Capítulo 7

Informe Hidráulico de Quebradas

Julio de 2021

Calle 33 A # 71 - 83, Medellín • Tel: (57) (4) 448 47 50
Info@praming.com.co • www.praming.com.co

TABLA DE CONTENIDO

LISTADO DE FIGURAS v
LISTADO DE TABLAS ix
LISTADO DE ANEXOS xi
1 hidráulica de los quebradas aferentes a la línea de presión y vías del proyecto 12
1.1 Introducción 12
1.2 Objetivos y alcance 12
1.2.1 Objetivo 12
1.2.2 Objetivos específicos 12
1.2.3 Alcance 12
1.2.4 Descripción del tramo de estudio de la tubería a presión y vías de acceso de la PHC Cocorná III 13
1.2.5 Topobatimetría 13
1.3 Diseño hidráulico 13
1.3.1 Consideraciones para la modelación 14
1.3.2 Modelación hidráulica de los caños condición actual 16
1.3.3 Resultados de las modelaciones hidráulicas (condición actual) 16
1.3.4 Análisis de resultados gráficos (sin proyecto) 25
1.3.5 Análisis de resultados numéricos (sin proyecto) 39
1.3.6 Modelación hidráulica Q. vía captación, condición a implementar 40
1.3.7 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. vía captación (condición a implementar) 42
1.3.8 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. vía captación (condición a implementar) 44
1.3.9 Modelación hidráulica Q. sin nombre 1, condición a implementar 44
1.3.10 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 1 (condición a implementar) 45
1.3.11 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 1 (condición a implementar) 47
1.3.12 Modelación hidráulica Q. sin nombre 1.1, condición a implementar 47
1.3.13 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 1.1 (condición a implementar) 48

1.3.14 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 2 (condición a implementar).....50
1.3.15 Modelación hidráulica Q. sin nombre 2, condición a implementar 51
1.3.16 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 2 (condición a implementar) 52
1.3.17 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 2 (condición a implementar).....53
1.3.18 Modelación hidráulica Q. sin nombre 2.1, condición a implementar ...54
1.3.19 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 2.1 (condición a implementar). 55
1.3.20 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 2.1 (condición a implementar).....57
1.3.21 Modelación hidráulica Q. sin nombre 3, condición a implementar 57
1.3.22 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 3 (condición a implementar) 58
1.3.23 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 3 (condición a implementar).....60
1.3.24 Modelación hidráulica Q. sin nombre 3.1, condición a implementar ...60
1.3.25 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 3.1 (condición a implementar) 61
1.3.26 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 3.1 (condición a implementar).....63
1.3.27 Modelación hidráulica Q. sin nombre 4, condición a implementar 63
1.3.28 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 4 (condición a implementar) 64
1.3.29 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 4 (condición a implementar).....66
1.3.30 Modelación hidráulica de la Q. sin nombre 5, condición a implementar 66
1.3.31 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 5 (condición a implementar) 67
1.3.32 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 5 (condición a implementar).....69
1.3.33 Modelación hidráulica Q. sin nombre 6, condición a implementar 69
1.3.34 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 6 (condición a implementar) 70
1.3.35 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 6 (condición a implementar).....72

1.3.36 Modelación hidráulica Q. sin nombre 6.1, condición a implementar ...72
1.3.37 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 6.1 (condición a implementar) ...73
1.3.38 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 6.1 (condición a implementar). ...75
1.3.39 Modelación hidráulica Q. sin nombre 6.2, condición a implementar ...75
1.3.40 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 6.2 (condición a implementar) ...76
1.3.41 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 6.2 (condición a implementar). ...78
1.3.42 Modelación hidráulica Q. sin nombre 7, condición a implementar ...79
1.3.43 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 7 (condición a implementar) ...80
1.3.44 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 7 (condición a implementar). ...81
1.3.45 Modelación hidráulica Q. sin nombre 8, condición a implementar ...82
1.3.46 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 8 (condición a implementar) ...83
1.3.47 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 8 (condición a implementar). ...85
1.3.48 Modelación hidráulica Q. vía casa de máquinas, condición a implementar ...85
1.3.49 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. vía casa de máquinas (condición a implementar) ...86
1.3.50 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. vía casa de máquinas (condición a implementar). ...88
1.3.51 Modelación hidráulica Q. vía existente a casa de máquinas, condición a implementar ...89
1.3.52 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. vía existente a casa de máquinas (condición a implementar) ...90
1.3.53 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. vía casa de máquinas (condición a implementar). ...92
1.4 Estudio de Socavación ...93
1.4.1 Generalidades ...93
1.4.2 Métodos de Cálculo ...94
1.4.2.1 Método de Lischtvan–Lebediev ...94
1.4.3 Método de Maza Álvarez ...97

1.4.4 Análisis de resultados 98
1.4.5 Resumen de los resultados de la profundidad de Socavación 115
1.5 Conclusiones 117
1.6 Bibliografia 119

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1-1 Tramo Q. vía captación, condición actual....17
Figura 1-2 Tramo Q. sin nombre 1, condición actual....17
Figura 1-3 Tramo Q. Q. sin nombre 1.1, condición actual....18
Figura 1-4 Tramo Q. Q. sin nombre 2, condición actual....18
Figura 1-5 Tramo Q. sin nombre 2.1, condición actual....19
Figura 1-6 Tramo Q. sin nombre 3, condición actual....19
Figura 1-7 Tramo Q. sin nombre 3.1, condición actual....20
Figura 1-8. Tramo Q. sin nombre 4, condición actual....20
Figura 1-9 Tramo Q. sin nombre 5, condición actual....21
Figura 1-10 Tramo Q. sin nombre 6, condición actual....21
Figura 1-11 Tramo Q. sin nombre 6.1, condición actual....22
Figura 1-12 Tramo Q. sin nombre 6.2, condición actual....22
Figura 1-13 Tramo Q. sin nombre 7, condición actual....23
Figura 1-14 Tramo Q. sin nombre 8, condición actual....23
Figura 1-15 Tramo Q. vía casa de máquinas, condición actual. 24
Figura 1-16 Tramo Q. existente a vía casa de máquinas, condición actual. 24
Figura 1-17 Sección transversal 0+017.74 de la Q. vía captación, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras....25
Figura 1-18 Sección transversal 0+018.27 de la Q. vía captación, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras....26
Figura 1-19 Sección transversal 0+022.56 de la Q. sin nombre 2, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras....26
Figura 1-20 Sección transversal 0+024.68 de la Q. sin nombre 2, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras....27
Figura 1-21 Sección transversal 0+029.1 de la Q. sin nombre 2.1, Tr=100 años, condición actual. Arrojado por Hec - Ras 27
Figura 1-22 Sección transversal 0+035.00 de la Q. sin nombre 2.1, Tr=100 años, condición actua.l Arrojado por Hec - Ras 28
Figura 1-23 Sección transversal 0+030.00 de la Q. sin nombre 3, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras....28
Figura 1-24 Sección transversal 0+032.36 de la Q. sin nombre 3, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras....29
Figura 1-25 Sección transversal 0+020.06 de la Q. sin nombre 4, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras....29
Figura 1-26 Sección transversal 0+023.67 de la Q. sin nombre 4, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras....30
Figura 1-27 Sección transversal 0+011.00 de la Q. sin nombre 5, Tr=100 años.Arrojado por Hec-Ras....30
Figura 1-28 Sección transversal 0+013.29 de la Q. sin nombre 5, Tr=100 años.Arrojado por Hec-Ras....31
Figura 1-29 Sección transversal 0+012.04 de la Q. sin nombre 6, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras....31
Figura 1-30 Sección transversal 0+027,43 de la Q. sin nombre 6, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras....32

Figura 1-31 Sección transversal 0+028.13 de la Q. sin nombre 7, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.....32
Figura 1-32 Sección transversal 0+030.67 de la Q. sin nombre 7, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.....33
Figura 1-33 Sección transversal 0+028.00 de la Q. sin nombre 8, Tr=100 años.....33
Figura 1-34 Sección transversal 0+041.00 de la Q. sin nombre 8, Tr=100 años.....34
Figura 1-35 Sección transversal 0+036.27 de la Q. vía casa de máquinas, Tr=100 años. 35
Figura 1-36 Sección transversal 0+042.79 de la Q. vía casa de máquinas, Tr=100 años. 36
Figura 1-37 Sección transversal 0+029.28 de la Q. vía existente a casa de máquinas, Tr=100 años. 37
Figura 1-38 Sección transversal 0+034.14 de la Q. vía existente a casa de máquinas, Tr=100 años. 37
Figura 1-39. Mancha de inundación de un tramo de la Q. vía captación para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). 41
Figura 1-40. Sección transversal 0+012.17 aguas abajo de la tubería en la Q. vía captación para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.....42
Figura 1-41. Sección transversal 0+017.74 aguas arriba de la tubería en la Q. vía captación para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.....43
Figura 1-42. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 1 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). 45
Figura 1-43. Sección transversal 0+14.18 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.....46
Figura 1-44. Sección transversal 0+016.93 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.....46
Figura 1-45. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 1.1 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). 48
Figura 1-46. Sección transversal 0+008.73 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 1.1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.....49
Figura 1-47. Sección transversal 0+011.20 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 1.1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.....49
Figura 1-48. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 2 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). 51
Figura 1-49. Sección transversal 0+22.57 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 2 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.....52
Figura 1-50. Sección transversal 0+022.57 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 2 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.....53
Figura 1-51. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 2.1 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). Arrojado por Hec-Ras.55
Figura 1-52. Sección transversal 0+029.51 aguas abajo del puente proyectado en la Q. sin nombre 2.1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras. 56
Figura 1-53. Sección transversal 0+029.51 aguas arriba del puente proyectado en la Q. sin nombre 2.1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras. 56
Figura 1-54. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 3 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). Arrojado por Hec-Ras.....58

Figura 1-55. Sección transversal 0+30.06, aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 3, para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras. 59
Figura 1-56. Sección transversal 0+030.06, aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 3, para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras. 59
Figura 1-57. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 3.1 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). Arrojado por Hec-Ras. 61
Figura 1-58. Sección transversal 0+010.00, aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 3.1, para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras. 62
Figura 1-59. Sección transversal 0+012.44, aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 3.1, para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras. 62
Figura 1-60. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 4 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). 64
Figura 1-61. Sección transversal 0+020.10 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 4 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras 65
Figura 1-62. Sección transversal 0+020.10 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 4 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras 65
Figura 1-63. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 5 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). 67
Figura 1-64. Sección transversal 0+011.10 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 5 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras 68
Figura 1-65. Sección transversal 0+011.10 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 5 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras. 68
Figura 1-66. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 6 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). 70
Figura 1-67. Sección transversal 0+015.80 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 6 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras 71
Figura 1-68. Sección transversal 0+012.04 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 6.1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras. 71
Figura 1-69. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 6.1 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). 73
Figura 1-70. Sección transversal 0+010.00 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 6.1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras 74
Figura 1-71. Sección transversal 0+020.00 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 6.1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras. 74
Figura 1-72. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 6.2 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). 76
Figura 1-73. Sección transversal 0+014.06 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 6.2 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras 77
Figura 1-74. Sección transversal 0+016.93 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 6.2 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras. 77
Figura 1-75. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 7 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). 79
Figura 1-76. Sección transversal 0+028.50 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 7 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras 80
Figura 1-77. Sección transversal 0+028.50 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 7 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras. 80

Figura 1-78. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 8 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). Arrojado por Hec-Ras. 82
Figura 1-79. Sección transversal 0+028.00 aguas abajo del boxculvert de la Q. sin nombre 8 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras. 83
Figura 1-80. Sección transversal 0+028.00 aguas arriba del boxculvert de la Q. sin nombre 8 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras. 84
Figura 1-81. Mancha de inundación de un tramo de la Q. vía casa de máquinas para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). Arrojado por Hec-Ras. 86
Figura 1-82. Sección transversal 0+036.50 aguas abajo de la tubería de la Q. vía casa de máquinas para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras 87
Figura 1-83. Sección transversal 0+36.50 aguas arriba de la tubería de la Q. vía casa de máquinas para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras 87
Figura 1-84. Mancha de inundación de un tramo de la Q. vía existente a casa de máquinas para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). Arrojado por Hec-Ras. 89
Figura 1-85. Sección transversal 0+032.00 aguas abajo del puente de la Q. vía existente a casa de máquinas para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras. 90
Figura 1-86. Sección transversal 0+028.00 aguas arriba del puente de la Q. vía existente a casa de máquinas para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras. 91

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1-1.Caudales máximos para diferentes periodos de retorno. 14
Tabla 1-2. Coeficiente de rugosidad de Manning para cada una de las Q. sin nombres 15
Tabla 1-3. Cotas de flujo de algunas secciones de las Q. sin nombres asociados a la línea de presión y las vías de acceso a las obras principales 38
Tabla 1-4. Velocidades máximas y mínimas de las Q. sin nombres asociados a la línea de presión. 39
Tabla 1-5. Número de Froude máximos y mínimos para las diferentes Q. sin nombres asociados a la línea de presión. 40
Tabla 1-7. Cotas de flujo de la Q. vía captación, Tr=100 años. 43
Tabla 1-8. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 1, Tr=100 años. 47
Tabla 1-9. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 1.1, Tr=100 años. 50
Tabla 1-10. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 2, Tr=100 años. 53
Tabla 1-11. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 2.1, condición a implementar, Tr=100 años. 57
Tabla 1-12. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 3, Tr=100 años. 60
Tabla 1-13. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 3.1, Tr=100 años. 63
Tabla 1-14. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 4, Tr=100 años. 66
Tabla 1-15. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 5, Tr=100 años. 69
Tabla 1-16. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 6, Tr=100 años. 72
Tabla 1-17. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 6.1, Tr=100 años. 75
Tabla 1-18. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 6.2, Tr=100 años. 78
Tabla 1-19. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 7, Tr=100 años. 81
Tabla 1-20. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 8, Tr=100 años. 84
Tabla 1-21. Cotas de flujo de la Q. vía casa de máquinas, Tr=100 años. 88
Tabla 1-22. Cotas de flujo de la Q. vía existente a casa de máquinas, Tr=100 años. 91
Tabla 1-23. Valores de φ 96
Tabla 1-24. Valores del coeficiente de contracción del cauce (μ) 96
Tabla 1-25. Coeficiente β. 97
Tabla 1-26. Exponente z. 97
Tabla 1-27. Datos de entrada para las quebradas asociados a la línea de presión y vías de acceso para el cálculo de la socavación. 98
Tabla 1-28. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. vía captación 100
Tabla 1-29. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 1 100
Tabla 1-30. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 1.1 100
Tabla 1-31. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 2 101
Tabla 1-32. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 2.1 101

Tabla 1-33. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 3 102
Tabla 1-34. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 3.1 102
Tabla 1-35. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 4 102
Tabla 1-36. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 5 103
Tabla 1-37. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 6 103
Tabla 1-38. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 6.1 104
Tabla 1-39. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 6.2 104
Tabla 1-40. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 7 105
Tabla 1-41. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 8 105
Tabla 1-42. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. vía casa de máquinas 106
Tabla 1-43. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. vía existente a casa de máquinas 106
Tabla 1-44. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. vía captación 107
Tabla 1-45. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 1 ... 107
Tabla 1-46. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 1.1 108
Tabla 1-47. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 2 ... 108
Tabla 1-48. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 2.1 109
Tabla 1-49. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 3 ... 109
Tabla 1-50. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 3.1 110
Tabla 1-51. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 4 ... 110
Tabla 1-52. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 5 ... 111
Tabla 1-53. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 6 ... 111
Tabla 1-54. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 6.1 112
Tabla 1-55. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 6.2 112
Tabla 1-56. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 7 ... 113
Tabla 1-57. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 8 ... 113
Tabla 1-58. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. vía casa de máquinas. 114
Tabla 1-59. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. vía existente a casa de máquinas 115
Tabla 1-60. Resumen de la profundidad de socavación para las quebradas sin nombre aferentes a la línea de presión y las vías de acceso 115
Tabla 1-61. Resumen de velocidades y número de froude de las modelaciones a implementar 117

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Secciones transversales

Anexo 2. Tablas de resultados

1 HIDRÁULICA DE LOS QUEBRADAS AFERENTES A LA LÍNEA DE PRESIÓN Y VÍAS DEL PROYECTO

1.1 Introducción

Debido a que se tiene proyectado la implementación de una pequeña central hidroeléctrica a filo de agua sobre un tramo del río Cocorná, en el que la línea de presión cruza diferentes fuentes hídricas (quebradas sin nombres), así mismo como las vías proyectadas y existentes para acceso al proyecto ubicado en las veredas: La Placeta, Mazotes y Los Cedros del municipio de Cocorná. Por lo tanto, es necesario evaluar la capacidad hidráulica de los afluentes asociados al cruce de la línea de presión y las vías, y de esta manera determinar la cota máxima de flujo que puede alcanzar cada caño para un periodo de retorno de 100 años en la condición actual, además se deben implementar obras para el cruce de la tubería a presión y las obras para el cruce de la vía, evaluando que estás no sea afectada por la llanura de inundación de cada afluente y tengan capacidad hidráulica.

1.2 Objetivos y alcance

1.2.1 Objetivo

Realizar un estudio hidráulico a todos los afluentes que intervienen espacialmente con la línea de presión y vías de acceso de la PCH Cocorná III, ubicado en el municipio de Cocorná en el departamento de Antioquia

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar la modelación hidráulica para cada uno de las Q. sin nombres de estudio en condición actual y condición a implementar mediante el software HEC-RAS 4.1.0
- Analizar los resultados de la modelación actual y a implementar para cada uno de las quebradas sin nombres y determinar si las obras propuestas tienen la capacidad hidráulica para evacuar cada uno de los caudales de diseño.
- Proponer obras que permitan el paso de la línea de presión y de las vías sobre los afluentes, de tal manera de que los cauces no se vean afectados en su capacidad hidráulica y se garantice el libre flujo.
- Calcular la profundidad de socavación para cada caño.

1.2.3 Alcance

Realizar un estudio hidráulico teniendo en cuenta los parámetros establecido para el diseño de obras como el manual del drenaje del INVIAS, entre otras normas existentes para el diseño hidráulico propuesto para Colombia.

1.2.4 Descripción del tramo de estudio de la tubería a presión y vías de acceso de la PHC Cocorná III

En la zona donde se estudia el proyecto denominado PCH Cocorná lll, se implementarán obras de infraestructura para el aprovechamiento energético, la tubería a presión transporta el recurso hídrico desde aguas arriba del río Cocorná hasta la zona donde se encuentra la casa de máquinas del proyecto. Para el ingreso a estas dos zonas se requiere la adecuación de vías, por lo cual, tanto el trazado de la línea de presión y las vías de acceso cruzarán varios de los cauces presentes en la zona, por tal motivo es necesario evaluar las condiciones hidráulicas actuales de las Quebradas sin nombres que se encuentran en el terreno.

Se deben realizar obras que preserven la vida útil de la línea de presión y las vías en cada cruce con los cuerpos de agua, debido a que se pueden presentar daños por infiltraciones de agua y a esfuerzos en el suelo.

En los tramos donde la tubería a presión cruza los cuerpos de agua de forma elevada de manera prolongada (mayor a 6 metros) se van a implementar puente ductos y se garantiza que los apoyos no intervengan significativamente los cauces y en los tramos donde el cruce con las fuentes de agua no es tan prolongado (menor a 6 metros) se van a implementar silletas.

Para los cruces donde las vías a adecuar para el ingreso a las zonas del proyecto intercepten con la fuente hídrica, se implementará una obra hidráulica con capacidad hidráulica suficiente que permita el paso del flujo, sin generar riesgos de desbordamientos.

1.2.5 Topobatimetría

En los predios donde fue posible tener la autorización de los propietarios para el acceso a los afluentes por donde cruzaba la línea de presión, se tomaron secciones batimétricas con estación total para tener una representación del terreno en condiciones reales, mientras en los predios que no se pudo acceder, se trabajó con la información del instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en escala 1:10.000

1.3 Diseño hidráulico

Teniendo en cuenta que se debe proteger la tubería de presión y las vías, las cuales se debe mantener en buenas condiciones durante la vida útil del proyecto, se propone realizar la modelación de cada uno de las quebradas sin nombres asociados al trazado, para identificar si los cauces tienen la capacidad hidráulica para evacuar un periodo de retorno de 100 años.

Para el análisis de las fuentes hídricas y posteriores a los diseños de las obras de la línea de presión y las vías, se realizaron las modelaciones hidráulicas utilizando el programa HERC-RAS Versión 4.1.0 desarrollado por Army Corps of Engineers Hidrologic Engineering Center. Para que el software realice las modelaciones, se

requiere el régimen de flujo, las condiciones de borde y el valor de rugosidad de Manning. Las profundidades de flujo se calculan a partir del método estándar por pasos y como resultado del modelo se obtiene la superficie libre del agua asociada a una condición de caudal impuesta que varía a lo largo del cauce presente en el punto crítico

1.3.1 Consideraciones para la modelación

- Hidrológicas

Para los caudales máximos requeridos del presente estudio se tomaron los evaluados en el estudio hidrológico de las quebradas de la PCH Cocorná lll.

A continuación, se muestra los caudales máximos de diseño calculados en el informe de hidrología. (Ver Tabla 1-1)

Tabla 1-1.Caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

Período de Retorno (años)	Q. vía captación	Q. sin nombre 1 (m3/s)	Q. sin nombre 1.1 (m3/s)	Q. sin nombre 2 (m3/s)	Q. sin nombre 3 (m3/s)
2,33	1.04	0.77	0.531	2.66	7.14
5	1.32	1.04	0.695	3.36	9.17
10	1.53	1.26	0.823	3.89	10.74
25	1.78	1.52	0.978	4.53	12.64
50	1.96	1.72	1.09	4.99	13.99
100	2.13	1.91	1.199	5.43	15.31
200	2.29	2.09	1.306	5.86	16.59
500	2.51	2.34	1.445	6.42	18.26
Período de Retorno (años)	**Q. sin nombre 3.1 (m3/s)**	**Q. sin nombre 4 (m3/s)**	**Q. sin nombre 5 (m3/s)**	**Q. sin nombre 6 (m3/s)**	**Q. sin nombre 6.1 (m3/s)**
2,33	0.07	7.59	2.44	5.59	0.255
5	0.11	9.73	3.19	7.19	0.352
10	0.14	11.39	3.78	8.44	0.431
25	0.17	13.38	4.49	9.94	0.528
50	0.2	14.81	5	11.02	0.599
100	0.23	16.2	5.5	12.07	0.668
200	0.26	17.55	5.99	13.09	0.738
500	0.29	19.31	6.63	14.42	0.829

Período de Retorno (años)	Q. sin nombre 6.2 (m3/s)	Q. sin nombre 7 (m3/s)	Q. sin nombre 8 (m3/s)	Q. vía casa de máquinas	Q.vía existente a casa de máquinas
2,33	0.784	6.74	5.7	0.98	16.69
5	1.013	8.75	7.46	1.28	21.65
10	1.19	10.31	8.84	1.51	25.52
25	1.404	12.2	10.51	1.78	30.21
50	1.558	13.56	11.72	1.98	33.58
100	1.708	14.88	12.89	2.17	36.85
200	1.854	16.18	14.05	2.36	40.06
500	2.044	17.87	15.55	2.61	44.24

- Coeficientes de rugosidad de Manning

La rugosidad de los caños en la zona de estudio del río Cocorná fue estimada con base en la ecuación desarrollada por Cowan 1956 (Chow, Maidment, & Mays, 1994).En esta ecuación Cowan tiene en cuenta 6 variables diferentes para encontrar el coeficiente de rugosidad. Las variables involucradas en el análisis son: tipo de material del cauce, grado de irregularidad asociado a las rugosidades superficiales y al grado de erosión de las bancas, variaciones drásticas de la sección transversal, presencia de obstrucciones naturales o artificiales en el cauce, vegetación existente y existencia de meandros. El resultado obtenido con esta metodología fue comparado con valores reportados por otros autores en cauces de montaña (Jarrett, 1985), así como con valores tabulados que dependen del tipo de material del cauce (Chow 1994) y fotografías con coeficientes calibrados (Barnes, 1967).

De acuerdo a las características naturales de los afluentes con vegetación presente, se utilizaron los siguientes coeficientes de Manning. Ver Tabla 1-2.

Tabla 1-2. Coeficiente de rugosidad de Manning para cada una de las Q. sin nombres

FUENTE	n- NÚMERO DE MANNING		
	Margen Izquierda	Lecho del canal	Margen Derecha
Q. vía captación	0.035	0.025	0.035
Q. sin nombre 1	0.035	0.025	0.035
Q. sin nombre 1.1	0.035	0.025	0.035
Q. sin nombre 2	0.035	0.025	0.035
Q. sin nombre 2.1	0.035	0.025	0.035
Q. sin nombre 3	0.035	0.025	0.035
Q. sin nombre 3.1	0.035	0.025	0.035

FUENTE	n- NÚMERO DE MANNING		
	Margen Izquierda	Lecho del canal	Margen Derecha
Q. sin nombre 4	0.035	0.025	0.035
Q. sin nombre 5	0.035	0.025	0.035
Q. sin nombre 6	0.035	0.025	0.035
Q. sin nombre 6.1	0.035	0.025	0.035
Q. sin nombre 6.2	0.035	0.025	0.035
Q. sin nombre 7	0.035	0.025	0.035
Q. sin nombre 8	0.035	0.025	0.035
Q. vía casa de máquinas	0.035	0.025	0.035
Q. vía existente a casa de máquinas	0.05	0.05	0.05

- Condiciones de frontera y condición de flujo

La profundidad normal, estimada como la pendiente promedio del fondo del canal entre las secciones más cercanas a la sección de frontera fue utilizada como la condición de contorno para el flujo mixto tanto para la condición actual como para la condición a implementar en cada uno de los caños.

1.3.2 Modelación hidráulica de los caños condición actual

Se procede a utilizar el programa HEC-RAS 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del recorrido de los cauces donde se proyectan las obras de la tubería a presión y las vías para el cruce de los afluentes.

Como se dijo antes, para el tramo de estudio se usó información del IGAC y se hizo batimetría con estación total para algunos afluentes, donde se sacaron secciones transversales al eje de las Q. sin nombres cada 5 metros aproximadamente y cada 8 metros en la Q. sin nombre 8, con un ancho de 20 metros en su gran mayoría y para cada uno se sacaron entre 6 y 11 secciones.

Una vez ingresadas las secciones transversales, la información de caudales para diferentes periodos de retorno, número de Manning y las condiciones de frontera, se procede a realizar la modelación hidráulica en el software bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen mixto para algunos afluentes y supercrítico para otros.

1.3.3 Resultados de las modelaciones hidráulicas (condición actual)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la simulación hidráulica que arrojo el programa HEC-RAS 4.1.0, además se aclara que, aunque se realizó la modelación para ocho periodos de retorno diferentes, en este informe se presentarán

los resultados para el periodo de retorno de 100 años. Los demás resultados se pueden consultar en los **anexos 1 Y 2**.

A continuación se presenta los esquemas de los caños modelados aferentes a la línea de presión (ver Figura 1-4 hasta la Figura 1-14)

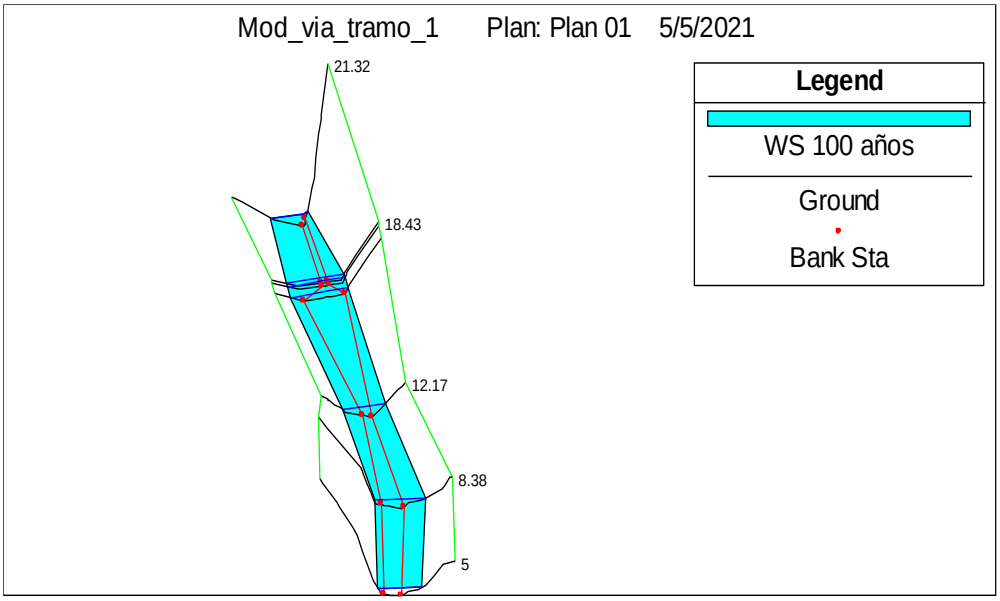

Figura 1-1 Tramo Q. vía captación, condición actual

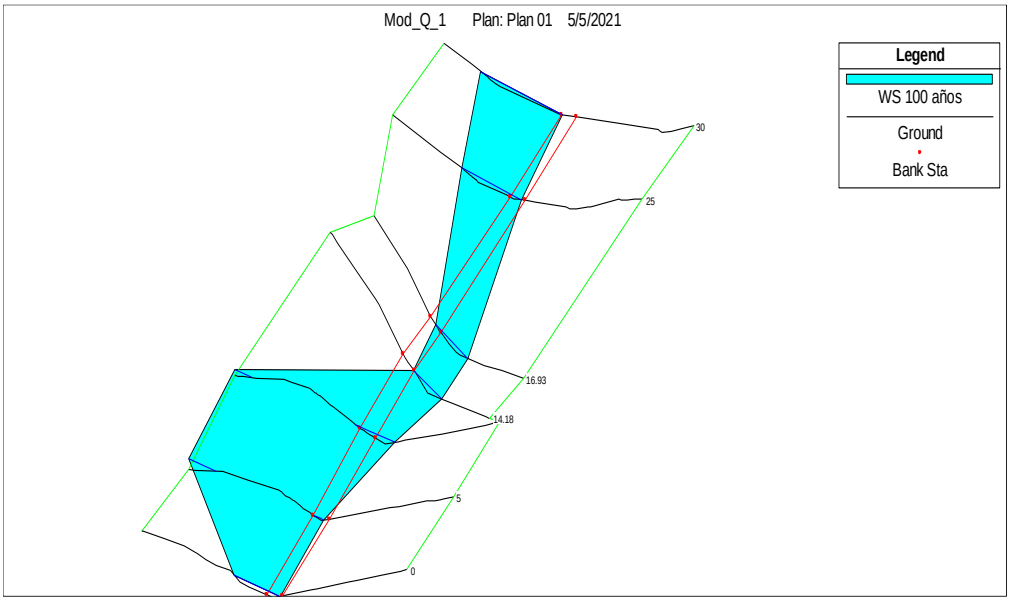

Figura 1-2 Tramo Q. sin nombre 1, condición actual

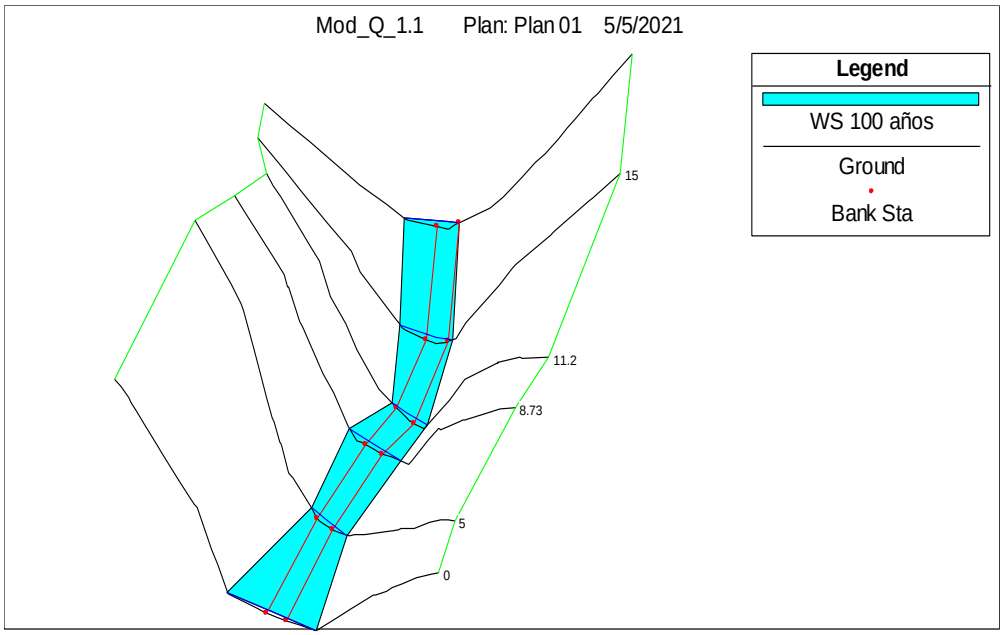

Figura 1-3 Tramo Q. Q. sin nombre 1.1, condición actual

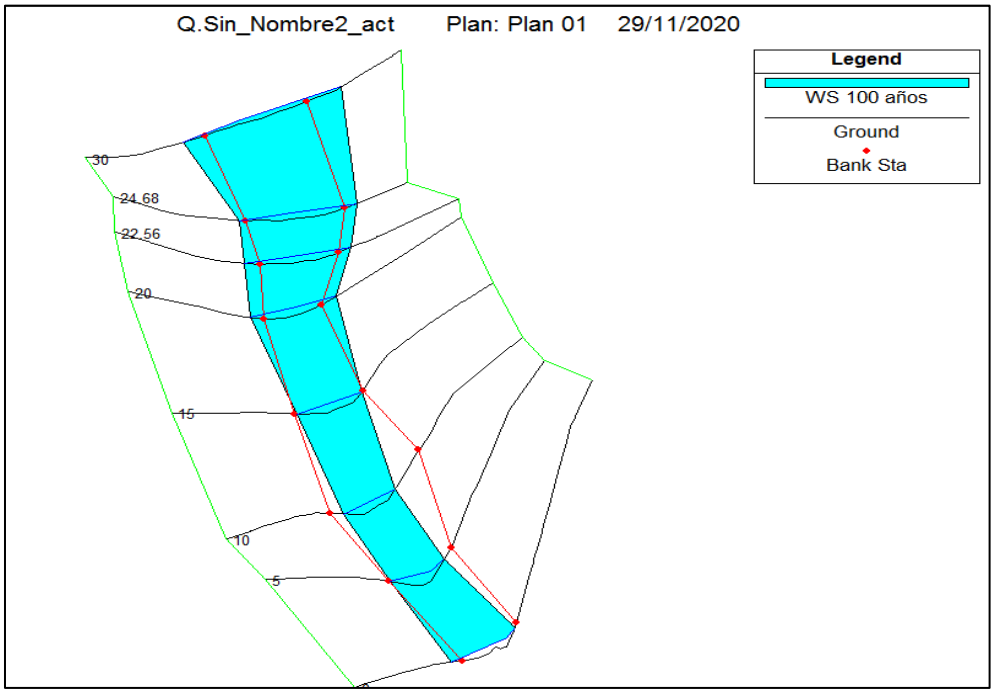

Figura 1-4 Tramo Q. Q. sin nombre 2, condición actual

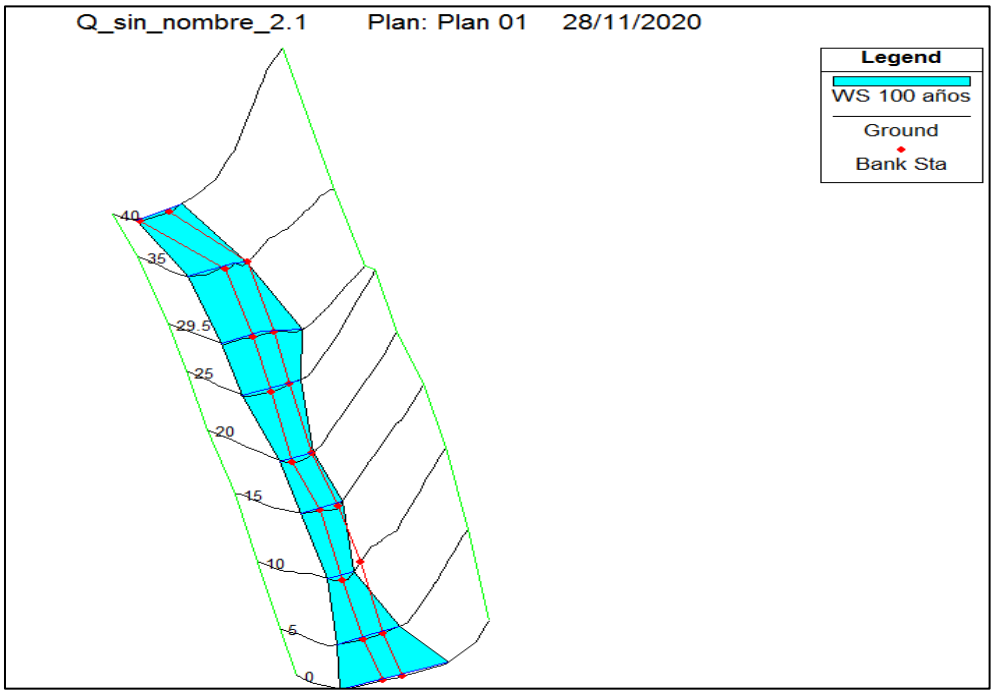

Figura 1-5 Tramo Q. sin nombre 2.1, condición actual

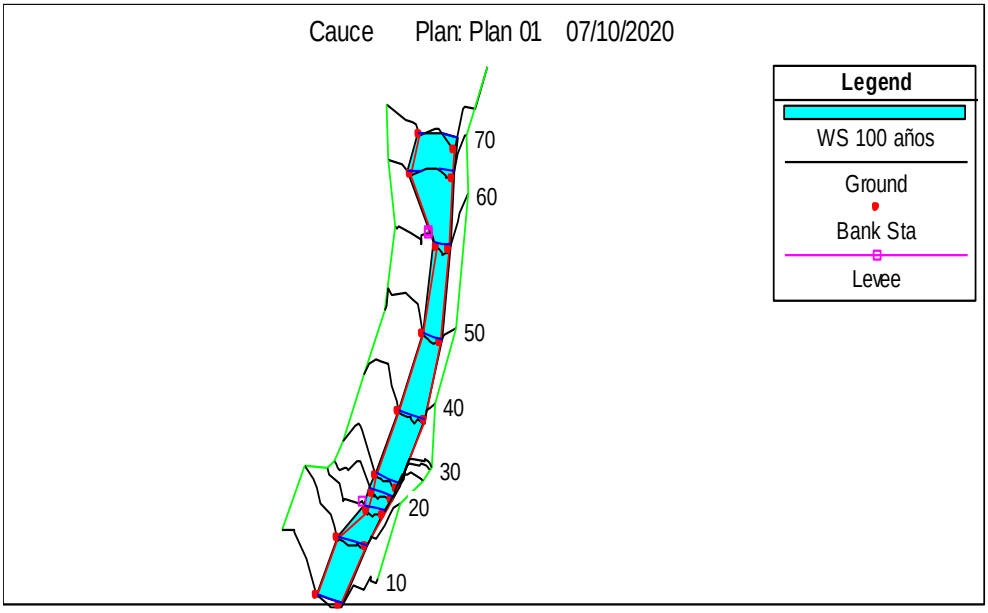

Figura 1-6 Tramo Q. sin nombre 3, condición actual

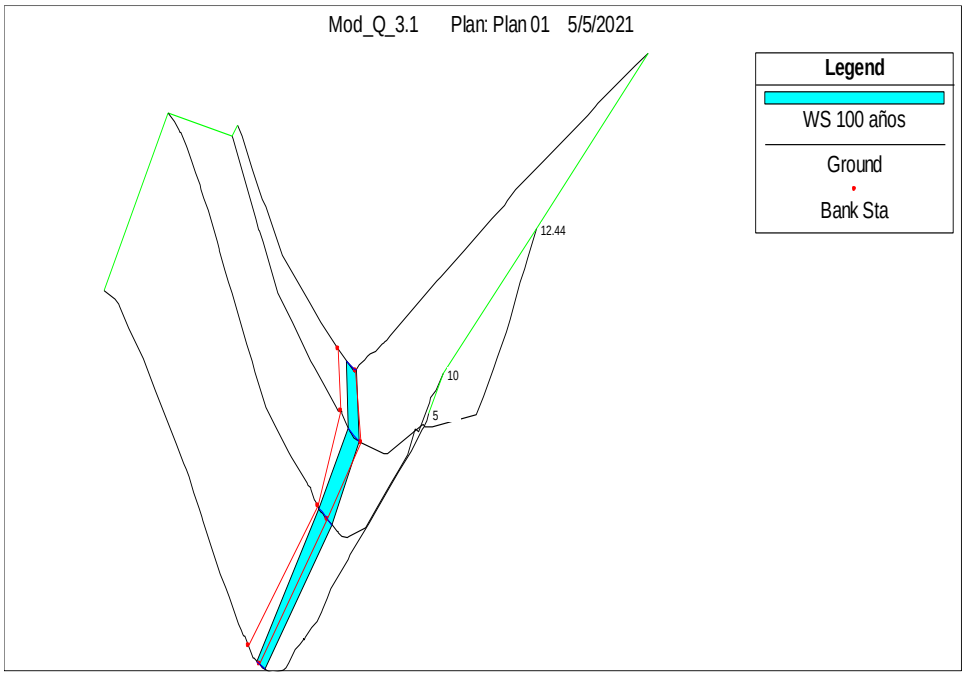

Figura 1-7 Tramo Q. sin nombre 3.1, condición actual

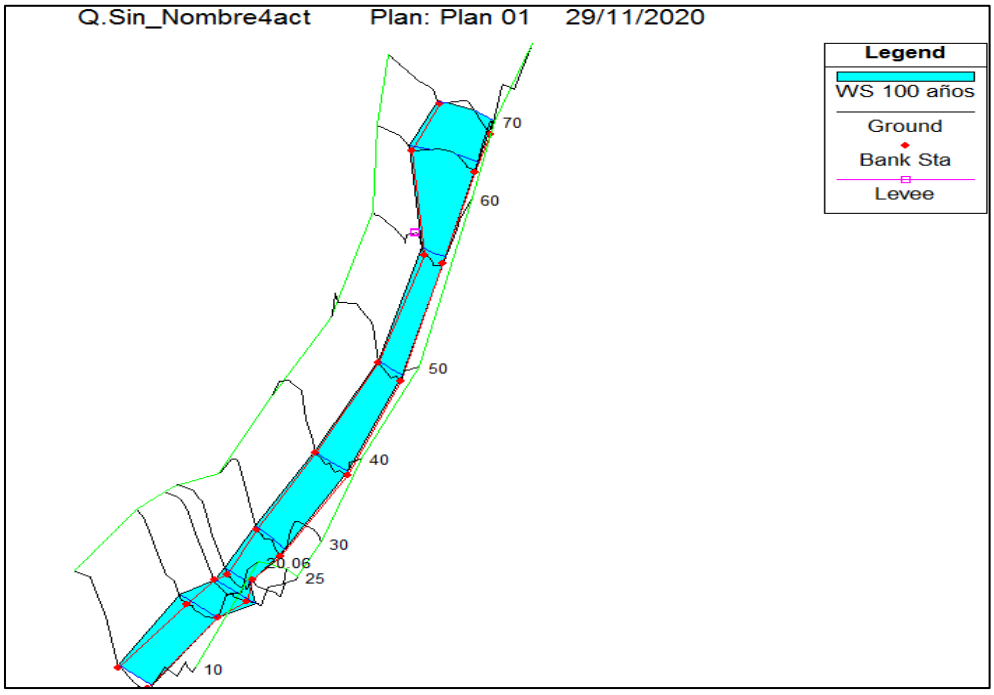

Figura 1-8. Tramo Q. sin nombre 4, condición actual

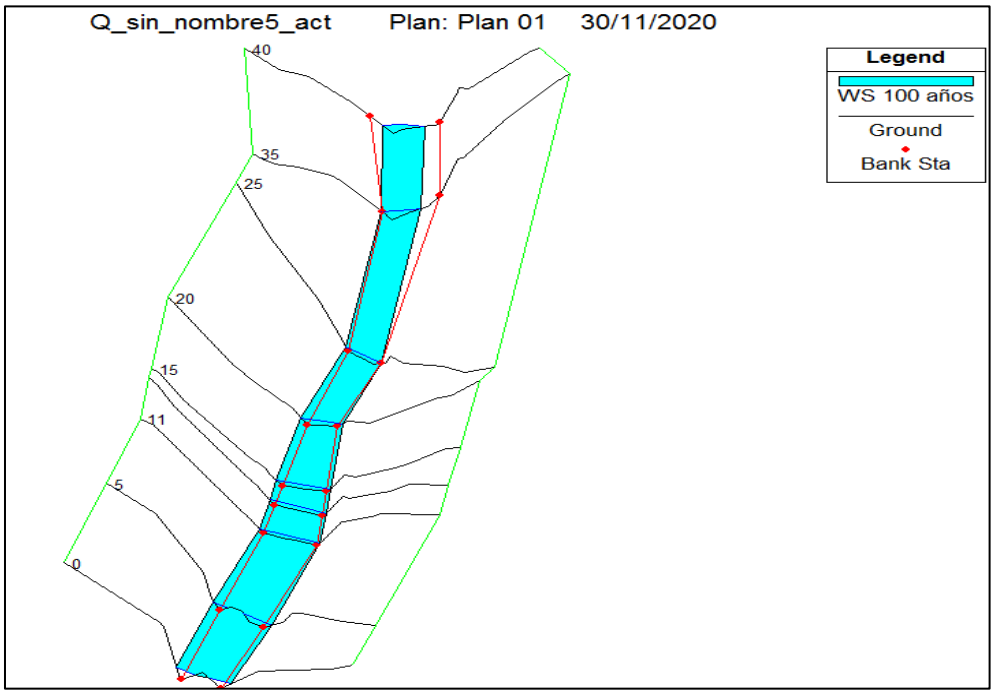

Figura 1-9 Tramo Q. sin nombre 5, condición actual

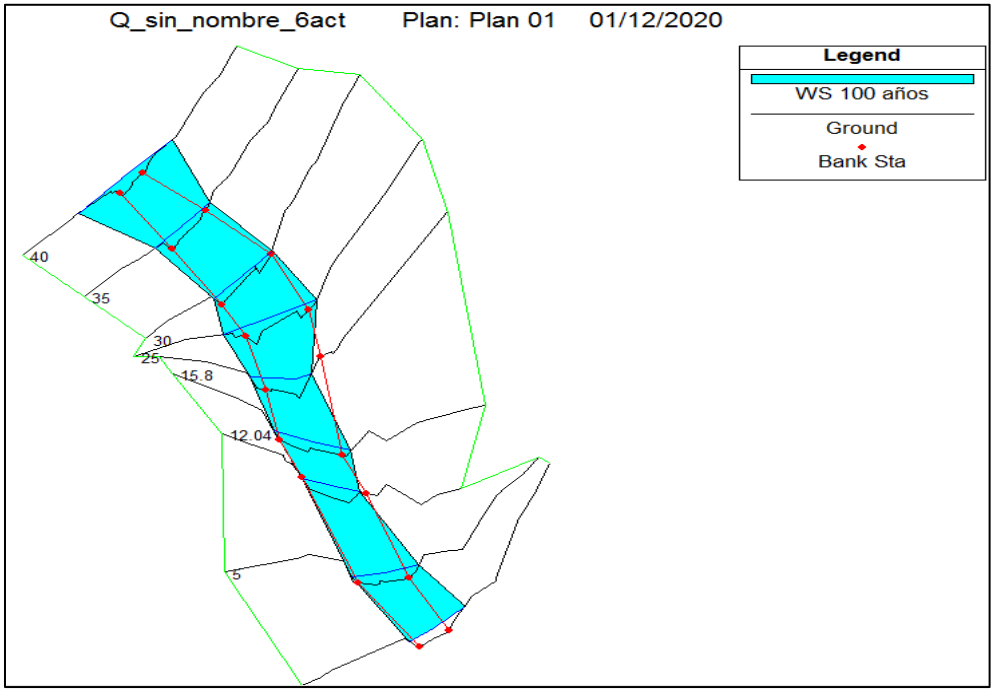

Figura 1-10 Tramo Q. sin nombre 6, condición actual

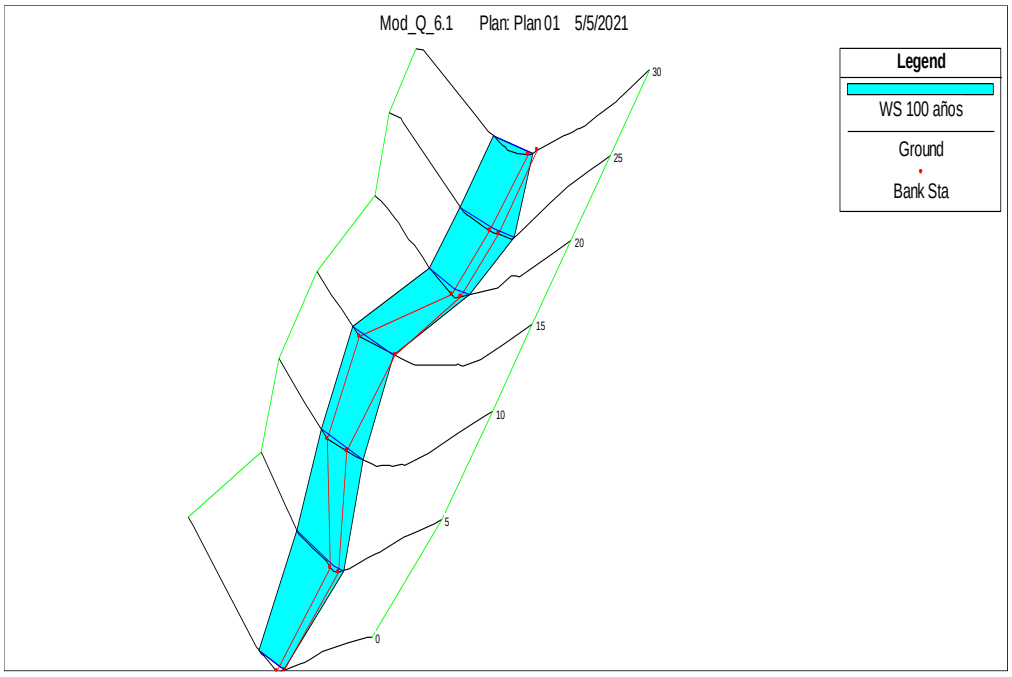

Figura 1-11 Tramo Q. sin nombre 6.1, condición actual

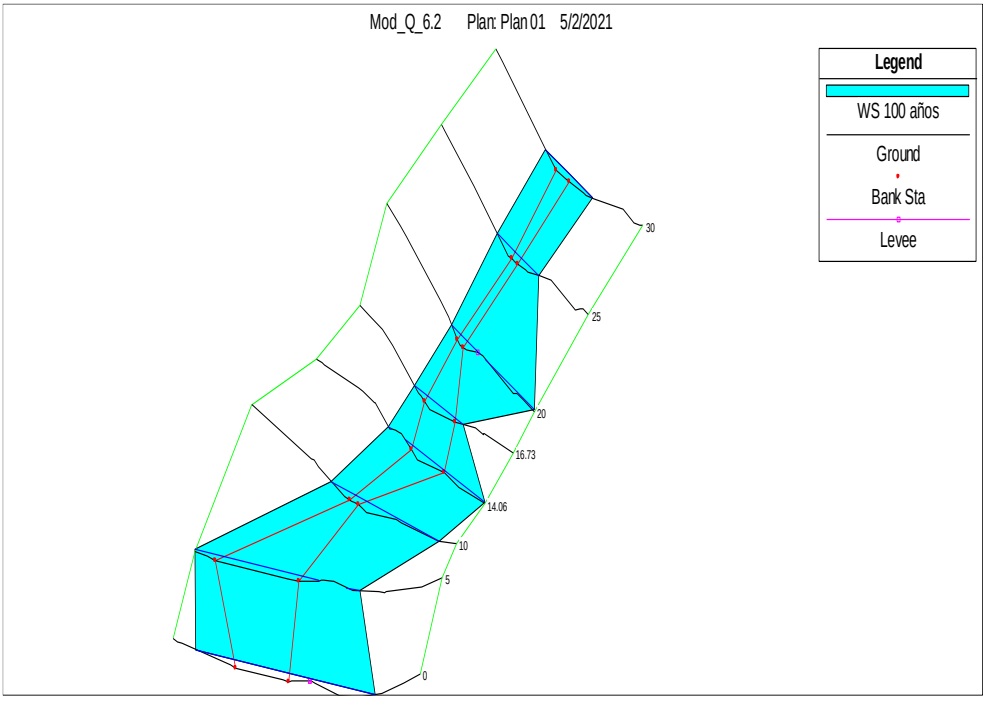

Figura 1-12 Tramo Q. sin nombre 6.2, condición actual

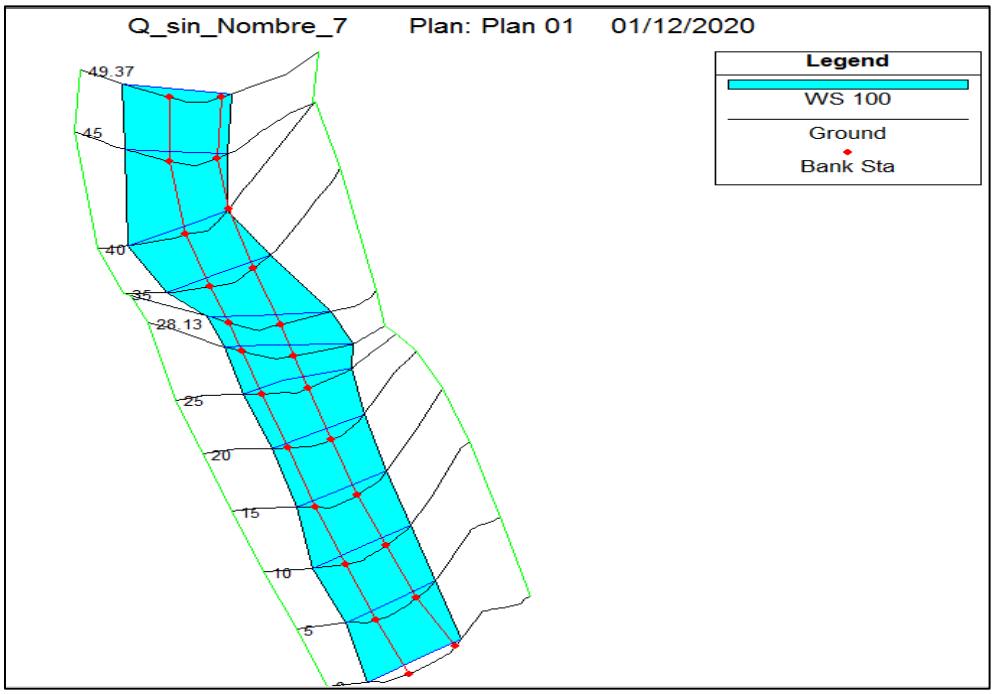

Figura 1-13 Tramo Q. sin nombre 7, condición actual

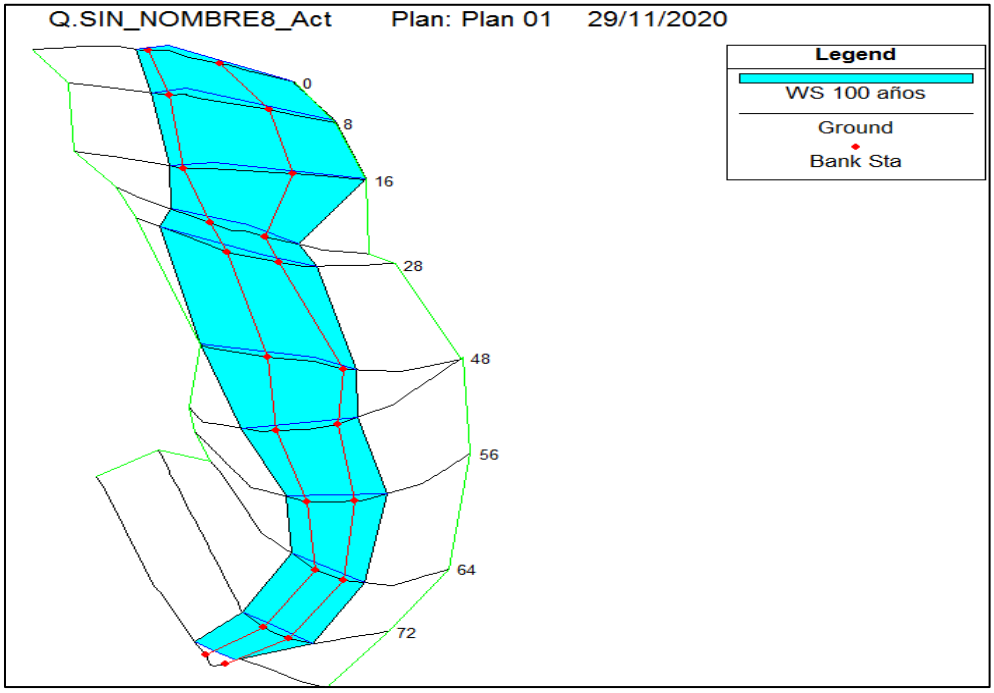

Figura 1-14 Tramo Q. sin nombre 8, condición actual

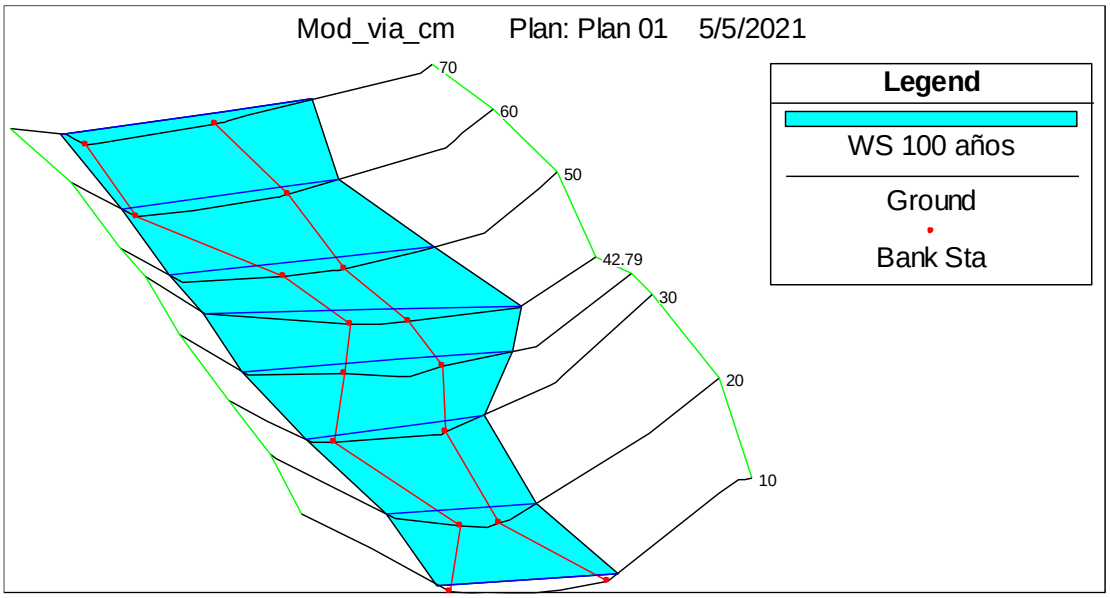

Figura 1-15 Tramo Q. vía casa de máquinas, condición actual.

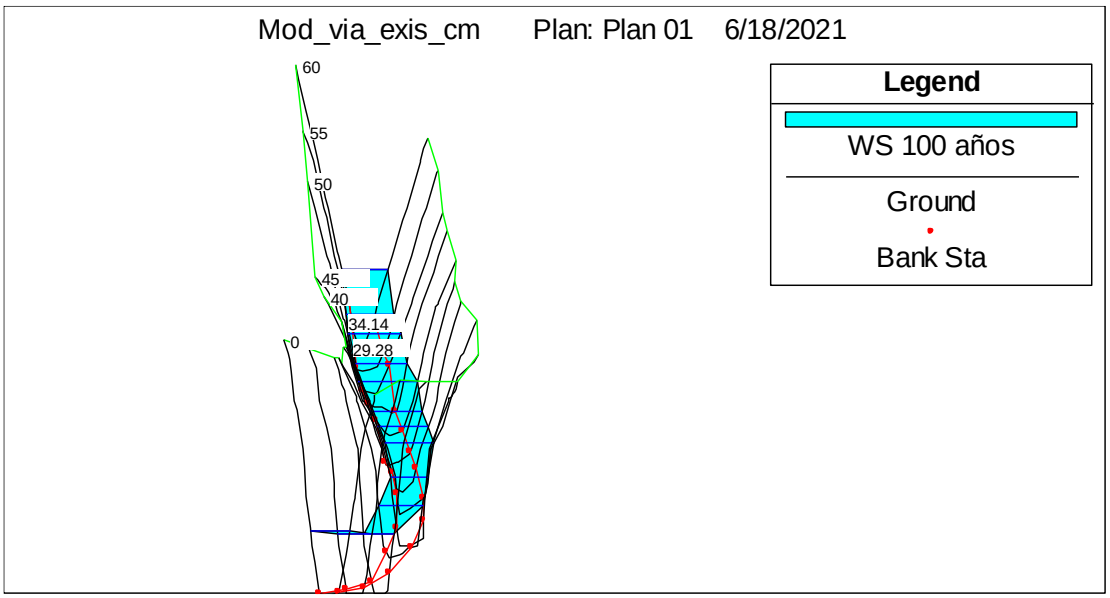

Figura 1-16 Tramo Q. existente a vía casa de máquinas, condición actual.

1.3.4 Análisis de resultados gráficos (sin proyecto)

Una vez realizada las modelaciones hidráulicas teniendo en cuenta las características del terreno procesadas por el trabajo de campo y de oficina en las Q. sin nombres asociados a la línea de presión y vías de acceso de la PCH Cocorná III se puede observar que para las Q. sin nombre1, 1.1, 2, 2.1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y las quebradas de la vía de captación y las vías de casa de máquinas existente y a implementar (Ver **anexo 1**), son capaces de contener un caudal obtenido a partir de un estudio hidrológico para un periodo de retorno de 100 años, entonces se puede concluir que para periodos de retorno menores también tendrá la capacidad hidráulica suficiente sin riesgo de presentar desbordamiento o inundaciones.

Se presenta en las siguientes figuras algunas de las secciones asociadas a cada uno de los caños modelados para un periodo de retorno de 100 años ya que es uno de los periodos más críticos. (Ver de la Figura 1-19 a la Figura 1-34)

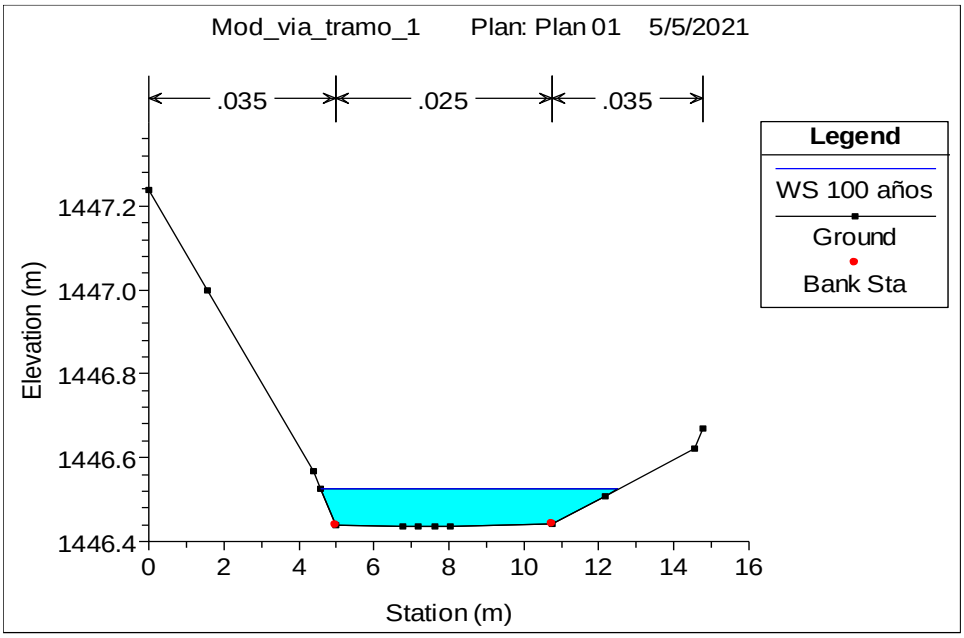

Figura 1-17 Sección transversal 0+017.74 de la Q. vía captación, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

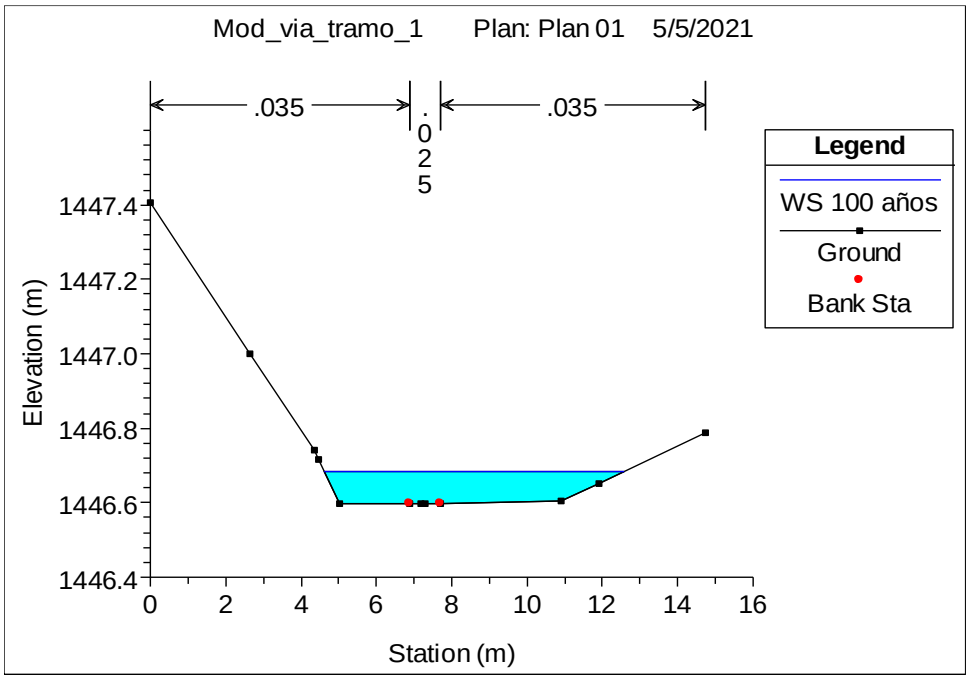

Figura 1-18 Sección transversal 0+018.27 de la Q. vía captación, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

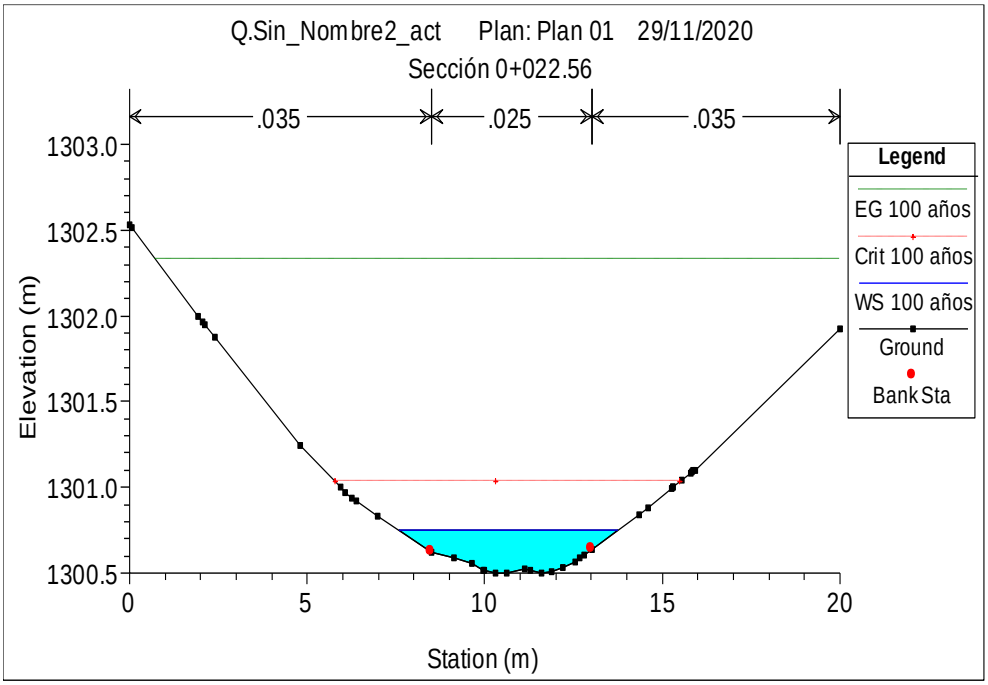

Figura 1-19 Sección transversal 0+022.56 de la Q. sin nombre 2, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

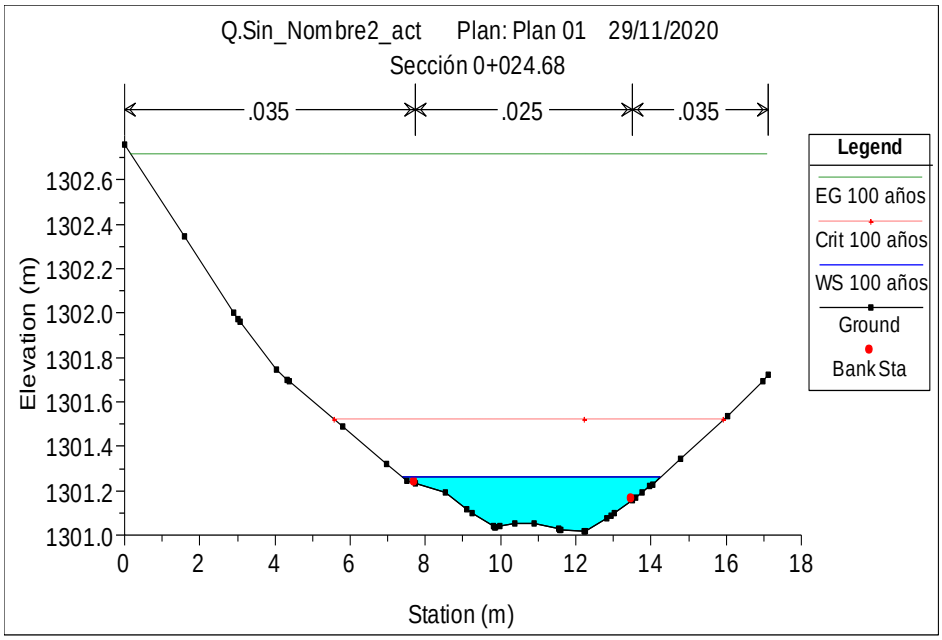

Figura 1-20 Sección transversal 0+024.68 de la Q. sin nombre 2, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

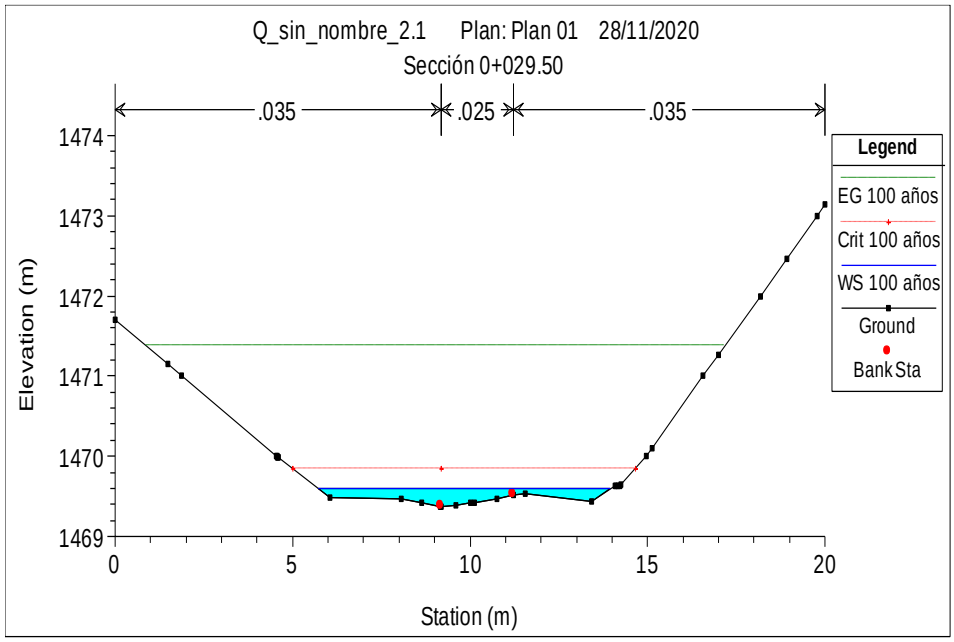

Figura 1-21 Sección transversal 0+029.1 de la Q. sin nombre 2.1, Tr=100 años, condición actual. Arrojado por Hec - Ras

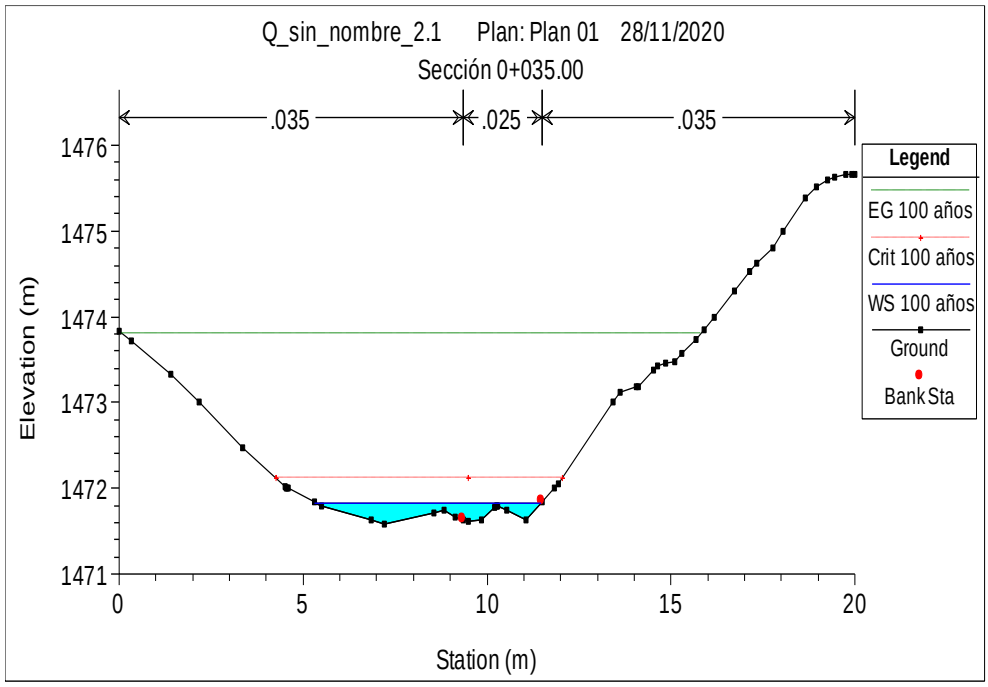

Figura 1-22 Sección transversal 0+035.00 de la Q. sin nombre 2.1, Tr=100 años, condición actua.l Arrojado por Hec - Ras

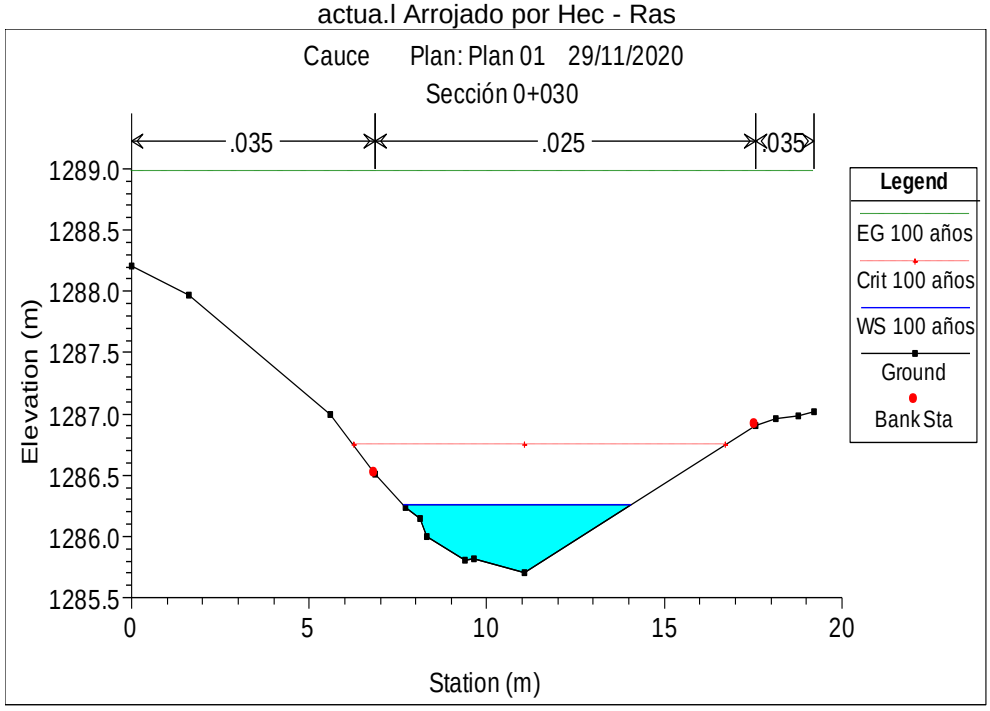

Figura 1-23 Sección transversal 0+030.00 de la Q. sin nombre 3, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

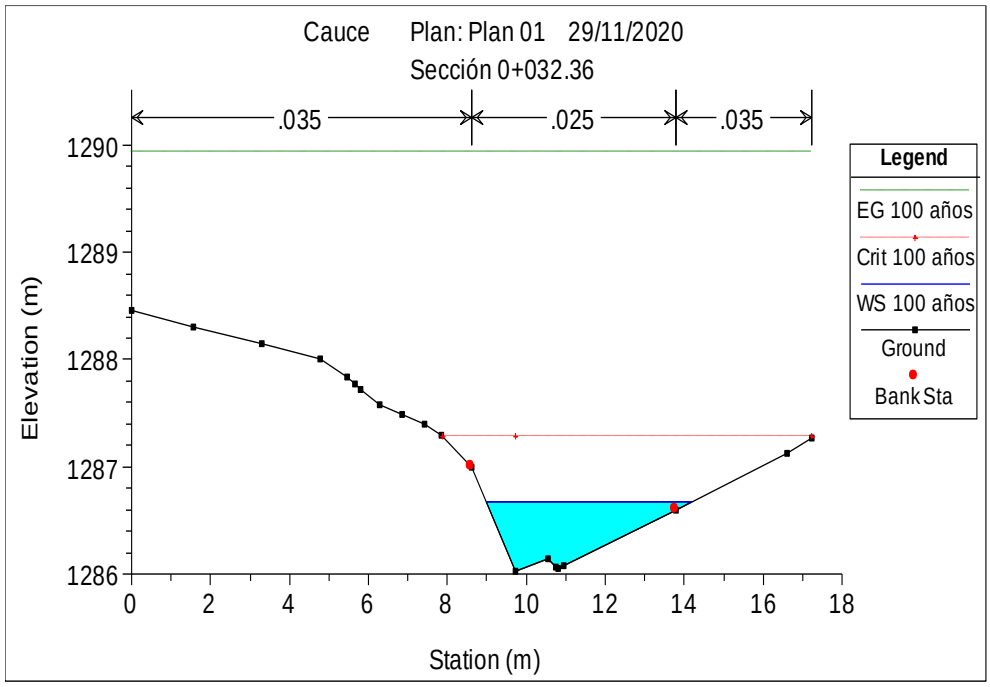

Figura 1-24 Sección transversal 0+032.36 de la Q. sin nombre 3, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

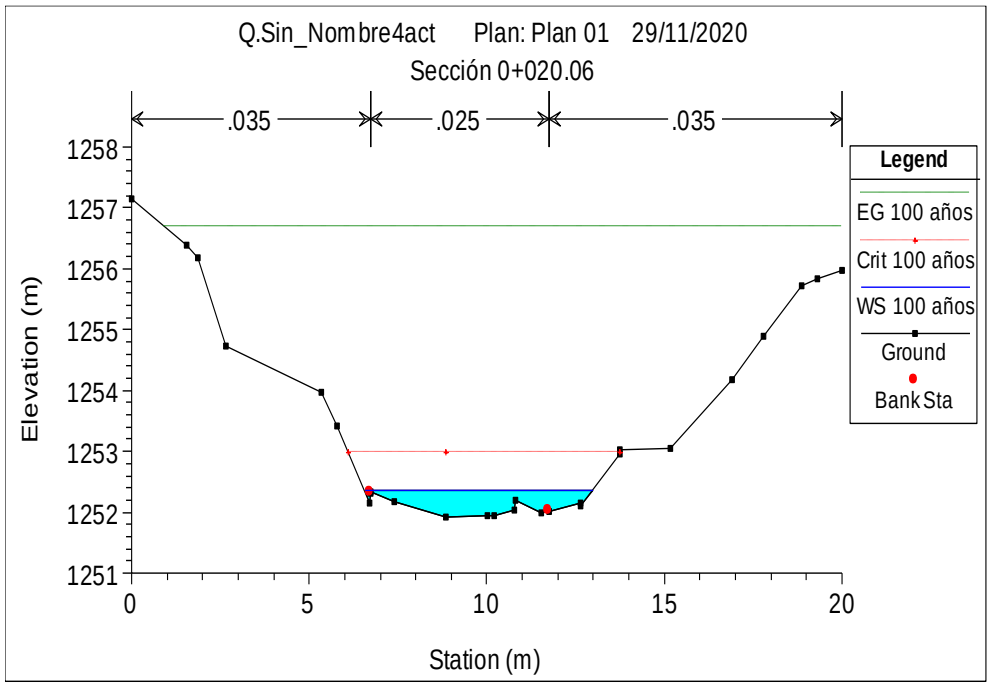

Figura 1-25 Sección transversal 0+020.06 de la Q. sin nombre 4, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

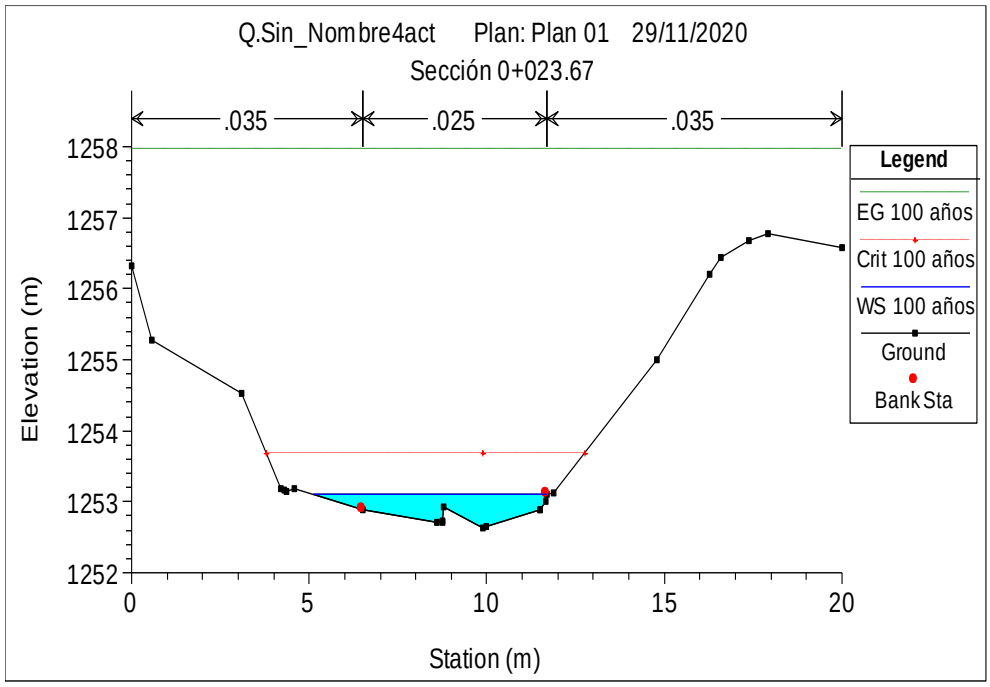

Figura 1-26 Sección transversal 0+023.67 de la Q. sin nombre 4, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

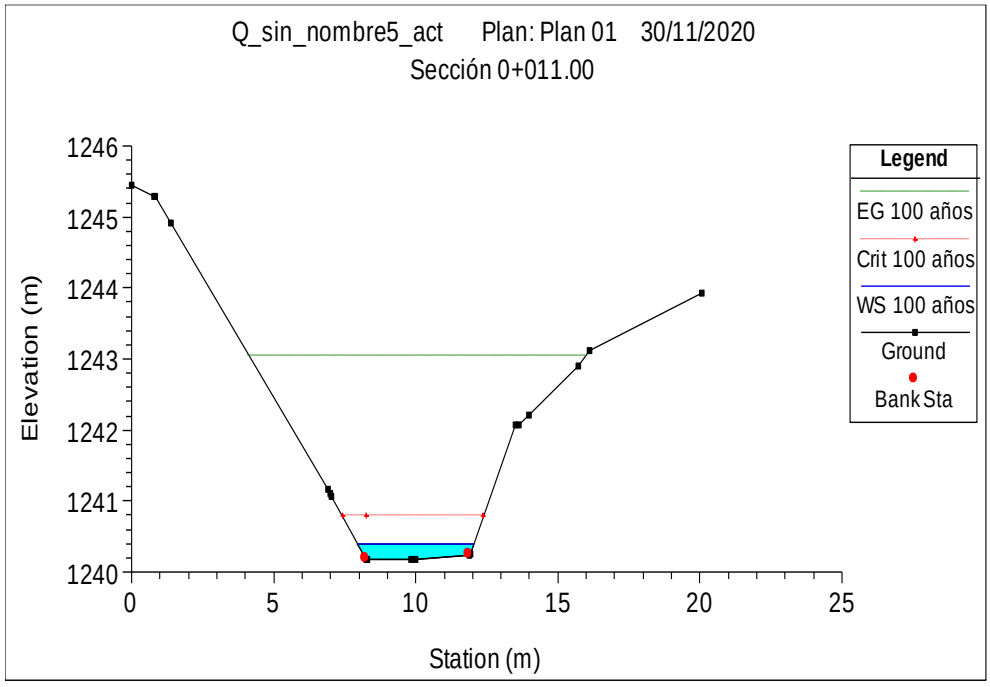

Figura 1-27 Sección transversal 0+011.00 de la Q. sin nombre 5, Tr=100 años.Arrojado por Hec-Ras

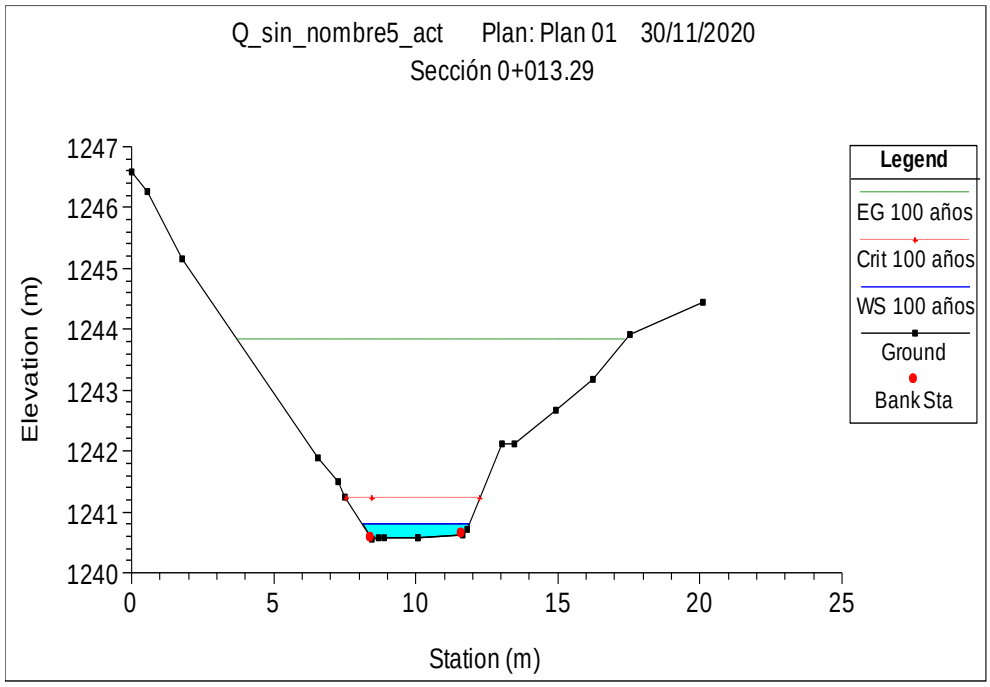

Figura 1-28 Sección transversal 0+013.29 de la Q. sin nombre 5, Tr=100 años.Arrojado por Hec-Ras

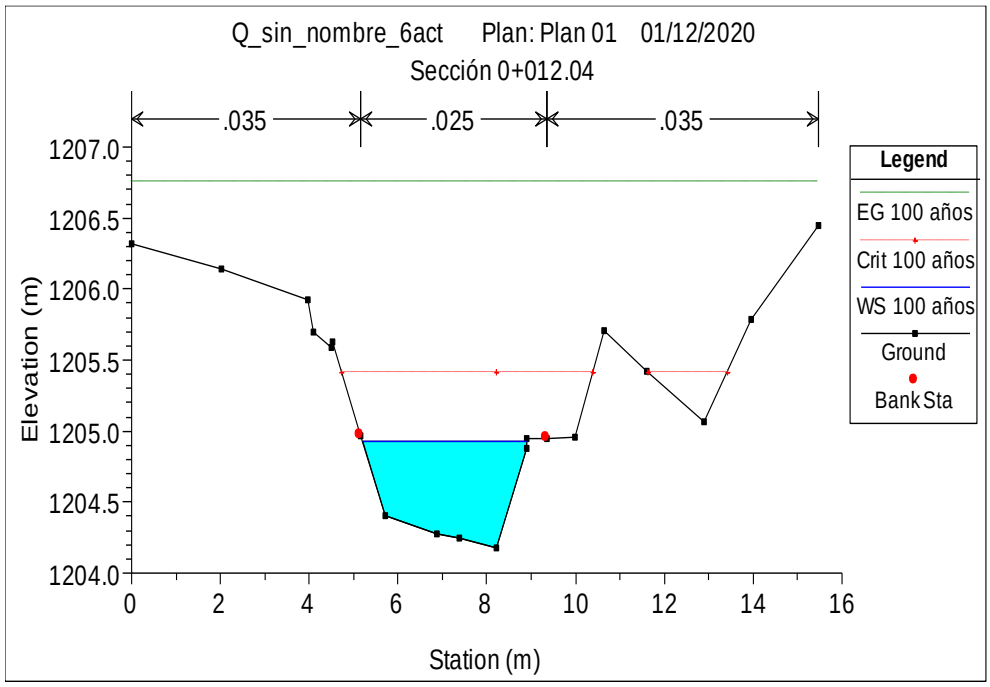

Figura 1-29 Sección transversal 0+012.04 de la Q. sin nombre 6, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

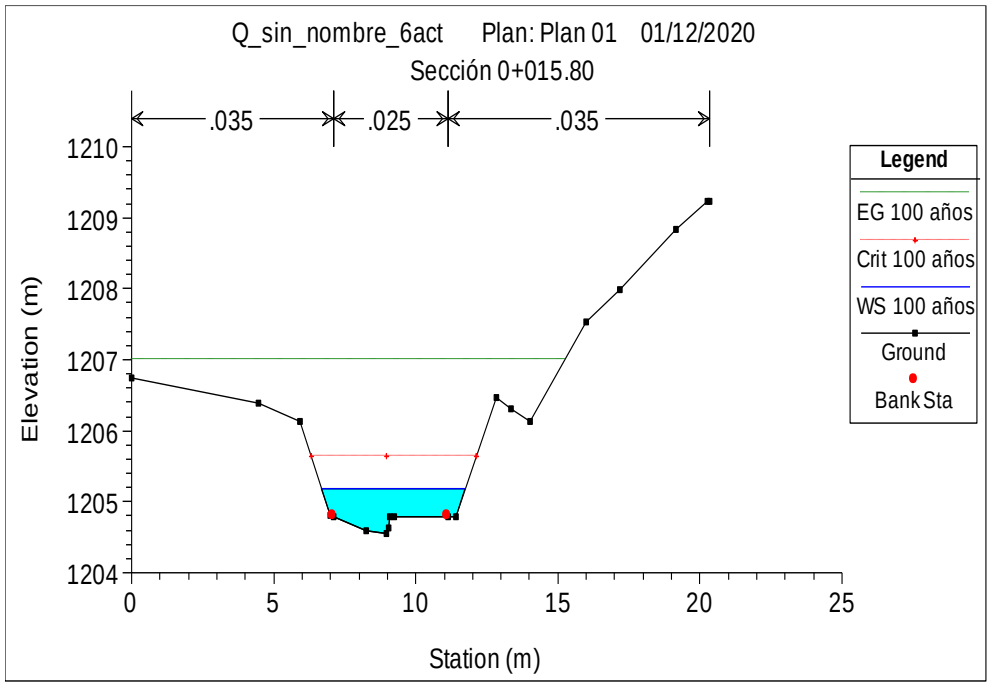

Figura 1-30 Sección transversal 0+027,43 de la Q. sin nombre 6, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

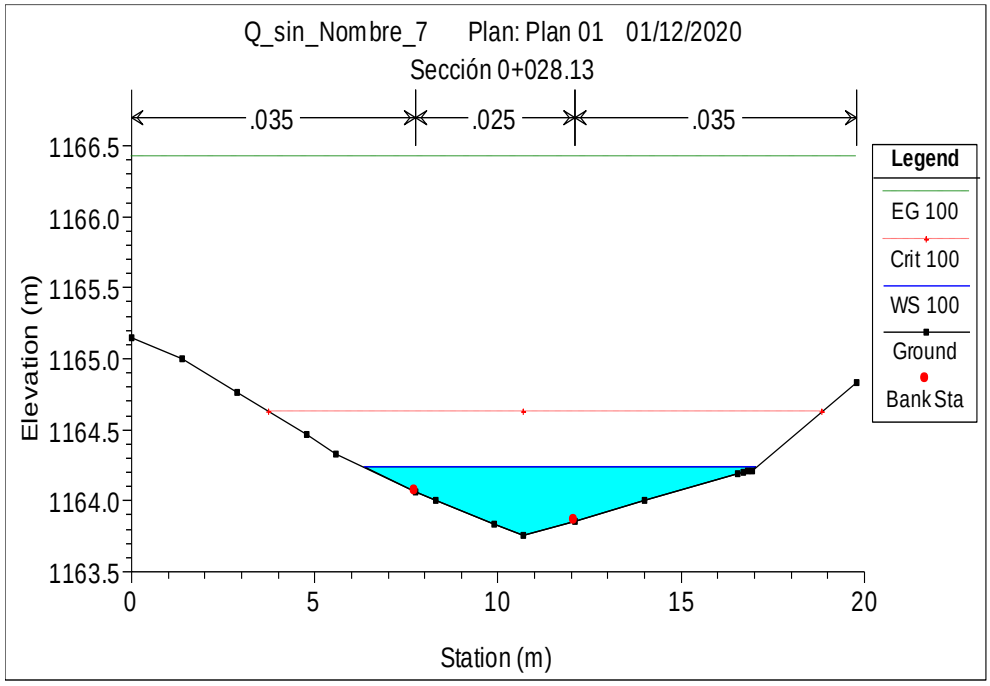

Figura 1-31 Sección transversal 0+028.13 de la Q. sin nombre 7, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

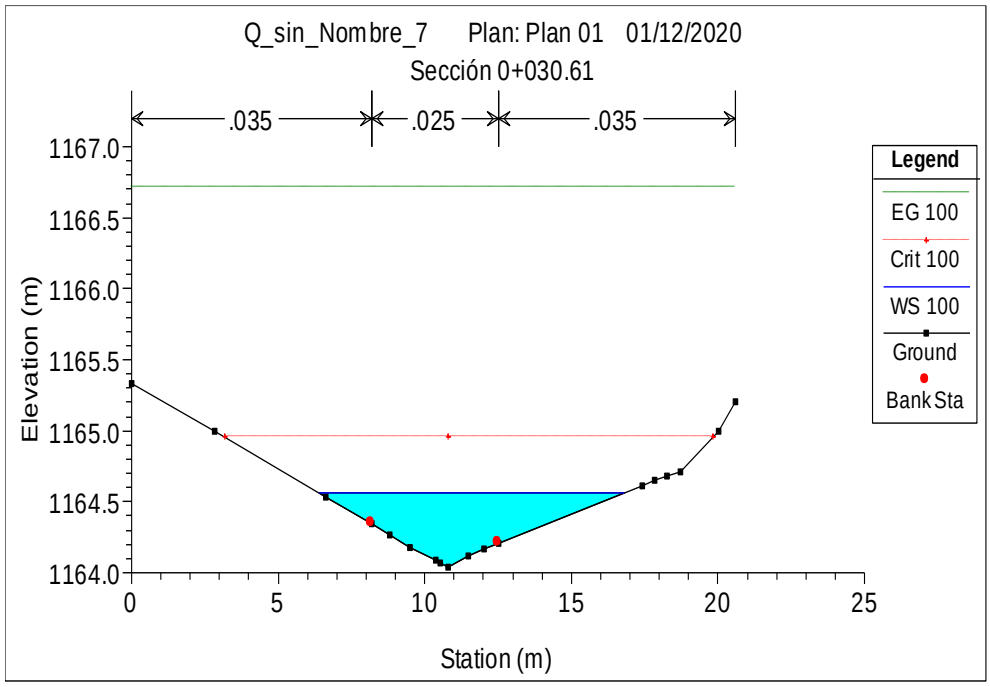

Figura 1-32 Sección transversal 0+030.67 de la Q. sin nombre 7, Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

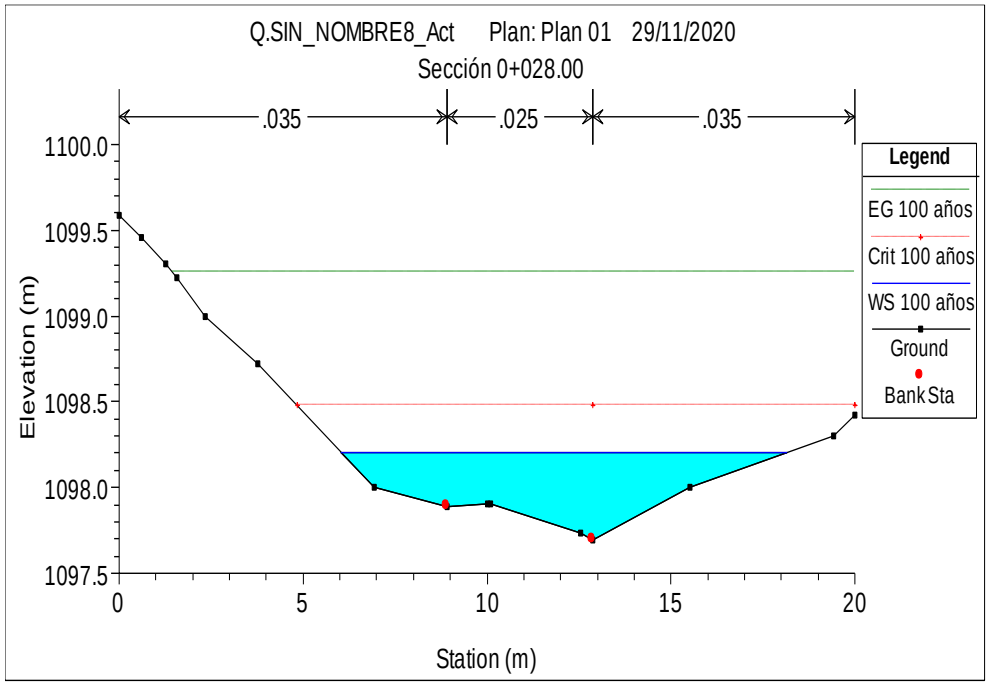

Figura 1-33 Sección transversal 0+028.00 de la Q. sin nombre 8, Tr=100 años.

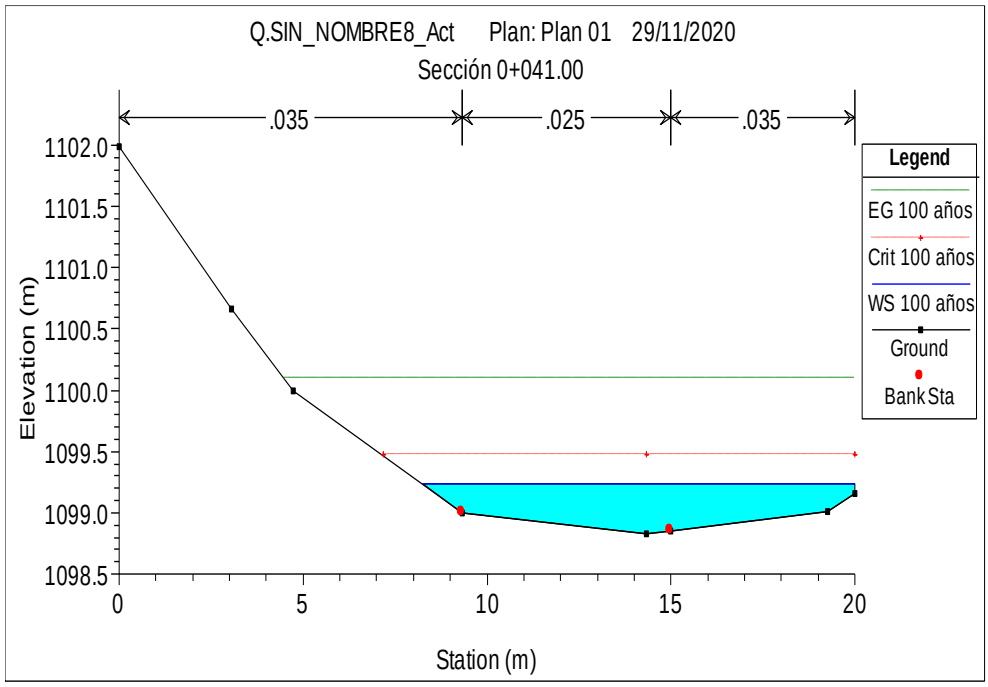

Figura 1-34 Sección transversal 0+041.00 de la Q. sin nombre 8, Tr=100 años.

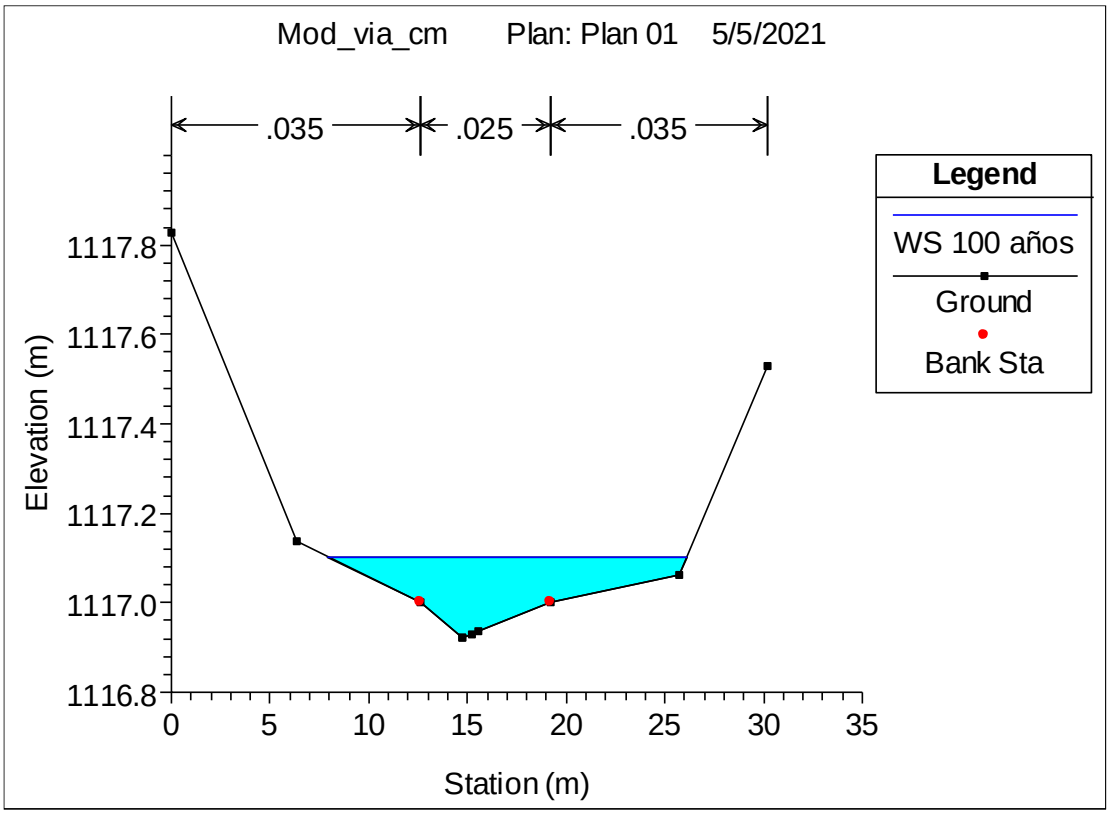

Figura 1-35 Sección transversal 0+036.27 de la Q. vía casa de máquinas, Tr=100 años.

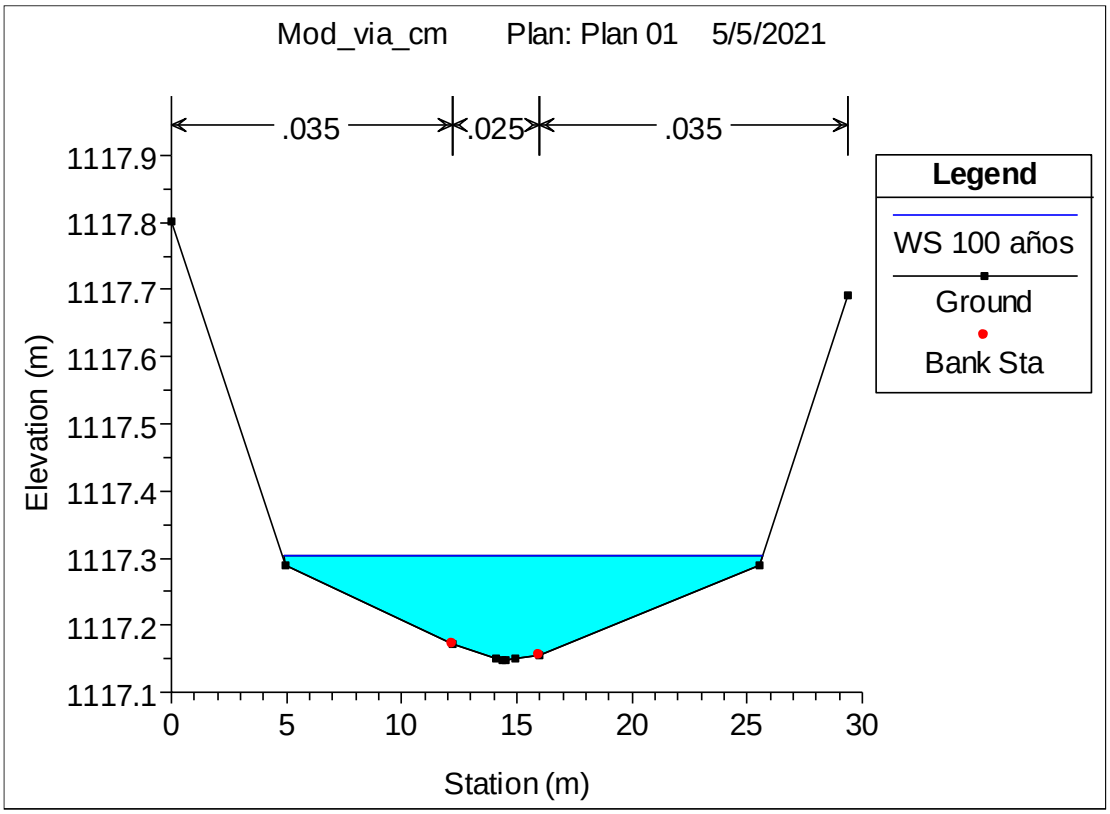

Figura 1-36 Sección transversal 0+042.79 de la Q. vía casa de máquinas, Tr=100 años.

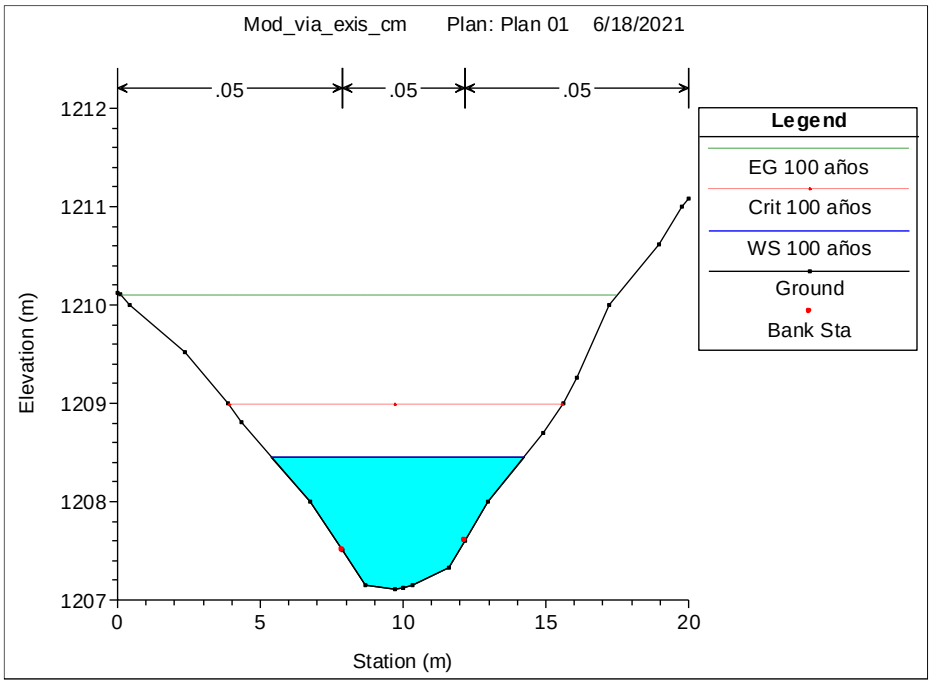

Figura 1-37 Sección transversal 0+029.28 de la Q. vía existente a casa de máquinas, Tr=100 años.

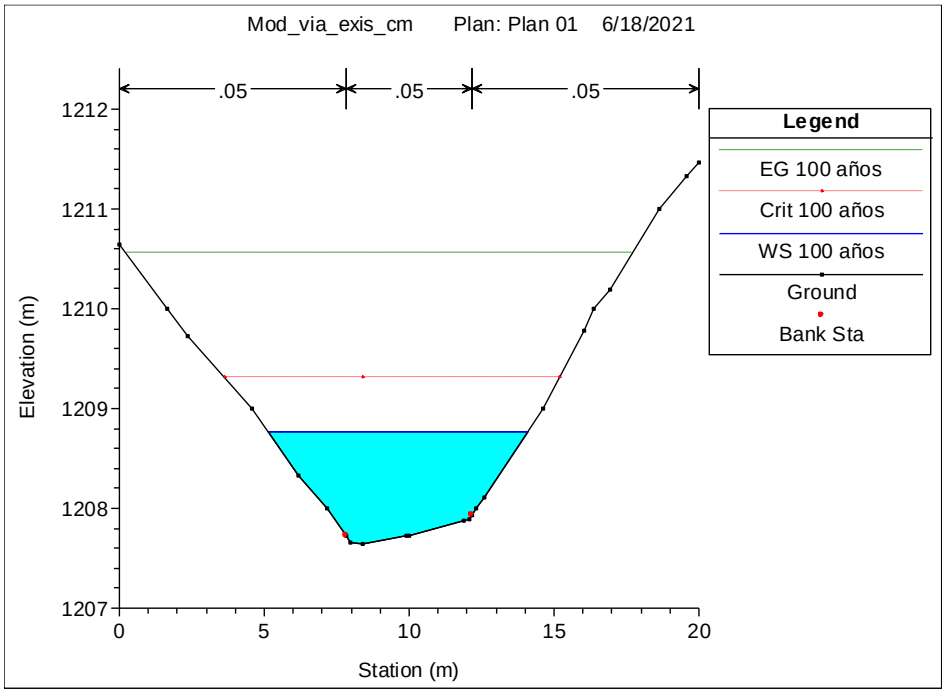

Figura 1-38 Sección transversal 0+034.14 de la Q. vía existente a casa de máquinas, Tr=100 años.

A continuación, en la Tabla 1-3 se presentan la cota de la altura de flujo que alcanza las secciones anteriormente presentadas para un periodo de retorno de 100 años, se puede observar que tienen la capacidad hidráulica suficiente para evacuar los caudales de estudio

Tabla 1-3. Cotas de flujo de algunas secciones de las Q. sin nombres asociados a la línea de presión y las vías de acceso a las obras principales

Fuente	Sección	Cota de flujo (msnm)
Q. vía captación	0+017.74	1446.53
	0.018.27	1446.68
Q. sin nombre 1	0+014.18	1339.02
	0+016.93	1329.63
Q. sin nombre 1.1	0+008.73	1316.97
	0+011.20	1317.18
Q. sin nombre 2	0+022.56	1300.75
	0+024.68	1301.26
Q. sin nombre 2.1	0+029.50	1469.59
	0+035.00	1471.83
Q. sin nombre 3	0+030.00	1286.26
	0+032.36	1286.67
Q. sin nombre 3.1	0+012.44	1282.81
	0+015.00	1283.39
Q. sin nombre 4	0+020.06	1252.35
	0+023.67	1253.1
Q. sin nombre 5	0+011.00	1240.39
	0+013.29	1240.8
Q. sin nombre 6	0+012.04	1204.93
	0+015.80	1205.18
Q. sin nombre 6.1	0+015.00	1183.82
	0+020.00	1184.64
Q. sin nombre 6.2	0+016.73	1175.08
	0+014.06	1174.62
Q. sin nombre 7	0+028.13	1164.24
	0+030.61	1164.56
Q. sin nombre 8	0+028.00	1098.21
	0+041.00	1099.23
Q. vía casa de máquinas	0+0.3627	1117.10
	0+042.79	1117.30
Q. vía existente casa de máquinas	0+029.28	1208.45
	0+0034.14	1208.77

1.3.5 Análisis de resultados numéricos (sin proyecto)

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del subtramo de cada Q. sin nombre a lo largo del trazado de la línea de presión y vías, bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen mixto y supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el subtramo de cada Q. sin nombre de estudio asociado a la línea de presión se presentan en la Tabla 1-4.

Tabla 1-4. Velocidades máximas y mínimas de las Q. sin nombres asociados a la línea de presión.

Fuente	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad mínima (m/s)
Q. vía captación	5.89	3.92
Q. sin nombre 1	4.78	0.38
Q. sin nombre 1.1	5.02	4.02
Q. sin nombre 2	7.05	1.59
Q. sin nombre 2.1	10.28	4.71
Q. sin nombre 3	10.76	4.74
Q. sin nombre 3.1	3.77	0.53
Q. sin nombre 4	12.57	6.81
Q. sin nombre 5	11.26	4.93
Q. sin nombre 6	7.42	2.93
Q. sin nombre 6.1	4.25	1.65
Q. sin nombre 6.2	3.46	1.21
Q. sin nombre 7	9.06	5.15
Q. sin nombre 8	11.25	2.39
Q. vía casa de máquinas	2.44	1.49
Q. vía existente a casa de máquinas	7.01	5.11

De acuerdo a los valores de número de Froude presentados en el **anexo 2**, se observa que para los tramos de las Q. sin nombres asociados al trazado de la tubería

a presión son mayores a la unidad, esto quiere decir que se encuentra en régimen supercrítico, sin presencia de resalto hidráulico.

En la Tabla 1-5 se presentan los valores de número de Froude para cada uno de las Q. sin nombres asociados a la línea de presión.

Tabla 1-5. Número de Froude máximos y mínimos para las diferentes Q. sin nombres asociados a la línea de presión.

Fuente	Número de Froude máximo	Número de Froude mínimo
Q. vía captación	6.07	4.22
Q. sin nombre 1	4.55	2.25
Q. sin nombre 1.1	4.93	3.39
Q. sin nombre 2	4.68	0.99
Q. sin nombre 2.1	7.73	4.49
Q. sin nombre 3	5.3	3.17
Q. sin nombre 3.1	6.31	1.02
Q. sin nombre 4	7.12	4.12
Q. sin nombre 5	7.83	4.11
Q. sin nombre 6	3.27	1.47
Q. sin nombre 6.1	4.48	2.15
Q. sin nombre 6.2	2.38	0.98
Q. sin nombre 7	4.86	3.11
Q. sin nombre 8	5.29	1.43
Q. vía casa de máquinas	2.17	1.29
Q. vía existente a casa de máquinas	2.29	1.43

1.3.6 Modelación hidráulica Q. vía captación, condición a implementar.

En la vía de acceso a implementar para llegar a la zona de captación se registraron dos afluentes con características similares hidrológicamente, por tanto se realizó una modelación hidráulica para determinar las dimensiones de las estructuras necesarias para el buen funcionamiento con el entorno. Basados en las dimensiones de las estructuras de esta modelación se propusieron estructuras similares para los demás cruces de los afluentes con la vía a implementar.

Se realiza la modelación hidráulica del Q. vía captación con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte la vía que se pretenden construir en este tramo.

Las secciones asociadas al cruce de la tubería en el tramo de estudio son: 0+012.17 y 0+017.74 en las que se van a implementar una tubería en PVC con un diámetro de 28 pulgadas

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo a modelar de la Q. vía captación, en la condición a implementar en esta modelación se tuvo en cuenta tubería PVC para el cruce del afluente por debajo de un tramo de la vía de acceso a captación a implementar.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual, exceptuando el tramo donde se propone la tubería, cambiando el coeficiente de rugosidad de manning por el valor de 0.009 para las margenes . A continuación en la Figura 1-39, se puede observar el paso de la tubería y la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años.

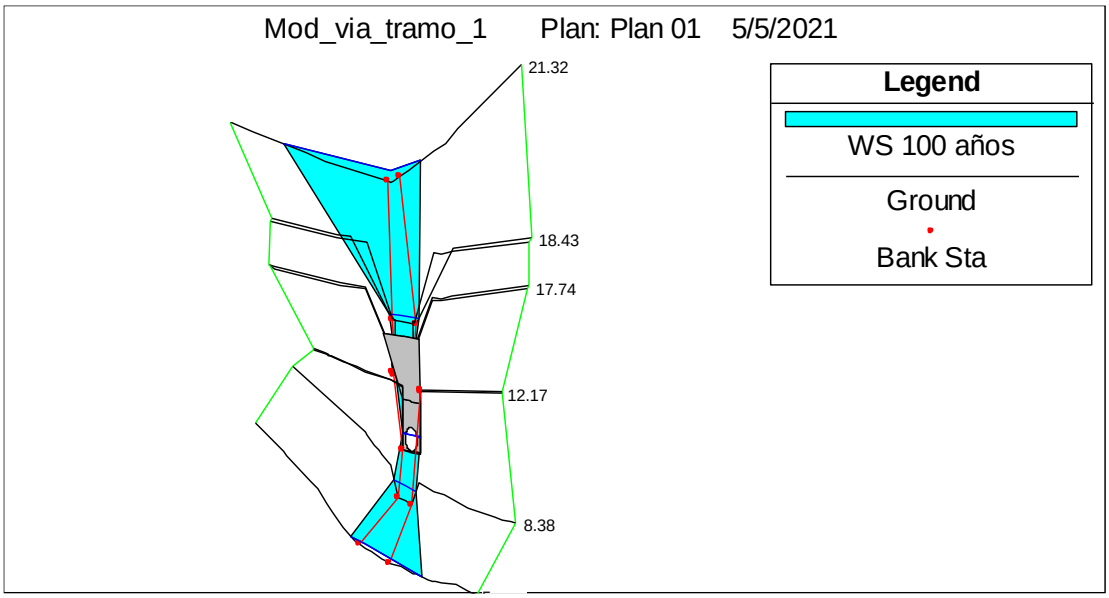

Figura 1-39. Mancha de inundación de un tramo de la Q. vía captación para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar).

1.3.7 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. vía captación (condición a implementar)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 44.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se presentan las secciones más representativas donde estará ubicada la obra a implementar para el paso de la tubería. Para este tramo se muestran las obras se encuentran entre las secciones 0+012.17 y 0+017.74, las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1**.

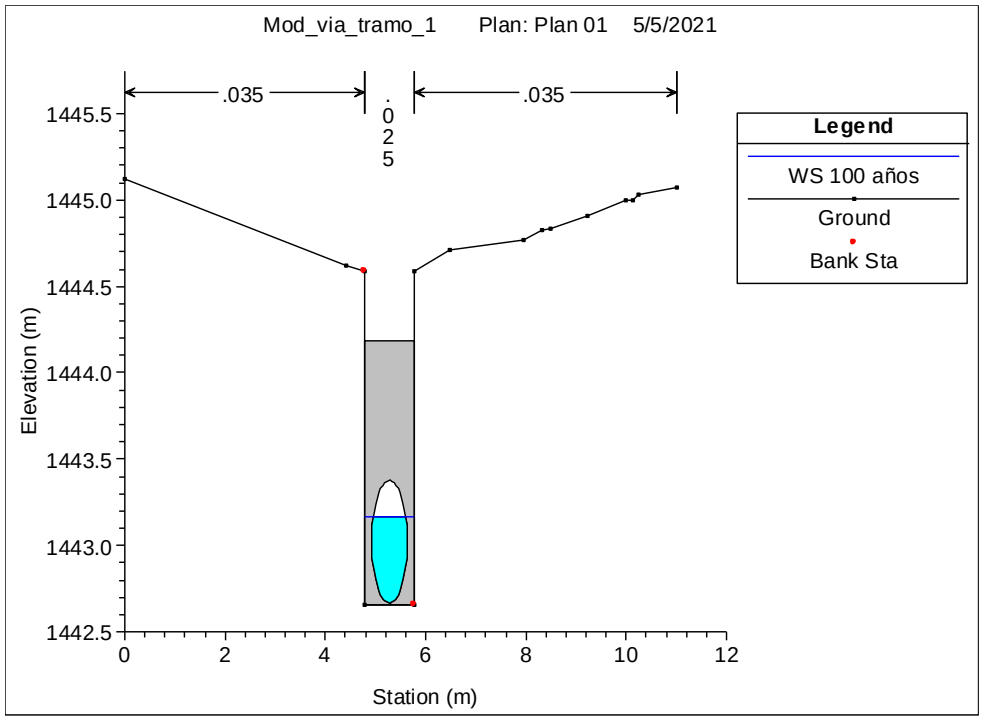

Figura 1-40. Sección transversal 0+012.17 aguas abajo de la tubería en la Q. vía captación para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

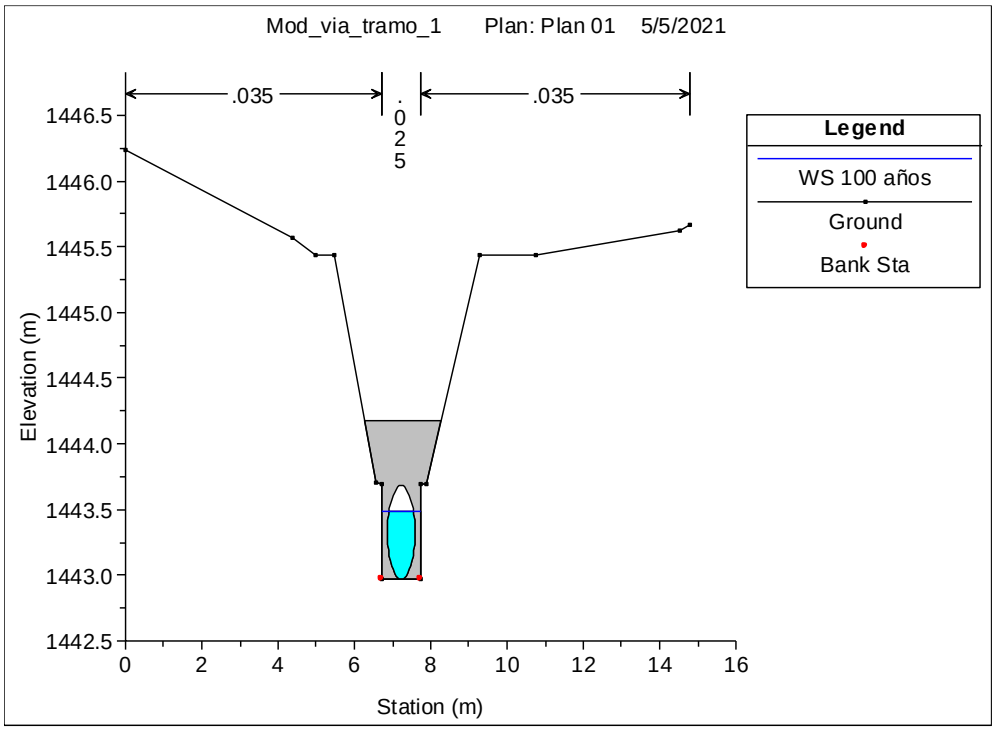

Figura 1-41. Sección transversal 0+017.74 aguas arriba de la tubería en la Q. vía captación para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

En la Tabla 1-6, se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. vía captación para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 1-6. Cotas de flujo de la Q. vía captación, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0+005.00	1442.15
0+008.38	1442.98
0+012.17	1443.17
Tubería aguas abajo	1443.17
Tubería aguas arriba	1443.49
0+017.74	1443.21
0+017.27	1443.21
0+017.43	1444.49
0+021.32	1447.85

1.3.8 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. vía captación (condición a implementar)

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. vía captación bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. vía captación para un periodo de retorno de 100 años son 9.04 m/s y 2.16 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **Anexo 2** oscilan entre 1.21 y 5.95 para el tramo de la Q. vía captación. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para la Q. vía captación, se puede concluir que no se genera cambio en la cota de flujo natural del cauce y no habrá afectación a las obras ni a la tubería a implementar.

1.3.9 Modelación hidráulica Q. sin nombre 1, condición a implementar

Se realiza la modelación hidráulica del Q. sin nombre 1 con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte las obras tales como el cruce de la tubería y las estructuras tipo silletas que se pretenden construir en este tramo.

Las secciones asociadas al cruce de la tubería en el tramo de estudio son: 0+014.18 y 0+016.93 en las que se van a implementar silletas para que permitan el paso de la tubería por encima del afluente.

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo a modelar de la Q. sin nombre 1, en la condición a implementar en esta modelación se tuvo en cuenta las estructuras de apoyo tipo silletas.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual. A continuación en la Figura 1-42, se puede observar el paso de la tubería, las silletas y la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años.

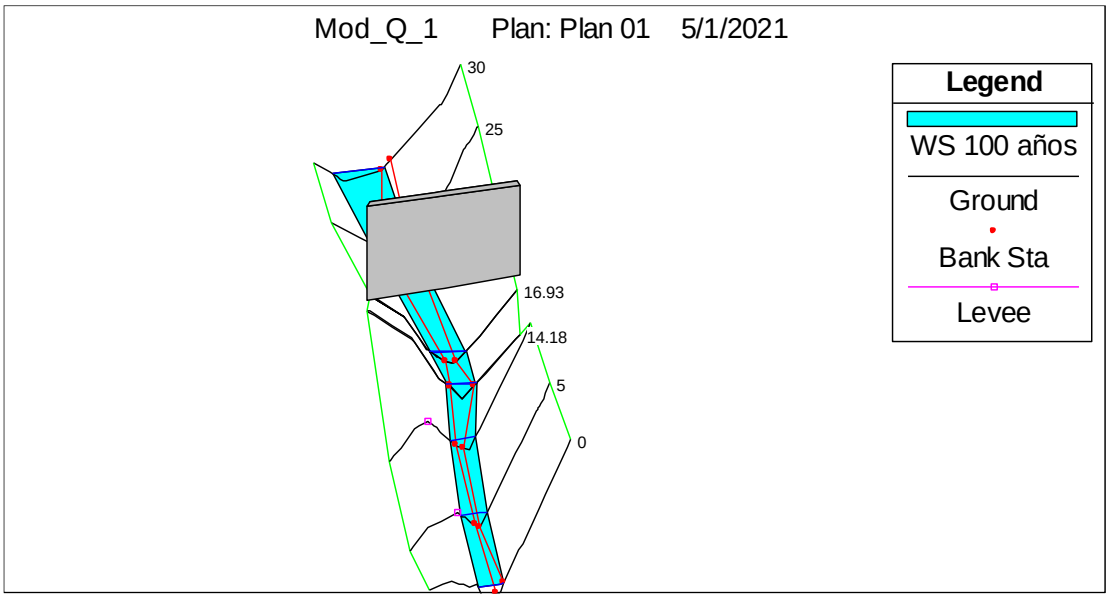

Figura 1-42. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 1 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar).

1.3.10 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 1 (condición a implementar)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 44.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se presentan las secciones más representativas donde estará ubicada la obra a implementar para el paso de la tubería. Para este tramo se muestran las obras se encuentran entre las secciones 0+014.18 y 0+016.93, las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1**.

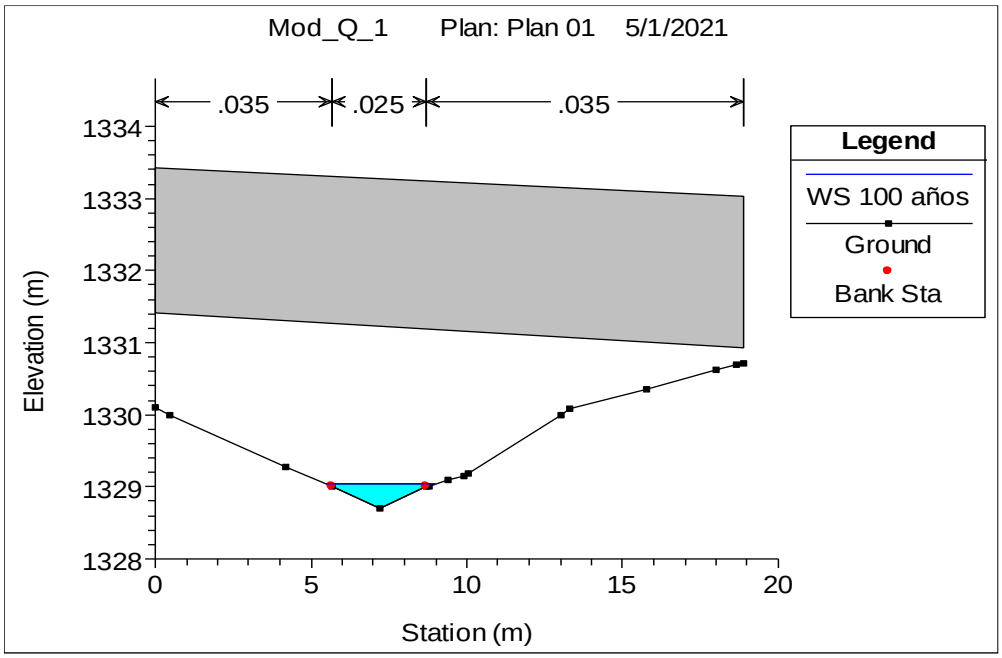

Figura 1-43. Sección transversal 0+14.18 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

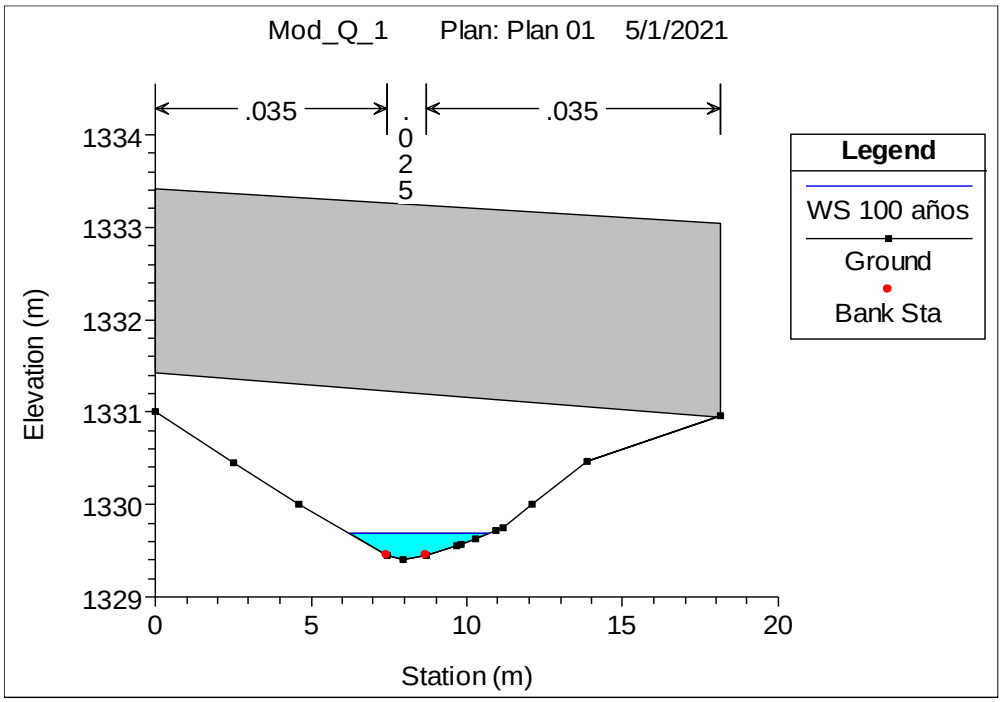

Figura 1-44. Sección transversal 0+016.93 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

En la Tabla 1-7, se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. sin nombre 1 para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 1-7. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 1, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0+000.00	1325.17
0+005.00	1326.55
0+010.00	1328.01
0+014.18	1329.06
Tubería	13.29.03
0+016.93	1329.67
0+025.00	1331.86
0+030.00	1333.23

1.3.11 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 1 (condición a implementar)

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. sin nombre 1 bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. sin nombre 1 son 4.53 m/s y 0.80 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **Anexo 2** oscilan entre 1.82 y 2.68 para el tramo de la Q. sin nombre 1. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para la Q. sin nombre 1, se puede concluir que no se genera cambio en la cota de flujo natural del cauce y no habrá afectación a las obras ni a la tubería a implementar.

1.3.12 Modelación hidráulica Q. sin nombre 1.1, condición a implementar

Se realiza la modelación hidráulica del Q. sin nombre 1.1 con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte las obras

tales como el cruce de la tubería y las estructuras tipo silletas que se pretenden construir en este tramo.

Las secciones asociadas al cruce de la tubería en el tramo de estudio son: 0+008.73 y 0+011.20 en las que se van a implementar silletas para que permitan el paso de la tubería por encima del afluente.

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo a modelar de la Q. sin nombre 1.1, en la condición a implementar en esta modelación se tuvo en cuenta las estructuras de apoyo tipo silletas.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual. A continuación en la Figura 1-45, se puede observar el paso de la tubería, las silletas y la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años.

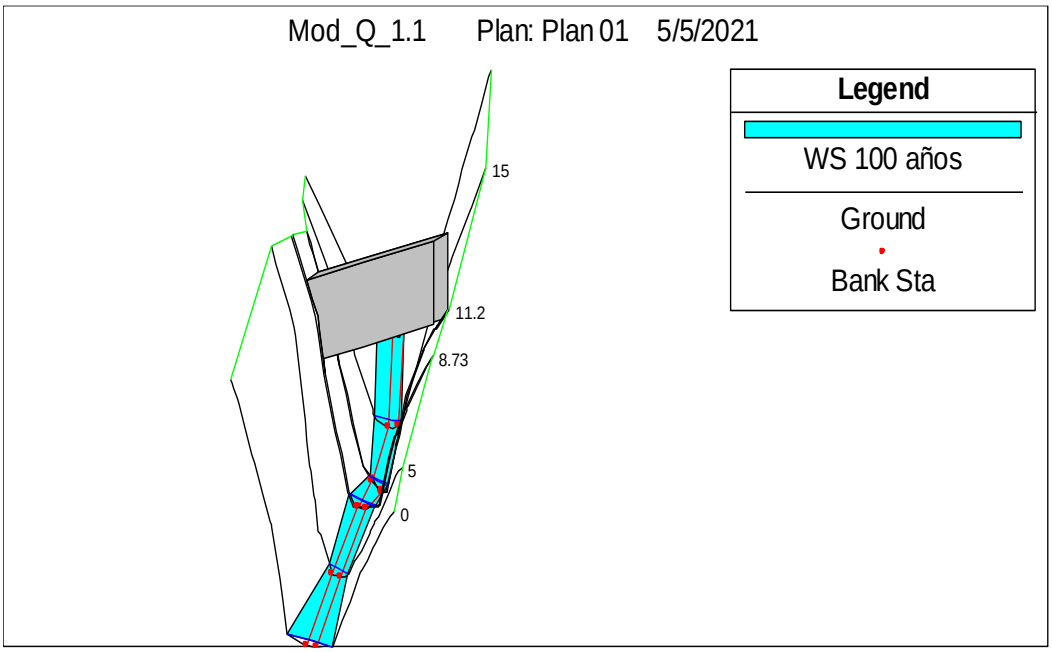

Figura 1-45. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 1.1 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar).

1.3.13 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 1.1 (condición a implementar)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 44.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se

presentan las secciones más representativas donde estará ubicada la obra a implementar para el paso de la tubería. Para este tramo se muestran las obras se encuentran entre las secciones 0+08.73 y 0+011.20, las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1**.

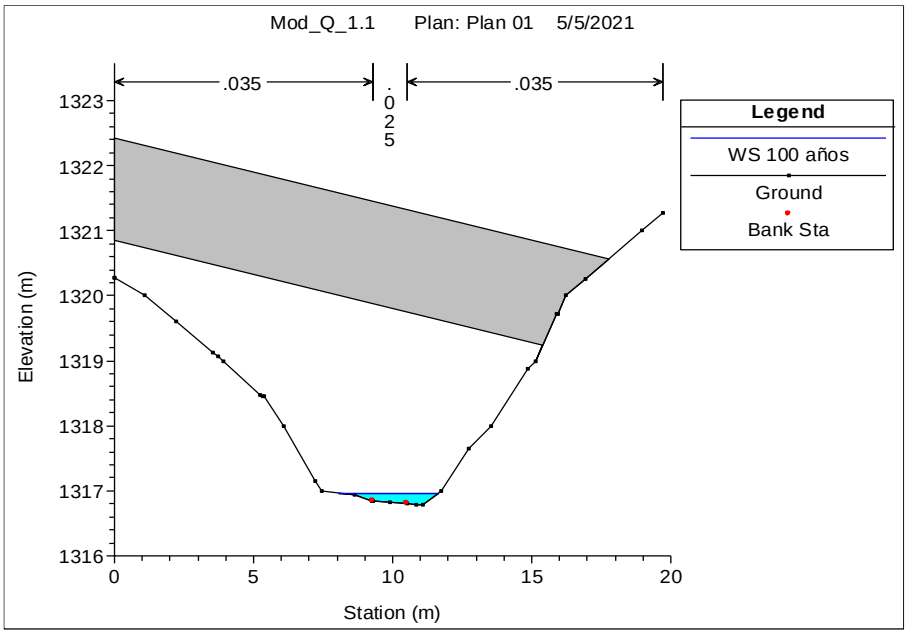

Figura 1-46. Sección transversal 0+008.73 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 1.1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

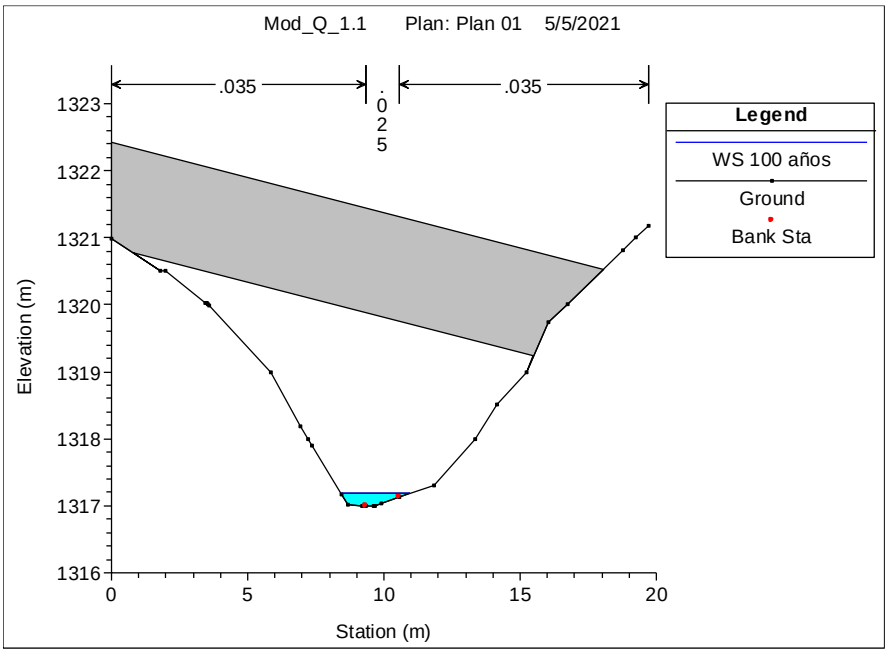

Figura 1-47. Sección transversal 0+011.20 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 1.1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

En la Tabla 1-8, se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. sin nombre 1.1 para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 1-8. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 1.1, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0+000.00	1315.02
0+005.00	1315.97
0+008.73	1316.97
Tubería aguas abajo	1316.93
Tubería aguas arriba	1317.18
0+011.20	1317.18
0+015.00	1317.96
0+020.00	1319.2

1.3.14 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 2 (condición a implementar)

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. sin nombre 2 bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. sin nombre 1.1 son 5.02 m/s y 4.01 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **Anexo 2** oscilan entre 3.38 y 4.93para el tramo de la Q. sin nombre 1.1. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para la Q. sin nombre 1.1, se puede concluir que no se genera cambio en la cota de flujo natural del cauce y no habrá afectación a las obras ni a la tubería a implementar.

1.3.15 Modelación hidráulica Q. sin nombre 2, condición a implementar

Se realiza la modelación hidráulica del Q. sin nombre 2 con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte las obras tales como el cruce de la tubería y las estructuras tipo silletas que se pretenden construir en este tramo.

Las secciones asociadas al cruce de la tubería en el tramo de estudio son: 0+022.56 y 0+024.68 en las que se van a implementar silletas para que permitan el paso de la tubería por encima del afluente.

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo a modelar de la Q. sin nombre 2, en la condición a implementar en esta modelación se tuvo en cuenta las estructuras de apoyo tipo silletas.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual. A continuación en la Figura 1-48, se puede observar el paso de la tubería, las silletas y la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años.

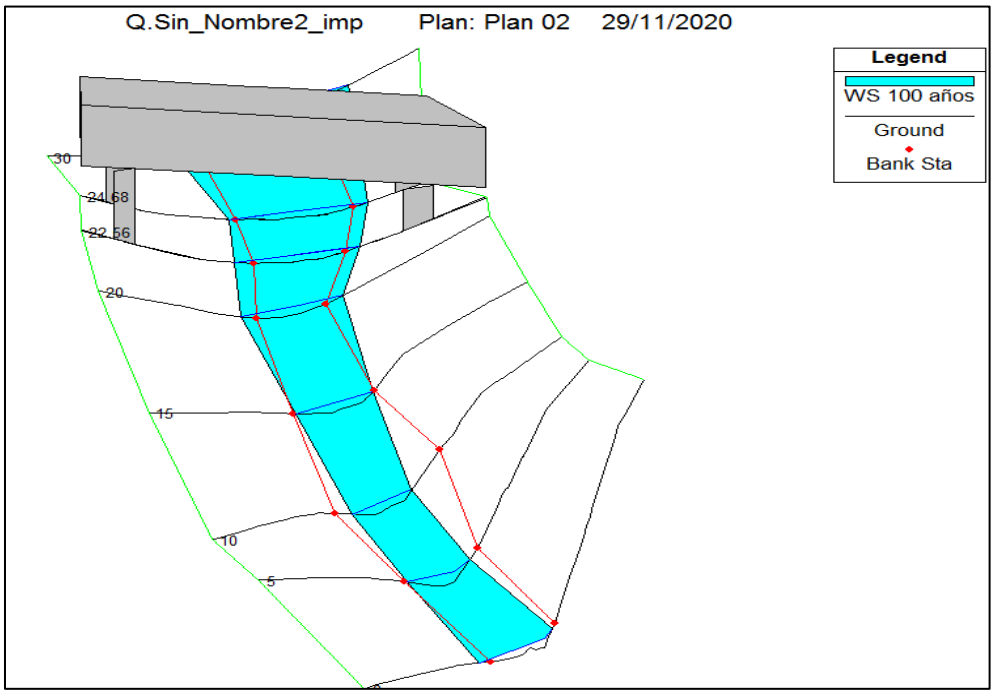

Figura 1-48. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 2 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar).

1.3.16 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 2 (condición a implementar)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 44.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se presentan las secciones más representativas donde estará ubicada la obra a implementar para el paso de la tubería. Para este tramo se muestran las obras se encuentran entre las secciones 0+022.56 y 0+024.68, las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1**.

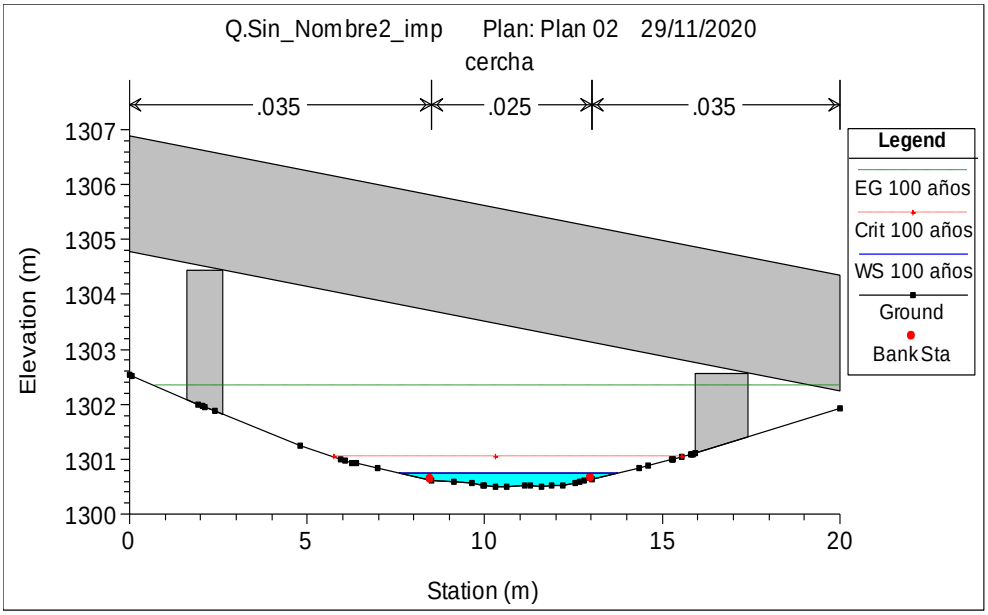

Figura 1-49. Sección transversal 0+22.57 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 2 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

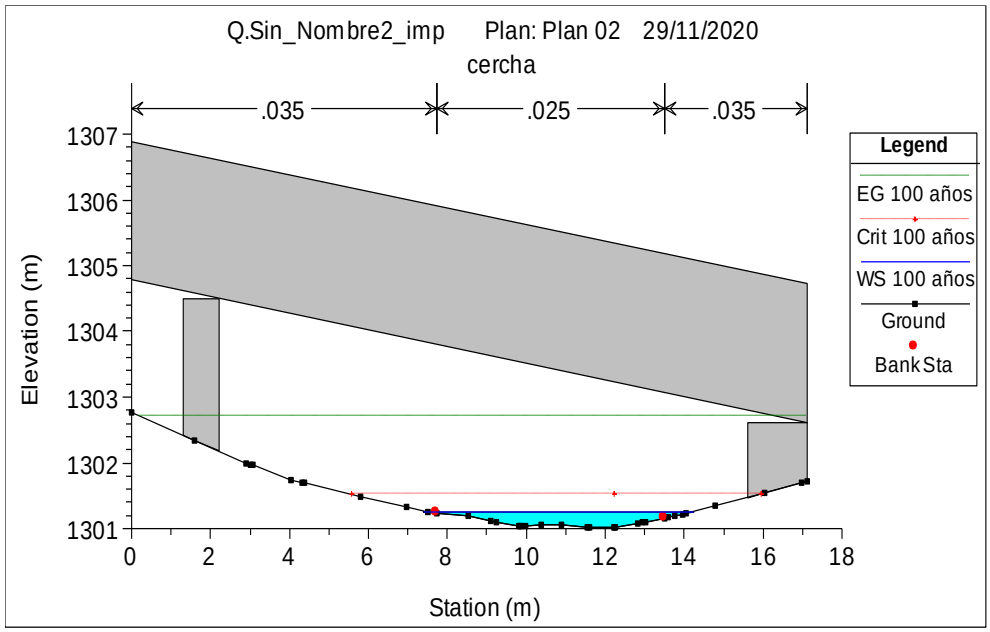

Figura 1-50. Sección transversal 0+022.57 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 2 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

En la Tabla 1-9, se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. sin nombre 2 para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 1-9. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 2, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0+000.00	1295.62
0+005.00	1296.83
0+010.00	1297.62
0+015.00	1298.97
0+020.00	1300.16
0+022.56	1300.75
0+022.57	Bridge
0+024.68	1301.26
0+030.00	1302.55

1.3.17 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 2 (condición a implementar)

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. sin nombre 2 bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. sin nombre 2 son 7.05 m/s y 1.59 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **Anexo 2** oscilan entre 0.99 y 4.68 para el tramo de la Q. sin nombre 2. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para la Q. sin nombre 2, se puede concluir que no se genera cambio en la cota de flujo natural del cauce y no habrá afectación a las obras ni a la tubería a implementar.

1.3.18 Modelación hidráulica Q. sin nombre 2.1, condición a implementar

Se realiza la modelación hidráulica de la Q. sin nombres 2.1 con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte las obras (puente vehicular).

Las secciones asociadas al cruce de la tubería en el tramo de estudio son: 0+029.50 y 0+035.00 en las que se va a implementar un puente vehicular.

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo de la Q. sin nombre en la condición a implementar en esta modelación se tuvo en cuenta un puente vehicular con apoyos al inicio y al final del mismo.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual. A continuación en la Figura 1-51, se puede observar el puente ducto, los apoyos y la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años.

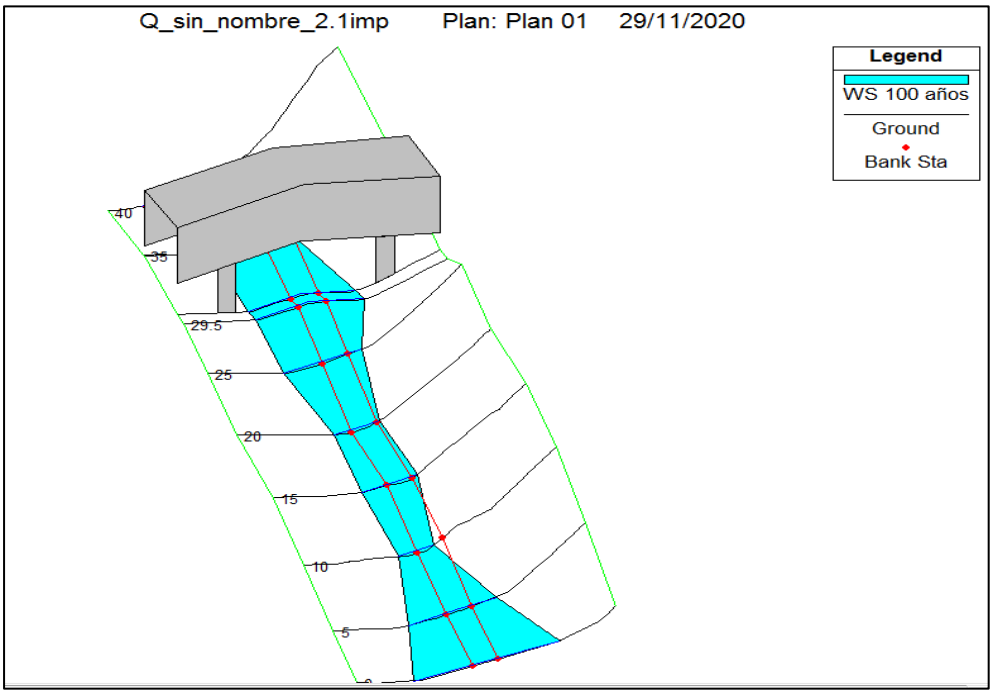

Figura 1-51. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 2.1 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). Arrojado por Hec-Ras

1.3.19 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 2.1 (condición a implementar).

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 4.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se presentan las secciones más representativas que se encuentran entre las abscisas: 0+029.50 y 0+035.00, las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1.**

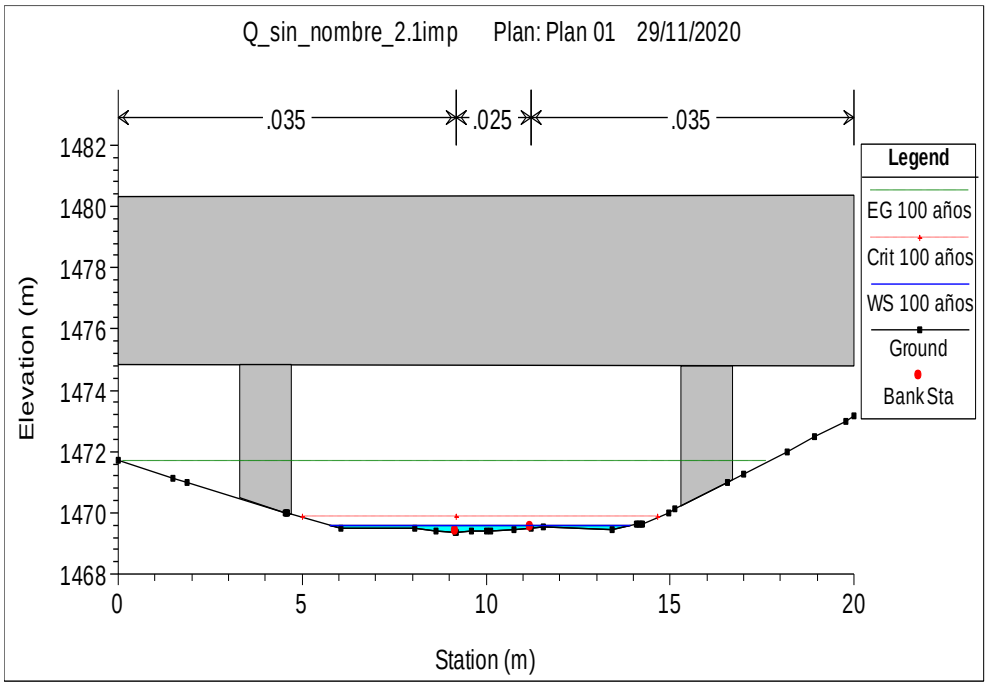

Figura 1-52. Sección transversal 0+029.51 aguas abajo del puente proyectado en la Q. sin nombre 2.1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

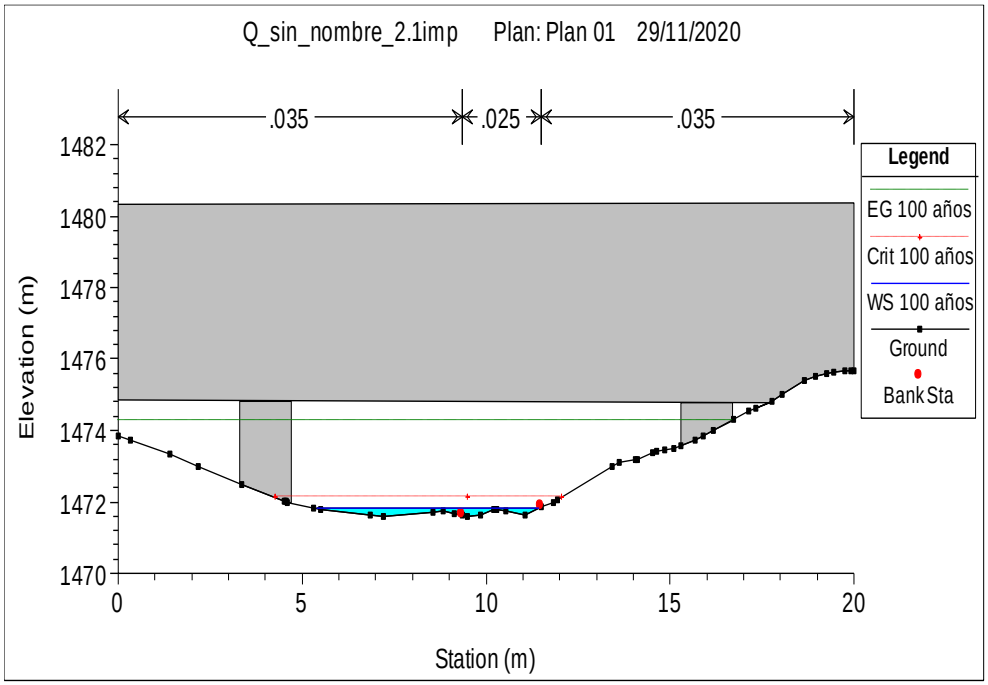

Figura 1-53. Sección transversal 0+029.51 aguas arriba del puente proyectado en la Q. sin nombre 2.1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

En la Tabla 1-10, se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. sin nombre 2.1 para un periodo de retorno de 100 años, para la condición a implementar

Tabla 1-10. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 2.1, condición a implementar, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0+000.00	1459.15
0+005.00	1459.92
0+010.00	1461.87
0+015.00	1464.14
0+020.00	1465.5
0+025.00	1467.94
0+029.50	1469.61
0+029.51	Bridge
0+035.00	1471.81
0+040.00	1474.25

1.3.20 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 2.1 (condición a implementar)

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. sin nombre 2.1 bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. sin nombre 2.1 son 10.28 m/s y 4.71 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **anexo 2** oscilan entre 4.40 y 7.73 para el tramo de la Q. sin nombre 2.1. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para la Q. sin nombre 2.1, se puede concluir que no se genera cambio en la cota de flujo natural del cauce y no habrá afectación a las obras a implementar para el cruce de la vía.

1.3.21 Modelación hidráulica Q. sin nombre 3, condición a implementar

Se realiza la modelación hidráulica de la **Q. sin nombre 3** con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte las obras.

Las secciones asociadas al cruce de la tubería en el tramo de estudio son: 0+030.00 y 0+032.36 en las que se va a implementar un puente ducto tipo cercha de 16.10m de longitud.

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo de la Q. sin nombre 3 en la condición a implementar, en esta modelación se tuvo en cuenta un puente ducto tipo cercha con apoyos al inicio y al final del mismo.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual. A continuación en la Figura 1-54, se puede observar el paso de la tubería y la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años.

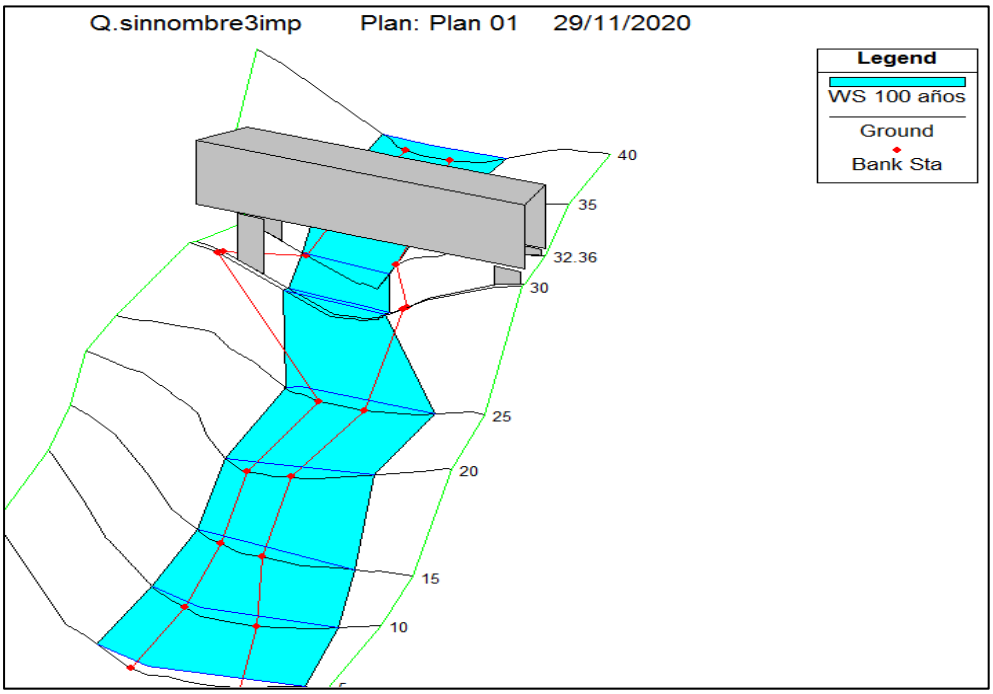

Figura 1-54. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 3 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). Arrojado por Hec-Ras

1.3.22 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 3 (condición a implementar)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 4.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se presentan las secciones más representativas que se encuentran entre las abscisas: 0+030.00 y 0+032.36, las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1.**

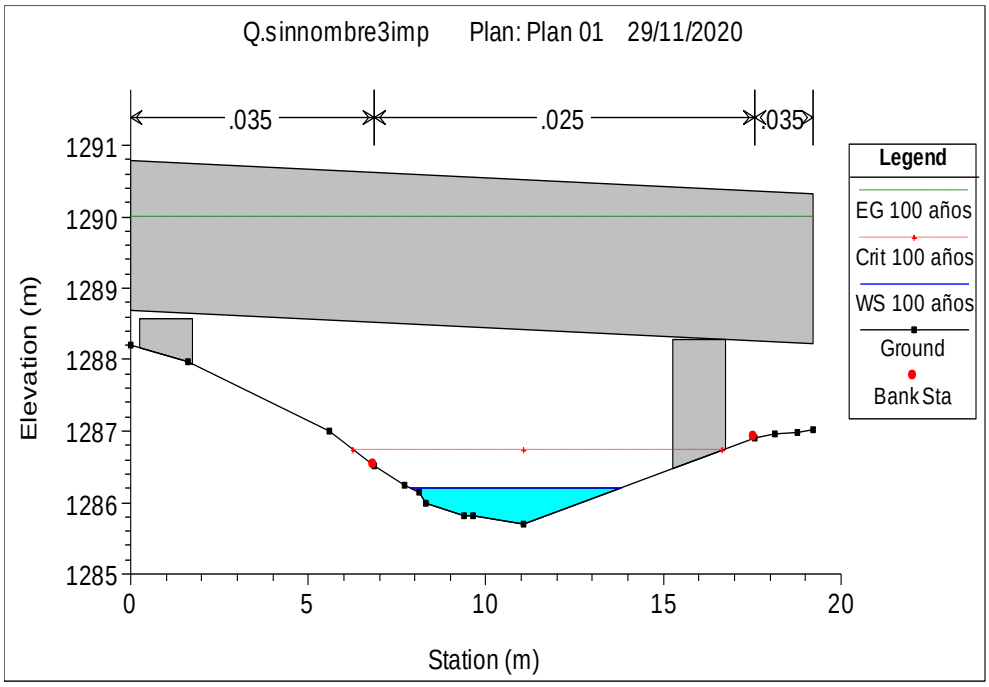

Figura 1-55. Sección transversal 0+30.06, aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 3, para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

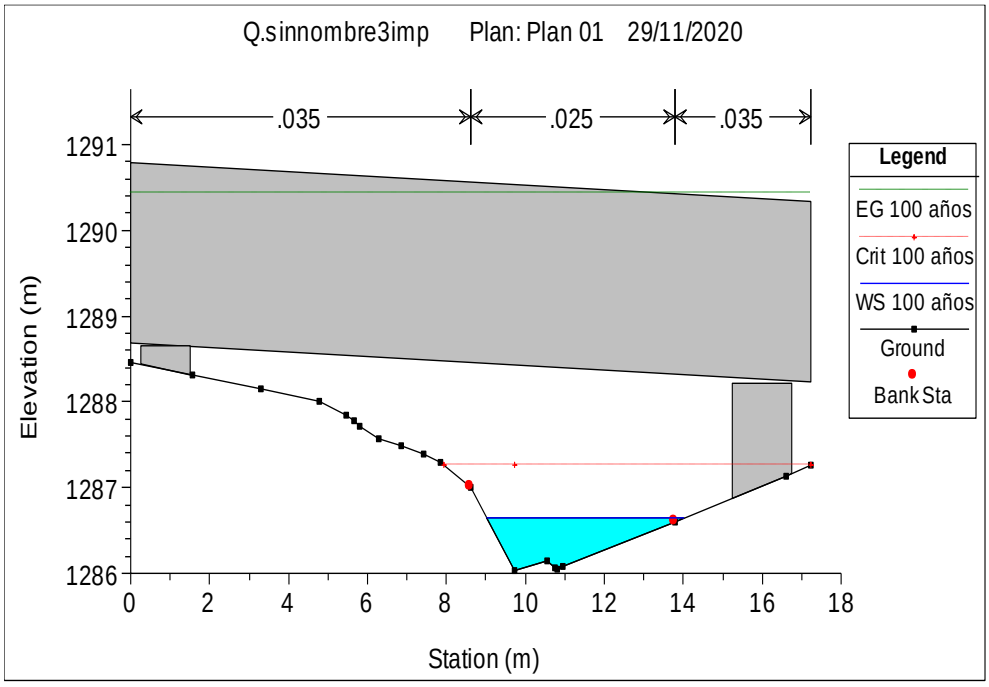

Figura 1-56. Sección transversal 0+030.06, aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 3, para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

En la Tabla 1-11 se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. sin nombre 3 para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 1-11. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 3, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0+005.00	1282.66
0+010.00	1283.07
0+015.00	1283.58
0+020.00	1284.35
0+025.00	1285.14
0+030.00	1286.21
0+30.06	Bridge
0+32.36	1286.64
0+35.00	1287.19
0+40.00	1288.12

1.3.23 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 3 (condición a implementar)

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. sin nombre 3 bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. sin nombre 3 son 10.76 m/s y 4.77 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **anexo 2** oscilan entre 5.41 y 3.19 para el tramo de la Q. sin nombre 3. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para la Q. sin nombre 3, se puede concluir que no se genera cambio significativo en la cota de flujo natural del cauce y no habrá afectación a las obras a implementar.

1.3.24 Modelación hidráulica Q. sin nombre 3.1, condición a implementar

Se realiza la modelación hidráulica de la **Q. sin nombre 3.1** con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte las obras.

Las secciones asociadas al cruce de la tubería en el tramo de estudio son: 0+010.00 y 0+012.44 en las que se va a implementar un puente ducto tipo cercha de 20.00 m de longitud.

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo de la Q. sin nombre 3.1 en la condición a implementar, en esta modelación se tuvo en cuenta un puente ducto tipo cercha con apoyos al inicio y al final del mismo.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual. A continuación en la Figura 1-57se puede observar el paso de la tubería y la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años.

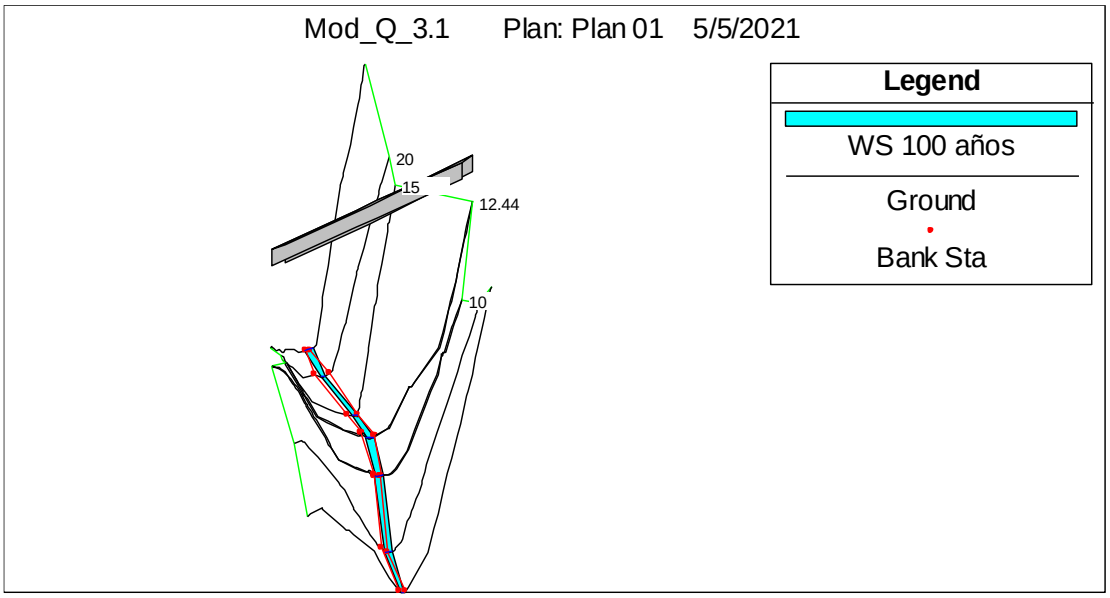

Figura 1-57. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 3.1 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). Arrojado por Hec-Ras

1.3.25 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 3.1 (condición a implementar)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 4.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se presentan las secciones más representativas que se encuentran entre las abscisas: 0+010.00 y 0+012.44, las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1.**

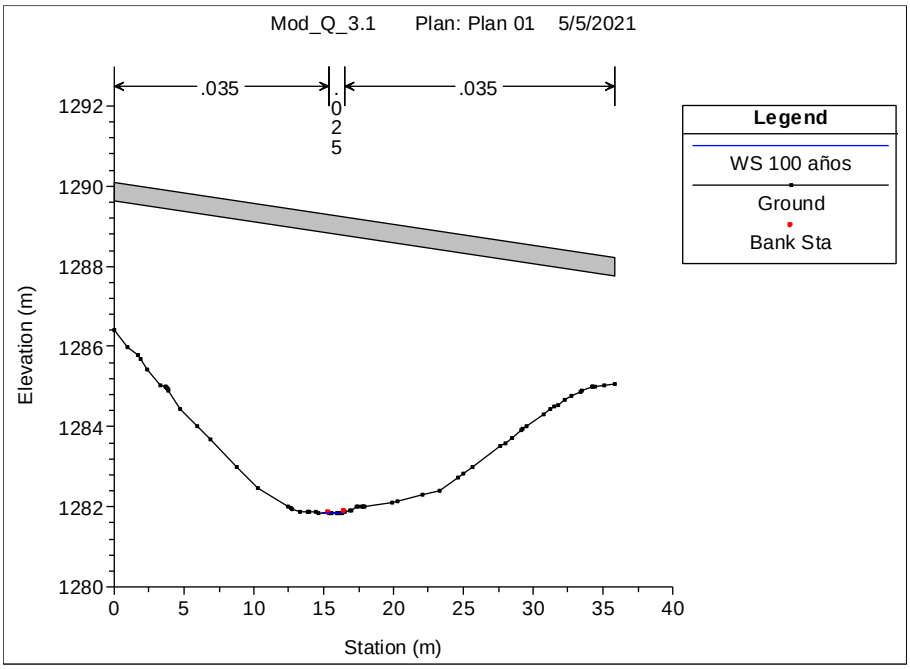

Figura 1-58. Sección transversal 0+010.00, aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 3.1, para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

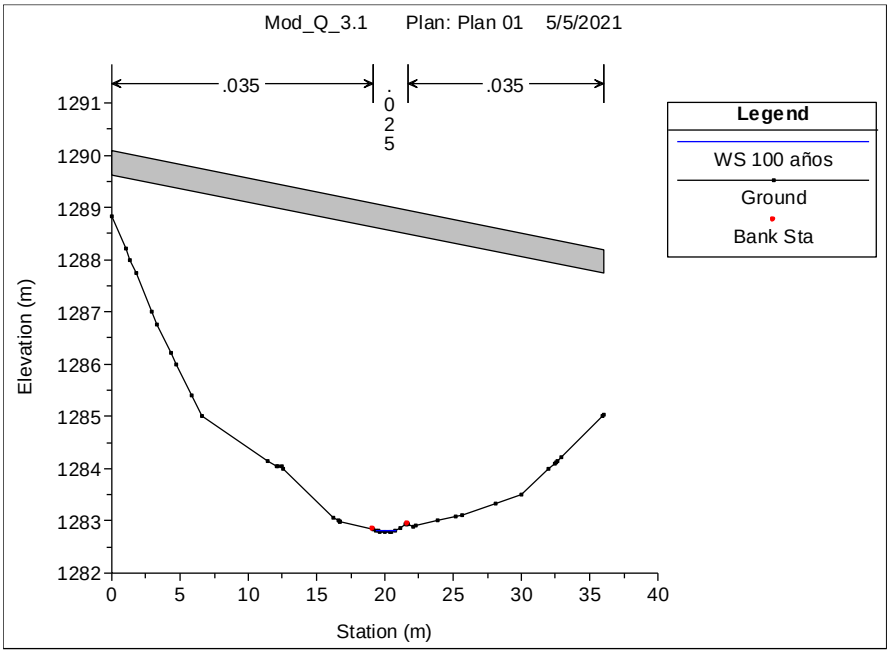

Figura 1-59. Sección transversal 0+012.44, aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 3.1, para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

En la Tabla 1-12 se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. sin nombre 3.1 para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 1-12. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 3.1, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0+000.00	1279.03
0+005.00	1279.99
0+010.00	1281.85
Tubería	
0+012.44	1282.81
0+015.00	1283.39
0+020.00	1284.39
0+025.00	1284.96

1.3.26 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 3.1 (condición a implementar)

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. sin nombre 3 bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. sin nombre 3.1 son 2.11 m/s y 0.53 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **anexo 2** oscilan entre 1.02 y 6.31 para el tramo de la Q. sin nombre 3.1. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para la Q. sin nombre 3.1, se puede concluir que no se genera cambio significativo en la cota de flujo natural del cauce y no habrá afectación a las obras a implementar.

1.3.27 Modelación hidráulica Q. sin nombre 4, condición a implementar

Se realiza la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 4, con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte las obras.

Las secciones asociadas al cruce de la tubería en el tramo de estudio son: 0+020.06 y 0+023.67 en las que se va a implementar un puente ducto tipo cercha.

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo a modelar de la Q. sin nombre 4 en la condición a implementar en esta modelación se tuvo en cuenta un puente ducto tipo cercha.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual. A continuación en la Figura 1-60 se puede observar puente ducto y la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años.

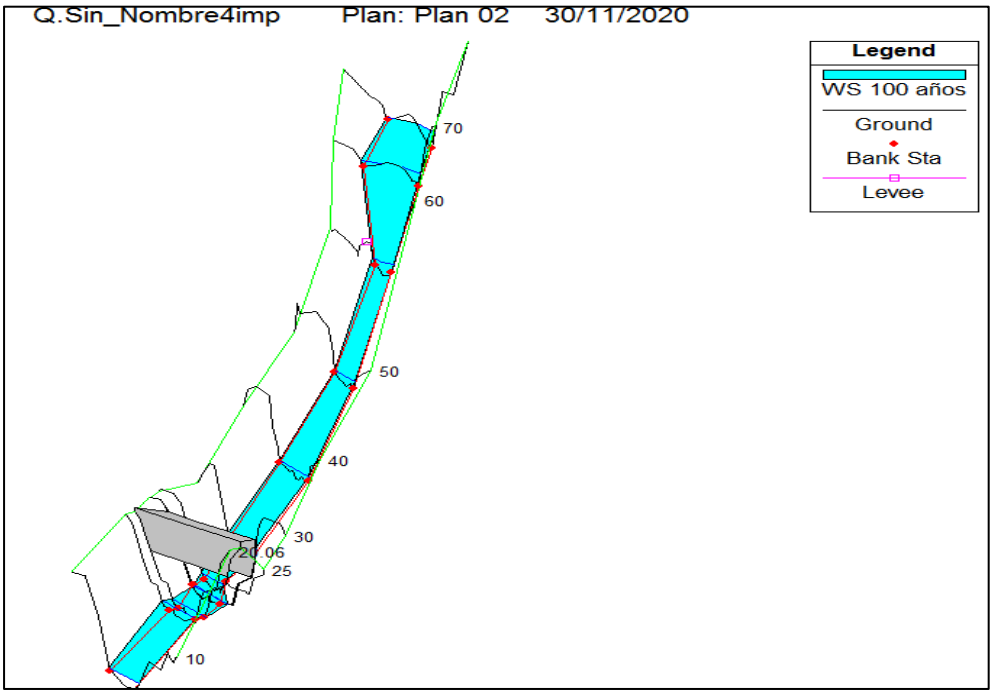

Figura 1-60. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 4 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar).

1.3.28 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 4 (condición a implementar)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 4.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se presentan las secciones más representativas que se encuentran entre las abscisas: 0+020.06 y 0+023.67, las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1.**

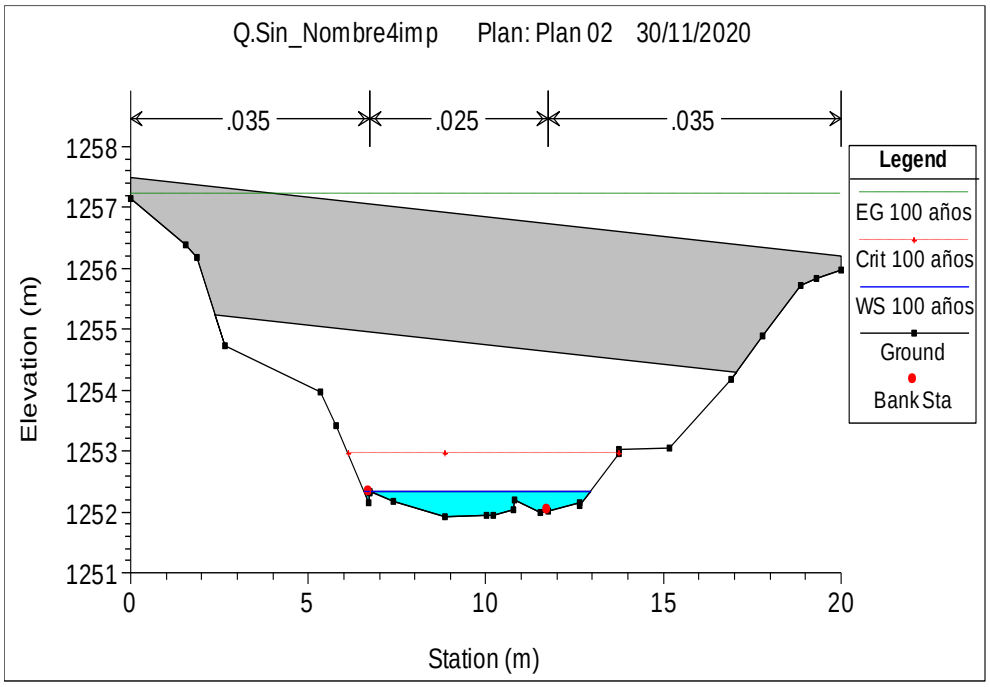

Figura 1-61. Sección transversal 0+020.10 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 4 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

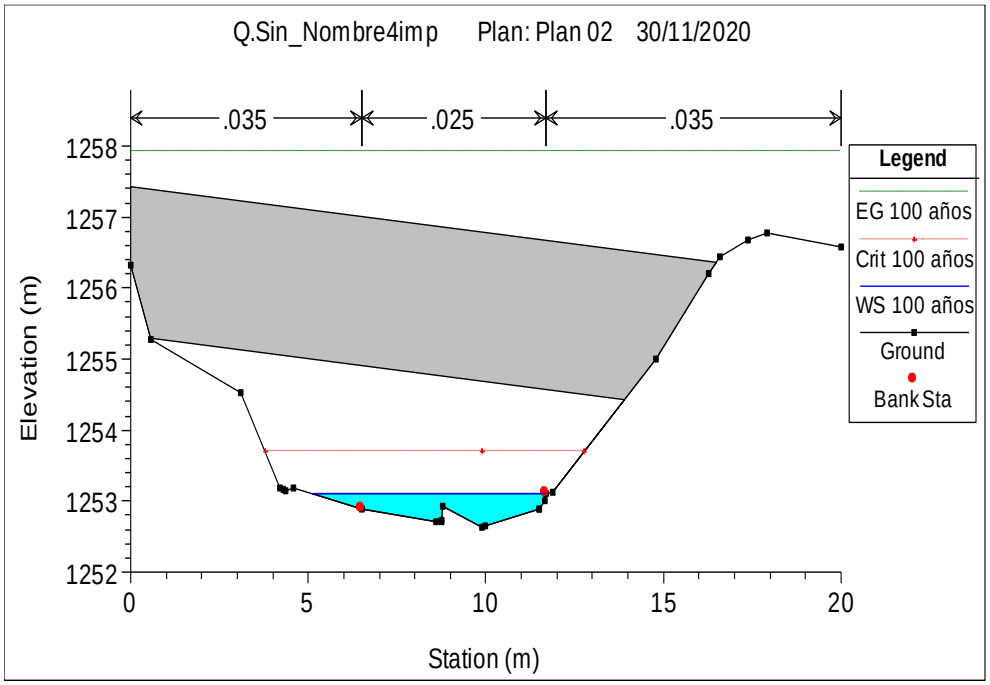

Figura 1-62. Sección transversal 0+020.10 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 4 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

En la Tabla 1-13 se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. sin nombre 4 para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 1-13. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 4, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0+010.00	1250.26
0+020.06	1252.36
0+020.10	Bridge
0+023.67	1253.10
0+025.00	1253.65
0+030.00	1255.00
0+040.00	1257.40
0+050.00	1260.87
0+060.00	1265.21
0+070.00	1268.24
0+074.45	1269.77

1.3.29 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 4 (condición a implementar)

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. sin nombre 4 bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. sin nombre 4 son 12.57 m/s y 6.74 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **anexo 2** oscilan entre 7.12 y 4.12 para el tramo de la Q. sin nombre 4. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para la Q. sin nombre 4, se puede concluir que no se genera cambios en la cota de flujo natural del cauce y no habrá afectación a las obras y la tubería a implementar.

1.3.30 Modelación hidráulica de la Q. sin nombre 5, condición a implementar

Se realiza la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 5 con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte las obras.

Las secciones asociadas al cruce de la tubería en el tramo de estudio son: 0+011.00 y 0+013.29 en las que se va a implementar anclajes de apoyo antes y después del cruce del caño.

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo a modelar de la Q. sin nombre 5 en la condición a implementar en esta modelación se tuvo en cuenta anclajes.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual. A continuación en la Figura 1-63, se puede observar el paso de la tubería y la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años.

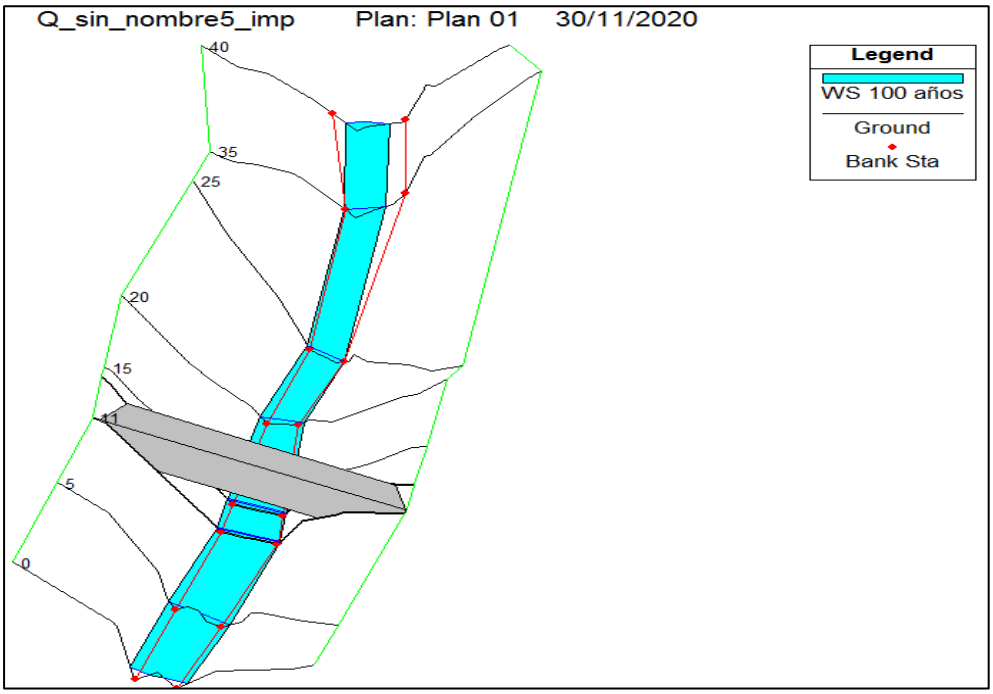

Figura 1-63. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 5 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar).

1.3.31 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 5 (condición a implementar)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 4.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se presentan las secciones más representativas que se encuentran entre las abscisas: 0+011.00 y 0+013.29 las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1**.

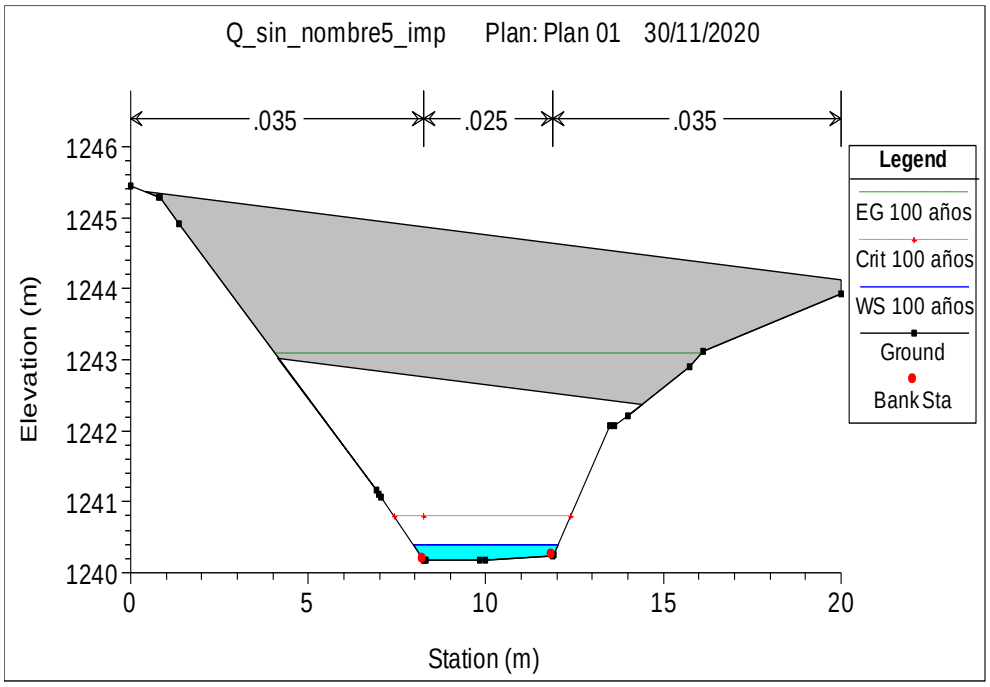

Figura 1-64. Sección transversal 0+011.10 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 5 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

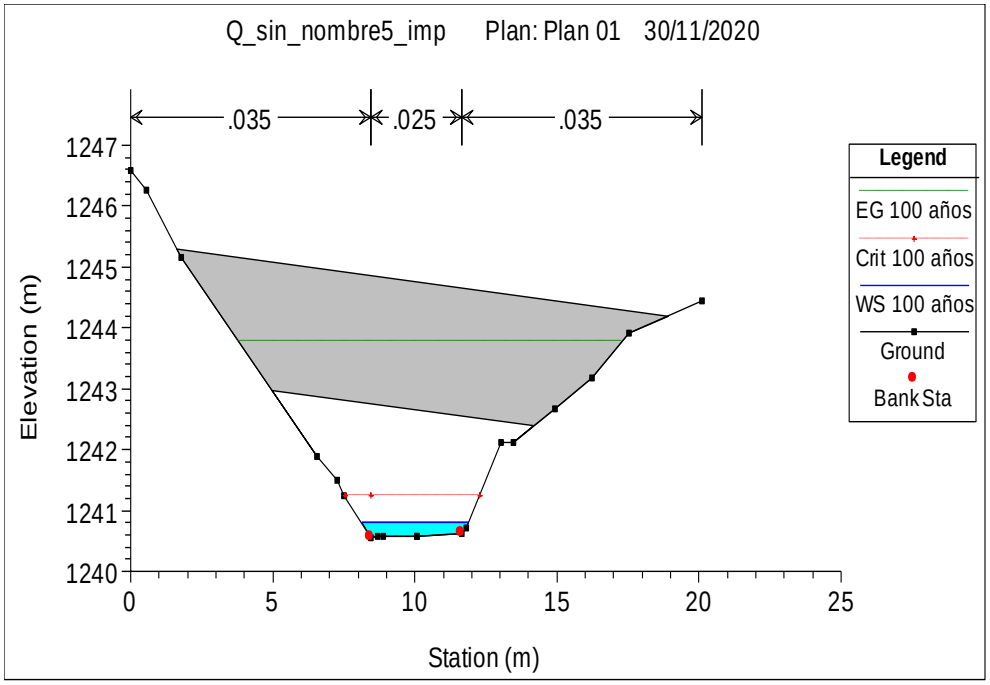

Figura 1-65. Sección transversal 0+011.10 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 5 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

En la Tabla 1-14 se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. sin nombre 5 para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 1-14. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 5, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0+000.00	1237.55
0+005.00	1238.84
0+011.00	1240.39
0+011.10	Bridge
0+013.29	1240.81
0+015.00	1241.12
0+020.00	1242.03
0+025.00	1243.45
0+035.00	1247.03
0+040.00	1249.19

1.3.32 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 5 (condición a implementar)

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. sin nombre 5 bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. sin nombre 5 son 10.70 m/s y 4.93 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **anexo 2** oscilan entre 7.83 y 4.11 para el tramo de la Q. sin nombre 5. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para el Q. sin nombre 5, se puede concluir que no se genera cambio en la cota de flujo natural del cauce y no habrá afectación a las obras y la tubería a implementar.

1.3.33 Modelación hidráulica Q. sin nombre 6, condición a implementar

Se realiza la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 6 con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte las obras.

Las secciones asociadas al cruce de la tubería en el tramo de estudio son: 0+012.04 y 0+015.80 en las que la tubería va pasar por debajo del lecho del cauce, a la cual se le realizará un empotramiento para proteger a la tubería de los procesos de socavación del cauce.

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo a modelar del Q. sin nombre 6 en la condición a implementar, dado que la tubería pasara enterrada el modelo se dejó tal cual como en la condición actual.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual. A continuación, en la Figura 1-66 se puede observar la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años.

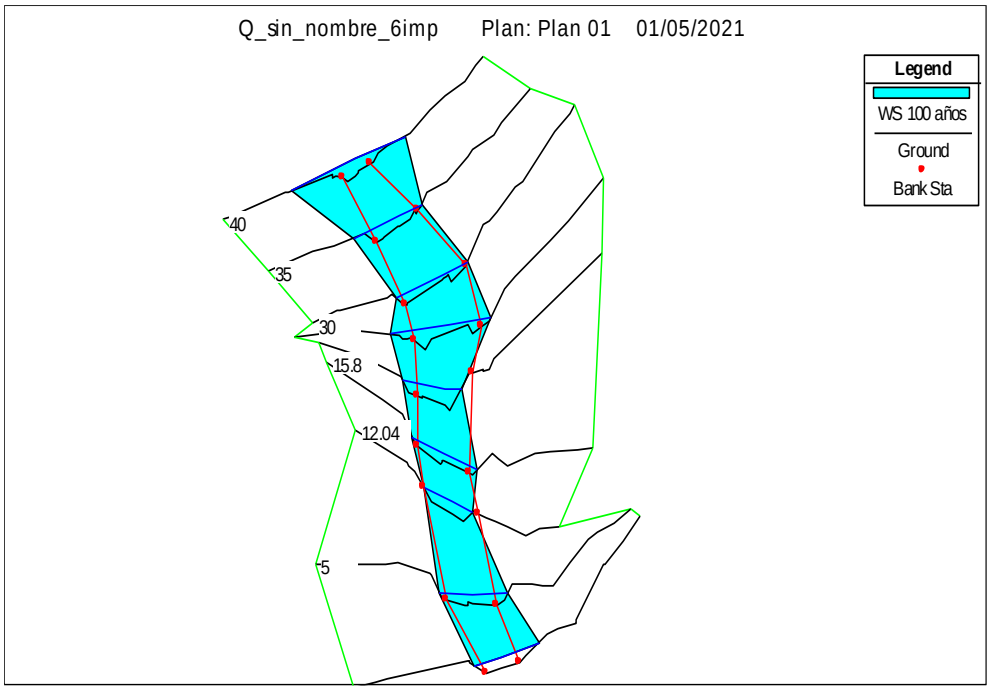

Figura 1-66. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 6 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar).

1.3.34 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 6 (condición a implementar)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 4.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se presentan las secciones más representativas que se encuentran entre las abscisas: 0+012.04 y 0+015.80 las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1**.

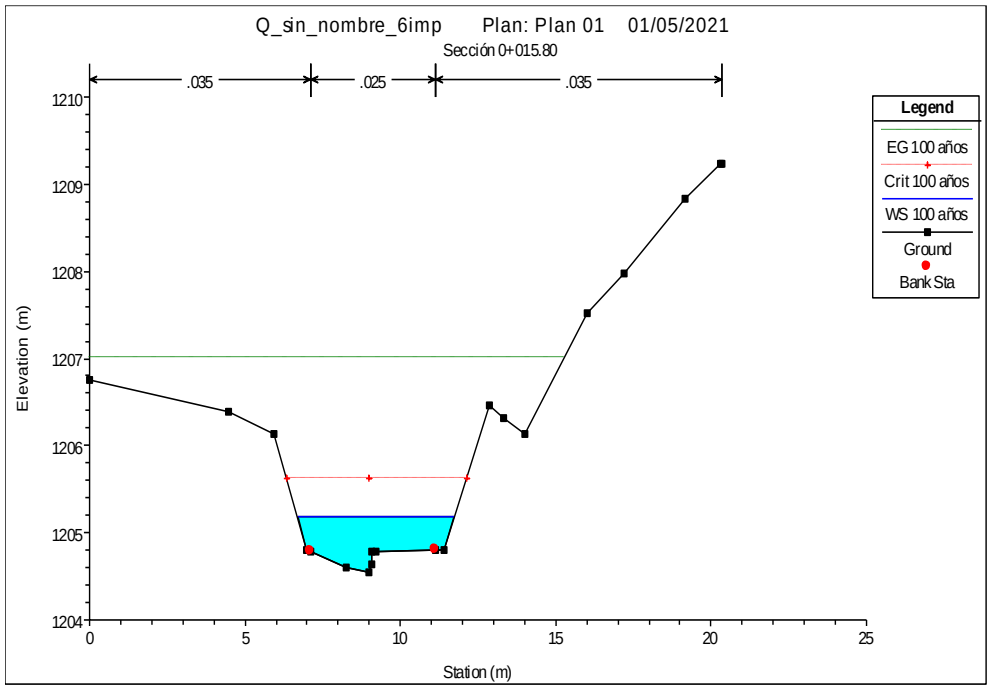

Figura 1-67. Sección transversal 0+015.80 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 6 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

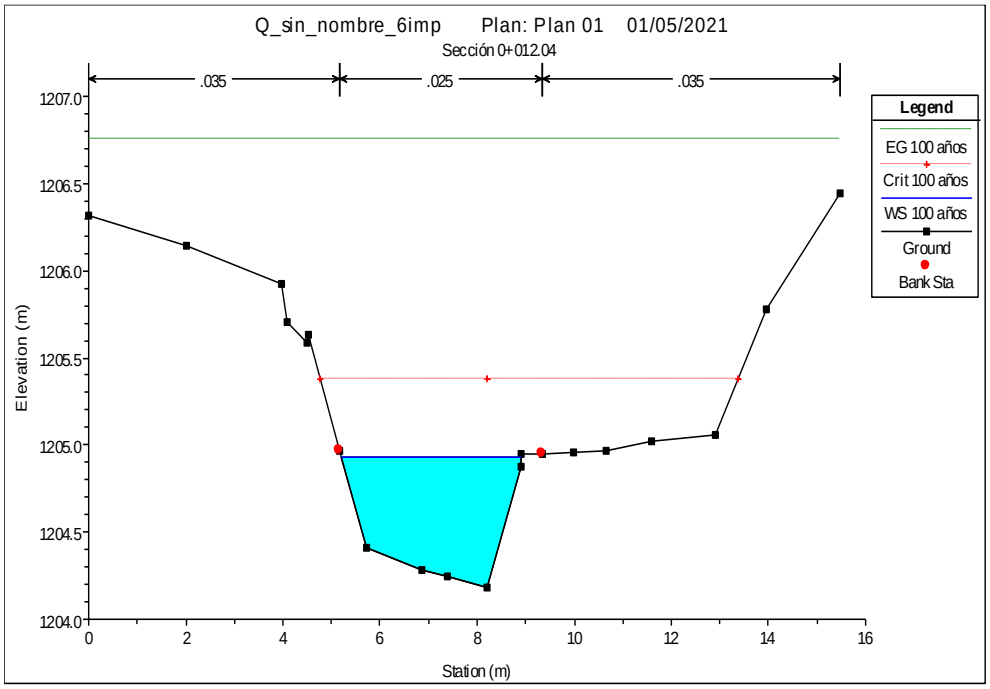

Figura 1-68. Sección transversal 0+012.04 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 6.1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

En la Tabla 1-15 se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. sin nombre 6 para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 1-15. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 6, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0.00	1203.73
5.00	1204.22
12.04	1204.94
15.80	1205.18
20.00	1206.03
25.00	1206.43
30.00	1206.14
35.00	1206.74
40.00	1207.22

1.3.35 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 6 (condición a implementar).

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. sin nombre 6 bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. sin nombre 6 son 7.42 m/s y 2.93 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **anexo 2** oscilan entre 3.27 y 1.47 para el tramo Q. sin nombre 6. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para Q. sin nombre 6, se puede concluir que no se genera cambio en la cota de flujo natural del cauce y no habrá afectación a las obras a implementar.

1.3.36 Modelación hidráulica Q. sin nombre 6.1, condición a implementar

Se realiza la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 6.1 con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte las obras.

Las secciones asociadas al cruce de la tubería en el tramo de estudio son: 0+010.00 y 0+020.00 en las que la tubería va pasar por debajo del lecho del cauce, a la cual se le realizará un empotramiento para proteger a la tubería de los procesos de socavación del cauce.

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo a modelar del Q. sin nombre 6.1 en la condición a implementar, dado que la tubería pasara enterrada el modelo se dejó tal cual como en la condición actual.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual. A continuación, en la Figura 1-69 se puede observar solo la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años, esto porque la tubería en este tramo va ir enterrada.

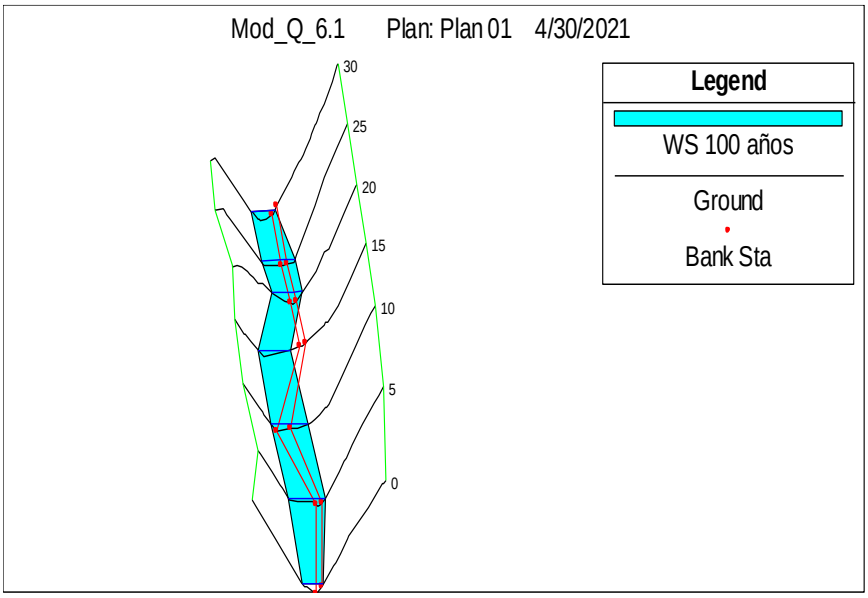

Figura 1-69. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 6.1 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar).

1.3.37 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 6.1 (condición a implementar)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 4.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se presentan las secciones más representativas que se encuentran entre las abscisas: 0+010.00 y 0+020.00 las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1**.

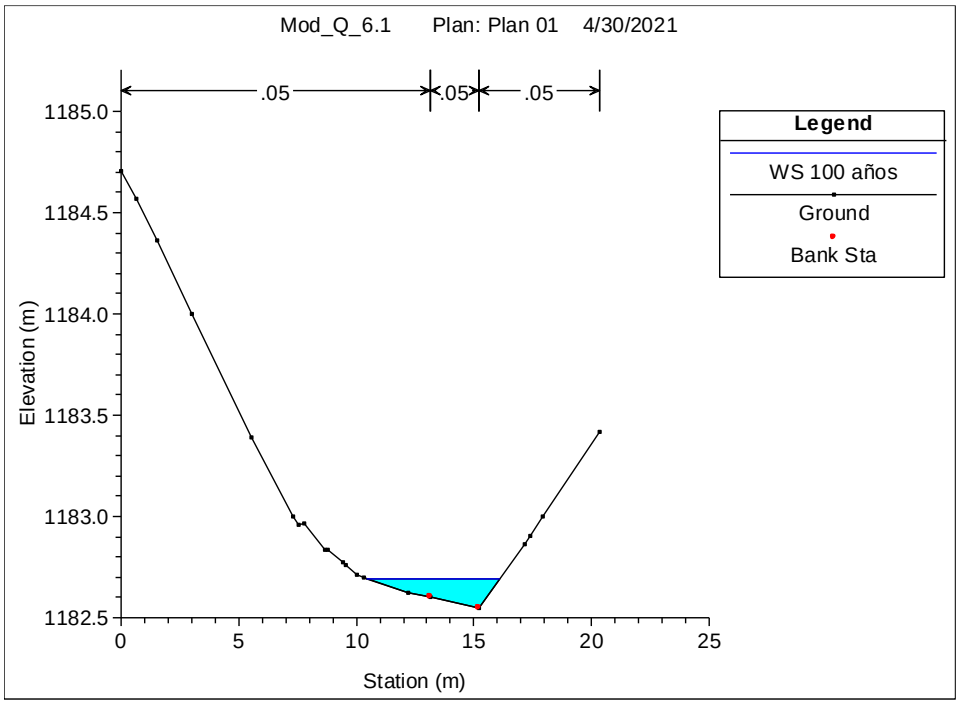

Figura 1-70. Sección transversal 0+010.00 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 6.1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

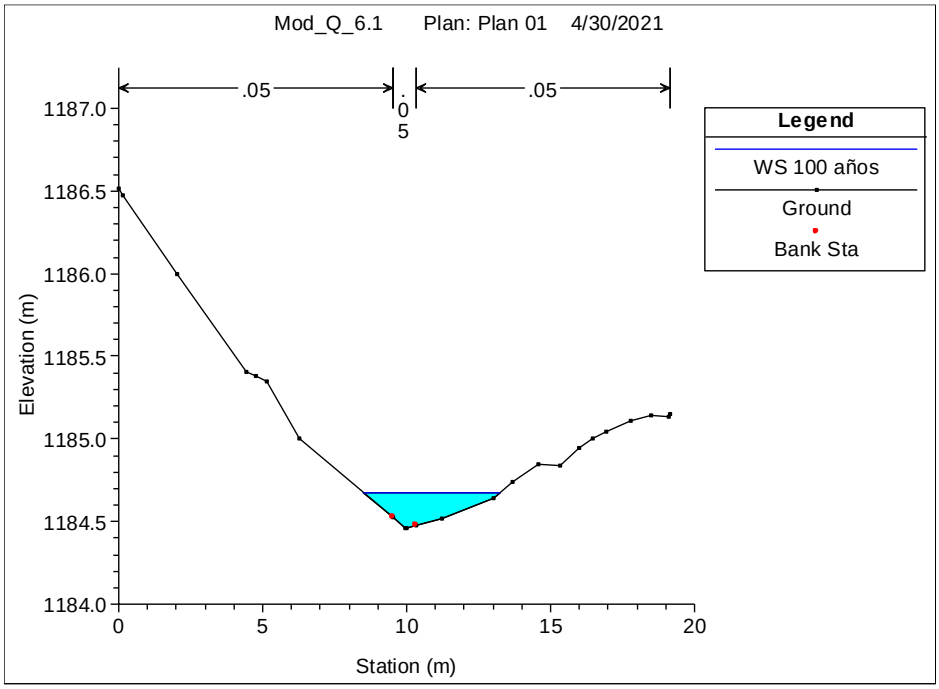

Figura 1-71. Sección transversal 0+020.00 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 6.1 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

En la Tabla 1-16 se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. sin nombre 6.1 para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 1-16. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 6.1, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0+000.00	1180.21
0+005.00	1181.53
0+010.00	1182.7
0+015.00	1183.83
0+020.00	1184.68
0+025.00	1185.08
0+030.00	1185.79

1.3.38 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 6.1 (condición a implementar).

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. sin nombre 6.1 bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. sin nombre 6.1 son 2.81 m/s y 1.02 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **anexo 2** oscilan entre 1.38 y 3.06 para el tramo Q. sin nombre 6.1. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para Q. sin nombre 6.1, se puede concluir que no se genera cambio en la cota de flujo natural del cauce y no habrá afectación a las obras a implementar.

1.3.39 Modelación hidráulica Q. sin nombre 6.2, condición a implementar

Se realiza la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 6.2 con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte las obras.

Las secciones asociadas al cruce de la tubería en el tramo de estudio son: 0+014.06 y 0+016.73 en las que la tubería va pasar por debajo del lecho del cauce, a la cual se

le realizará un empotramiento para proteger a la tubería de los procesos de socavación del cauce.

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo a modelar del Q. sin nombre 6.2 en la condición a implementar, dado que la tubería pasara enterrada el modelo se dejó tal cual como en la condición actual.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual. A continuación, en la Figura 1-72 se puede observar solo la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años, esto porque la tubería en este tramo va ir enterrada.

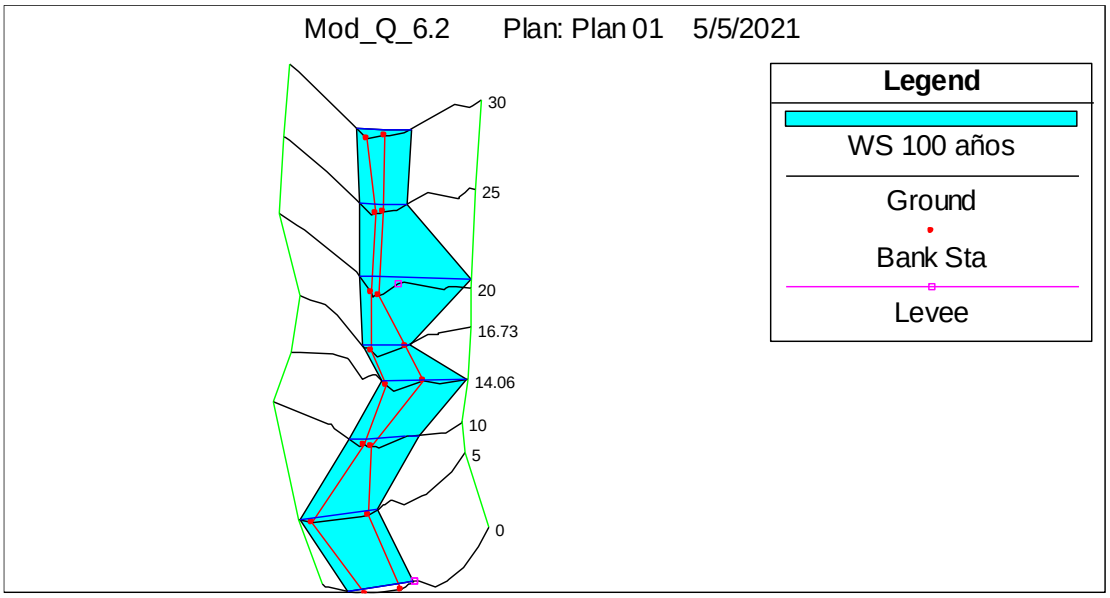

Figura 1-72. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 6.2 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar).

1.3.40 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 6.2 (condición a implementar)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 4.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se presentan las secciones más representativas que se encuentran entre las abscisas: 0+014.06 y 0+016.93 las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1**.

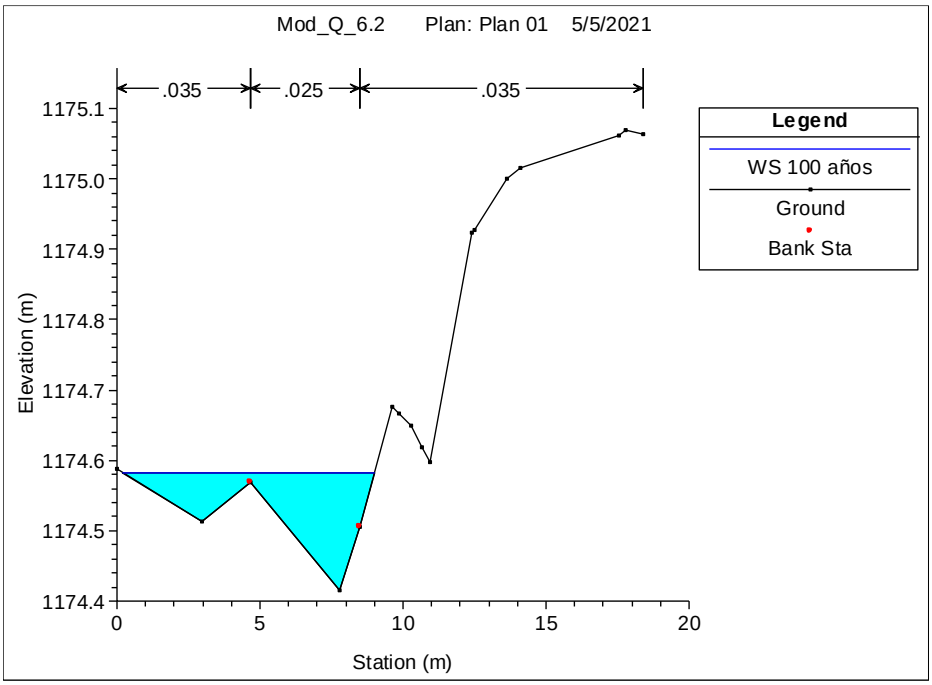

Figura 1-73. Sección transversal 0+014.06 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 6.2 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

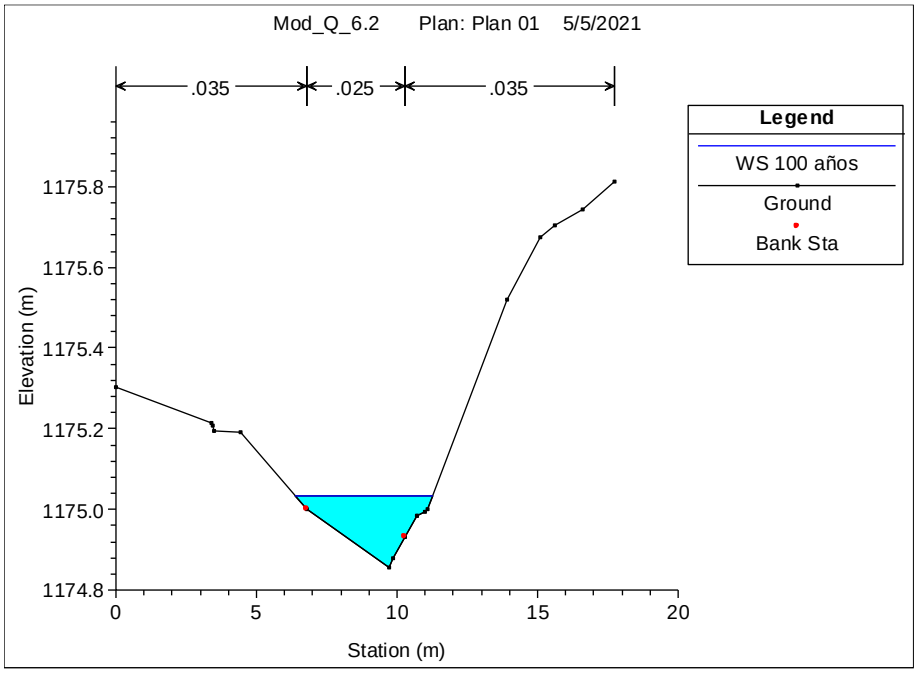

Figura 1-74. Sección transversal 0+016.93 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 6.2 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

En la Tabla 1-17se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. sin nombre 6.2 para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 1-17. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 6.2, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0+000.00	1171.89
0+005.00	1172.9
0+010.00	1173.82
0+014.06	1174.58
0+016.93	1175.03
0+020.00	1176
0+025.00	1176.95
0+030.00	1177.94

1.3.41 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 6.2 (condición a implementar).

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. sin nombre 6.2 bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. sin nombre 6.2 son 5.17 m/s y 1.81 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **anexo 2** oscilan entre 1.04 y 4.14 para el tramo Q. sin nombre 6.2. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para Q. sin nombre 6.2, se puede concluir que no se genera cambio en la cota de flujo natural del cauce y no habrá afectación a las obras a implementar.

1.3.42 Modelación hidráulica Q. sin nombre 7, condición a implementar

Se realiza la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 7 con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte las obras.

Las secciones asociadas al cruce de la tubería en el tramo de estudio son: 0+028.16 y 0+030.61 en las que se va a implementar un puente ducto tipo cercha.

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo a modelar del Q. sin nombre 7 en la condición a implementar en esta modelación se tuvo en cuenta el puente ducto tipo cercha.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual. A continuación en la Figura 1-75 se puede observar el paso de puente ducto, los apoyos y la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años.

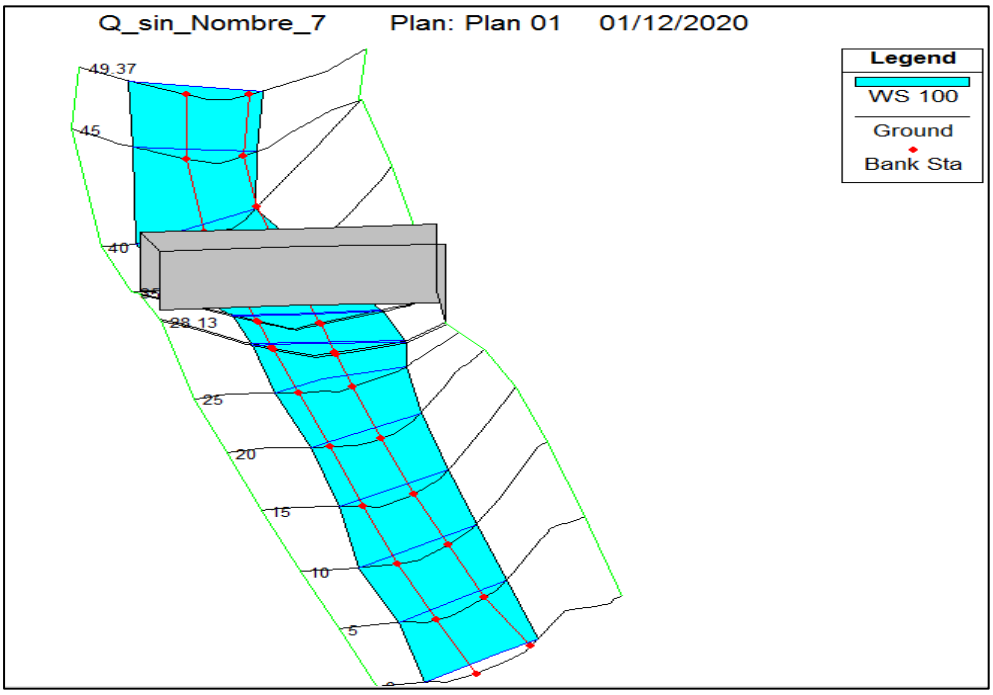

Figura 1-75. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 7 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar).

1.3.43 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 7 (condición a implementar)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 4.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se presentan las secciones más representativas que se encuentran entre las abscisas: 0+028.13 y 0+030.61 las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1.**

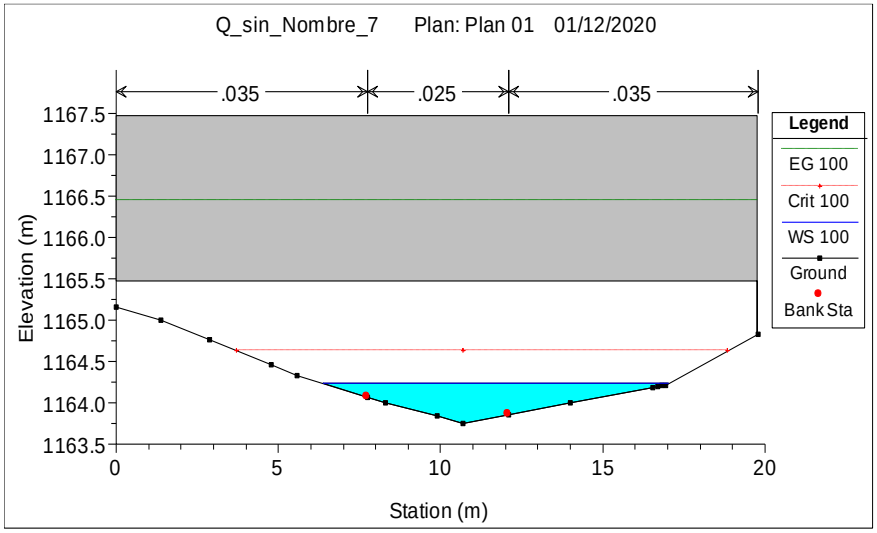

Figura 1-76. Sección transversal 0+028.50 aguas abajo de la tubería en la Q. sin nombre 7 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras

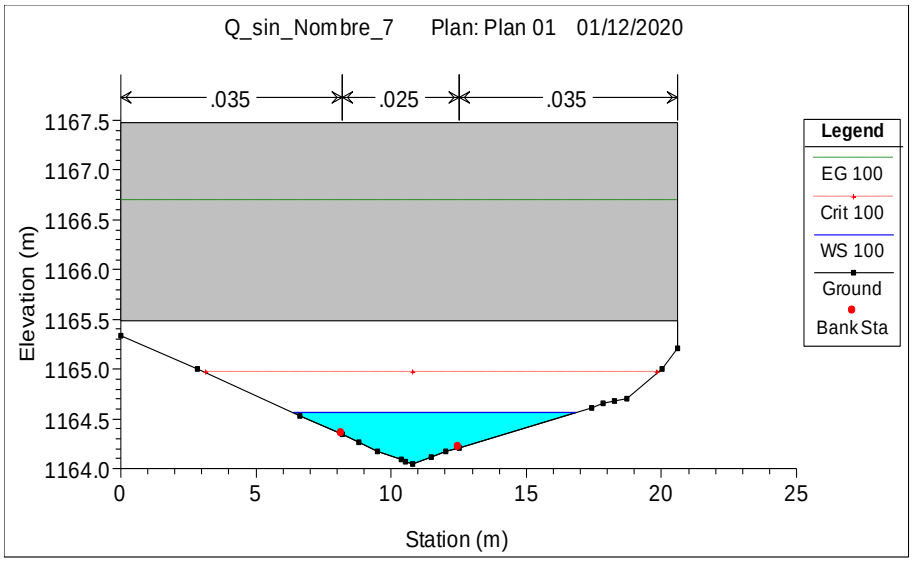

Figura 1-77. Sección transversal 0+028.50 aguas arriba de la tubería en la Q. sin nombre 7 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

En la Tabla 1-18 se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. sin nombre 7 para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 1-18. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 7, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0.00	1161.27
5.00	1161.85
10.00	1162.38
15.00	1162.87
20.00	1163.42
25.00	1163.93
28.13	1164.24
28.50	Bridge
30.61	1164.56
35.00	1164.94
40.00	1165.29
45.00	1166.04

1.3.44 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 7 (condición a implementar).

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. sin nombre 7 bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen sipercritico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. sin nombre 7 son 9.06 m/s y 5.15 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **anexo 2** oscilan entre 4.86 y 3.11 para el tramo Q. sin nombre 7. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para Q. sin nombre 7, se puede concluir que no se genera cambio en la cota de flujo natural del cauce y no habrá afectación a las obras a implementar.

1.3.45 Modelación hidráulica Q. sin nombre 8, condición a implementar

Se realiza la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 8 con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte las obras (boxculvert).

Las secciones asociadas a la vía proyectada en el tramo de estudio son: 0+028.00 y 0+041.00 en las que se va a implementar un boxculvert de 2.60m de ancho y 1.65m de altura.

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo a modelar de la Q. sin nombre 8 en la condición a implementar en esta modelación se tuvo en cuenta el boxculvert.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual, para el boxcuvert se utilizó el manning para concreto (0.014). A continuación en la Figura 1-78 se puede observar el boxculvert y la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años.

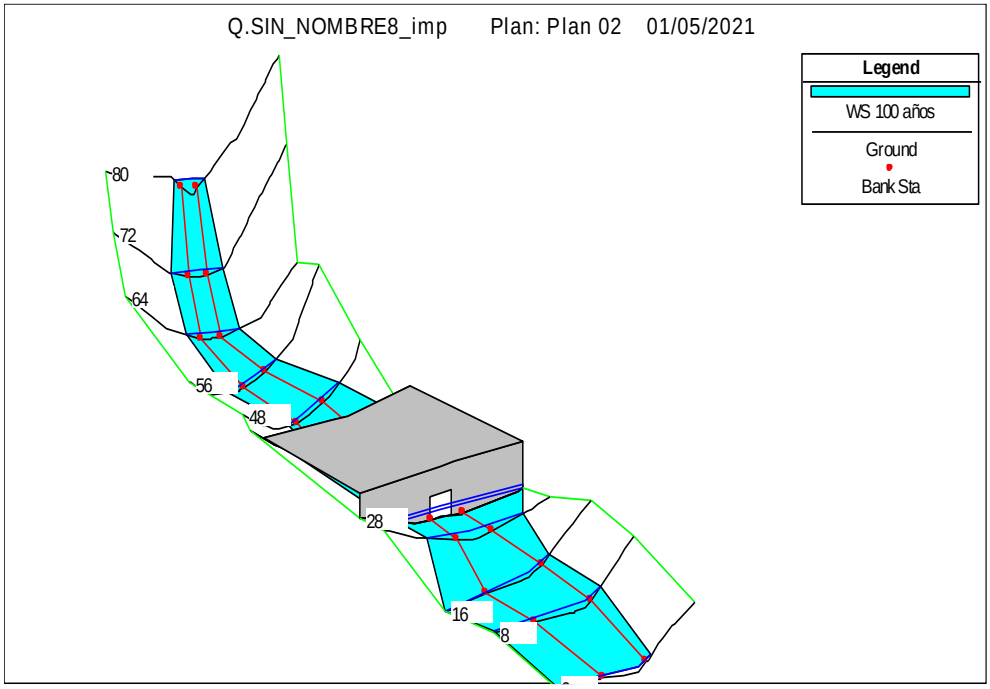

Figura 1-78. Mancha de inundación de un tramo de la Q. sin nombre 8 para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). Arrojado por Hec-Ras.

1.3.46 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 8 (condición a implementar)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 4.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se presentan las secciones más representativas que se encuentran entre las abscisas: 0+028.00 y 0+041.00 las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1.**

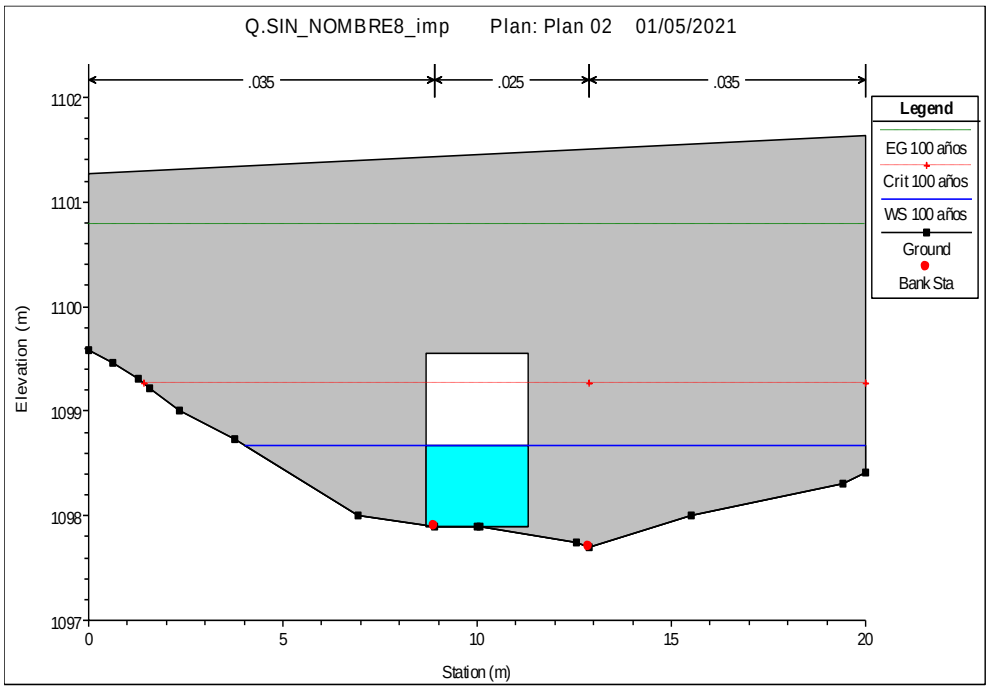

Figura 1-79. Sección transversal 0+028.00 aguas abajo del boxculvert de la Q. sin nombre 8 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

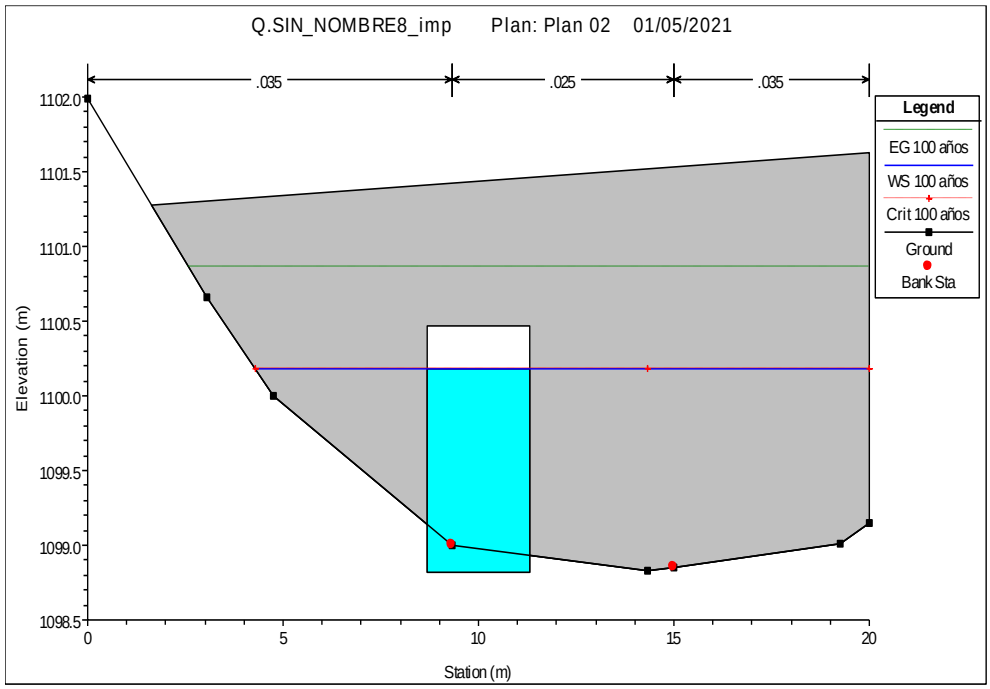

Figura 1-80. Sección transversal 0+028.00 aguas arriba del boxculvert de la Q. sin nombre 8 para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

En la Tabla 1-19, se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. sin nombre 8 para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 1-19. Cotas de flujo de la Q. sin nombre 8, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0+000.00	1095.18
0+008.00	1097.28
0+016.00	1097.17
0+024.00	1097.92
0+028.00	1098.48
Culv Salida	1098.67
Culv Entrada	1100.18
0+041.00	1099.24
0+048.00	1099.36
0+056.00	1099.38
0+064.00	1099.45
0+072.00	1099.97
0+080.00	1102.57

1.3.47 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. sin nombre 8 (condición a implementar).

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. sin nombre 8 bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. sin nombre 8 son 11.25 m/s y 2.10 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **anexo 2** oscilan entre 1.02 y 5.29 para el tramo de la Q. sin nombre 8. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para la Q. sin nombre 8, se puede concluir que no se genera cambios significativos en la cota de flujo natural del cauce y el boxculvert a implementar de 2.60m de ancho y 1.65m de alto, tiene capacidad hidráulica para evacuar los caudales de crecientes para un periodo de retorno de 100 años.

1.3.48 Modelación hidráulica Q. vía casa de máquinas, condición a implementar

Se realiza la modelación hidráulica de la Q. vía casa de máquinas con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte las obras (tubería).

Las secciones asociadas a la vía proyectada en el tramo de estudio son: 0+036.27 y 0+042.79 en las que se va a implementar un cabezote de encole una tubería de 36 pulgadas y finalmente el cabezote de descole.

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo a modelar de la Q. vía casa de máquinas en la condición a implementar en esta modelación se tuvo en cuenta una tubería en PVC.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual, para la tubería se utilizó el manning para concreto (0.009). A continuación en la Figura 1-81 se puede observar el boxculvert y la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años.

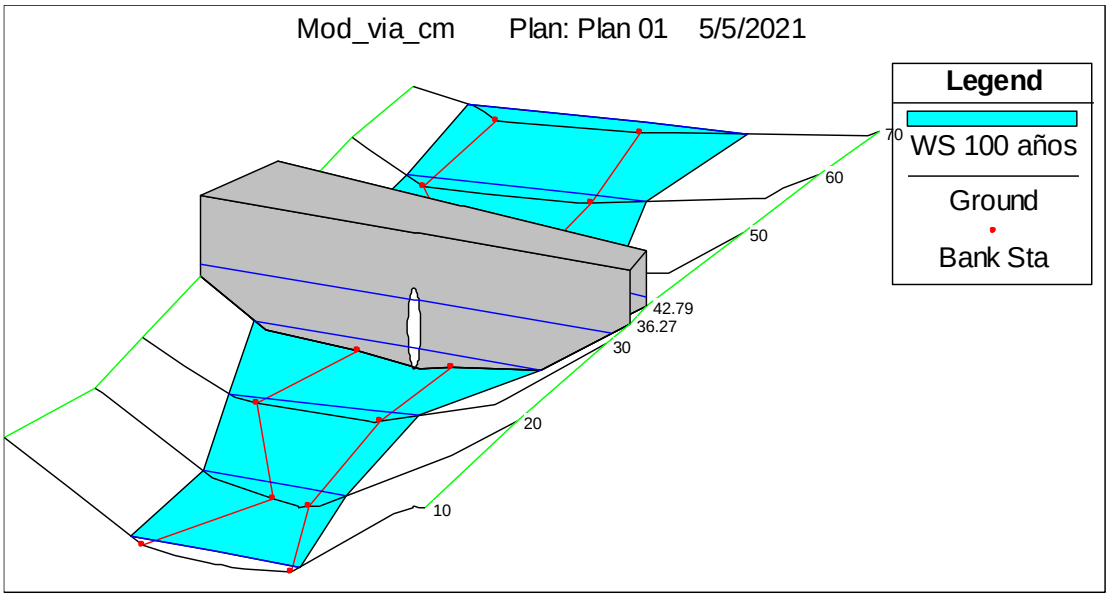

Figura 1-81. Mancha de inundación de un tramo de la Q. vía casa de máquinas para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). Arrojado por Hec-Ras.

1.3.49 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. vía casa de máquinas (condición a implementar)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 4.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se presentan las secciones más representativas que se encuentran entre las abscisas: 0+036.27 y 0+042.79 las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1.**

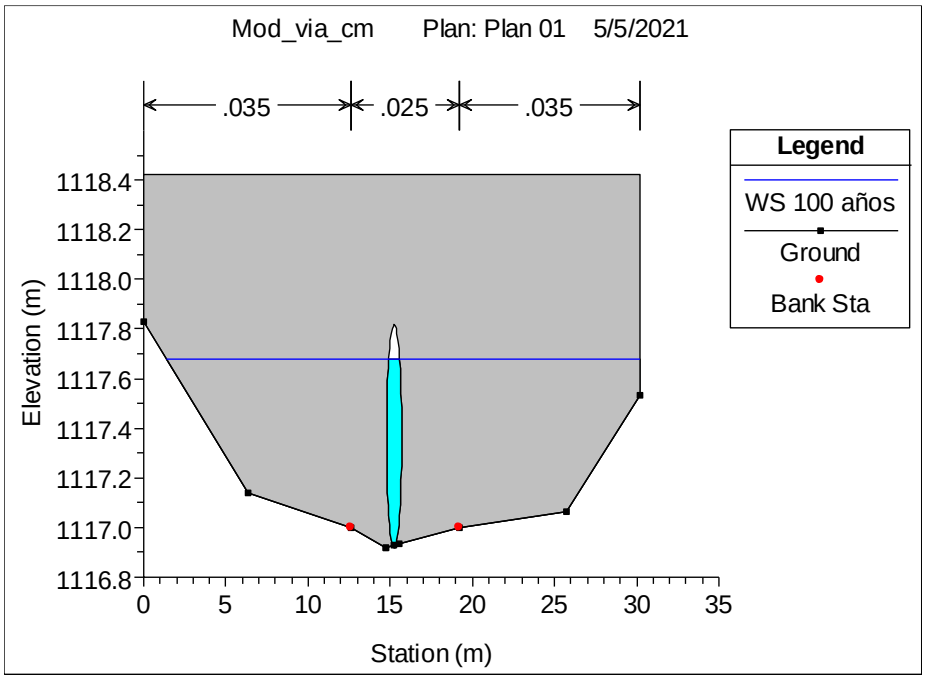

Figura 1-82. Sección transversal 0+036.50 aguas abajo de la tubería de la Q. vía casa de máquinas para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

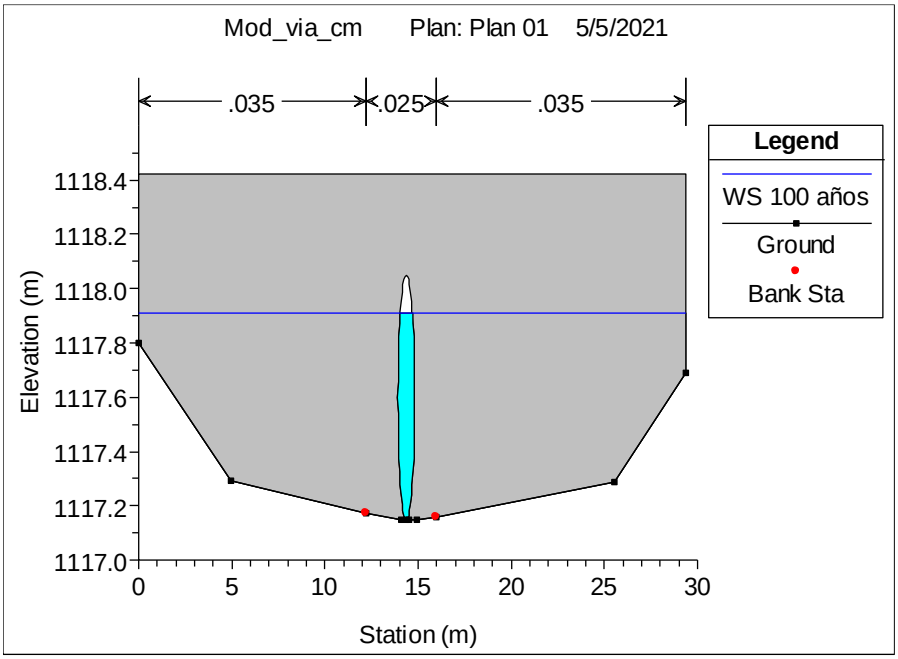

Figura 1-83. Sección transversal 0+36.50 aguas arriba de la tubería de la Q. vía casa de máquinas para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

En la Tabla 1-20, se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. vía casa de máquinas para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 1-20. Cotas de flujo de la Q. vía casa de máquinas, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0+010.00	1116.08
0+020.00	1116.35
0+030.00	1116.75
0+036.27	1117.14
Culv Salida	1117.68
Culv Entrada	1117.91
0+042.79	1117.3
0+050.00	1117.5
0+060.00	1117.76
0+070.00	1118.07

1.3.50 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. vía casa de máquinas (condición a implementar).

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. vía casa de máquinas bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. vía casa de máquinas son 2.50 m/s y 1.26 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **anexo 2** oscilan entre 0.95 y 2.56 para el tramo de la Q. vía casa de máquinas. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para la Q. vía casa de máquinas, se puede concluir que no se genera cambios significativos en la cota de flujo natural del cauce y el boxculvert a implementar de 2.60m de ancho y 1.65m de alto, tiene capacidad hidráulica para evacuar los caudales de crecientes para un periodo de retorno de 100 años.

1.3.51 Modelación hidráulica Q. vía existente a casa de máquinas, condición a implementar

Se realiza la modelación hidráulica de la Q. vía existente a casa de máquinas con la proyección de las obras a implementar con el propósito de determinar la cota máxima del flujo para un periodo de retorno de 100 años y comprobar que el nivel del agua no afecte las obras (puente).

Las secciones asociadas a el puente proyectado en el tramo de estudio son: 0+029.28 y 0+034.14 en las que se va a implementar un puente vehicular debido a que la vía existente pasa sobre la fuente hídrica.

Se procede utilizar el programa HEC-RAS versión 4.1.0, para realizar el análisis computacional y numérico del trayecto del flujo en el tramo a modelar de la Q. vía existente a casa de máquinas en la condición a implementar en esta modelación se tuvo en cuenta una un puente vehicular apoyado sobre 2 pilas.

Las condiciones de frontera, los caudales máximos y el coeficiente de rugosidad de Manning que se tomaron para esta modelación son los mismos que los utilizados para la condición actual. A continuación en la Figura 1-84 se puede observar el puente y la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años.

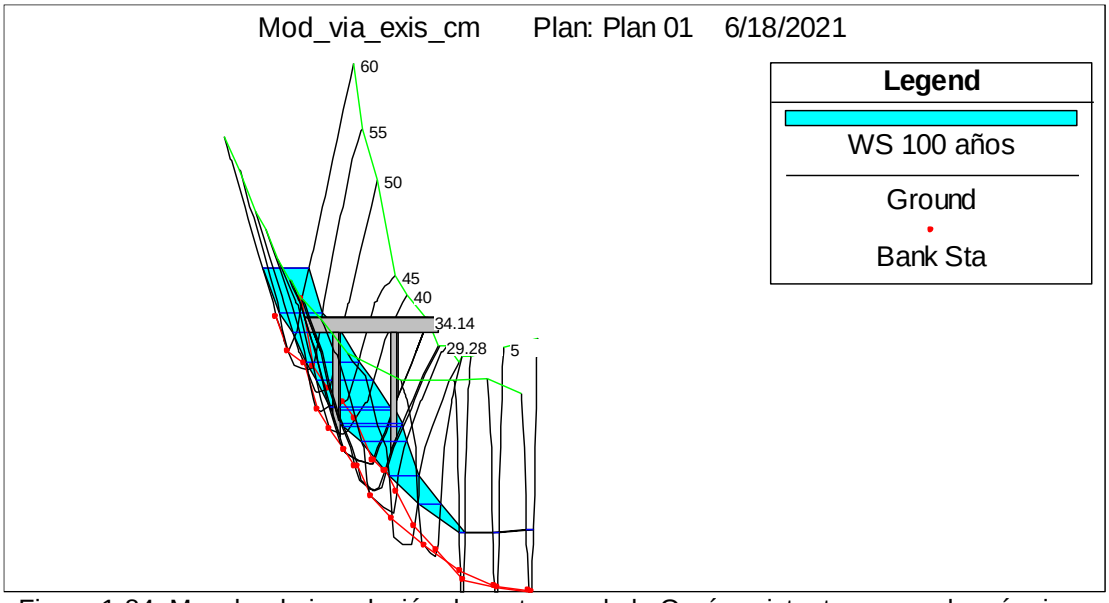

Figura 1-84. Mancha de inundación de un tramo de la Q. vía existente a casa de máquinas para un periodo de retorno de 100 años (condición a implementar). Arrojado por Hec-Ras.

1.3.52 Análisis de resultados gráficos de la modelación hidráulica de la Q. vía existente a casa de máquinas (condición a implementar)

A continuación, se muestra los resultados obtenidos por el HEC-RAS 4.1.0, para la modelación hidráulica. Para poder analizar los resultados de la mejor manera, se presentan las secciones más representativas que se encuentran entre las abscisas: 0+029.28 y 0+034.14 las demás secciones se pueden observar en el **anexo 1.**

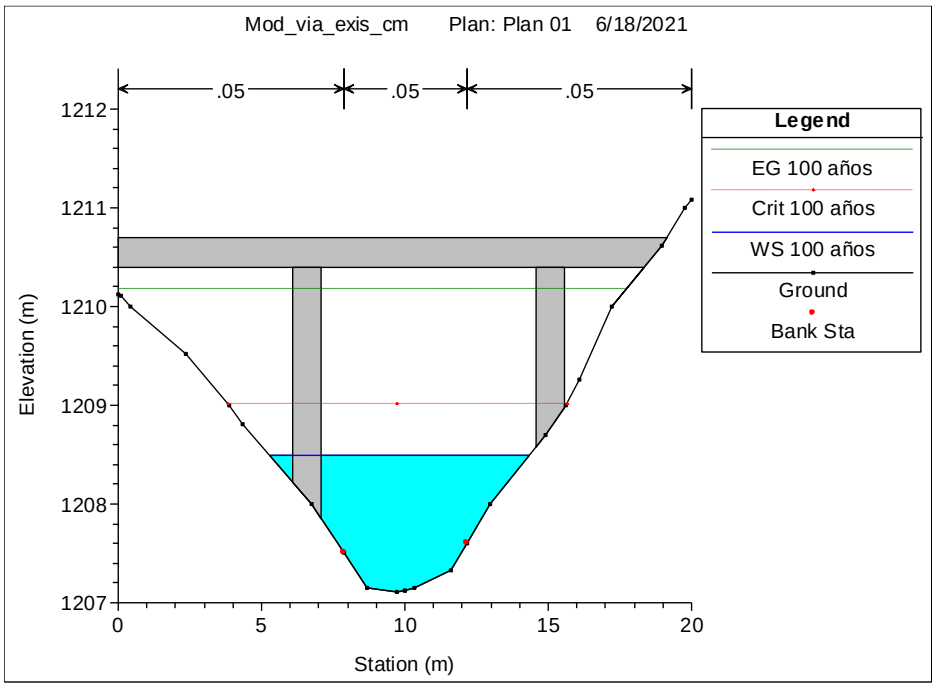

Figura 1-85. Sección transversal 0+032.00 aguas abajo del puente de la Q. vía existente a casa de máquinas para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

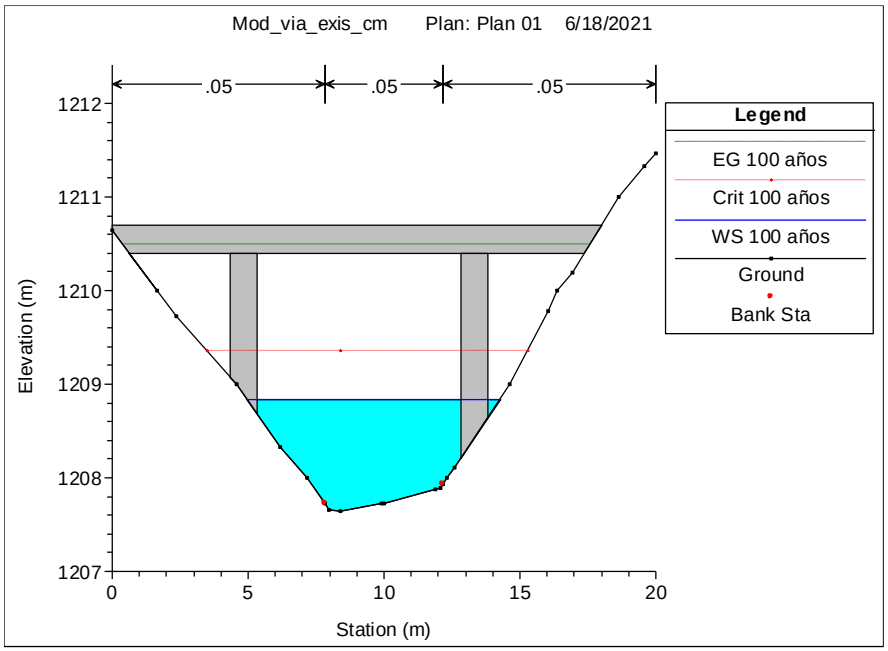

Figura 1-86. Sección transversal 0+028.00 aguas arriba del puente de la Q. vía existente a casa de máquinas para Tr=100 años. Arrojado por Hec-Ras.

En la Tabla 1-21, se muestra las cotas de flujo del tramo de la Q. sin nombre vía existente a casa de máquinas para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 1-21. Cotas de flujo de la Q. vía existente a casa de máquinas, Tr=100 años.

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0+000.00	1206.29
0+005.00	1206.23
0+010.00	1206.25
0+015.00	1206.82
0+020.00	1207.41
0+025.00	1208.13
0+029.28	1208.44
Puente aguas abajo	1208.49
Puente aguas arriva	1208.84
0+034.14	1208.77
0+040.00	1209.41
0+045.00	1209.78

Sección	Cota de inundación a implementar (m.s.n.m.)
0+50.00	1210.38
0+055.00	1210.78
0+060.00	1211.72

1.3.53 Análisis de resultados numéricos de la modelación hidráulica de la Q. vía casa de máquinas (condición a implementar).

De acuerdo a las tablas arrojadas por el software para la modelación del tramo de la Q. vía existente a casa de máquinas bajo la hipótesis de flujo uniforme en régimen supercrítico como se presenta en el **anexo 2** se puede analizar lo siguiente:

- Cada sección transversal fue corrida para los ocho periodos de retorno.
- Los valores de velocidad máxima y mínima por el software en el tramo de la Q. vía existente a casa de máquinas son 7.01 m/s y 5.12 m/s respectivamente.
- Los valores de número de Froude que se presentan en el **anexo 2** oscilan entre 1.43 y 2.29 para el tramo de la Q. vía existente a casa de máquinas. Esto quiere decir que tenemos un régimen de flujo supercrítico.

Teniendo en cuenta la modelación actual y la modelación a implementar corridas en el programa HEC-RAS 4.1.0 para la Q. vía existente casa de máquinas, se puede concluir que no se genera cambios significativos en la cota de flujo natural del cauce y el puente a implementar de 18 metros de longitud y una altura gálibo de 1.91, tiene capacidad hidráulica para evacuar los caudales de crecientes para un periodo de retorno de 100 años.

1.4 Estudio de Socavación

Los fenómenos de socavación en los lechos de las quebradas son uno de los principales enemigos de las estructuras que se instalen en cercanías a las márgenes de estas fuentes hídricas, ya que el avance de este proceso erosivo representa un enorme riesgo, que amenaza la estabilidad de las estructuras.

Debido a la necesidad de implementar una estructura, para evitar el fenómeno de erosión generalizada en el tramo de estudio de los caños aferentes a la línea de presión y vías de acceso de la PCH Cocorná III, es necesario calcular la profundidad que pueden alcanzar, para que los apoyos, cimentación de las obras o estructuras de protección no tenga problemas de estabilidad durante su vida útil.

Los métodos para el cálculo de la profundidad de socavación son variados y cada uno considera parámetros diferentes, debido a que están destinados al cálculo de este fenómeno erosivo en estructuras determinadas. Por esta razón algunos de los parámetros analizados se toman de acuerdo a la metodología adoptada.

Finalmente, para cada sección analizada se computarán los métodos descritos en este informe para ratificar la respuesta del lecho ante la agresión de las condiciones del flujo.

1.4.1 Generalidades

Las metodologías para hallar la profundidad de socavación pueden variar dependiendo de la cohesión del material del fondo. Las técnicas que se emplean en este informe se desarrollan para suelos no cohesivos, debido a que los suelos que son motivo de estudio poseen esta propiedad.

Para el cálculo de la profundidad de socavación generalizada se tomó como referencia el método desarrollado por Lischtvan–Lebediev y Maza Álvarez, apoyados en las metodologías desarrolladas en el libro de Jaime Suárez Díaz denominado "*Control de Erosión en Zonas Tropicales*", el cual es el método más utilizado en Colombia, el cual en su metodología tiene en cuenta el estrechamiento del cauce por obras a desarrollar, (Suarez, 2001), en el cual se describe con exactitud este método.

Los métodos a emplear en el presente informe son:

- Método de Lischtvan – Lebediev. (Socavación generalizada)
- Método de Maza Álvarez (Socavación generalizada)

A continuación, se describen los diferentes métodos que se usaron para calcular la profundidad de socavación.

1.4.2 Métodos de Cálculo

1.4.2.1 Método de Lischtvan-Lebediev

El método de Lischtvan–Lebediev es el más completo para la determinación de la profundidad de socavación general, debido a que considera la forma del cauce, dado que determina si se trata de un cauce bien definido o no; otro aspecto que considera es la textura del material de fondo, ya que para los materiales cohesivos, como los limos orgánicos y arcillas, se utiliza un peso específico para calificar su grado de cohesión, mientras que para los no cohesivos se utiliza la curva granulométrica para establecer su resistencia a la erosión, también hay que tener en cuenta si la distribución del material es homogénea o heterogénea.

En este caso los materiales del suelo son no cohesivos (granulares), por lo tanto, se utiliza la siguiente ecuación:

$$y_S = \left[\frac{\alpha . y_o^{5/3}}{0.68 D_m^{0.28} . \beta . \psi} \right]^{\frac{1}{1+Z}}$$

Ecuación 1

Dónde:

$$\alpha = \frac{Qd}{\mu B_e d_m^{5/3}}$$

Variables:

y_0 = Profundidad inicial, en una línea vertical dada, entre el nivel del agua cuando se presenta el caudal de diseño, y el nivel del fondo inicial, en m.

y_s = Profundidad hasta el fondo ya socavado, en m. Se mide desde la elevación de la superficie del agua al presentarse el caudal de diseño, sobre la misma vertical de d0, en m.

Q_d = Caudal de diseño o caudal máximo de la creciente para la cual se desea calcular la erosión, en m^3/s.

Dm = Diámetro medio del material del fondo.

d_m = Lámina de agua media o profundidad media, medida entre la superficie del agua al pasar el gasto Q_d y el perfil del fondo original, en m. se calcula como sigue:

$$d_m = \frac{A}{B_e}$$

Be = Ancho efectivo de la superficie libre del cauce, en m. Se calcula a partir del ancho real del cauce, al que se le reduce el ancho de todos los obstáculos.

A = Área hidráulica de la sección, en m^2.

φ = Coeficiente que depende de la concentración del material transportado en suspensión. (Ver **Tabla 1-22.**).

Tabla 1-22. Valores de φ

γ mezcla agua – sedimento	Coeficiente ψ
1.05	1.06
1.10	1.13
1.15	1.20
1.20	1.27
1.25	1.34
1.30	1.42
1.35	1.50
1.40	1.60

M = Coeficiente que toma en cuenta las contracciones laterales del flujo que se produce en las caras de los obstáculos que están dentro de la corriente, como por ejemplo las pilas de un puente. Es función de la velocidad media del flujo y del claro entre pilas. Cuando no hay obstáculos, μ = 1, de lo contrario se toman de la siguiente tabla:

Tabla 1-23. Valores del coeficiente de contracción del cauce (μ)

Velocidad media en mts/seg	Luz libre entre dos pilas, en metros												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
	Coeficiente μ												
Menor de 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.50	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.00	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.50	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.00	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.50	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
4.00 o Mayor	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

β = Coeficiente que depende de la frecuencia con que se presente el gasto de diseño. El coeficiente β es un parámetro que considera el tiempo de retorno de los caudales máximos, se toman de la siguiente tabla:

Tabla 1-24. Coeficiente β.

Probabilidad de ocurrencia p (%)	Período de retorno Tr (años)	β
100	1	0,77
50	2	0,82
20	5	0,86
10	10	0,90
5	20	0,94
2	50	0,97
1	100	1,00
0,3	333	1,03
0,2	500	1,05
0,1	1000	1,07

Z: Exponentes en función de diámetro medio (Dm) del material del fondo

Tabla 1-25. Exponente z.

Suelos granulares					
d (mm)	z	$\frac{1}{1+z}$	d (mm)	z	$\frac{1}{1+z}$
0.05	0.43	0.70	40.000	0.30	0.77
0.15	0.42	0.70	60.000	0.29	0.78
0.50	0.41	0.71	90.000	0.28	0.78
1.00	0.40	0.71	140.000	0.27	0.79
1.50	0.39	0.72	190.000	0.26	0.79
2.50	0.38	0.72	250.000	0.25	0.80
4.00	0.37	0.73	310.000	0.24	0.81
6.00	0.35	0.74	370.000	0.23	0.81
8.00	0.35	0.74	450.000	0.22	0.83
10.00	0.34	0.75	570.000	0.21	0.83
15.00	0.33	0.75	750.000	0.20	0.83
20.00	0.32	0.76	1.000.000	0.19	0.84
25.00	0.31	0.76			

1.4.3 Método de Maza Álvarez

Siguiendo lo establecido por Lischtvan – Lebediev, este método se basa en las ecuaciones de la velocidad mínima necesaria para erosionar el material de fondo, obtenidas por Maza, en función del diámetro de la muestra del lecho; diámetro que permite considerar las condiciones de acorazamiento que se pueden presentar en el

cauce. La siguiente expresión corresponde para suelos granulares y es validad si 0.00005m ≤ d_{84} ≥ 0.0028m.

$$Y_s = \left(\frac{\alpha \; y_0^{5/3}}{4.7 \; \beta \; d_{84}^{0.28}} \right)^{\frac{d_{84}^{0.03}}{0.322 + d_{84}^{0.03}}}$$

Ecuación 2

Donde:

y_S, α, y_0, β se definen igual que para suelos granulares según el método de Lischtvan –Lebediev.

d_{84}: Diámetro de la muestra de sedimento en que el 84 por ciento en peso es menor que ese tamaño, en metros (m).

1.4.4 Análisis de resultados

A continuación, se presentan los resultados hallados para cada uno de los caños, por cada método, especificando sus datos de entrada.

Los estudios de suelo, describen el tipo de suelo del lecho de los caños asociados a la línea de presión y vías de acceso, estos fueron clasificados como arenas gruesas en su mayoría.

En la Tabla 1-26 se muestran los datos de entrada para el cálculo de la profundidad de socavación para métodos de cálculo.

Tabla 1-26. Datos de entrada para las quebradas asociados a la línea de presión y vías de acceso para el cálculo de la socavación.

Quebrada Sin Nombre	d84(mm)	d50(mm)	dm(mm)	Caudal Tr=100 (m3/s)	β	Ψ
Vía captación	24.88	12.13	9.2	2.13	1	1.4
1	20.66	10.35	6.77	1.91	1	1.4
1.1	20.45	8.45	6.51	1.2	1	1.4
2	6.99	0.91	1.66	5.43	1	1.4
2.1	6.99	0.91	1.66	5.43	1	1.4
3	18.56	4.19	4.97	15.31	1	1.4

Quebrada Sin Nombre	d84(mm)	d50(mm)	dm(mm)	Caudal Tr=100 (m3/s)	β	Ψ
3.1	23.49	11.98	8.26	0.02	1	1.4
4	43.29	26.81	13.77	16.2	1	1.5
5	12.01	4.4	2.94	5.5	1	1.5
6	21.02	9.61	6.43	12.07	1	1.5
6.1	22.2	6.47	6.7	0.67	1	1.4
6.2	21.84	10.09	7.3	1.17	1	1.4
7	21.74	9.83	7.05	14.88	1	1.4
8	21.64	10.88	7.09	12.89	1	1.5
Vía casa de máquinas	22.69	3.91	4.38	2.17	1	1.4
Vía existente a casa de máquinas	17.65	4.77	4.68	36.85	1	1.4

Donde:

d_{50}: Diámetro medio de las partículas del material granular en milímetros (mm).
d_{84}: Diámetro de la muestra de sedimento en que el 84 por ciento en peso es menor que ese tamaño, en metros (m).
β: Coeficiente que depende del periodo de retorno estudiado.
Ψ: Coeficiente que depende de la concentración del material transportado.

El valor de β se calculó de la Tabla 1-24 para un período de retorno de 100 años, debido a que este valor garantizará que el resultado en las demás ecuaciones descritas sea suficiente para asimilar periodos de retorno con menor tiempo, es decir, el estudio se llevó a cabo para las condiciones más desfavorables de socavación.

El coeficiente α (coeficiente de sección) se calculó para cada una de las secciones, para la cual se calculó la profundidad media d_m en base al área hidráulica y al ancho efectivo (Be), se utilizó un caudal de diseño para cada una de las secciones de las quebradas, el ancho efectivo y la altura del flujo de cada una de las secciones para un periodo de retorno (Tr) de 100 años. Debido que el tipo de suelo del lecho de las quebradas son de tipo no cohesivo y no presenta obstáculos, el parámetro “u” es igual a la unidad (1).

Los valores de profundidad de flujo, área de la sección hidráulica y el ancho efectivo de la superficie de agua se tomaron de los resultados de cada una de las modelaciones hidráulicas en Hec-Ras de cada quebrada en estudio. En las siguientes tablas se presentan estos datos para cada una de las quebradas analizadas.

Tabla 1-27. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. vía captación

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+005.00	0.47	0.091	5.17
0+008.38	0.48	0.079	6.06
0+012.17	0.56	0.101	5.53
0+017.74	0.6	0.076	7.93
0+018.27	0.58	0.073	7.97
0+018.43	0.57	0.072	7.94
0+021.32	0.61	0.112	5.45

Tabla 1-28. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 1

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+000.00	0.75	0.04	6.89
0+005.00	0.73	0.15	5.29
0+010.00	0.62	0.12	4.22
0+014.18	0.65	0.05	3.84
0+016.93	0.63	0.19	4.79
0+025.00	0.59	0.11	3.71
0+030.00	0.66	0.21	3.79

Tabla 1-29. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 1.1

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+000.00	0.45	0.23	3.28
0+005.00	0.44	0.17	3.31

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+008.73	0.47	0.24	2.99
0+011.20	0.64	0.23	4.36
0+015.00	0.39	0.21	2.96
0+020.00	0.61	0.15	5.66

Tabla 1-30. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 2

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+000.00	0.84	0.30	4.51
0+005.00	0.85	0.44	3.6
0+010.00	0.8	0.37	3.43
0+015.00	0.86	0.32	4.09
0+020.00	0.99	0.30	5.19
0+022.56	1.03	0.25	6.17
0+024.68	1.04	0.24	6.84
0+030.00	1.15	0.21	9.94

Tabla 1-31. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 2.1

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+000.00	1.27	0.16	11.3
0+005.00	0.77	0.18	6.76
0+010.00	0.68	0.41	2.82
0+015.00	0.82	0.39	4.46
0+020.00	0.79	0.33	3.52
0+025.00	0.96	0.25	6.12
0+029.50	1.04	0.21	8.21
0+035.00	0.89	0.25	6.16

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+040.00	0.89	0.25	5.11

Tabla 1-32. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 3

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+005.00	2.92	0.38	12.08
0+010.00	2.74	0.37	11.01
0+015.00	2.62	0.45	9.5
0+020.00	2.62	0.46	8.6
0+025.00	2.71	0.43	8.98
0+030.00	2.1	0.56	6.42
0+032.36	1.92	0.64	5.19
0+035.00	1.87	0.59	6.01
0+040.00	2.03	0.40	7.05

Tabla 1-33. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 3.1

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+000.00	0.06	0.03	3.51
0+005.00	0.03	0.04	1.65
0+010.00	0.03	0.05	1.26
0+012.44	0.03	0.03	1.51
0+015.00	0.02	0.02	1.54
0+020.00	0.04	0.02	1.8
0+025.00	0.03	0.05	0.84

Tabla 1-34. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 4

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+010.00	1.91	0.56	5.64
0+020.06	1.83	0.43	6.41
0+023.67	1.73	0.46	6.55
0+025.00	1.72	0.63	4.13
0+030.00	1.79	0.64	5.72
0+040.00	1.47	0.50	5.55
0+050.00	1.38	0.54	3.95
0+060.00	1.63	0.71	3.44
0+070.00	1.63	0.77	5.95
0+074.45	1.67	1.11	4.20

Tabla 1-35. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 5

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+000.0	0.81	0.67	2.85
0+005.00	0.82	0.40	3.3
0+011.00	0.78	0.22	4.08
0+013.29	0.74	0.25	3.77
0+015.00	0.71	0.30	3.53
0+020.00	0.64	0.38	2.70
0+025.00	0.55	0.31	2.75
0+035.00	0.63	0.55	2.44
0+040.00	0.67	0.55	2.64

Tabla 1-36. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 6

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+000.0	2.1	0.72	4.54

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+005.00	2.03	0.64	4.31
0+012.04	2.01	0.75	3.69
0+015.80	2.13	0.63	5.04
0+020.00	2.57	1.14	3.87
0+025.00	2.87	1.2	6.50
0+030.00	2.05	0.65	5.43
0+035.00	2.32	0.86	5.19
0+040.00	3.01	1.02	8.60

Tabla 1-37. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 6.1

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+000.00	0.41	0.09	3.84
0+005.00	0.43	0.1	5.28
0+010.00	0.57	0.22	4.77
0+015.00	0.28	0.12	4.85
0+020.00	0.45	0.14	5.61
0+025.00	0.34	0.13	5.65
0+030.00	0.33	0.2	3.2

Tabla 1-38. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 6.2

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+000.00	0.75	0.2	9.2
0+005.00	0.74	0.2	8.78
0+010.00	0.83	0.23	9.45
0+014.06	0.67	0.22	8.54
0+016.93	0.89	0.2	8.54

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+020.00	0.94	0.16	9.57
0+025.00	0.96	0.12	10.68
0+030.00	1.67	0.16	10.42

Tabla 1-39. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 7

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+000.0	2.54	0.39	9.2
0+005.00	2.65	0.48	8.78
0+010.00	2.71	0.47	9.45
0+015.0	2.64	0.48	8.54
0+020.00	2.56	0.45	8.54
0+025.00	2.67	0.53	9.57
0+028.13	2.64	0.48	10.68
0+030.61	2.69	0.52	10.42
0+035.00	2.6	0.51	9.63
0+040.00	2.26	0.45	9.24
0+045.00	2.17	0.46	8.57
0+049.37	2.16	0.42	9.31

Tabla 1-40. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. Sin Nombre 8

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+000.0	2.35	0.36	12.08
0+008.00	4.15	0.49	13.88
0+016.00	2.82	0.39	13.48
0+024.00	3.13	0.60	10.08

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+028.00	3.3	0.51	12.13
0+041.00	3.39	0.40	11.74
0+048.00	2.92	0.48	8.59
0+056.00	2.33	0.45	7.27
0+064.00	1.93	0.48	6.17
0+072.00	1.65	0.45	6.03
0+080.00	1.95	1.07	3.49

Tabla 1-41. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. vía casa de máquinas

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+010.00	1.35	0.14	12.11
0+020.00	1.31	0.21	10.11
0+030.00	1.12	0.14	12.65
0+036.47	1.66	0.18	18.22
0+042.79	1.86	0.15	20.82
0+050.00	1.85	0.14	18.18
0+060.00	1.37	0.13	15.4
0+070.00	1.76	0.15	17.92

Tabla 1-42. Datos de entrada tomados del modelo en Hec Ras para la Q. vía existente a casa de máquinas

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+000.00	8.49	1.32	8.56
0+005.00	7.1	1.25	7.52
0+010.00	6.07	1.25	6.65
0+015.00	6.02	1.07	7.38
0+020.00	6.17	1.41	5.52
0+025.00	6.92	1.49	7.21

Sección	Área hidráulica (m²)	Altura de flujo (m)	Ancho efectivo (m)
0+029.28	6.98	1.33	8.78
0+034.14	6.67	1.12	8.99
0+040.00	6.76	1.13	9.02
0+045.00	6.12	1.02	8.28
0+50.00	6.26	1.23	7.79
0+055.00	5.96	1.17	7.02
0+060.00	6.7	1.72	7.05

Aplicando la ecuación 1 y 2 se obtienen las siguientes tablas, donde se muestran los resultados de la profundidad de socavación (y_s) para las diferentes secciones y los dos (2) métodos, pero esta profundidad hace referencia a la altura desde la superficie del agua hasta el nivel ya socavado, por lo tanto, la profundidad hallada se le debe restar la altura del flujo original (sin socavación).

Para determinar la altura de socavación generalizada por los diferentes métodos propuestos, se omitieron los resultados negativos y los menos representativos, luego se halló el promedio aritmético con los datos de las secciones restantes, este procedimiento se realizó para cada uno de las quebradas.

Tabla 1-43. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. vía captación

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+005.00	0.62	0.47	0.65	0.50
0+008.38	0.66	0.51	0.69	0.54
0+012.17	0.65	0.47	0.68	0.50
0+017.74	0.30	0.21	0.31	0.22
0+018.27	0.27	0.19	0.28	0.20
0+018.43	0.28	0.20	0.28	0.20
0+021.32	0.70	0.49	0.74	0.53
Promedio		**0.39**		**0.41**

Tabla 1-44. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 1

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+000.00	0.08	0.21	0.08	0.04
0+005.00	0.36	0.36	0.36	0.21
0+010.00	0.30	0.30	0.30	0.18
0+014.18	0.09	0.09	0.09	0.04
0+016.93	0.55	0.55	0.56	0.37
0+025.00	0.27	0.27	0.27	0.16
0+030.00	0.52	0.52	0.53	0.32
Promedio		**0.33**		**0.25**

Tabla 1-45. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 1.1

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+000.00	0.63	0.40	0.63	0.63
0+005.00	0.44	0.27	0.45	0.45
0+008.73	0.60	0.36	0.60	0.60
0+011.20	0.47	0.24	0.47	0.47
0+015.00	0.63	0.42	0.64	0.64
0+020.00	0.33	0.18	0.33	0.33
Promedio		0.29		0.32

Tabla 1-46. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 2

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+000.00	1.88	1.58	1.84	1.54
0+005.00	2.63	2.19	2.60	2.16
0+010.00	2.24	1.87	2.21	1.84

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+015.00	1.88	1.56	1.84	1.52
0+020.00	1.65	1.35	1.61	1.31
0+022.56	1.37	1.12	1.33	1.08
0+024.68	1.36	1.12	1.32	1.08
0+030.00	1.23	1.02	1.19	0.98
Promedio		**1.34**		**1.30**

Tabla 1-47. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 2.1

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+000.00	0.83	0.67	0.80	0.64
0+005.00	1.37	1.19	1.33	1.15
0+010.00	2.81	2.40	2.78	2.37
0+015.00	2.63	2.24	2.60	2.21
0+020.00	2.01	1.68	1.97	1.64
0+025.00	1.49	1.24	1.45	1.20
0+029.50	1.26	1.05	1.22	1.01
0+035.00	1.63	1.38	1.59	1.34
0+040.00	1.49	1.24	1.45	1.20
Promedio		**1.30**		**1.26**

Tabla 1-48. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 3

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+005.00	1.53	1.15	1.53	1.15
0+010.00	1.53	1.16	1.53	1.16
0+015.00	1.91	1.46	1.92	1.47

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+020.00	1.87	1.41	1.88	1.42
0+025.00	1.69	1.26	1.69	1.26
0+030.00	2.71	2.15	2.74	2.18
0+032.36	3.21	2.57	3.26	2.62
0+035.00	3.23	2.64	3.28	2.69
0+040.00	1.96	1.56	1.96	1.56
Promedio		**1.33**		**1.34**

Tabla 1-49. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 3.1

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+000.00	0.03	0.00	0.03	0.00
0+005.00	0.07	0.03	0.06	0.02
0+010.00	0.08	0.03	0.08	0.03
0+012.44	0.04	0.01	0.04	0.01
0+015.00	0.05	0.03	0.04	0.02
0+020.00	0.02	0.00	0.02	0.00
0+025.00	0.06	0.01	0.06	0.01
Promedio		**0.02**		**0.02**

Tabla 1-50. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 4

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+010.00	2.35	1.79	2.57	2.01
0+020.06	1.90	1.47	2.07	1.64
0+023.67	2.24	1.78	2.45	1.99
0+025.00	2.66	2.03	2.91	2.28

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+030.00	3.04	2.40	3.34	2.70
0+040.00	2.81	2.31	3.08	2.58
0+050.00	2.82	2.28	3.10	2.56
0+060.00	3.01	2.30	3.31	2.60
0+070.00	4.39	3.62	4.87	4.10
0+074.45	5.65	4.54	6.32	5.21
Promedio		**2.05**		**2.30**

Tabla 1-51. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 5

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+000.0	3.60	2.93	3.79	3.12
0+005.00	2.04	1.64	2.11	1.71
0+011.00	1.17	0.95	1.18	0.96
0+013.29	1.40	1.15	1.42	1.17
0+015.00	1.77	1.47	1.82	1.52
0+020.00	2.35	1.97	2.44	2.06
0+025.00	2.23	1.92	2.30	1.99
0+035.00	3.57	3.02	3.75	3.20
0+040.00	3.44	2.89	3.61	3.06
Promedio		**1.63**		**1.69**

Tabla 1-52. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 6

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+000.0	2.38	1.66	2.58	1.86
0+005.00	2.09	1.45	2.26	1.62
0+012.04	2.39	1.64	2.59	1.84

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+015.80	2.09	1.46	2.26	1.63
0+020.00	3.02	1.88	3.30	2.16
0+025.00	3.63	2.43	3.98	2.78
0+030.00	2.36	1.71	2.56	1.91
0+035.00	2.80	1.94	3.05	2.19
0+040.00	3.21	2.19	3.51	2.49
Promedio		**1.68**		**1.88**

Tabla 1-53. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 6.1

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+000.00	0.15	0.06	0.15	0.06
0+005.00	0.19	0.09	0.19	0.09
0+010.00	0.34	0.12	0.34	0.12
0+015.00	0.39	0.27	0.39	0.27
0+020.00	0.29	0.15	0.28	0.14
0+025.00	0.37	0.24	0.36	0.23
0+030.00	0.49	0.29	0.49	0.29
Promedio		0.21		0.21

Tabla 1-54. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 6.2

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+000.00	0.59	0.39	0.60	0.40
0+005.00	0.59	0.39	0.60	0.40
0+010.00	0.63	0.40	0.64	0.41
0+014.06	0.74	0.52	0.76	0.54

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+016.93	0.46	0.26	0.47	0.27
0+020.00	0.35	0.19	0.35	0.19
0+025.00	0.25	0.13	0.25	0.13
0+030.00	0.18	0.02	0.18	0.02
Promedio		**0.31**		**0.32**

Tabla 1-55. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 7

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+000.0	1.50	1.11	1.55	1.16
0+005.00	1.79	1.31	1.87	1.39
0+010.00	1.76	1.29	1.84	1.37
0+015.0	1.78	1.30	1.85	1.37
0+020.00	1.71	1.26	1.78	1.33
0+025.00	2.10	1.57	2.19	1.66
0+028.13	1.99	1.51	2.08	1.60
0+030.61	2.12	1.60	2.22	1.70
0+035.00	2.07	1.56	2.17	1.66
0+040.00	2.07	1.62	2.16	1.71
0+045.00	2.15	1.69	2.26	1.80
0+049.37	2.02	1.60	2.11	1.69
Promedio		**1.44**		**1.51**

Tabla 1-56. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. Sin Nombre 8

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+000.0	1.47	1.11	1.60	1.24

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+008.00	1.14	0.65	1.23	0.74
0+016.00	1.37	0.98	1.48	1.09
0+024.00	1.78	1.18	1.93	1.33
0+028.00	1.49	0.98	1.62	1.11
0+041.00	1.05	0.65	1.13	0.73
0+048.00	1.36	0.88	1.47	0.99
0+056.00	1.53	1.08	1.66	1.21
0+064.00	1.92	1.44	2.10	1.62
0+072.00	2.13	1.68	2.33	1.88
0+080.00	3.85	2.78	4.28	3.21
Promedio		**1.06**		**1.19**

Tabla 1-57. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. vía casa de máquinas.

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+010.00	0.28	0.14	0.25	0.11
0+020.00	0.44	0.23	0.40	0.19
0+030.00	0.37	0.23	0.32	0.18
0+036.47	0.37	0.19	0.32	0.14
0+042.79	0.27	0.12	0.24	0.09
0+050.00	0.24	0.10	0.21	0.07
0+060.00	0.29	0.16	0.25	0.12
0+070.00	0.27	0.12	0.24	0.09
Promedio		**0.19**		**0.16**

Tabla 1-58. Resultados de la socavación para un tramo de la Q. vía existente a casa de máquinas.

Sección	Método Lischtvan – Lebediev		Método de Maza Alvarez	
	Ys	Socavación	Ys	Socavación
0+000.00	3.09	1.77	3.15	1.83
0+005.00	3.38	2.13	3.45	2.20
0+010.00	3.85	2.60	3.95	2.70
0+015.00	3.39	2.32	3.46	2.39
0+020.00	4.00	2.59	4.10	2.69
0+025.00	4.23	2.74	4.36	2.87
0+029.28	4.02	2.69	4.12	2.79
0+034.14	3.48	2.36	3.56	2.44
0+040.00	3.47	2.34	3.54	2.41
0+045.00	3.31	2.29	3.38	2.36
0+50.00	3.93	2.70	4.04	2.81
0+055.00	3.73	2.56	3.83	2.66
0+060.00	5.19	3.47	5.37	3.65
Promedio		**2.49**		**2.55**

1.4.5 Resumen de los resultados de la profundidad de Socavación

Para hallar finalmente el resultado de la altura de socavación, se halló el promedio aritmético de los resultados arrojados por el método Lischtvan – Lebediev y el método Maza Álvarez.

Tabla 1-59. Resumen de la profundidad de socavación para las quebradas sin nombre aferentes a la línea de presión y las vías de acceso

FUENTE	MÉTODO LISCHTVAN	MÉTODO MAZA ÁLVAREZ	PROMEDIO
Q. vía captación	0.39	0.42	**0.41**
Q. sin nombre 1	0.33	0.25	**0.29**

FUENTE	MÉTODO LISCHTVAN	MÉTODO MAZA ÁLVAREZ	PROMEDIO
Q. sin nombre 1.1	0.29	0.32	**0.31**
Q. sin nombre 2	1.34	1.3	**1.32**
Q. sin nombre 2.1	1.3	1.26	**1.28**
Q. sin nombre 3	1.33	1.34	**1.33**
Q. sin nombre 3.1	0.02	0.02	**0.02**
Q. sin nombre 4	2.05	2.3	**2.17**
Q. sin nombre 5	1.63	1.69	**1.66**
Q. sin nombre 6	1.68	1.88	**1.78**
Q. sin nombre 6.1	0.21	0.21	**0.21**
Q. sin nombre 6.2	0.31	0.32	**0.32**
Q. sin nombre 7	1.44	1.51	**1.48**
Q. sin nombre 8	1.06	1.19	**1.13**
Q. vía casade máquinas	0.19	0.16	**0.18**
Q. vía existente a casa de máquinas	2.49	2.55	**2.52**

1.5 Conclusiones

Del estudio Hidráulico se puede concluir:

Tabla 1-60. Resumen de velovidades y número de froude de las modelaciones a implementar

FUENTE	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad mínima (m/s)	Número de Froude máximo	Número de Froude mínimo
Q. vía captación	5.89	3.92	6.07	4.22
Q. sin nombre 1	4.53	0.8	2.68	1.82
Q. sin nombre 1.1	5.02	4.01	4.93	3.38
Q. sin nombre 2	7.05	1.59	4.68	0.99
Q. sin nombre 2.1	10.28	4.71	7.73	4.4
Q. sin nombre 3	10.76	4.77	5.41	3.19
Q. sin nombre 3.1	2.11	0.53	6.31	1.02
Q. sin nombre 4	12.57	6.74	7.12	4.12
Q. sin nombre 5	10.7	4.93	7.83	4.11
Q. sin nombre 6	7.42	2.93	3.27	1.47
Q. sin nombre 6.1	2.81	1.02	3.06	1.38
Q. sin nombre 6.2	5.17	1.81	4.14	1.04
Q. sin nombre 7	9.06	5.15	4.86	3.11
Q. sin nombre 8	11.25	2.1	5.29	1.02
Q. vía casa de máquinas	2.44	1.49	2.17	1.29
Q. vía existente a casa de máquinas	7.01	5.12	2.29	1.43

- Los valores de velocidad máxima y mínima registrados por el software en los tramos de las quebradas, de acuerdo al manual de drenaje INVIAS, la velocidad máxima y mínima generan procesos de erosión y socavación.

- En general, los valores que predominan para el número de Froude presentados, son mayores a la unidad (1), por tanto, el flujo es supercrítico, las ondas de perturbación se propagan hacia aguas abajo exclusivamente, lo que implica que el flujo tiene control aguas arriba (INVIAS, 2009).

- La llanura de inundación a implementar en las quebradas en estudio no afecta el trazado de la línea de presión ni vías de acceso.

Del estudio de socavación se puede concluir:

La profundidad de socavación para las quebradas aferentes a la línea de presión y vías de acceso y para un periodo de retorno de 100 años, se tomó como el promedio de las metodologías utilizadas Lischtvan – Lebediev Y Maza Álvarez. (Ver **Tabla 1-59**).

1.6 Bibliografia

1 CHOW, Ven Te. Hidráulica de los canales abiertos. México: Editorial Diana, 1983. ISBN: 968-13-1327-5.

2 U.S. Army Corps of Engineers – USACE. HEC-RAS v4.1 [Programa de computador]. [https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/download.aspx]

3 FRENCH, Richard H. Hidráulica de canales abiertos. México: McGraw - Hill, 1988.

4 SOTELO ÁVILA, Gilberto. Hidráulica General. México: Editorial Limusa, 1982. ISBN: 968-18-0503-8.

5 CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R.; MAYS, Larry W. Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá: McGraw - Hill, 1994. ISBN: 958-600-171-7.

6 SUÁREZ, Jaime. Control de Erosión en Zonas Tropicales. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2001. ISBN: 958-33-2734-4.

7 COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de drenaje para carreteras. Bogotá: Instituto Nacional de Vías - INVIAS, 2009.