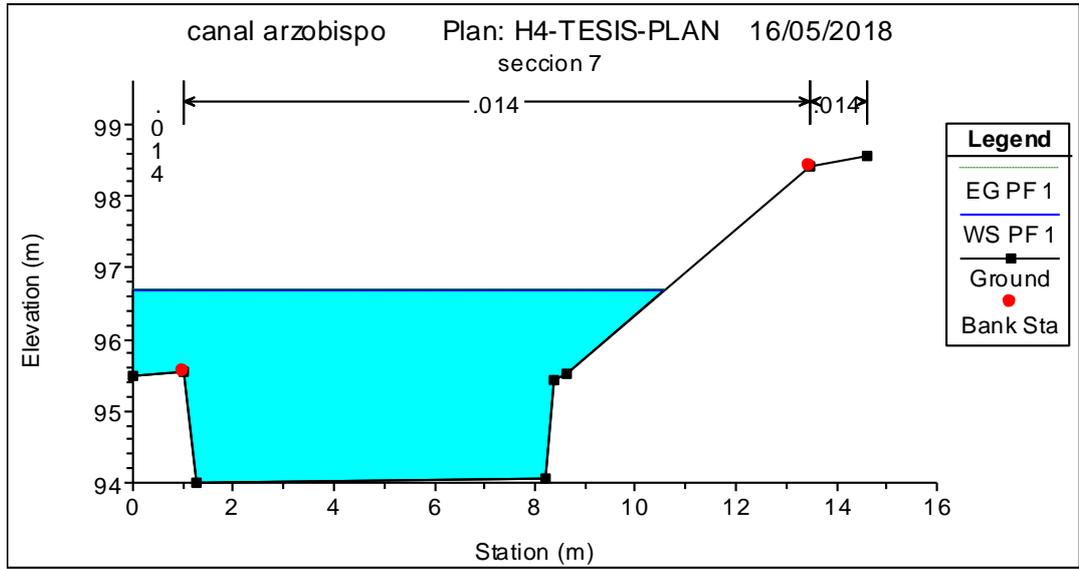
En la sección 4 y 5 del Canal Río Arzobispo el nivel de llenado supera los 2 metros, lo cual es confiable, y el agua no rebotaría el sistema, aun aumentando a 2 metros la elevación del fluido.

Ilustración 687. Sección 6 Río Nuevo, Caudal 6.836 m³/s



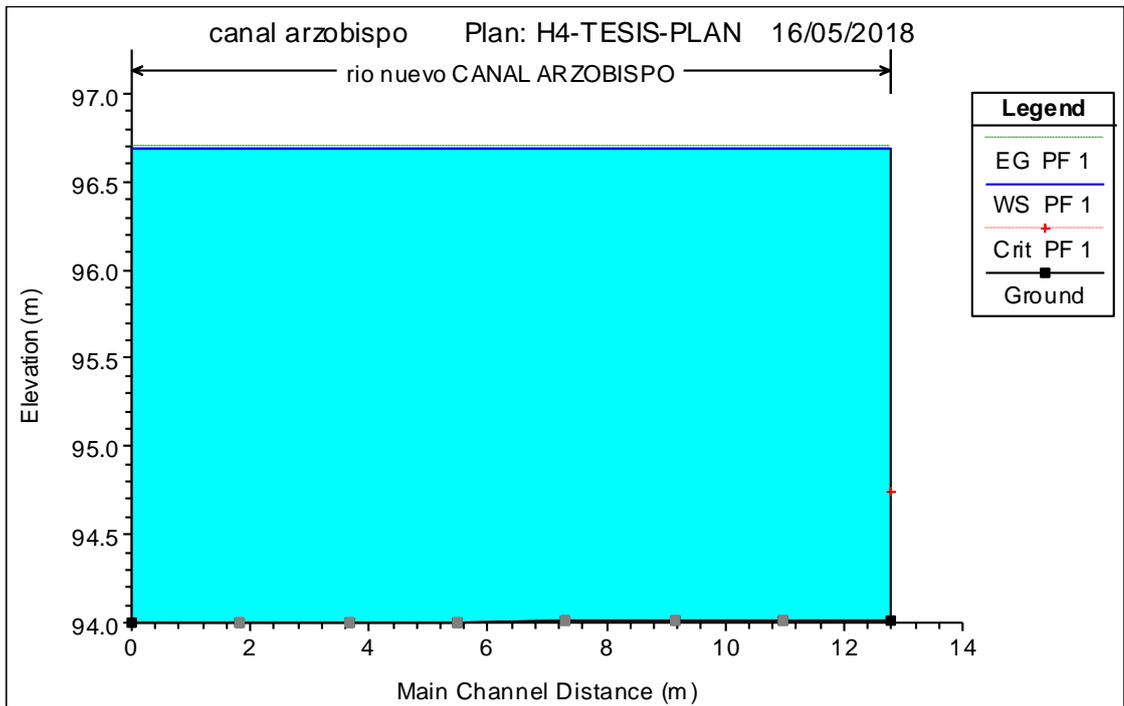
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 698. Sección 7 Río Arzobispo, Caudal 6.836 m³/s



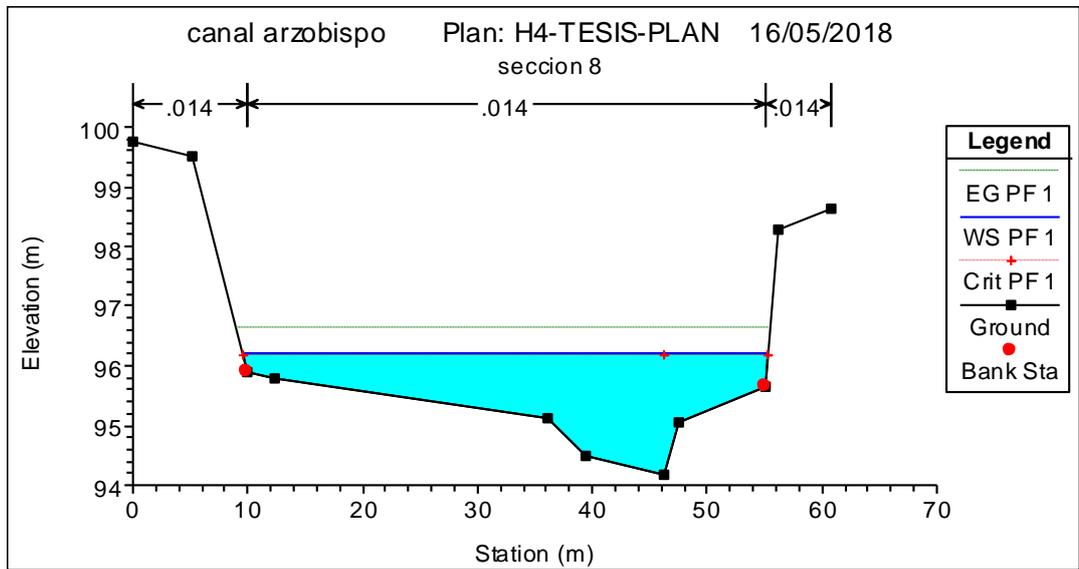
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 6970. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (Río Arzobispo)



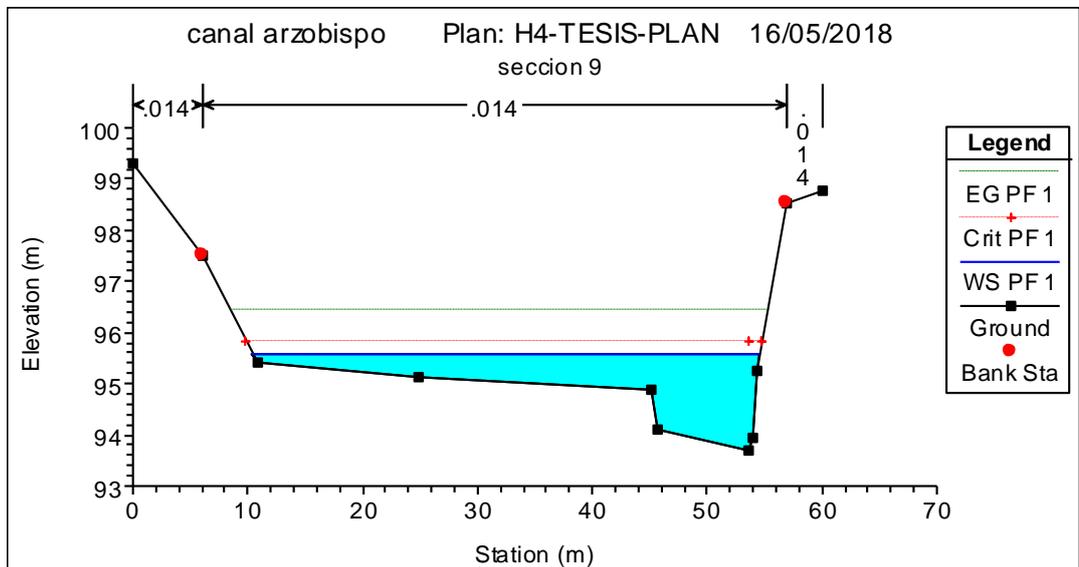
En el perfil de llenado arroja una elevación de un máximo de 2.7 metros.

Ilustración 7071. Sección 8 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 128.265 m³/s



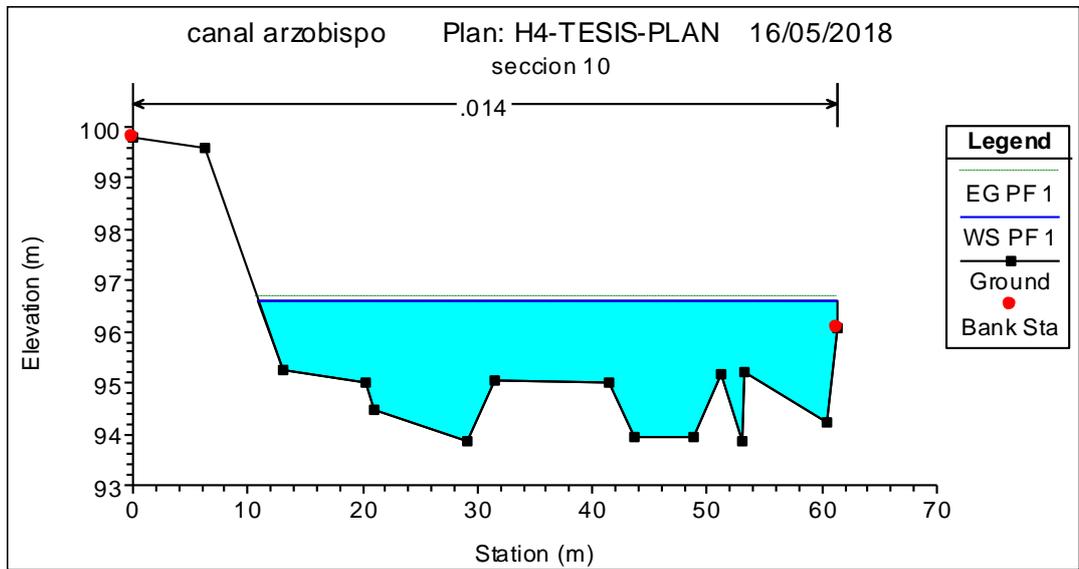
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 72. Sección 9 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 128.265 m³/s



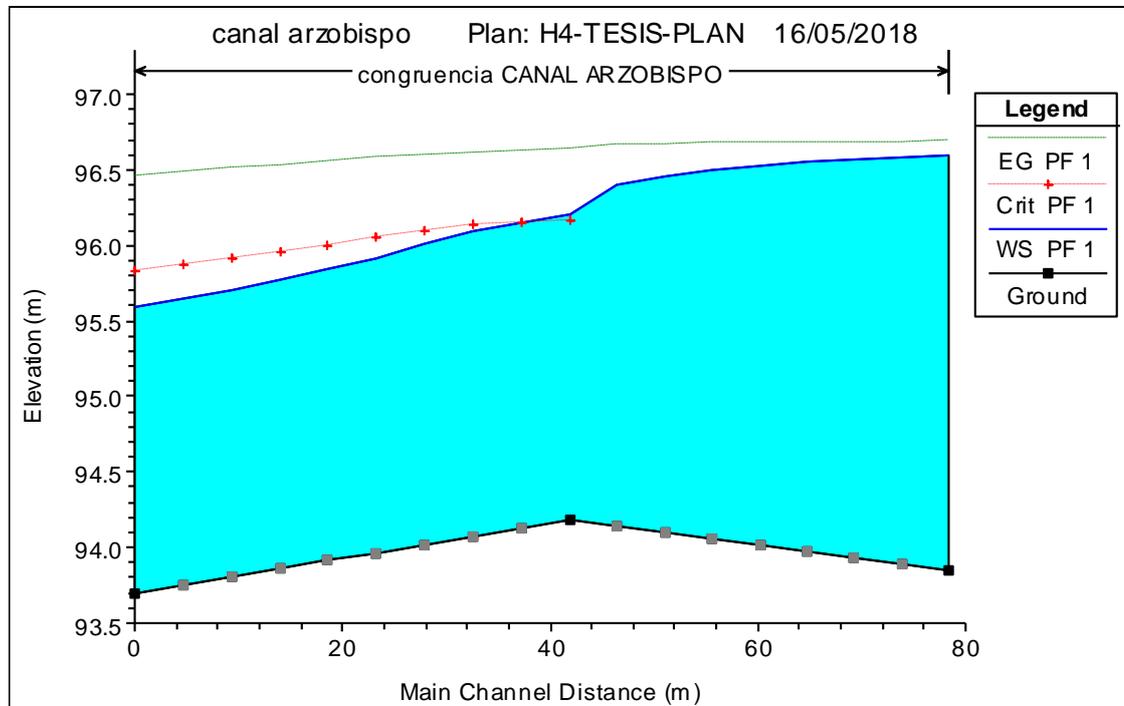
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 73. Sección 10 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 128.265 m³/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

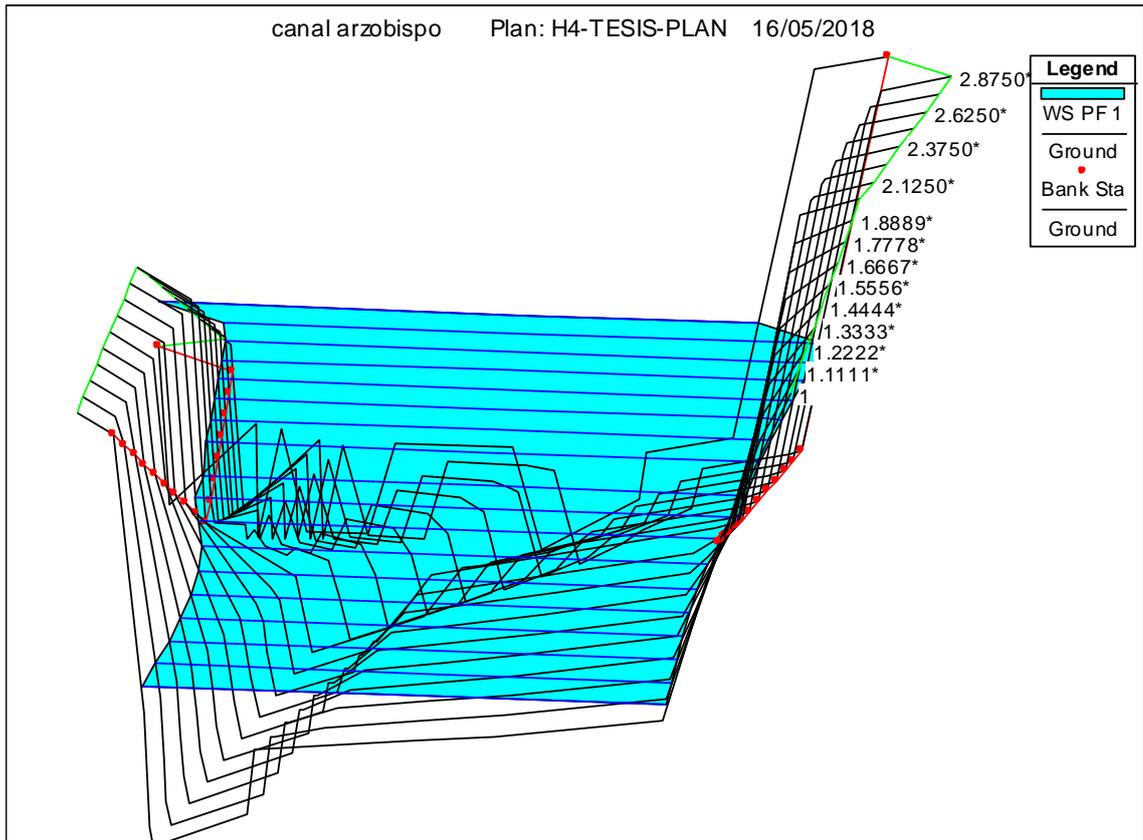
Ilustración 74. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (SECCIÓN DE CONFLUENCIA DE LOS TRES CANALES)



Fuente: Autores, Hec-Ras

La elevación máxima de la zona de confluencia de los tres canales es de 2.8 metros esto nos indica que la estructura trabaja con un nivel de servicio excelente y no hay peligro de que ocurra una inundación con los caudales evaluados en la segunda modelación.

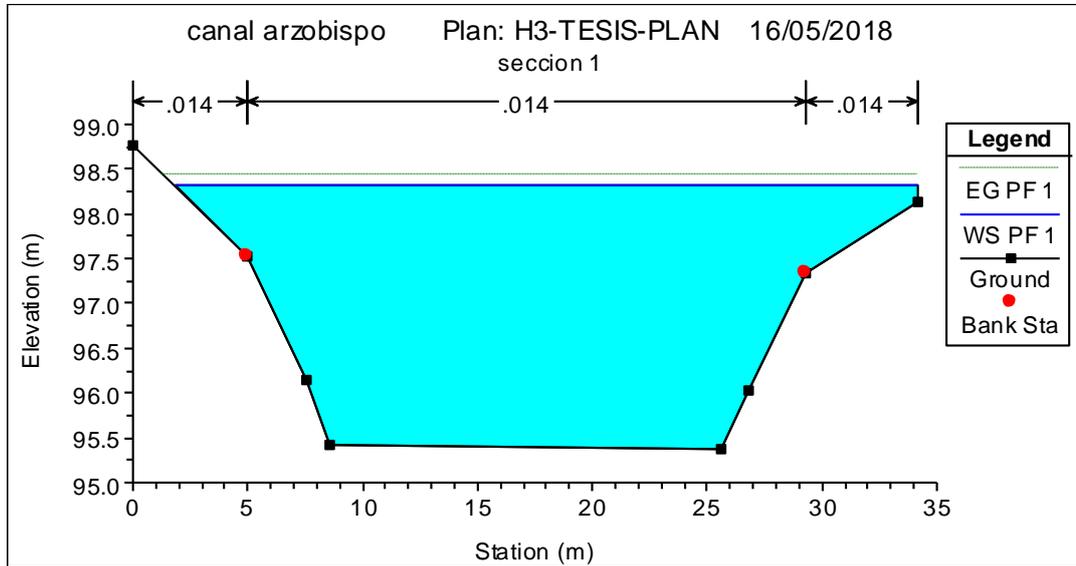
Ilustración 75. Perfil de flujo canal Río Arzobispo (Estructura completa) (condición actual) H4



Fuente: Autores, Hec-Ras

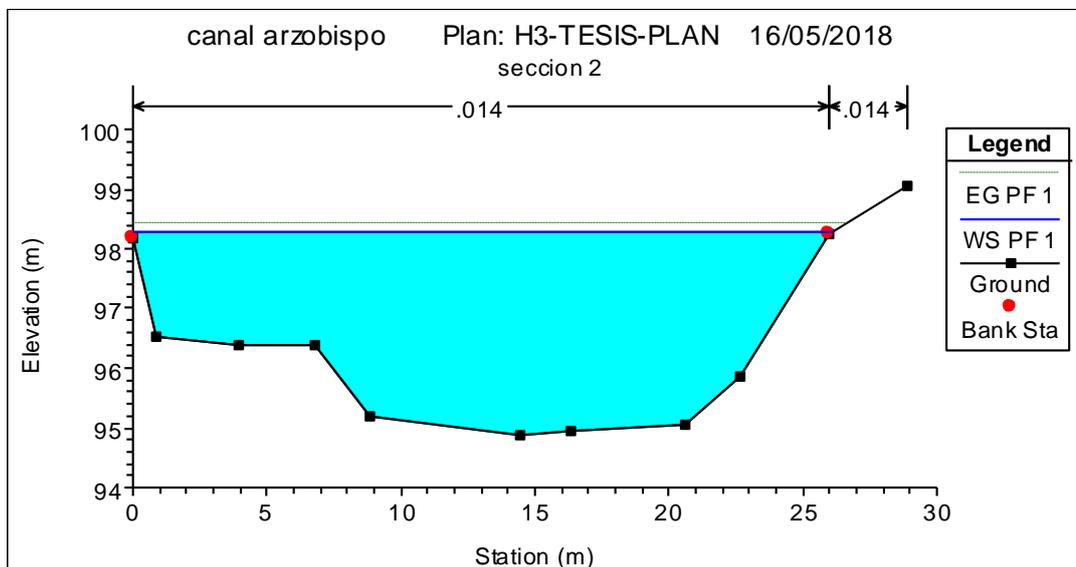
3.2.3 Modelación #3 H-3

Ilustración 765. Sección 1 Canal Negro, Caudal 48.034 m³/s



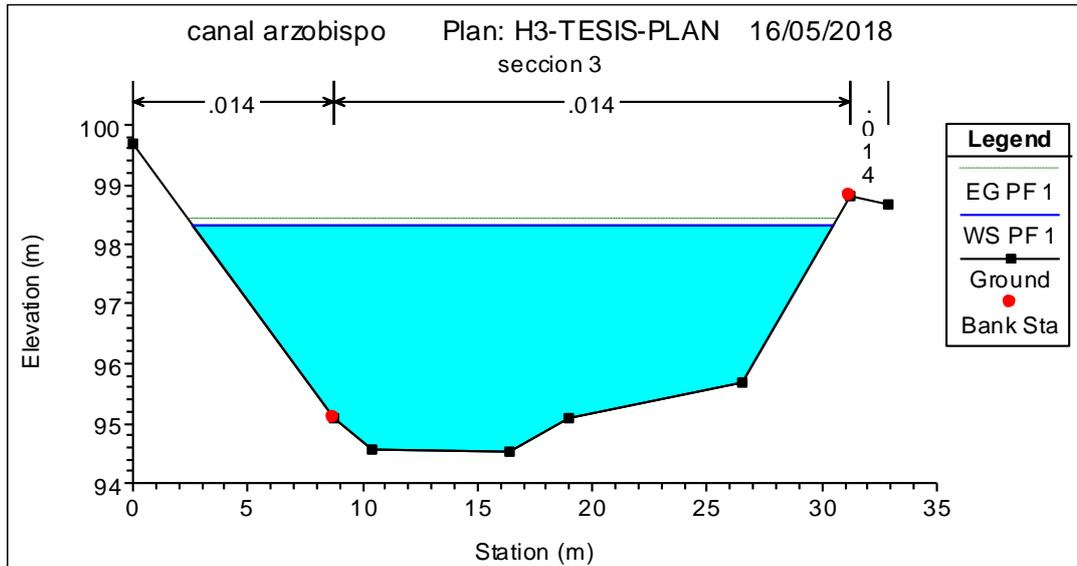
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 776. Sección 2 Rio Negro, Caudal 48.034 m³/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

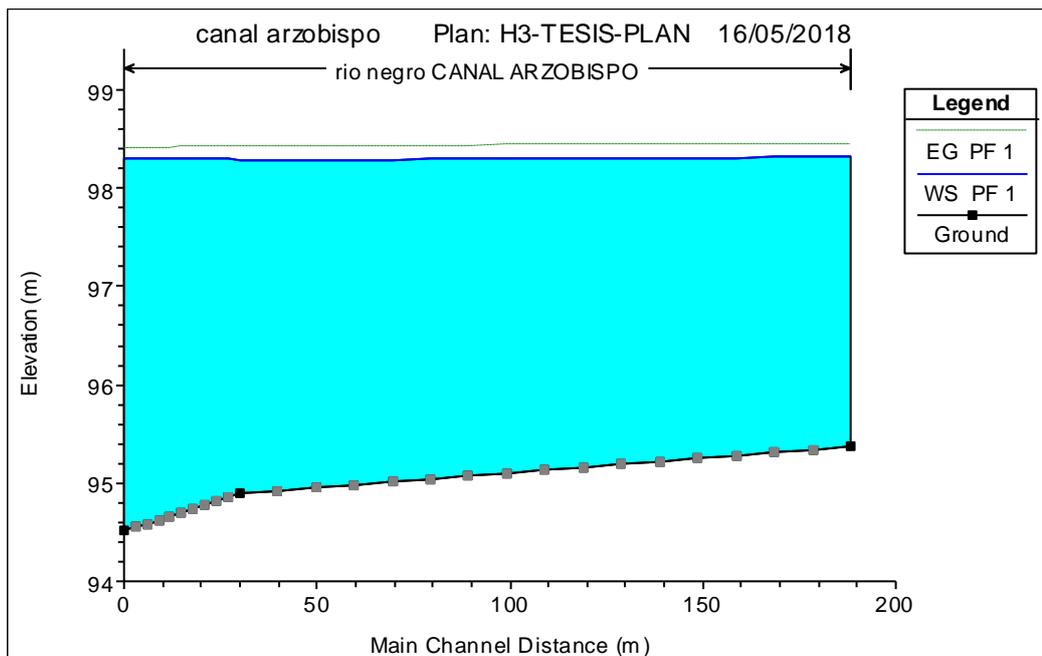
Ilustración 787. Sección 3 Río Negro, Caudal 48.034 m3/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

En la tercera modelación ya se nota, que el canal está cerca de colapsar, con un caudal de 103.24 m3/s, la estructura empieza a una elevación de 3.8 m, y la estructura tiene en sus puntos más altos una altura un poco mayor de 5 metros. En el punto que conecta al Río Negro con la zona de confluencia, puede transportar sin problemas este caudal tan alto.

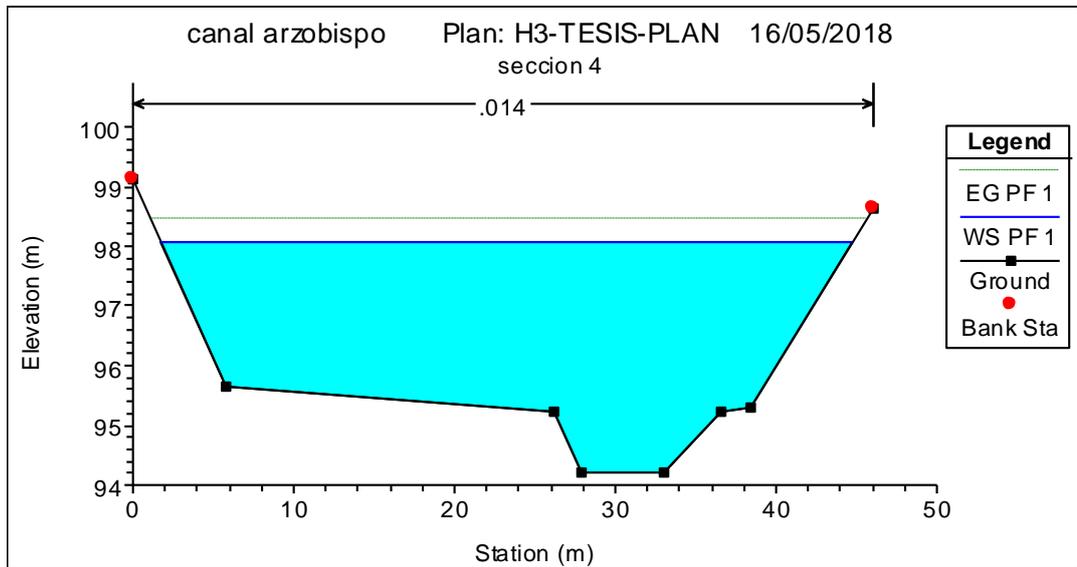
Ilustración 7879. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (Río Negro)



Fuente: Autores, Hec-Ras

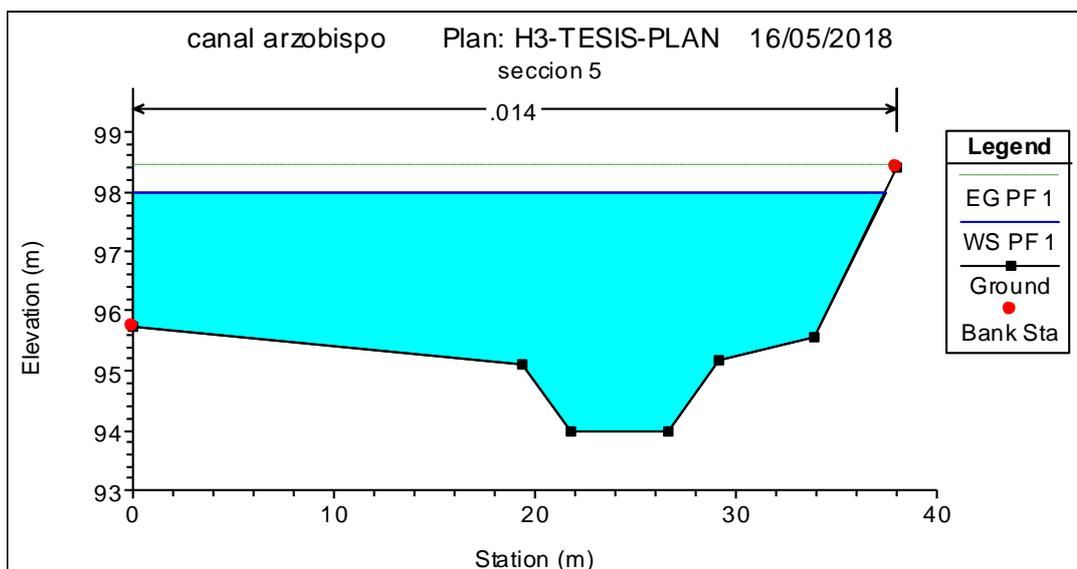
La elevación en el tramo del Río Negro supera los 3 metros, lo cual no representa una amenaza para la estructura ni para las personas que viven y transitan por la zona.

Ilustración 7980. Sección 4 Río Arzobispo, Caudal 69.977 m³/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 810. Sección 5 Río Arzobispo, Caudal 69.977 m³/s

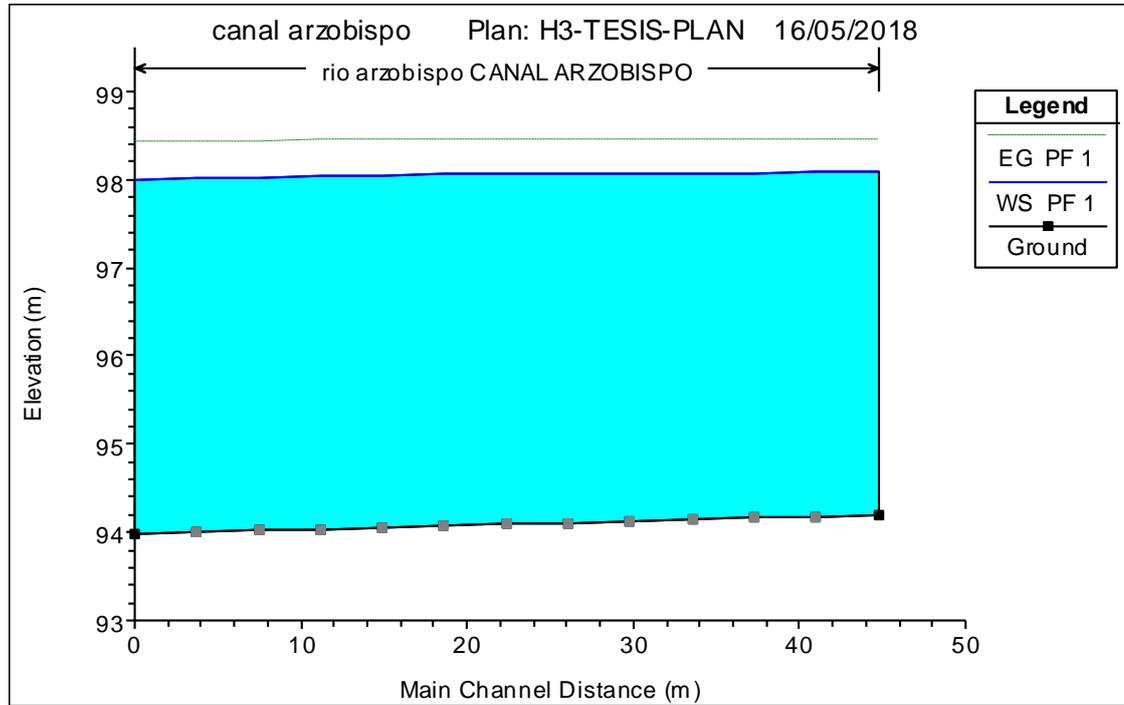


Fuente: Autores, Hec-Ras

En la sección 4 y 5 que pertenece al tramo Río Arzobispo, se modelo con un caudal de 300,811 m³/s, mostrando una elevación de 4 metros, muy cerca al

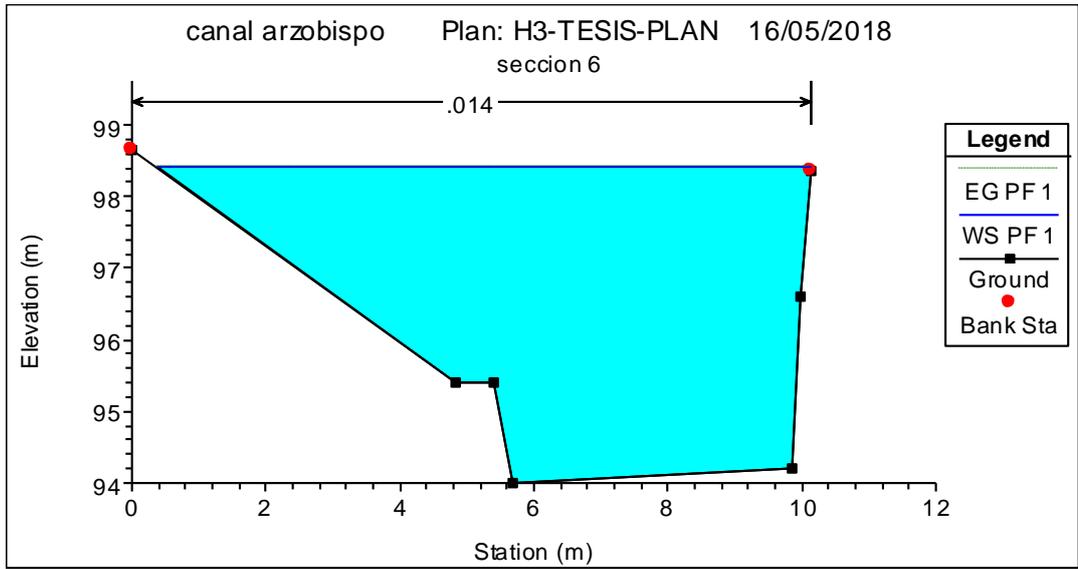
nivel de inundación del canal. Este tramo trabaja sin problemas, pero con una alerta de posibles inundaciones si se supera estos caudales.

Ilustración 8182. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (Río Arzobispo)



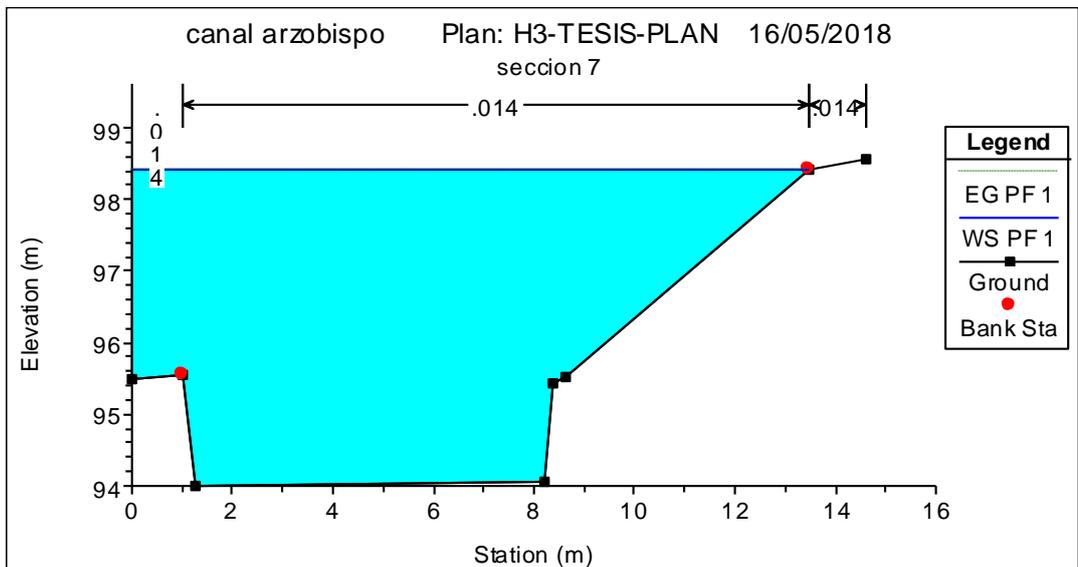
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 832. Sección 6 Rio Nuevo, Caudal 6.836 m³/s



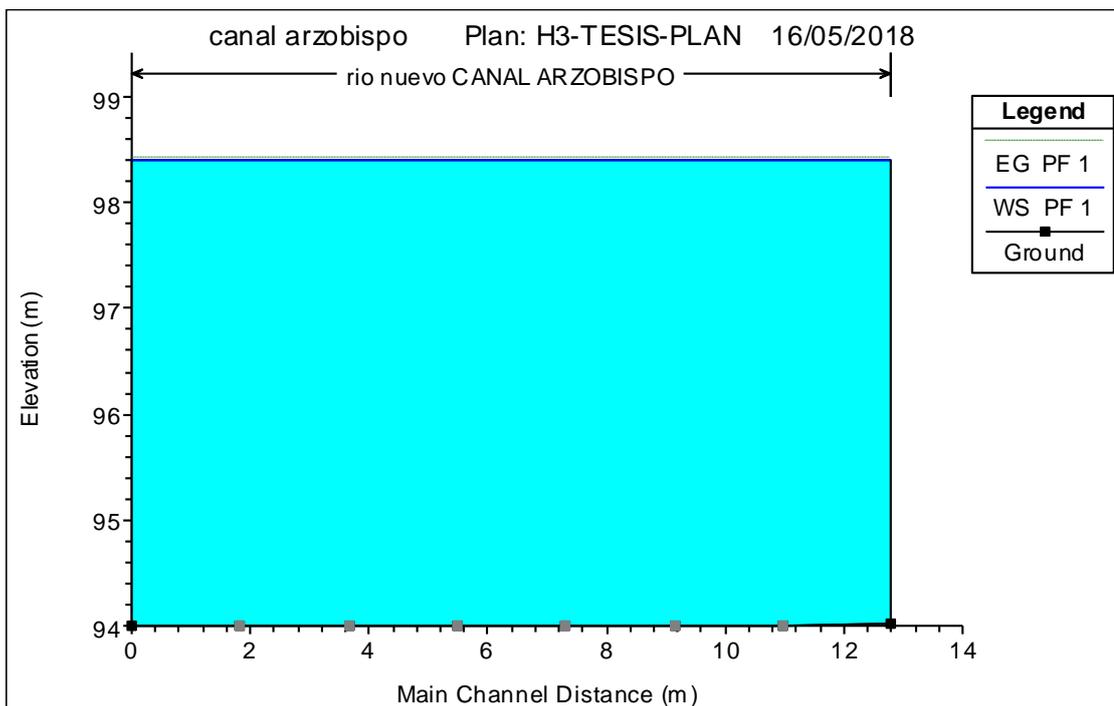
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 843. Sección 7 Rio Arzobispo, Caudal 6.836 m³/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

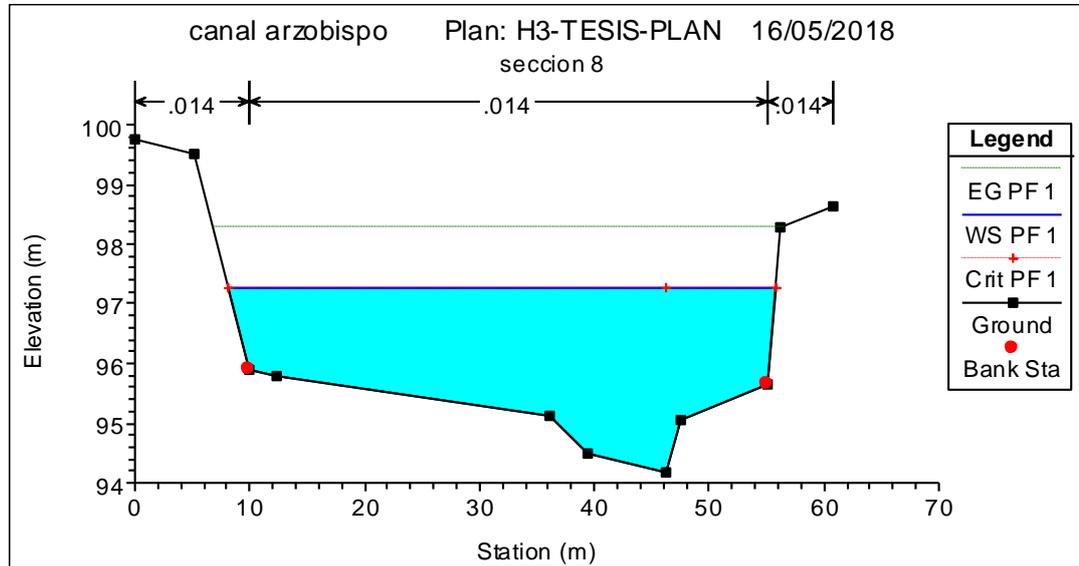
Ilustración 8485. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (Río Nuevo)



Fuente: Autores, Hec-Ras

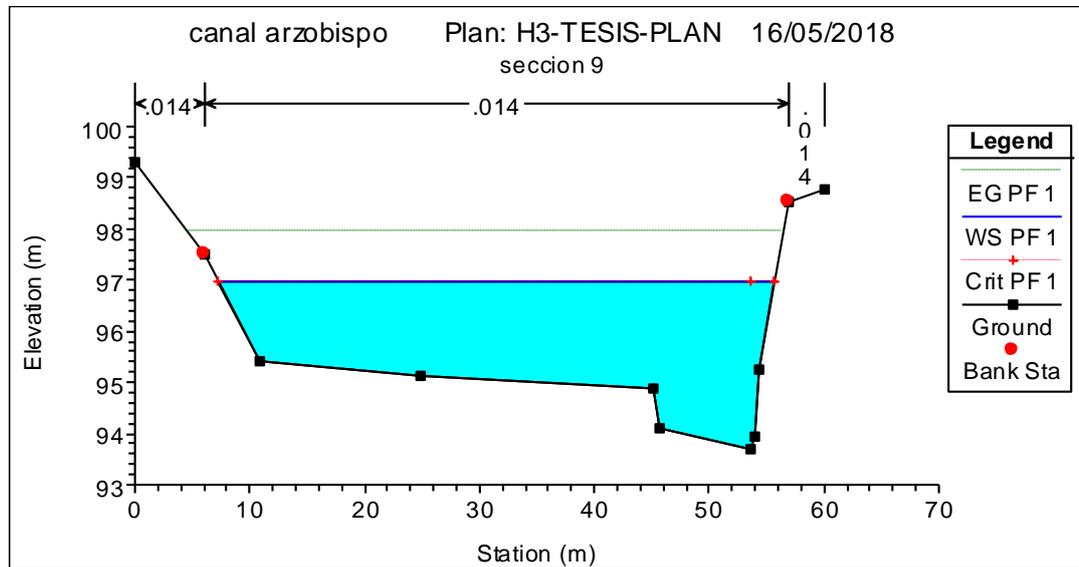
El perfil de llenado del tramo del Canal Río Nuevo es de 4.2 metros de agua esto nos indica que ya debemos tener precaución en la zona.

Ilustración 865. Sección 8 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 128.265 m³/s



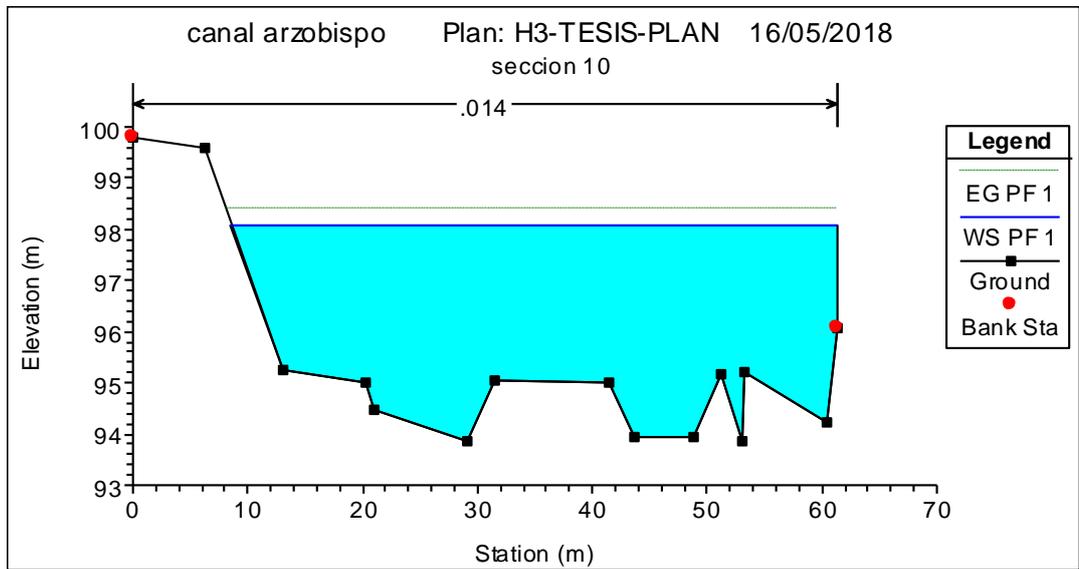
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 87. Sección 9 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 128.265 m³/s



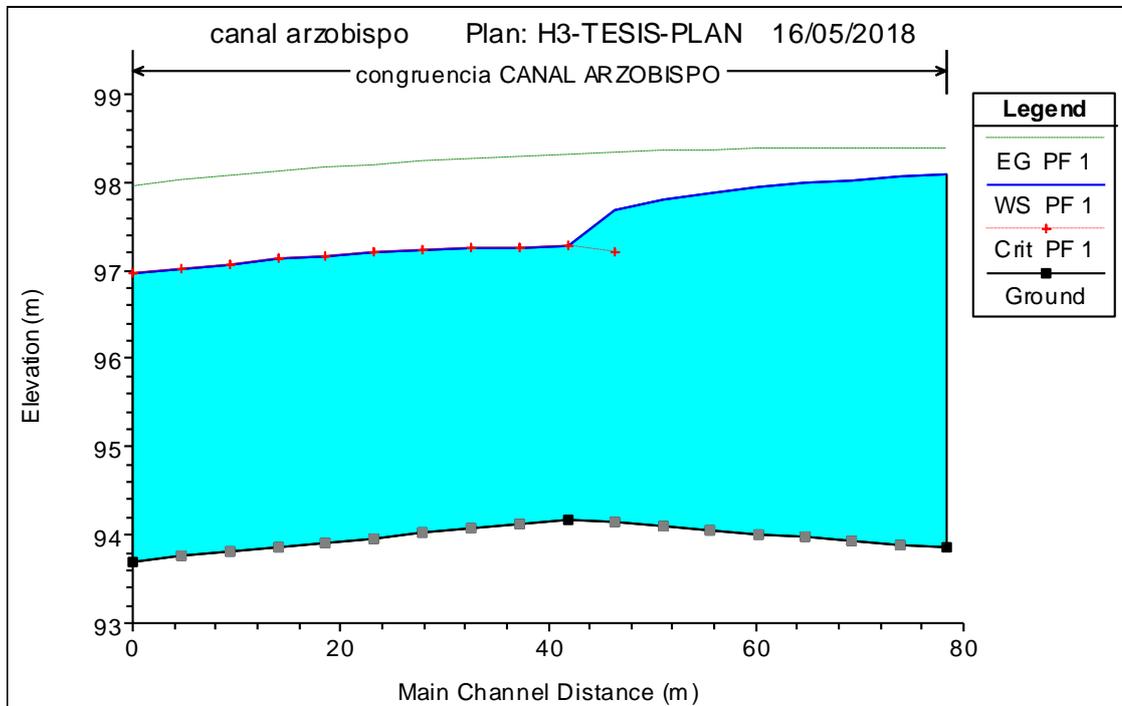
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 88, Sección 10 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 128.265 m³/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

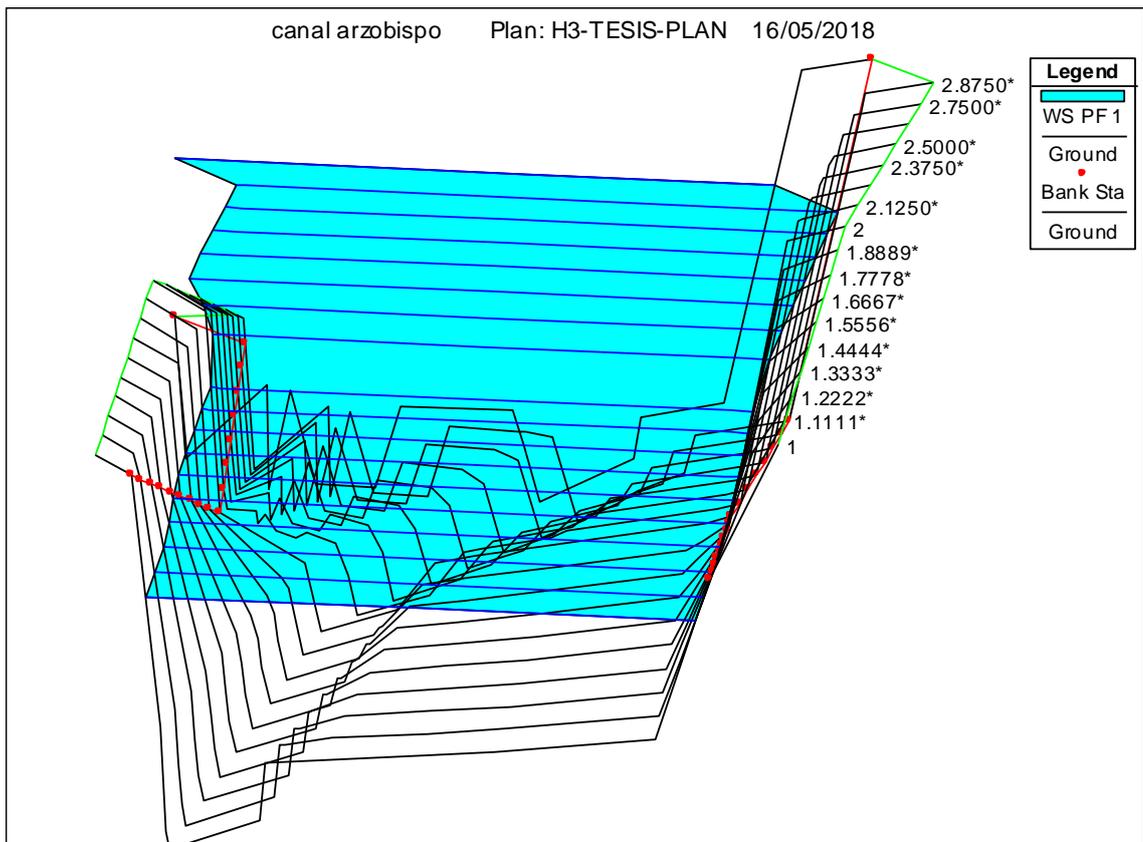
Ilustración 8889. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (SECCIÓN DE CONFLUENCIA DE LOS TRES CANALES)



Fuente: Autores, Hec-Ras

En la zona de confluencia de los tres canales, la estructura es estable y brinda un nivel de servicio óptimo, este tramo se evaluó con el caudal de la tabla 29 de 417.426 m³/s, muestra un nivel de llenado de 3.6 m. Esta estructura trabaja muy bien con caudales grandes, esto nos indica que el diseño nos garantiza niveles de servicio altos.

Ilustración 90. Perfil de flujo canal Río Arzobispo (Estructura completa) (condición actual) H3

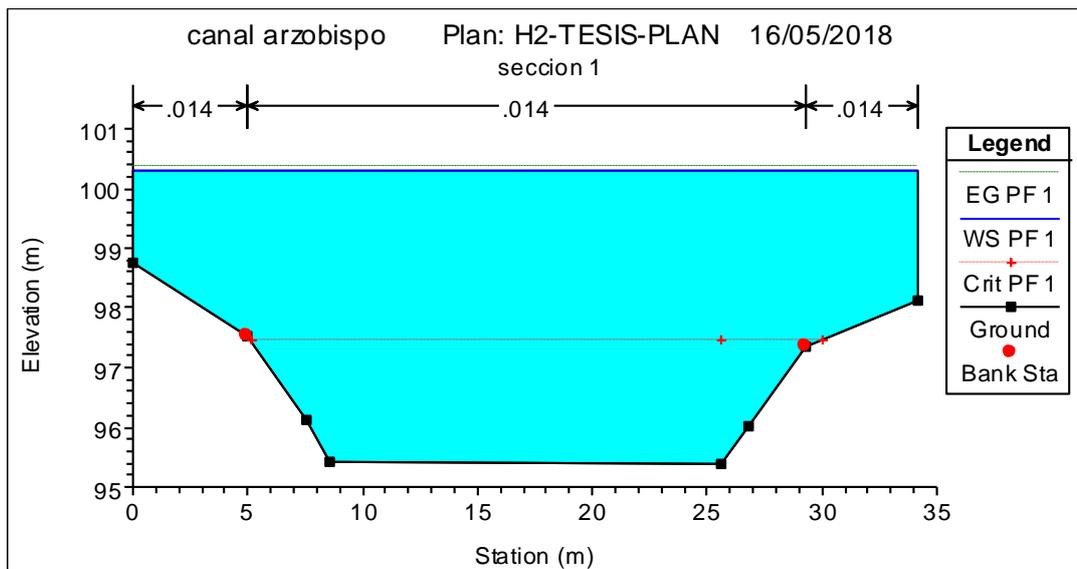


Fuente: Autores, Hec-Ras

3.3.4 Modelación #4 H-2

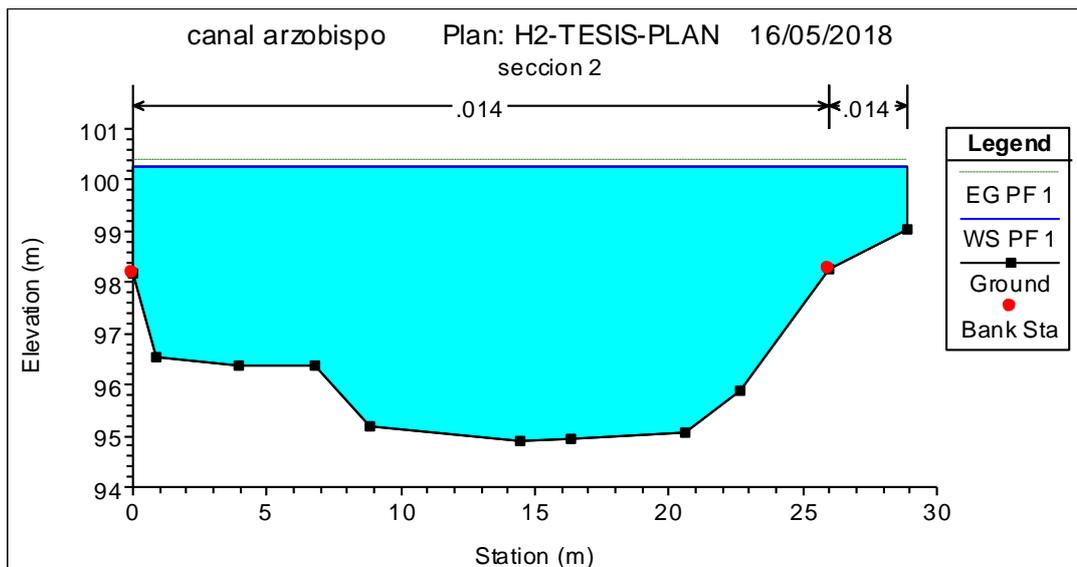
La modelación del canal, con caudales calculados con la altura H2, muestra que los tres tramos adyacentes al sitio de confluencia colapsarían, ya que la elevación en la mayoría de sus secciones supera los 5 metros. En la zona de confluencia todavía hay un diseño óptimo, aun con un caudal de 872.186 m³/s, el tramo donde se unen los tres canales no permitiría que hubiera inundaciones.

Ilustración 910. Sección 1 Canal Negro, Caudal 177.05 m³/s



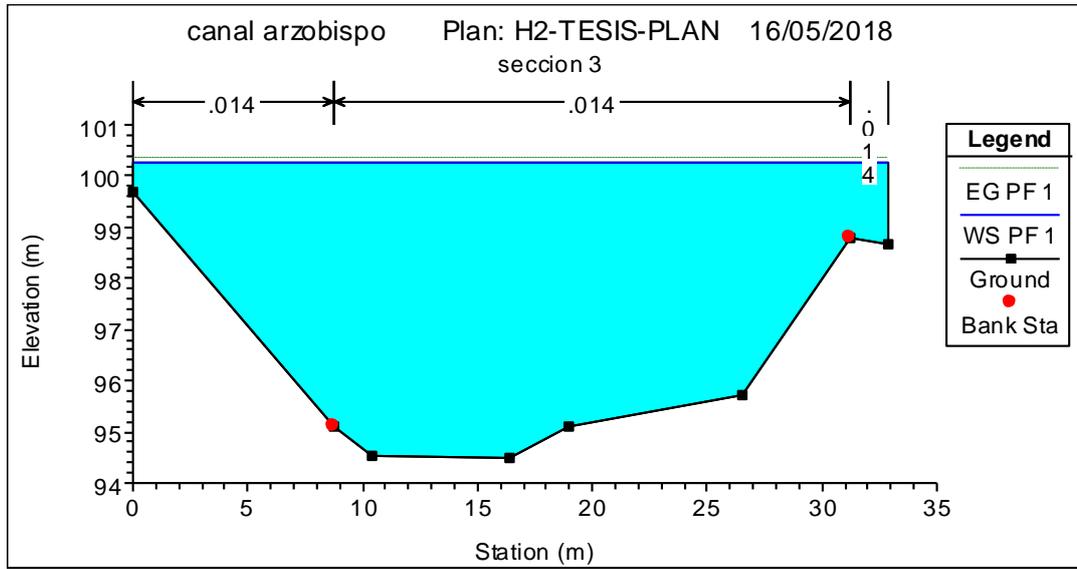
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 921, Sección 2 Rio Negro, Caudal 177.05 m³/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 932. Sección 3 Río Negro, Caudal 177.05 m3/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 9394. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (Río Negro)

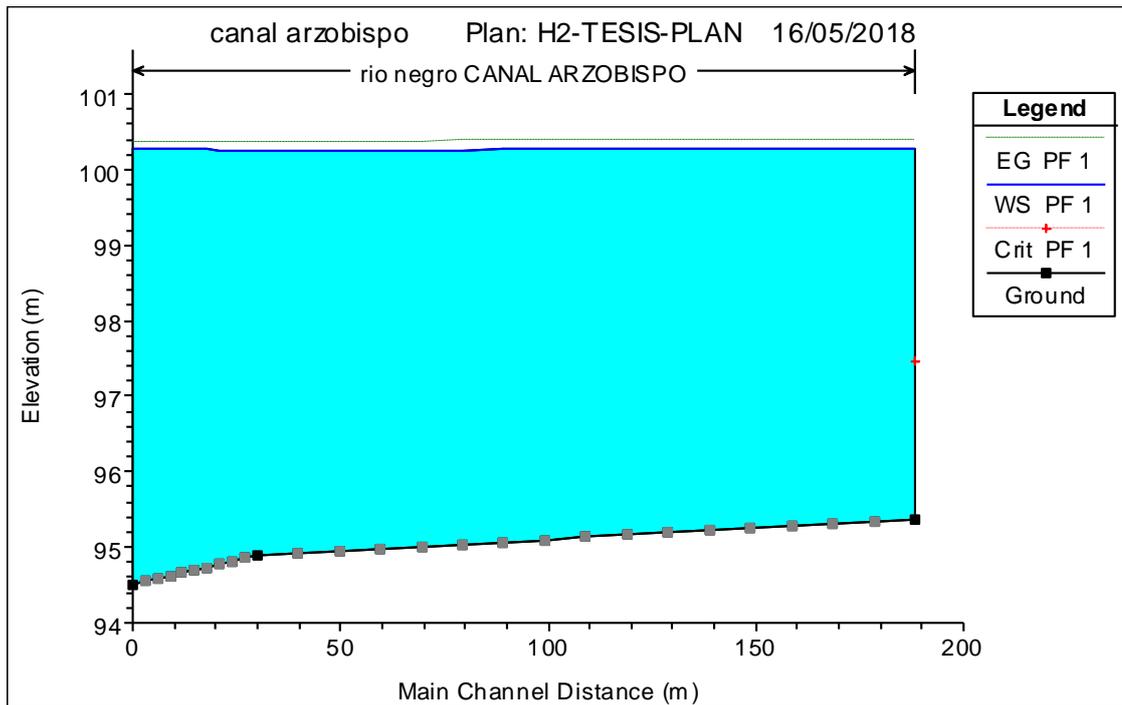
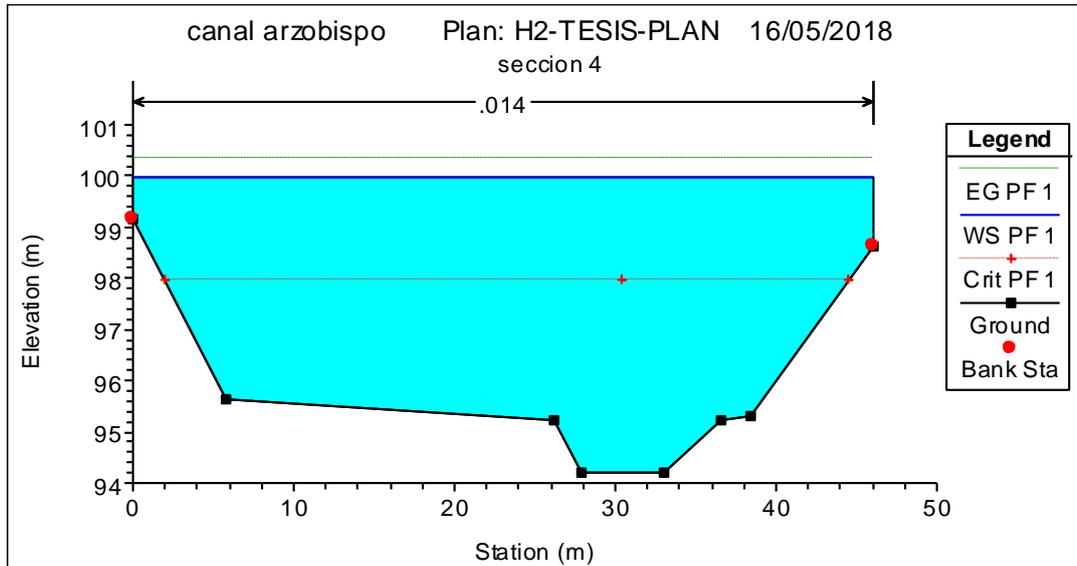
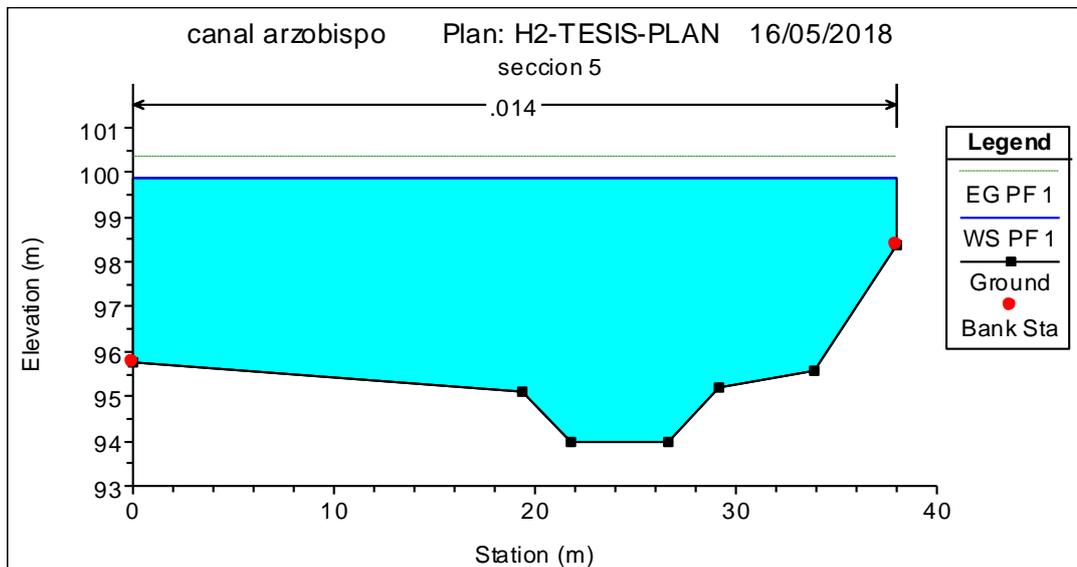


Ilustración 954. Sección 4 Rio Arzobispo, Caudal 648.276 m3/s



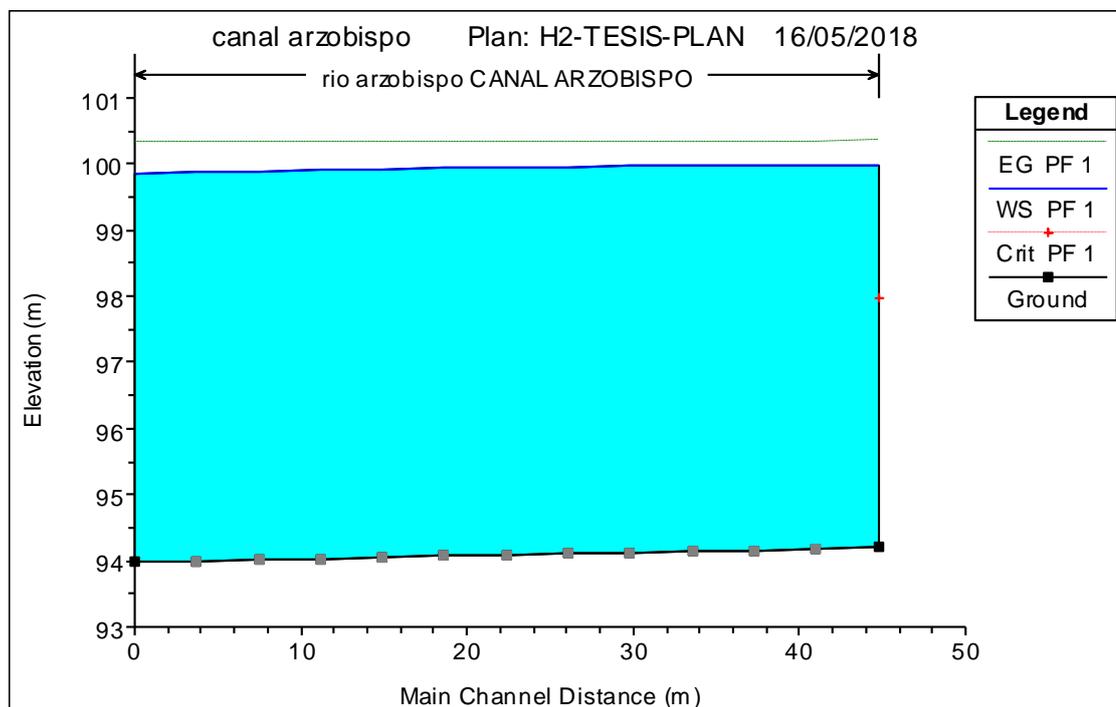
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 965. Sección 5 Rio Arzobispo, Caudal 648.76 m3/s



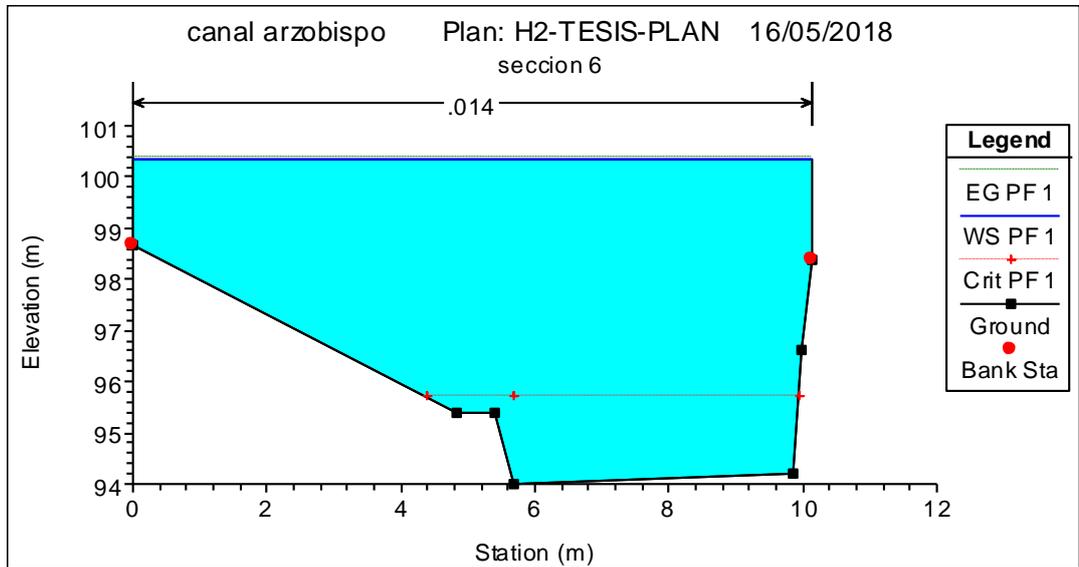
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 9697. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (Río Arzobispo)



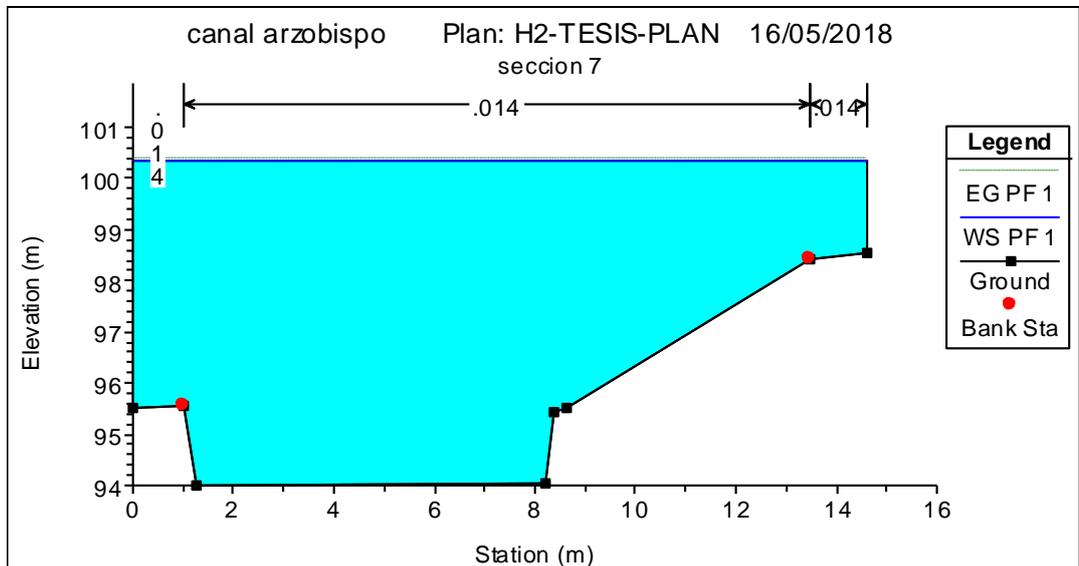
El perfil de llenado del tramo Río Arzobispo supera los 5 metros, esto nos indica que ya hay un desborde y la situación para los peatones y vehículos que transitan por la zona, es de alto peligro de inundación.

Ilustración 987. Sección 6 Rio Nuevo, Caudal 25.933 m3/s



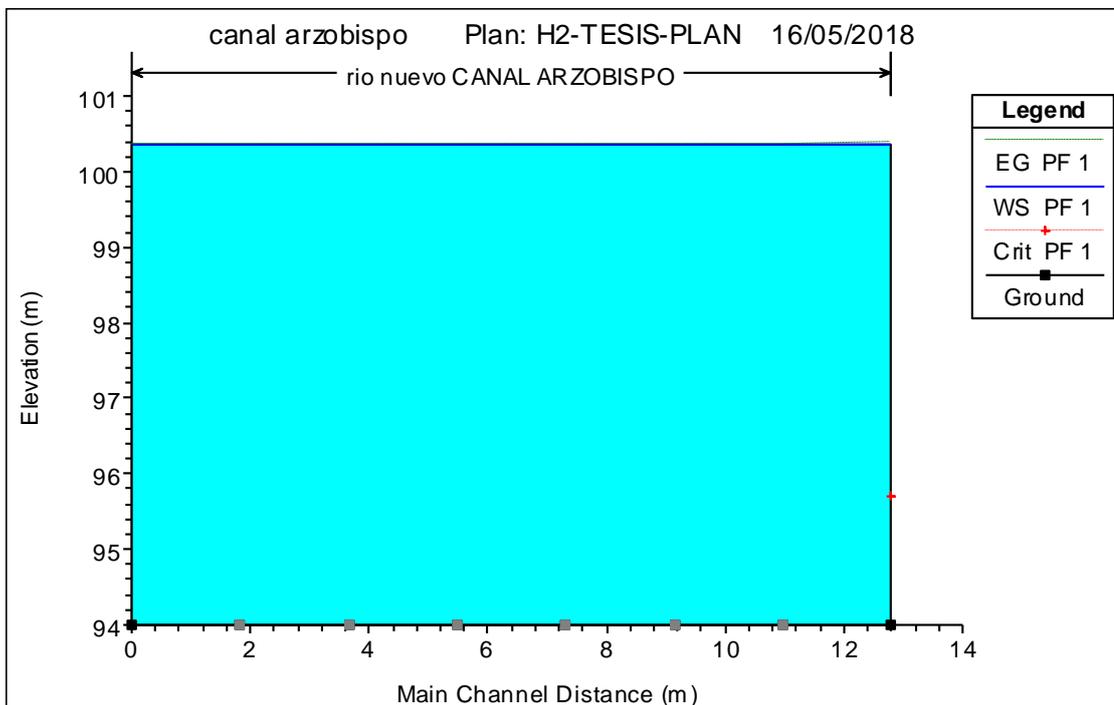
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 998. Sección 7 Rio Arzobispo, Caudal 25.933 m3/s



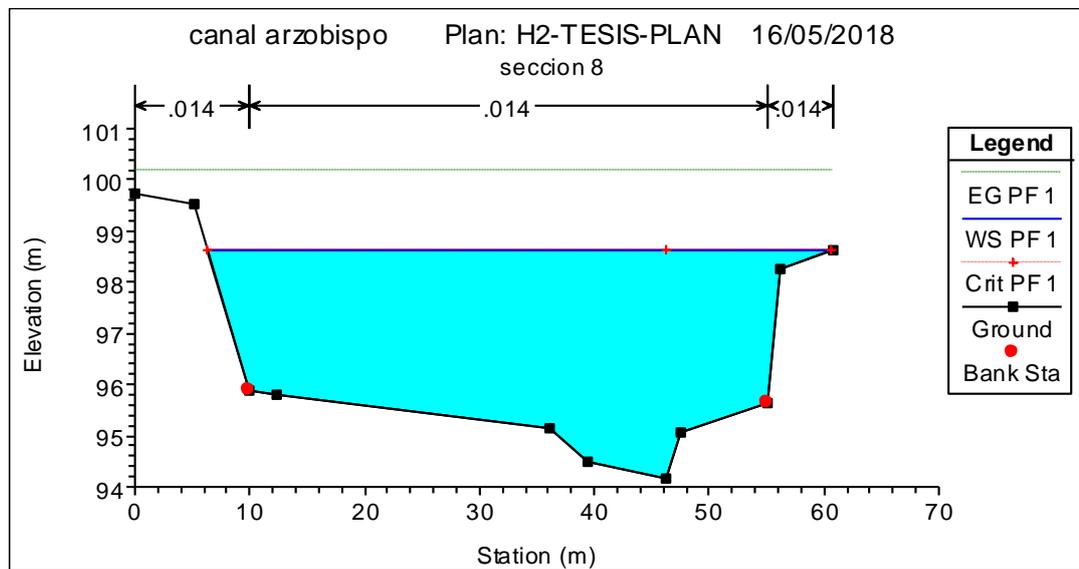
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 99100. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (Río Arzobispo)



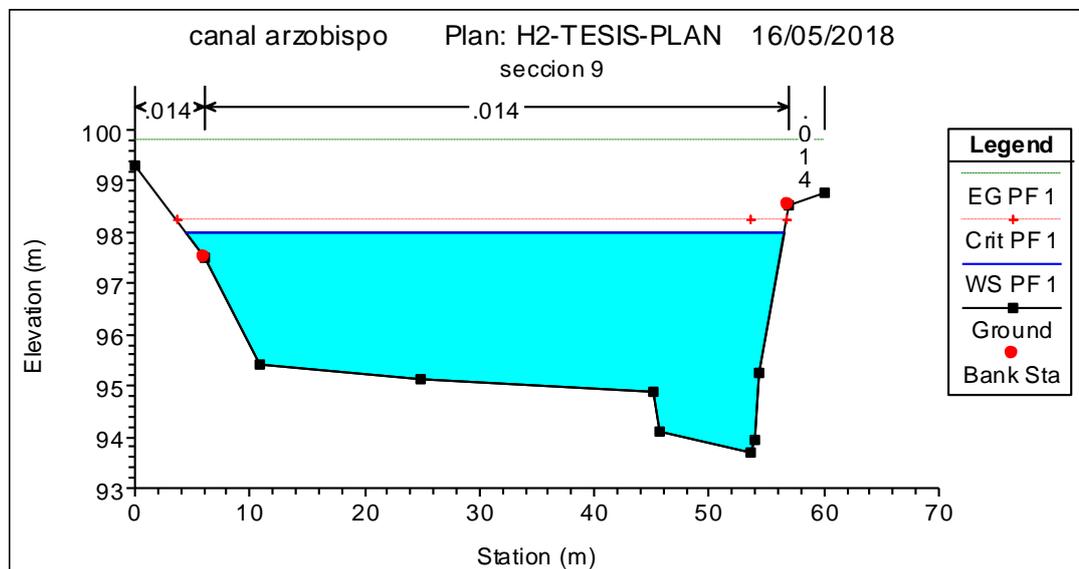
En el tramo Río Arzobispo la situación es peor que la del Río Negro ya que en este Tramo el nivel de elevación del agua alcanza los 6 metros, y por ende una inminente inundación.

Ilustración 101. Sección 8 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 872.186 m³/s



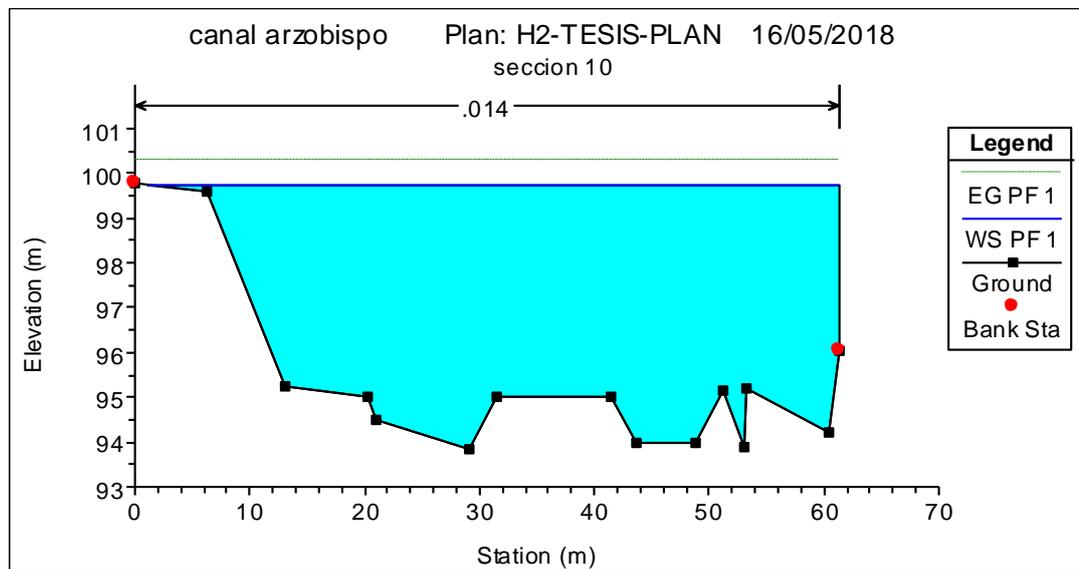
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 102. Sección 9 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 872.186 m³/s



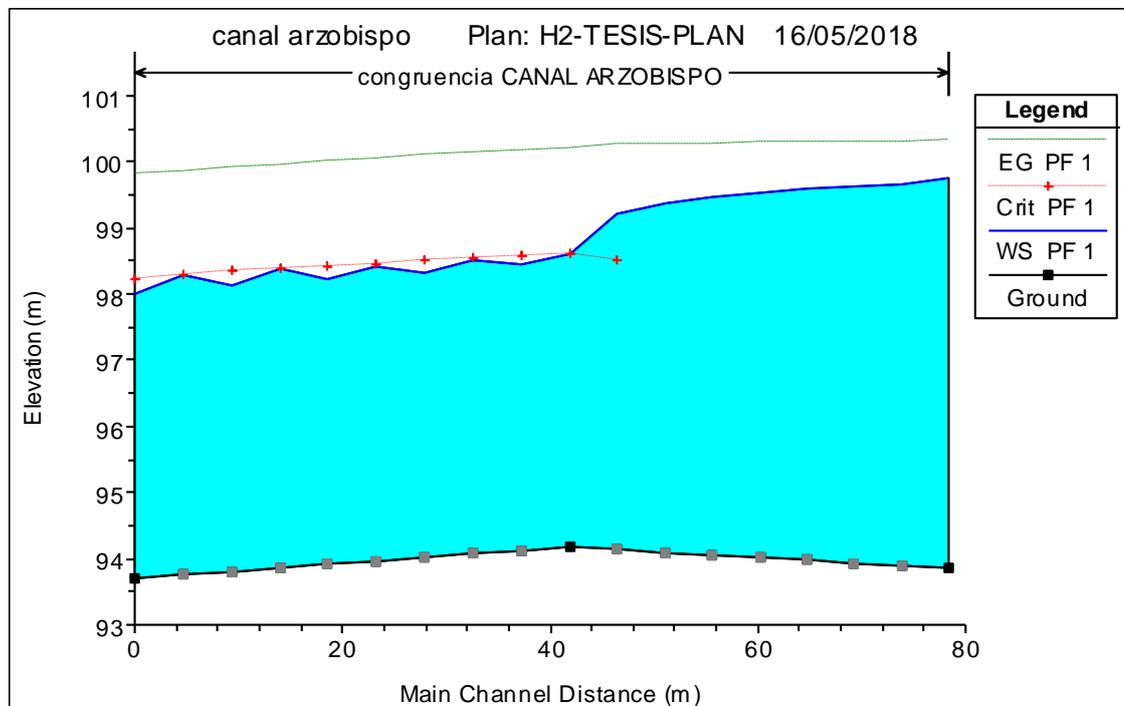
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 103. Sección 10 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 872.186 m3/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

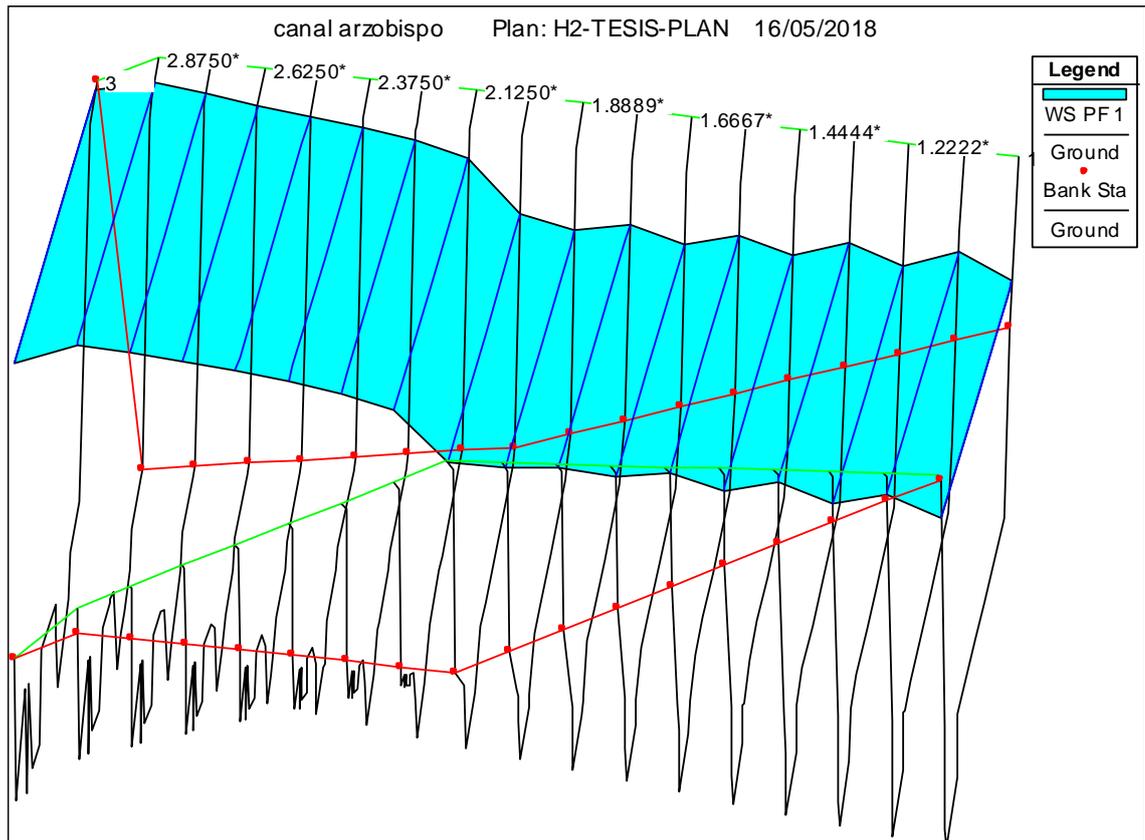
Ilustración 104. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (SECCIÓN DE CONFLUENCIA DE LOS TRES CANALES)



Fuente: Autores, Hec-Ras

En el perfil de llenado del tramo donde se unen los tres canales, se observa que la estructura resiste y le da un cierto respiro al sistema, con un nivel de elevación promedio de 4.9 metros, la estructura no sufriría de inundaciones en este tramo y el puente que queda en la Av. 68 con Calle 80. No está en peligro todavía pero con estos caudales se acerca el tope de nivel de servicio del sistema.

Ilustración 105. Perfil de flujo canal Río Arzobispo (Estructura completa) (condición actual) H2



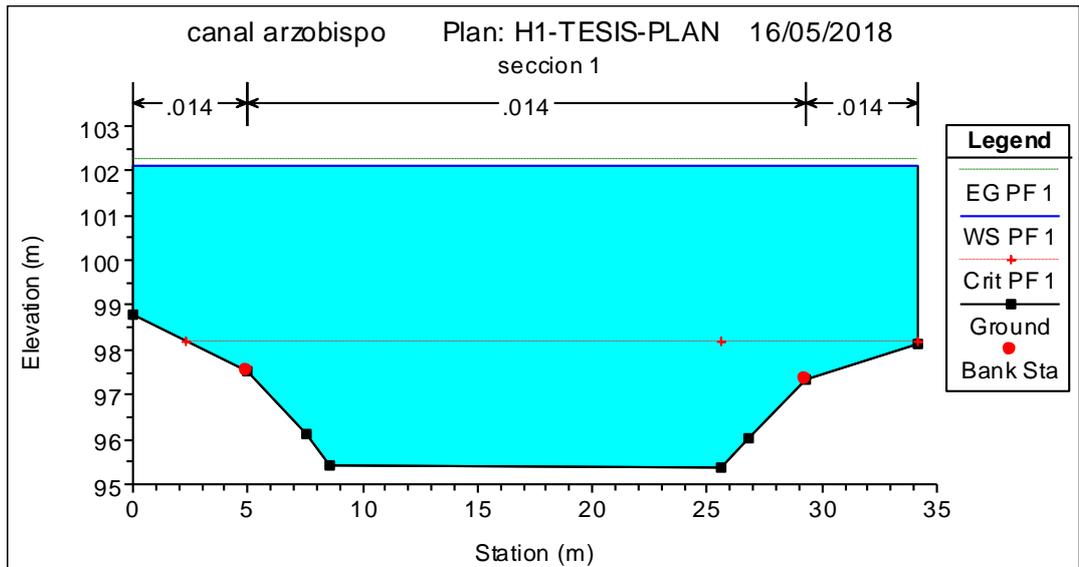
Fuente: Autores, Hec-Ras

El perfil de flujo muestra, que la estructura no colapsa, esto debe ser a la zona de confluencia que demostró en la modelación que soportaría los grandes niveles de agua que recibe de los tres diferentes canales

3.3.5 Modelación # 5 H-1

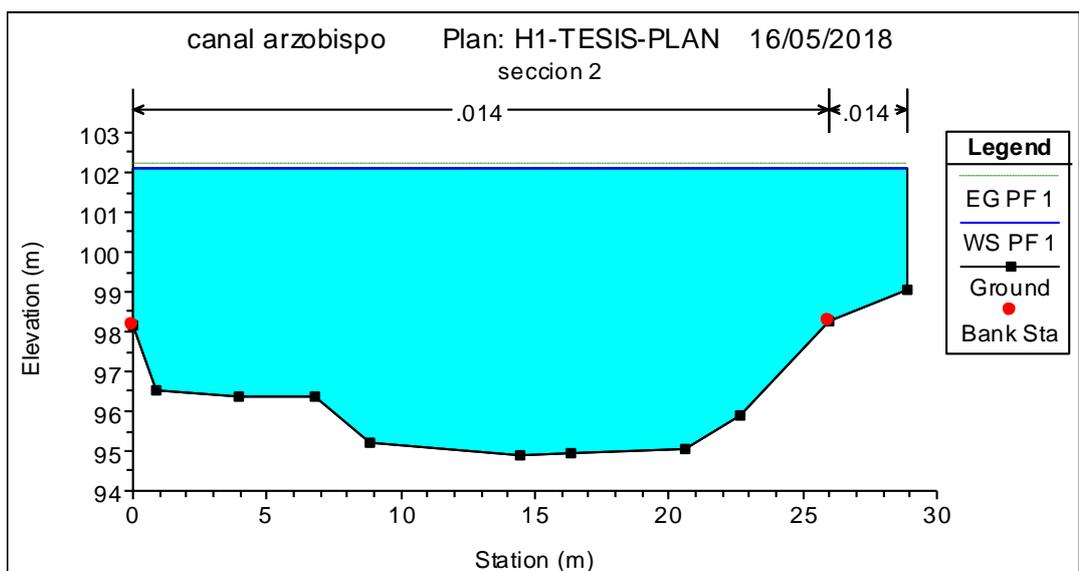
En esta modelación la estructura colapsaría por completo con perfiles de llenado que arrojan niveles de elevación mayores a 8 metros, la estructura sufriría de inundaciones con caudales calculados con la altura H1.

Ilustración 1065. Sección 1 Canal Negro, Caudal 283.955 m3/s



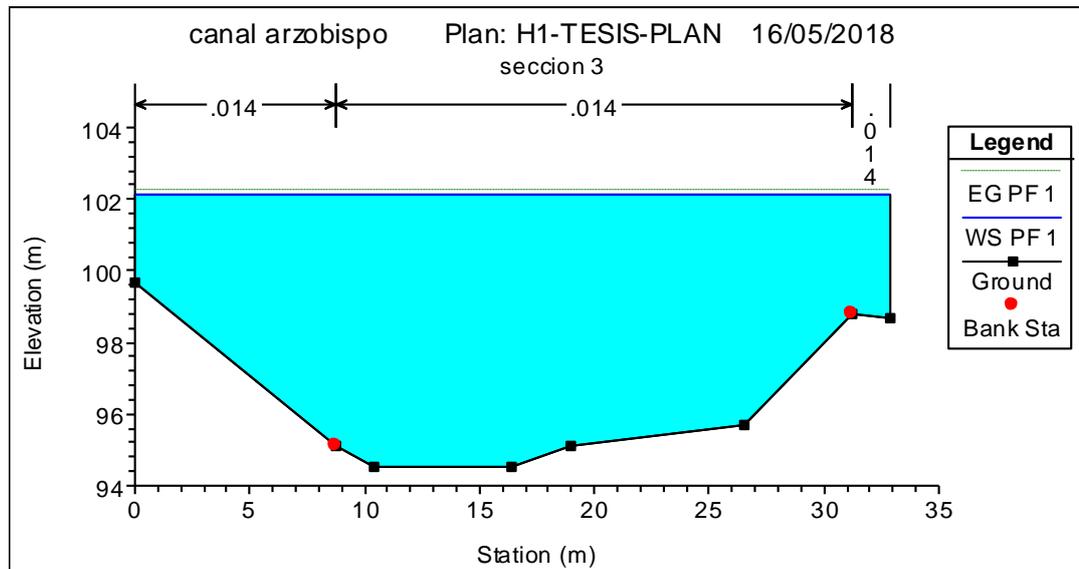
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 1076. Sección 2 Rio Negro, Caudal 283.955 m3/s



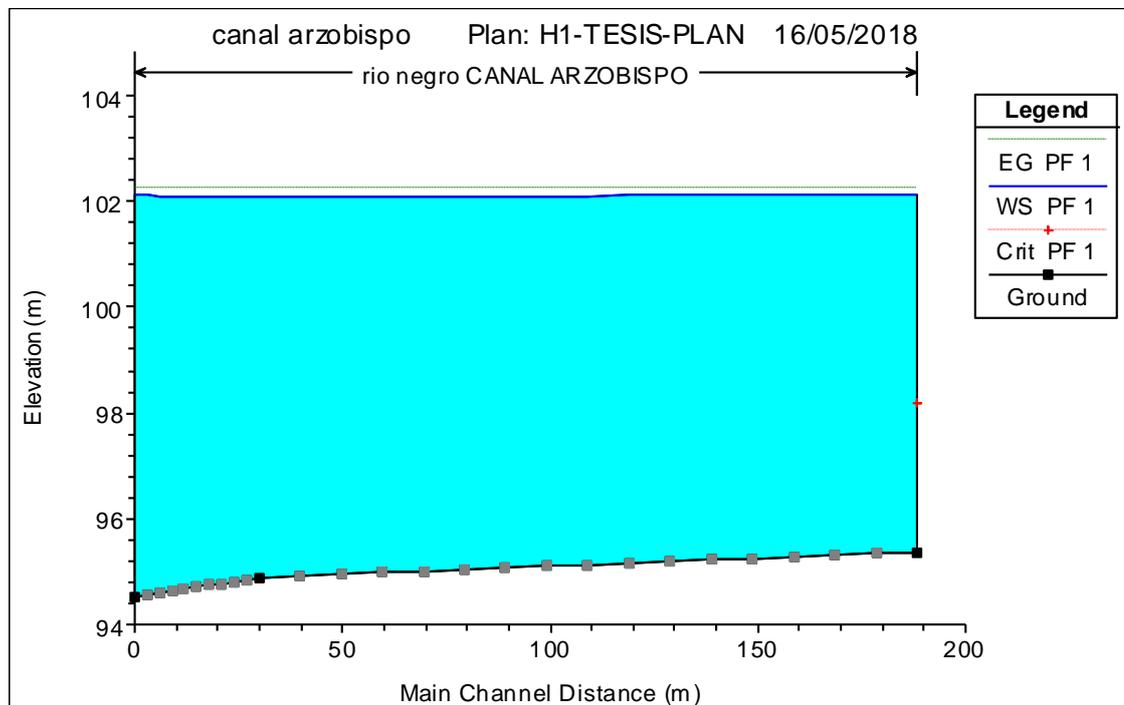
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 10807. Sección 3 Río Negro, Caudal 283.955 m3/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

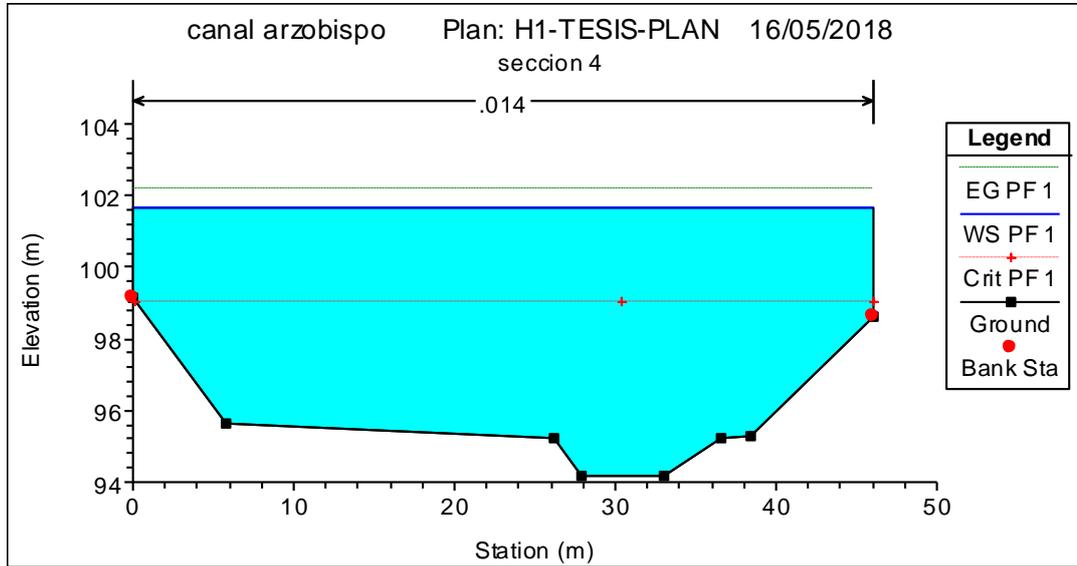
Ilustración 10908. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (Río Negro)



Fuente: Autores, Hec-Ras

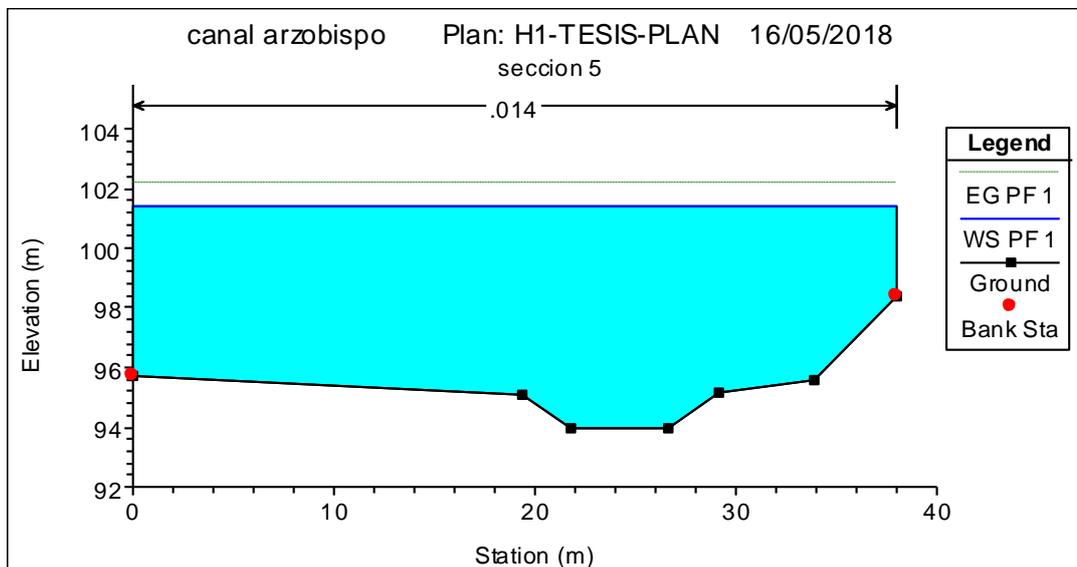
En el tramo Río Negro se observa en la ilustración 108, que el nivel de elevación supera los 8 metros, ya colapsaría por completo el canal en este trayecto.

Ilustración 11009. Sección 4 Rio Arzobispo, Caudal 1156.624 m3/s



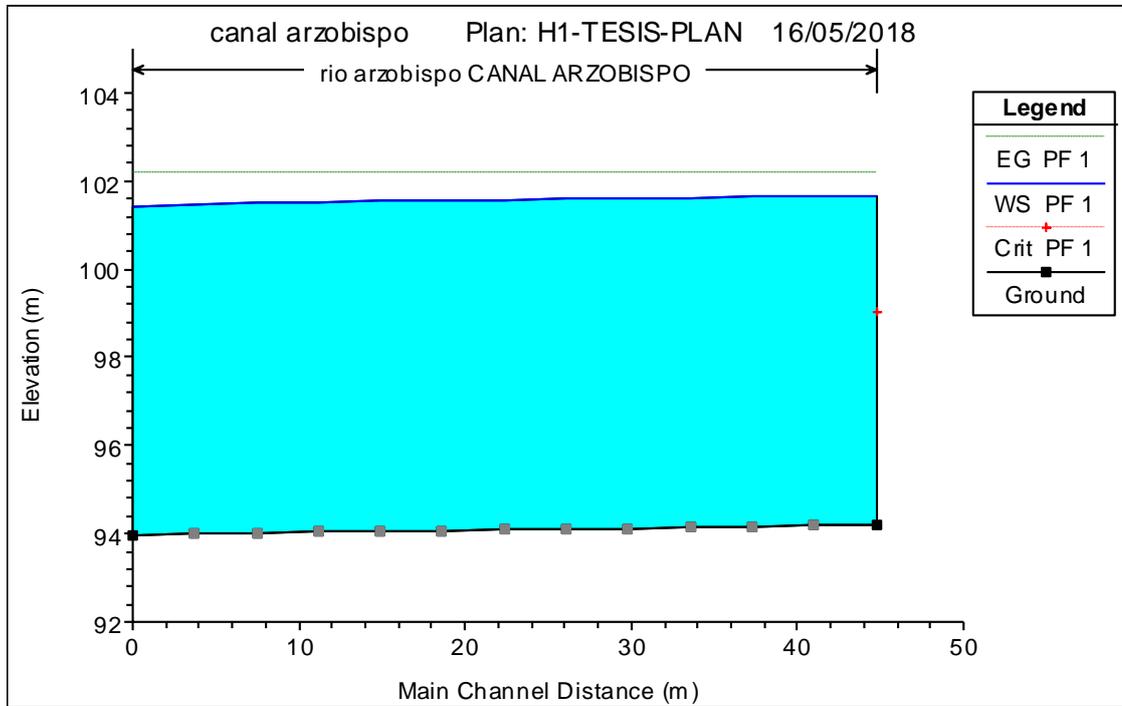
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 11110. Sección 5 Rio Arzobispo, Caudal 1156.624 m3/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

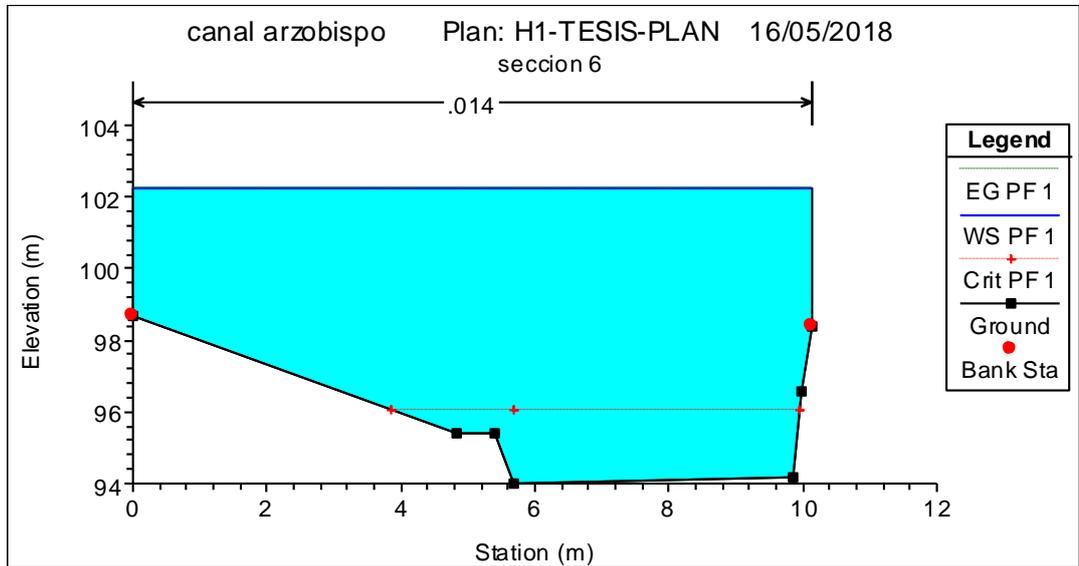
Ilustración 11211. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (Río Arzobispo)



Fuente: Autores, Hec-Ras

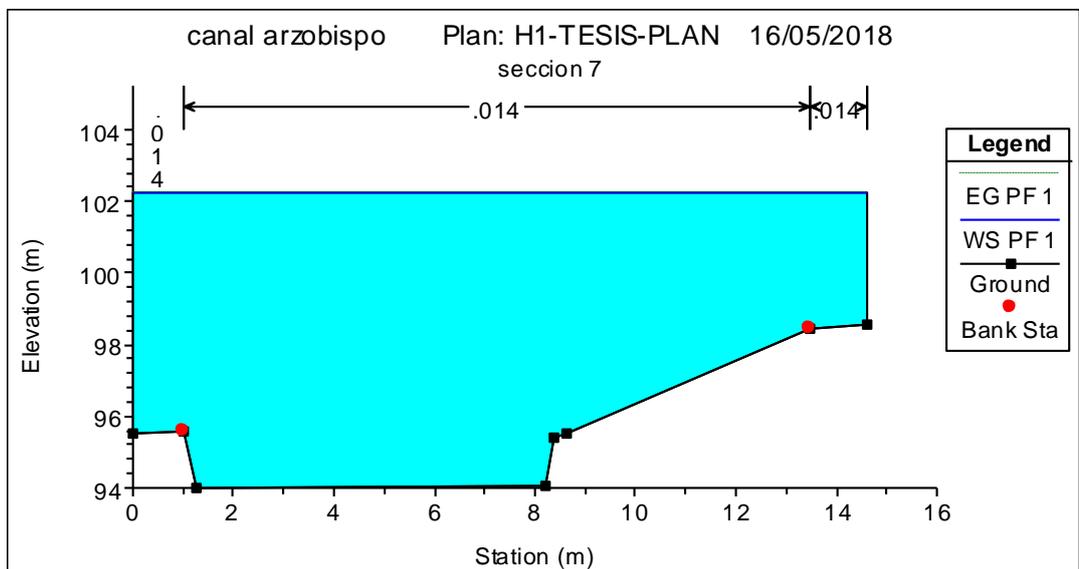
En las secciones 5 y 6 que comprenden el tramo del Río Arzobispo, bajaría nuestro nivel de elevación del agua, como muestra la ilustración 108 en comparación con el perfil de llenado del Río Negro, aunque también sufriría una inevitable inundación, ya que este llega a una altura de agua de 6.8 metros supera el borde del canal y colapso de la estructura en el trayecto.

Ilustración 1132. Sección 6 Rio Nuevo, Caudal 36.564 m³/s



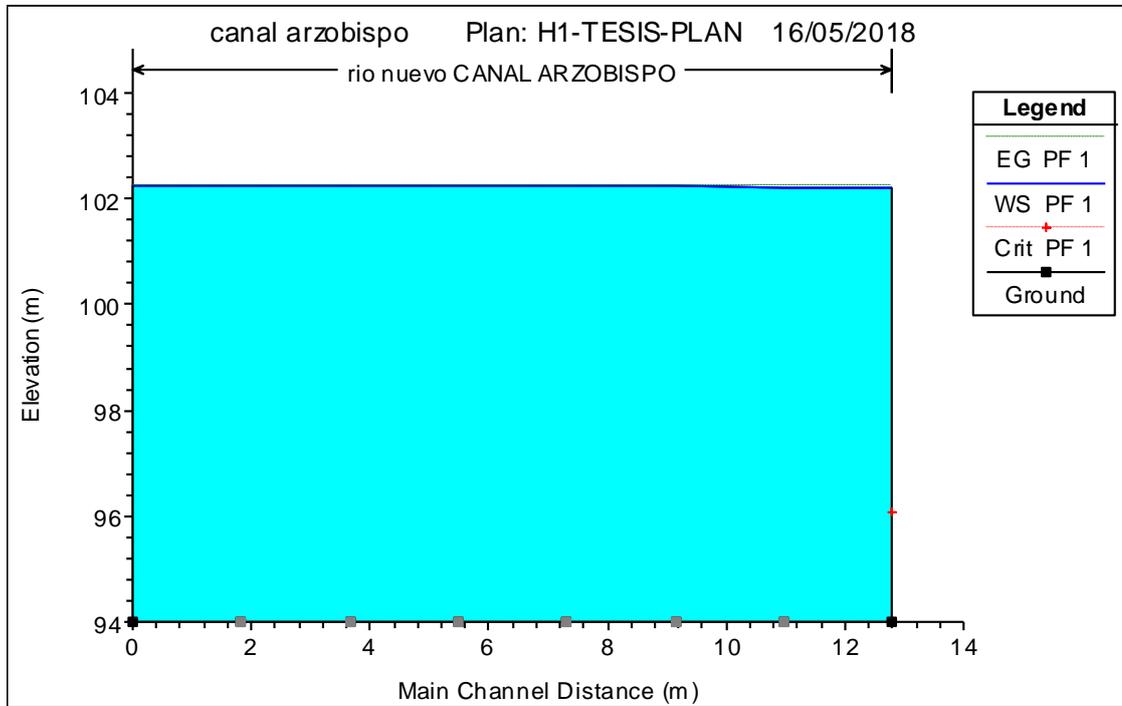
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 1143. Sección 7 Rio Arzobispo, Caudal 36.564 m³/s



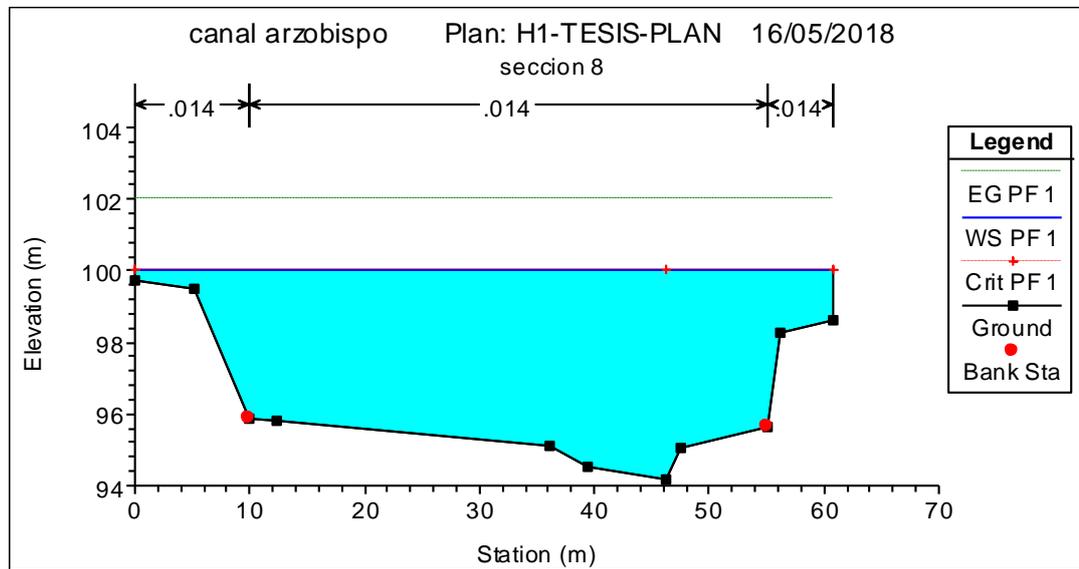
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 11514. PERFIL DE LLENADO (CONDICIÓN ACTUAL) (Río Nuevo)



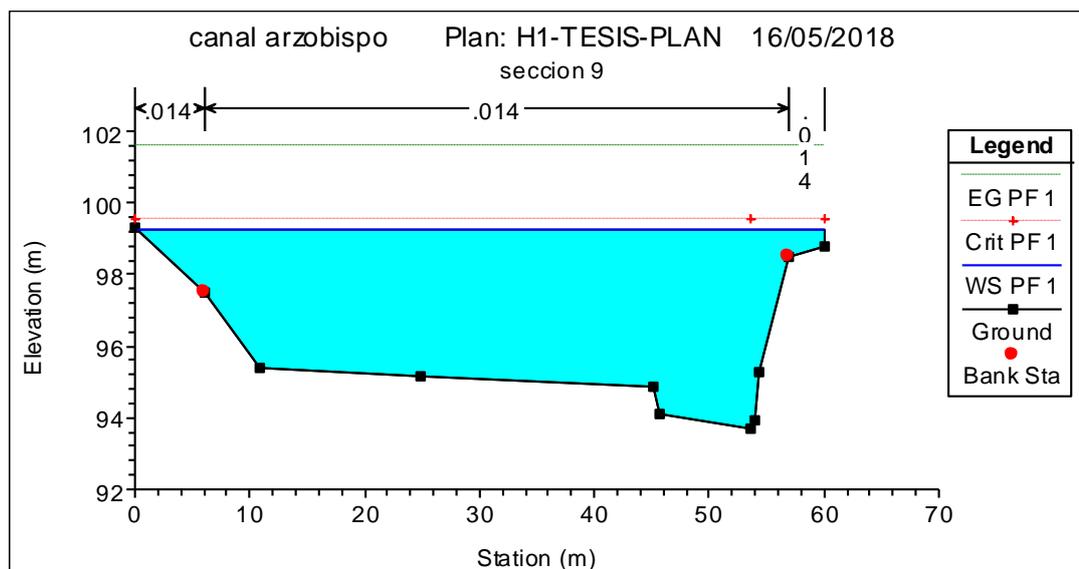
El Canal Río Nuevo no sería la excepción, y también sufriría de una inevitable inundación, con elevaciones de agua que superan los 8 metros, la estructura colapsaría.

Ilustración 116. Sección 8 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 1438.578 m³/s



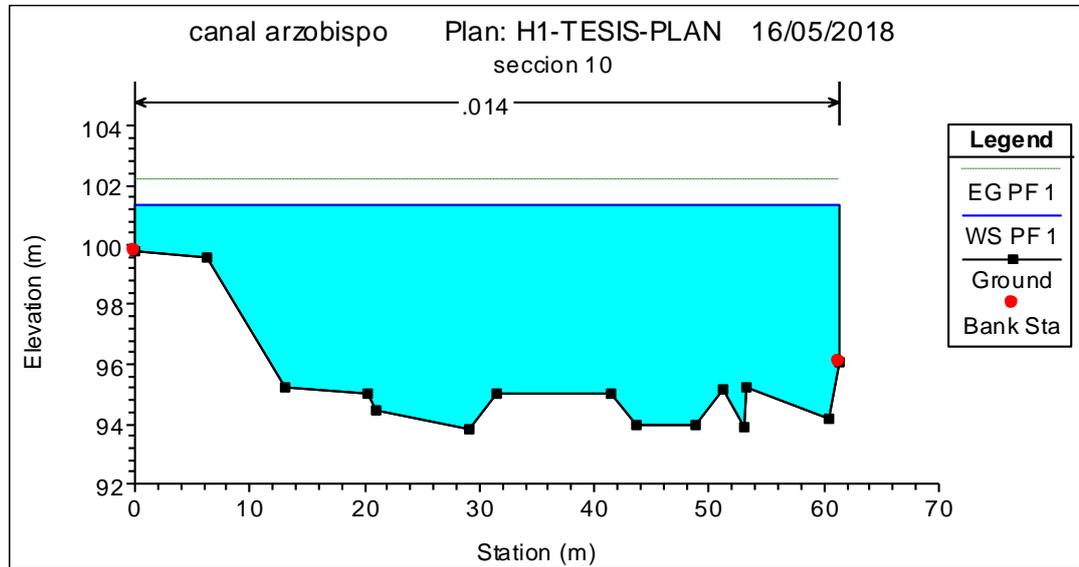
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 117. Sección 9 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 1438.578 m³/s



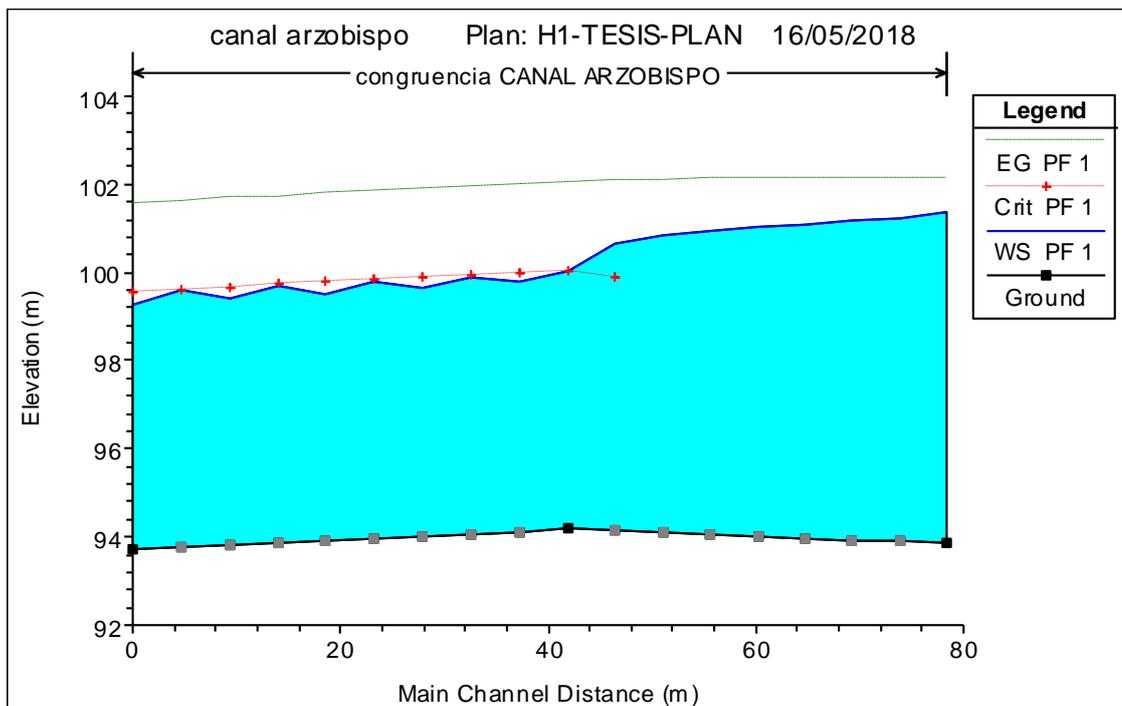
Fuente: Autores, Hec-Ras

Ilustración 118. Sección 10 Canal Arzobispo-estructura, Caudal 1438.578 m³/s



Fuente: Autores, Hec-Ras

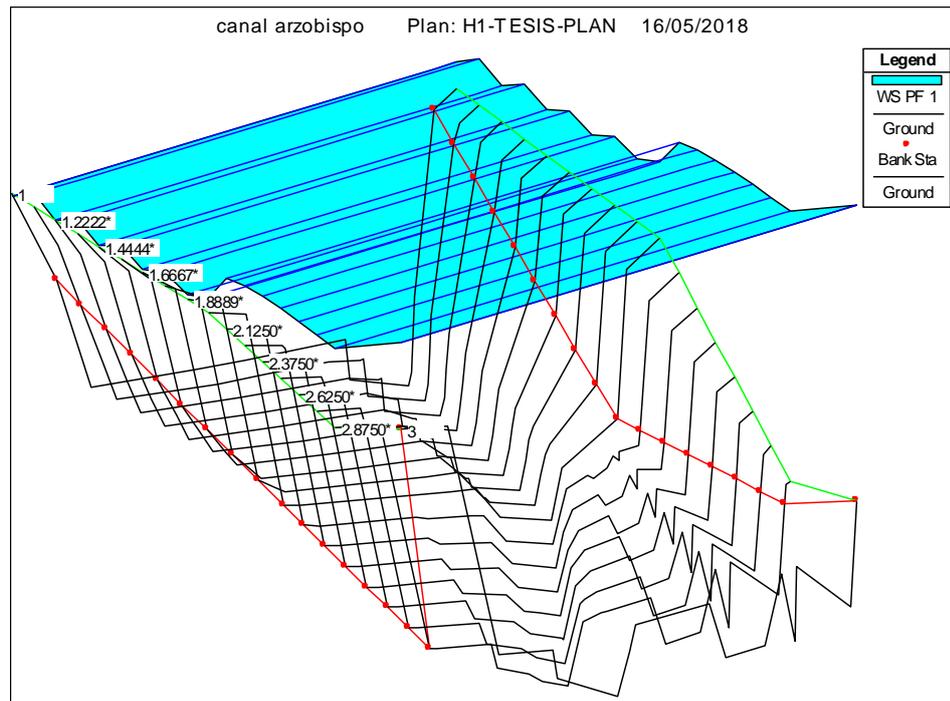
Ilustración 119. Perfil Perfil de flujo canal Río Arzobispo (Estructura completa) (condición actual) H1



Fuente: Autores, Hec-Ras

En este punto el sistema colapsaría por completo y la vía Av. 68 con Calle 80 quedaría inundada sufriendo graves daños.

Ilustración 12019. Perfil de flujo canal Río Arzobispo (Estructura completa) (condición actual) H1



Fuente: Autores, Hec-Ras

En el perfil de flujo del sistema se evidencia como el nivel del agua supera la estructura y se presenta los problemas de inundación.

3.4 Tabla de resultados

3.4.1 Tabla de resultados con el cálculo de caudales H5

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
CANAL ARZOBISPO	3	PF 1	34.62	93.85	95.79		95.81	0.000068	0.62	56.23	49.06	0.18
CANAL ARZOBISPO	2.8750*	PF 1	34.62	93.89	95.79		95.81	0.000086	0.67	51.93	48.52	0.21
CANAL ARZOBISPO	2.7500*	PF 1	34.62	93.93	95.78		95.81	0.000111	0.73	47.65	47.98	0.23
CANAL ARZOBISPO	2.6250*	PF 1	34.62	93.97	95.78		95.81	0.000148	0.80	43.38	47.44	0.27
CANAL ARZOBISPO	2.5000*	PF 1	34.62	94.01	95.77		95.81	0.000204	0.89	39.09	46.91	0.31
CANAL ARZOBISPO	2.3750*	PF 1	34.62	94.06	95.76		95.81	0.000296	1.00	34.71	46.37	0.37
CANAL ARZOBISPO	2.2500*	PF 1	34.62	94.10	95.74		95.80	0.000466	1.15	30.09	45.83	0.45
CANAL ARZOBISPO	2.1250*	PF 1	34.62	94.14	95.70		95.80	0.000775	1.39	24.98	42.37	0.58
CANAL ARZOBISPO	2	PF 1	34.62	94.18	95.52	95.52	95.78	0.002536	2.24	15.42	30.93	1.02
CANAL ARZOBISPO	1.8889*	PF 1	34.62	94.13	95.45	95.49	95.76	0.003019	2.48	13.98	27.53	1.11
CANAL ARZOBISPO	1.7778*	PF 1	34.62	94.07	95.37	95.46	95.74	0.003571	2.69	12.88	25.35	1.20
CANAL ARZOBISPO	1.6667*	PF 1	34.62	94.02	95.31	95.42	95.72	0.003985	2.83	12.23	24.09	1.27
CANAL ARZOBISPO	1.5556*	PF 1	34.62	93.97	95.25	95.38	95.70	0.004363	2.95	11.73	23.10	1.32
CANAL ARZOBISPO	1.4444*	PF 1	34.62	93.91	95.20	95.35	95.67	0.004660	3.04	11.39	22.43	1.36
CANAL ARZOBISPO	1.3333*	PF 1	34.62	93.86	95.15	95.31	95.65	0.004956	3.12	11.09	21.87	1.40
CANAL ARZOBISPO	1.2222*	PF 1	34.62	93.81	95.11	95.28	95.62	0.005150	3.17	10.93	21.55	1.42
CANAL ARZOBISPO	1.1111*	PF 1	34.62	93.75	95.07	95.25	95.59	0.005326	3.21	10.78	21.22	1.44
CANAL ARZOBISPO	1	PF 1	34.62	93.70	95.03	95.22	95.57	0.005479	3.25	10.67	20.94	1.45

Fuente: Autores, Hec-Ras

Los resultados arrojados por el programa Hec-Ras muestran que con un caudal de 34.62 m3/s, la velocidad promedio mínima en el sistema es de 0.91 m/s y la máxima promedio es de 2.97 m/s. La velocidad máxima esta entre los parámetros de diseño que no debe pasar de 5 m/s.

3.4.2 Tabla de resultados con el cálculo de caudales H4

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
CANAL ARZOBISPO	3	PF 1	128.27	93.85	96.60		96.69	0.000166	1.33	96.21	50.44	0.31
CANAL ARZOBISPO	2.8750*	PF 1	128.27	93.89	96.58		96.68	0.000187	1.42	91.18	50.58	0.33
CANAL ARZOBISPO	2.7500*	PF 1	128.27	93.93	96.57		96.68	0.000221	1.51	85.87	49.55	0.36
CANAL ARZOBISPO	2.6250*	PF 1	128.27	93.97	96.55		96.68	0.000265	1.60	80.62	48.97	0.39
CANAL ARZOBISPO	2.5000*	PF 1	128.27	94.01	96.53		96.68	0.000325	1.72	75.26	48.39	0.43
CANAL ARZOBISPO	2.3750*	PF 1	128.27	94.06	96.50		96.67	0.000408	1.85	69.69	47.80	0.48
CANAL ARZOBISPO	2.2500*	PF 1	128.27	94.10	96.46		96.67	0.000535	2.02	63.76	47.20	0.55
CANAL ARZOBISPO	2.1250*	PF 1	128.27	94.14	96.40		96.66	0.000762	2.26	56.90	46.56	0.65
CANAL ARZOBISPO	2	PF 1	128.27	94.18	96.21	96.16	96.64	0.001695	2.89	44.43	45.70	0.93
CANAL ARZOBISPO	1.8889*	PF 1	128.27	94.13	96.16	96.16	96.63	0.002033	3.04	42.23	45.87	1.01
CANAL ARZOBISPO	1.7778*	PF 1	128.27	94.07	96.10	96.14	96.61	0.002283	3.18	40.32	44.28	1.06
CANAL ARZOBISPO	1.6667*	PF 1	128.27	94.02	96.01	96.09	96.59	0.002692	3.39	37.82	42.60	1.15
CANAL ARZOBISPO	1.5556*	PF 1	128.27	93.97	95.92	96.05	96.58	0.003227	3.60	35.64	41.93	1.25
CANAL ARZOBISPO	1.4444*	PF 1	128.27	93.91	95.84	96.00	96.55	0.003703	3.75	34.24	41.92	1.32
CANAL ARZOBISPO	1.3333*	PF 1	128.27	93.86	95.77	95.96	96.53	0.004182	3.87	33.16	42.24	1.39
CANAL ARZOBISPO	1.2222*	PF 1	128.27	93.81	95.70	95.91	96.51	0.004644	3.97	32.35	42.78	1.46
CANAL ARZOBISPO	1.1111*	PF 1	128.27	93.75	95.64	95.87	96.48	0.005099	4.05	31.70	43.45	1.51
CANAL ARZOBISPO	1	PF 1	128.27	93.70	95.59	95.82	96.45	0.005545	4.11	31.17	44.22	1.56

Fuente: Autores, Hec-Ras

Con un caudal de 128.27 m³/s, la velocidad promedio máxima del canal es de 3.66 m/s, esto quiere decir que el canal cumple con este caudal en óptimas condiciones si lo vemos desde el parámetro de la velocidad.

3.4.3 Tabla de resultados con el cálculo de caudales H3

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: 08 River: congruencia Reach: CANAL ARZOBISPO Profile: PF 1												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
CANAL ARZOBISPO	3	PF 1	417.43	93.85	98.09		98.39	0.000272	2.41	173.45	52.78	0.42
CANAL ARZOBISPO	2.8750*	PF 1	417.43	93.89	98.06		98.38	0.000277	2.55	167.46	52.85	0.44
CANAL ARZOBISPO	2.7500*	PF 1	417.43	93.93	98.03		98.38	0.000309	2.65	161.43	52.94	0.47
CANAL ARZOBISPO	2.6250*	PF 1	417.43	93.97	97.99		98.38	0.000348	2.77	154.74	53.01	0.50
CANAL ARZOBISPO	2.5000*	PF 1	417.43	94.01	97.94		98.37	0.000400	2.91	147.23	53.08	0.54
CANAL ARZOBISPO	2.3750*	PF 1	417.43	94.06	97.88		98.36	0.000473	3.08	138.63	53.14	0.58
CANAL ARZOBISPO	2.2500*	PF 1	417.43	94.10	97.80		98.35	0.000575	3.30	128.95	50.78	0.64
CANAL ARZOBISPO	2.1250*	PF 1	417.43	94.14	97.69	97.20	98.34	0.000733	3.57	118.83	48.98	0.72
CANAL ARZOBISPO	2	PF 1	417.43	94.18	97.28	97.28	98.30	0.001530	4.49	94.23	47.66	1.00
CANAL ARZOBISPO	1.8889*	PF 1	417.43	94.13	97.21	97.26	98.28	0.001682	4.59	91.76	47.90	1.04
CANAL ARZOBISPO	1.7778*	PF 1	417.43	94.07	97.24	97.25	98.26	0.001576	4.48	93.91	48.29	1.01
CANAL ARZOBISPO	1.6667*	PF 1	417.43	94.02	97.13	97.23	98.24	0.001850	4.67	89.78	48.37	1.08
CANAL ARZOBISPO	1.5556*	PF 1	417.43	93.97	97.19	97.20	98.20	0.001610	4.44	94.17	48.77	1.01
CANAL ARZOBISPO	1.4444*	PF 1	417.43	93.91	97.03	97.17	98.18	0.002025	4.74	88.05	48.23	1.12
CANAL ARZOBISPO	1.3333*	PF 1	417.43	93.86	96.91	97.13	98.16	0.002346	4.96	84.24	47.60	1.19
CANAL ARZOBISPO	1.2222*	PF 1	417.43	93.81	96.79	97.07	98.14	0.002635	5.14	81.21	47.16	1.25
CANAL ARZOBISPO	1.1111*	PF 1	417.43	93.75	96.68	97.02	98.12	0.002943	5.31	78.68	47.07	1.31
CANAL ARZOBISPO	1	PF 1	417.43	93.70	96.58	96.96	98.10	0.003267	5.46	76.52	47.25	1.37

Fuente: Autores, Hec-Ras

La velocidad con los caudales calculados con el H3 nos arroja una velocidad máxima de 4.83 m/s, esto está dentro de los valores de los caudales de diseño; que es de 5 m/s y como está en el título D.4.3.1.1.

En la modelación el canal demuestra estar diseñado para estos caudales, ya que no hay problemas de inundaciones, por consiguiente la estructura está bien diseñada y cumple con la normativa.

3.4.4 Tabla de resultados con el cálculo de caudales H2

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: 07 River: congruencia Reach: CANAL ARZOBISPO Profile: PF 1												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
CANAL ARZOBISPO	3	PF 1	872.19	93.85	99.76		100.32	0.000358	3.31	263.87	60.24	0.50
CANAL ARZOBISPO	2.8750*	PF 1	872.19	93.89	99.68		100.31	0.000319	3.56	255.18	57.79	0.51
CANAL ARZOBISPO	2.7500*	PF 1	872.19	93.93	99.64		100.30	0.000343	3.66	248.71	56.87	0.53
CANAL ARZOBISPO	2.6250*	PF 1	872.19	93.97	99.60		100.30	0.000371	3.76	241.72	55.93	0.55
CANAL ARZOBISPO	2.5000*	PF 1	872.19	94.01	99.54		100.29	0.000407	3.89	233.76	55.54	0.58
CANAL ARZOBISPO	2.3750*	PF 1	872.19	94.06	99.47		100.28	0.000456	4.06	224.60	55.44	0.61
CANAL ARZOBISPO	2.2500*	PF 1	872.19	94.10	99.37		100.27	0.000524	4.26	213.75	55.39	0.66
CANAL ARZOBISPO	2.1250*	PF 1	872.19	94.14	99.22	98.53	100.25	0.000637	4.56	199.78	55.29	0.72
CANAL ARZOBISPO	2	PF 1	872.19	94.18	98.62	98.62	100.19	0.001220	5.60	160.48	54.30	0.97
CANAL ARZOBISPO	1.8889*	PF 1	872.19	94.13	98.45	98.59	100.17	0.001434	5.85	152.41	51.97	1.04
CANAL ARZOBISPO	1.7778*	PF 1	872.19	94.07	98.53	98.55	100.13	0.001290	5.64	158.09	53.19	0.99
CANAL ARZOBISPO	1.6667*	PF 1	872.19	94.02	98.32	98.50	100.11	0.001566	5.94	149.10	50.97	1.08
CANAL ARZOBISPO	1.5556*	PF 1	872.19	93.97	98.43	98.46	100.05	0.001356	5.65	156.65	52.04	1.01
CANAL ARZOBISPO	1.4444*	PF 1	872.19	93.91	98.23	98.43	100.02	0.001645	5.95	148.17	51.66	1.09
CANAL ARZOBISPO	1.3333*	PF 1	872.19	93.86	98.38	98.38	99.95	0.001353	5.56	158.38	52.53	0.99
CANAL ARZOBISPO	1.2222*	PF 1	872.19	93.81	98.13	98.35	99.92	0.001731	5.94	147.56	52.11	1.10
CANAL ARZOBISPO	1.1111*	PF 1	872.19	93.75	98.30	98.30	99.84	0.001382	5.50	159.39	53.02	0.99
CANAL ARZOBISPO	1	PF 1	872.19	93.70	98.00	98.23	99.81	0.001823	5.95	146.79	52.10	1.12

Fuente: Autores, Hec-Ras

En la modelación número 4 es donde la velocidad sobrepasa los límites de diseño con un valor de 5.76 m/s, en las ilustraciones de perfil de llenado de la modelación con caudales calculados con una altura H2, se observa que todos los tramos comienzan a fallar y se presentan las primeras inundaciones, el único tramo que soporta dicha velocidad es donde se unen los 3 canales aunque ya se acerca a su nivel máximo de servicio.

3.4.4 Tabla de resultados con el cálculo de caudales H1

Profile Output Table - Standard Table 1												
File Options Std. Tables Locations Help												
												HEC-RAS Plan
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
CANAL ARZOBISPO	3	PF 1	1438.58	93.85	101.35		102.16	0.000369	3.98	361.53	61.33	0.52
CANAL ARZOBISPO	2.8750*	PF 1	1438.58	93.89	101.21		102.14	0.000335	4.36	349.08	61.27	0.55
CANAL ARZOBISPO	2.7500*	PF 1	1438.58	93.93	101.16		102.14	0.000359	4.48	341.38	61.22	0.57
CANAL ARZOBISPO	2.6250*	PF 1	1438.58	93.97	101.10		102.13	0.000386	4.61	333.07	61.16	0.59
CANAL ARZOBISPO	2.5000*	PF 1	1438.58	94.01	101.03		102.12	0.000418	4.75	323.86	61.11	0.61
CANAL ARZOBISPO	2.3750*	PF 1	1438.58	94.06	100.94		102.11	0.000458	4.92	313.37	61.05	0.64
CANAL ARZOBISPO	2.2500*	PF 1	1438.58	94.10	100.82		102.10	0.000514	5.13	300.93	60.99	0.68
CANAL ARZOBISPO	2.1250*	PF 1	1438.58	94.14	100.66	99.90	102.08	0.000600	5.41	285.10	60.94	0.74
CANAL ARZOBISPO	2	PF 1	1438.58	94.18	100.01	100.01	102.02	0.001005	6.40	239.53	60.88	0.93
CANAL ARZOBISPO	1.8889*	PF 1	1438.58	94.13	99.78	99.97	101.99	0.001178	6.69	227.28	60.79	1.00
CANAL ARZOBISPO	1.7778*	PF 1	1438.58	94.07	99.89	99.93	101.94	0.001055	6.43	236.22	60.70	0.95
CANAL ARZOBISPO	1.6667*	PF 1	1438.58	94.02	99.65	99.89	101.91	0.001250	6.74	223.64	60.61	1.02
CANAL ARZOBISPO	1.5556*	PF 1	1438.58	93.97	99.79	99.84	101.84	0.001090	6.41	234.74	60.52	0.96
CANAL ARZOBISPO	1.4444*	PF 1	1438.58	93.91	99.52	99.78	101.81	0.001320	6.76	221.00	60.43	1.04
CANAL ARZOBISPO	1.3333*	PF 1	1438.58	93.86	99.69	99.73	101.73	0.001124	6.38	233.98	60.34	0.96
CANAL ARZOBISPO	1.2222*	PF 1	1438.58	93.81	99.39	99.67	101.70	0.001396	6.77	218.79	60.18	1.05
CANAL ARZOBISPO	1.1111*	PF 1	1438.58	93.75	99.59	99.60	101.60	0.001162	6.34	233.62	60.16	0.96
CANAL ARZOBISPO	1	PF 1	1438.58	93.70	99.25	99.53	101.57	0.001484	6.78	216.95	59.87	1.07

Fuente: Autores, Hec-Ras

En la modelación número 5 observamos como el canal ya no soporta los caudales diseñados con una altura de H1, por ende toda la estructura colapsa.

La velocidad máxima de este cálculo es de 6.57 m/s, ya sobrepasa la máxima estipulada en la norma Título D.

CONCLUSIONES

Con base en el estudio topográfico realizado, se determinaron varias zonas afectadas, principalmente en el Rio Negro, que tiene pendiente un poco elevadas entre las secciones y un diseño del canal que no es lo suficientemente alto para los periodos de retorno; otra zona afectada es la rampa de movilidad que hay el canal, debido a su mal diseño y mal mantenimiento de la estructura. La topografía de la estructura fue un éxito, ya que como se encontrado defectos y falencias en la estructura, también se determinó que es una estructura totalmente sostenible y bien diseñada en muchos tramos, en especial el sitio de confluencia de los tres canales.

La modelación hidráulica, arrojo un buen balance del comportamiento de la estructura, la geometría de los canales, determino para cada uno de los diferentes caudales en distintas alturas críticas, un buen recorrido del agua en gran parte de la estructura hidráulica, aunque la modelación, muestra ciertas precauciones en varios tramos para intensidad de lluvia extremas, que es bueno tener en cuenta para un futuro cercano.

El canal del rio Arzobispo tiene una excelente geometría antes y después del sitio de confluencia, después de la intersección se encuentra ubicada la estructural vial. Con base en la modelación se determinó el nivel de peligro del posible colapso de la estructura, y los resultados fueron satisfactorios, debido a que la estructura se comporta adecuadamente hasta en los niveles más altos de aguas, en caudales superiores a la altura de la estructura. Por eso el nivel de colapso de la estructura vial es bajo.

Los daños que puede sufrir la ciudadanía en un posible colapso del sistema, sería cortes en las vías, lo cual provocaría el aislamiento de la zona Noroccidental de la ciudad de Bogotá, el cual tendría que buscar rutas alternas para comunicarse con el Sur de la ciudad. Económicamente estarían afectadas las personas que viven en la zona, ya que en la zona está cerca el Centro Comercial Cafam Floresta y un Home Center el cual le brinda empleo a varias personas y esto afectaría las ventas. También estaría en peligro la salud de las personas ya que el fluido que baja por el canal, contiene aguas residuales y basuras que arrojan cerca al sistema Aguas Arriba, lo cual produce malos olores e infecciones y con ello vectores que se alojarían en las casas cercanas al sistema. Esta inundación produciría reboses y daños en el sistema de alcantarillado.

RECOMEDACIONES

En la modelación de la estructura hidráulica, en la sección 3 del Río Negro, la dimensión del canal no cumple para los diferentes periodos de retorno ni para el ultimo caudal de diseño; es necesario un aumento en el canal de más o menos 15 a 20 centímetros, debido a que en el canal con el máximo causa tiende a desbordarse; y eso afecta gravemente a la estructura hidráulica de cada uno de los canales y del sitio de confluencia entonces es para evitar dicho desbordamiento y proteger la zona comercial y el sector residencial de los alrededores del lugar.

BIBLIOGRAFIA

(UNIVERSIDAD DE PIURA. MODELACIÓN HIDRÁULICA. En: Biblioteca UDEP [base de datos en línea]. Capítulo 13-15 [Citado el 26 de marzo de 2018]). [En línea]

BENAYAS POLO, REBECA. ¿Qué es HEC-RAS y para que sirve? En: Grupo TYC GIS formación [en línea]. (24 de nov., 2014). <<http://www.cursosgis.com/que-es-hec-ras-y-para-que-sirve/> > [citado el 20 de abril de 2018]. [En línea]

Cuaderno virtual ppd. TOPOGRAFIA DE CANALES [en línea]. <<http://todotieneuninicioyfinal.blogspot.com.co/2016/09/topografia-de-canales.html>> [Citado el 6 de abril de 2018]. [En línea]

DE CANALES [en línea]. [Citado el 6 de abril de 2018]. [En línea]

EL TIEMPO [en línea]. (02 de nov., 2013). Disponible en: <<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13156141> > [Citado el 12 de marzo de 2018]. [En línea]

EL TIEMPO [en línea]. (14 de jul., 2008). Disponible en: <<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4376415>> [Citado el 12 de marzo de 2018]. [En línea]

FLUIDOS.EIA.EDU.CO. Flujo gradualmente graduado [en línea]. <<http://fluidos.eia.edu.co/lhidraulica/guias/flujogradualmentevariado/flujogradualmentevariado.html>> [Citado el 6 de abril de 2018]. [En línea]

INGENIERIA CIVIL. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal [en línea]. <<http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/02/elementos-geometricos-de-la-seccion.html>> [Citado el 04 de abril de 2018]. [En línea]

NATURALEZA. Jornada de apropiación, recuperación y limpieza del Río Arzobispo Localidad de Teusaquillo [en línea]. <<http://naturalezaypatrimonio.com/rio-arzobispo-sigue-vivo-limpieza-1-sept/>> [Citado el 12 de marzo de 2018]. [En línea]

NINA,WALTER.Canalesnaturales[enlínea]. <<http://walter24na.blogspot.com.co/2013/02/canales-naturales.html>> [Citado el 26 de marzo de 2018]. [En línea]

numeroDE. Número de Froude [en línea]. <<http://numerode.com/para/nmero-de-froude.php>> [Citado el 6 de abril de 2018]. [En línea]

RODRIGUEZ RUIZ, PEDRO. Conceptos y elementos de una canal [en línea]. <<https://civilgeeks.com/2010/11/10/conceptos-y-elementos-de-un-canal/>> [Citado el 04 de abril de 2018]. Conceptos y elementos de una canal [en línea].

[En línea] [Citado el: 05 de 04 de 2018.]
<https://civilgeeks.com/2010/11/10/conceptos-y-elementos-de-un-canal/>.

RODRIGUEZ RUIZ, PEDRO. Conceptos y elementos de una canal [en línea].
<<https://civilgeeks.com/2010/11/10/conceptos-y-elementos-de-un-canal/>>
[Citado el 26 de marzo de 2018]. [En línea]

SANDOVAL GONZÁLEZ, NICOLÁS. El Arzobispo, más que un separador vial [en línea].
<http://evirtual.lasalle.edu.co/info_basica/nuevos/guia/GuiaClaseNo.3.pdf>
[Citado el 12 de marzo de 2018]. [En línea]

UNIVERSIDAD DE PIURA. MODELACIÓN HIDRÁULICA. En: Biblioteca UDEP [base de datos en línea]. Capítulo 13-15 [Citado el 26 de marzo de 2018]. [En línea]

WIKIPEDIA. Canal de riego [en línea].
<https://es.wikipedia.org/wiki/Canal_de_riego> [Citado el 26 de marzo de 2018]. [En línea]

WIKIPEDIA. Canal (Ingeniería) [en línea]. <[https://es.wikipedia.org/wiki/Canal_\(ingenier%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Canal_(ingenier%C3%ADa))> [Citado el 26 de marzo de 2018]. [En línea]

ANEXOS

Anexo A

COORDENADAS	
PUNTO, NORTE, ESTE, ELEVACIÓN, ELEMENTO	PUNTO, NORTE, ESTE, ELEVACIÓN, ELEMENTO
1,10000,20000,100,DE2	111,10072.1151,20015.8085,95.3365,TALUD
2,10000,20057.879,99.927,DE1	112,10062.8849,20021.3448,95.5964,TALUD
3,9992.2833,20004.6272,99.522,HOMBRO	113,10054.3689,20025.2683,95.5673,TALUD
4,9979.977,20010.008,99.5006,HOMBRO	114,10042.2971,20031.8448,95.5017,TALUD
5,9951.2973,20024.4378,99.063,HOMBRO	115,10048.6765,20034.6658,95.5022,TALUD
6,10004.0216,19999.0511,99.5462,HOMBRO	116,10054.5021,20038.2018,95.4103,TALUD
7,10005.8912,19997.3936,99.5006,HOMBRO	117,10060.2713,20017.8535,95.6054,TALUD
8,10007.1555,19995.1479,99.563,HOMBRO	118,10039.4675,20040.0019,95.5323,TALUD
9,10015.0139,19990.6734,99.7793,HOMBRO	119,10034.4073,20038.3962,95.5501,TALUD
10,10021.4756,19968.1692,99.669,HOMBRO	120,10028.9487,20037.9346,95.3273,TALUD
11,10035.0157,19928.7907,98.2773,HOMBRO	121,10026.8985,20042.3571,95.8732,TALUD
12,10041.3845,19912.4395,98.016,HOMBRO	122,10021.6477,20045.7237,95.6914,TALUD
13,10045.5175,19896.608,98.3799,HOMBRO	123,10014.5745,20048.9118,95.6201,TALUD
14,10050.3273,19879.9977,98.4096,HOMBRO	124,10002.7901,20054.3737,95.5663,TALUD
15,10090.982,19840.2667,98.1562,HOMBRO	125,9991.9215,20059.2051,95.6164,TALUD
16,10084.9441,19858.5843,98.0404,HOMBRO	126,9973.6626,20067.3262,95.3296,TALUD
17,10078.118,19879.7866,98.1714,HOMBRO	127,9981.2821,20064.106,95.5224,TALUD
18,10065.9893,19916.6551,99.7231,HOMBRO	128,9973.1759,20066.8207,95.4776,CORONA
19,10061.2115,19934.0979,98.1432,HOMBRO	129,9980.7563,20063.3914,95.2952,CORONA
20,10056.3562,19951.7064,98.0003,HOMBRO	130,9984.5251,20061.4256,95.0953,CORONA
21,10051.0447,19972.5133,98.6402,HOMBRO	131,9995.589,20052.6603,95.0646,CORONA
22,10048.3405,19983.2551,98.7962,HOMBRO	132,10015.2822,20039.7787,95.0641,CORONA
23,10066.0872,19975.4399,99.1114,HOMBRO	133,10021.6989,20037.6009,95.1732,CORONA
24,10048.9404,19984.832,98.6661,HOMBRO	134,10023.9434,20037.0699,95.2262,CORONA
25,10074.4166,19972.1682,99.1415,HOMBRO	135,10026.9939,20036.9997,95.285,CORONA
26,10092.1645,20013.496,98.6153,HOMBRO	136,10031.3038,20037.7618,95.3582,CORONA
27,10073.801,20021.7418,98.7587,HOMBRO	137,10028.581,20037.1954,95.06,CORONA
28,10053.2818,20030.4065,98.3907,HOMBRO	141,10054.7678,20039.0366,95.4164,CORONA
29,10053.1987,20032.5523,98.4003,HOMBRO	142,10048.9218,20035.2374,95.4875,CORONA
30,10056.3156,20033.7156,98.6583,HOMBRO	143,10039.3116,20031.8652,95.6161,CORONA
31,10041.3939,20045.0454,98.3428,HOMBRO	144,10032.5777,20030.5809,95.1355,CORONA
32,10041.5968,20045.2661,98.4186,HOMBRO	145,10044.2815,20024.9601,95.1871,CORONA
33,10027.0123,20043.6221,98.3819,HOMBRO	146,10055.23,20020.1094,95.1891,CORONA
34,10032.8682,20045.6027,98.4352,HOMBRO	147,10068.6632,20013.9087,95.1986,CORONA
35,10021.9878,20046.6821,98.2101,HOMBRO	148,10076.7185,20010.2701,95.2023,CORONA
36,9942.9908,19999.9649,98.7852,HOMBRO	149,10088.0885,20005.0989,95.2405,CORONA
37,9984.2496,20064.5224,98.4102,HOMBRO	150,10087.467,19994.7512,95.2235,CORONA
38,9969.8679,20069.9856,99.0144,HOMBRO	151,10066.9971,20004.1421,95.1924,CORONA
39,9973.2037,20071.0174,98.7444,TN	152,10044.0744,20014.4067,95.1152,CORONA
40,9977.9942,20069.9544,98.7155,TN	153,10034.2552,20018.9652,95.0761,CORONA
41,9995.2035,20061.6443,98.7071,TN	154,10019.7697,20026.0474,95.0081,CORONA
42,10004.9956,20057.164,98.6471,TN	155,10027.656,20004.7529,95.017,CORONA
43,10013.1245,20053.8231,98.6831,TN	156,10039.3104,19972.4314,95.1352,CORONA
44,10030.9324,20048.3294,98.5851,TN	157,10042.3658,19964.003,95.2081,CORONA
45,10035.0678,20047.6203,98.6508,TN	158,10051.4993,19949.6259,95.2304,CORONA
46,10041.8907,20046.3699,98.5522,TN	159,10052.409,19950.0596,95.8824,CORONA
47,10058.4938,20035.6378,98.3982,TN	160,10056.2024,19938.6598,95.9553,CORONA
48,10065.7569,20029.5328,98.6114,TN	161,10061.1687,19923.0406,95.9768,CORONA
49,10073.6169,20025.3959,98.8703,TN	162,10062.6964,19918.3236,95.9691,CORONA
50,10084.9615,20016.5593,99.0355,TN	163,10068.2899,19900.2257,95.9389,CORONA
51,10085.0052,20017.219,99.3255,TN	164,10025.1499,19982.4236,95.0931,CORONA
52,10048.8843,19983.2204,98.7482,TN	165,10013.8985,20013.2513,95.155,CORONA
53,10052.3821,19969.3785,98.7422,TN	166,10009.2218,20026.4525,95.2021,CORONA
54,10062.269,19969.6137,99.1385,TN	167,10005.2943,20032.6669,95.144,CORONA
55,10054.2174,19954.2174,99.119,TN	168,9998.0344,20039.1048,95.1222,CORONA

56,10061.3523,19944.2688,98.8972,TN	169,9992.2628,20043.3693,95.018,CORONA
57,10064.2619,19933.6283,98.5057,TN	170,9987.2398,20047.2669,94.9451,CORONA
58,10068.174,19922.4576,98.3456,TN	171,9979.7121,20052.1089,94.8882,CORONA
59,10071.1034,19912.6752,98.329,TN	172,9973.0377,20056.8778,94.8824,CORONA
60,10076.5289,19890.2099,98.2923,TN	173,9965.8178,20061.6346,94.8543,BOX
61,10081.122,19889.7015,98.3462,TN	174,9965.8277,20061.6435,94.8534,BOX
62,10083.9798,19870.0144,98.2776,TN	175,9962.0539,20053.635,94.9422,BOX
63,10041.4428,19909.9796,98.2401,TN	176,9958.3002,20045.3482,94.9665,BOX
64,10087.4502,19860.9386,98.3255,TN	177,9954.5188,20037.0019,95.0882,BOX
65,10082.9892,19858.2289,98.5772,TN	178,9951.0369,20029.6525,95.1853,BOX
66,10063.0361,19831.3027,98.4998,TN	179,9951.1244,20029.5797,99.7393,PLACA
67,10057.8905,19847.7267,98.4904,TN	180,9954.5591,20037.0868,99.8513,PLACA
68,10045.0038,19885.8647,98.5616,TN	181,9958.319,20045.3013,99.8462,PLACA
69,10037.5245,19911.0623,98.4687,TN	182,9962.093,20053.4554,99.8342,PLACA
70,10032.6141,19925.8457,98.4882,TN	183,9965.8779,20061.6706,99.8323,PLACA
71,10021.2136,19941.5009,98.776,TN	184,9954.8967,20015.8652,99.3131,SECCION 1
72,10021.9922,19955.5136,99.3482,TN	185,9958.21,20020.8712,97.5222,SECCION 1
73,10018.1406,19964.4299,99.6241,TN	186,9959.6832,20025.4618,95.3971,SECCION 1
74,10017.472,19971.2123,99.673,TN	187,9964.9533,20038.5402,95.1392,SECCION 1
75,10011.2219,19978.4373,99.721,TN	188,9972.9088,20057.0498,94.8825,SECCION 1
76,10005.3187,19987.6584,99.7791,TN	189,9973.3226,20057.5198,94.1153,SECCION 1
77,9992.0052,19999.5578,99.744,TN	190,9978.4859,20069.9458,98.7705,SECCION 1
78,9983.7178,20002.6094,99.737,TN	191,9978.0963,20066.7971,98.5245,SECCION 1
79,9971.1072,20008.1185,99.6041,TN	192,9975.7472,20065.8237,95.2702,SECCION 1
80,9966.8724,20013.494,99.533,TN	193,9975.665,20065.3833,93.9364,SECCION 1
81,9957.7091,20019.1882,99.3331,TN	194,9975.4692,20065.1029,93.6974,SECCION 1
82,9950.3816,20022.9325,99.1132,TN	195,10002.6276,19990.746,99.79,SECCION 2
83,9955.9632,20026.0808,95.5464,TALUD	196,10007.1896,19994.9253,99.606,SECCION 2
84,9968.0115,20020.9004,95.4392,TALUD	197,10011.9177,19999.8245,95.236,SECCION 2
85,9978.474,20015.6972,95.5051,TALUD	198,10016.9726,20005.0633,95.022,SECCION 2
86,9993.332,20009.4627,95.904,TALUD	199,10017.7275,20005.7345,94.475,SECCION 2
87,9994.231,20009.5846,95.614,TALUD	200,10035.3771,20039.3134,96.0632,SECCION 2
88,10005.1741,19995.1208,95.593,TALUD	201,10035.1543,20038.4031,94.2112,SECCION 2
89,10009.3204,19995.9558,95.566,TALUD	202,10022.485,20011.6792,93.8541,SECCION 2
90,10012.9157,19997.5807,95.614,TALUD	203,10024.5607,20012.8323,95.0252,SECCION 2
91,10088.6261,19837.7329,95.9523,TALUD	204,10031.0028,20020.4176,95.023,SECCION 2
92,10083.105,19854.0351,95.9669,TALUD	205,10031.911,20022.4318,93.9631,SECCION 2
93,10079.4168,19867.94,95.8907,TALUD	206,10035.5231,20031.0495,95.2082,SECCION 2
94,10076.3529,19876.591,95.9234,TALUD	207,10035.472,20031.2578,93.8741,SECCION 2
95,10072.2702,19890.4324,95.9491,TALUD	208,10034.6534,20029.323,95.1503,SECCION 2
96,10068.8918,19898.8652,95.9483,TALUD	209,10033.9891,20027.1782,93.9571,SECCION 2
97,10063.8754,19917.1268,95.9779,TALUD	210,9947.8708,20029.7212,98.7913,PUENTE
98,10060.4218,19926.8861,94.3467,TALUD	211,9954.6003,20044.6055,98.9142,PUENTE
99,10056.9548,19937.5244,95.8955,TALUD	212,9967.1023,20071.8034,98.8314,PUENTE
100,10053.3362,19949.9164,95.8624,TALUD	213,9969.4527,20069.2973,99.8943,PLACA
101,10049.0199,19962.2314,95.8761,TALUD	214,9969.2839,20070.0193,99.0835,BARANDA
102,10047.6914,19967.701,95.8981,TALUD	215,9960.1953,20050.182,99.2093,BARANDA
103,10044.3584,19980.6717,95.6976,TALUD	216,9950.1509,20028.4856,99.0463,BARANDA
104,10043.0406,19993.1368,95.7001,TALUD	217,9950.4307,20025.0576,99.0413,BARANDA
105,10038.4419,19995.8408,95.7421,TALUD	218,9958.3091,20026.4533,95.3143,DESAGUE
106,10048.2124,19989.6952,95.7564,TALUD	219,9958.2196,20026.0271,95.6581,DESAGUE
107,10059.0344,19984.8444,95.6654,TALUD	220,9957.8257,20025.1462,96.1651,DESAGUE
108,10065.7662,19982.2097,95.6644,TALUD	221,9957.5513,20026.9143,95.3072,DESAGUE
109,10089.4044,20006.46,95.2956,TALUD	222,9957.36,20026.3393,95.6343,DESAGUE
110,10081.2301,20012.8329,95.3124,TALUD	223,9956.9441,20025.4978,95.1651,DESAGUE