



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE CAUDAL Y COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DEL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL ÓVALO 01 AL 11 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”

AUTOR: ROMERO CÓRDOVA FÉLIX SEBASTIÁN

TUTOR: Ing. Mg. MALDONADO NARVÁEZ LENIN RAFAEL

AMBATO – ECUADOR

2019

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Lenin Maldonado certifico que el presente Informe Final del Trabajo Experimental previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil sobre el tema:

“ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE CAUDAL Y COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DEL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL ÓVALO 01 AL 11 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”, realizado por el Sr. Félix Sebastián Romero Córdova, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita.

Ambato, Julio 2019




Ing. Lenin Rafael Maldonado Narváez

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADO

Yo, Félix Sebastián Romero Córdova, C.I. 050292572-0 Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo experimental con el tema: **“ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE CAUDAL Y COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DEL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL ÓVALO 01 AL 11 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”**, es de mi completa autoría, a excepción de las citas, cuadros y gráficos de origen bibliográfico.

Ambato, Julio 2019



ROMERO CÓRDOVA FÉLIX SEBASTIÁN


AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que haga de este trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación según las normas de la institución.

Cedo los derechos de la línea patrimonial de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental dentro de las regulaciones de la Universidad siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Julio 2019



.....

ROMERO CÓRDOVA FÉLIX SEBASTIÁN

AUTOR

APROBACIÓN DE TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE CAUDAL Y COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DEL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL ÓVALO 01 AL 11 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”, realizado por Félix Sebastián Romero Córdova , egresado de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:



Ing. Mg. Geovanny Anibal Paredes Cabezas

DOCENTE CALIFICADOR



Ing. Mg. Andrés Sebastián Hidalgo Velasteguí

DOCENTE CALIFICADOR

Ambato, Julio 2019

Índice

Índice.....	vi
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
Tema.....	1
Antecedentes.....	1
Justificación.....	2
Fundamentación teórica.....	3
1.4.1 Hidráulica.....	3
1.4.2 Canales abiertos.....	3
1.4.3 Clasificación de canales.....	4
1.4.4 Elementos geométricos de los canales.....	5
1.4.5 Distribución de velocidades.....	7
1.4.6 Método de aforo para canales.....	9
1.4.7 Caudal parcial.....	13
1.4.8 Caudal total.....	14
1.4.9 Estados de flujo.....	14
1.4.10 Regímenes de flujo.....	17
1.4.11 Número de Reynolds.....	17
1.4.12 Número de Froude.....	18
1.4.13 Energía específica.....	20
1.4.14 Ecuación de Chezy.....	21
1.4.15 Ecuación de Manning.....	22
1.4.16 Coeficiente de rugosidad de Manning.....	22
1.4.17 Pérdidas volumétricas.....	24
1.4.18 Dimensionalidad de modelos numéricos.....	25
1.4.19 Ecuación de energía.....	28
1.4.20 Ecuación de la continuidad.....	28
1.4.21 Ecuación de la cantidad de movimiento.....	30
1.4.22 Ecuación de Saint Venant.....	31
Hipótesis.....	33

1.5.1	Hipótesis Alternativa.....	33
1.5.2	Hipótesis Nula.....	33
1.6.	Objetivos	33
1.6.1	Objetivo general	33
1.6.2	Objetivos específicos	33
CAPÍTULO II		34
2. METODOLOGÍA		34
2.1.	Materiales y equipos	34
2.2	Descripción de materiales y equipos.....	34
2.2.1	Estación total.....	34
2.2.2	El GPS diferencial.....	35
2.2.3	Molinete	36
2.2.4	Software HEC-RAS	36
2.2.5	AutoCAD Civil3D	37
2.3	Métodos.....	37
2.4.	Plan de recolección de datos	38
2.4.1	Recolección de datos topográficos.....	38
2.4.2	Recolección de velocidades	39
2.5.	Plan de procesamiento y análisis de información.	41
CAPÍTULO III.....		43
3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		43
3.1.	Medición de velocidades y determinación de caudales	43
3.2.	Coeficiente de Manning	48
3.3.	Discusión de resultados velocidades y caudales	71
3.4.	Discusión coeficiente de rugosidad de Manning	72
3.5.	Resultados de pérdidas de caudal por métodos prácticos	73
3.6.	Discusión pérdidas volumétricas	86
3.7.	Resultados de pérdidas de caudal teórica.....	86
3.8.	Discusión de pérdidas calculadas VS teóricas	93
3.9.	Modelación en el software Hec-ras 4.1.0.....	94
3.10.	Calibración Hec-Ras 4.1.0	94
3.11.	Simulación del escenario 1.....	104

3.12. Interpretación de resultados escenario 1	111
3.13. Simulación del escenario 2.....	112
3.14. Interpretación de resultados:	119
3.15. Simulación del escenario 3.....	120
3.16. Perfil longitudinal	127
3.17. Simulación del escenario 4.....	128
3.18. Perfil longitudinal	135
3.19. Simulación del escenario 5.....	135
3.20. Perfil longitudinal	143
3.21. Simulación del escenario 6.....	143
3.22. Perfil longitudinal	151
3.23. Verificación de la hipótesis.....	152
CAPÍTULO IV	153
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	153
4.1. Conclusiones	153
3.2. Recomendaciones	153
Bibliografía	155
Anexos Fotográficos	158

Índice de figuras

Figura 1 Canal natural.....	4
Figura 2. Canal artificial	5
Figura 3. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal trapezoidal.....	6
Figura 4. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal trapezoidal.....	7
Figura 5. Distribución de velocidades en sección transversal	8
Figura 6. Distribución de velocidades sobre una vertical en la sección del canal	9
Figura 7. Ancho de franja para método1, método2.....	11
Figura 8. Términos de la ecuación de profundidad media para el método 1.	12
Figura 9. Términos de la ecuación de profundidad media para el método 2.	13
Figura 10. Estado de flujo uniforme permanente.....	15
Figura 11. Estado de flujo uniforme no permanente.....	16
Figura 12. Flujo gradualmente variado	16
Figura 13. Flujo rápidamente variado	17
Figura 14. Curva de energía específica	20
Figura 15. Pérdidas del canal de Riego.....	24
Figura 16. Modelo unidimensional.	26
Figura 17. Modelo bidimensional	27
Figura 18. Modelo tridimensional.....	27
Figura 19. Ecuación de la continuidad.....	29
Figura 20. Ecuación de la cantidad de movimiento	30
Figura 21. Estación total modelo Trimble M3	35
Figura 22. GPS diferencial marca Trimble R10 modelo GNSS	35
Figura 23. Molinete modelo DMM-4000	36
Figura 24. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 1 por el método 1	49
Figura 25. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 1 por el método 1..	50
Figura 26. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 1 por el método 2.....	50
Figura 27. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 1 por el método 2..	51
Figura 28. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 2 por el método 1	52
Figura 29. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 2 por el método 1..	52
Figura 30. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 2 por el método 2.....	53
Figura 31. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 2 por el método 2..	54
Figura 32. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 3 por el método 1	55
Figura 33. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 3 por el método 1..	56
Figura 34. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 3 por el método 2.....	56
Figura 35. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 3 por el método 2..	57
Figura 36. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 4 por el método 1	58
Figura 37. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 4 por el método 1..	58
Figura 38. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 4 por el método 2.....	59

Figura 39. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 4 por el método 2..	60
Figura 40. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 5 por el método 1.....	61
Figura 41. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 5 por el método 1..	62
Figura 42. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 5 por el método 2.....	63
Figura 43. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 5 por el método 2..	64
Figura 44. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 6 por el método 1.....	65
Figura 45. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 6 por el método 1..	65
Figura 46. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 6 por el método 2.....	66
Figura 47. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 6 por el método 2..	67
Figura 48. Caudal vs Coeficiente de rugosidad en el método 1.....	67
Figura 49. Caudal vs Coeficiente de rugosidad en el método 2.....	68
Figura 50. Coeficiente de rugosidad VS longitud con método1 y método 2.....	71
Figura 51. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 1 por el método 1.....	74
Figura 52. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 1 por el método 2.....	75
Figura 53. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 2 por el método 1.....	76
Figura 54. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 2 por el método 2.....	76
Figura 55. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 3 por el método 1.....	77
Figura 56. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 3 por el método 2.....	78
Figura 57. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 4 por el método 1.....	79
Figura 58. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 4 por el método 2.....	80
Figura 59. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 5 por el método 1.....	81
Figura 60. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 5 por el método 2.....	81
Figura 61. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 6 por el método 1.....	82
Figura 62. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 6 por el método 2.....	83
Figura 63. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 1.....	84
Figura 64. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 2.....	85
Figura 65. Perdidas volumétricas vs longitud del método 1 y método 2.....	85
Figura 66. Pérdidas volumétricas VS longitud por el método1, método2, método de Uginchos.....	93
Figura 67. Vista en planta modelo HEC-RAS del tramo 1 abscisa 0+000-1+000 del escenario 1.....	98
Figura 68. Vista en planta modelo HEC-RAS del tramo 2 abscisa 0+020-1+000 del escenario 2.....	99
Figura 69. Vista en planta modelo HEC-RAS del tramo 3 abscisa 0+020-1+000 del escenario 3.....	100
Figura 70. Vista en planta modelo HEC-RAS del tramo 4 abscisa 0+020-0+500 del escenario 4.....	101
Figura 71. Vista en planta modelo HEC-RAS del tramo 5 abscisa 0+020-0+750 del escenario 5.....	102
Figura 72. Vista en planta modelo HEC-RAS del tramo 6 abscisa 0+020-0+750 del escenario 6.....	103
Figura 73. Perfil Longitudinal Escenario 1.....	105

Figura 74. Sección transversal abscisa 0+020	106
Figura 75. Sección transversal abscisa 1+000	107
Figura 76. Curva de descarga Elevación vs Caudal.....	108
Figura 77. Perfil longitudinal Velocidad vs Long y Número Froude vs Long	109
Figura 78. Perfil longitudinal coeficiente de Manning vs Longitud	110
Figura 79. Perfil Longitudinal Escenario 2.....	113
Figura 80. Sección transversal abscisa 0+020	114
Figura 81. Sección transversal abscisa 1+000	115
Figura 82. Curva de descarga Elevación vs Caudal.....	116
Figura 83. Perfil longitudinal Velocidad vs Long y Número Froude vs Long	117
Figura 84. Perfil longitudinal coeficiente de Manning vs Longitud	118
Figura 85. Perfil Longitudinal Escenario 3.....	121
Figura 86. Sección transversal abscisa 0+020	122
Figura 87. Sección transversal abscisa 1+000	123
Figura 88. Curva de descarga Elevación vs Caudal.....	124
Figura 89. Perfil longitudinal Velocidad vs Long y Número Froude vs Long	125
Figura 90. Perfil longitudinal coeficiente de Manning vs Longitud	126
Figura 91. Perfil Longitudinal Escenario 4.....	129
Figura 92. Sección transversal abscisa 0+020	130
Figura 93. Sección transversal abscisa 0+750	131
Figura 94. Curva de descarga Elevación vs Caudal.....	132
Figura 95. Perfil longitudinal Velocidad vs Long y Número Froude vs Long	133
Figura 96. Perfil longitudinal coeficiente de Manning vs Longitud	134
Figura 97. Perfil Longitudinal Escenario 5.....	137
Figura 98. Sección transversal abscisa 0+020	138
Figura 99. Sección transversal abscisa 0+750	139
Figura 100. Curva de descarga Elevación vs Caudal.....	140
Figura 101. Perfil longitudinal Velocidad vs Long y Número Froude vs Long	141
Figura 102. Perfil longitudinal coeficiente de Manning vs Longitud	142
Figura 103. Perfil Longitudinal Escenario 6.....	145
Figura 104. Sección transversal abscisa 0+020	146
Figura 105. Sección transversal abscisa 0+750	147
Figura 106. Curva de descarga Elevación vs Caudal.....	148
Figura 107. Perfil longitudinal Velocidad vs Long y Número Froude vs Long	149
Figura 108. Perfil longitudinal coeficiente de Manning vs Longitud	150

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coeficiente de Manning	23
Tabla 2 Franjas del canal.....	39
Tabla 3 Matriz de recolección de velocidades in situ	40
Tabla 4 Datos de velocidades y caudal en el escenario 1.....	43
Tabla 5 Datos de velocidades y caudal en el escenario 2.....	44
Tabla 6 Datos de velocidades y caudal en el escenario 3.....	45
Tabla 7 Datos de velocidades y caudal en el escenario 4.....	46
Tabla 8 Datos de velocidades y caudal en el escenario 5.....	46
Tabla 9 Datos de velocidades y caudal en el escenario 6.....	47
Tabla 10 Datos coeficiente de rugosidad en el escenario 1.....	48
Tabla 11 Datos coeficiente de rugosidad en el escenario 2.....	51
Tabla 12 Datos coeficiente de rugosidad en el escenario 3.....	54
Tabla 13 Datos coeficiente de rugosidad en el escenario 4.....	57
Tabla 14 Datos coeficiente de rugosidad en el escenario 5.....	60
Tabla 15 Datos coeficiente de rugosidad en el escenario 6.....	64
Tabla 16. Coeficientes de Manning y su material de recubrimiento en el método 1	69
Tabla 17 Coeficientes de Manning y su material de recubrimiento en el método 2	70
Tabla 18 Pérdidas volumétricas en el escenario 1.....	74
Tabla 19 Pérdidas volumétricas en el escenario 2.....	75
Tabla 20 Pérdidas volumétricas en el escenario 3.....	77
Tabla 21 Pérdidas de caudal en el escenario 4	78
Tabla 22 Pérdidas de caudal en el escenario 5	80
Tabla 23 Pérdidas de caudal en el escenario 6	82
Tabla 24 Pérdidas de caudal por método de Uginchus en el escenario 1.....	87
Tabla 25 Pérdidas de caudal por método de Uginchus en el escenario 2.....	87
Tabla 26 Pérdidas de caudal por método de Uginchus en el escenario 3.....	88
Tabla 27 Pérdidas de caudal por método de Uginchus en el escenario 4.....	88
Tabla 28 Pérdidas de caudal por método de Uginchus en el escenario 5.....	89
Tabla 29 Pérdidas de caudal por método de Uginchus en el escenario 6.....	89
Tabla 30 Comparativa entre las pérdidas de caudal en el escenario 1	90
Tabla 31 Comparativa entre las pérdidas de caudal en el escenario 2	90
Tabla 32 Comparativa entre las pérdidas de caudal en el escenario 3	91
Tabla 33 Comparativa entre las pérdidas de caudal en el escenario 4	91
Tabla 34 Comparativa entre las pérdidas de caudal en el escenario 5	92
Tabla 35 Comparativa entre las pérdidas de caudal en el escenario 6	92
Tabla 36 Comparación de velocidad media en el escenario 1	94
Tabla 37 Comparación de velocidad media en el escenario 2	95
Tabla 38 Comparación de velocidad media en el escenario 3	95

Tabla 39 Comparación de velocidad media en el escenario 496
Tabla 40 Comparación de velocidad media en el escenario 596
Tabla 41 Comparación de velocidad media en el escenario 697

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

“Estimación de Pérdidas de Caudal y Coeficiente de Rugosidad del tramo comprendido entre del Óvalo 01 al 11 del Canal de Riego Ambato - Huachi - Pelileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.”

RESUMEN

El presente proyecto tiene la finalidad de estimar las pérdidas de Caudal y Coeficiente de Rugosidad del tramo comprendido entre el Óvalo 01 al 11 del Canal de Riego Ambato - Huachi - Pelileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

Este trabajo experimental inició con la obtención de la topografía del lugar de estudio, la determinación de velocidades puntuales y el caudal que circula a través del canal en estudio, la realización de cálculos matemáticos para la obtención de las pérdidas volumétricas y el coeficiente de rugosidad en el canal, finalmente la modelación numérica con ayuda del software HEC-RAS.

Los datos topográficos se recolectaron con ayuda de la estación total modelo Trimble M3. Las velocidades puntuales se las determinó con ayuda del molinete modelo DMM-4000, estas fueron determinadas cada 250 metros procurando que dicho punto no esté ubicado en alguna curvatura del canal, posteriormente con ayuda de varios procesos matemáticos determinamos las pérdidas de caudal existentes en el canal y el coeficiente de rugosidad suscitado en este.

Además, se realizó una modelación numérica en el software HeCRAS para estimar el comportamiento hidráulico de éste bajo diferentes escenarios de funcionamiento.

Se obtuvo como resultados un valor de pérdida volumétrica de $0.045 \frac{m^3}{s}$ superior al valor mínimo referenciado en el método teórico de Uginchos y un valor promedio de 0.017 para el coeficiente de rugosidad equivalente a un recubrimiento de hormigón, según Robert Manning.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO

FACULTY OF HEALTH SCIENCES

CAREER OF INGENIERIA CIVIL

SUMMARY

This technical project has the purpose of estimating the losses of Flow and Coefficient of Roughness of the section included between Oval 01 to 11 of the Irrigation Canal Ambato - Huachi - Pelileo, Canton Ambato, Province of Tungurahua.

The purpose of this project is to estimate the losses of the Flow and Coefficient of Roughness of the section between Oval 01 to 11 of the Ambato - Huachi - Pelileo Irrigation Canal, Cantón Ambato, Tungurahua Province.

This experimental work began with the obtaining of the topography of the place of study, the determination of specific velocities and the flow that circulates through the channel under study, the realization of mathematical calculations to obtain the volumetric losses and the coefficient of roughness in the channel, finally the numerical modeling with the help of the HEC-RAS software.

Topographic data were collected with the help of the Trimble M3 model total station. The specific speeds were determined with the help of the DMM-4000 model windlass, these were determined every 250 meters ensuring that said point is not located in any curvature of the channel, then with the help of several mathematical processes we determine the flow losses existing in the channel and the roughness coefficient raised in this.

In addition, a numerical modeling was performed in the HeCRAS software to estimate its hydraulic behavior under different operating scenarios.

The results obtained a volumetric loss value of $0.045 \text{ m}^3 / \text{s}$ higher than the minimum value referenced in the Uginchos method and an average value of 0.017 for the roughness coefficient equivalent to a concrete coating, according to Robert Manning.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

Tema

“ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE CAUDAL Y COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DEL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE DEL ÓVALO 01 AL 11 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”

Antecedentes

Las técnicas de cultivo han hecho uso del agua para regadío desde la época prehispánica al producirse la conquista española estos traen nuevas técnicas de cultivo acompañado de tecnología, entre estas se encuentran los medios de distribución como son los canales. En la época republicana el Ecuador inicia el manejo de recurso hídrico con fines agrícolas [1].

Los canales revestidos se han convertido en el principal medio físico para la conducción de las aguas y que estas puedan cumplir los requerimientos de la población, para esto se ha ido desarrollando los tipos de recubrimientos y así optimizar el recurso hídrico y disminuir las pérdidas del fluido [2].

El canal de riego Ambato- Huachi- Pelileo fue inaugurado en diciembre de año 1990. La bocatoma proviene de la microcuenca río Ambato y se encuentra en la parroquia Pilahuin del cantón Ambato a 2952 msnm., y entró en operación en el año 1991, este canal se encuentra construido con un revestimiento de hormigón, tiene una capacidad de $4 m^3$, pero el caudal mínimo y máximo captado es de $2 m^3$ y $2,60 m^3$ respectivamente, aún más en estiaje, se reduce dramáticamente hasta $1,40m^3$ y $1,80m^3$ siendo los meses de septiembre y noviembre el mayor déficit de agua causando grandes problemas al agricultor [3]. Desde sus inicios el canal ha sido usado únicamente con el propósito de consumo de agua, dejando de lado la utilización del recurso hídrico para otros fines.

El Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) en Davis, California, desarrolló el Sistema de Análisis de Ríos o River Analysis System (RAS) y lo dio a conocer al mercado en el año 1995 con el objetivo de realizar cálculos hidráulicos para canales naturales o artificiales demostrando ser muy confiable en sus resultados [4].

Justificación

El agua es el elemento más abundante en la Tierra, pero solo un 2,53% del total es agua dulce lo demás se presenta como agua salada. El agua dulce se encuentra repartida en los diferentes lagos, ríos y acuíferos distribuidos en el planeta se agregan aproximadamente los 8.000 kilómetros cúbicos (Km³) almacenados en embalses [5].

Por tanto, la optimización de este recurso es transcendental para la humanidad ya que por la baja cantidad con la que contamos no la podemos derrochar. La aplicación de ingeniería ha logrado que se aproveche de mejor manera el recurso con proyectos de riego y potabilización.

Existen diferentes tipos de riego, estos dependen de la fuente del agua que se disponga, su forma de almacenamiento, los sistemas de transporte, distribución, y los métodos de entrega [6].

Los sistemas de transporte se constituyen por diferentes tipos de canales y tuberías estos manejan diferentes características no solo en su sección transversal si no en su comportamiento hidráulico [7].

Los canales conducen el agua desde la captación hasta el campo, donde se realizará el adecuado uso del recurso hídrico. La principal característica de estos es que tienen una superficie libre es decir en contacto directo con la atmosfera [8].

En nuestro país los proyectos de riego se priorizan, por ser país productivo se destina un 80% del agua del país al propósito de riego.

La superficie cultivable en el Ecuador se encuentra alrededor de 10.5 millones de hectáreas, con una superficie cultivada de 2.53 millones [6].

Entre las provincias ecuatorianas con menor superficie de labor agrícola se encuentra la provincia de Tungurahua que cuenta con 92.769 hectáreas cultivadas [9].

El Sistema de Riego Ambato - Huachi -Pelileo se ubica en la provincia de Tungurahua, ciudad de Ambato, el agua que abastece el mencionado canal se capta del río Ambato, entregando agua para regadío a cerca de a 5800 hectáreas [6].

Es indispensable conocer los datos exactos sobre las pérdidas de caudal en el canal riego Ambato – Huachi – Pelileo ya que conociendo estas se puede ayudar con futuras investigaciones.

Por tal motivo, el presente proyecto servirá para estimar qué cantidad de caudal se pierde a lo largo del canal de riego y su coeficiente de rugosidad, para la futura distribución del recurso.

El estudio que se realiza es un alcance para el Proyecto de Investigación “Obtención de electricidad a través de canales de riego como fuentes energéticas.” aprobado por la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Técnica de Ambato, coordinado por el Ing. Andrés Hidalgo.

Fundamentación teórica

1.4.1 Hidráulica

La hidráulica es la aplicación del método integral de la mecánica de fluidos trata el equilibrio y el movimiento de los fluidos con aplicación a los problemas prácticos en los que interviene los fluidos incompresibles [10].

1.4.2 Canales abiertos

Los canales son conductos abiertos que transportan el agua por acción de la gravedad sin utilizar ningún tipo de presión.

El flujo en canales abiertos se da cuando un fluido circula a través de este con ayuda de la fuerza de gravedad. El líquido queda sujeto simplemente a la presión atmosférica. Este fluido se adapta a la forma del canal el cual puede ser natural o artificial [9].

1.4.3 Clasificación de canales

La clasificación de los canales se los define por su origen estos pueden o no, ser creados por la mano del hombre así tenemos canales naturales y canales artificiales [10].

Los canales naturales son aquellos originados por acción de la natural principalmente por la erosión y el escurrimiento, estos varían en sus dimensiones van desde pequeños arroyos hasta grandes ríos. Su geometría varia en toda la longitud de éste [7].

Figura 1 Canal natural



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Los canales artificiales son aquellos que ha construidos el hombre. Como son los canales de regadío, canales para hidroeléctricas, y de evacuación. Los canales artificiales tienen distintas secciones transversales comúnmente son trapezoidales y rectangulares, pero pueden tener otras secciones como triangular, circular, cuadrada. Estos dependerán del funcionamiento y mantenimiento para evitar el daño prematuro del canal [10].

Figura 2. Canal artificial



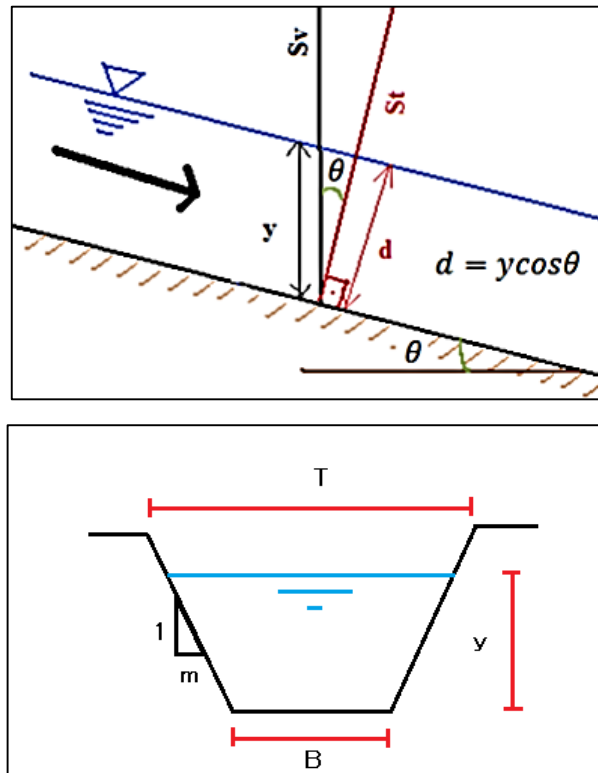
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

1.4.4 Elementos geométricos de los canales

Los canales en base a su sección transversal tiene sus propios elementos geométricos:

- Sección Vertical (S_v): tomada verticalmente a la sección del flujo.
- Sección transversal (S_t): Tomada perpendicularmente a la sección del flujo.
- Profundidad de circulación (y): Distancia entre la superficie libre del agua y el punto más bajo de la sección vertical.
- Tirante (d): Es la distancia entre la superficie y fondo del canal en un plano perpendicular a la dirección del flujo.
- Ancho de fondo (b): Ancho del canal en la parte más profunda.
- Talud (m): distancia horizontal correspondiente a una unidad vertical de altura [11].

Figura 3. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal trapezoidal



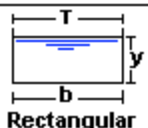

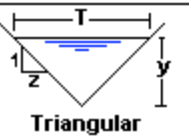
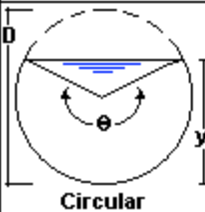

Fuente. Introducción al estudio del flujo libre - Julián David Rojo [11].

Las propiedades geométricas de la sección transversal en un canal son:

- Área Mojada (A): Área de la sección transversal del flujo por debajo de la superficie libre.
- Perímetro Mojado (P): longitud de la traza de las paredes de conducción más el ancho de fondo.
- Ancho superficial: es el ancho del canal en la zona de la superficie libre.
- Profundidad hidráulica (D): Relación entre el área mojada y el ancho superficial
- Factor de sección (Z): producto entre el área mojada y la raíz de la profundidad hidráulica [11]

En la figura 4 disponemos una tabla con las principales propiedades geométricas de diferentes secciones transversales.

Figura 4. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal trapezoidal

Tipo de sección	Área A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 <p>Rectangular</p>	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 <p>Trapezoidal</p>	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 <p>Triangular</p>	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 <p>Circular</p>	$\frac{(\theta-\text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1-\frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\text{sen}\frac{\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 <p>Parabólica</p>	$\frac{2}{3}Ty$	$T+\frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Fuente: V. T. Chow, Hidraulica de canales abiertos [12].

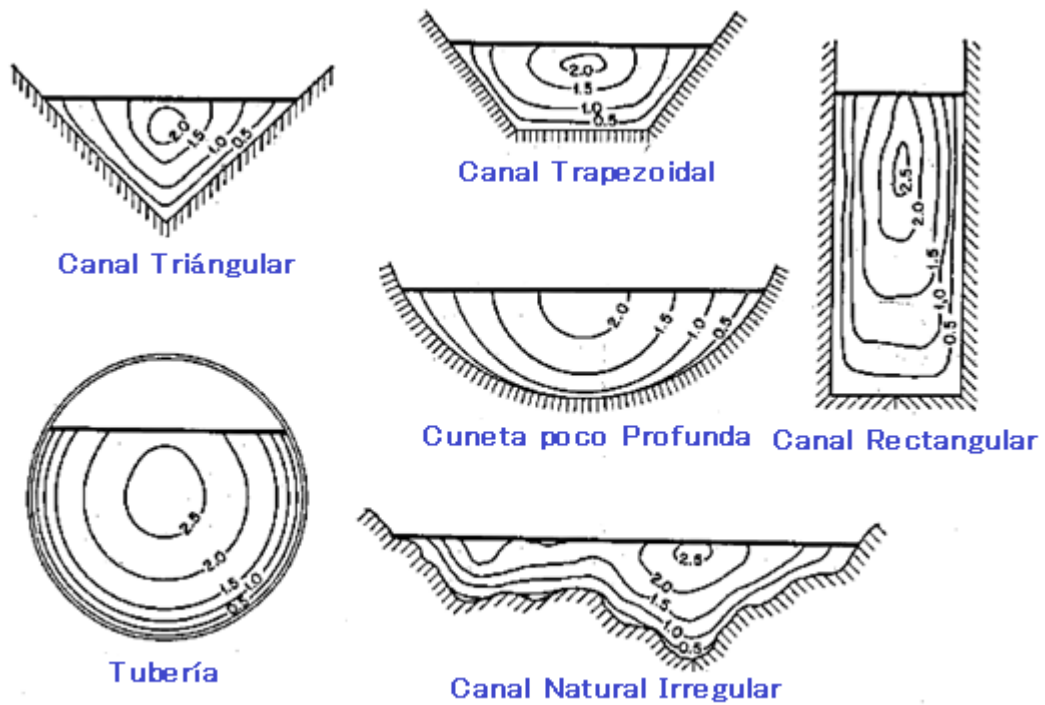
1.4.5 Distribución de velocidades

Las velocidades en un canal no llegan a ser uniformes, ya que varían por varios factores como: la rugosidad, corrientes secundarias, sección transversal y el hecho de estar en contacto con la atmosfera [12].

La velocidad se distribuye en forma longitudinal y transversal. La geometría del canal define la curva de distribución de velocidad. Si no tenemos paredes en el canal nuestra

máxima velocidad se ubicaría en la superficie del fluido, por otra parte, la presencia de paredes va a producir que la velocidad máxima se encuentre por debajo de la superficie libre. Otros factores relevantes para la distribución transversal de velocidad es la rugosidad de las paredes del canal, y la presencia de curvaturas a lo largo del canal causan variaciones en la velocidad [12]. Es por ello que las velocidades de menor magnitud se encuentran cerca de las paredes [13]. Como se puede apreciar en la figura 2.

Figura 5. Distribución de velocidades en sección transversal

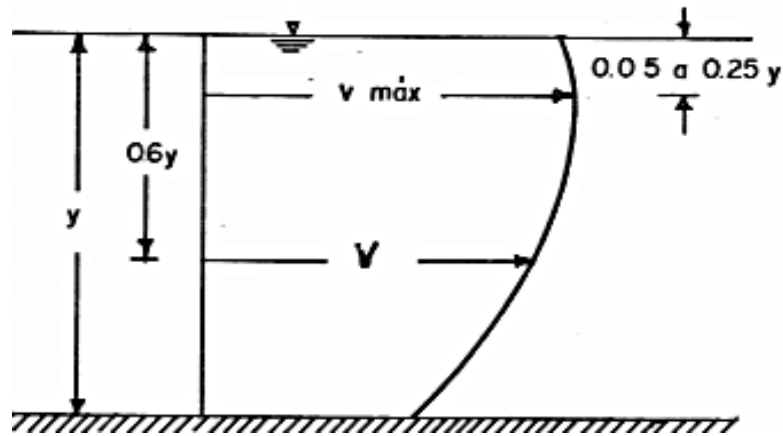


Fuente. V. T. Chow, “Hidraulica de canales abiertos” [12].

De manera longitudinal la distribución de velocidad presenta una curvatura donde se ha encontrado que esta velocidad está ubicada a 0.05 – 0.25 del tirante desde la superficie con dirección al inferior del canal [12].

La velocidad media se encuentra a 0.6 del tirante o a su vez es el promedio de entre el 0.02 y el 0.80 del tirante. La menor velocidad se encuentra en el fondo del canal por el contacto con la superficie y la rugosidad existente.

Figura 6. Distribución de velocidades sobre una vertical en la sección del canal



Fuente. Gilberto Sotelo Ávila “Apuntes de hidráulica II” [14].

1.4.6 Método de aforo para canales

Existen diferentes métodos para la determinación de los caudales en ríos y canales:

- Métodos de área y velocidad
- Métodos de relación escala gasto
- Métodos de compuertas

Dentro del método de área y velocidad tenemos el método de aforo con molinete, el cual es aplicable a todo tipo de corriente lo cual se describe a detalle a continuación.

El método está determinado básicamente por la ecuación de la continuidad teniendo así:

$$Q = A * V \quad (1)$$

Donde:

$Q = \text{Caudal o gasto } \left(\frac{m^3}{s}\right)$

$A = \text{área transversal del canal (m)}$

$V = \text{velocidad del agua } \left(\frac{m}{s}\right)$

La determinación del área se lo realiza con medio de sondas especializadas para poder obtener las profundidades en los canales las demás medias necesaria para el cálculo del área se las toma con instrumentos de medida longitudinal [14].

La velocidad se la encuentra encontrada con ayuda de un molinete basado en una hélice con aspas que se mueven por el empuje del agua de esta manera un interruptor colocado en un rotor realizan giros que generan un pulso eléctrico [8].

Los pulsos son visualizados en un contador electrónico que se encarga de recolectar las pulsaciones por cada revolución del rotor en un tiempo determinado, este nos muestra una lectura en la pantalla del computador.

Las velocidades recomendadas para el funcionamiento adecuado del molinete DMM - 4000 oscilan entre 0.1m/s y 2.5 m/s. velocidades inferiores provocarían una baja de presión en el equipo y por otra parte velocidades superiores provocarían posibles daños en el equipo por el acarreo de objetos que puedan estar dentro del flujo [15].

Este molinete por acciones de uso con el pasar del tiempo, golpes que sufre en el contacto con el agua llega a desgastarse, y además a perder su calibración. Por lo que es necesario previo a trabajar con este asegurarse que el instrumento este en óptimas condiciones para ser usado ya que de lo contrario dará lecturas erróneas.

Procedimiento para la medición:

- Selección del sitio adecuado, de preferencia tramos rectos de sección uniforme.

Con el objetivo de que las lecturas sean precisas, ya que las curvas en el canal provocan que la velocidad varíe. La sección se divide en varios tramos dependiendo las dimensiones del canal.

- En cada tramo hallar el área parcial, la cual se obtiene al multiplicar la profundidad media (profundidad del agua en el extremo de cada tramo) por su anchura.
- El área parcial se la determinará multiplicando el valor de la profundidad media de franja por el ancho de cada franja.

$$A_i = p_m * x_i \quad (2)$$

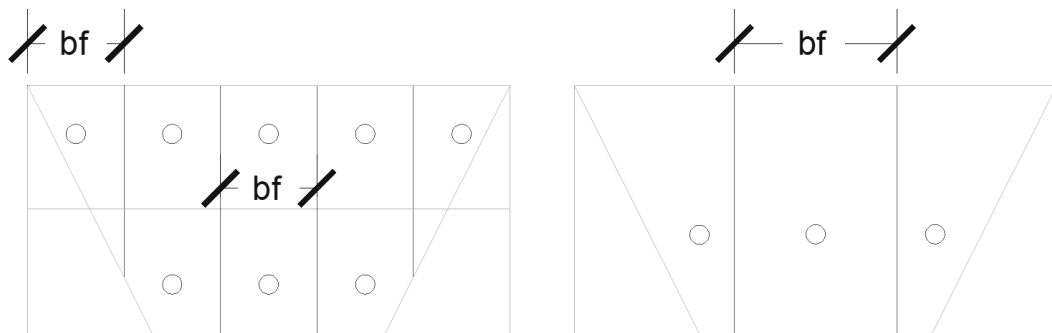
El ancho de franja, se lo determinará dividiendo el área total de la sección transversal al número de puntos donde se determinaron las velocidades promedio.

En este punto podemos determinar dos métodos para la toma de datos.

Método 1: en este método utiliza datos (V_i parcial) encontrados a una distancia de 20% y el 80% de la profundidad del canal.

Método 2: utiliza datos encontrados a una distancia profundidad del 60 % de la de la profundidad canal.

Figura 7. Ancho de franja para método1, método2.



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En canales trapezoidales el valor del ancho se lo debe obtener realizando el promedio del ancho superior y el ancho inferior.

El valor de la profundidad media que se la determina con la siguiente ecuación.

$$P_{mi} = \frac{a+2b+c}{4} \quad (3)$$

Donde:

P_{mi} = profundidad media de franja

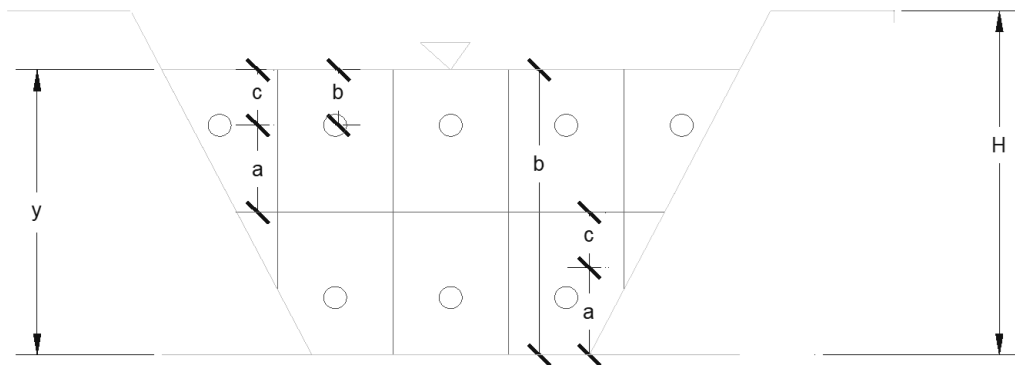
a = profundidad límite inferior

b = profundidad de la vertical sobre la que se realiza el aforo

c = profundidad límite superior

El valor de la profundidad media de cada franja se lo encontrara para el método 1, en 0.2 y 0.8, de la altura total de agua en la figura 8 se esquematiza la representación de las longitudes.

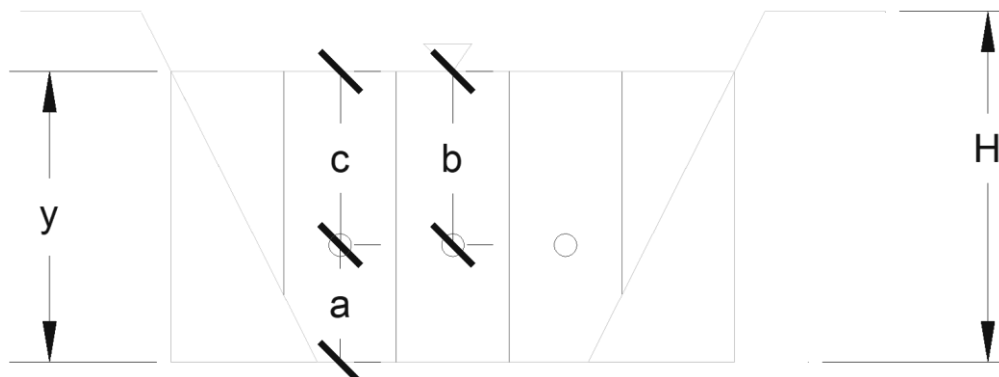
Figura 8. Términos de la ecuación de profundidad media para el método 1.



Fuente: Félix Sebastian Romero Córdoba.

De manera similar, se encuentra la profundidad media de cada franja para el método 2 en 0.6, de la altura de agua en la figura 9 se esquematiza la representación de las longitudes.

Figura 9. Términos de la ecuación de profundidad media para el método 2.



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

La velocidad se mide en el centro de cada área parcial posteriormente se multiplica el área del tramo correspondiente por la velocidad y se obtiene el caudal parcial.

1.4.7 Caudal parcial

Se lo representa (q_i) y se lo obtiene al realizar el producto de la velocidad parcial por el área parcial correspondiente a cada franja.

$$q_i = A_i * V_i \quad (4)$$

Donde:

q_i = caudal parcial

A_i = área parcial

V_i = velocidad parcial

1.4.8 Caudal total

El caudal del flujo que pasa a través de la sección transversal, es el producto entre el ancho de cada franja, la profundidad media y la velocidad parcial, posteriormente se suma los valores de gastos parciales y se obtiene el caudal total de la sección.

$$QT = \sum qi + q(i + 1) + q(i + \dots n) \quad (5)$$

Donde:

QT = caudal total

qi = caudal parcial

1.4.9 Estados de flujo

Los flujos de los canales se caracterizan principalmente por su exposición directa a la presión atmosférica, fuerzas gravitatorias y de tensión superficial. Los flujos en un canal pueden clasificarse por [16]:

- Flujos permanentes y no permanentes

Los flujos permanentes y no permanentes se rigen en función del tiempo [16]. Los flujos permanentes son aquellos que en una sección determinada del canal con respecto al tiempo permanecen constantes las características hidráulicas del canal como son su velocidad media, caudal y tirante [10].

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = 0 \quad (6)$$

Donde:

Δv = variación de velocidad media

Δt = variación del tiempo

En los flujos no permanentes las características hidráulicas de la sección del canal no permanecen constantes con respecto a la variable de tiempo [10].

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} \neq 0 \quad (7)$$

Donde:

Δv = variación de velocidad media.

Δt = variación del tiempo.

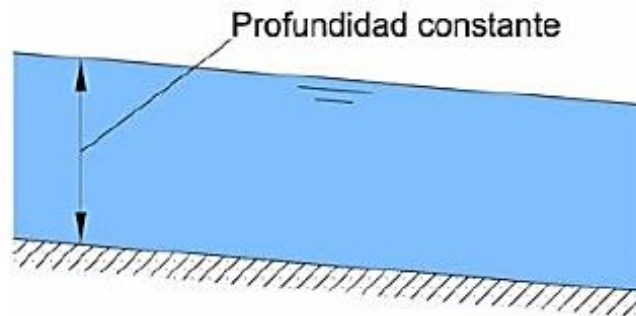
- Flujos uniformes y variados

Los flujos uniformes y variados se rigen a la utilización de un espacio determinado, dentro de los flujos uniformes tenemos: [16].

- Flujos uniformes permanentes
- Flujos uniformes no permanentes

El flujo uniforme se presenta solo en estado permanente cuando las velocidades medias permanecen constantes entre las secciones del canal [10]. Por contar con una superficie libre el tirante permanece constante [16].

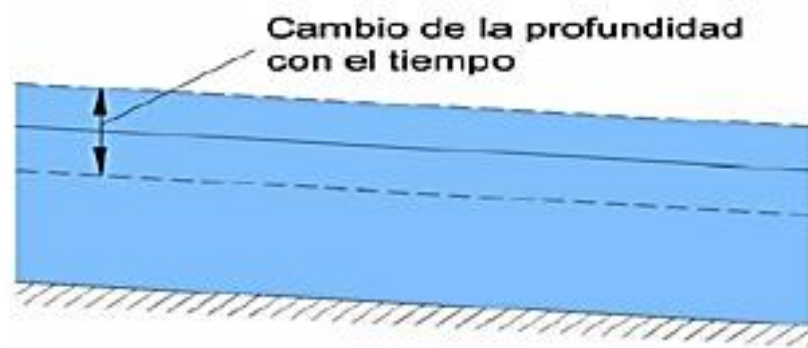
Figura 10. Estado de flujo uniforme permanente



Fuente: P. Ruiz Rodríguez “HIDRÁULICA II” [17].

Flujo no uniforme se da en un flujo no permanente, cuando la velocidad media no permanece constante con respecto a la profundidad del canal [14].

Figura 11. Estado de flujo uniforme no permanente



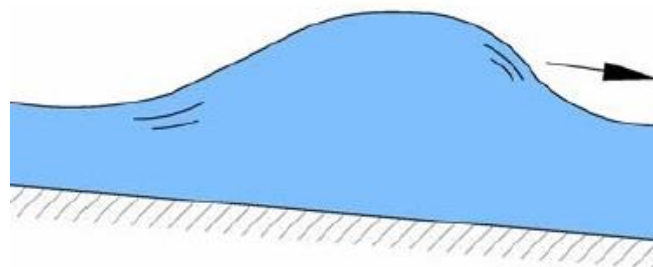
Fuente: P. Ruiz Rodríguez “HIDRÁULICA II” 2008

Flujo variado (FV) este flujo se da cuando la velocidad media va variando a lo largo del canal, de esta forma las condiciones son opuestas a un flujo uniforme. Este flujo se da en flujos permanentes y no permanentes. El flujo variado se deriva en [17]:

- Flujo gradualmente variado

Flujo gradualmente variado (FGV) se da cuando el tirante cambia gradualmente dentro del canal [16]. Este flujo se lo puede apreciar en las curvas de remanso [18].

Figura 12. Flujo gradualmente variado



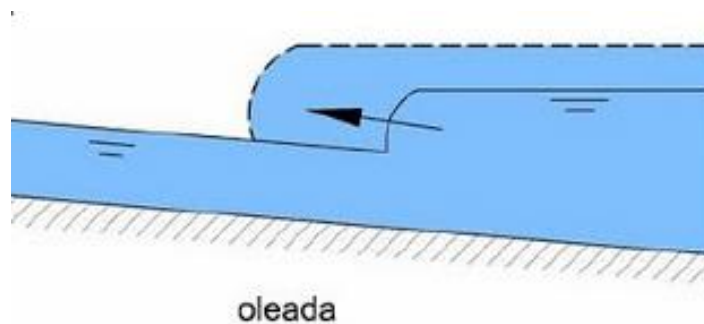
onda creciente

Fuente: P. Ruiz Rodríguez “HIDRÁULICA II” [17].

- Flujo rápidamente variado

Flujo rápidamente variado (FRV) se da cuando el tirante cambia en forma abrupta en distancias relativamente cortas. El caso más representativo puede ser el resalto hidráulico [18].

Figura 13. Flujo rápidamente variado



Fuente: P. Ruiz Rodríguez “HIDRÁULICA II” [17].

1.4.10 Regímenes de flujo

Se define por medio de la combinación de la gravedad, inercia y viscosidad. Existen varios regímenes de flujo en los canales abiertos y estos han sido determinados gracias a diferentes métodos, en los cuales se considera más importantes el número de Reynolds y el número de Froude [19].

1.4.11 Número de Reynolds

El número de Reynolds es la magnitud de un número adimensional el cual se usa si se tiene la necesidad de conocer el régimen de flujo indispensable para conocer las pérdidas de energía suscitadas en el fluido [20].

Según el número de Reynolds tenemos tres tipos de flujos que son: flujo laminar, el flujo transicional y el flujo turbulento, que se especifica en la fórmula 10.

$$RE = \frac{Vs \cdot DH}{\nu} \quad (10)$$

Donde:

RE = Número de Reynolds

Vs = Velocidad característica del fluido

DH = diámetro hidráulico

ν = viscosidad cinemática del fluido

Según el valor de número de Reynolds se puede determinar:

En el rango de 0 a 500: un flujo laminar, este es poco común y se presenta cuando predominan las fuerzas de viscosidad sobre las fuerzas de inercia [19].

En el rango de 500 a 1000: un flujo transitorio, en este se inicia a perder su estabilidad [19].

El flujo turbulento se presenta cuando la fuerza de inercia es mayor a la fuerza de viscosidad. El valor del número de Reynolds se ha establecido en un valor mayor a 4000 [19].

1.4.12 Número de Froude

El número de Froude se encarga de la medir la fuerza de inercia respecto a la fuerza de gravedad por unidad de masa. Según el número de Froude tenemos [21]:

- Flujo subcrítico
- Flujo crítico
- Flujo supercrítico.

El Número de Froude se lo define mediante la expresión matemática expresada en la fórmula 11.

$$Fr = \frac{v^2}{\sqrt{g \frac{A}{T}}} \quad (11)$$

Donde:

Fr = número de Froude

A = área hidráulica de la sección (m²)

T = ancho de la superficie libre de la sección (m)

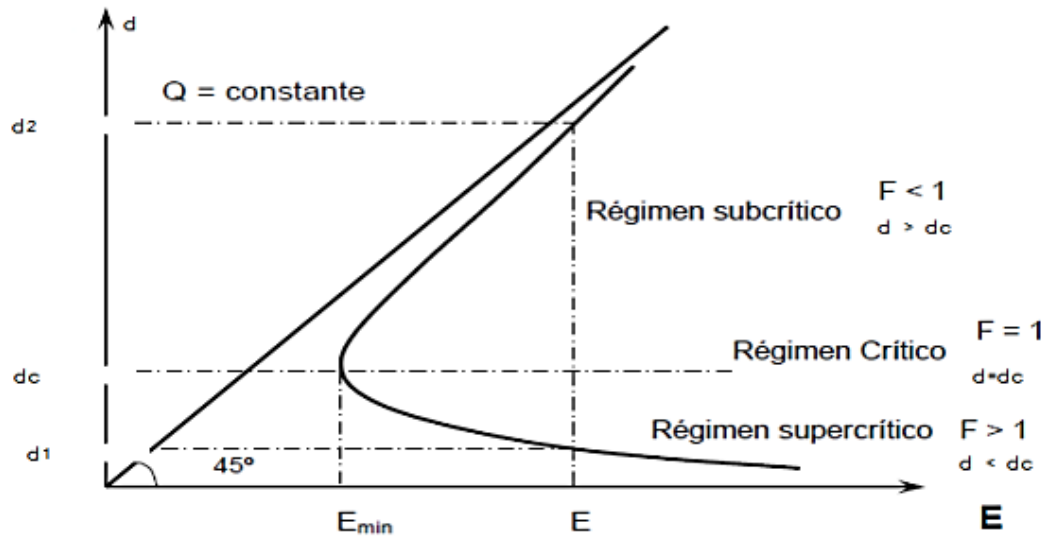
v = velocidad media en la sección (m/s)

g = aceleración de la gravedad (m/s²)

Según su valor se puede determinar:

- **Flujo subcrítico:** se da cuando la velocidad del fluido es baja y prevalece la energía potencial. El valor del número de Froude es menor a 1. Se cumple cuando la pendiente del canal es menor que la pendiente crítica (Sc) [21].
- **Flujo crítico:** presenta el punto de transición entre el régimen de flujo subcrítico a flujo supercrítico. El valor del número de Froude es igual a 1 y la energía específica es mínima en su caudal fijo su pendiente se mantiene constante con una profundidad uniforme y crítica. Este flujo llega a ser muy inestable, ya que un minúsculo cambio en la energía específica produce un cambio significativo en la profundidad, dicho cambio se puede apreciar en la curva de energía específica de la figura 14 [21].
- **Flujos supercríticos:** poseen una alta velocidad donde prevalece la energía potencial, este flujo es muy común en grandes pendientes, se cumple cuando la pendiente es mayor que la pendiente crítica y su valor del número de Froude es mayor a 1. Estos flujos se los representa en la curva de energía específica. [21].

Figura 14. Curva de energía específica



Fuente: P. Ruiz Rodríguez “HIDRÁULICA II” [17].

Donde:

d = tirante del canal (m)

d_c = tirante crítico

F = número de Froude

E = energía específica

1.4.13 Energía específica

Se la define como la cantidad de energía por unidad de peso del líquido que fluye a través del canal, medida con respecto al fondo del canal por tanto esta depende del tirante del agua. Matemáticamente se la define como la suma del tirante y la carga de velocidad [18].

$$E = d + \frac{v^2}{2g} \quad (12)$$

Donde:

d = tirante del canal (m)

v = velocidad media en la sección (m/s)

g = aceleración de la gravedad (m/s^2)

1.4.14 Ecuación de Chezy

Se la utiliza con el objetivo de encontrar la velocidad media de un fluido en canales abiertos. Esta ecuación fue encontrada por Chezy en el año 1775, por medio de experimentaciones. Se la utiliza para flujos permanentes y uniformes, donde la velocidad media y el tirante permanecen constantes, se representa esta en la fórmula 13[14].

$$V = C\sqrt{R \cdot S} \quad (13)$$

Donde:

V = velocidad media (m/s)

C = coeficiente de resistencia al flujo ($\frac{m^{1/2}}{s}$)

R = radio hidráulico (m)

S = pendiente de línea de agua

El coeficiente de resistencia al flujo se lo ha determinado en base a experimentaciones de laboratorio y en campo obteniendo la fórmula 14 [22].

$$C = \frac{1}{n} R_h^{\frac{1}{16}} \quad (14)$$

Donde:

C = coeficiente de resistencia al flujo

n = coeficiente de Manning

R_h = radio Hidráulico

1.4.15 Ecuación de Manning

El Irlandés Robert Manning en el año 1890, desarrolla una ecuación para encontrar la velocidad media basado en la rugosidad de material con el que fue construido el canal y con el radio hidráulico obteniendo la fórmula 15 [14].

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} * S^{1/2} \quad (15)$$

Donde:

V = velocidad media

n = coeficiente de rugosidad

R = radio hidráulico

S = pendiente de la línea de energía

1.4.16 Coeficiente de rugosidad de Manning

Este es un coeficiente que representa la resistencia del flujo en el canal y es un valor que no se puede determinar exactamente, es por eso que, se ha llegado a valores aproximados dadas las experimentaciones realizadas.

El coeficiente se basa en varios factores que se encuentran interrelacionados como son: rugosidad superficial, vegetación, irregularidad del canal, alineamiento del canal, sedimentación, socavación, obstrucción y forma del canal. Estos valores se representan en la tabla 1[23].

Tabla 1 Coeficiente de Manning

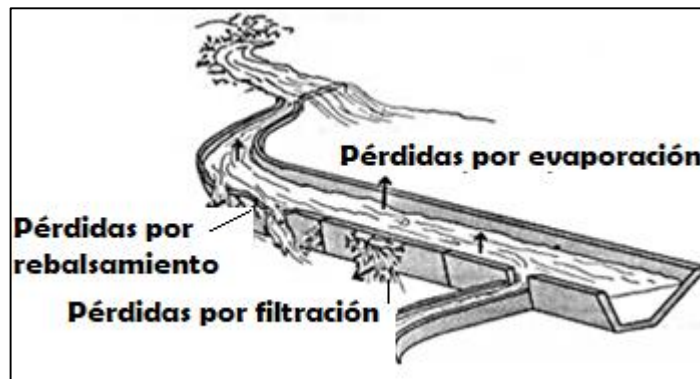
Cunetas y canales sin revestir	Coeficiente Manning
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020-0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025-0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035-0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040-0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028-0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030-0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035-0,045
Cunetas y Canales revestidos	
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
Corrientes Naturales	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,200 ¹
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Areas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,200 ¹

Fuente: Sherman, W; Chesley, P [24]

1.4.17 Pérdidas volumétricas

La pérdida de volumétricas se considera a la disminución del volumen de líquido que tenemos en un punto del canal con respecto a otro. Estas son inevitables en la conducción de fluidos, ya que los diferentes tipos de revestimientos que se han utilizado en canales abiertos no garantizan la impermeabilidad produciendo pérdidas por filtraciones en el canal, pérdidas por rebasamiento y pérdidas por evaporación de agua lo que se muestra en la figura 15 [21].

Figura 15. Pérdidas del canal de Riego



Fuente: Dirección general de infraestructura agraria y riego “Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego” [20]

Existen otro tipo de pérdidas que están sujetas a las condiciones del mantenimiento del canal, por ejemplo: pérdidas por desborde, malezas dentro del canal, bordes en mal estado [21].

Las pérdidas por evaporación son el resultado de un proceso físico produciendo que las moléculas de agua, aumenten su agitación y se dirijan a la atmosfera.

Las pérdidas por infiltraciones son producto de varios factores como son: permeabilidad del suelo, calado del agua, temperatura, edad del canal y caudal.

Se conoce varias fórmulas empíricas para tener un valor de fluido perdido por infiltración en un canal [17].

La fórmula para determinar las pérdidas por infiltración en un canal revestido según Uginchus, se presenta en la fórmula 16 esta usa un factor de pérdidas desarrollado en base al mismo recubrimiento del canal [17].

$$P = K \frac{d}{t} (b + d(\sqrt{1 + m^2})) \quad (16)$$

Donde:

P = pérdida por infiltración

t = espesor del revestimiento

K = permeabilidad del revestimiento de hormigón que varía de 0.00001-0.0000001 $\frac{cm}{s}$

b= ancho de la solera m

d = Calado m

m=tangente del ángulo del talud con la vertical

1.4.18 Dimensionalidad de modelos numéricos

Con el objeto de optimizar recursos, se analiza el movimiento del fluido en función a una dimensionalidad pueden ser:

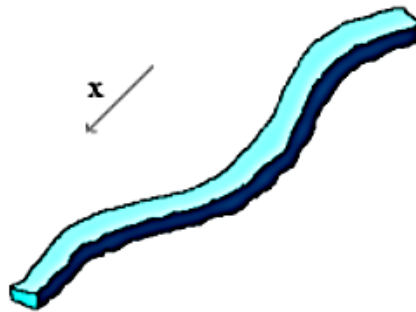
- Unidimensionales
- Bidimensionales
- Tridimensionales.

1.4.18.1 Modelo unidimensional

Este modelo para su resolución se basa en la ecuación de Saint-Venant por el método de diferencias finitas. El modelo unidimensional tiene su dimensión longitudinal a lo largo del canal.

Toda la sección es representada por un valor de velocidad media, no considera variaciones en la distribución de velocidades tanto horizontal como verticalmente [7].

Figura 16. Modelo unidimensional.

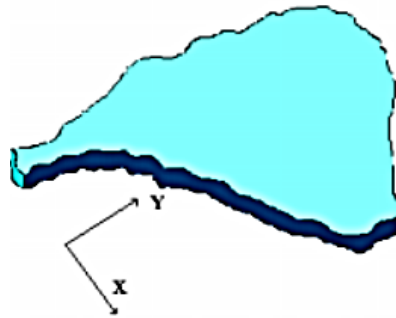


Fuente: J. Vásquez “Modelación Numérica en Hidráulica” [13]

1.4.18.2 Modelo bidimensional

El uso del modelo bidimensional se usa cuando, la modelación hidráulica analiza las variaciones en dos dimensiones del plano horizontal. Estos trabajan con dos componentes de velocidad horizontal promediada en profundidad es por ello que el modelo bidimensional tiene mayor precisión en tirantes pequeños [13].

Figura 17. Modelo bidimensional

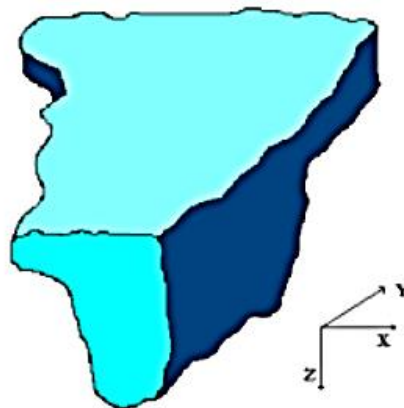


Fuente: J. Vásquez “Modelación Numérica en Hidráulica” [13]

1.4.18.3 Modelo tridimensional

Este modelo se usa cuando se necesita conocer las características de un punto exacto, se utiliza el método de elementos finitos. Este modelo realiza el cálculo de velocidades en tres componentes espaciales. Se lo puede aplicar para cualquier caso, aunque no es recomendable para casos simples ya que sus costos computacionales son altos.

Figura 18. Modelo tridimensional



Fuente: J. Vásquez “Modelación Numérica en Hidráulica” [13]

1.4.19 Ecuación de energía

La ecuación de la energía parte de la Ley de la Conservación de la Energía, que plantea “La energía no se crea ni se destruye, solamente se transforma” [20] .

En los sistemas hidráulicos como los canales existen tres tipos de energía:

- Energía de posición
- Energía de presión
- Energía de velocidad

Estos conjuntos de energías se las integran para poder encontrar la ecuación de energía ecuación 17:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\sigma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\sigma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{f1-2} \quad (17)$$

Donde:

Z_1, Z_2 = Cargas o energía de posición

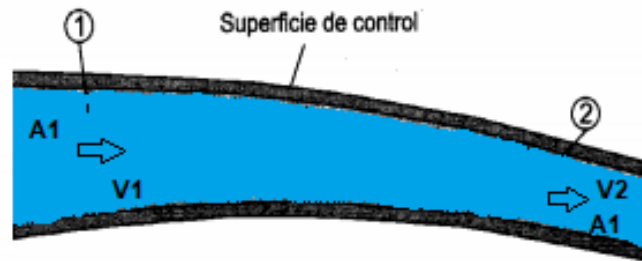
$\frac{P_1}{\sigma}, \frac{P_2}{\sigma}$ = Cargas o energía de presión

$\frac{V_1^2}{2g}, \frac{V_2^2}{2g}$ = Carga o energía de velocidad

1.4.20 Ecuación de la continuidad

Se basa en el principio de conservación de materia, propone que, la masa del fluido en la unidad de tiempo, entra a un volumen específico, dentro del flujo una parte se queda almacenada en el interior y el resto sale del volumen [14].

Figura 19. Ecuación de la continuidad



Fuente: Instituto Internacional y tecnología Educativa. “Ecuaciones fundamentales de la hidráulica” [19]

Preferentemente se debe tratar con una cantidad neta de masa de entrada y salida, siendo estas iguales. Entonces el principio de conservación de la materia, aplicado a un volumen completamente arbitrario en el flujo se expresa en la ecuación 18:

$$p'_1 * V_1 * A_1 = p'_2 * V_2 * A_2 \quad (18)$$

Donde:

p = presión

V = velocidad

A = área

La presión es uniforme, y están en dirección del flujo, si la densidad es constante además de uniforme en el sistema $p'_1=p'_2$ entonces: [15].

$$Q = V_1 * A_1 = V_2 * A_2 \quad (19)$$

Donde:

Q = caudal

V = velocidad

A = área

1.4.21 Ecuación de la cantidad de movimiento

Esta ecuación se deriva de la segunda ley de Newton, se la conoce también como la ecuación de cantidad de movimiento en un volumen de control. Cantidad de movimiento precisamente es el producto de la masa de un elemento (m) y su velocidad [24].

La ecuación de cantidad de movimiento ayuda a determinar las fuerzas aplicadas por la estructura que contiene el fluido en casos de cambio de aceleración que se dan comúnmente en las curvas del canal, se lo muestra en la figura 20 y su fórmula en la ecuación 20 [14].

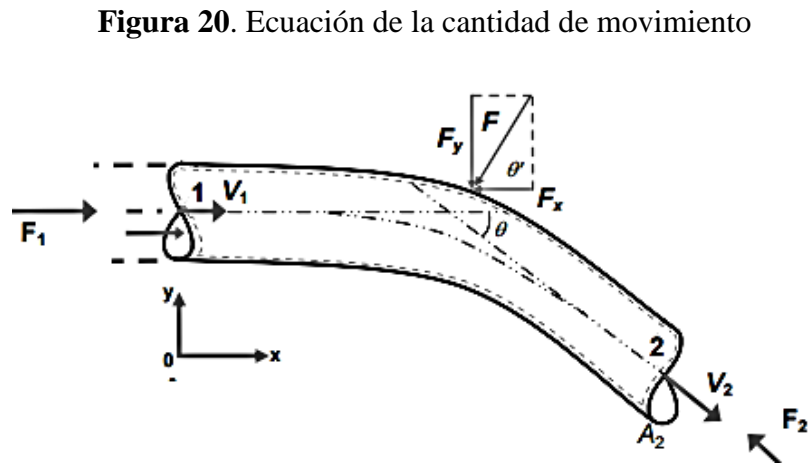


Figura 20. Ecuación de la cantidad de movimiento

Fuente: Instituto Internacional y tecnología Educativa. “Ecuaciones fundamentales de la hidráulica” [19]

$$F = \rho Q (V_f - V_i) \quad (20)$$

Donde:

F = fuerza generada por el flujo N

P = densidad del fluido (UTN/m³)

Q = gasto que pasa por el conducto (m³/s)

Vf = velocidad final del flujo

V_i = velocidad inicial del flujo

1.4.22 Ecuación de Saint Venant

Es un conjunto de ecuaciones utilizadas en varias situaciones, por ejemplo, puede ser el tránsito de flujos de agua sómeras, en sistemas de irrigación a través de un sistema de canales o ríos. Dicho proceso puede ser presentado en tres dimensiones, pero en muchas aplicaciones prácticas es suficiente utilizar una aproximación unidimensional, aunque las ecuaciones bidimensionales también son muy usadas dado la necesidad del canal o río [25].

1.4.22.1 Ecuación de Saint –Venant unidimensional (1D)

La ecuación para una dimensión propuesta por Saint – Venant se basa en la ecuación de continuidad. En forma conservativa se describe en base a el caudal y área como se puede apreciar en la ecuación 21.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (21)$$

En forma no conservativa se basa en términos de la velocidad media longitudinal y profundidad, misma que se muestra en la ecuación 22.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{Q}{A} q = gA[S_0 - S_f] \quad (22)$$

Donde:

Q = caudal

A = área

t = tiempo

y = profundidad

S_0 = pendiente del canal

Sf = pendiente de fricción

g = gravedad

1.4.22.2 Ecuación de Saint – Venant bidimensional (2D)

La ecuación para dos dimensiones propuesta por Saint – Venant se basa en la ecuación de continuidad, como se describe en la ecuación 23.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial qx}{\partial x} + \frac{\partial qy}{\partial y} = 0 \quad (23)$$

De manera similar para una forma no consecutiva se puede apreciar en la ecuación 24.

$$\frac{\partial qx}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{qx^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{qxqy}{h} \right) = gh[S_{0x} - S_{fx}] \quad (24)$$

Donde:

Q = caudal

A = área

t = tiempo

y = profundidad

So = pendiente del canal

Sf = pendiente de fricción

g = gravedad

h = calado

Hipótesis

1.5.1 Hipótesis Alternativa

Las características físicas del canal de riego Ambato - Huachi - Pelileo, cantón Ambato, provincia de Tungurahua no influyen en las pérdidas volumétricas del caudal.

1.5.2 Hipótesis Nula

Las características físicas del canal de riego Ambato - Huachi - Pelileo, cantón Ambato, provincia de Tungurahua influyen en las pérdidas volumétricas del caudal.

1.6. Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Estimar pérdidas de Caudal y Coeficiente de Rugosidad del tramo comprendido entre el Óvalo 01 al 11 del Canal de Riego Ambato - Huachi - Pelileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua

1.6.2 Objetivos específicos

- Determinar caudales y velocidades de flujo in situ del tramo del canal de riego establecido.
- Estimar pérdidas volumétricas a lo largo del tramo de conducción del canal y coeficiente de rugosidad de manera teórica.
- Estimar pérdidas volumétricas a lo largo del tramo del canal de conducción y coeficiente de rugosidad con la información obtenida in situ, mediante un modelo numérico.
- Comparar y proyectar los resultados de pérdidas de volumen y coeficiente de rugosidad teórico e in situ.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Materiales y equipos

Los equipos utilizados en este proyecto experimental son los siguientes:

- Estación total modelo Trimble M3.
- GPS diferencial marca Trimble R10 modelo GNSS
- Molinete modelo DMM-4000
- Software HEC-RAS.
- Software AutoCad Civil 3D

2.2 Descripción de materiales y equipos

2.2.1 Estación total

La estación total modelo Trimble M3 maneja una precisión de 1", 2", 5" con un alcance sin prisma hasta 500m y un alcance con 1 prisma de hasta 5.000m consta con dos baterías internas con duración de 56 horas. Su sistema operativo es Windows CE 620Mhz con una memoria Interna de 1 GB y Externa ilimitada vía memoria flash. La comunicación se puede dar por medio de Cable USB, Bluetooth y vía memoria flash. El equipo maneja un nivel de protección IP66 y su peso es de 4,2 Kg, su potente software para levantamientos con herramientas de cálculo y dibujo se usa para el replanteo de puntos, cálculo de volumen, cálculo de áreas, lectura y edición de planos de AutoCAD, ArcView, la exportación puede ser directa a memoria flash en archivo de Excel (*.csv) y directa a memoria flash en archivo CAD (*.dxf) [26].

Figura 21. Estación total modelo Trimble M3



Fuente. Félix Sebastián Romero Córdova

2.2.2 El GPS diferencial

El GPS diferencial marca Trimble R10 modelo GNSS tiene un motor de procesamiento Trimble HD-GNSS, consta de un registro de posiciones precisas con la tecnología Trimble SurePoint, con cobertura RTK cuando se pierde la conexión y un rastreo avanzado de satélites con receptor Trimble 360 [27].

Figura 22. GPS diferencial marca Trimble R10 modelo GNSS



Fuente. Félix Sebastián Romero Córdova

2.2.3 Molinete

El molinete modelo DMM-4000, es un transmisor de campo configurable de dos lazos para señales analógicas de TP, Pt100, mV, mA, PWM, V, A, Ohm, Hz, y otras variables específicas como (pH, Conductividad, etc.), eléctricas (V, A, RMS, etc.), humedad (HR, HA, Entalpía, Punto de Rocío), presión, nivel, caudal, contador, vibración, peso. Trabaja con sondas o captadores clásicos distribuidos en campo y transmitirlos en mA y en Modbus hacia sistemas de control como PC o PLC [28].

Figura 23. Molinete modelo DMM-4000



Fuente. Félix Sebastián Romero Córdova

2.2.4 Software HEC-RAS

El software HEC-RAS, modelo de dominio público desarrollado del Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers), surge como evolución del conocido y ampliamente utilizado HEC-2, con varias mejoras con respecto a éste, entre las que destaca la interface gráfica de usuario que facilita las labores de pre y pos proceso, así como la posibilidad de intercambio de datos con el sistema de información geográfica

ArcGIS mediante HEC-GeoRAS. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre, sus características técnicas se basan en el: cálculo hidráulico de estructuras (puentes, aliviaderos, alcantarillas, entre otros) [28].

La visualización gráfica de datos y resultados y la edición gráfica de secciones. El software es ejecutable en entorno Microsoft Windows, y sus aplicaciones se derivan a modelación hidráulica en régimen permanente de cauces abiertos, ríos y canales artificiales [28].

2.2.5 AutoCAD Civil3D

AutoCAD Civil3D es una herramienta de diseño y cálculo muy útil en el desarrollo de diseño de sitio, diseño urbanístico, carreteras, movimiento de tierras, cálculo topográfico, replanteo de información, etc.

La principal característica del programa es que está diseñado por Autodesk para que todos los componentes del diseño estén relacionados, los objetos al ser modificados automáticamente regeneran el diseño y recalculan la información en tablas y perfiles, todo esto ayudará a la hora de hacer cambios en nuestra propuesta sin tener que rehacer todo el proyecto.

2.3 Métodos

El nivel o tipo de investigación en el presente proyecto se incluirá los lineamientos de los siguientes tipos de investigación: descriptiva, correlacional, explicativa y experimental.

La investigación bibliográfica utiliza ecuaciones y fórmulas descritas previamente en el marco teórico, se busca determinar las pérdidas volumétricas y coeficiente de rugosidad en el canal de riego Ambato - Huachi - Pelileo, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

La investigación correlacional a través de la toma de velocidades y determinación de caudales en el canal pretende comparar el comportamiento obtenido mediante mediciones de campo, con un modelo matemático simulado a través de software Hec-Ras.

La investigación explicativa muestra que fuentes no convencionales como son los canales para regadío pueden ser utilizados como una alternativa para la generación de energía hidroeléctrica, aprovechando de esta forma al máximo el recurso hídrico, reduciendo así la contaminación ambiental generado por los combustibles fósiles.

La investigación experimental utiliza el software HEC -RAS que modela la hidráulica del flujo de agua a través de ríos naturales y canales, en el cual se puede ir modificando ciertos factores de comportamiento del fluido como los coeficientes de rugosidad, pendiente, viscosidad y sección.

La investigación es experimental debido a las mediciones de velocidades que fueron tomadas in situ, estos resultados serán comparados mediante el software HEC-RAS.

2.4. Plan de recolección de datos

Para la obtención de velocidades se realizará con el molinete modelo DMM-4000/PFT.

Las medidas de velocidad fueron obtenidas en los sitios más idóneos para una correcta medición. Al haber encontrado el sitio adecuado se procede a dividir la sección transversal del canal en franjas dependientes del ancho, previniendo que estas sean uniformes.

En la medición de la profundidad y ancho del canal se utilizó un tablero graduado y una regleta, el tablero estuvo ubicado con el objetivo de dividir las franjas proporcionalmente sobre la corriente del fluido, a continuación, se introdujo el molinete en la mitad de cada franja para tomar la velocidad al 20% y 80% de la profundidad del fluido. Es necesario tener una correcta estabilización del molinete para obtener datos con mayor precisión.

2.4.1 Recolección de datos topográficos

Para este proyecto se realiza un levantamiento desde la abscisa 0+000 ubicado en las coordenadas 9855898N, 761087E y una elevación de 2935.426 msnm. Ubicado en el cantón Ambato hasta llegar al kilómetro 6+982 ubicado en las coordenadas 9852835N, 763825E y una elevación de 2923.6m, ubicado en el cantón Cevallos.

Para lo cual usamos un GPS diferencial marca Trimble R10 modelo GNSS y una estación total modelo Trimble M3.

En base a dicho levantamiento se obtuvo la geometría del canal, pendiente longitudinal, y su sección transversal.

2.4.2 Recolección de velocidades

Las velocidades del fluido en el canal se las pudieron encontrar con ayuda de un instrumento de medida adecuado el cual es el molinete modelo DMM-4000/PFT, el cual arroja datos de velocidad que deberán ser tabulados en forma manual.

Posteriormente a la obtención de las características geográficas en las cuales se tomarán las velocidades, dividiendo el ancho del canal en franjas debidamente distribuidas de manera equitativa para que realice la lectura de velocidades en estas, para ello utilizaremos la siguiente tabla 2.

Tabla 2 Franjas del canal

FRANJAS DE CANAL						
ANCHO DE CORRIENTE	N.- DE FRANJAS	ANCHO 1	ANCHO 2	ANCHO 3	ANCHO 4	ANCHO 5

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

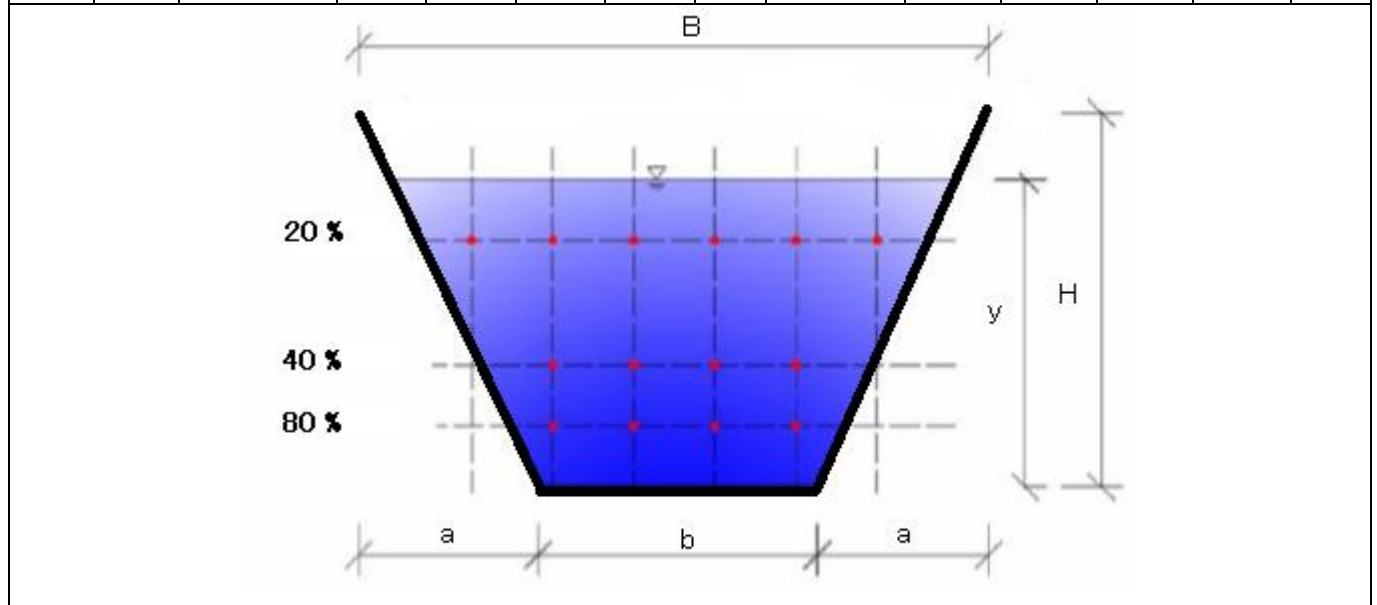
Para realizar la división en campo fue necesario la colocación de un tablero graduado, el mismo que permitirá movernos a través del canal. De manera consecutiva se realiza la graduación de manera vertical para poder encontrar la distancia desde el fondo del canal al espejo de agua (y), y conocer la altura de ubicación del equipo que se encuentra al 20% y 80% de altura, las lecturas de velocidad se las realizará en cada ancho de franja a las

alturas ya mencionadas, para el método 2 se utilizará el mismo procedimiento, con la diferencia que la altura del equipo se colocara al 60% de la altura de espejo (y).

En la tabla 3 se efectuó una matriz para la recolección de los datos in situ necesarios para su analisis posterior, la misma constara con datos de ubicación y velocidades de los diferentes puntos donde se realiza la recolección de información.

Tabla 3 Matriz de recolección de velocidades in situ

PUNTO	ABSCISA	COORDENADA	SECCIÓN				Y %	ALTURA DE UBICACIÓN	VELOCIDAD					
			a(m)	y(m)	H(m)	B(m)			1	2	3	4	5	
		Norte					0,2							
		Este					0,6							
		Elevación					0,8							



Relazado por: Félix Sebastián Romero Córdova

2.5. Plan de procesamiento y análisis de información.

El procesamiento de análisis en campo en el canal Huachi-Pelileo se ejecutará en dos etapas principales:

Para el levantamiento topográfico del canal se cuenta con el equipo necesario proporcionado por la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato como son: estación total modelo Trimble M3, gps estacionario GNSS R 10, prismas y flexómetro.

Previo a la realización del levantamiento topográfico se ha recorrido la trayectoria del canal con el objetivo de conocer su ubicación para el estudio, seguidamente se realiza la toma de puntos geográficos en los sitios más adecuados para el estudio, realizándolo con equipo GPS estacionario GNSS R 10, estación total modelo Trimble M3.

Se codifica adecuadamente los datos topográficos levantados con la estación total modelo Trimble M3 para una clara identificación de estos.

El plan de análisis se basará en los aspectos del plan de procesamiento.

Los datos conseguidos en el levantamiento topográfico fueron tabulados en un documento Excel a continuación, se los exporta al software al AUTO CAD Civil 3D, en este se realizará la correcta codificación de los puntos geográficos.

Se crea una polilínea entre los puntos longitudinales del canal y obtenemos el plano georreferenciado de este, se crea una superficie topográfica con los puntos del terreno, así tenemos el entorno del canal, su pendiente y su perfil longitudinal.

Las velocidades encontradas se las tabula mediante el software Excel para poder encontrar los caudales del canal en cada tramo se hallará el área parcial (A_i), con el número de puntos donde se determinaron las velocidades promedio. Para el método 1 utilizara datos (V_i parcial) encontrados a una distancia de 20% y el 80% de la profundidad del canal. y el método 2 a profundidad del 60 % de la de la profundidad canal. Para encontrar el caudal parcial (q_i) y se lo obtendrá al realizar el producto de la velocidad parcial por el área parcial correspondiente a cada franja, la suma de los valores de gastos parciales nos dará el caudal total de la sección (QT).

Donde:

q_i = caudal parcial

A_i = área parcial

V_i = velocidad parcial

Q_T = caudal total

Las pérdidas volumetricas se determinarán por medio de una suma algebraica entre los valores de caudal encontrados por sección, mismas que fueron determinadas cada 250 metros, dando como resultado 26 secciones las cuales están entre la abscisa 0+000 y 6+750; se han realizado por dos métodos descritos anteriormente.

El coeficiente de rugosidad se determina por procesos matemáticos en base a la ecuación de velocidad media creada por Manning.

Para el uso del programa Hec-Ras deberemos tener la topografía exportada de AutoCAD Civil 3D, posteriormente ingresamos el coeficiente de Manning obtenidos mediante los cálculos ya realizados, estos van repartidos a lo largo del canal para ello utilizaremos el coeficiente del primer punto y se lo asignará hasta la mitad de la primera abscisa y el coeficiente del segundo punto se lo asignará desde la mitad de la primera abscisa hasta la mitad de la segunda. Este proceso lo repetiremos con las abscisas continuas. Se ejecutará el programa y se diferenciará los resultados obtenidos con los resultados calculados.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Medición de velocidades y determinación de caudales

Las velocidades del fluido en el canal se encontraron con ayuda de un instrumento de medida adecuado, el cual es un molinete modelo DMM-4000/PFT dicho instrumento nos arroja datos de velocidad puntual.

Las velocidades medias (V_m) se determinaron en seis diferentes escenarios que se muestran en las tablas 4 - 9. Estos escenarios se los delimitó tomando en cuenta un mismo día para la toma de datos procurando que las condiciones de flujo se mantengas constantes, es decir sin que se integren o salgan caudales ilícitos.

Con la ayuda de procesos matemáticos explicados en el capítulo II de este proyecto se determinó los caudales (Q) para los dos métodos prácticos descritos previamente.

Tabla 4 Datos de velocidades y caudal en el escenario 1

ESCENARIO 1					
SECCIÓN	ABSCISA	VELOCIDADES Y CAUDALES			
		MÉTODO 1		MÉTODO 2	
		V_m (m/s)	Q (m^3/s)	V_m (m/s)	Q (m^3/s)
1	0+000	1.066	2.162	1.260	2.122
2	0+250	1.160	2.114	1.410	2.079
3	0+500	1.310	2.062	1.423	2.028
4	0+750	1.284	2.059	1.033	2.015
5	1+000	1.237	2.020	1.350	2.014

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 4 se determinó el promedio de las velocidades medias siendo de $1.282 \frac{m}{s}$ para el escenario uno con el método uno. Su caudal (Q) tiene un promedio de $2.0834 \frac{m^3}{s}$, para el método dos del mismo escenario tenemos una velocidad media (Vm) promedio de $1.295 \frac{m}{s}$ y un caudal (Q) promedio de $2.0516 \frac{m^3}{s}$.

Resultando una diferencia de promedio de la velocidad media entre el método uno y método dos de $0.19 \frac{m}{s}$ y una diferencia de caudal promedio de $0.031 \frac{m^3}{s}$.

Tabla 5 Datos de velocidades y caudal en el escenario 2

ESCENARIO 2					
SECCIÓN	ABSCISA	VELOCIDADES Y CAUDALES			
		MÉTODO 1		MÉTODO 2	
		Vm (m/s)	Q (m ³ /s)	Vm (m/s)	Q (m ³ /s)
6	1+250	1.073	2.323	1.373	2.326
7	1+500	1.334	2.230	1.390	2.261
8	1+750	1.633	2.198	1.930	2.160
9	2+000	1.341	2.196	1.667	2.156
10	2+250	1.181	2.162	1.177	2.124

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 5 4 se determinó el promedio de las velocidades medias(Vm) siendo de $1.3164 \frac{m}{s}$ para el escenario dos, método uno. Su caudal (Q) tiene un promedio de $2.222 \frac{m^3}{s}$, para el método dos del mismo escenario tenemos una velocidad media (Vm) promedio de $1.507 \frac{m}{s}$ y un caudal (Q) promedio de $2.2054 \frac{m^3}{s}$.

Resultando una diferencia de los promedios de la velocidad media entre el método uno y método dos de $0.241 \frac{m}{s}$ y una diferencia de caudal promedio de $0.016 \frac{m^3}{s}$.

Tabla 6 Datos de velocidades y caudal en el escenario 3

ESCENARIO 3					
SECCIÓN	ABSCISA	VELOCIDADES Y CAUDALES			
		MÉTODO 1		MÉTODO 2	
		V _m (m/s)	Q (m ³ /s)	V _m (m/s)	Q (m ³ /s)
11	2+500	1.001	2.233	1.093	2.267
12	2+750	1.338	2.209	1.200	2.192
13	3+000	1.018	2.207	1.407	2.177
14	3+250	1.131	2.176	1.477	2.149
15	3+500	1.221	2.095	1.477	2.057

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 6 se determinó el promedio de las velocidades medias (V_m) siendo de 1.139 $\frac{m}{s}$ para el escenario tres, método uno. Su caudal (Q) tiene un promedio de 2.184 $\frac{m^3}{s}$, para el método dos del mismo escenario tenemos una velocidad media (V_m) promedio de 1.331 $\frac{m}{s}$ y un caudal (Q) promedio de 2.1684 $\frac{m^3}{s}$.

Resultando una diferencia de velocidad media promedio entre el método uno y método dos de 0.101 $\frac{m}{s}$ y una diferencia de caudal promedio de 0.015 $\frac{m^3}{s}$.

Tabla 7 Datos de velocidades y caudal en el escenario 4

ESCENARIO 4					
SECCIÓN	ABSCISA	VELOCIDADES Y CAUDALES			
		MÉTODO 1		MÉTODO 2	
		Vm (m/s)	Q (m ³ /s)	Vm (m/s)	Q (m ³ /s)
16	3+750	1.001	1.814	1.400	1.733
17	4+000	0.982	1.602	1.363	1.561
18	4+750	0.973	1.540	1.170	1.555

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 7 se determinó el promedio de las velocidades medias (Vm) siendo un valor de $0.983 \frac{m}{s}$ para el escenario cuatro, método uno. Su caudal (Q) tiene un promedio de $1.652 \frac{m^3}{s}$, para el método dos del mismo escenario tenemos una velocidad media (Vm) promedio de $1.311 \frac{m}{s}$ y un caudal (Q) promedio de $1.616 \frac{m^3}{s}$. Resultando una diferencia de velocidad media promedio entre el método uno y método dos de 0.121 m/s y una diferencia de caudal promedio de $0.036 \frac{m^3}{s}$.

Tabla 8 Datos de velocidades y caudal en el escenario 5

ESCENARIO 5					
SECCIÓN	ABSCISA	VELOCIDADES Y CAUDALES			
		MÉTODO 1		MÉTODO 2	
		Vm (m/s)	Q (m ³ /s)	Vm (m/s)	Q (m ³ /s)
19	5+000	1.082	1.009	1.180	0.982
20	5+250	0.954	0.991	1.060	0.974
21	5+500	0.972	0.883	1.427	0.896
22	5+750	1.031	0.874	1.207	0.876

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 8 se determinó el promedio de las velocidades medias (V_m) siendo de $1.007 \frac{m}{s}$ para el escenario cinco, método uno. Su caudal (Q) tiene un promedio de $0.939 \frac{m^3}{s}$, para el método dos del mismo escenario tenemos una velocidad media (V_m) promedio de $1.219 \frac{m}{s}$ y un caudal (Q) promedio de $0.932 \frac{m^3}{s}$.

Resultando una diferencia de velocidad media promedio entre el método uno y método dos de $0.124 \frac{m}{s}$ y una diferencia de caudal promedio de $0.007 \frac{m^3}{s}$.

Tabla 9 Datos de velocidades y caudal en el escenario 6

ESCENARIO 6					
SECCIÓN	ABSCISA	VELOCIDADES Y CAUDALES			
		MÉTODO 1		MÉTODO 2	
		V_m (m/s)	Q (m^3/s)	V_m (m/s)	Q (m^3/s)
23	6+000	0.975	0.866	1.020	0.846
24	6+250	1.004	0.865	0.980	0.840
25	6+500	0.960	0.857	1.173	0.828
26	6+750	0.950	0.851	1.033	0.810

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 9 se determinó el promedio de las velocidades medias (V_m) siendo de $1.012 \frac{m}{s}$ para el escenario seis, método uno. Su caudal (Q) tiene un promedio de $0.859 \frac{m^3}{s}$, para el método dos del mismo escenario tenemos una velocidad media (V_m) promedio de $1.052 \frac{m}{s}$ y un caudal (Q) promedio de $0.831 \frac{m^3}{s}$.

Resultando una diferencia de velocidad media promedio entre el método uno y método dos de $0.035 \frac{m}{s}$ y una diferencia de caudal promedio de $0.029 \frac{m^3}{s}$.

3.2. Coeficiente de Manning

La determinación del coeficiente de Manning (n) se realizó mediante procesos matemáticos basados en la ecuación de general de Manning.

$$n = \frac{1}{V_m} R^{2/3} * S^{1/2}$$

Donde:

V_m = velocidad media

n = coeficiente de rugosidad

R = radio hidráulico

S = pendiente de la línea de energía

Para los seis escenarios se ha diseñado una tabla donde constan las abscisas, el caudal, la velocidad y el coeficiente de rugosidad según Manning para los dos métodos prácticos usados en este proyecto.

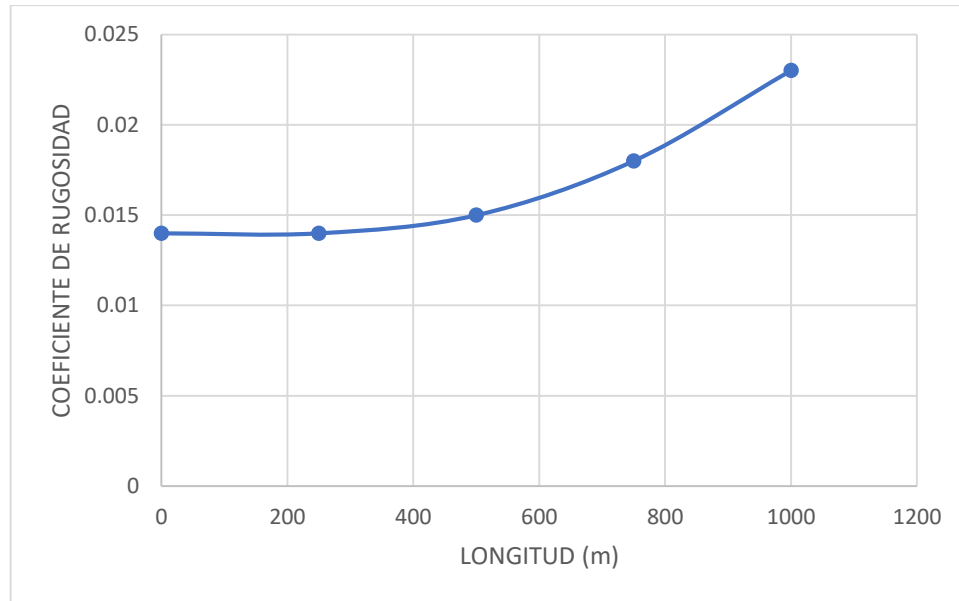
Tabla 10 Datos coeficiente de rugosidad en el escenario 1

ESCENARIO 1							
SECCIÓN	ABSCISA	VELOCIDADES Y CAUDALES					
		MÉTODO 1			MÉTODO 2		
		V_m (m/s)	Q (m^3/s)	N	V_m (m/s)	Q (m^3/s)	n
1	0+000	1.066	2.162	0.014	1.260	2.122	0.014
2	0+250	1.160	2.114	0.014	1.410	2.079	0.012
3	0+500	1.310	2.062	0.015	1.423	2.028	0.014
4	0+750	1.284	2.059	0.018	1.033	2.015	0.014
5	1+000	1.237	2.020	0.023	1.350	2.014	0.190

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 10 podemos apreciar los valores del coeficiente de Manning en el método uno, varía dentro de 0.014 a 0.023. En la figura 24 podemos apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo de la distancia en cada sección del escenario 1 por el método 1.

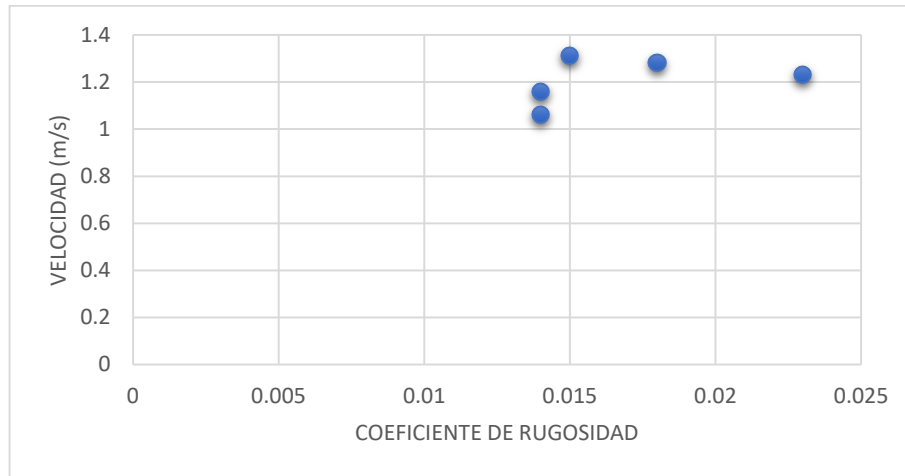
Figura 24. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 1 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

El coeficiente de rugosidad se lo ha comparado gráficamente en base a su velocidad para el método uno en la figura 25.

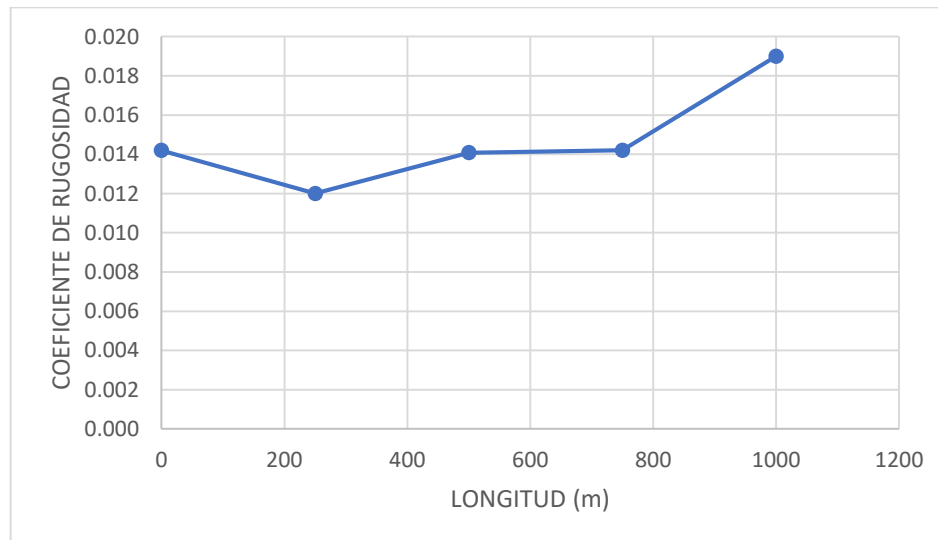
Figura 25. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 1 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 10 podemos apreciar que los valores del coeficiente de Manning en el método dos varían dentro de 0.012 a 0.019. En la figura 26 podemos apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo de la distancia en cada sección del escenario 1 por el método 2.

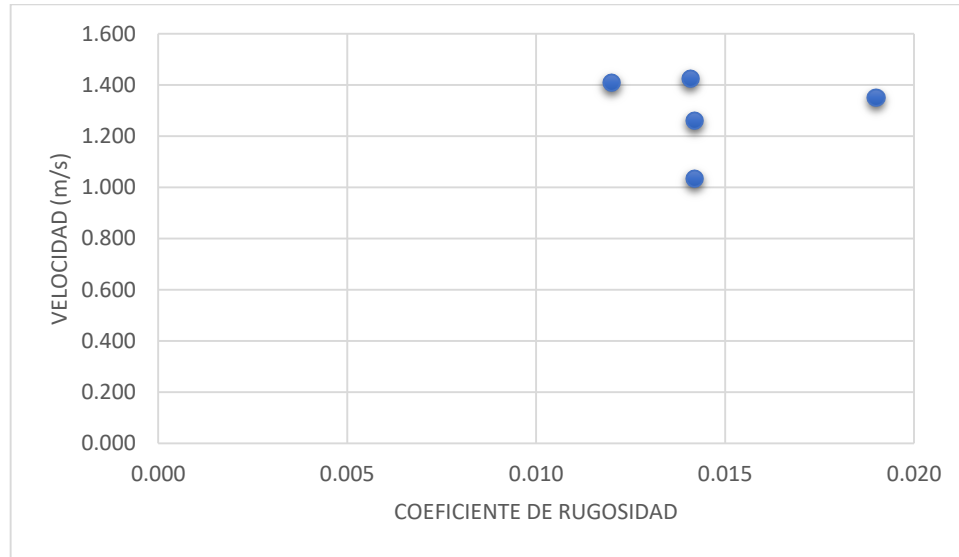
Figura 26. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 1 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

El coeficiente de rugosidad se lo ha comparado gráficamente en base a su velocidad para el método dos en la figura 27.

Figura 27. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 1 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

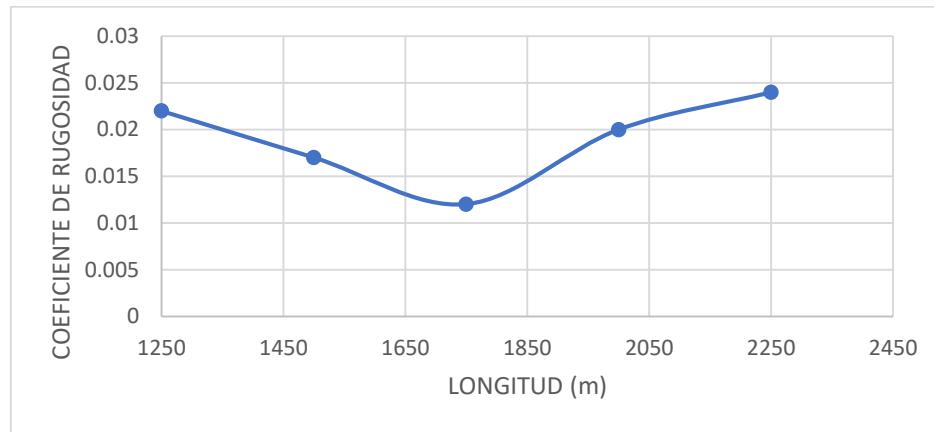
Tabla 11 Datos coeficiente de rugosidad en el escenario 2

ESCENARIO 2							
SECCIÓN	ABSCISA	VELOCIDADES Y CAUDALES					
		MÉTODO 1			MÉTODO 2		
		Vm (m/s)	Q (m ³ /s)	n	Vm (m/s)	Q (m ³ /s)	n
6	1+250	1.073	2.323	0.022	1.373	2.326	0.018
7	1+500	1.334	2.230	0.017	1.390	2.261	0.015
8	1+750	1.633	2.198	0.012	1.930	2.16	0.01
9	2+000	1.341	2.196	0.020	1.667	2.156	0.015
10	2+250	1.181	2.162	0.024	1.177	2.124	0.022

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 11 podemos apreciar que los valores del coeficiente de Manning en el método unos varían dentro de 0.012 a 0.024. En la figura 28 podemos apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo de la distancia en cada sección del escenario 2 por el método 1.

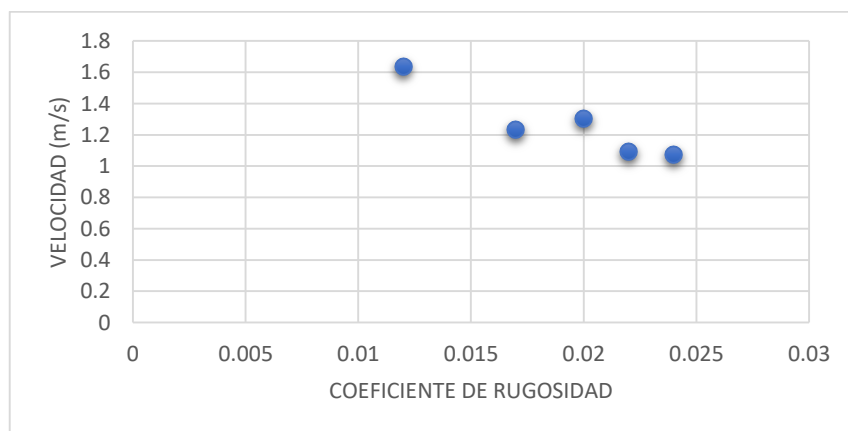
Figura 28. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 2 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

El coeficiente de rugosidad se lo ha comparado gráficamente en base a su velocidad para el método dos en la figura 29.

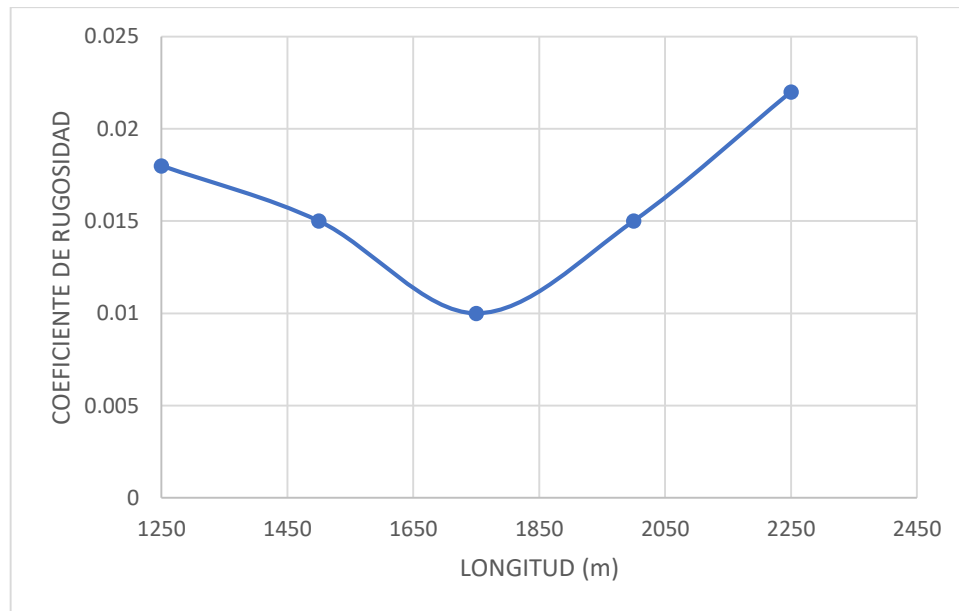
Figura 29. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 2 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 11 podemos apreciar que los valores del coeficiente de Manning en el método dos varían dentro de 0.010 a 0.022. En la figura 30 podemos apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo de la distancia en cada sección del escenario 2 por el método 2.

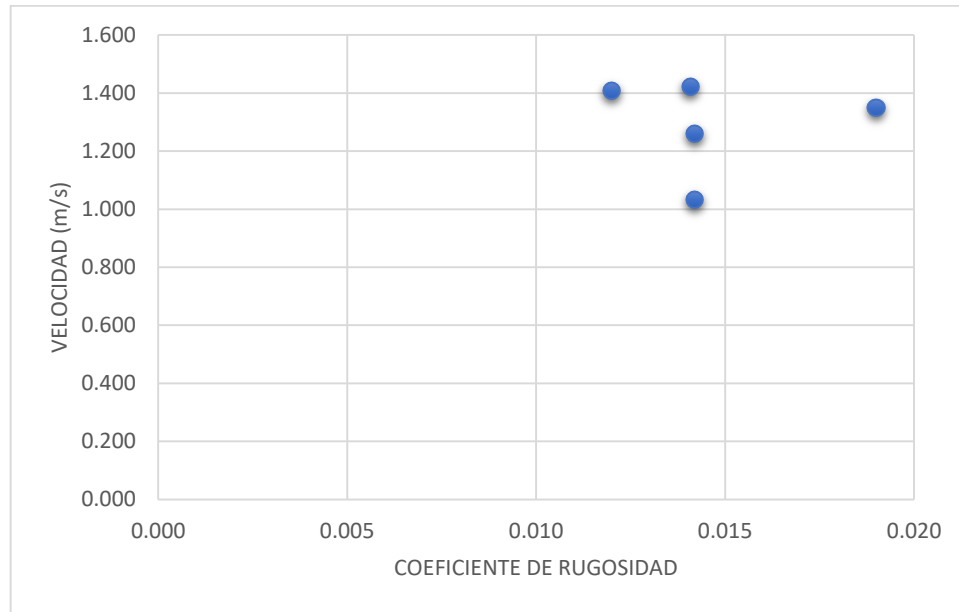
Figura 30. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 2 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

El coeficiente de rugosidad se lo ha comparado gráficamente en base a su velocidad en la figura 31.

Figura 31. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 2 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

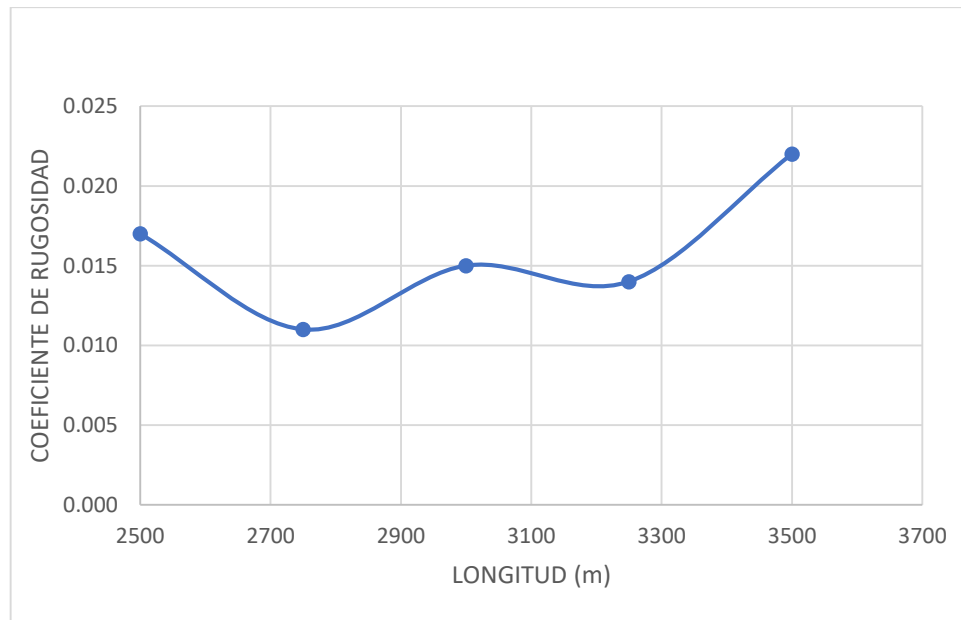
Tabla 12 Datos coeficiente de rugosidad en el escenario 3

ESCENARIO 3							
SECCIÓN	ABSCISA	VELOCIDADES Y CAUDALES					
		MÉTODO 1			MÉTODO 2		
		V _m (m/s)	Q (m ³ /s)	n	V _m (m/s)	Q (m ³ /s)	n
11	2+500	1.001	2.233	0.017	1.093	2.267	0.014
12	2+750	1.338	2.209	0.011	1.200	2.192	0.012
13	3+000	1.018	2.207	0.015	1.407	2.177	0.013
14	3+250	1.131	2.176	0.014	1.477	2.149	0.013
15	3+500	1.221	2.095	0.022	1.477	2.057	0.019

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 12 podemos apreciar que los valores del coeficiente de Manning en el método unos varían dentro de 0.011 a 0.022. En la figura 32 podemos apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo de la distancia en cada sección del escenario 3 por el método 1.

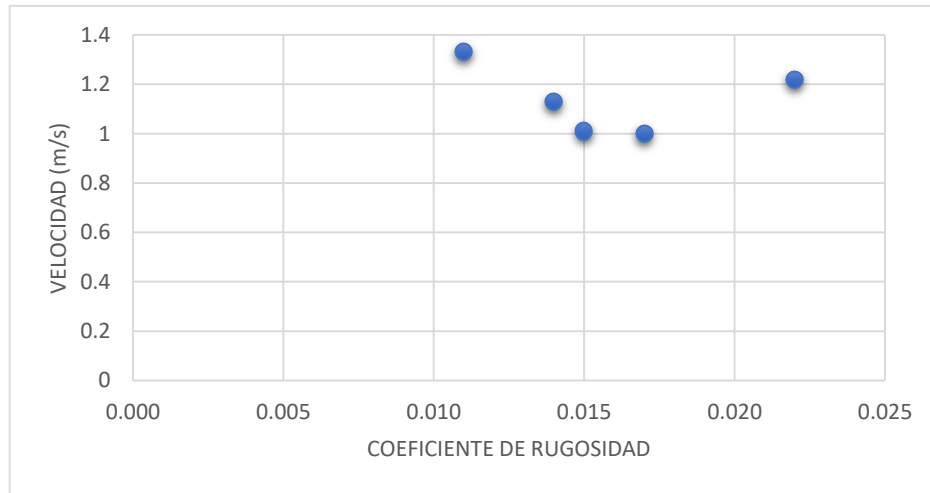
Figura 32. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 3 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

El coeficiente de rugosidad se lo ha comparado gráficamente en base a su velocidad para el método uno en la figura 33.

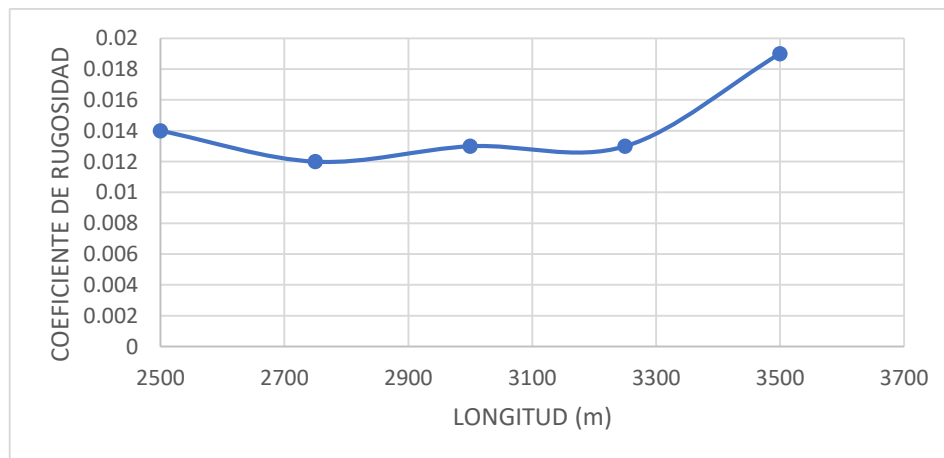
Figura 33. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 3 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 12 podemos apreciar que los valores del coeficiente de Manning en el método dos varían dentro de 0.012 a 0.019. En la figura 34 podemos apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo de la distancia en cada sección del escenario 3 por el método 2.

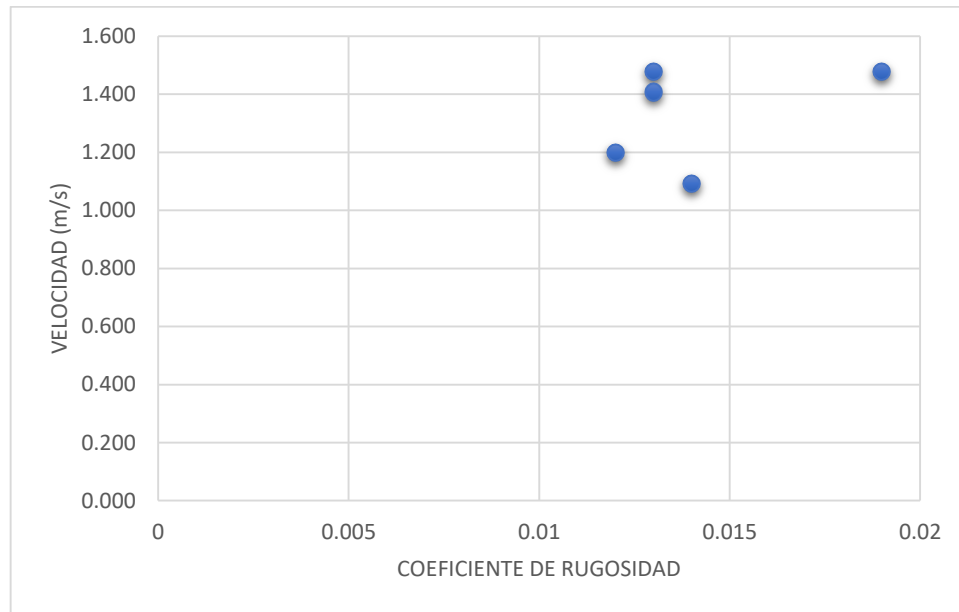
Figura 34. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 3 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

El coeficiente de rugosidad se lo ha comparado gráficamente en base a su velocidad en la figura 35.

Figura 35. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 3 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

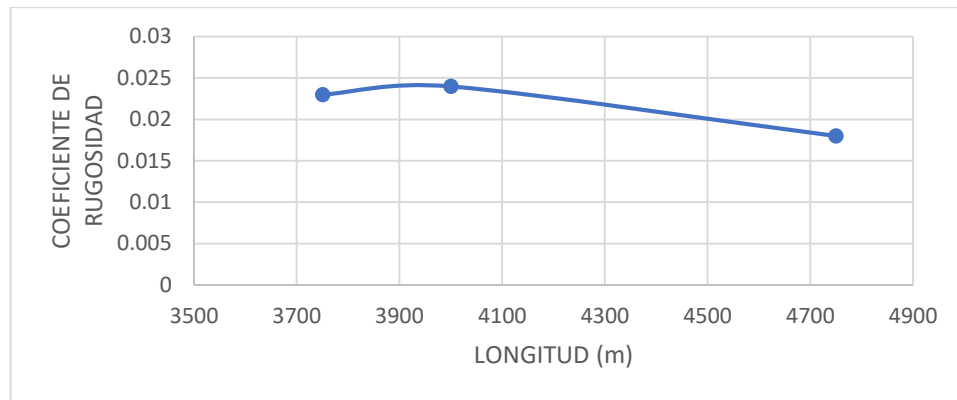
Tabla 13 Datos coeficiente de rugosidad en el escenario 4

ESCENARIO 4							
SECCIÓN	ABSCISA	VELOCIDADES Y CAUDALES					
		MÉTODO 1			MÉTODO 2		
		Vm (m/s)	Q (m ³ /s)	n	Vm (m/s)	Q (m ³ /s)	n
16	3+750	1.001	1.814	0.023	1.400	1.733	0.022
17	4+000	0.982	1.602	0.024	1.363	1.561	0.021
18	4+750	0.973	1.540	0.018	1.170	1.555	0.015

FUENTE: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 13 podemos apreciar que los valores del coeficiente de Manning en el método unos varían dentro de 0.018 a 0.023. En la figura 36 podemos apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo de la distancia en cada sección del escenario 4 por el método 1.

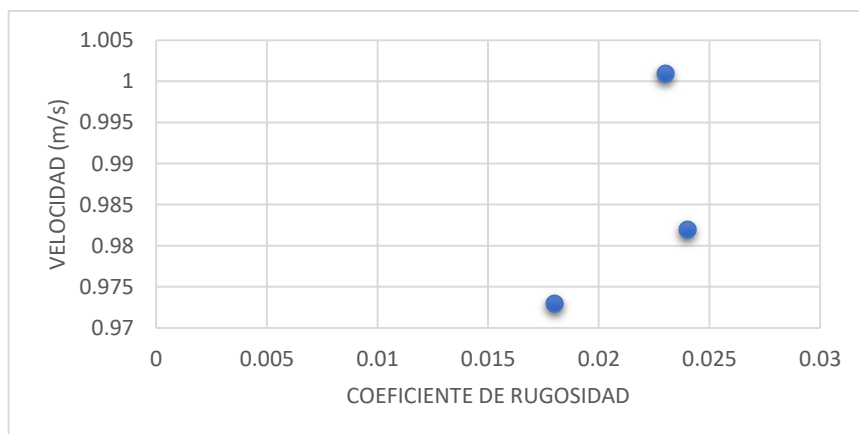
Figura 36. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 4 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

El coeficiente de rugosidad se lo ha comparado gráficamente en base a su velocidad para el método uno en la figura 37.

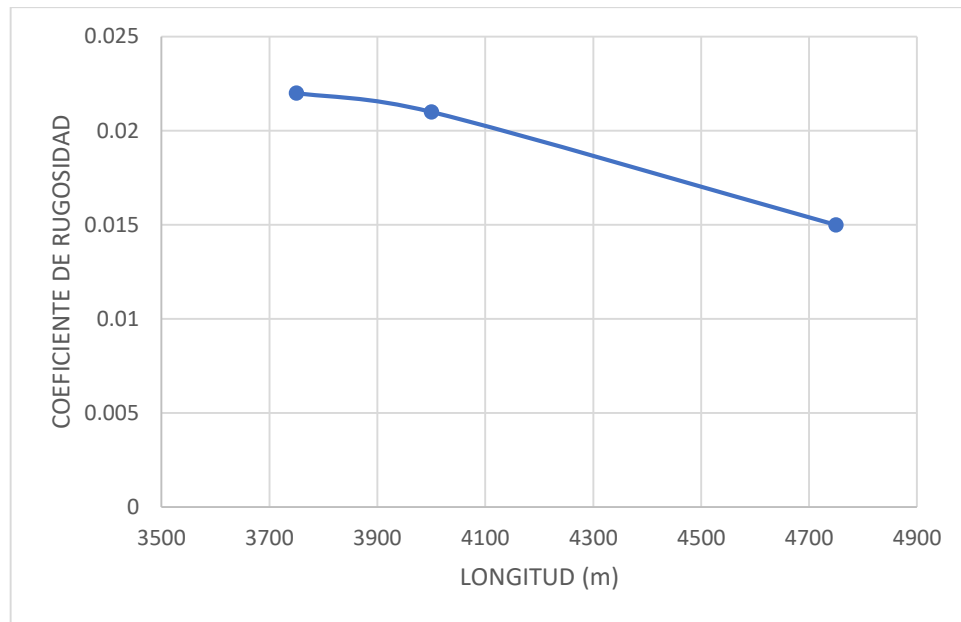
Figura 37. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 4 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 13 podemos apreciar que los valores del coeficiente de Manning en el método dos varían dentro de 0.015 a 0.022. En la figura 38 podemos apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo de la distancia en cada sección del escenario 4 por el método 2.

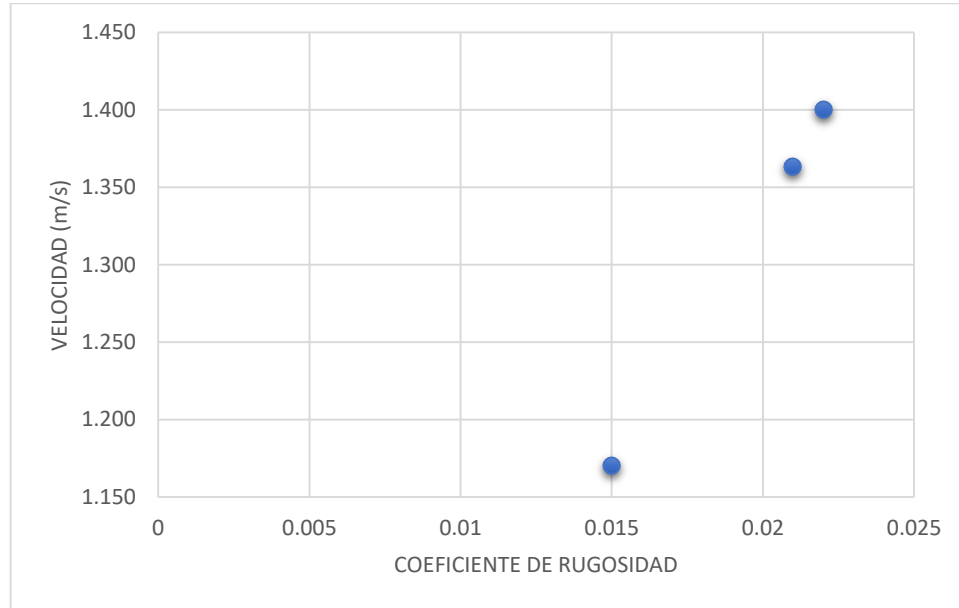
Figura 38. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 4 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

El coeficiente de rugosidad se lo ha comparado gráficamente en base a su velocidad en la figura 39.

Figura 39. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 4 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

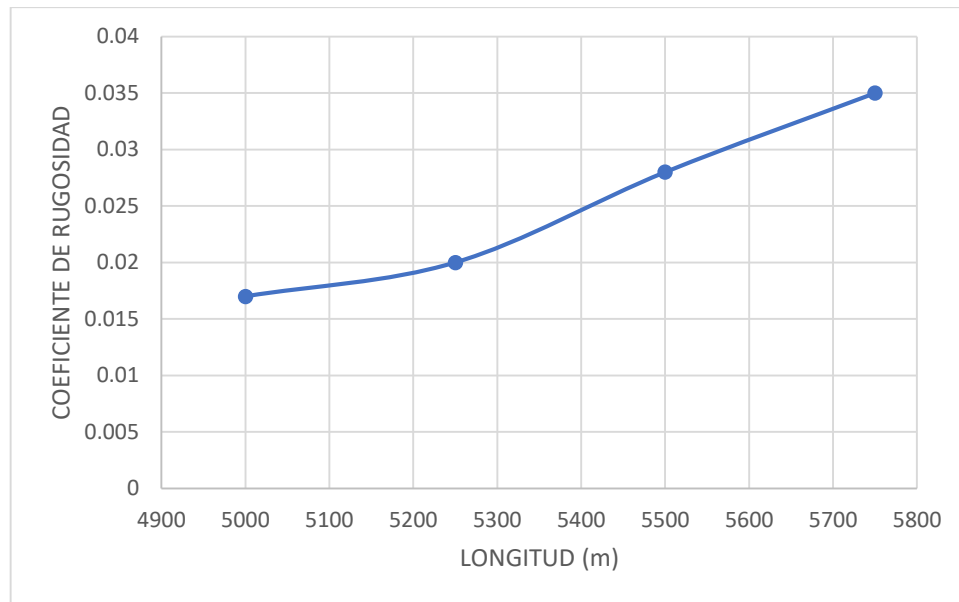
Tabla 14 Datos coeficiente de rugosidad en el escenario 5

ESCENARIO 5							
SECCIÓN	ABSCISA	VELOCIDADES Y CAUDALES					
		MÉTODO 1			MÉTODO 2		
		Vm (m/s)	Q (m ³ /s)	n	Vm (m/s)	Q (m ³ /s)	n
19	5+000	1.082	1.009	0.017	1.180	0.982	0.016
20	5+250	0.954	0.991	0.02	1.060	0.974	0.018
21	5+500	0.972	0.883	0.028	1.427	0.896	0.025
22	5+750	1.031	0.874	0.035	1.207	0.876	0.03

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 14 podemos apreciar que los valores del coeficiente de Manning en el método unos varían dentro de 0.017 a 0.035. En la figura 40 podemos apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo de la distancia en cada sección del escenario 5 por el método 1.

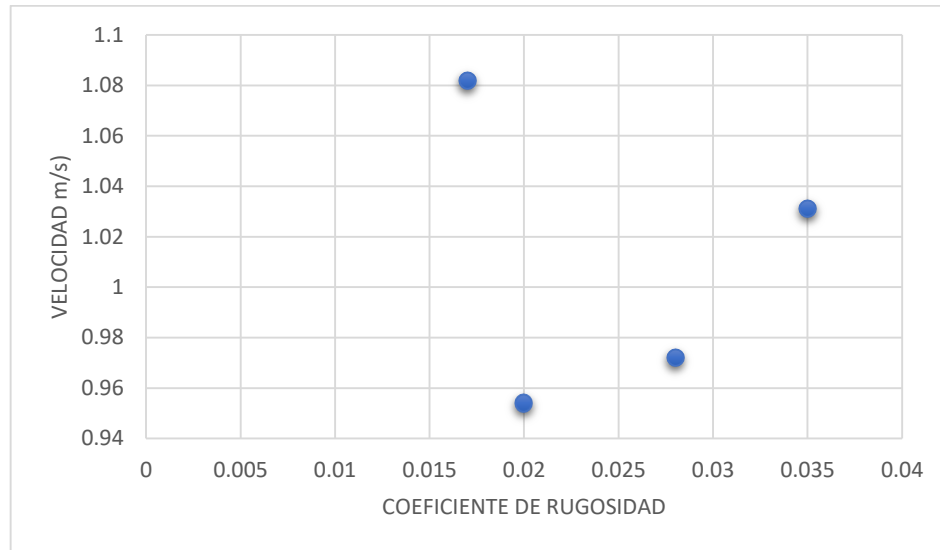
Figura 40. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 5 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

El coeficiente de rugosidad se lo ha comparado gráficamente en base a su velocidad para el método uno en la figura 41.

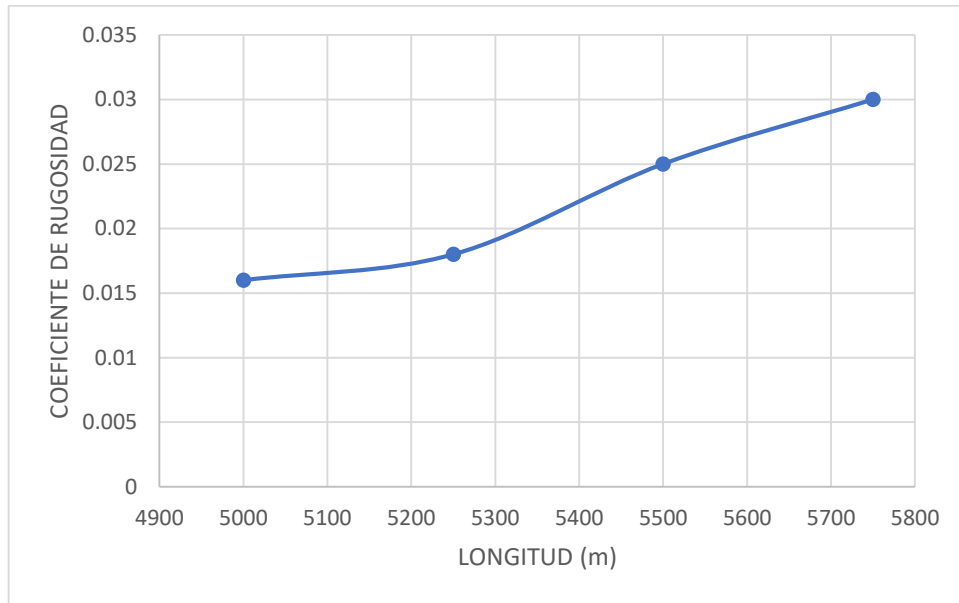
Figura 41. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 5 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 14 podemos apreciar que los valores del coeficiente de Manning en el método dos varían dentro de 0.016 a 0.030. En la figura 42 podemos apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo de la distancia en cada sección del escenario 5 por el método 2.

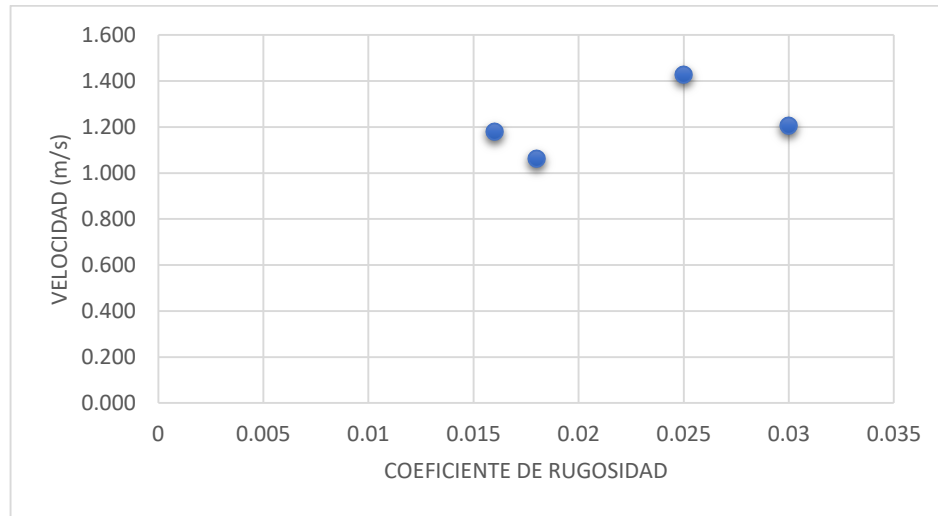
Figura 42. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 5 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

El coeficiente de rugosidad se lo ha comparado gráficamente en base a su velocidad en la figura 43.

Figura 43. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 5 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdoba

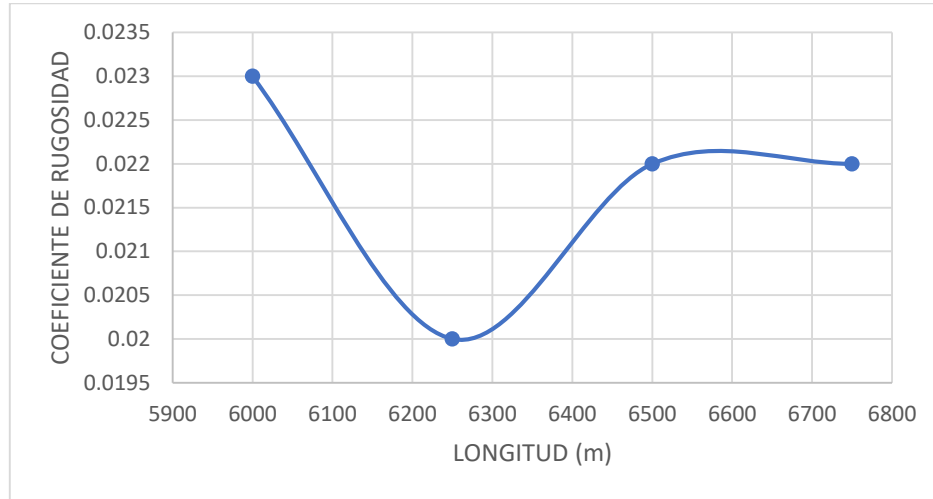
Tabla 15 Datos coeficiente de rugosidad en el escenario 6

ESCENARIO 6							
SECCIÓN	ABSCISA	VELOCIDADES Y CAUDALES					
		MÉTODO 1			MÉTODO 2		
		V _m (m/s)	Q (m ³ /s)	n	V _m (m/s)	Q (m ³ /s)	n
23	6+000	0.975	0.866	0.023	1.020	0.846	0.02200
24	6+250	1.004	0.865	0.02	0.980	0.840	0.02300
25	6+500	0.960	0.857	0.022	1.173	0.828	0.01900
26	6+750	0.950	0.851	0.022	1.033	0.810	0.01900

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdoba

En la tabla 15 podemos apreciar que los valores del coeficiente de Manning en el método unos varían dentro de 0.020 a 0.023. En la figura 44 podemos apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo de la distancia en cada sección del escenario 6 por el método 1.

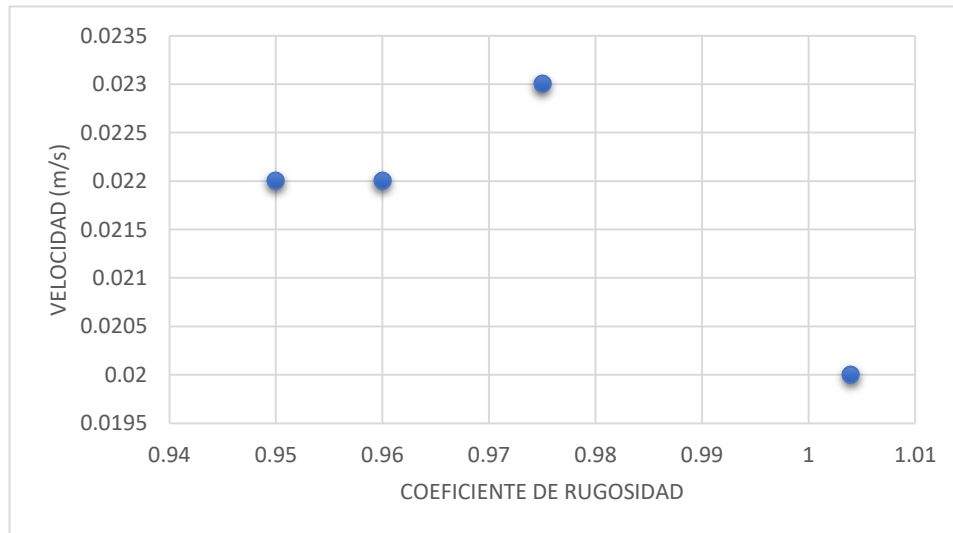
Figura 44. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 6 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

El coeficiente de rugosidad se lo ha comparado gráficamente en base a su velocidad para el método uno en la figura 45.

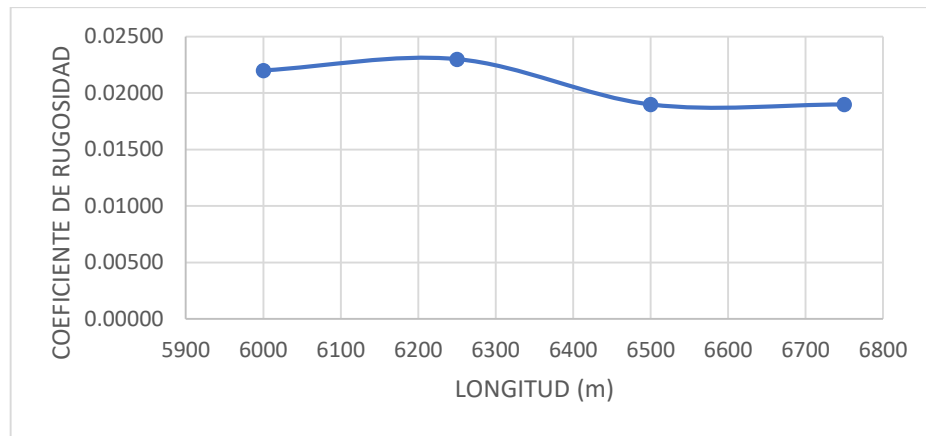
Figura 45. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 6 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 15 podemos apreciar que los valores del coeficiente de Manning en el método dos varían dentro de 0.019 a 0.023. En la figura 46 podemos apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo de la distancia en cada sección del escenario 6 por el método 2.

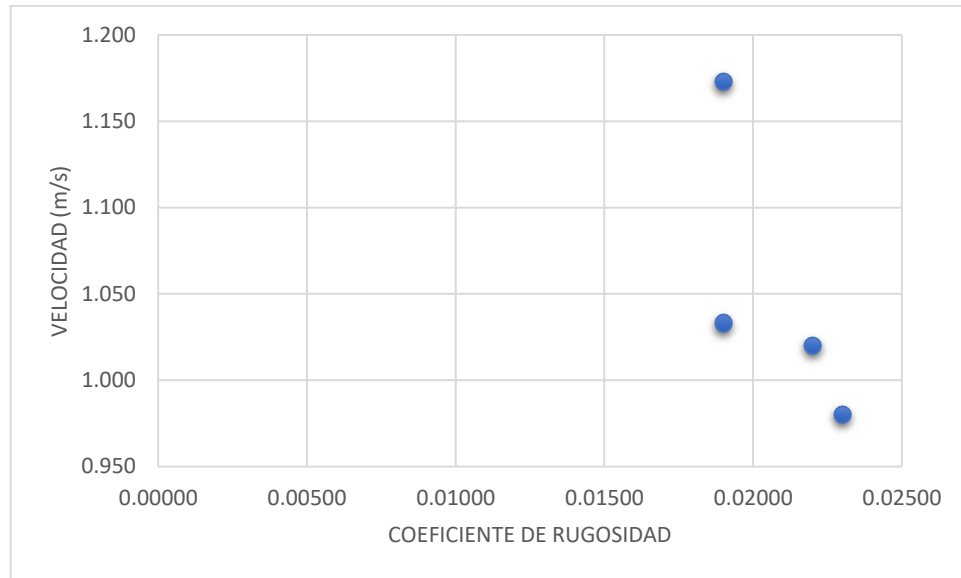
Figura 46. Coeficiente de rugosidad VS longitud en el escenario 6 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

El coeficiente de rugosidad se lo ha comparado gráficamente en base a su velocidad en la figura 47.

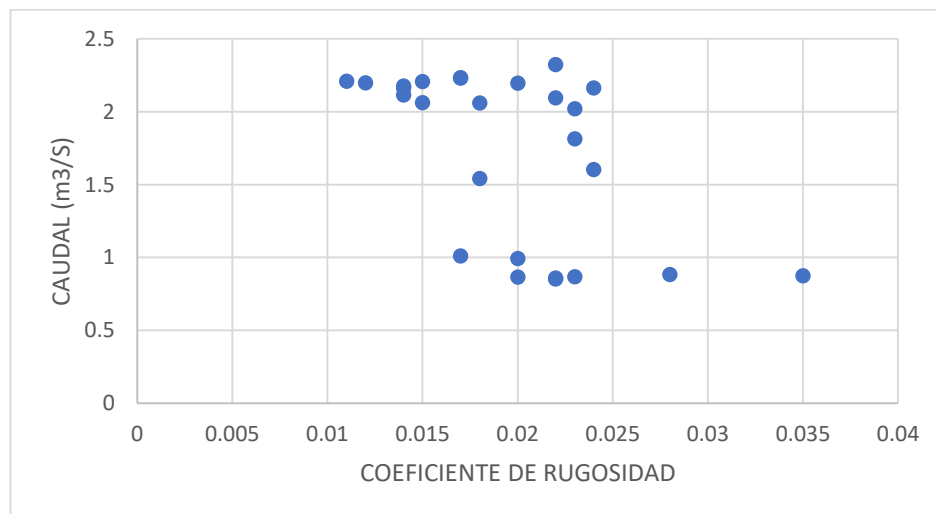
Figura 47. Velocidad VS Coeficiente de rugosidad en el escenario 6 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

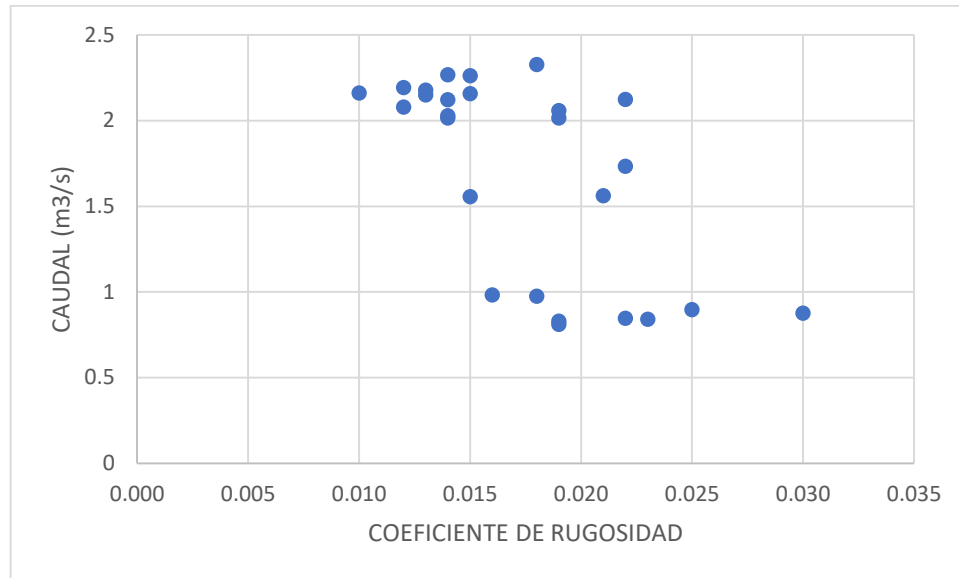
Finalmente se ha comparado el caudal en función del coeficiente de rugosidad en la figura 48 para el método uno y en la figura 49 para el método 2.

Figura 48. Caudal vs Coeficiente de rugosidad en el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 49. Caudal vs Coeficiente de rugosidad en el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

A lo largo del canal se ha visto una variación del coeficiente de rugosidad en la tabla 16 tenemos una comparación entre estos y el material sugerido según Manning para el método 1.

En la tabla 17 tenemos una comparación entre los coeficientes de rugosidad y el material sugerido según Manning para el método 2.

Tabla 16. Coeficientes de Manning y su material de recubrimiento en el método 1

Coeficiente de Manning calculado	Coeficiente de Manning	Material de recubrimiento
0.014	0.013-0.017	Hormigón
0.014	0.013-0.017	Hormigón
0.015	0.013-0.017	Hormigón
0.018	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.023	0.020-0.030	Encachado
0.022	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.017	0.013-0.017	Hormigón
0.012	0.013-0.017	Hormigón
0.020	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.024	0.020-0.030	Encachado
0.017	0.013-0.017	Hormigón
0.011	0.013-0.017	Hormigón
0.015	0.013-0.017	Hormigón
0.014	0.013-0.017	Hormigón
0.022	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.023	0.020-0.030	Encachado
0.024	0.020-0.030	Encachado
0.018	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.017	0.013-0.017	Hormigón
0.020	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.028	0.020-0.030	Encachado
0.035	0.030-0.035	Roca, superficie uniforme y lisa
0.023	0.020-0.030	Encachado
0.020	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.022	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.022	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

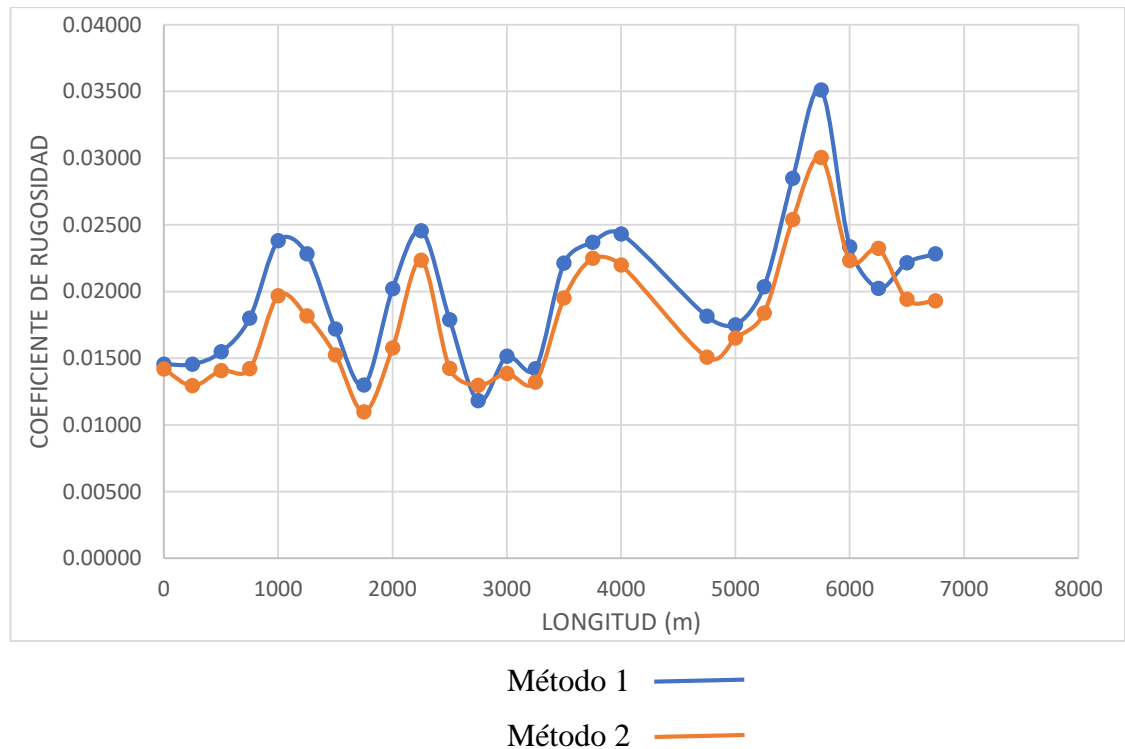
Tabla 17 Coeficientes de Manning y su material de recubrimiento en el método 2

Coeficiente de Manning calculado	Coeficiente de Manning	Material de recubrimiento
0.014	0.013-0.017	Hormigón
0.012	0.013-0.017	Hormigón
0.014	0.013-0.017	Hormigón
0.014	0.013-0.017	Hormigón
0.019	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.018	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.015	0.013-0.017	Hormigón
0.010	0.013-0.017	Hormigón
0.015	0.013-0.017	Hormigón
0.022	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.014	0.013-0.017	Hormigón
0.012	0.013-0.017	Hormigón
0.013	0.013-0.017	Hormigón
0.013	0.013-0.017	Hormigón
0.019	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.022	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.021	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.015	0.013-0.017	Hormigón
0.016	0.013-0.017	Hormigón
0.018	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.025	0.020-0.030	Encachado
0.030	0.020-0.030	Encachado
0.022	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.023	0.020-0.030	Encachado
0.019	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita
0.019	0.016-0.022	Hormigón revestido con gunita

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Para poder apreciarlo de menor manera en la figura 50 podemos apreciar dicha variación del coeficiente en relación a la distancia total de los seis escenarios diferentes en sus dos métodos.

Figura 50. Coeficiente de rugosidad VS longitud con método1 y método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

3.3. Discusión de resultados velocidades y caudales

Para el análisis final se ha tomado como referencia los resultados obtenidos en los seis escenarios mediante el método 1, descrito previamente. En el presente proyecto se obtuvieron valores de velocidades promedio de $1.103 \frac{m}{s}$ y un valor de caudal medio de $1.6565 \frac{m^3}{s}$ en el tramo del óvalo 1 al 11. Adicionalmente, durante el proceso de medición en campo se ha observado un valor máximo de velocidad media $1.63 \frac{m}{s}$, y un valor de caudal máximo de $2.324 \frac{m^3}{s}$.

En el método 2 se obtuvo valores de velocidad promedio de $1.284 \frac{m}{s}$ y un valor de caudal medio de $1.63 \frac{m^3}{s}$ en el tramo del óvalo 1 al 11. Adicionalmente, durante el proceso de medición en campo se ha observado un valor máximo de velocidad $1.93 \frac{m}{s}$, y un valor de caudal máximo de $2.32 \frac{m^3}{s}$.

Ambos métodos arrojan resultados simultáneos validando el proceso de recolección y procesamiento de información.

3.4. Discusión coeficiente de rugosidad de Manning

Los coeficientes de rugosidad de Manning han sido determinados para cada una de las secciones transversales, en el método 1, se obtuvieron los resultados que se encuentran resumidos en la tabla número 17. Obteniendo un valor promedio de $n = 0.0198$, siendo este correspondiente a un comportamiento hidráulico igual a un recubrimiento de hormigón revestido con gunito debido a que el coeficiente de Manning se encuentra en el rango de 0.016 a 0.022 [24].

De manera simultánea se obtuvo un valor mínimo y máximo del coeficiente de rugosidad $n = 0.013$ y $n = 0.035$ correspondientemente, siendo estos representados por el recubrimiento de hormigón teniendo un rango de 0.013 a 0.017 y el valor máximo del coeficiente corresponde al recubrimiento de roca superficie uniforme y lisa en el rango de 0.030 a 0.035 [24].

Los coeficientes de rugosidad de Manning han sido determinados para cada una de las secciones transversales en el método 2 se obtuvieron los resultados que se encuentran resumidos en la tabla número 17. Obteniendo un valor promedio de $n = 0.017$, siendo este correspondiente a un comportamiento hidráulico igual a un recubrimiento de hormigón debido a que el coeficiente de Manning se encuentra en el rango de 0.013 a 0.017 [24].

De manera simultánea se obtuvo un valor mínimo y máximo del coeficiente de rugosidad $n = 0.013$ y $n = 0.030$ correspondientemente, siendo estos representados por el

recubrimiento de hormigón teniendo un rango de 0.013 a 0.017 y el valor máximo del coeficiente corresponde al recubrimiento de roca superficie uniforme y lisa en el rango de 0.030 a 0.035 [24]. Cabe recalcar que los valores del coeficiente calculado representan un comportamiento hidráulico similar a que, sí el canal estuviese recubierto con el material especificado siendo este hormigón revestido con gunita, pese a que el canal se encuentra recubierto con hormigón.

En la figura 50 se realizó una comparación de los coeficientes de Manning para los dos métodos de cálculo propuestos, se obtuvo que tanto el método 1 (M1) y el método 2 (M2) tienen la misma tendencia a lo largo del canal. Existen picos máximos del coeficiente de rugosidad de Manning “n” en las abscisas (1+000, 2+250, 3+500, 4+000, 5+750), debido a que estas secciones se encuentran próximas o dentro de una curva en el canal, alterando el comportamiento y aumentando la velocidad lo que tiene como consecuencia la erosión y degeneración en el material de construcción.

3.5. Resultados de pérdidas de caudal por métodos prácticos

Las pérdidas se determinaron realizando una suma algebraica entre los valores de caudal encontrados por sección, mismas que fueron determinadas cada 250 metros en seis diferentes escenarios los cuales están entre la abscisa 0+000 y 6+750; se han realizado por dos métodos descritos anteriormente. Los resultados obtenidos en el primer escenario se muestran en la tabla 18.

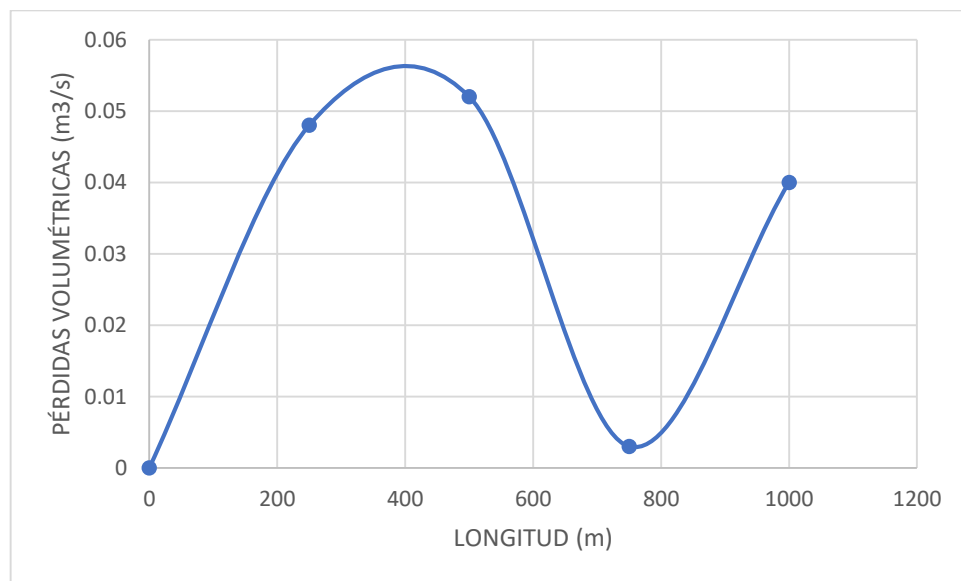
Tabla 18 Pérdidas volumétricas en el escenario 1

SECCIÓN	ABSCISA	PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS			
		MÉTODO 1		MÉTODO 2	
		CAUDAL (m ³ /s)	PÉRDIDA (m ³ /s)	CAUDAL (m ³ /s)	PÉRDIDA (m ³ /s)
1	0+000	2.162		2.122	
2	0+250	2.114	0.048	2.079	0.043
3	0+500	2.062	0.052	2.028	0.051
4	0+750	2.059	0.003	2.015	0.014
5	1+000	2.02	0.04	2.014	0.001

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la figura 51 representamos los valores de las pérdidas volumétricas suscitadas en el escenario uno con relación a la longitud de este escenario por el método uno.

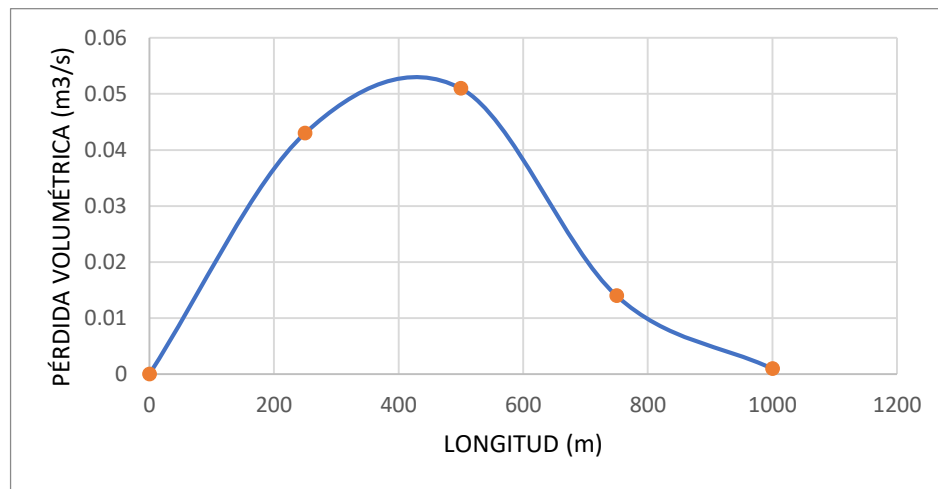
Figura 51. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 1 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la figura 52 representamos los valores de las pérdidas volumétricas suscitadas en el escenario uno con relación a la longitud de este escenario por el método dos.

Figura 52. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 1 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Los resultados obtenidos en el segundo escenario se muestran a continuación en la tabla 19

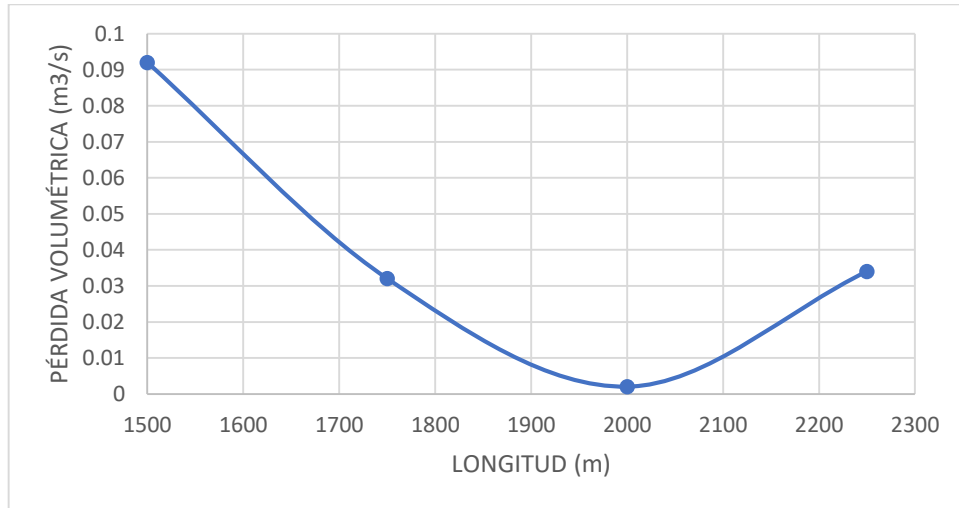
Tabla 19 Pérdidas volumétricas en el escenario 2

SECCIÓN	ABSCISA	PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS			
		MÉTODO 1		MÉTODO 2	
		CAUDAL (m³/s)	PÉRDIDA (m³/s)	CAUDAL (m³/s)	PÉRDIDA (m³/s)
6	1+250	2.323		2.326	
7	1+500	2.23	0.092	2.261	0.065
8	1+750	2.198	0.032	2.16	0.101
9	2+000	2.196	0.002	2.156	0.004
10	2+250	2.162	0.034	2.124	0.032

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la figura 53 representamos los valores de las pérdidas volumétricas suscitadas en el escenario dos con relación a la longitud de este escenario por el método uno.

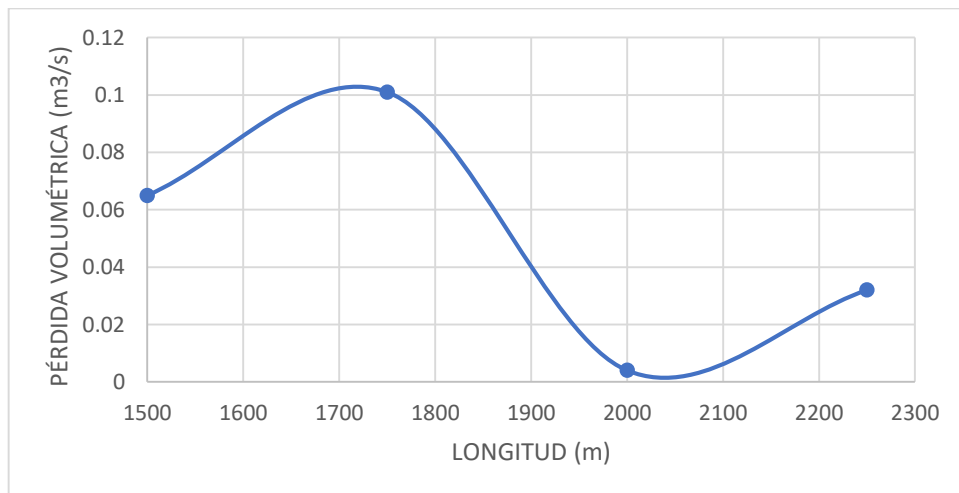
Figura 53. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 2 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la figura 54 representamos los valores de las pérdidas volumétricas suscitadas en el escenario dos con relación a la longitud de este escenario por el método dos.

Figura 54. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 2 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Los resultados obtenidos en el tercer escenario se muestran a continuación en la tabla 20.

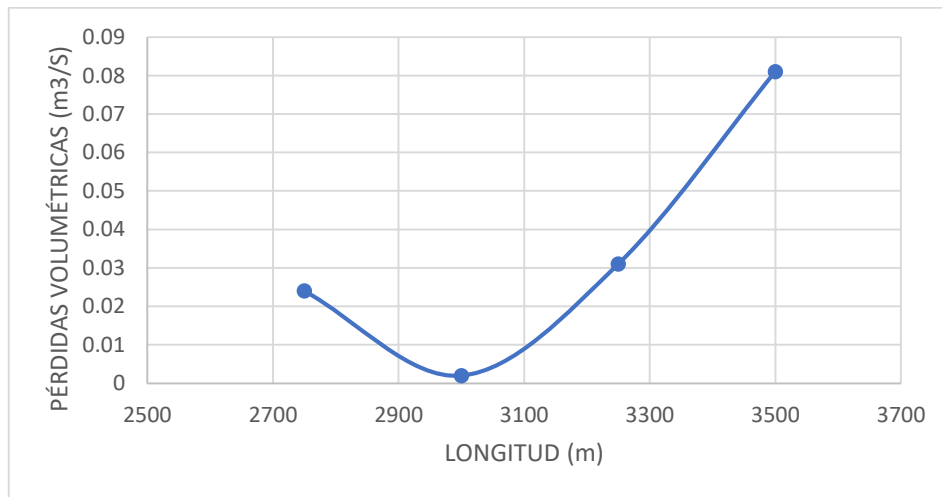
Tabla 20 Pérdidas volumétricas en el escenario 3

SECCIÓN	ABSCISA	PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS			
		MÉTODO 1		MÉTODO 2	
		CAUDAL (m ³ /s)	PÉRDIDA (m ³ /s)	CAUDAL (m ³ /s)	PÉRDIDA (m ³ /s)
11	2+500	2.233		2.267	
12	2+750	2.209	0.024	2.192	0.076
13	3+000	2.207	0.002	2.177	0.014
14	3+250	2.176	0.031	2.149	0.028
15	3+500	2.095	0.081	2.057	0.092

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la figura 55 representamos los valores de las pérdidas volumétricas suscitadas en el escenario tres con relación a la longitud de este escenario por el método uno.

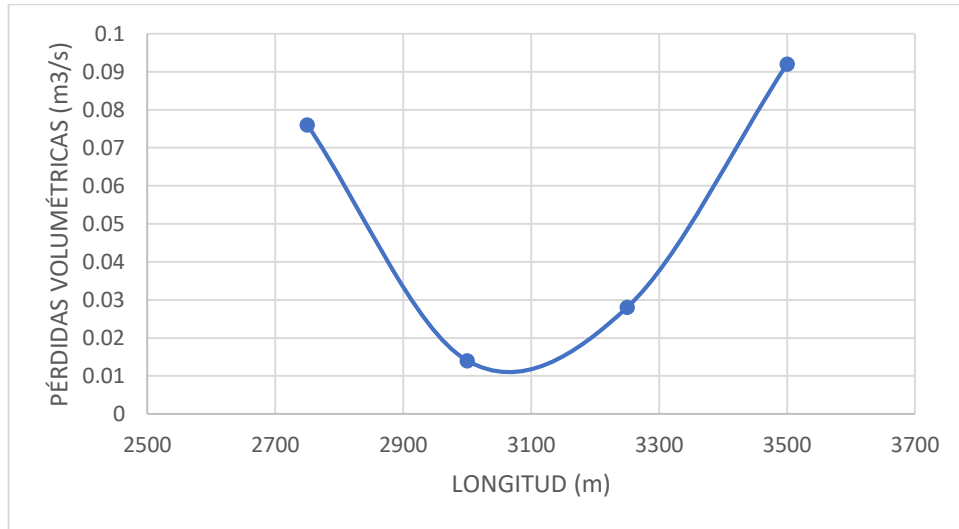
Figura 55. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 3 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la figura 56 representamos los valores de las pérdidas volumétricas suscitadas en el escenario tres con relación a la longitud de este escenario por el método dos.

Figura 56. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 3 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Los resultados obtenidos en el cuarto escenario se muestran a continuación en la tabla 21.

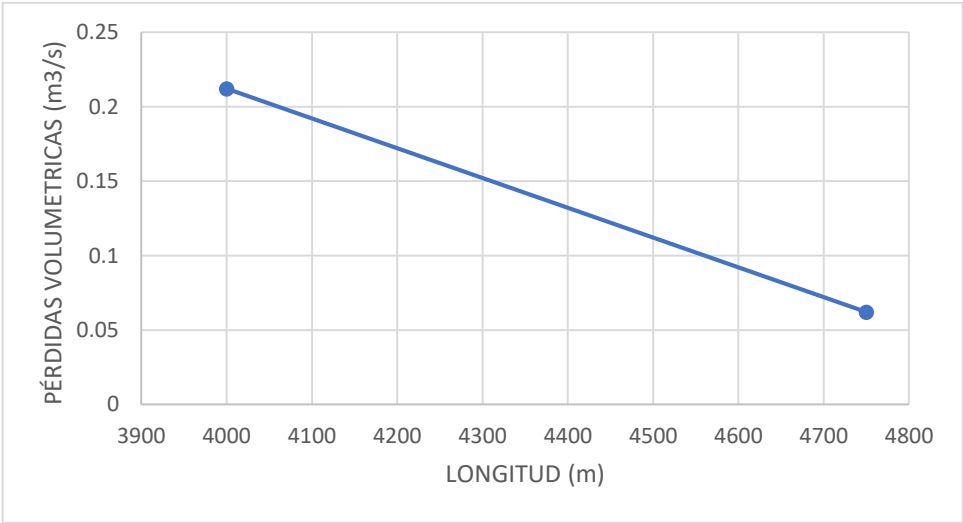
Tabla 21 Pérdidas de caudal en el escenario 4

SECCIÓN	ABSCISA	PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS			
		MÉTODO 1		MÉTODO 2	
		CAUDAL (m³/s)	PÉRDIDA (m³/s)	CAUDAL (m³/s)	PÉRDIDA (m³/s)
16	3+750	1.814		1.733	
17	4+000	1.602	0.212	1.561	0.173
18	4+750	1.54	0.062	1.555	0.005

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la figura 57 representamos los valores de las pérdidas volumétricas suscitadas en el escenario cuatro con relación a la longitud de este escenario por el método uno.

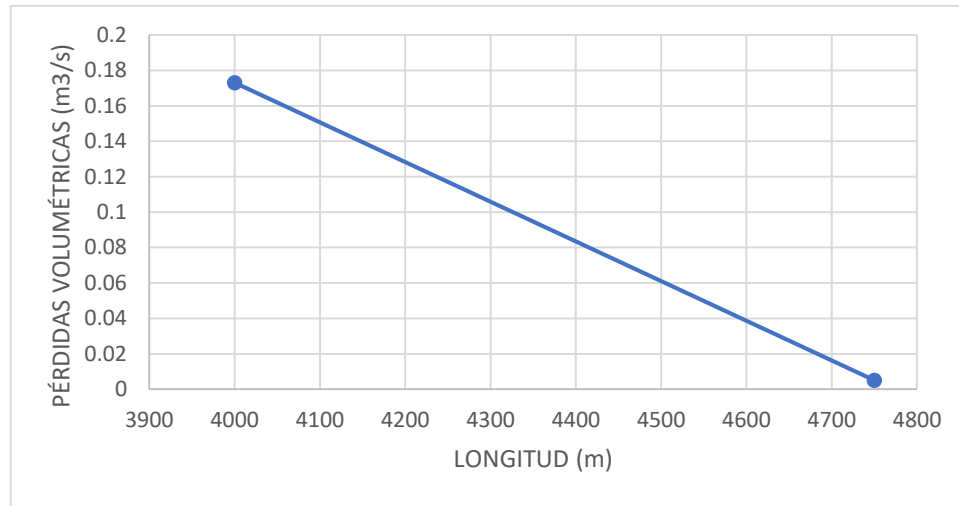
Figura 57. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 4 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la figura 58 representamos los valores de las pérdidas volumétricas suscitadas en el escenario cuatro con relación a la longitud de este escenario por el método dos.

Figura 58. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 4 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Los resultados obtenidos en el quinto escenario se muestran a continuación en la tabla 22.

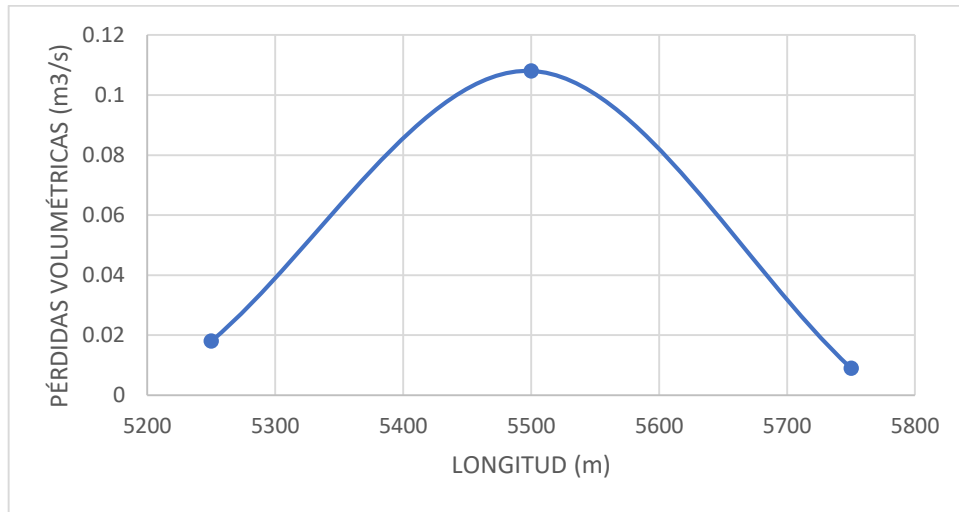
Tabla 22 Pérdidas de caudal en el escenario 5

SECCIÓN	ABSCISA	PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS			
		MÉTODO 1		MÉTODO 2	
		CAUDAL (m³/s)	PÉRDIDA (m³/s)	CAUDAL (m³/s)	PÉRDIDA (m³/s)
19	5+000	1.009		0.982	
20	5+250	0.991	0.018	0.974	0.008
21	5+500	0.883	0.108	0.896	0.079
22	5+750	0.874	0.009	0.876	0.019

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la figura 59 representamos los valores de las pérdidas volumétricas suscitadas en el escenario cinco con relación a la longitud de este escenario por el método uno.

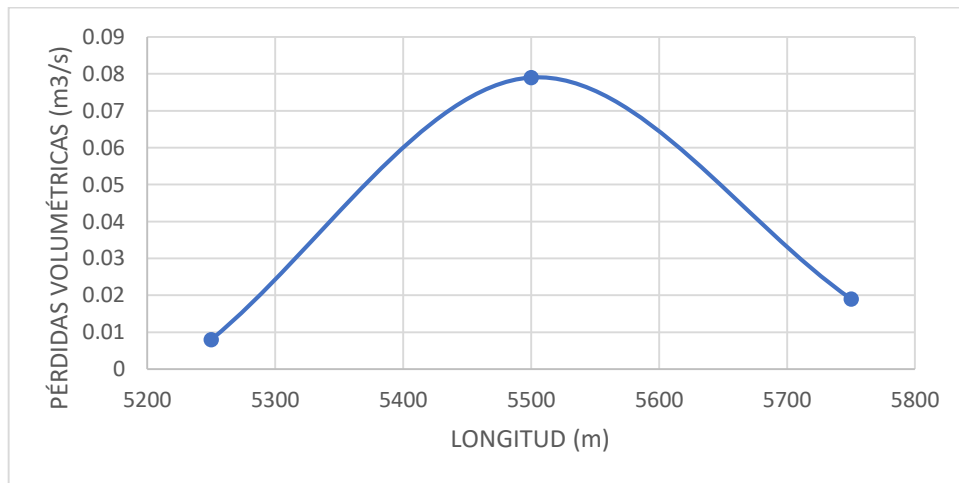
Figura 59. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 5 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la figura 60 representamos los valores de las pérdidas volumétricas suscitadas en el escenario cinco con relación a la longitud de este escenario por el método dos.

Figura 60. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 5 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Los resultados obtenidos en el sexto escenario se muestran a continuación en la tabla 23.

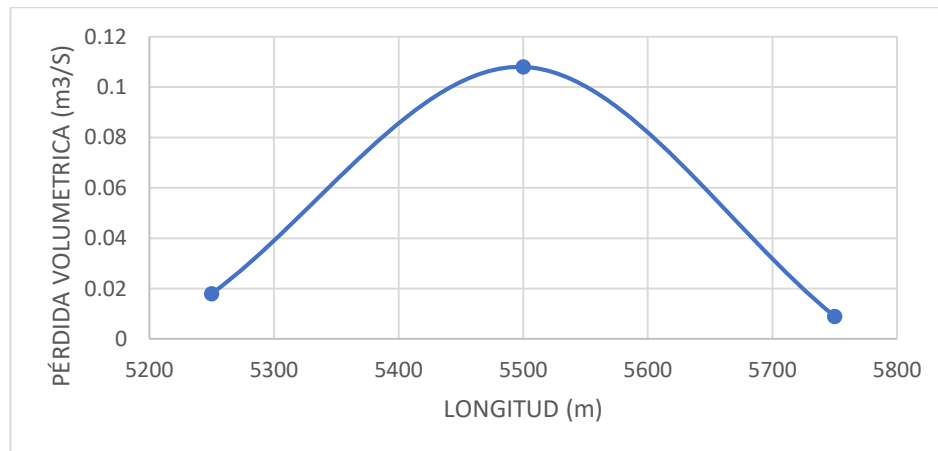
Tabla 23 Pérdidas de caudal en el escenario 6

SECCIÓN	ABSCISA	PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS			
		MÉTODO 1		MÉTODO 2	
		CAUDAL (m^3/s)	PÉRDIDA (m^3/s)	CAUDAL (m^3/s)	PÉRDIDA (m^3/s)
23	6+000	0.866		0.846	
24	6+250	0.865	0.002	0.84	0.007
25	6+500	0.857	0.008	0.828	0.012
26	6+750	0.851	0.005	0.81	0.018

FUENTE: Félix Sebastián Romero Córdova

En la figura 61 representamos los valores de las pérdidas volumétricas suscitadas en el escenario seis con relación a la longitud de este escenario por el método uno.

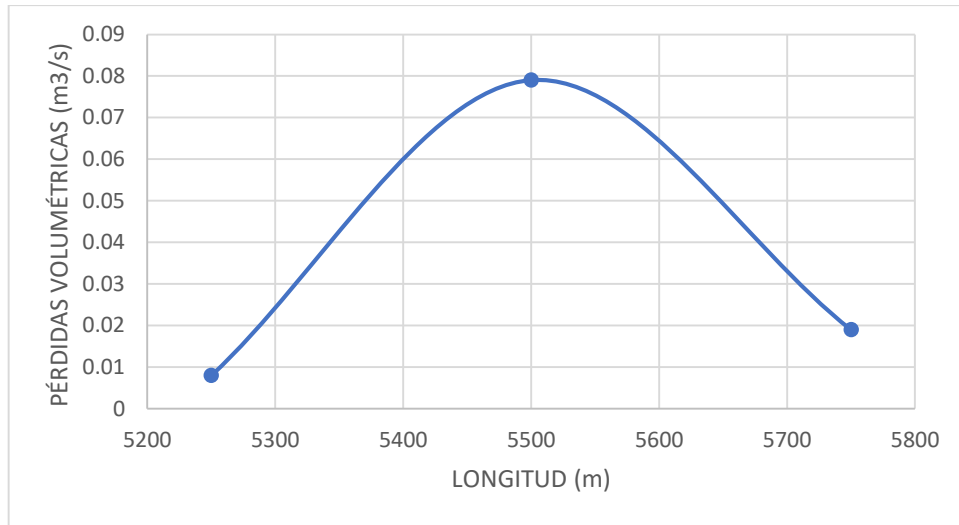
Figura 61. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 6 por el método 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la figura 62 representamos los valores de las pérdidas volumétricas suscitadas en el escenario seis con relación a la longitud de este escenario por el método dos.

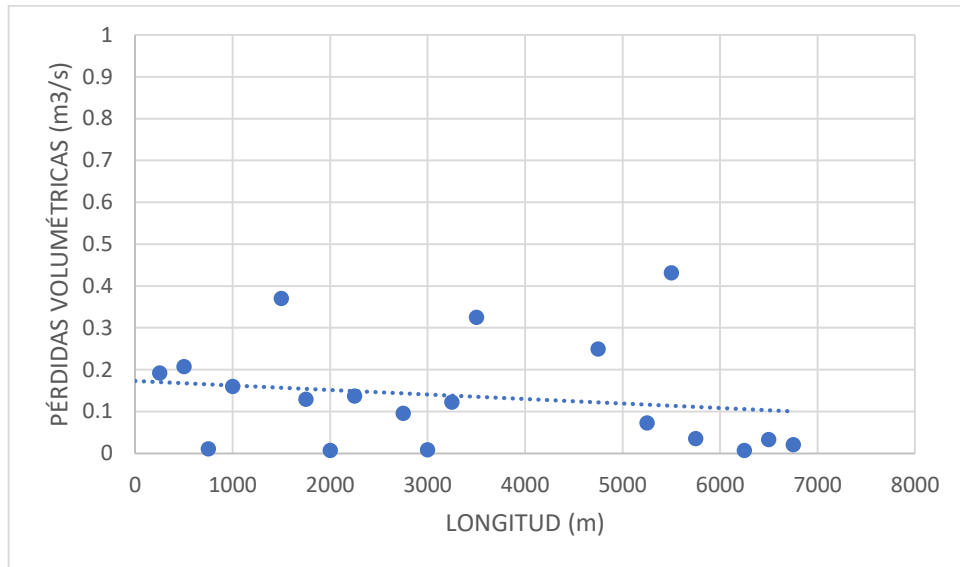
Figura 62. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 6 por el método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Las pérdidas volumétricas encontrados a lo largo de todos los seis escenarios por el método 1 van teniendo variación la figura 63 nos muestra cómo se presentan estas con relación a la distancia total de estos escenarios.

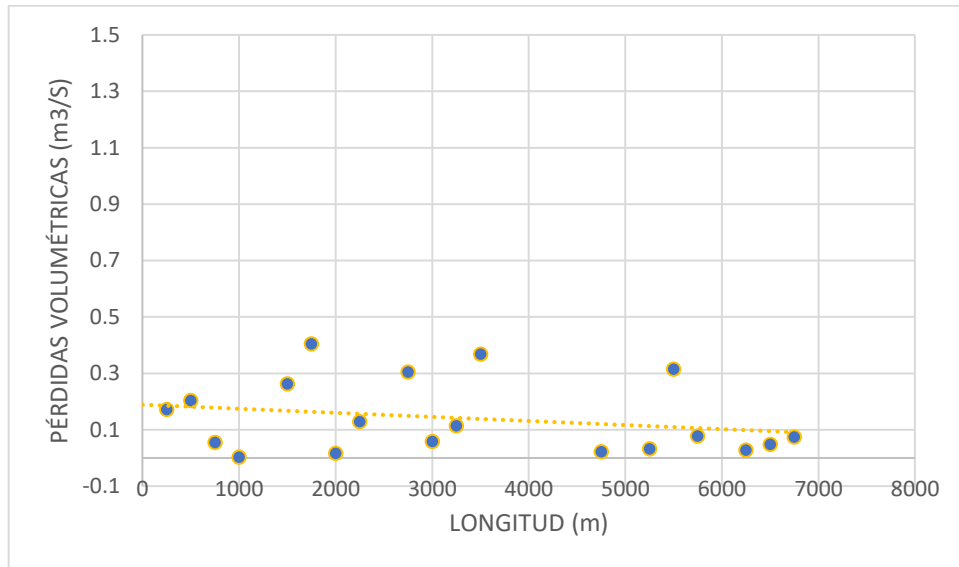
Figura 63. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 1



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Las pérdidas volumétricas encontrados a lo largo de todos los seis escenarios por el método 2 van teniendo variación la figura 64 nos muestra cómo se presentan estas con relación a la distancia total de estos escenarios.

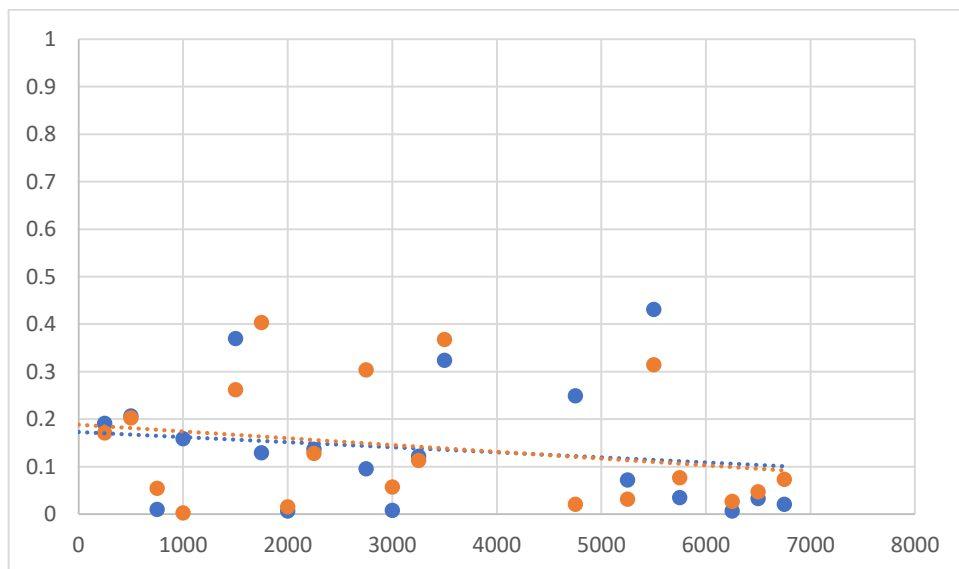
Figura 64. Pérdidas volumétricas VS longitud en el escenario 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la figura 65 observamos las tendencias del método uno y el método 2 entre las pérdidas volumétricas y la longitud total del canal en estudio.

Figura 65. Pérdidas volumétricas vs longitud del método 1 y método 2



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

3.6. Discusión pérdidas volumétricas

En las figuras 64 y 65 se muestra la comparación del cálculo de pérdidas para los dos métodos propuestos, con una tendencia lineal que disminuye dando como resultado un valor de pérdida de caudal relativamente constante a lo largo de todo el canal siendo este en promedio de los dos métodos igual a $0.045 \frac{m^3}{s}$, mientras que los valores varían entre $(0.05 \frac{m^3}{km})$, $(0.1 \frac{m^3}{km})$, dependiendo estos por el tipo de recubrimiento, rotura física del canal o conexiones clandestinas. Estos resultados serán comparados posteriormente con los recomendados por la bibliografía.

3.7. Resultados de pérdidas de caudal teórica

Las pérdidas de caudal se han obtenido por medio de la fórmula de Uginchus, es importante señalar que los datos encontrados son teóricos para un hormigón totalmente nuevo.

$$P = K \frac{d}{t} (b + d(\sqrt{1 + m^2}))$$

Donde:

P = pérdida de caudal

t = espesor del revestimiento

K = permeabilidad del revestimiento de hormigón que varía de 0.00001-0.0000001 cm/s

b = ancho de la solera m

d = Calado m

m = tangente del ángulo del talud con la vertical

Estas pérdidas se han encontrado para cada escenario la tabla 24 nos muestra en escenario 1 y sucesivamente para los siguientes escenarios.

Tabla 24 Pérdidas de caudal por método de Uginchus en el escenario 1

ESCENARIO 1		
SECCIÓN	ABSCISA	Pérdida Volumétrica método de Uginchos (m^3/s)
1	0+000	0.006
2	0+250	0.006
3	0+500	0.005
4	0+750	0.006
5	1+000	0.006

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Tabla 25 Pérdidas de caudal por método de Uginchus en el escenario 2

ESCENARIO 2		
SECCIÓN	ABSCISA	Pérdida Volumétrica método de Uginchos (m^3/s)
6	1+250	0.006
7	1+500	0.006
8	1+750	0.005
9	2+000	0.006
10	2+250	0.007

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Tabla 26 Pérdidas de caudal por método de Uginchus en el escenario 3

ESCENARIO 3		
SECCIÓN	ABSCISA	Pérdida Volumétrica método de Uginchos (m^3/s)
11	2+500	0.008
12	2+750	0.006
13	3+000	0.006
14	3+250	0.006
15	3+500	0.005

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Tabla 27 Pérdidas de caudal por método de Uginchus en el escenario 4

ESCENARIO 4		
SECCIÓN	ABSCISA	Pérdida Volumétrica método de Uginchos (m^3/s)
16	3+750	0.005
17	4+000	0.004
18	4+750	0.005

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Tabla 28 Pérdidas de caudal por método de Uginchus en el escenario 5

ESCENARIO 5		
SECCIÓN	ABSCISA	Pérdida Volumétrica método de Uginchos (m^3/s)
19	5+000	0.004
20	5+250	0.005
21	5+500	0.004
22	5+750	0.004

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Tabla 29 Pérdidas de caudal por método de Uginchus en el escenario 6

ESCENARIO 6		
SECCIÓN	ABSCISA	Pérdida Volumétrica método de Uginchos (m^3/s)
23	6+000	0.005
24	6+250	0.004
25	6+500	0.004
26	6+750	0.005

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

3.5. Comparación de resultados de pérdidas de caudal

Las pérdidas de caudal hemos obtenido por medio de tres métodos diferentes:

- Método 1 (práctico)
- Método 2 (práctico)
- Método Uginchus,

Se realizó una comparativa entre estos métodos en la tabla 30 podemos observar dicha comparativa en el escenario 1.

Tabla 30 Comparativa entre las pérdidas de caudal en el escenario 1

SECCIÓN	ABSCISA	COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS		
		MÉTODO 1 (m^3/s)	MÉTODO 2 (m^3/s)	Uginchos (m^3/s)
1	0+000			
2	0+250	0.048	0.043	0.006
3	0+500	0.052	0.051	0.005
4	0+750	0.003	0.014	0.006
5	1+000	0.04	0.001	0.006

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdoba

En la tabla 31 se observa la comparativa entre: método 1, método 2 y método de Uginchos en el escenario 2.

Tabla 31 Comparativa entre las pérdidas de caudal en el escenario 2

SECCIÓN	ABSCISA	COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS		
		MÉTODO 1 (m^3/s)	MÉTODO 2 (m^3/s)	Uginchos (m^3/s)
6	1+250			
7	1+500	0.092	0.065	0.006
8	1+750	0.032	0.101	0.005
9	2+000	0.002	0.004	0.006
10	2+250	0.034	0.032	0.007

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdoba

En la tabla 32 se observa la comparativa entre: método 1, método 2 y método de Uginchos en el escenario 3.

Tabla 32 Comparativa entre las pérdidas de caudal en el escenario 3

SECCIÓN	ABSCISA	COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS		
		MÉTODO 1 (m^3/s)	MÉTODO 2 (m^3/s)	Uginchos (m^3/s)
11	2+500			
12	2+750	0.024	0.076	0.006
13	3+000	0.002	0.014	0.006
14	3+250	0.031	0.028	0.006
15	3+500	0.081	0.092	0.005

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 33 se observa la comparativa entre: método 1, método 2 y método de Uginchos en el escenario 4.

Tabla 33 Comparativa entre las pérdidas de caudal en el escenario 4

SECCIÓN	ABSCISA	COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS		
		MÉTODO 1 (m^3/s)	MÉTODO 2 (m^3/s)	Uginchos (m^3/s)
16	3+750			
17	4+000	0.212	0.173	0.004
18	4+750	0.062	0.005	0.005

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 34 se observa la comparativa entre: método 1, método 2 y método de Uginchos en el escenario 5.

Tabla 34 Comparativa entre las pérdidas de caudal en el escenario 5

SECCIÓN	ABSCISA	COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS		
		MÉTODO 1 (m^3/s)	MÉTODO 2 (m^3/s)	Uginchos (m^3/s)
19	5+000			
20	5+250	0.018	0.008	0.005
21	5+500	0.108	0.079	0.004
22	5+750	0.009	0.019	0.004

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

En la tabla 35 se observa la comparativa entre: método 1, método 2 y método de Uginchos en el escenario 6.

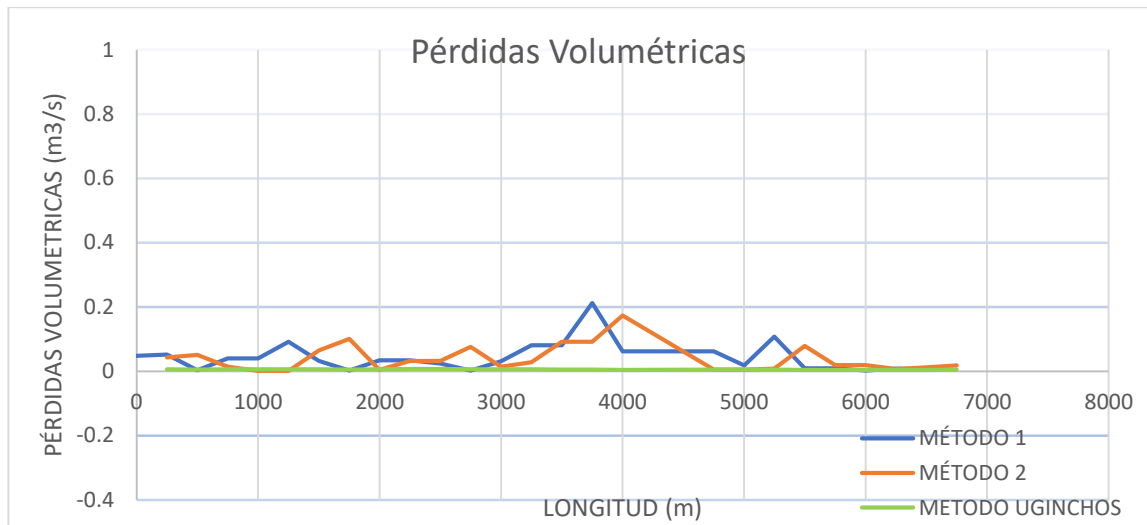
Tabla 35 Comparativa entre las pérdidas de caudal en el escenario 6

SECCIÓN	ABSCISA	COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS		
		MÉTODO 1 (m^3/s)	MÉTODO 2 (m^3/s)	Uginchos (m^3/s)
23	6+000			
24	6+250	0.002	0.007	0.004
25	6+500	0.008	0.012	0.004
26	6+750	0.005	0.018	0.005

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Finalmente, en la figura 66 podemos apreciar una comparación general del método 1, método 2, y método de Uginchos en base a las pérdidas volumétricas sustentadas en este proyecto

Figura 66. Pérdidas volumétricas VS longitud por el método1, método2, método de Uginchos



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

3.8. Discusión de pérdidas calculadas VS teóricas

Al calcular el valor de las pérdidas se obtuvo un promedio en los dos métodos de $0.045 \frac{m^3}{s}$ y al calcular las pérdidas teóricas mediante la fórmula de Uginchos obtuvimos un valor promedio de $0.005 \frac{m^3}{s}$, seguidamente obtuvimos el porcentaje de diferencia entre estos dos valores de pérdidas siendo este igual a 3.91%. Existe una amplia diferencia entre los valores obtenidos esto se puede ser debido a que la fórmula de Uginchos es propuesta para el cálculo de pérdidas en canales de hormigón completamente nuevos y se la uso como referencia del límite inferior al caso en el proyecto debido a que el canal en estudio tiene más de 20 años de funcionamiento, teniendo en cuenta que en este ya existe desgaste del material, posibles conexiones ilícitas a lo largo del canal otro factor es la falta de mantenimiento de este.

3.9. Modelación en el software Hec-ras 4.1.0

El análisis del modelo en el software Hec – ras 4.1.0 se llevó para los diferentes escenarios teniendo un total de seis modelaciones en las cuales se introdujo los parámetros obtenidos en el trabajo de campo, específicamente hemos ingresado: la topografía, los caudales y el coeficiente de Manning calculado, estos parámetros son propios del método 1.

3.10. Calibración Hec-Ras 4.1.0

Para calibrar el software se ha realizado una comparación entre el parámetro velocidad media obtenida en campo y la velocidad calculada por el software, obteniendo un margen de error inferior o igual al 4 %, en la tabla 36 se realiza la comparación para el escenario uno.

Tabla 36 Comparación de velocidad media en el escenario 1

ESCENARIO 1				
ABSCISA HEC-RAS	ABSCISA A-CAD CIVIL 3D	COMPARACIÓN DE VELOCIDAD		
		MÉTODO PRÁCTICO (m/s)	HEC RAS (m/s)	%
1+000	0+000	1,06	1,03	3
0+750	0+250	1,16	1,2	4
0+500	0+500	1,31	1,33	2
0+250	0+750	1,28	1,31	3
0+020	1+000	1,23	1,19	4

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

La tabla 37 contiene la comparación para el escenario dos entre la velocidad media obtenida en el campo y la velocidad media arrojada por el software con su respectivo porcentaje de error.

Tabla 37 Comparación de velocidad media en el escenario 2

ESCENARIO 2				
ABSCISA HEC-RAS	ABSCISA A-CAD CIVIL 3D	COMPARACIÓN DE VELOCIDAD		
		MÉTODO PRÁCTICO (m/s)	HEC RAS (m/s)	%
1+000	1+250	1,07	1,03	4
0+750	1+500	1,33	1,37	4
0+500	1+750	1,63	1,63	0
0+250	2+000	1,34	1,38	4
0+020	2+250	1,18	1,2	2

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

La tabla 38 contiene la comparación de las velocidades medias obtenidas en el campo y la velocidad media arrojada por el software del escenario tres con su respectivo porcentaje de error.

Tabla 38 Comparación de velocidad media en el escenario 3

ESCENARIO 3				
ABSCISA HEC-RAS	ABSCISA A-CAD CIVIL 3D	COMPARACIÓN DE VELOCIDAD		
		MÉTODO PRÁCTICO (m/s)	HEC RAS (m/s)	%
1+000	2+500	1	1,04	4
0+750	2+750	1,33	1,37	4
0+500	3+000	1,01	0,98	3
0+250	3+250	1,13	1,09	4
0+020	3+500	1,22	1,2	2

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

La tabla 39 se observa la comparación para el escenario cuatro entre la velocidad media obtenida en el campo y la velocidad media arrojada por el software con su respectivo porcentaje de error.

Tabla 39 Comparación de velocidad media en el escenario 4

ESCENARIO 4				
ABSCISA HEC-RAS	ABSCISA A-CAD CIVIL 3D	COMPARACIÓN DE VELOCIDAD		
		MÉTODO PRÁCTICO (m/s)	HEC RAS (m/s)	%
0+500	3+750	1,00	0,96	4
0+250	4+000	0,98	0,94	4
0+020	4+750	0,97	0,98	1

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

La tabla 40 se observa la comparación para el escenario cinco entre la velocidad media obtenida en el campo y la velocidad media arrojada por el software con su respectivo porcentaje de error.

Tabla 40 Comparación de velocidad media en el escenario 5

ESCENARIO 5				
ABSCISA HEC-RAS	ABSCISA A-CAD CIVIL 3D	COMPARACIÓN DE VELOCIDAD		
		MÉTODO PRÁCTICO (m/s)	HEC RAS (m/s)	%
0+750	5+000	1,08	1,04	4
0+500	5+250	0,95	0,91	4
0+250	5+500	0,97	0,93	4
0+020	5+750	1,03	0,99	4

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

La tabla 41 contiene la comparativa para el escenario seis entre la velocidad media obtenida en el campo y la velocidad media arrojada por el software con su respectivo porcentaje de error.

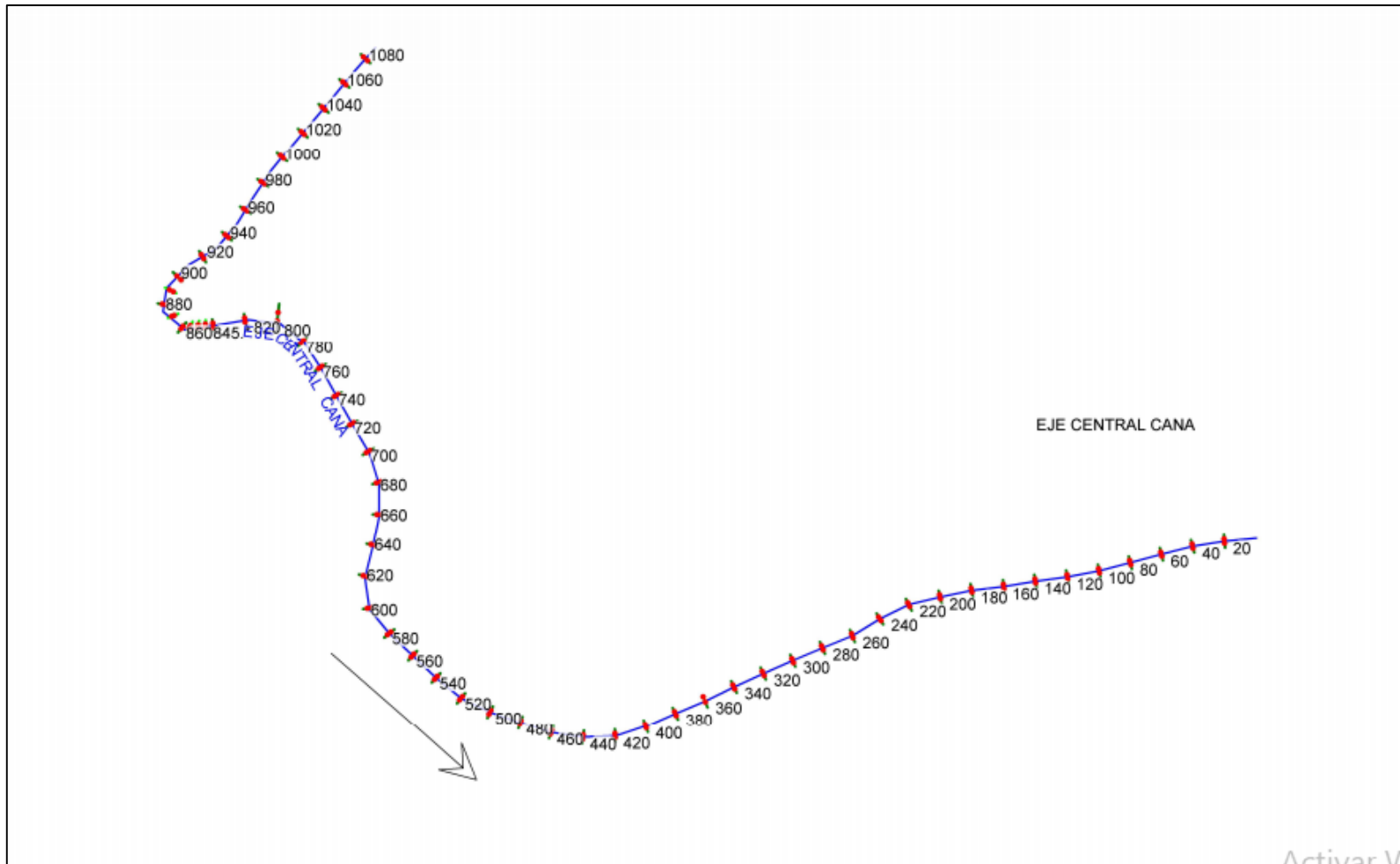
Tabla 41 Comparación de velocidad media en el escenario 6

ESCENARIO 6				
ABSCISA HEC-RAS	ABSCISA A-CAD CIVIL 3D	COMPARACIÓN DE VELOCIDAD		
		MÉTODO PRÁCTICO (m/s)	HEC RAS (m/s)	%
0+750	6+000	0,97	0,93	4
0+500	6+250	1,00	0,97	3
0+250	6+500	0,96	0,93	3
0+020	6+750	0,95	0,99	4

Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

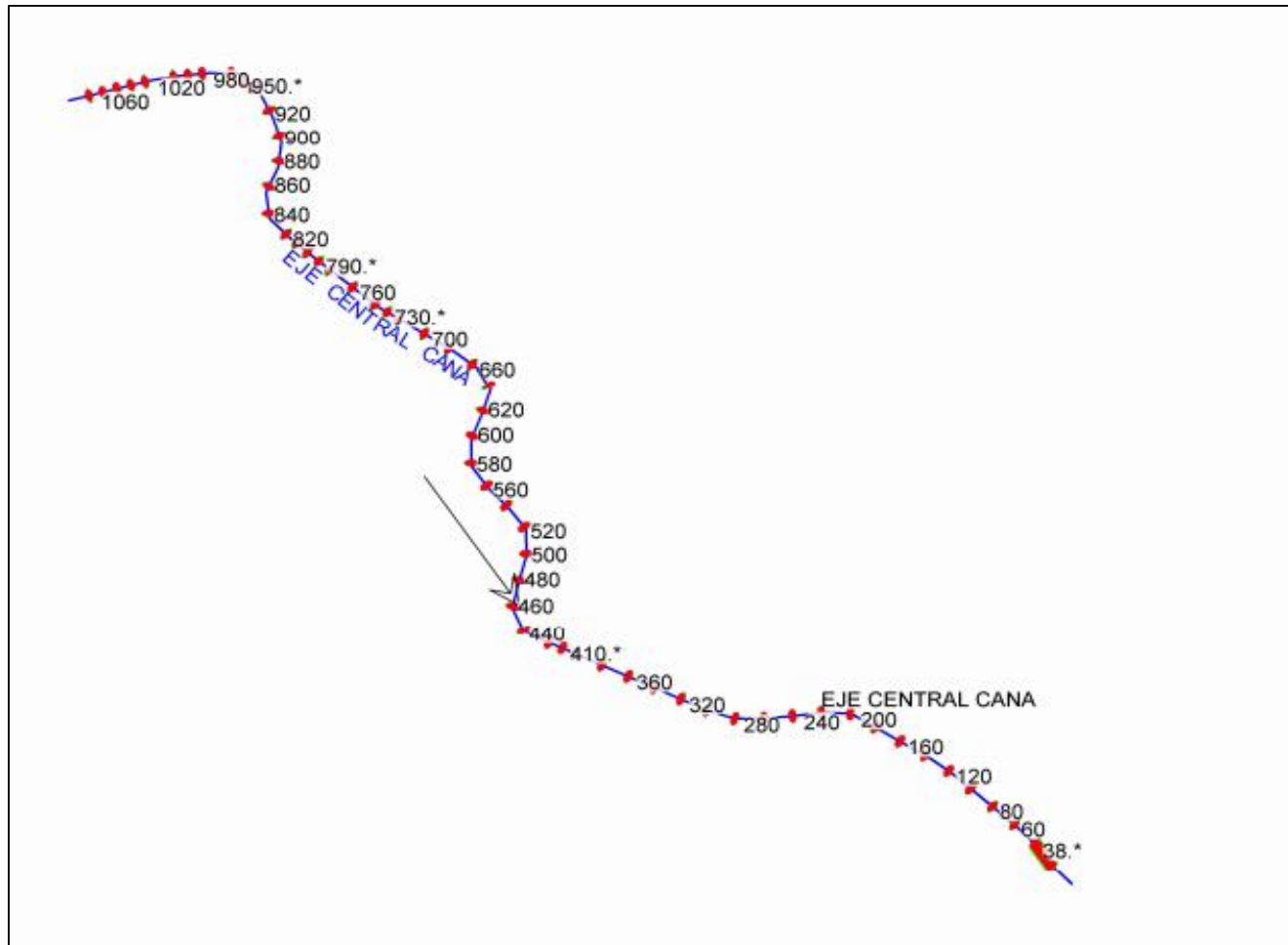
De figura 67 a la figura 72 se muestra un esquema en planta de la geometría modelada en el software en los diferentes escenarios del canal Ambato-Huachi-Pelileo, estas figuras constan de un abscisado previsto según la necesidad del programa (Hec Ras 4.0.1) para realizar adecuadamente la simulación.

Figura 67. Vista en planta modelo HEC-RAS del tramo 1 abscisa 0+000-1+000 del escenario 1



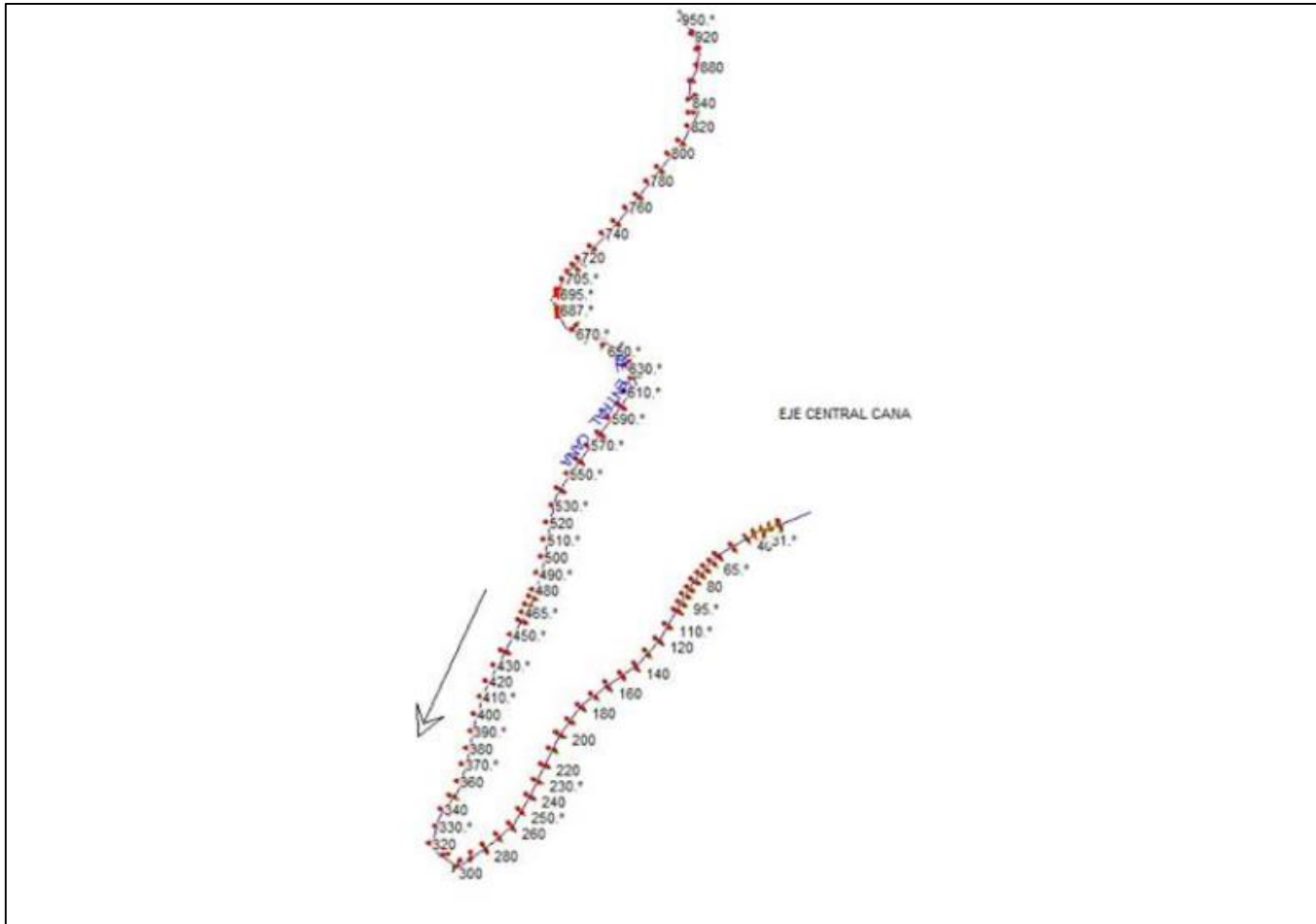
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 68. Vista en planta modelo HEC-RAS del tramo 2 abscisa 0+020-1+000 del escenario 2



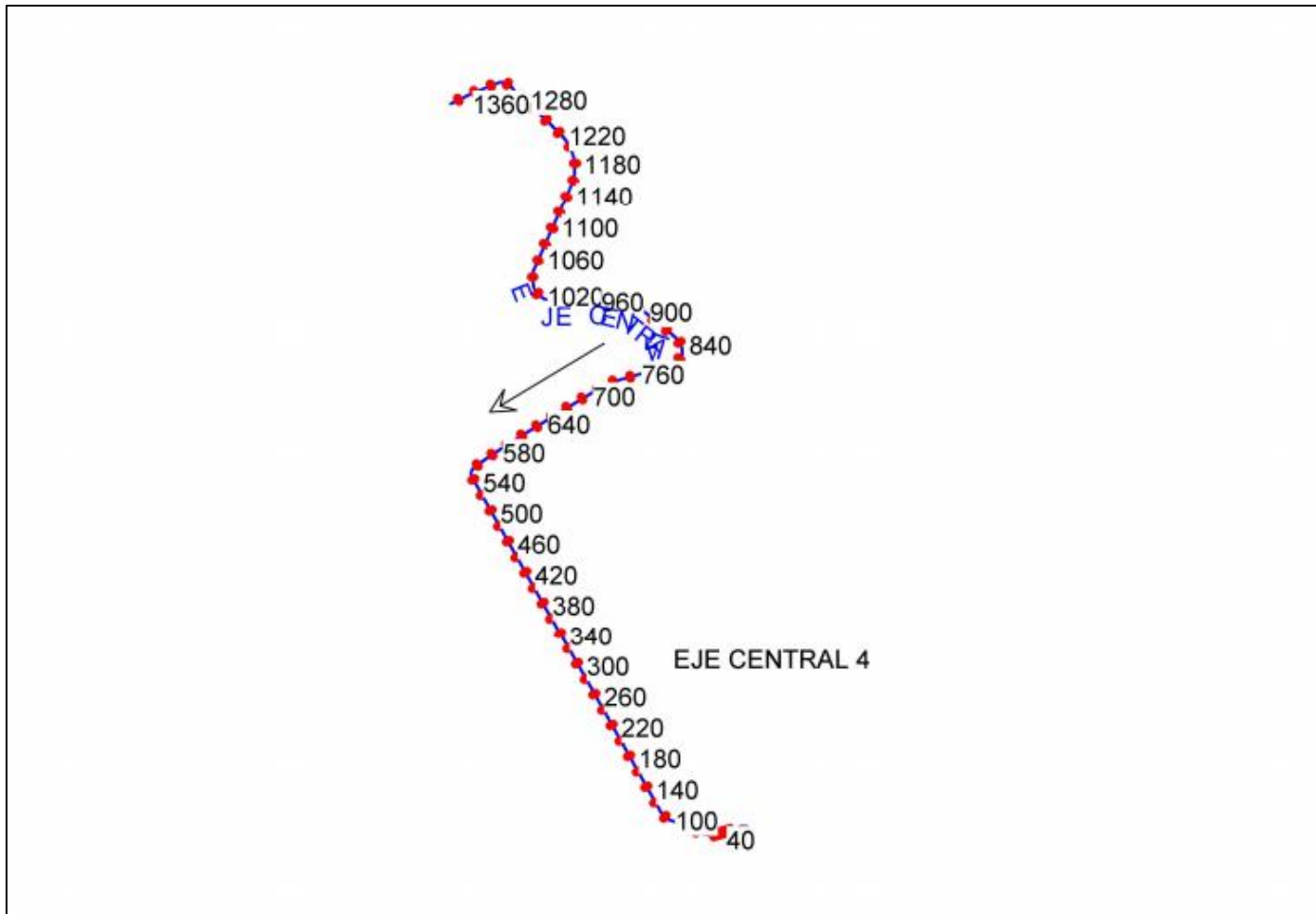
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 69. Vista en planta modelo HEC-RAS del tramo 3 abscisa 0+020-1+000 del escenario 3



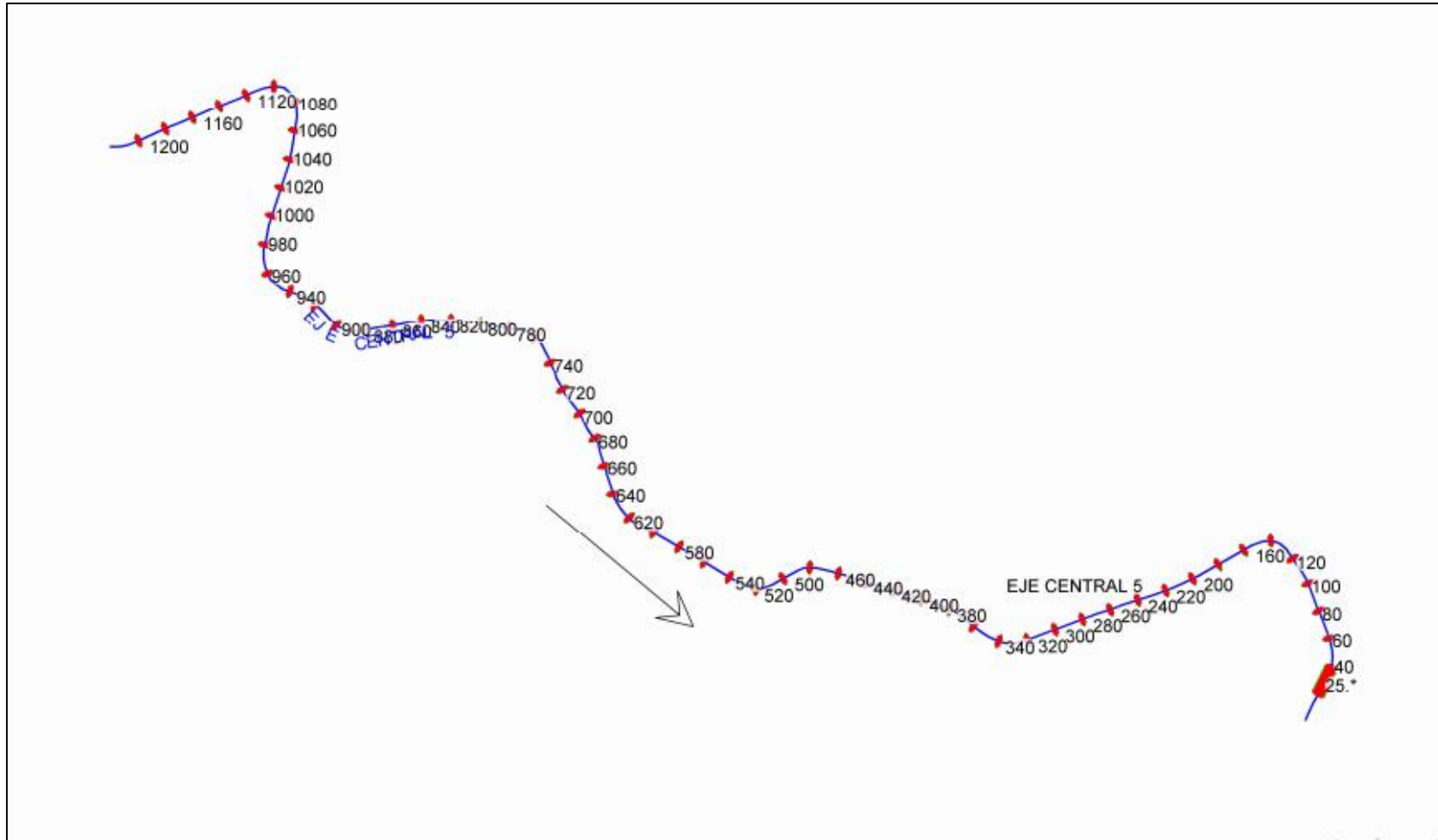
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 70. Vista en planta modelo HEC-RAS del tramo 4 abscisa 0+020-0+500 del escenario 4



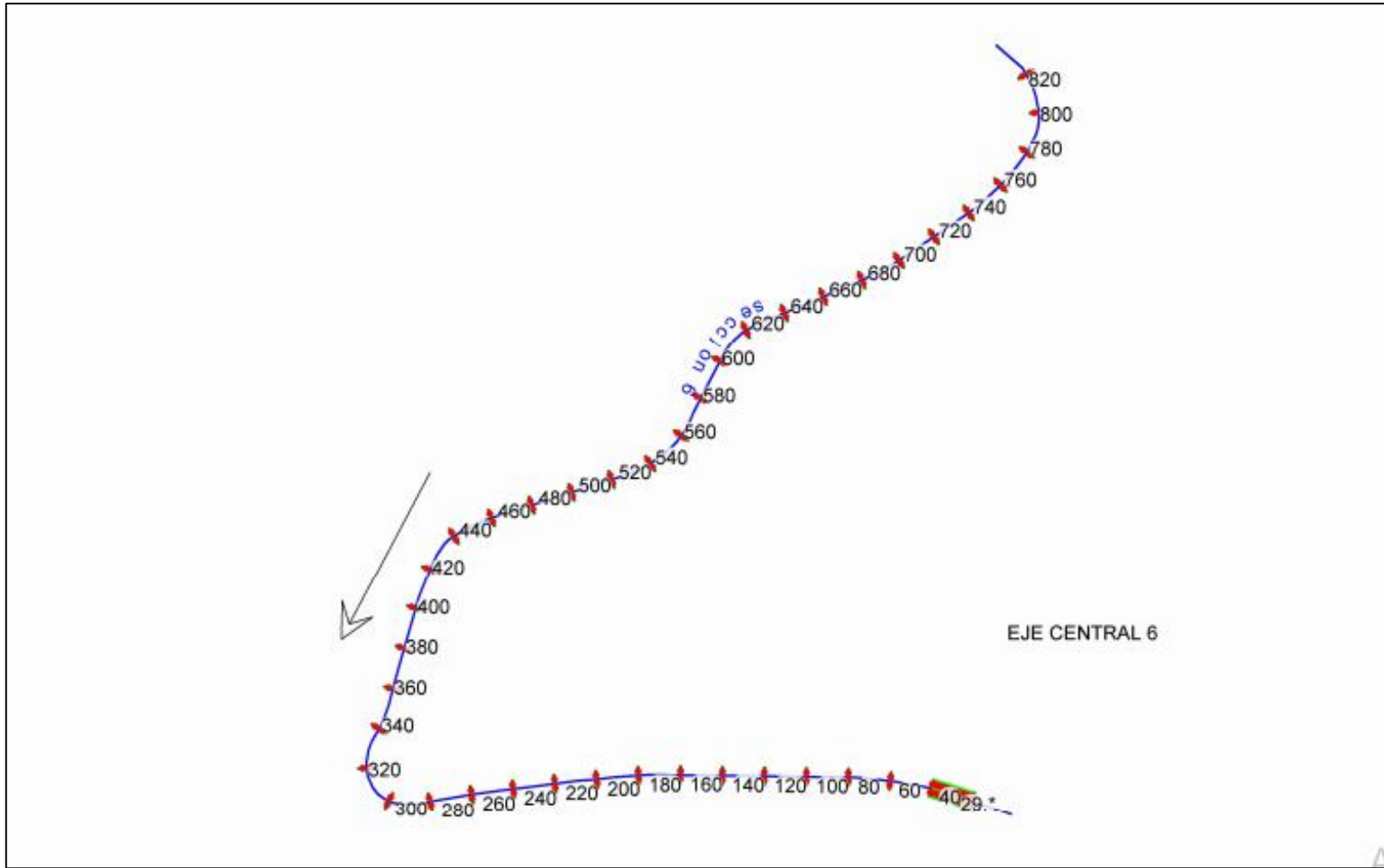
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 71. Vista en planta modelo HEC-RAS del tramo 5 abscisa 0+020-0+750 del escenario 5



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 72. Vista en planta modelo HEC-RAS del tramo 6 abscisa 0+020-0+750 del escenario 6



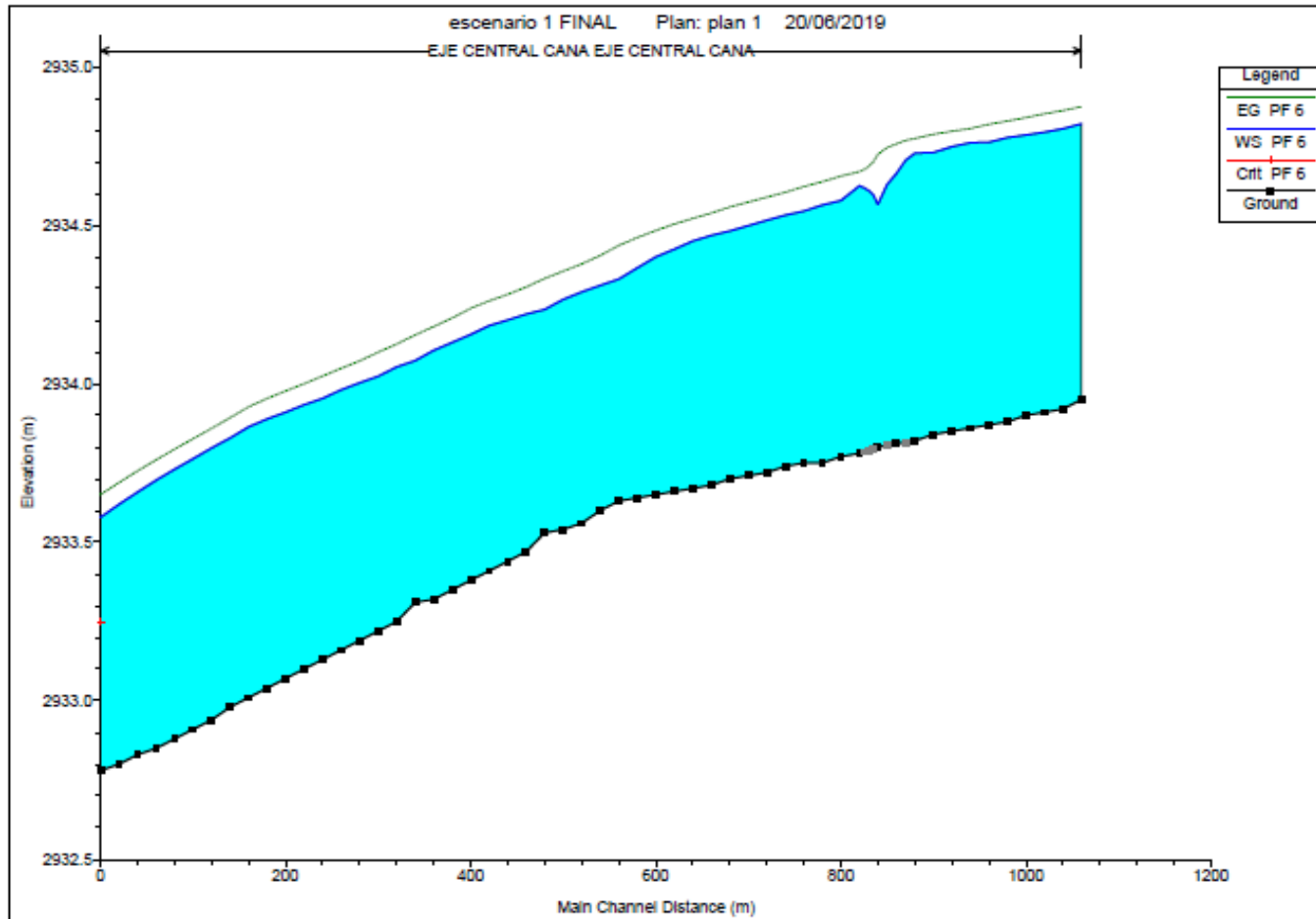
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

3.11. Simulación del escenario 1

Para la simulación se utilizó el coeficiente de rugosidad calculado se lo distribuyó a lo largo del canal según lo descrito anteriormente, adicionalmente se obtuvo un promedio del caudal del escenario 1 de $2.083\text{m}^3/\text{s}$.

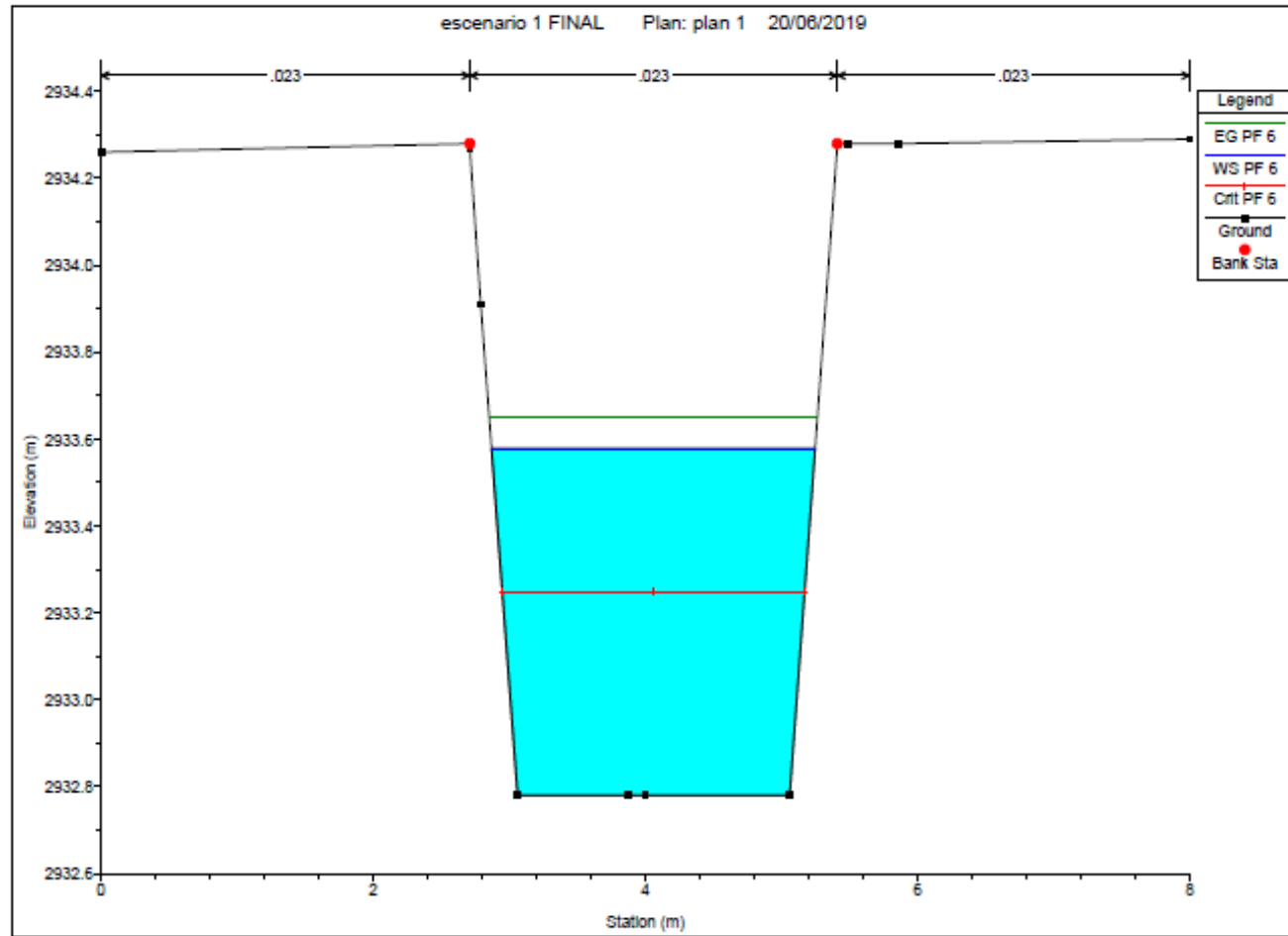
La figura 73 contiene el perfil de agua para este escenario con su nivel piezométrico y su línea de energía. En la figura 74 y figura 75 se muestra la sección transversal del canal en dos diferentes puntos del canal en estas figuras se puede apreciar el coeficiente de Manning introducido en la simulación misma que resultó de cálculos previos. La figura 76 muestra la curva de descarga entre la cota de elevación y el caudal generado en este escenario. En la figura 77 consta de un perfil longitudinal que muestra una gráfica de la velocidad y el número Froude resultante en la simulación del programa en base a la longitud en este escenario. Finalmente, en la figura 78 se puede apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo del escenario.

Figura 73. Perfil Longitudinal Escenario 1



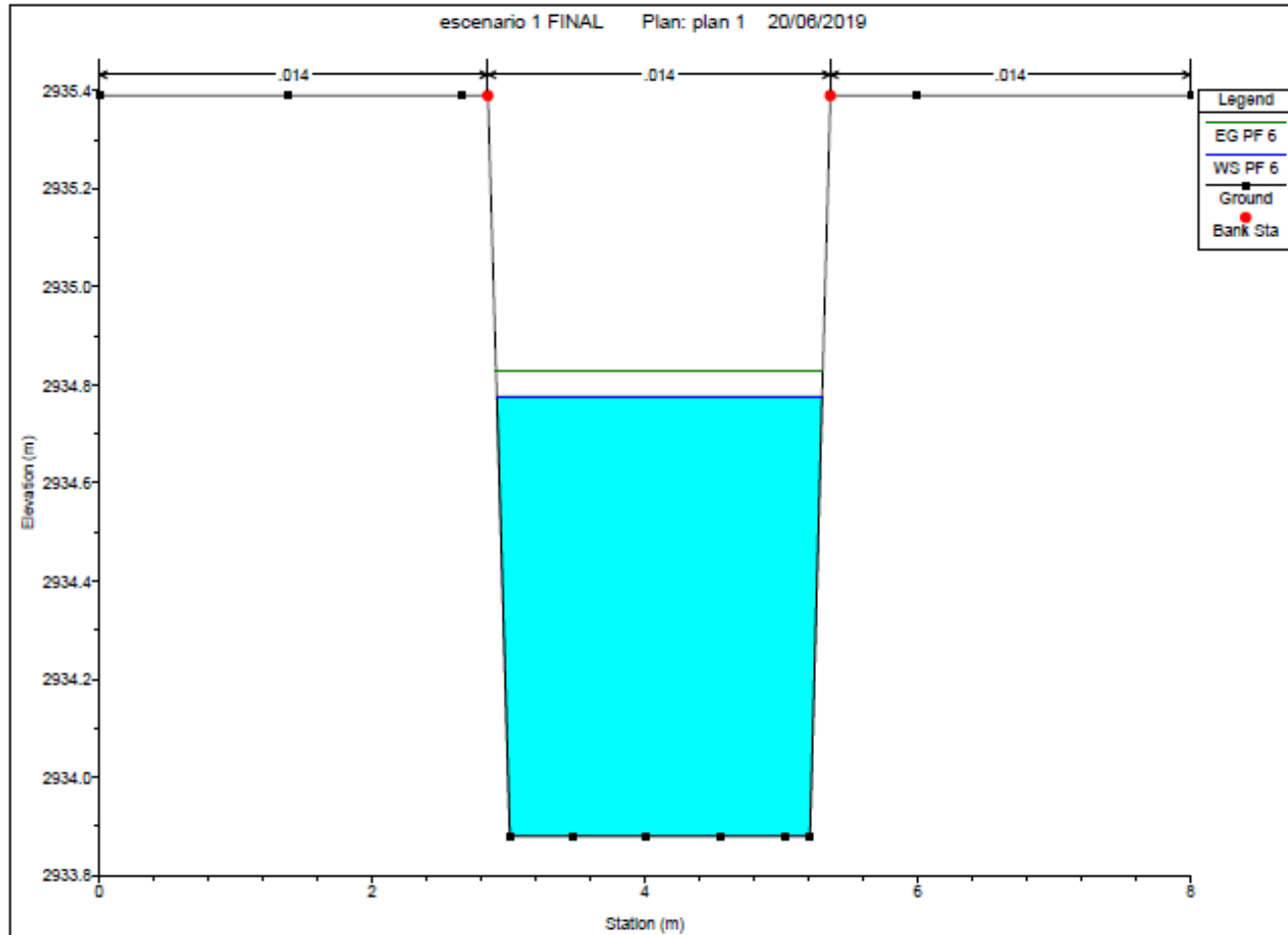
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 74. Sección transversal abscisa 0+020



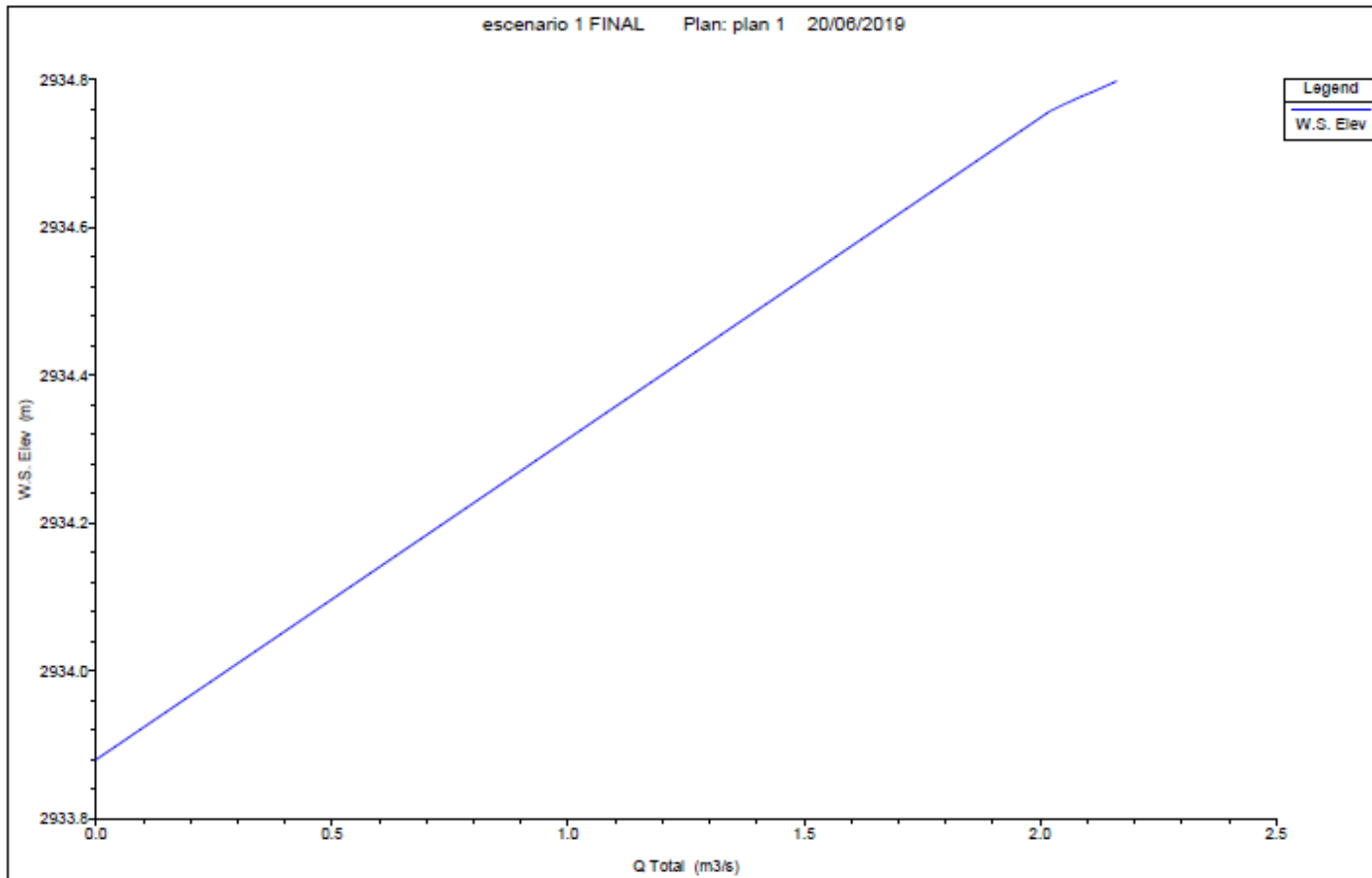
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 75. Sección transversal abscisa 1+000



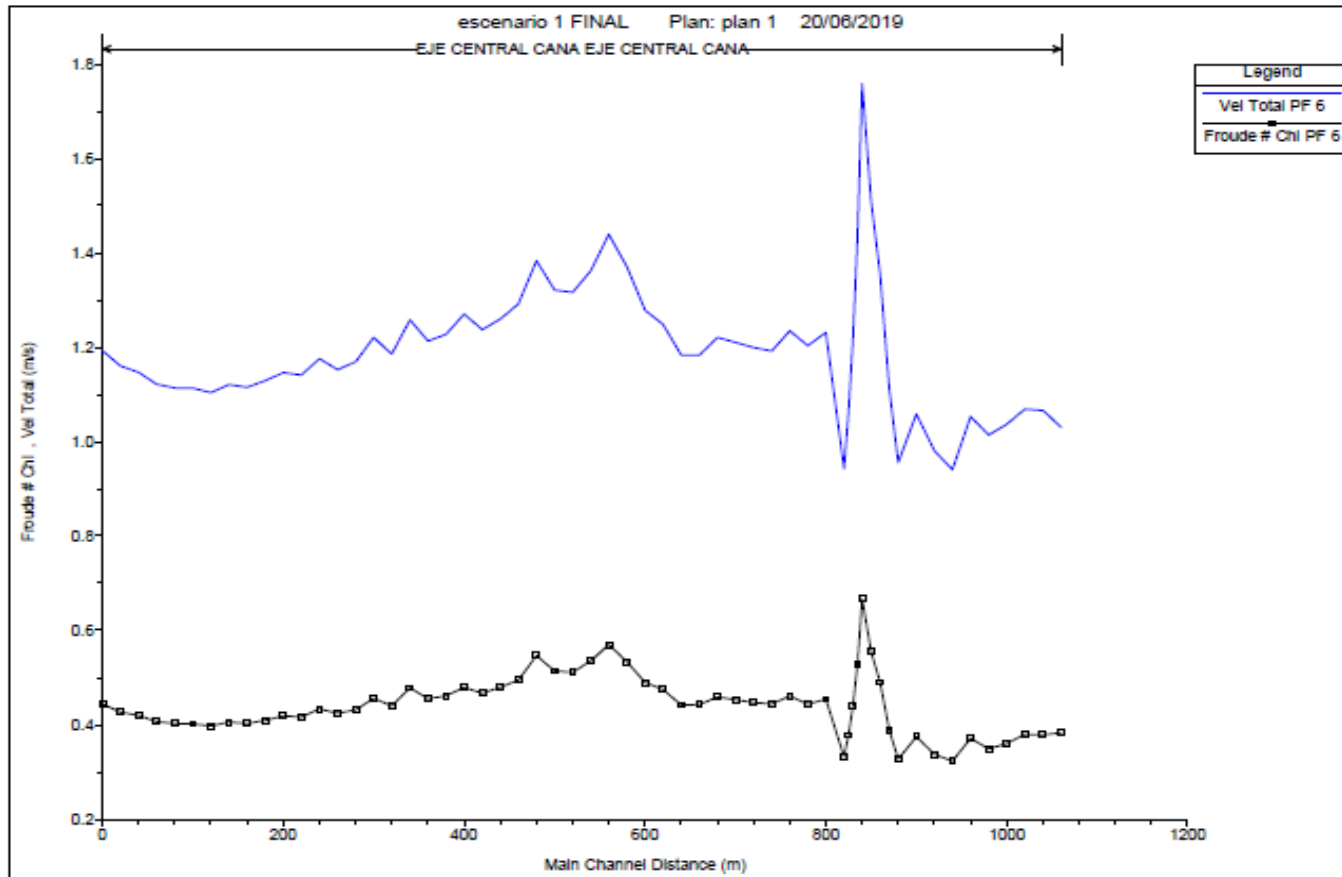
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 76. Curva de descarga Elevación vs Caudal



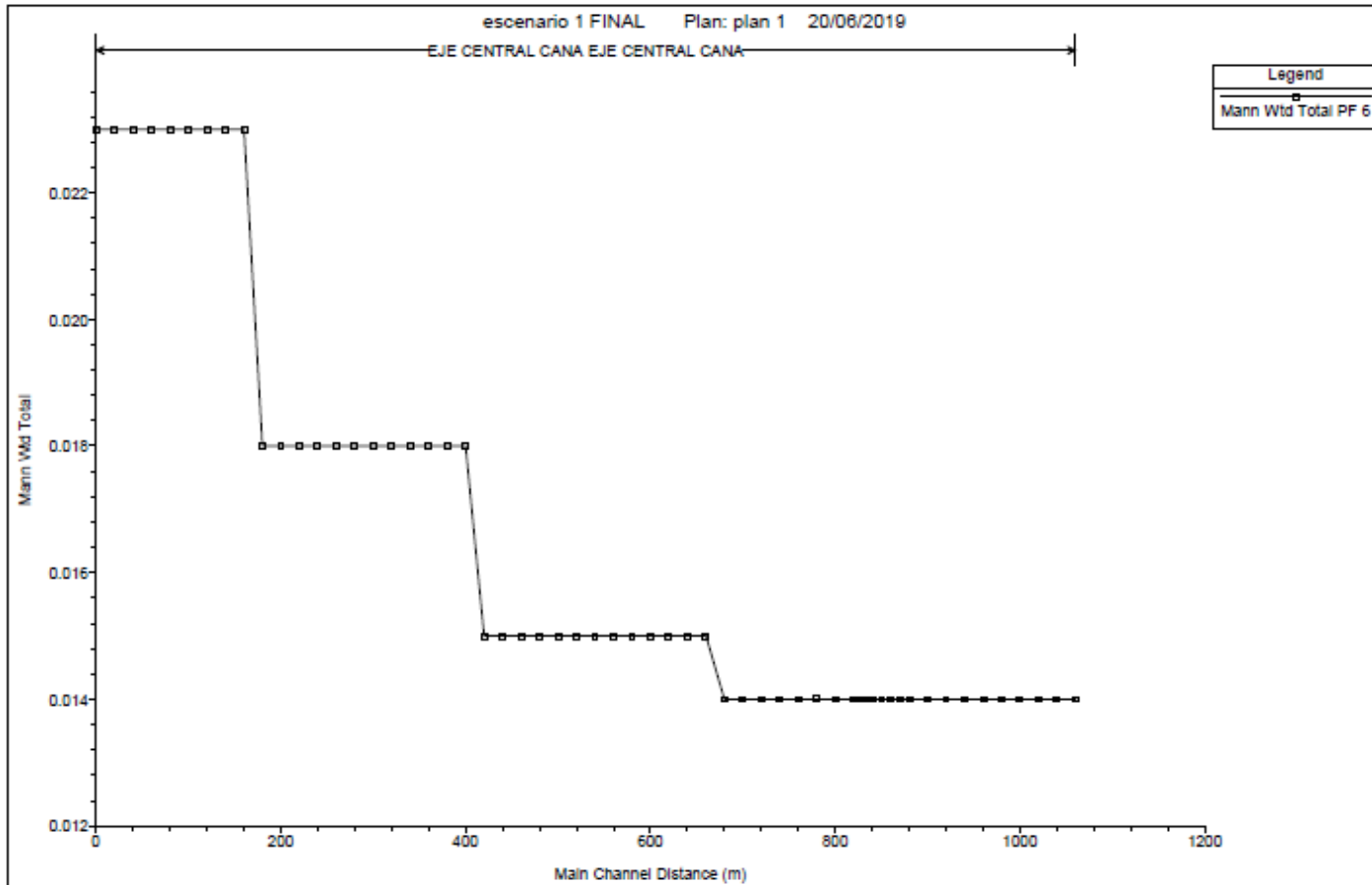
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 77. Perfil longitudinal Velocidad vs Long y Número Froude vs Long



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 78. Perfil longitudinal coeficiente de Manning vs Longitud



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

3.12. Interpretación de resultados escenario 1

Perfil longitudinal

El escenario 1 inicia en la abscisa 0+000 metros a la 1+000 metros, en el software HEC-RAS inicia en 0 metros a 1000 metros, en este se observa un perfil de agua relativamente constante con una pequeña variación en la abscisa 0+850 debido a la presencia de una curva en la conducción lo cual se ve reflejado en la gráfica de velocidad.

Sección transversal

El calado de agua tiene una altura promedio de 0.78 metros, encontrándose en la abscisa 0+0.20 y en la abscisa 1+000 tiene una altura promedio de 0.8 siempre se encuentra sobre el calado crítico lo que significa un estado de flujo subcrítico.

Curva de descarga

Las secciones transversales del canal en este tramo tienen una capacidad promedio de $2.1 \frac{m^3}{s}$ con una altura máxima de agua 1 metro.

Velocidad media y Froude

La velocidad promedio es de 1 a $1.4 \frac{m}{s}$, con un punto máximo de $1.8 \frac{m}{s}$ que se presenta en la abscisa 0+850 metros debido a la curva en dicho punto el número de Froude incrementa de un valor promedio de 0.45, valor por debajo del límite de flujo crítico igual a uno, por ende, se mantiene el estado de flujo subcrítico.

Manning

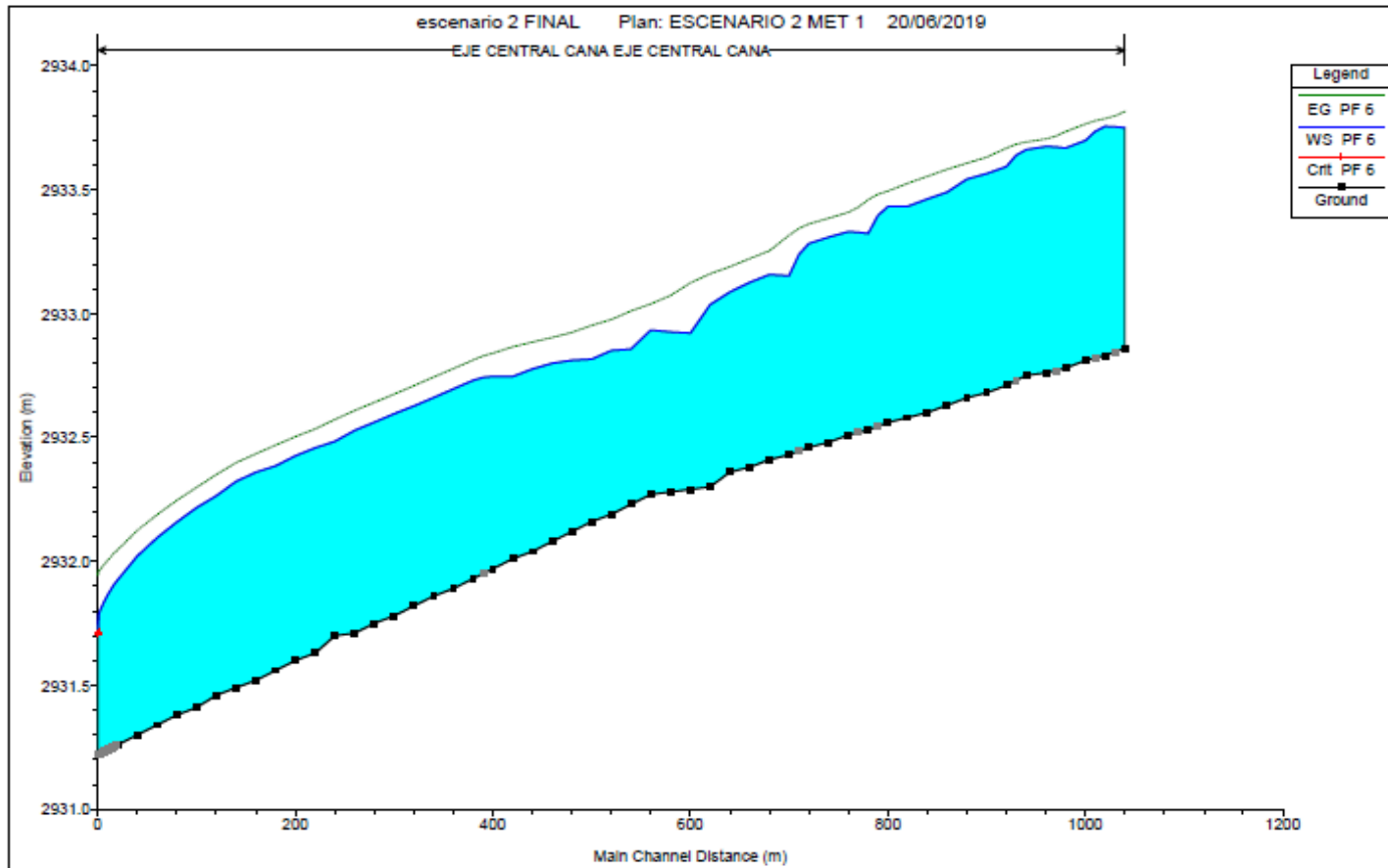
El coeficiente de Manning corresponde a los valores obtenidos en el análisis de la sección 1 y sirve para el proceso de calibración del modelo numérico.

3.13. Simulación del escenario 2

Para la simulación se utilizó el coeficiente de rugosidad calculado se lo distribuyo a lo largo del canal según lo descrito anteriormente, adicionalmente se obtuvo un promedio del caudal del escenario 2 de $2.221\text{m}^3/\text{s}$.

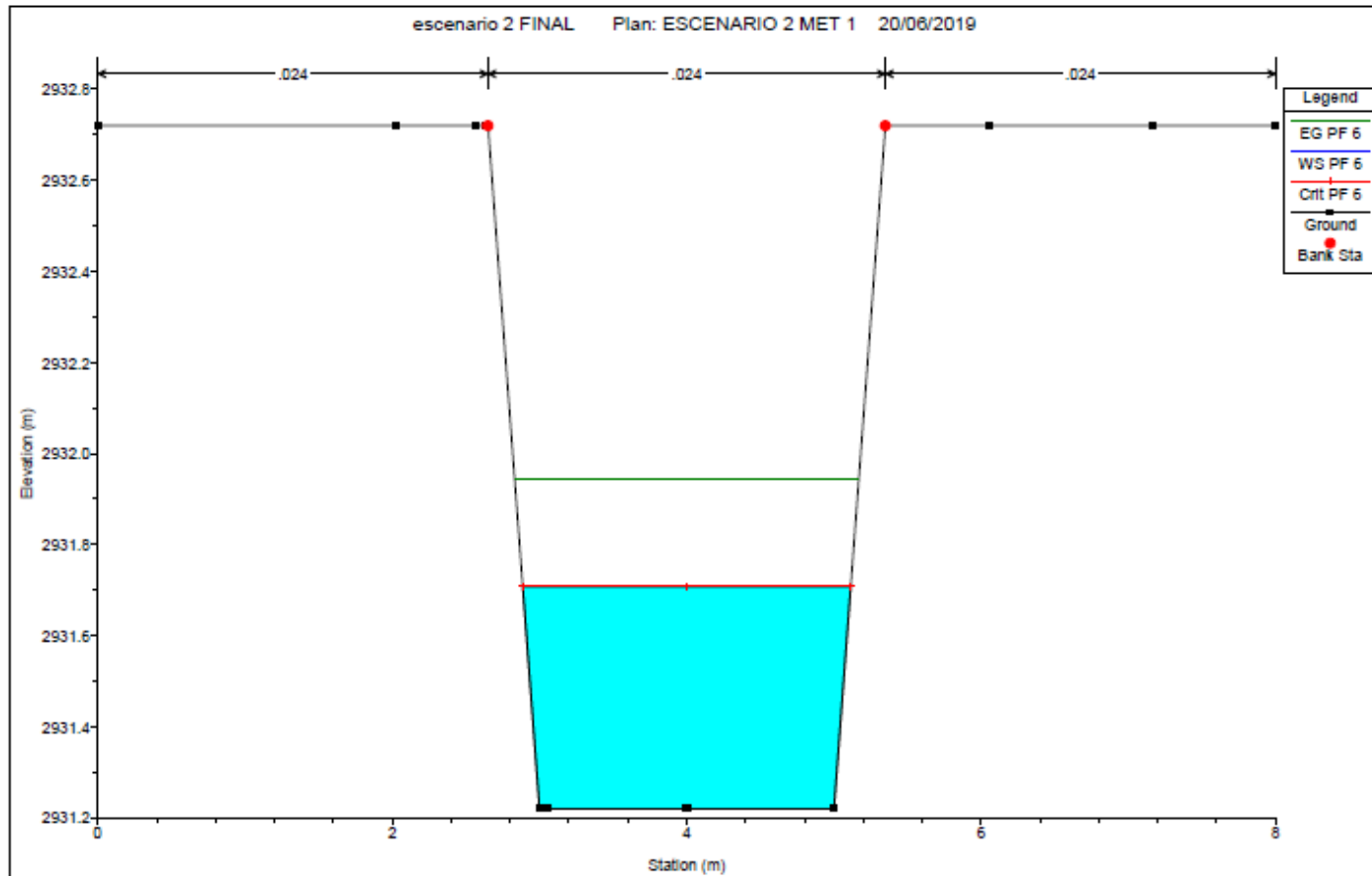
La figura 79 contiene el perfil de agua para este escenario con su nivel piezométrico y su línea de energía. La figura 80 y figura 81 muestran la sección transversal del canal en dos distintos puntos del canal en estas figuras se puede apreciar el coeficiente de Manning introducido en la simulación misma que resulto de cálculos previos. La figura 82 nos muestra la curva de descarga entre la cota de elevación y el caudal generado en este escenario. En la figura 83 consta un perfil longitudinal que muestra una gráfica de la velocidad y el número Froude resultante en la simulación del programa en base a la longitud en este escenario. Finalmente, en la figura 84 se puede apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo del escenario.

Figura 79. Perfil Longitudinal Escenario 2



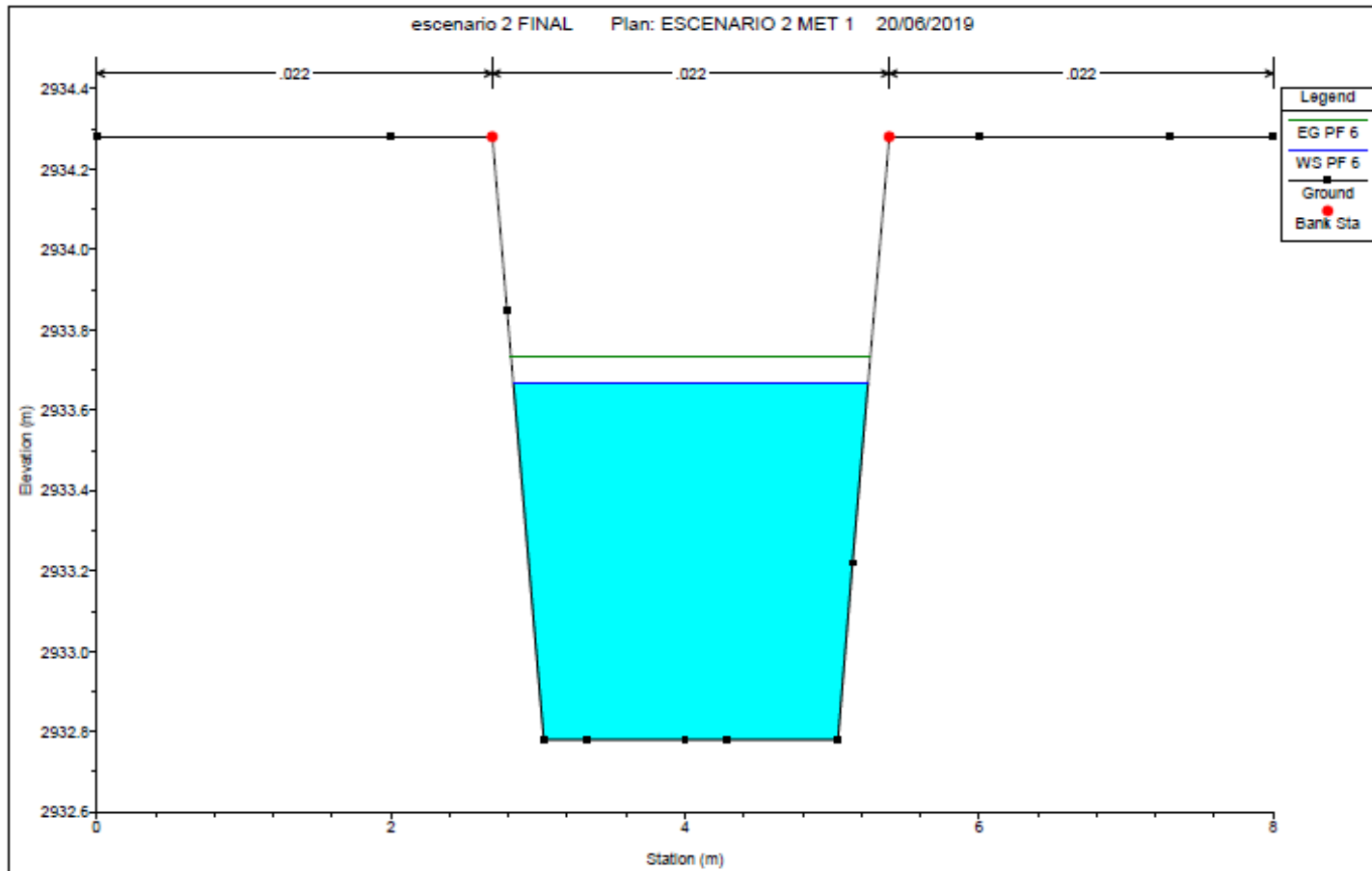
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 80. Sección transversal abscisa 0+020



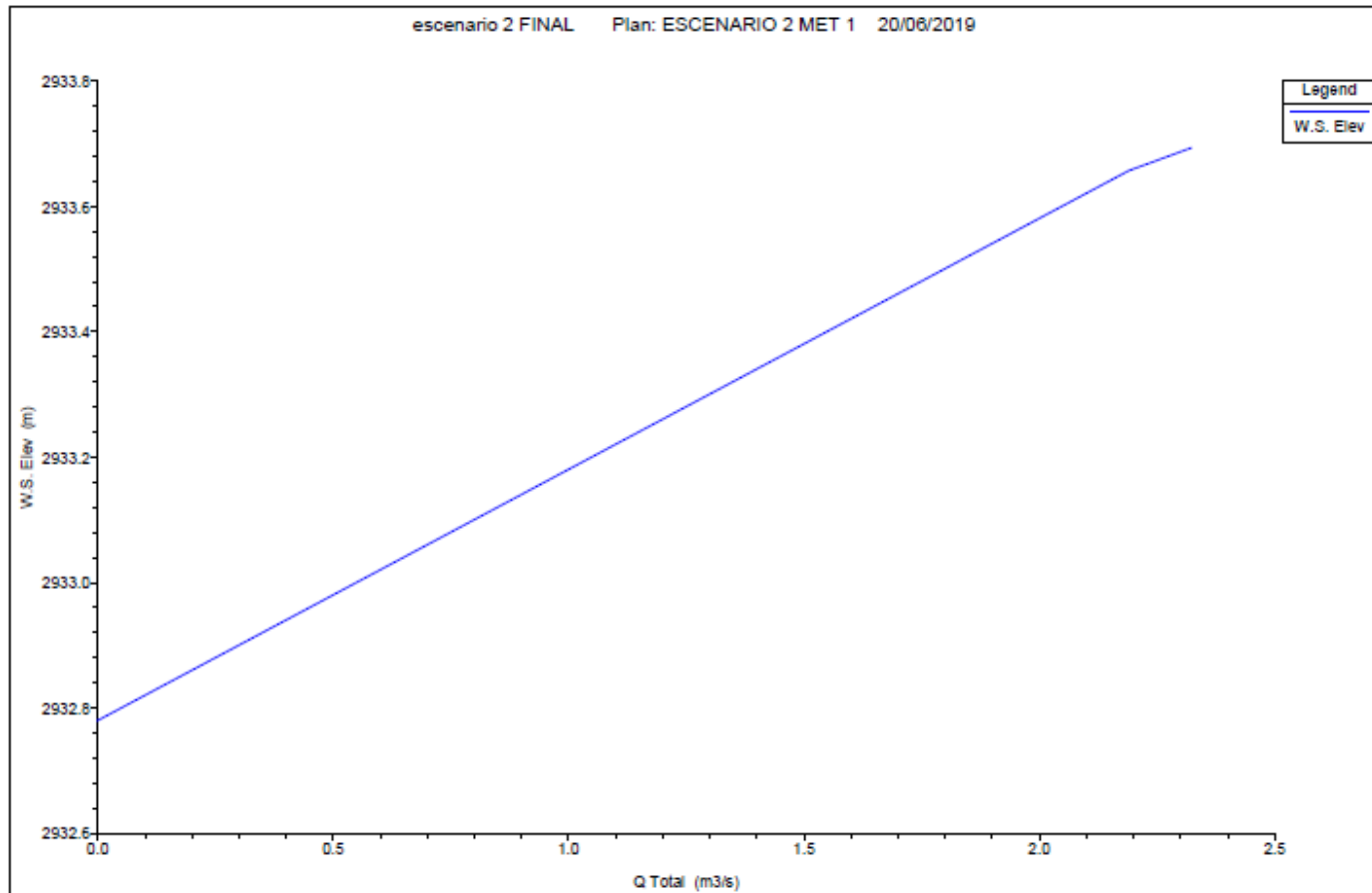
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 81. Sección transversal abscisa 1+000



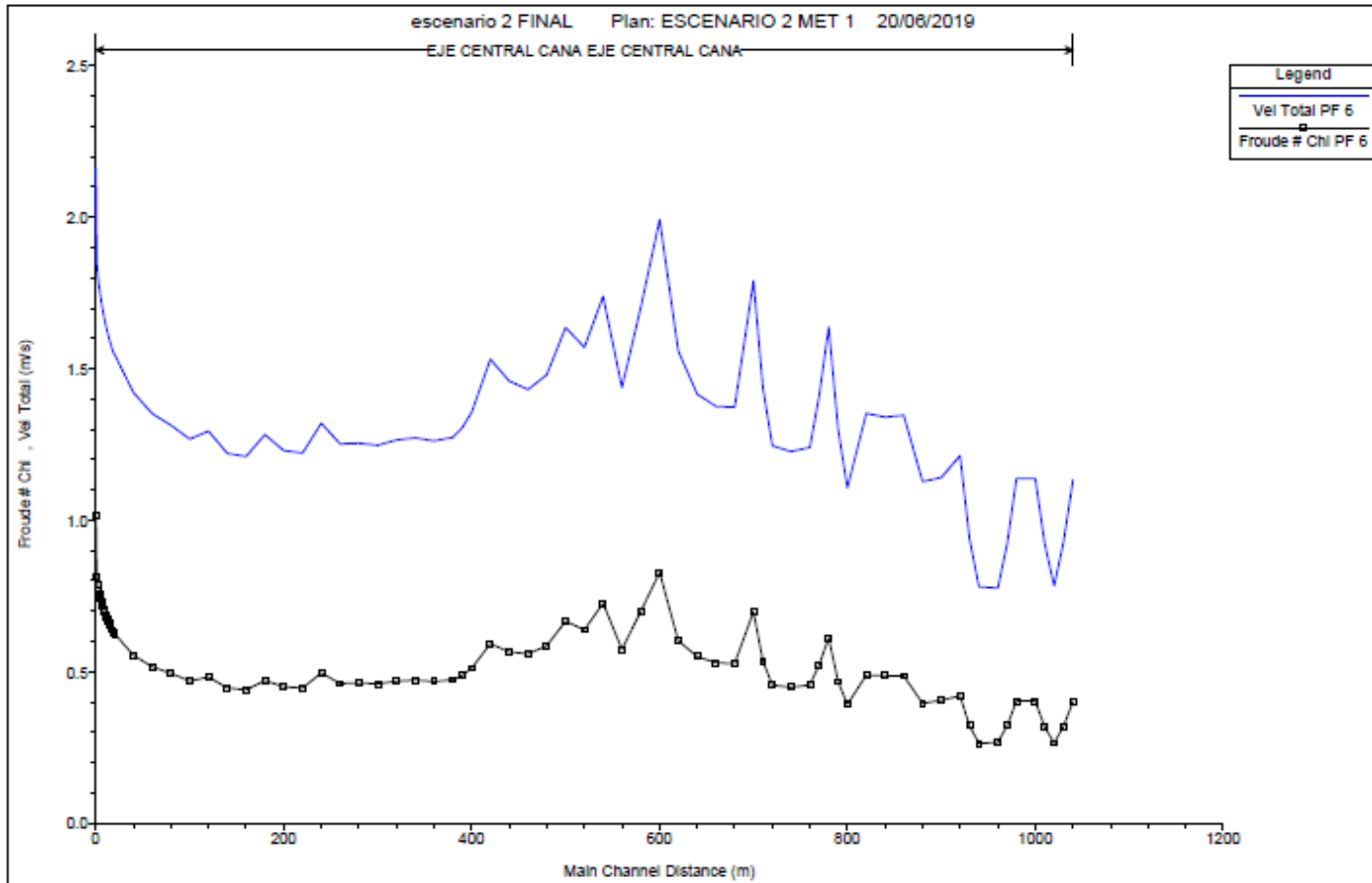
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 82. Curva de descarga Elevación vs Caudal



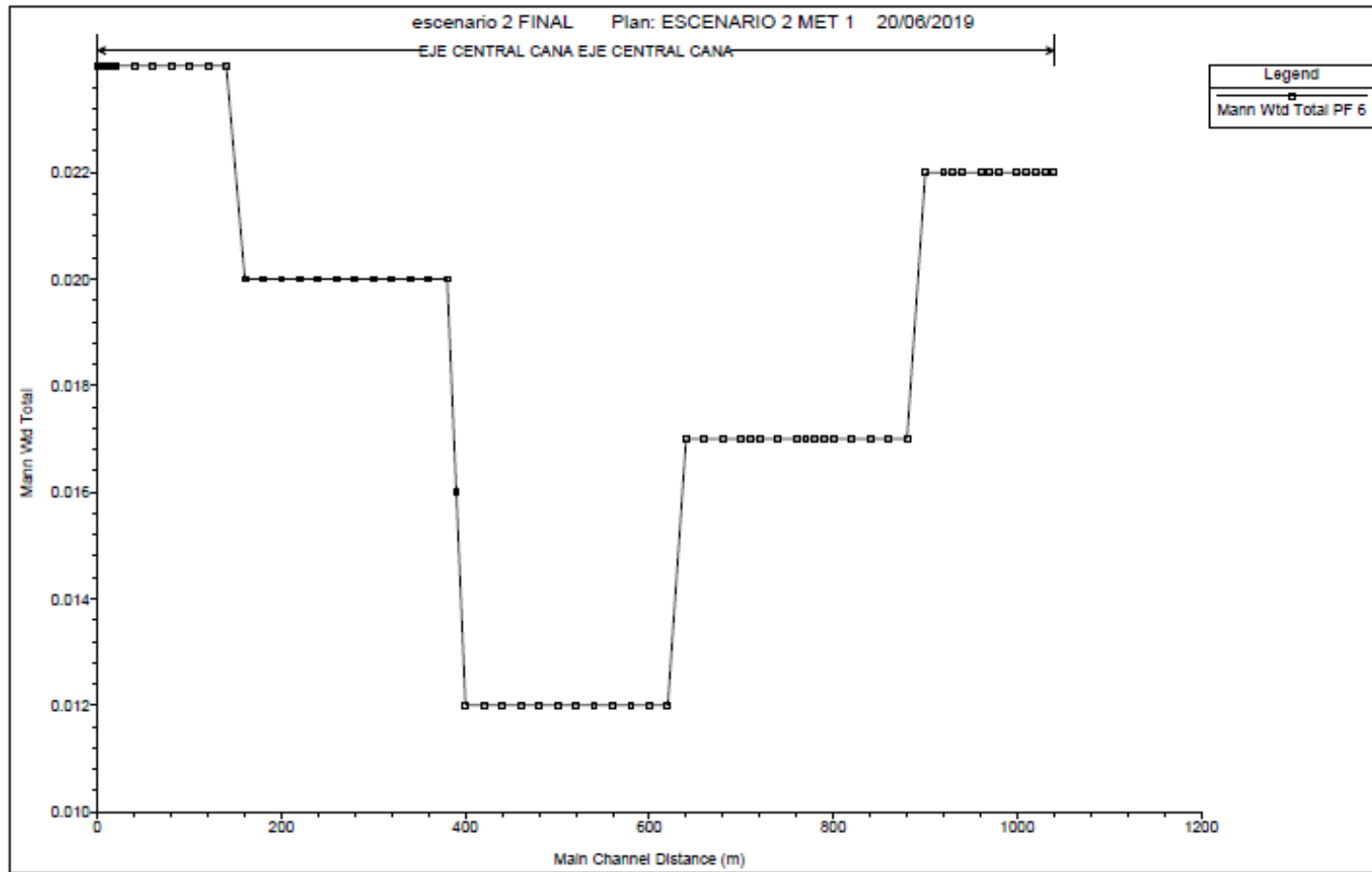
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 83. Perfil longitudinal Velocidad vs Long y Número Froude vs Long



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 84. Perfil longitudinal coeficiente de Manning vs Longitud



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

3.14. Interpretación de resultados:

Perfil longitudinal

El escenario 2 inicia en la abscisa 1+250 metros a la 2+250 metros, en el software HEC-RAS inicia en 0 metros a 1000 metros, en este se observa un perfil de agua relativamente constante con una pequeña variación en la abscisa 0+600 debido a la presencia de una curva en la conducción lo cual se ve reflejado en la gráfica de velocidad.

Sección transversal

El calado de agua tiene una altura promedio de 0.48 metros, encontrándose en la abscisa 0+0.20 y en la abscisa 1+000 tiene una altura promedio de 0.9 metros siempre se encuentra sobre el calado crítico lo que significa un estado de flujo subcrítico.

Curva de descarga

Las secciones transversales del canal en este tramo tienen una capacidad promedio de $2.3 \frac{m^3}{s}$ con una altura máxima de agua 0.85 metros.

Velocidad media y Froude

La velocidad promedio es de 0.8 a $2.2 \frac{m}{s}$, con un punto máximo de $2.2 \frac{m}{s}$ que se presenta en la abscisa 0+000 metros debido a la curva en dicho punto el número de Froude incrementa de un valor promedio de 0.5, valor por debajo del límite de flujo crítico igual a uno, por ende, se mantiene el estado de flujo subcrítico.

Manning

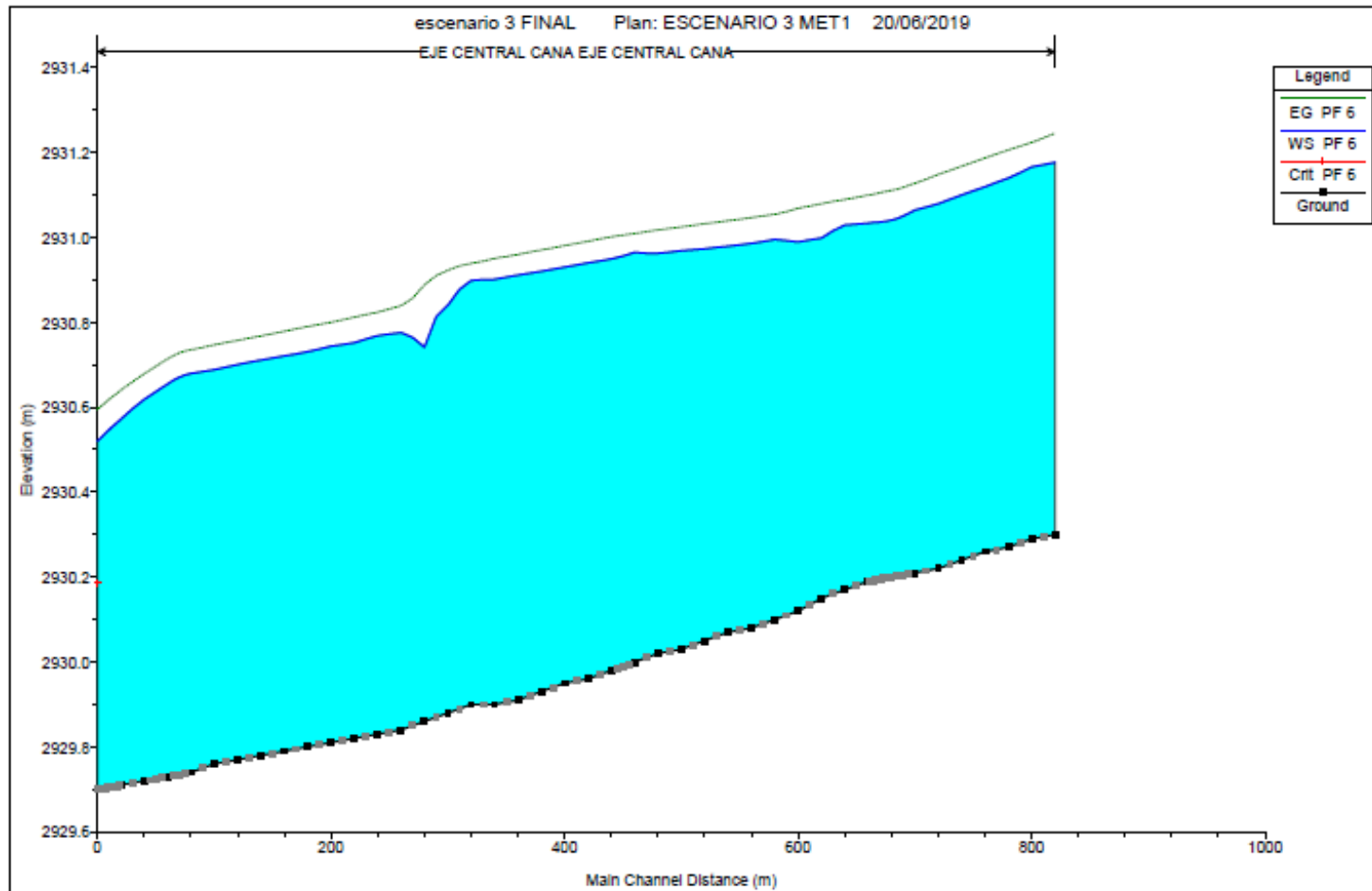
El coeficiente de Manning corresponde a los valores obtenidos en el análisis de la sección 2 y sirve para el proceso de calibración del modelo numérico.

3.15. Simulación del escenario 3

Para la simulación se utilizó el coeficiente de rugosidad calculado se lo distribuyo a lo largo del canal según lo descrito anteriormente, adicionalmente se obtuvo un promedio del caudal del escenario 3 de $2.184\text{m}^3/\text{s}$.

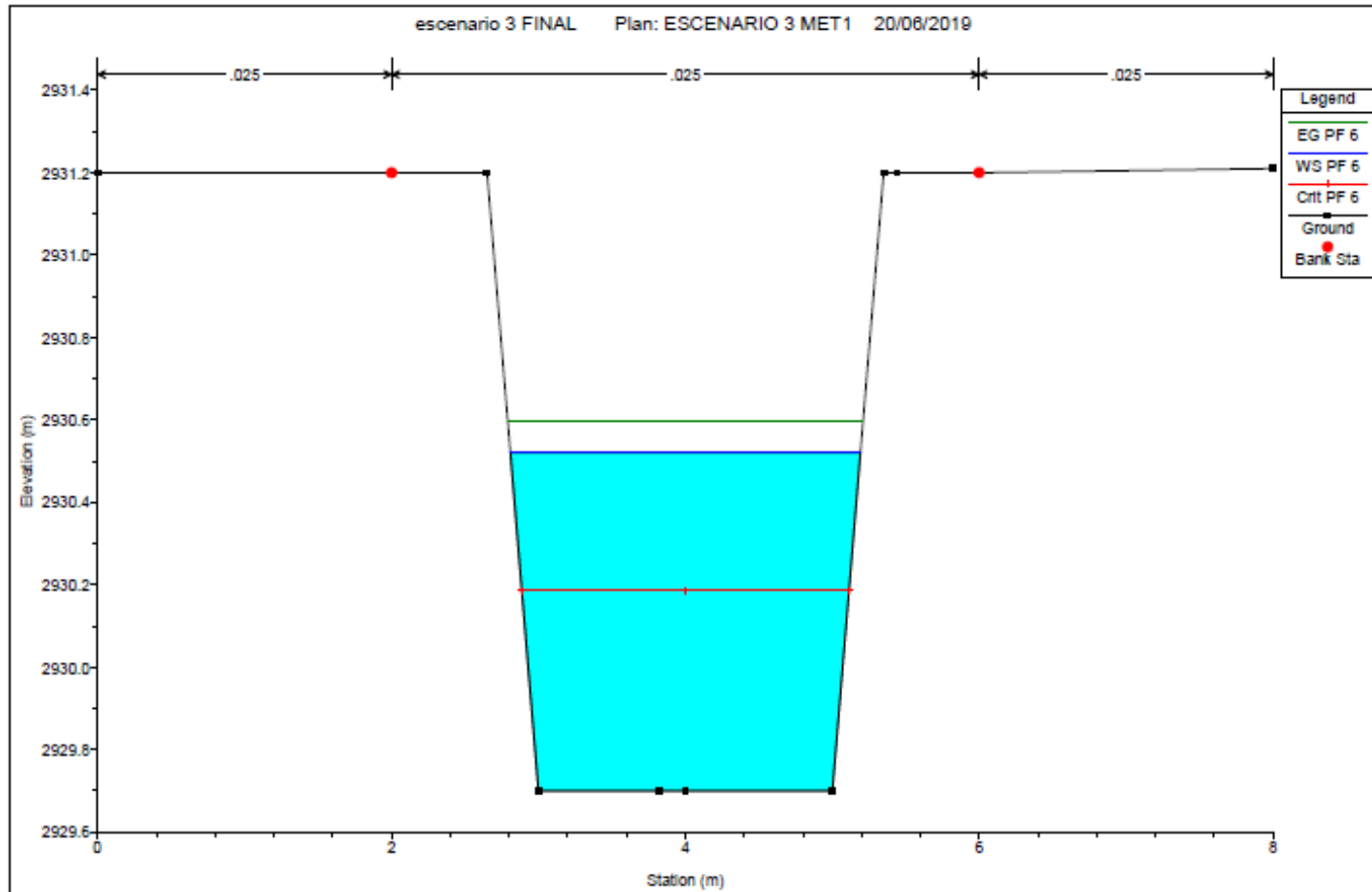
La figura 79 contiene el perfil de agua para este escenario con su nivel piezométrico y su línea de energía. La figura 86 y figura 87 nos muestra la sección transversal del canal en dos distintos puntos del canal en estas figuras se puede apreciar el coeficiente de Manning introducido en la simulación misma que resultado de cálculos previos. La figura 88 nos muestra la curva de descarga entre la cota de elevación y el caudal generado en este escenario. En la figura 89 consta un perfil longitudinal que muestra una gráfica de la velocidad y el número Froude resultante en la simulación del programa en base a la longitud en este escenario. Finalmente, en la figura 90 se puede apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo del escenario.

Figura 85. Perfil Longitudinal Escenario 3



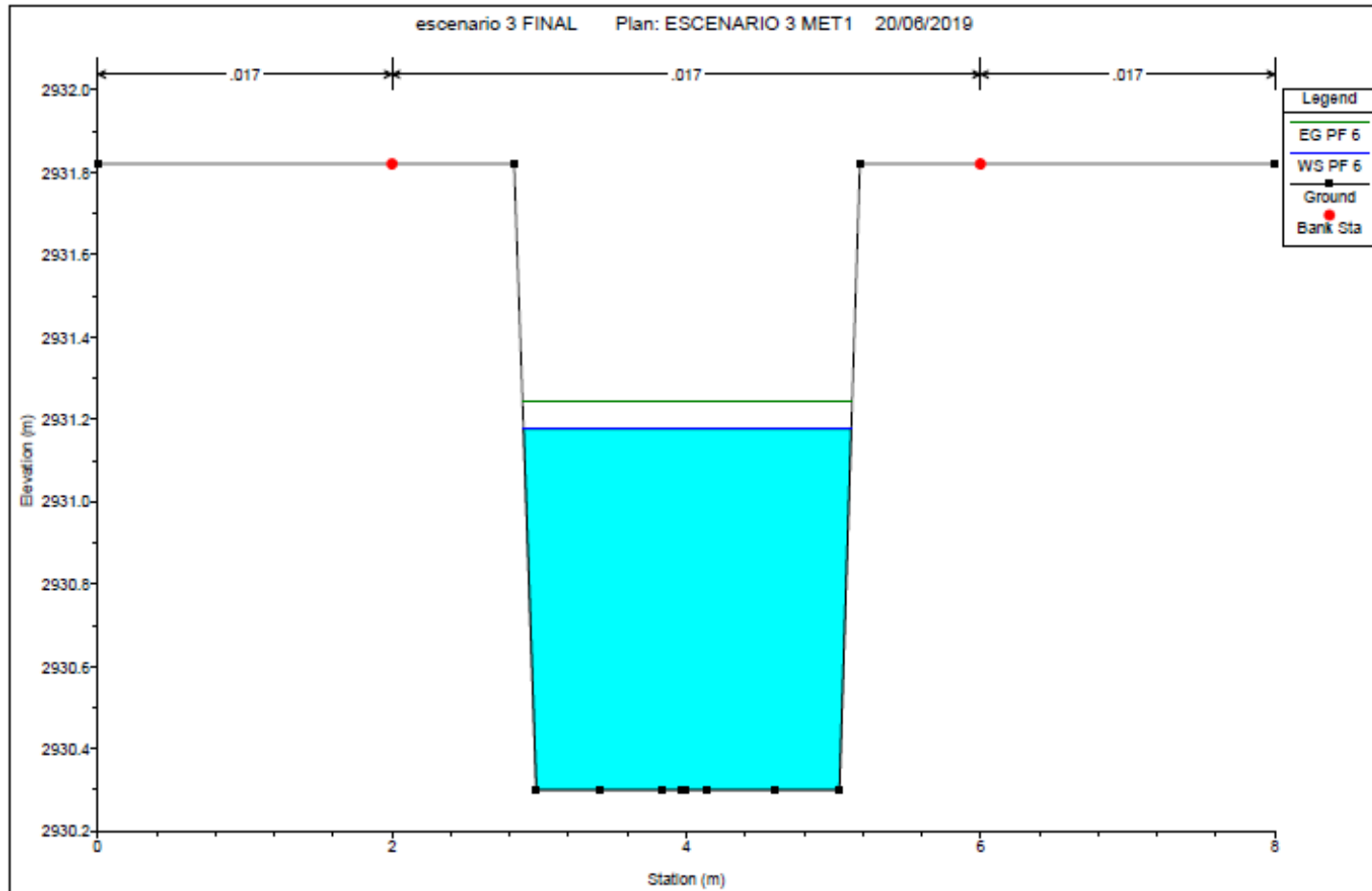
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 86. Sección transversal abscisa 0+020



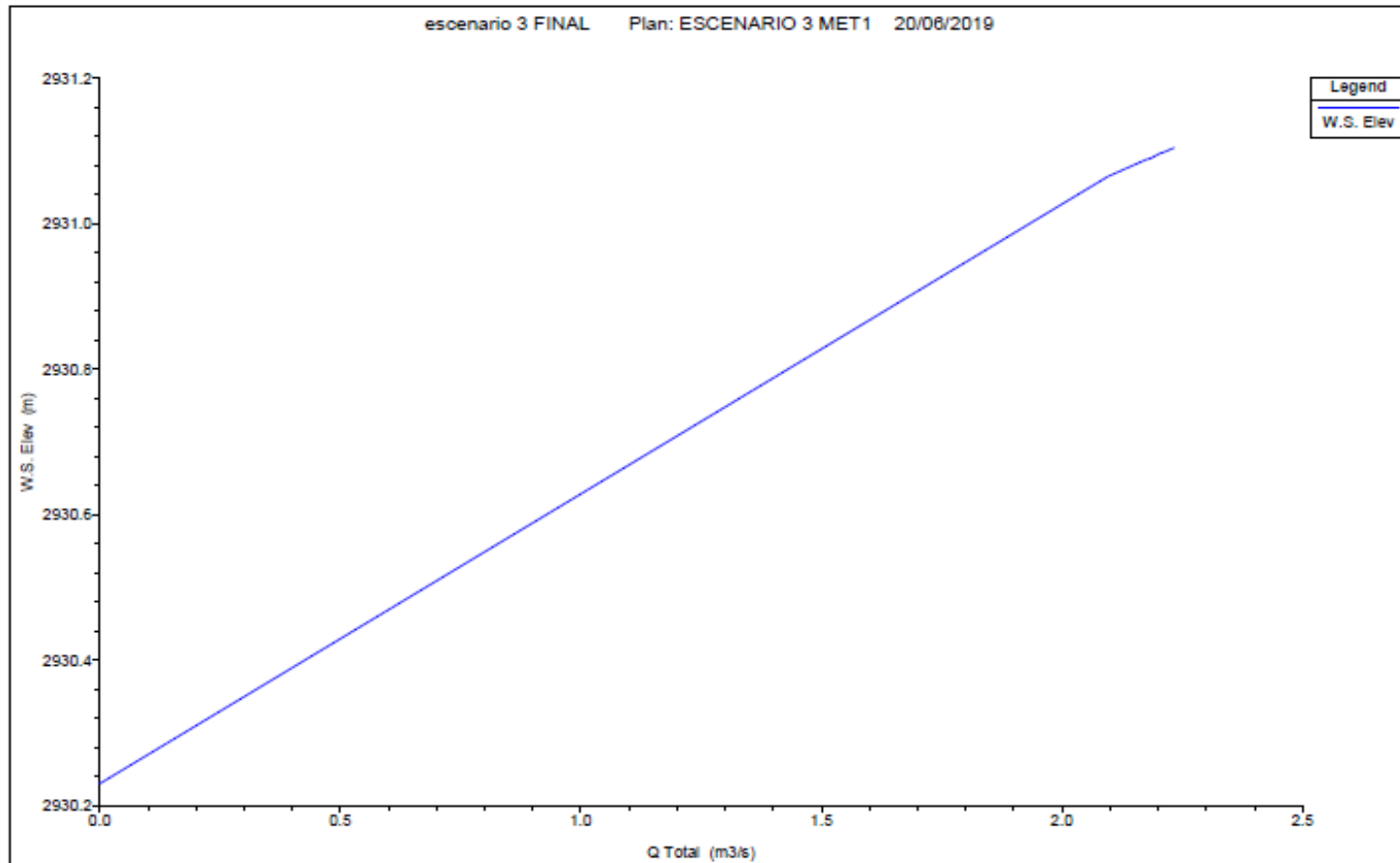
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 87. Sección transversal abscisa 1+000



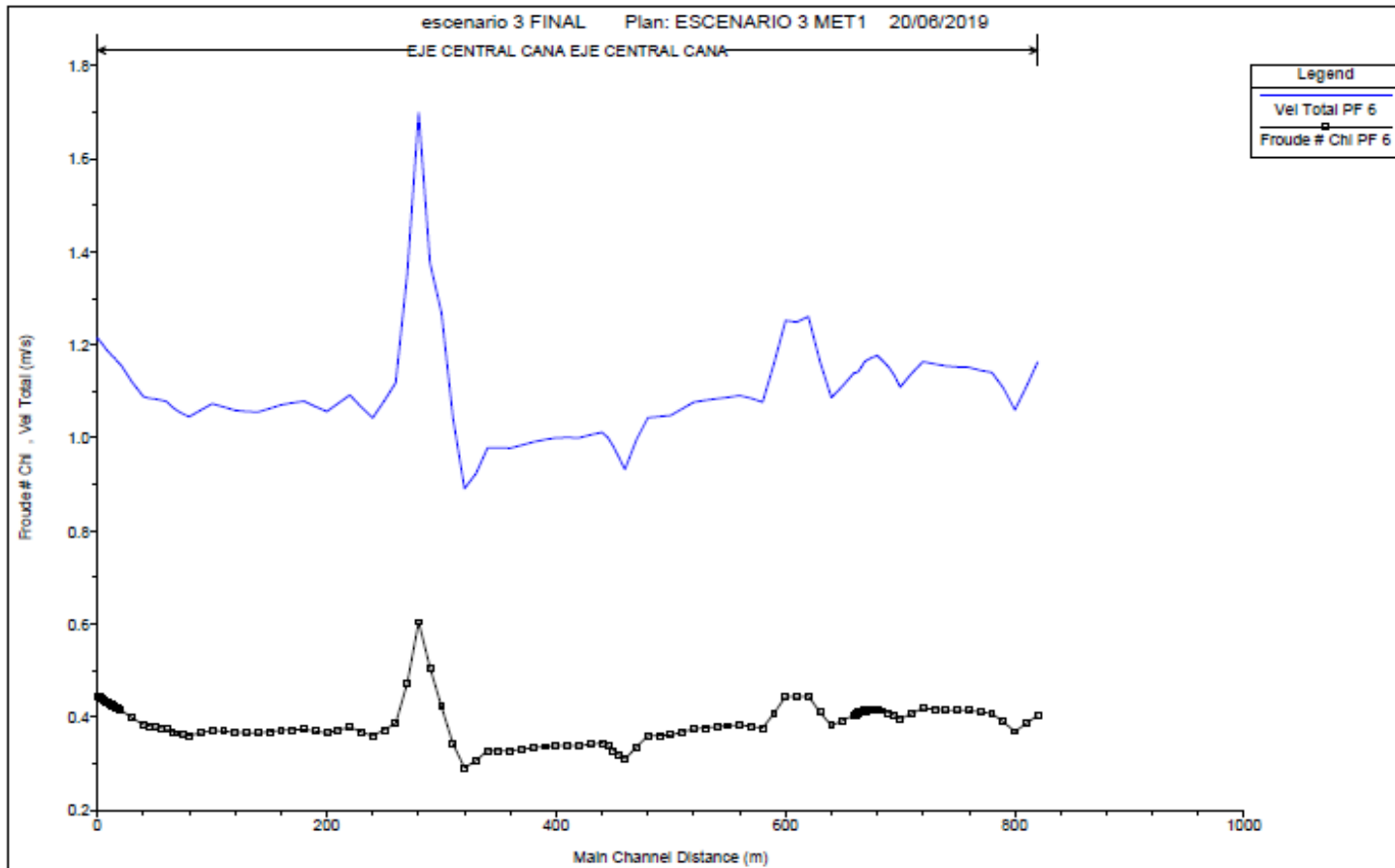
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 88. Curva de descarga Elevación vs Caudal



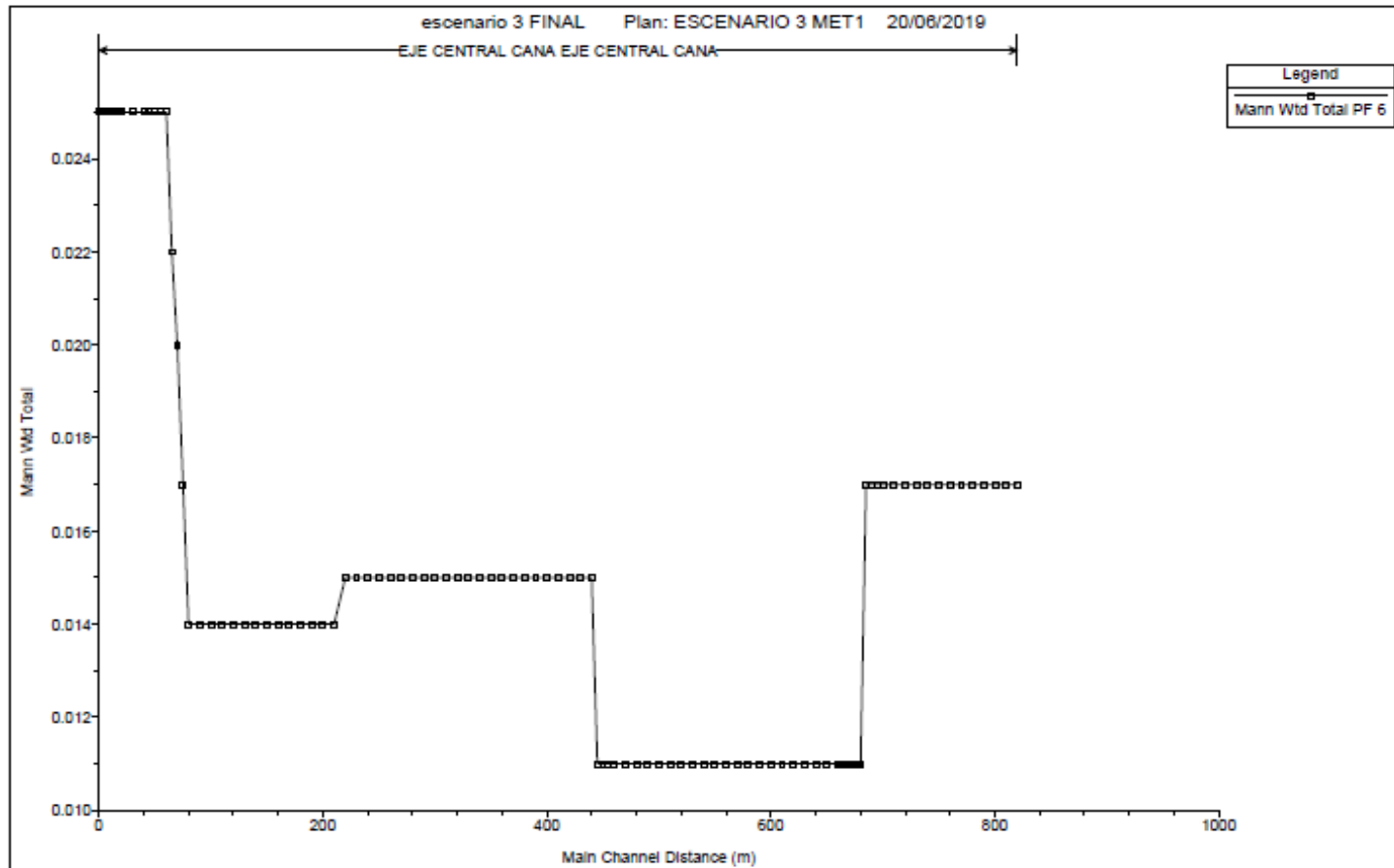
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 89. Perfil longitudinal Velocidad vs Long y Número Froude vs Long



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 90. Perfil longitudinal coeficiente de Manning vs Longitud



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

3.16. Perfil longitudinal

El escenario 3 inicia en la abscisa 2+500 metros a la 3+500 metros, en el software HEC-RAS inicia en 0 metros a 850 metros, en este se observa un perfil de agua relativamente constante con una pequeña variación en la abscisa 0+240 debido a la presencia de una curva en la conducción lo cual se ve reflejado en la gráfica de velocidad.

Sección transversal

El calado de agua tiene una altura promedio de 0.8 metros, encontrándose en la abscisa 0+0.20 y en la abscisa 1+000 tiene una altura promedio de 0.93 metros siempre se encuentra sobre el calado crítico lo que significa un estado de flujo subcrítico.

Curva de descarga

Las secciones transversales del canal en este tramo tienen una capacidad promedio de $2.2 \frac{m^3}{s}$ con una altura máxima de agua 0.82 metros.

Velocidad media y Froude

La velocidad promedio es de 0.9 a $1.7 \frac{m}{s}$, con un punto máximo de $1.7 \frac{m}{s}$ que se presenta en la abscisa 0+240 metros debido a la curva en dicho punto el número de Froude incrementa de un valor promedio de 0.3, valor por debajo del límite de flujo crítico igual a uno, por ende, se mantiene el estado de flujo subcrítico.

Manning

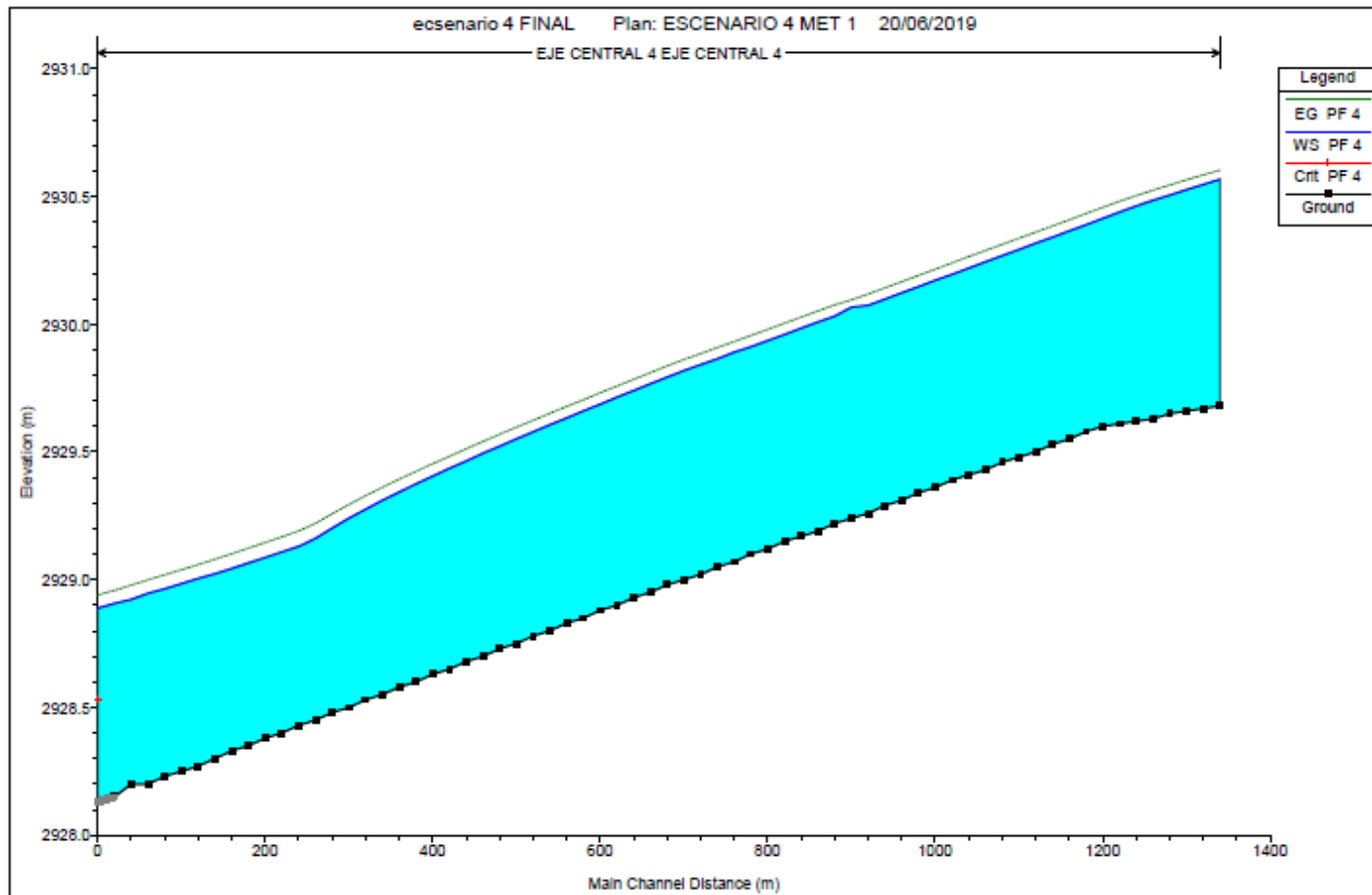
El coeficiente de Manning corresponde a los valores obtenidos en el análisis de la sección 3 y sirve para el proceso de calibración del modelo numérico.

3.17. Simulación del escenario 4

Para la simulación se utilizó el coeficiente de rugosidad calculado se lo distribuyo a lo largo del canal según lo descrito anteriormente, adicionalmente se obtuvo un promedio del caudal del escenario 4 de $1.652\text{m}^3/\text{s}$.

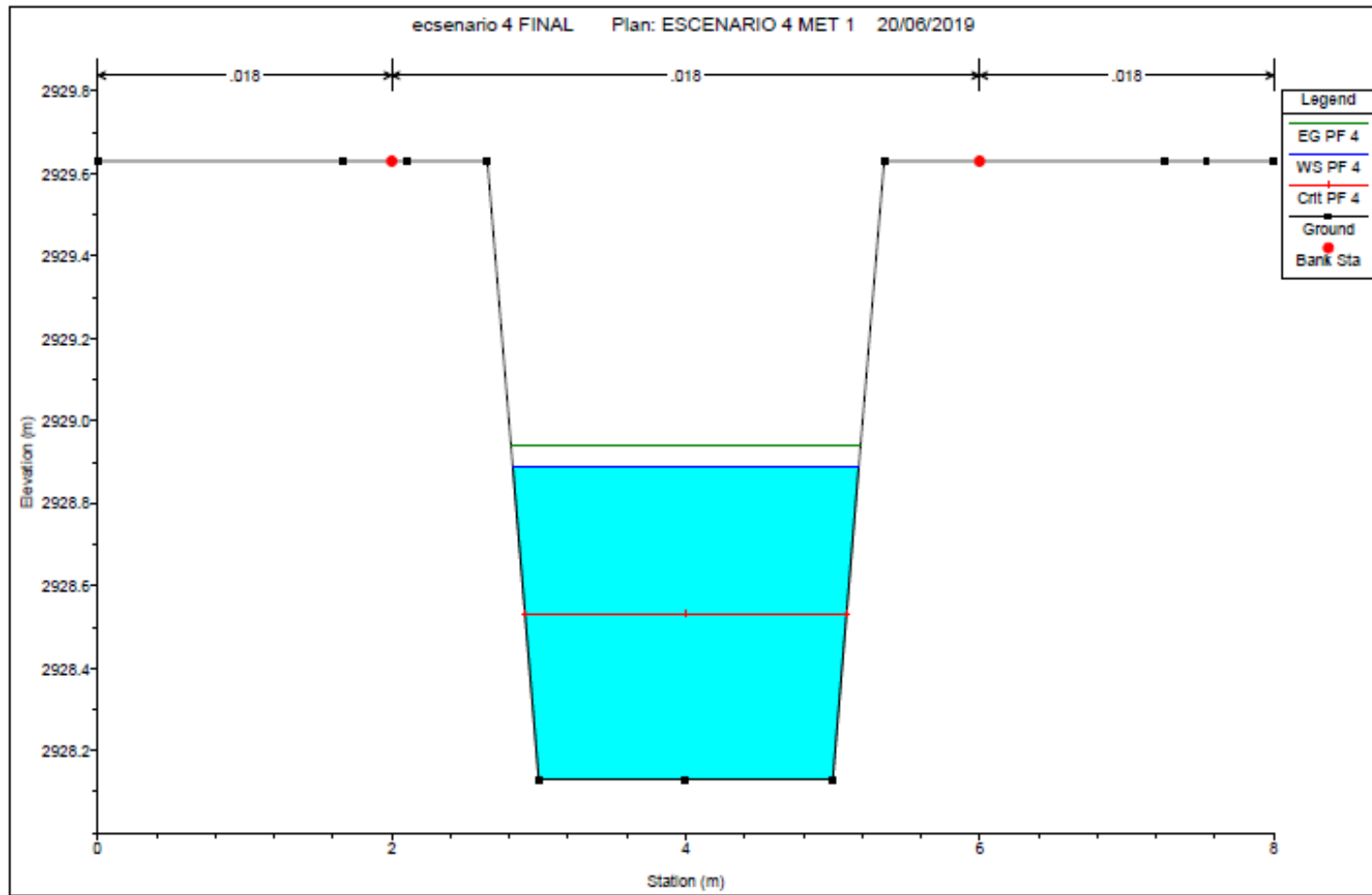
La figura 91 contiene el perfil de agua para este escenario con su nivel piezométrico y su línea de energía. La figura 92 y figura 93 nos muestra la sección transversal del canal en dos distintos puntos del canal en estas figuras se puede apreciar el coeficiente de Manning introducido en la simulación misma que resultado de cálculos previos. La figura 94 nos muestra la curva de descarga entre la cota de elevación y el caudal generado en este escenario. En la figura 95 consta un perfil longitudinal que muestra una gráfica de la velocidad y el número Froude resultante en la simulación del programa en base a la longitud en este escenario. Finalmente, en la figura 96 se puede apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo del escenario.

Figura 91. Perfil Longitudinal Escenario 4



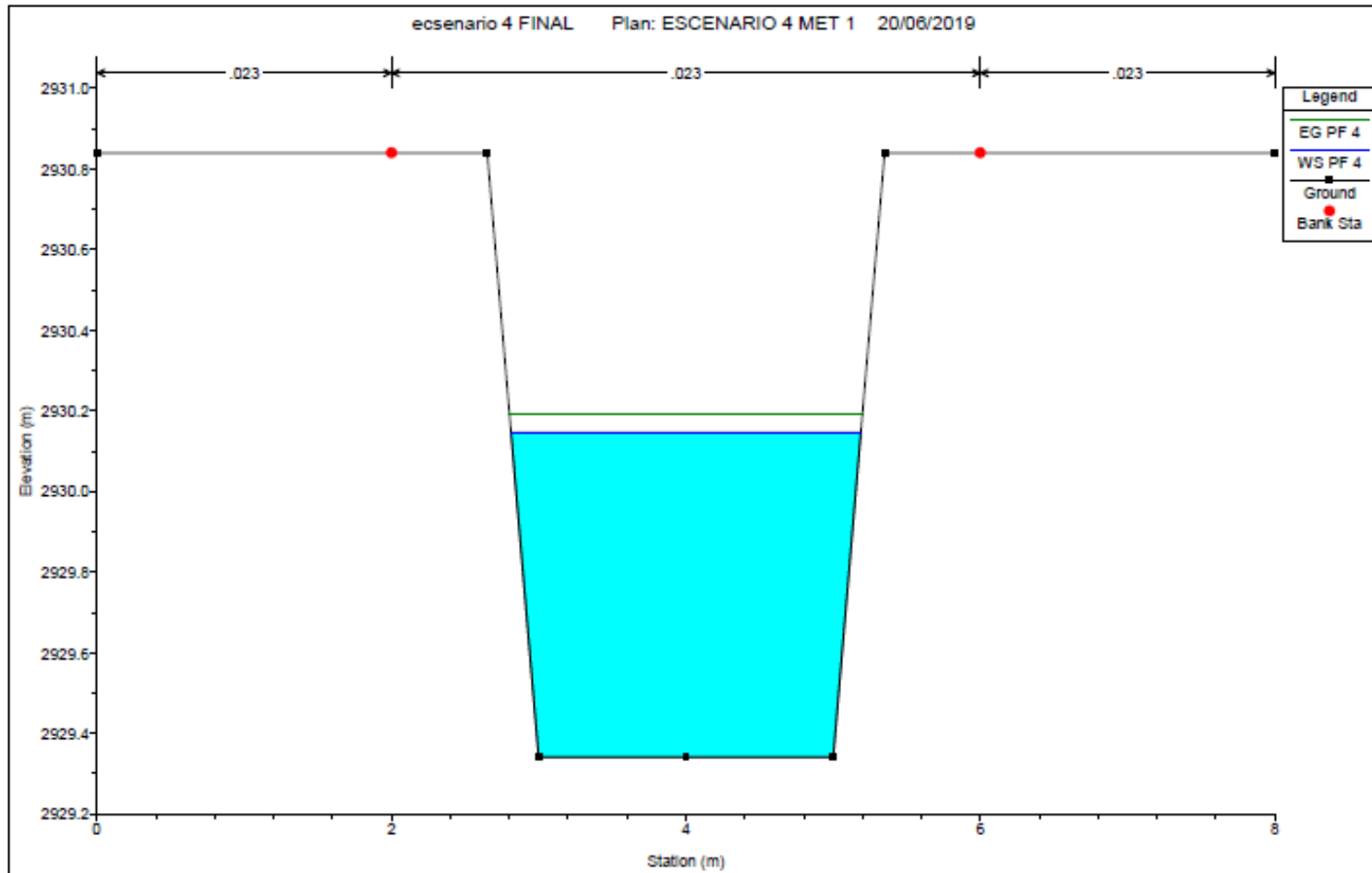
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 92. Sección transversal abscisa 0+020



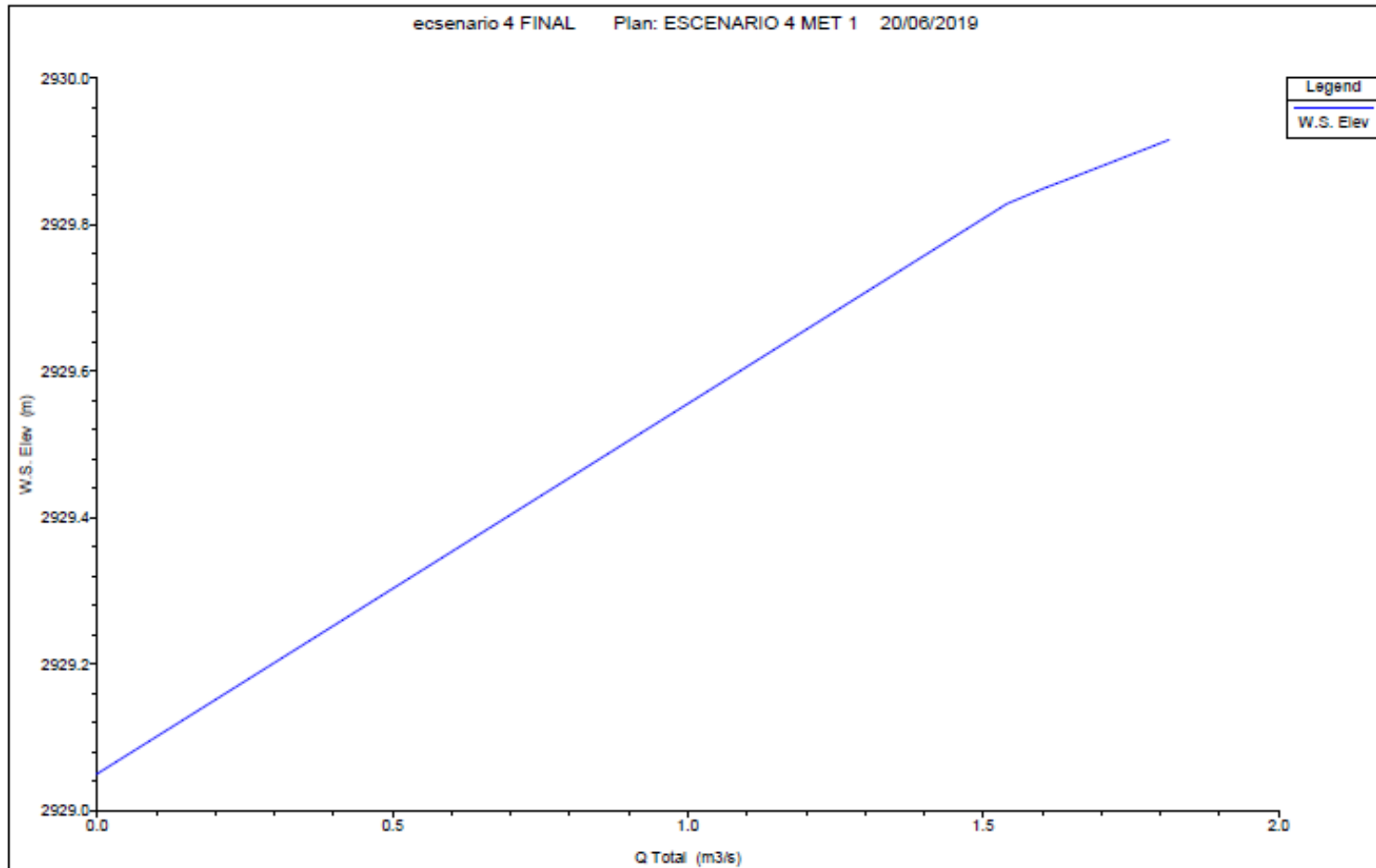
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 93. Sección transversal abscisa 0+750



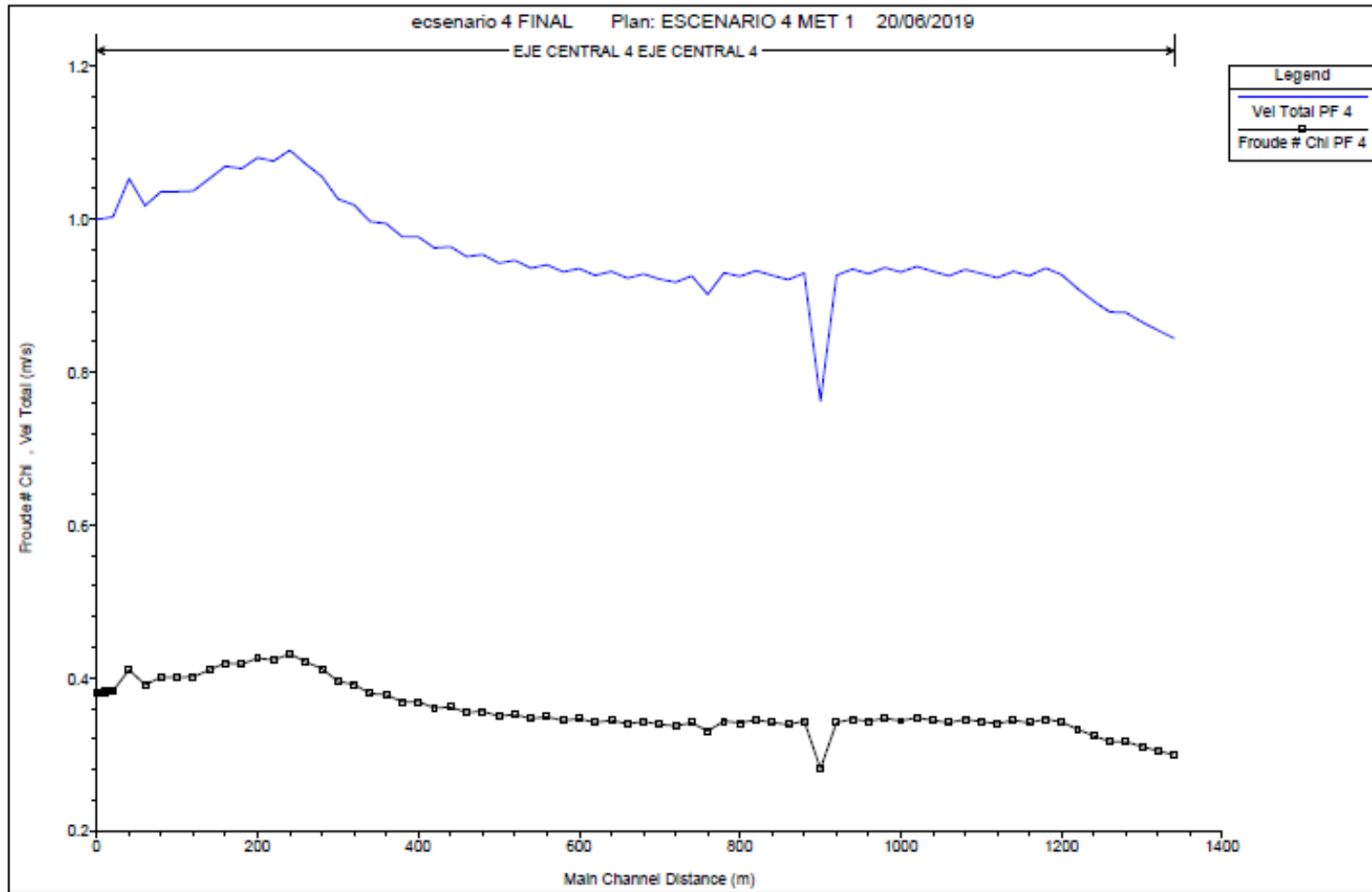
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 94. Curva de descarga Elevación vs Caudal



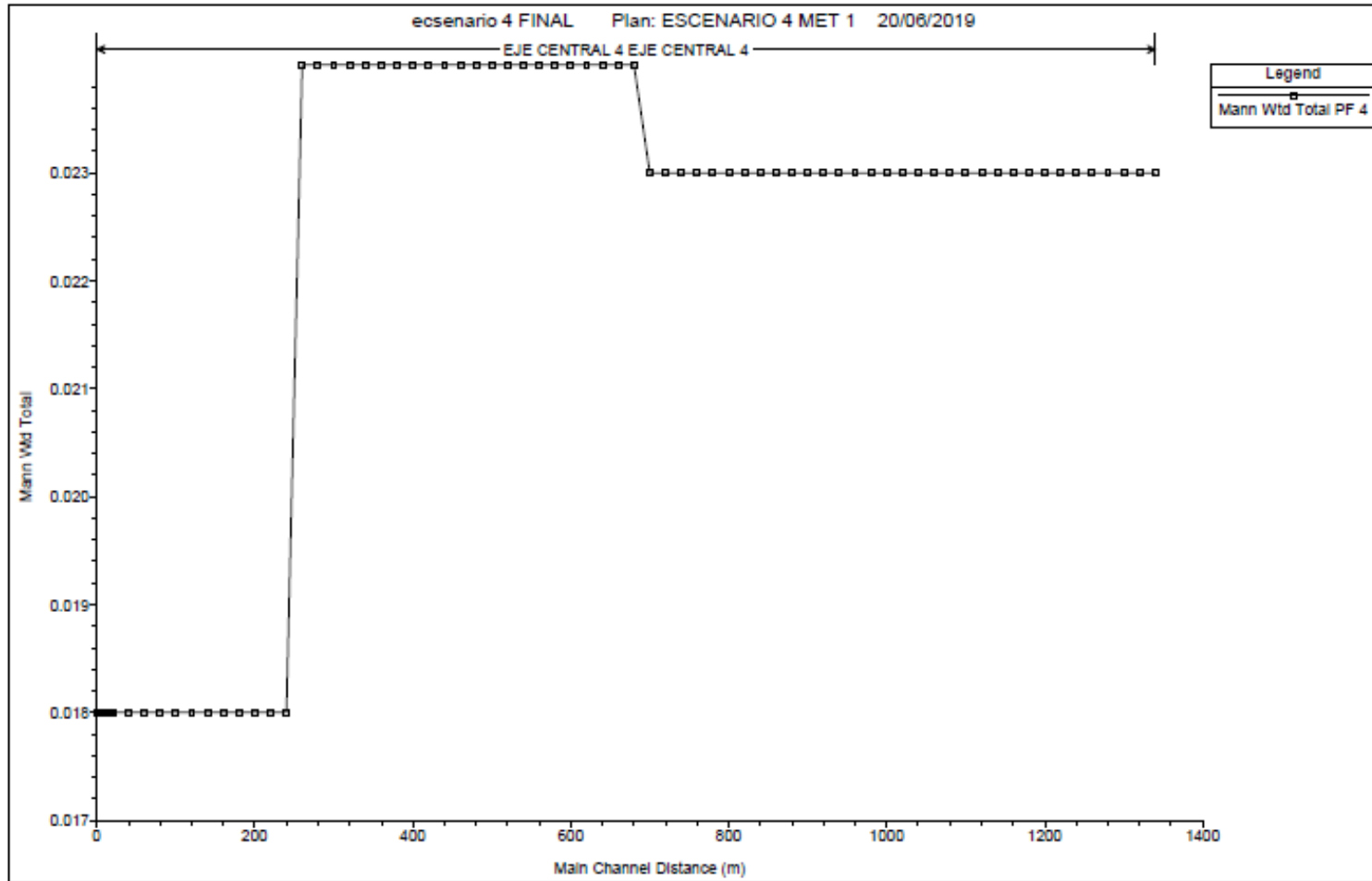
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 95. Perfil longitudinal Velocidad vs Long y Número Froude vs Long



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 96. Perfil longitudinal coeficiente de Manning vs Longitud



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

3.18. Perfil longitudinal

El escenario 4 inicia en la abscisa 3+750 metros a la 4+750 metros, en el software HEC-RAS inicia en 0 metros a 1220 metros, en este se observa un perfil de agua relativamente constante.

Sección transversal

El calado de agua tiene una altura promedio de 0.8 metros, encontrándose en la abscisa 0+0.20 y en la abscisa 0+750 tiene una altura promedio de 1.85 metros siempre se encuentra sobre el calado crítico lo que significa un estado de flujo subcrítico.

Curva de descarga

Las secciones transversales del canal en este tramo tienen una capacidad promedio de $1.8 \frac{m^3}{s}$ con una altura máxima de agua 1.74 metros.

Velocidad media y Froude

La velocidad promedio es de 0.6 a $1.4 \frac{m}{s}$, con un punto máximo de $1.4 \frac{m}{s}$ que se presenta en la abscisa 0+240 metros debido a la curva en dicho punto el número de Froude incrementa de un valor promedio de 0.35, valor por debajo del límite de flujo crítico igual a uno, por ende, se mantiene el estado de flujo subcrítico.

Manning

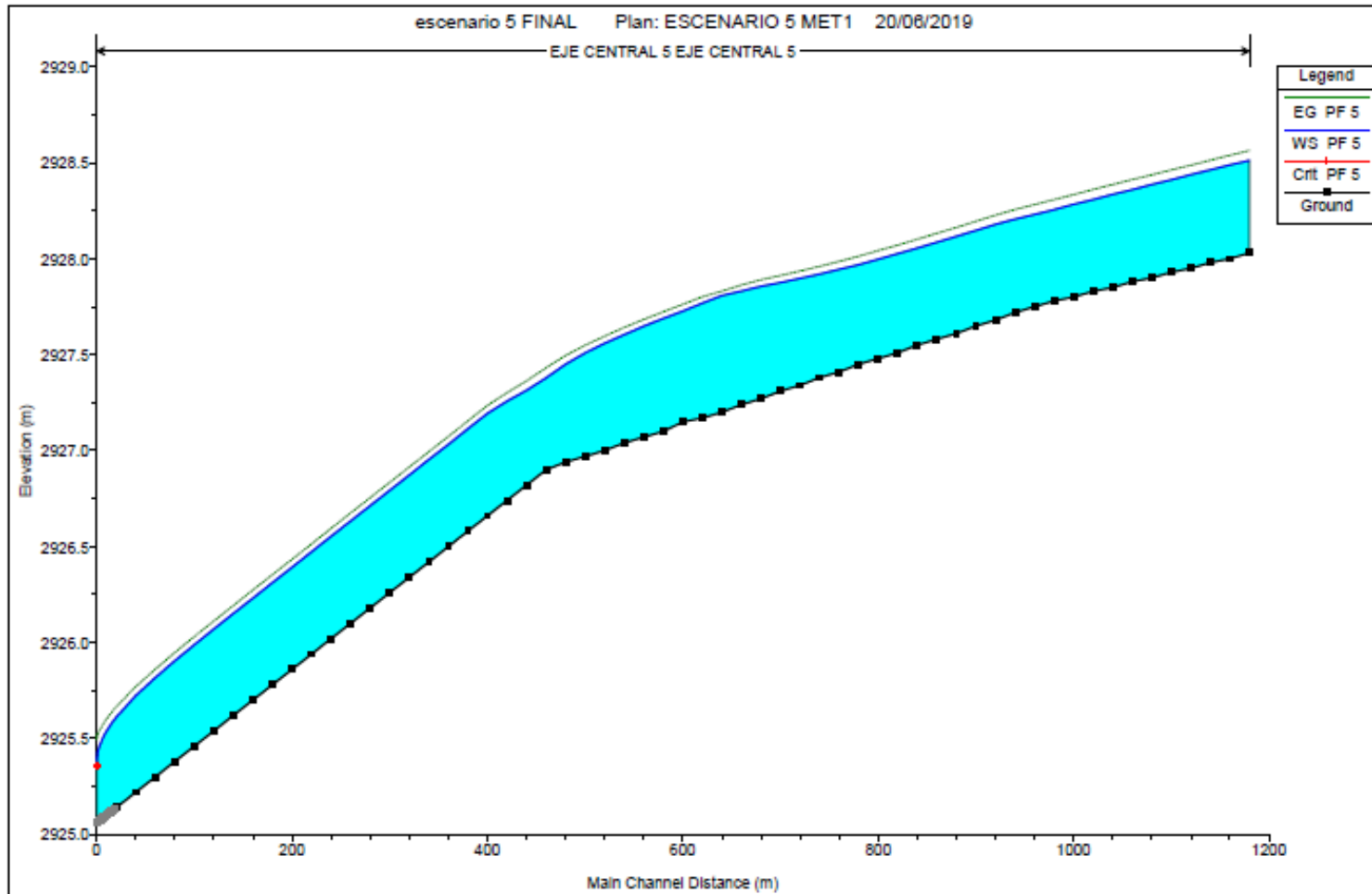
El coeficiente de Manning corresponde a los valores obtenidos en el análisis de la sección 4 y sirve para el proceso de calibración del modelo numérico.

3.19. Simulación del escenario 5

Para la simulación se utilizó el coeficiente de rugosidad calculado se lo distribuyo a lo largo del canal según lo descrito anteriormente, adicionalmente se obtuvo un promedio del caudal del escenario 5 de $0.939m^3/s$.

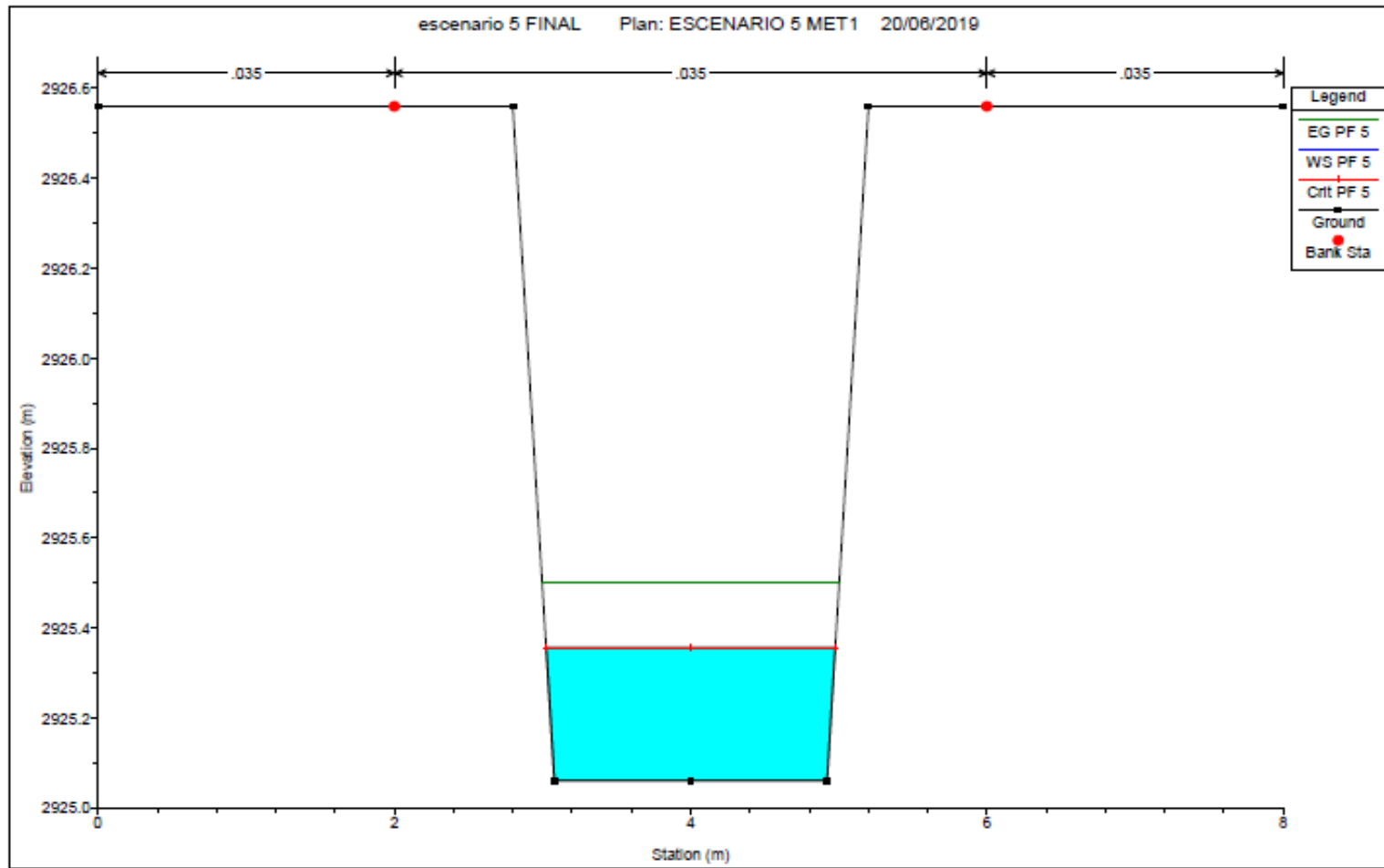
La figura 97 contiene el perfil de agua para este escenario con su nivel piezométrico y su línea de energía. La figura 98 y figura 99 nos muestra la sección transversal del canal en dos distintos puntos del canal en estas figuras se puede apreciar el coeficiente de Manning introducido en la simulación misma que resultado de cálculos previos. La figura 100 nos muestra la curva de descarga entre la cota de elevación y el caudal generado en este escenario. En la figura 101 consta un perfil longitudinal que muestra una gráfica de la velocidad y el número Froude resultante en la simulación del programa en base a la longitud en este escenario. Finalmente, en la figura 102 se puede apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo del escenario.

Figura 97. Perfil Longitudinal Escenario 5



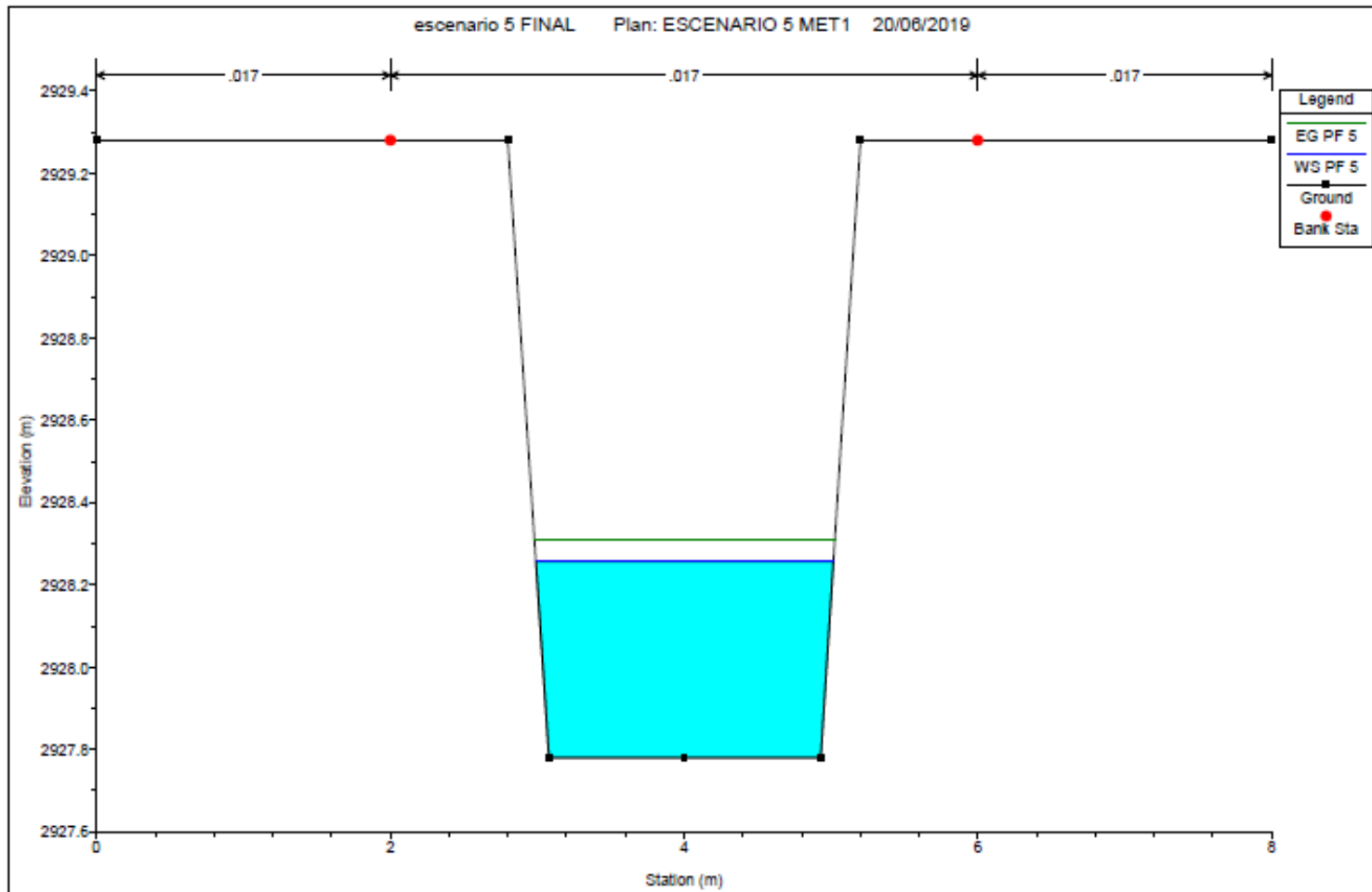
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 98. Sección transversal abscisa 0+020



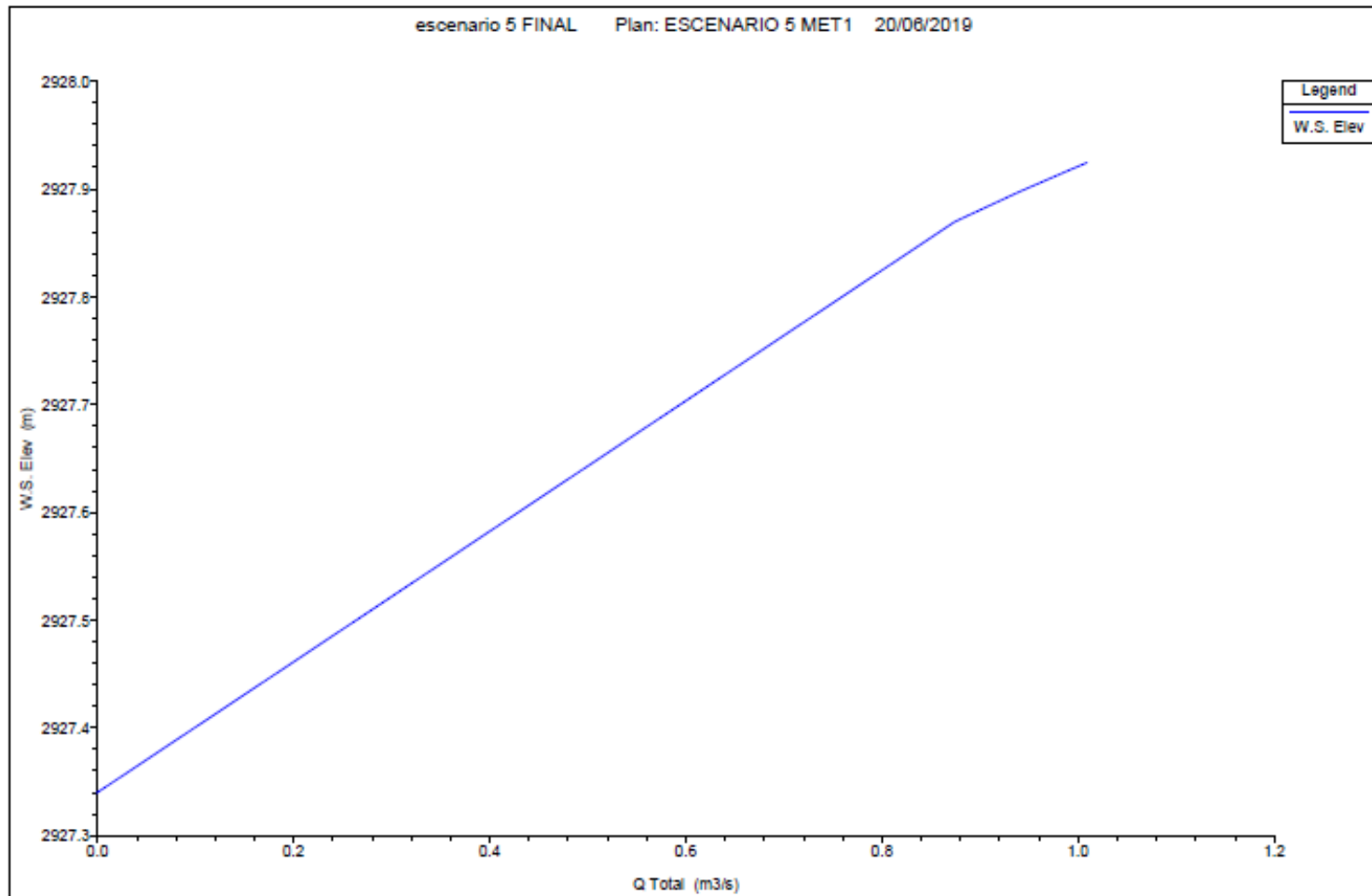
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 99. Sección transversal abscisa 0+750



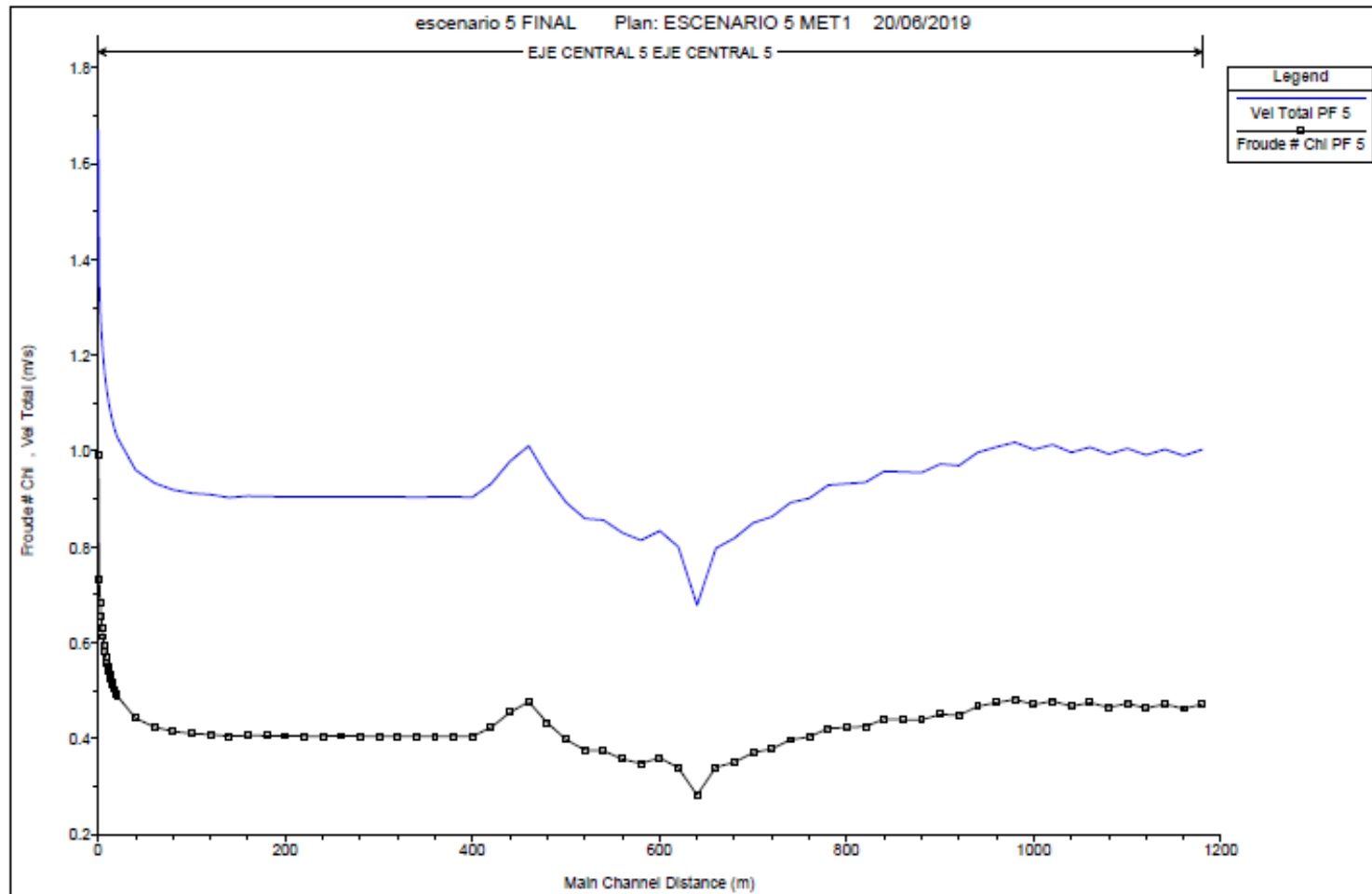
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 100. Curva de descarga Elevación vs Caudal



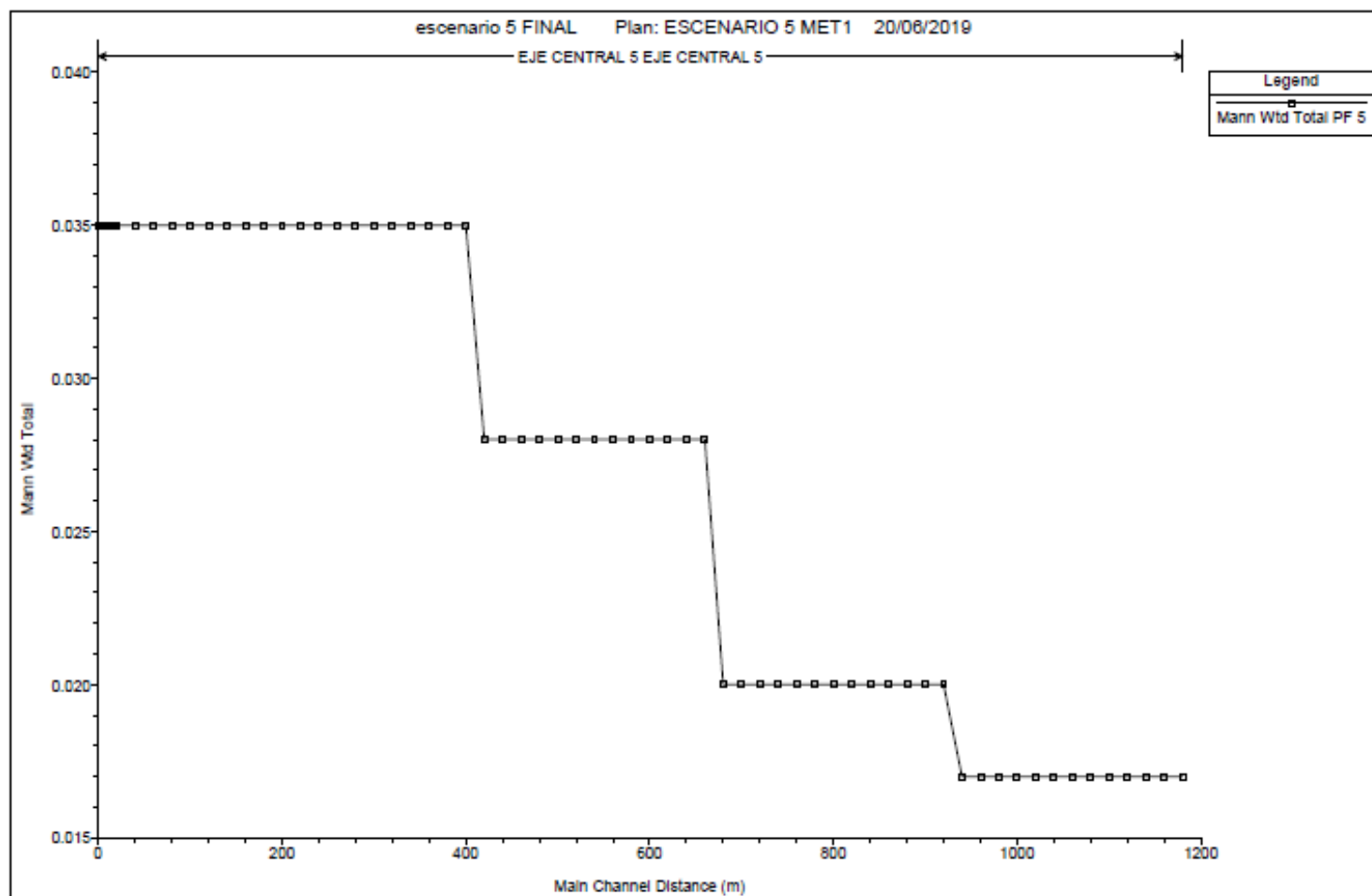
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 101. Perfil longitudinal Velocidad vs Long y Número Froude vs Long



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 102. Perfil longitudinal coeficiente de Manning vs Longitud



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

3.20.Perfil longitudinal

El escenario 5 inicia en la abscisa 5+000 metros a la 5+750 metros , en el software HEC-RAS inicia en 0 metros a 1200 metros, en este se observa un perfil de agua relativamente constante.

Sección transversal

El calado de agua tiene una altura promedio de 0.3 metros, encontrándose en la abscisa 0+0.20 y en la abscisa 0+750 tiene una altura promedio de 0.9 metros siempre se encuentra sobre el calado crítico lo que significa un estado de flujo subcrítico.

Curva de descarga

Las secciones transversales del canal en este tramo tienen una capacidad promedio de $1 \frac{m^3}{s}$ con una altura máxima de agua 0.58 metros.

Velocidad media y Froude

La velocidad promedio es de 0.7 a $1.7 \frac{m}{s}$, con un punto máximo de $1.7 \frac{m}{s}$ que se presenta en la abscisa 0+000 metros debido a la curva en dicho punto el número de Froude incrementa de un valor promedio de 0.5, valor por debajo del límite de flujo crítico igual a uno, por ende, se mantiene el estado de flujo subcrítico.

Manning

El coeficiente de Manning corresponde a los valores obtenidos en el análisis de la sección 5 y sirve para el proceso de calibración del modelo numérico.

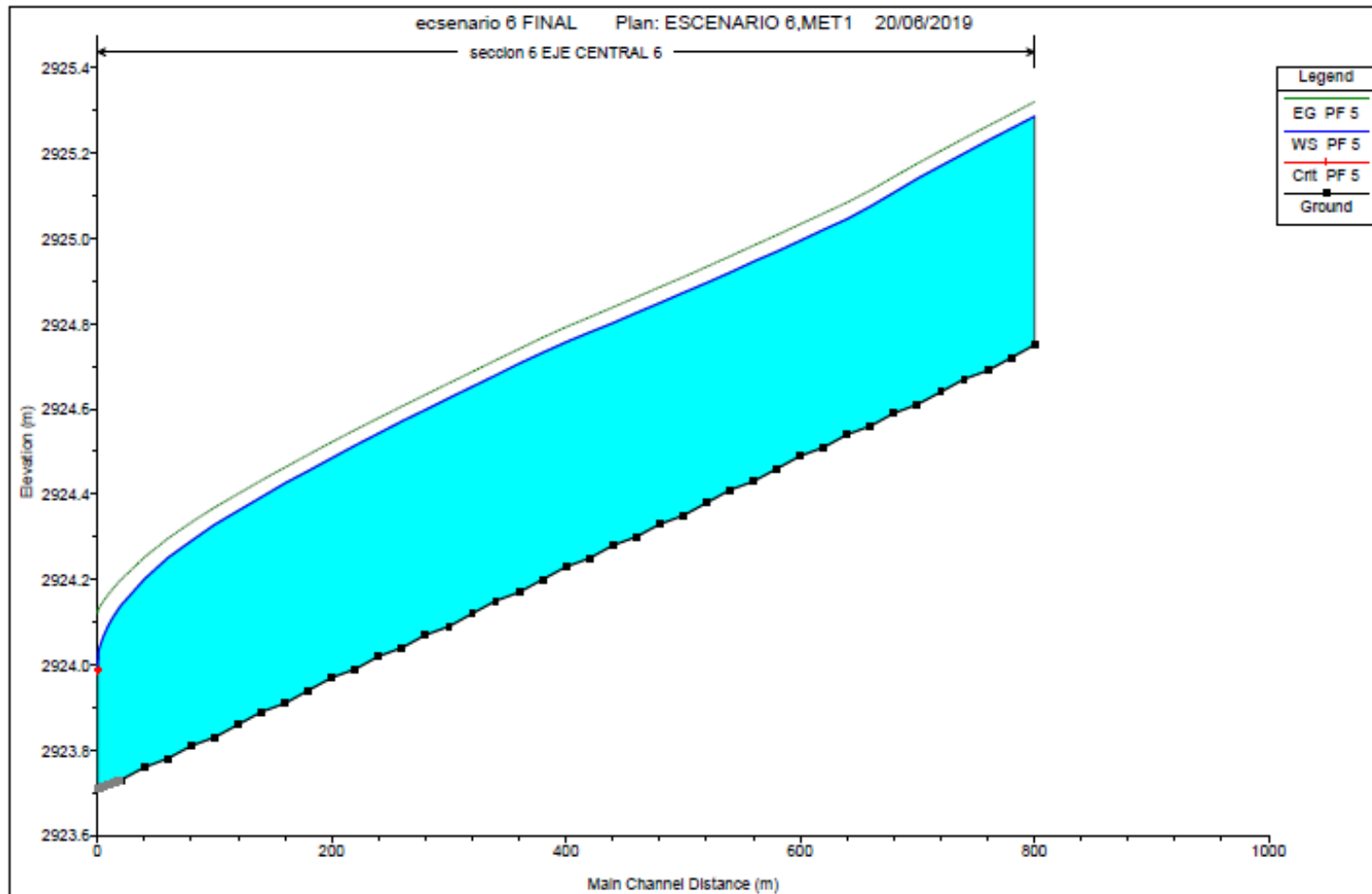
3.21.Simulación del escenario 6

Para la simulación se utilizó el coeficiente de rugosidad calculado se lo distribuyo a lo largo del canal según lo descrito anteriormente, adicionalmente se obtuvo un promedio del caudal del escenario 6 de $0.859m^3/s$.

La figura 103 contiene el perfil de agua para este escenario con su nivel piezométrico y su línea de energía. La figura 104 y figura 105 nos muestra la sección trasversal del canal

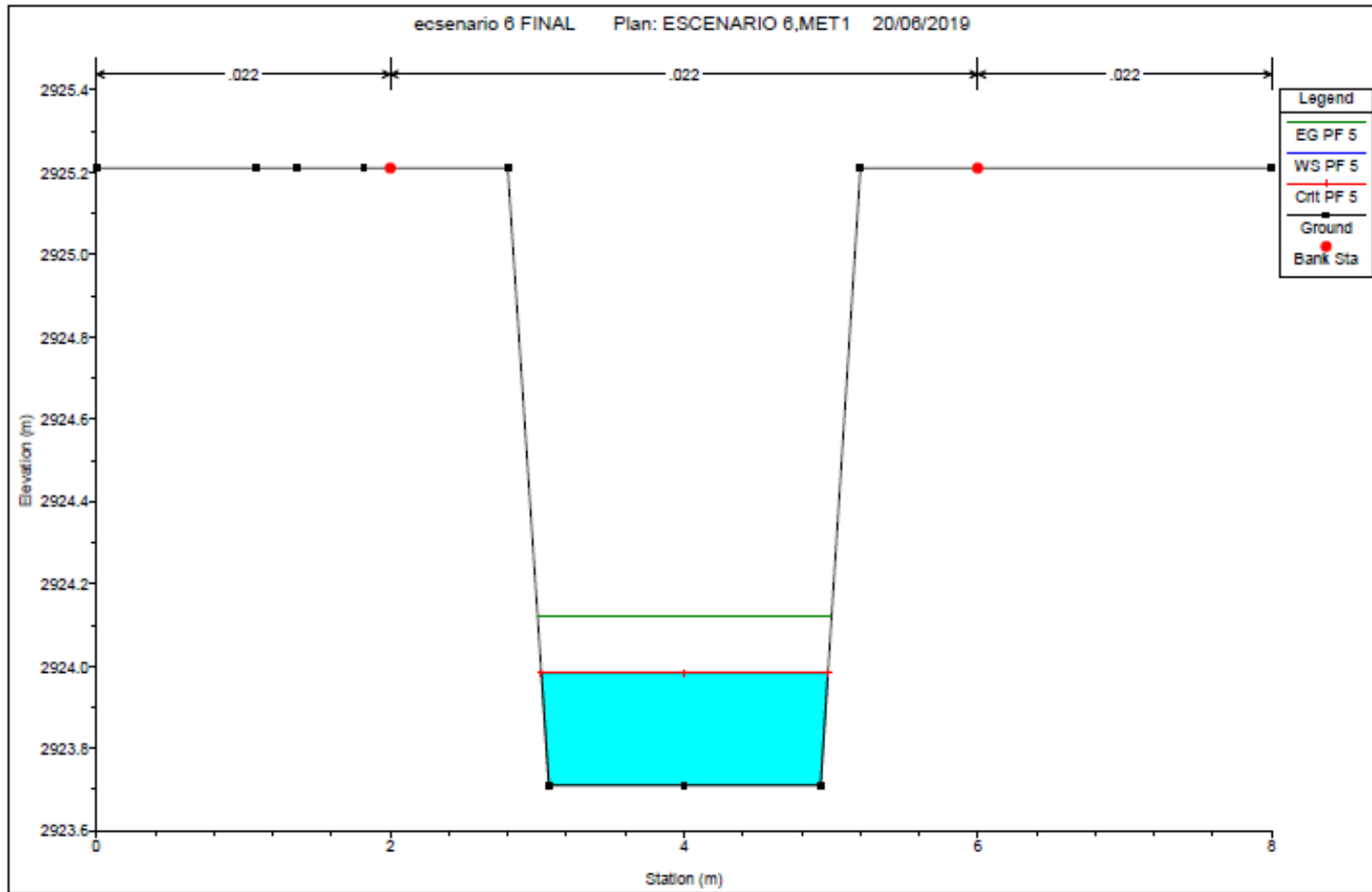
en dos distintos puntos del canal en estas figuras se puede apreciar el coeficiente de Manning introducido en la simulación misma que resultado de cálculos previos. La figura 106 nos muestra la curva de descarga entre la cota de elevación y el caudal generado en este escenario. En la figura 107 consta un perfil longitudinal que muestra una gráfica de la velocidad y el número Froude resultante en la simulación del programa en base a la longitud en este escenario. Finalmente, en la figura 108 se puede apreciar la variación del coeficiente de Manning a lo largo del escenario.

Figura 103. Perfil Longitudinal Escenario 6



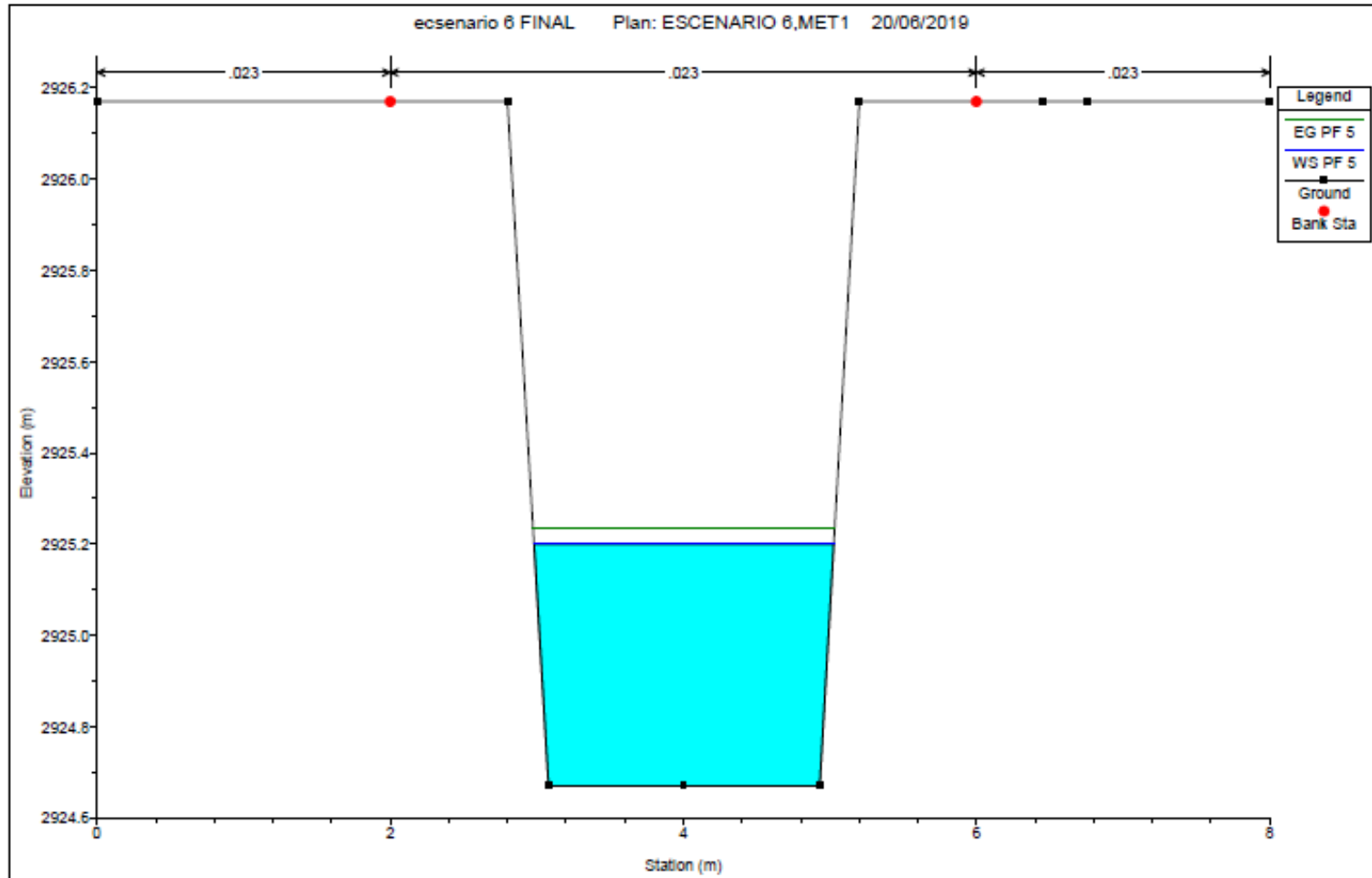
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 104. Sección transversal abscisa 0+020



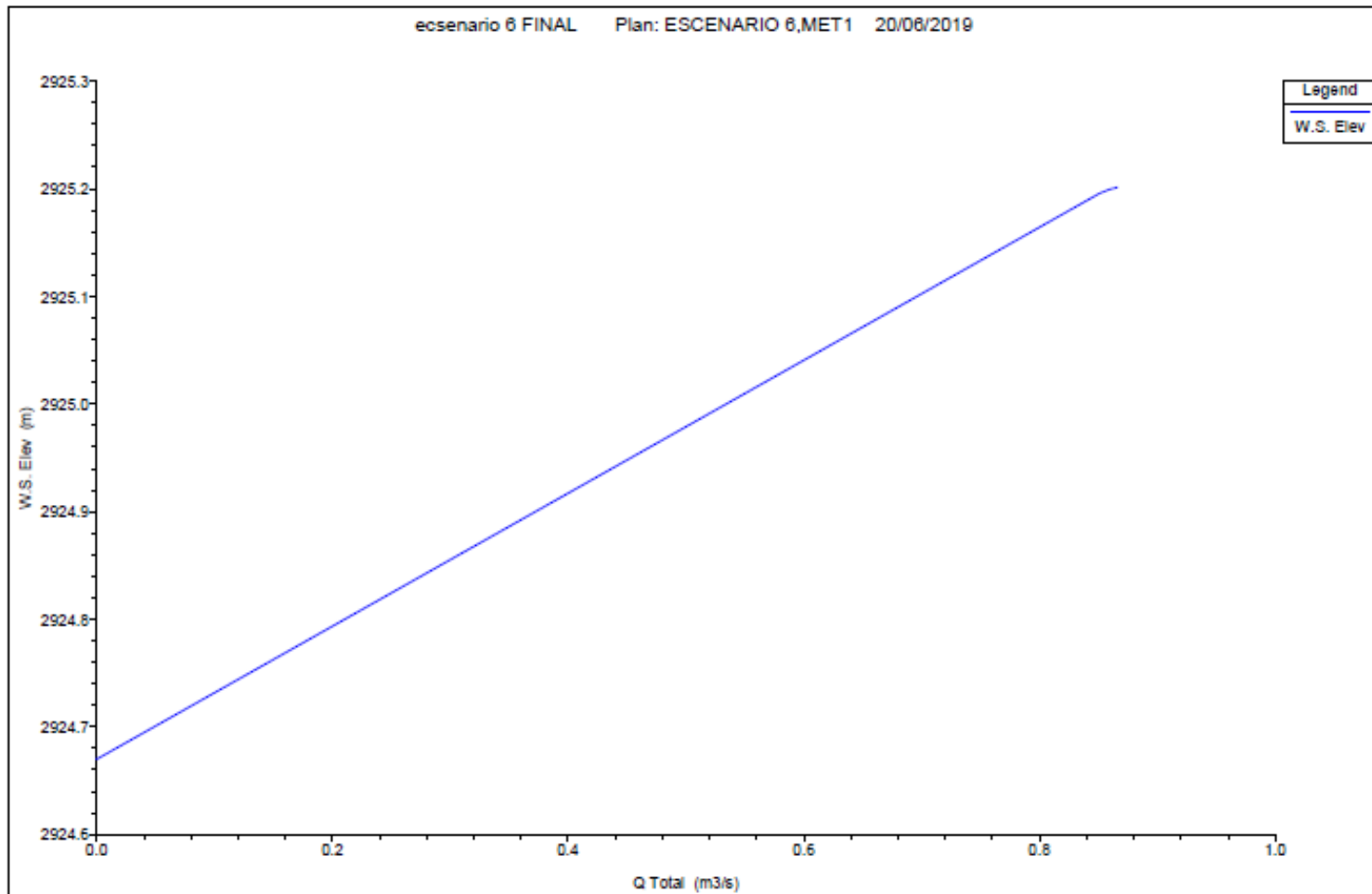
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 105. Sección transversal abscisa 0+750



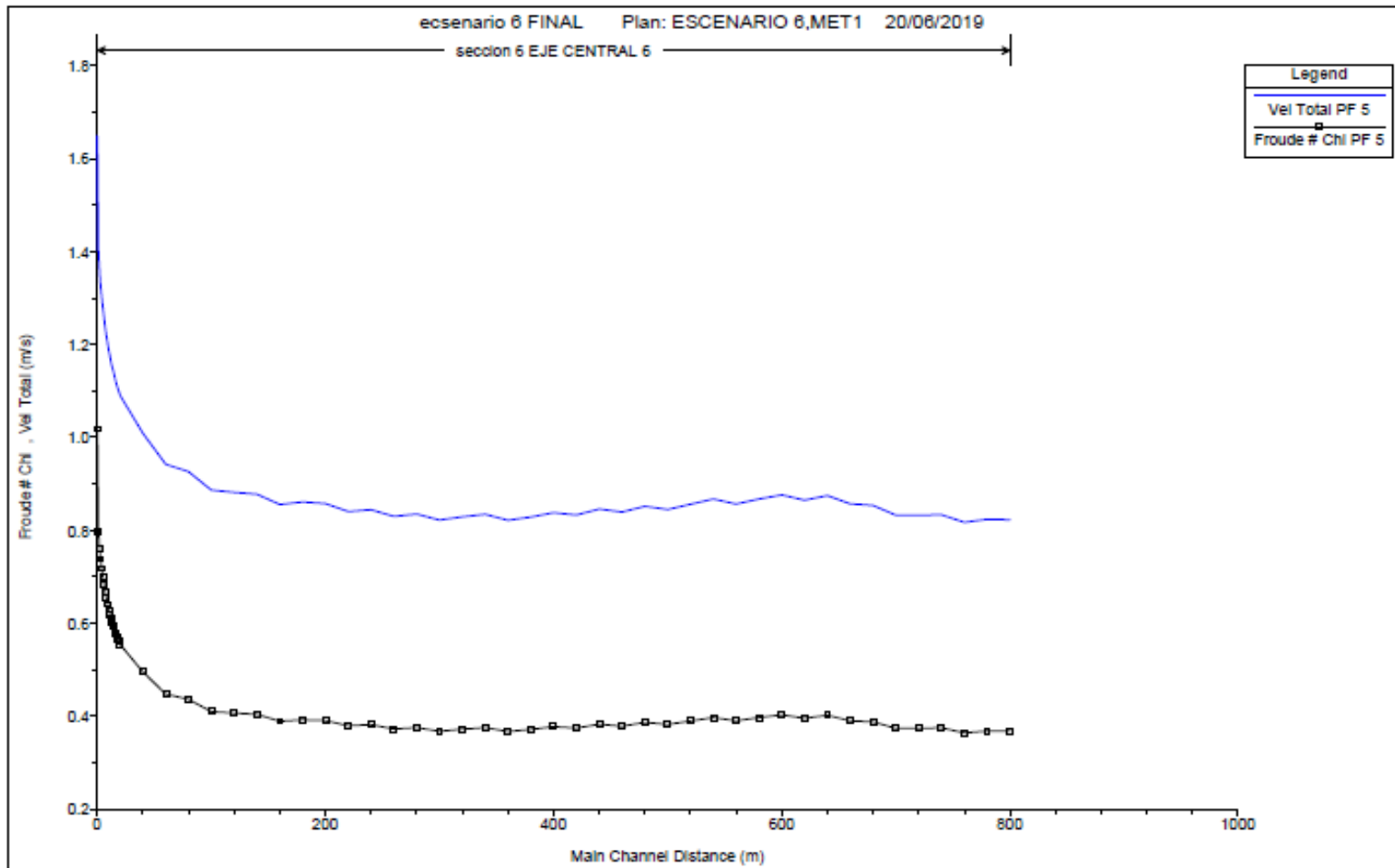
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 106. Curva de descarga Elevación vs Caudal



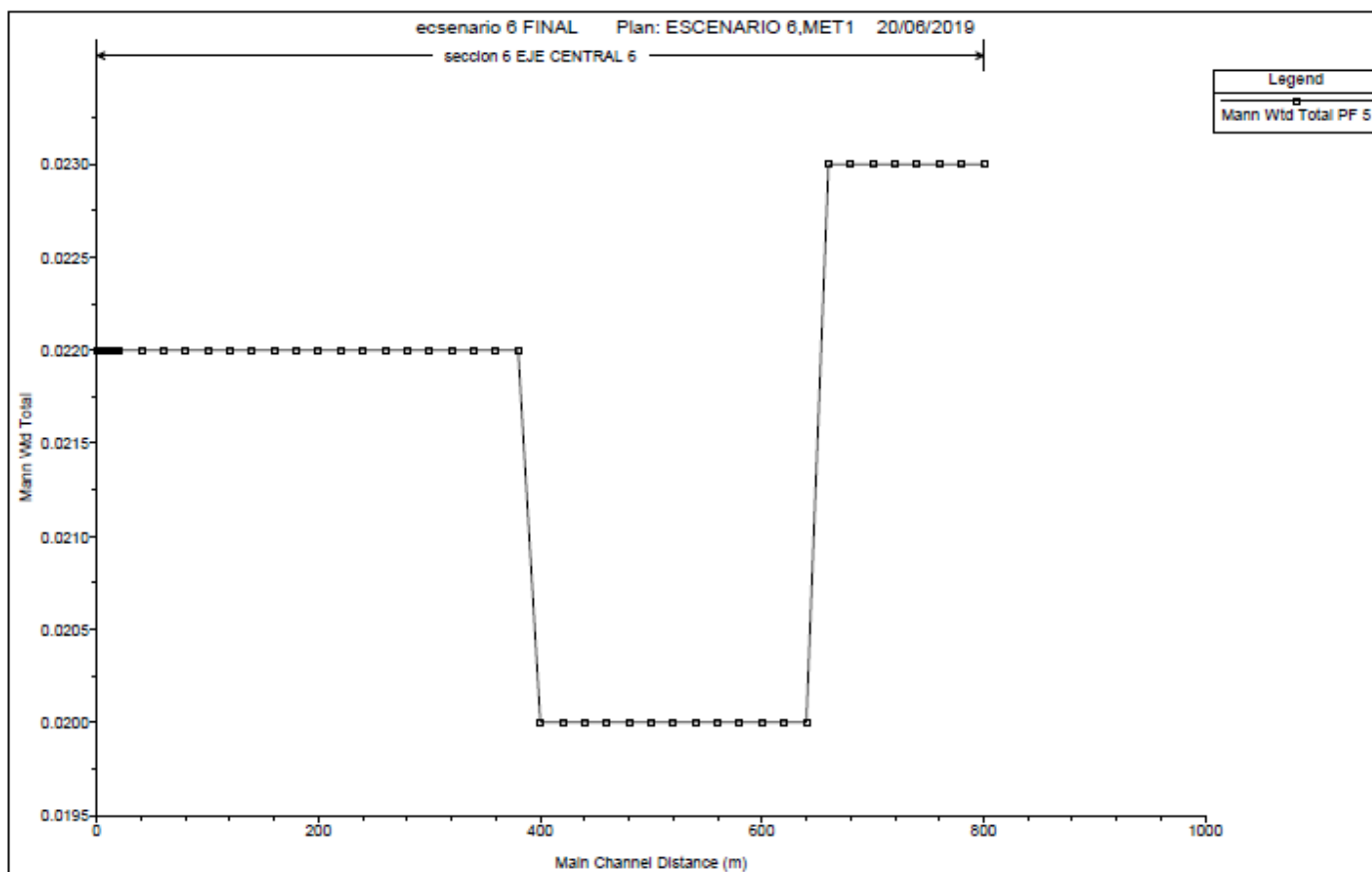
Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 107. Perfil longitudinal Velocidad vs Long y Número Froude vs Long



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

Figura 108. Perfil longitudinal coeficiente de Manning vs Longitud



Realizado por: Félix Sebastián Romero Córdova

3.22.Perfil longitudinal

El escenario 6 inicia en la abscisa 6+000 metros a la 6+750 metros, en el software HEC-RAS inicia en 0 metros a 800 metros, en este se observa un perfil de agua relativamente constante.

Sección transversal

El calado de agua tiene una altura promedio de 1.25 metros, encontrándose en la abscisa 0+0.20 y en la abscisa 0+750 tiene una altura promedio de 0.55 metros siempre se encuentra sobre el calado crítico lo que significa un estado de flujo subcrítico.

Curva de descarga

Las secciones transversales del canal en este tramo tienen una capacidad promedio de $0.82 \frac{m^3}{s}$ con una altura máxima de agua 0.56 metros.

Velocidad media y Froude

La velocidad promedio es de 0.8 a $1.6 \frac{m}{s}$, con un punto máximo de $1.6 \frac{m}{s}$ que se presenta en la abscisa 0+000 metros debido a la curva en dicho punto el número de Froude incrementa de un valor promedio de 0.4, valor por debajo del límite de flujo crítico igual a uno, por ende, se mantiene el estado de flujo subcrítico.

Manning

El coeficiente de Manning corresponde a los valores obtenidos en el análisis de la sección 6 y sirve para el proceso de calibración del modelo numérico.

3.23. Verificación de la hipótesis

- El caudal y la velocidad de flujo in situ del tramo del canal de riego resulta un promedio de $1.6565 \frac{m^3}{s}$ y una velocidad media de $1.103 \frac{m}{s}$ mediante el método 1. El caudal promedio y la velocidad media del método 2 son iguales a $1.63 \frac{m^3}{s}$ y $1.284 \frac{m}{s}$ respectivamente.
- El valor del coeficiente de rugosidad de Manning para el método 1 igual a 0.0198 correspondiente a un material de recubrimiento de hormigón revestido con gunito, lo que indica que el hormigón ha sufrido desgaste afectando las condiciones hidráulicas del canal. Para el método 2 el valor promedio del coeficiente de rugosidad de Manning es de 0.017 correspondiente a un material de recubrimiento de hormigón.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se estimó mediante la recolección de datos in situ y posteriores cálculos matemáticos los valores de las pérdidas volumétricas de $0.045 \frac{m^3}{s}$ resultando igual para los dos métodos prácticos que se encuentra por encima del método teórico de Uginchos para un hormigón nuevo entre el óvalo 01 al 11 del canal Ambato – Huachi – Pelileo del cantón Ambato de la provincia de Tungurahua.
- Se estableció un porcentaje de diferencia entre las pérdidas volumétricas prácticas y del modelo matemático siendo esta igual a 3.91%, y de la diferencia del coeficiente de rugosidad de Manning de los dos métodos utilizados es igual a 3.68%.
- Se concluye que, pese a que el recubrimiento del canal ha sido afectado, no ha cambiado el estado de flujo subcrítico, parámetro fundamental para el diseño de canales abiertos, debido a que el número de Froudes se encuentra por debajo de 1 con un valor promedio de 0.45.
- Se observó que a lo largo del canal los valores del coeficiente de Manning varían entre 0.011 a 0.035 en el método 1, y el método 2 varían entre 0.010 a 0.030 ocasionados a la existencia de curvaturas, sedimentación, crecimiento de flora dentro del canal.

3.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar las medidas de velocidad puntual en lugares que no estén dentro ni próximo a una curvatura ya que esto provoca un cambio de velocidad.
- Al momento de realizar la medida de velocidad puntual se debe procurar que no se mueva el molinete, ya que este tiende a moverse por fuerza de empuje producida por el fluido.
- Es recomendable constatar que la zona donde se toma la medida de velocidad puntual no existan conexiones ilícitas ya que tendrán influencia en los resultados.

- En base a los resultados obtenidos se recomienda mejorar el recubrimiento en el punto que presenta un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.035.
- Se debe dar mayor énfasis al mantenimiento del canal en especial a la limpieza del mismo que se recomienda dos o tres veces al año, ya que las excesivas sedimentaciones alteran el comportamiento hidráulico de este.

Bibliografía

- [1] C. Sánchez , Optimización del Recurso Hídrico mediante el cambio de Método de Riego en la Comuna de Monjas Alto, Cantón Cayambe, 2007.
- [2] L. A. Lucero Ipiates, *Diagnóstico socioambiental para la elaboración de un plan de manejo ambiental del canal de riego Mocha-Quero-Ladrillos en la provincia de Tungurahua. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba., Riobamba, 2018.*
- [3] K. M. Masaquiza, Transferencia del sistema de riego público al sector privado, caso sistema de riego Ambato - Huachi – Pelileo, Ambato , 2004.
- [4] U. A. C. o. Engineers, «Centro de Ingeniería Hidrológica,» [En línea]. Available: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/features.aspx>. [Último acceso: 5 05 2019].
- [5] G. P. d. Tungurahua, «PLAN PROVINCIAL DE RIEGO DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA 2014 – 2029,» *Gobierno Provincial de Tungurahua* , 2014.
- [6] J. Valverde, Riego y Drenaje, Costa Rica : UENED, 2007.
- [7] A. R. Felices, Hidráulica de tuberías y canales, 2007.
- [8] G. E. Gutiérrez, Hidraulica de canales abiertos, 2007.
- [9] I. N. d. E. y. Censos, «Reporte estadístico del SECTOR AGROPECUARIO,» 2011. [En línea]. Available: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Presentaciones/espac_2010.pdf. [Último acceso: 22 enero 2019].
- [10] J. Cadavid, HIDRAULICA DE CANALES: FUNDAMENTOS, Medellin : Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2006.
- [11] J. Rojo, «HIDRÁULICA Introducción al estudio del flujo,» 2016. [En línea]. Available:

http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/2.0_propiedades_seccion_transversal.pdf. [Último acceso: 23 01 2019].

- [12] V. T. chow, Hidraulica de canales abiertos, McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A., 1994.
- [13] J. Daily y D. Harleman, “DINÁMICA DE FLUIDOS”, 1969.
- [14] A. CRESPO, MECANICA DE FLUIDOS, España: PARANINFO, 2010.
- [15] I. M. d. t. d. agua, Manual de aforos, México : IMTA, 1992.
- [16] G. Sotelo, Apuntes de hidraulica II, Facultad de ingenieria , 2008.
- [17] W. Cherenque, Mecánica de fluidos, Perú : Pontificia Universidad Católica de Perú , 1987.
- [18] P. R. Rodríguez, HIDRÁULICA II, 2008.
- [19] d. T. y. e. Instituto Internacional de Investigación, ECUACIONES FUNDAMENTALES DE LA HIDRÁULICA, 2011.
- [20] R. Moot, Mecánica de Fluidos, México : PEARSON Educación , 2006.
- [21] G. S. Ávila, Hidraulica de canales, México: UNAM, 2002, p. 836 .
- [22] J. G. Cuartas, Flujo Permanente Gradualmente Variado canales prismático, Colombia : Universidad Nacional de Colombia , 2006.
- [23] J. Serrano, Comparación de los modelos Hidráulicos Unidimensional (HEC-RAS) y Bidimensional (IBER) en el Análisis de Rotura en Presas de Materiales, Perú, 2014.
- [24] S. Woodward y C. J. Posey, Hydraulics of Steady Flow in Open Channels, 1949.
- [25] A. Pujol y Á. Menéndez, Análisis unidimensional de escarmento en canales, Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2011.

- [26] GEOTOP, «Estación total trimble M3,» [En línea]. Available: http://geotop.com.pe/descargas/estacion_total/estacion_total_windows/trimble/estacion-total-trimble-m3-geotopsac.pdf. [Último acceso: 29 Febrero 2019].
- [27] GEOTRONICS, «ALLTERRA,» [En línea]. Available: <https://geotronics.es/productos/gnss/r10-gnss>. [Último acceso: 28 Febrero 2019].
- [28] d. o. p. Centro de estudios y experimentacion , «Ingenieria,» [En línea]. Available: <http://ceh-flumen64.cedex.es/IngSis/hec-ras.htm>. [Último acceso: 29 Febrero 2019].

Anexos Fotográficos



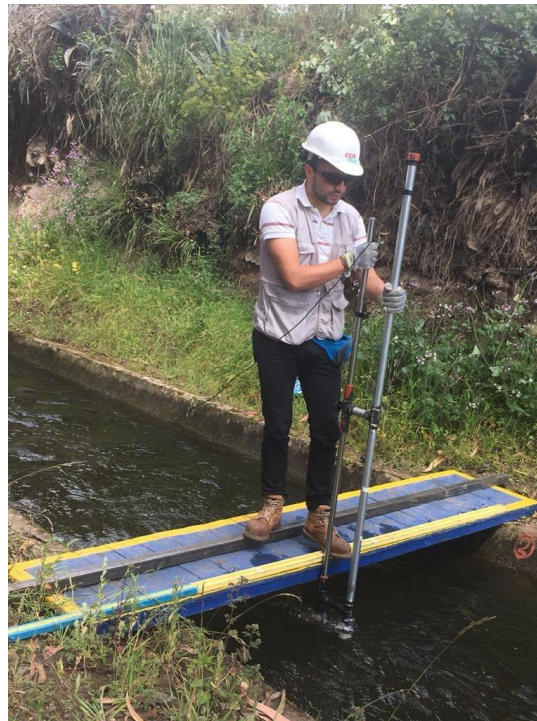
1. Canal de estudio



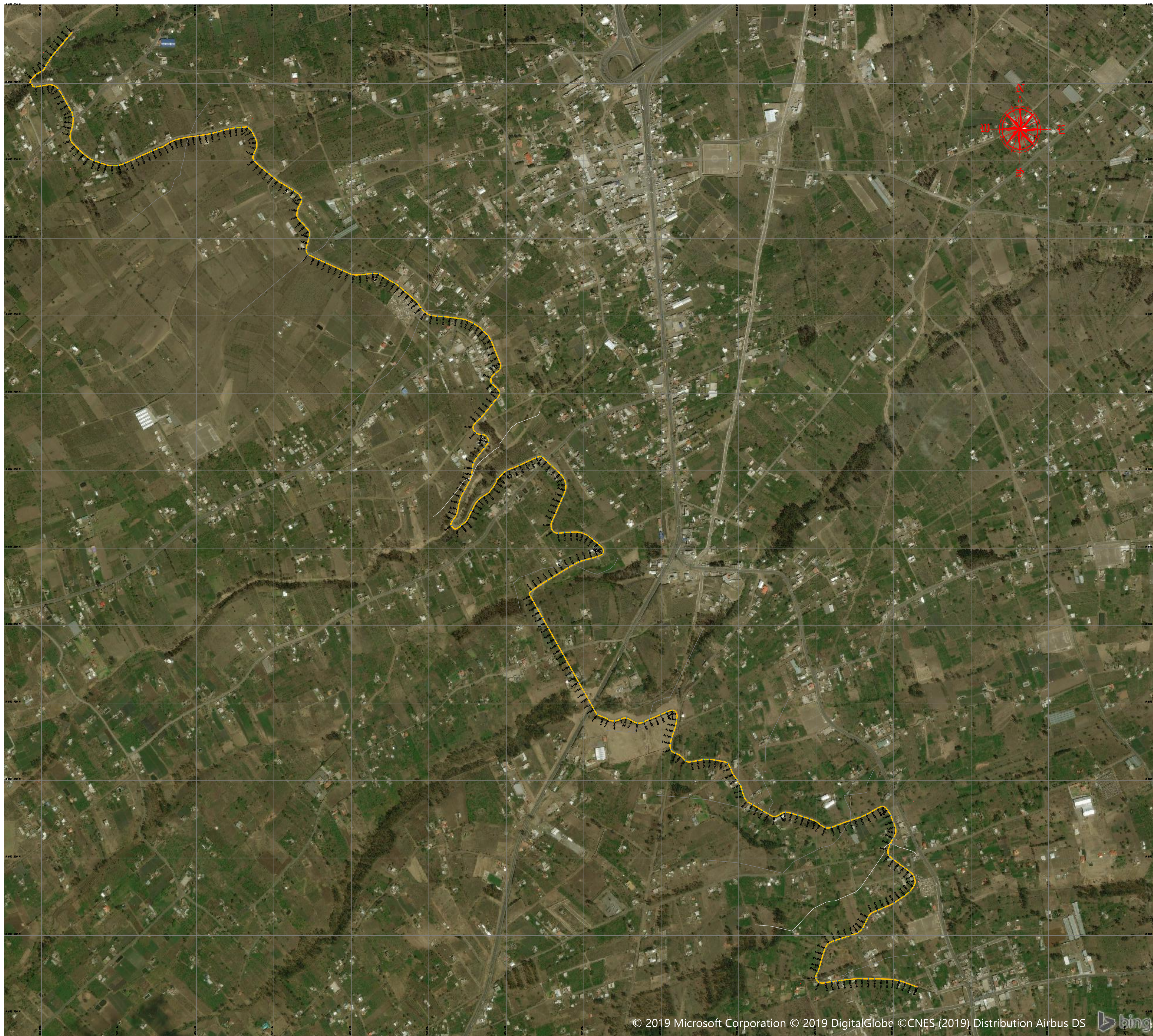
2 Medición de la geometría del canal



3. Medición y registro de datos de velocidad puntual



4. Medición de velocidades puntuales con ayuda del molinete



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

SIMBOLOGIA:

- ABCSIAS
- EJE DEL CANAL
- CANAL EN ESTUDIO

REFERENCIAS:

COORDENADAS DE REFERENCIA
 N: 760900.00 m
 E: 9856000.00 m

CANAL AMBATO - HUACHI - PELILEO

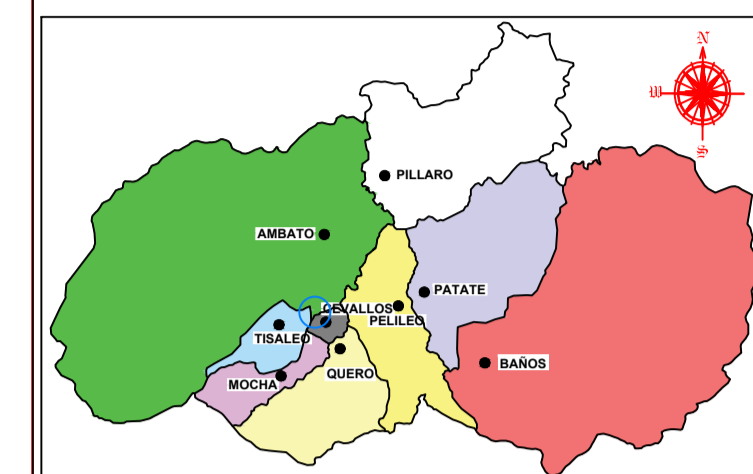
CANTÓN AMBATO

PROVINCIA DE TUNGURAHUA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL

REFERENCIA:	CONTIENE:	ESCALA:
TEMA:	FECHA:	1:750
ARCHIVO:	IMPLANTACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO	02/02/2017
REVISADO:	APROBADO:	1/6
Ing. LENIN MALDONADO	JEFATURA:	



SIMBOLOGIA:

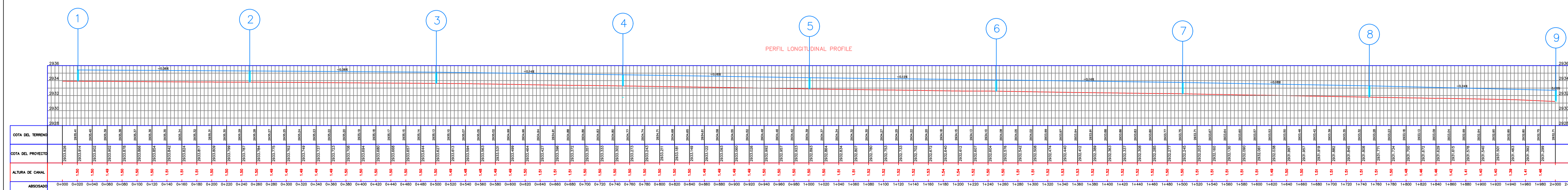
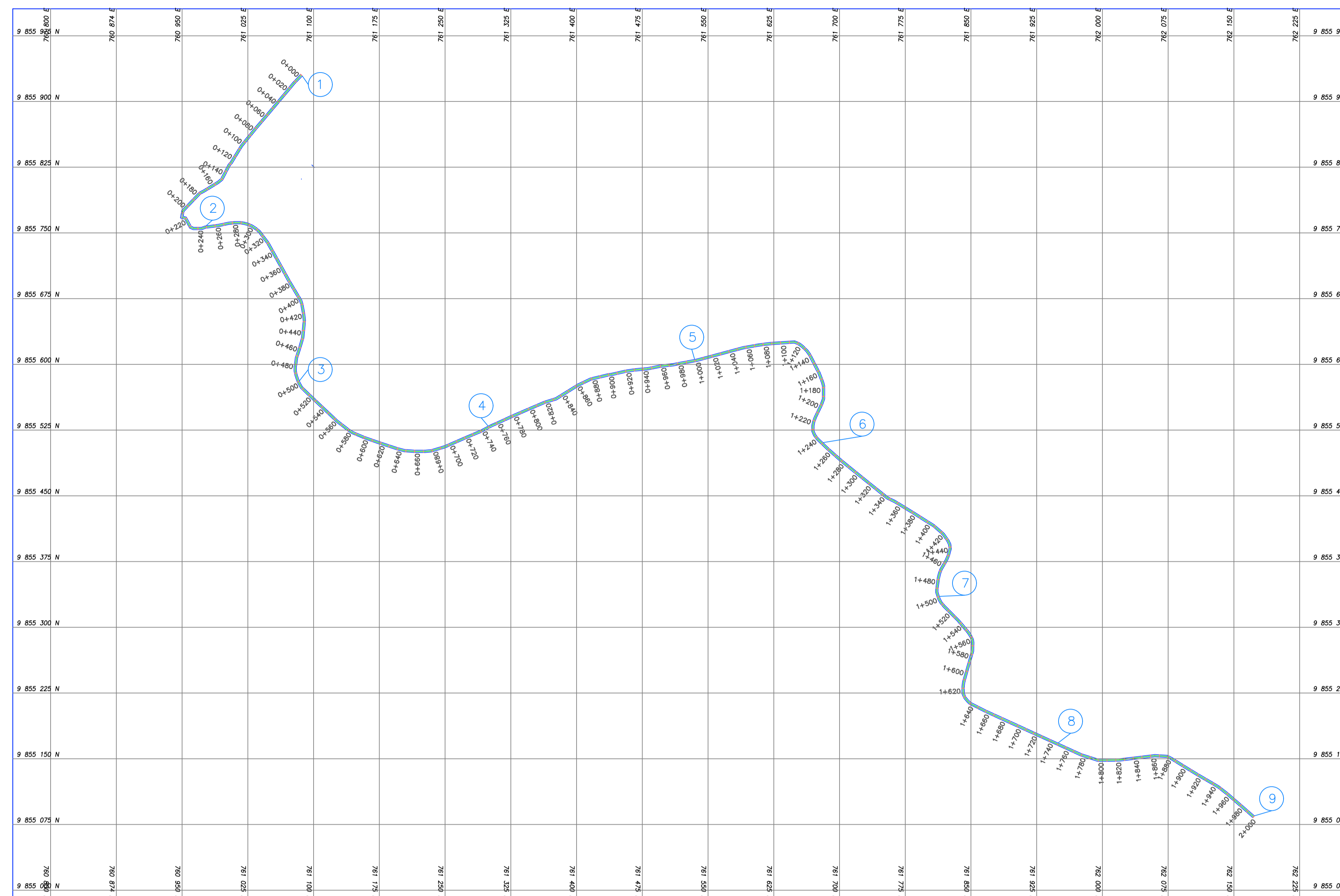
- ABCISAS
- EJE DEL CANAL
- CANAL EN ESTUDIO
- PUNTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

REFERENCIAS:

COORDENADAS DE REFERENCIA
 N: 760900.00 m
 E: 9856000.00 m
CANAL AMBATO - HUACHI - PELILEO
CANTÓN AMBATO
PROVINCIA DE TUNGURAHUA

REFERENCIAS DE PUNTOS :

PUNTO	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN (MSNM)
1	9855900.22	761085.109	2935.426
2	9855742.164	760993.9095	2935.21
3	9855546.07	761113.038	2935.124
4	9855517.6326	761321.6273	2934.754
5	9855589.755	761548.175	2934.385
6	9855490.528	761698.557	2934.051
7	9855304.007	761838.6413	2933.726
8	9855147.989	761971.7389	2933.282
9	9855068.957	762186.828	2932.838



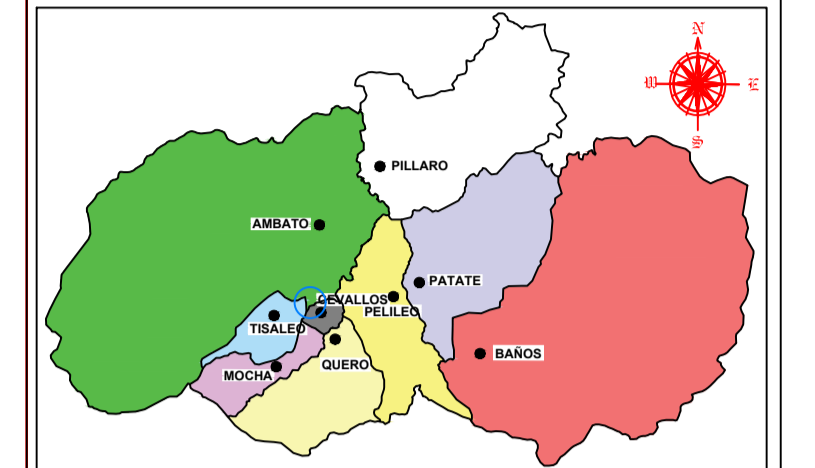
TRABAJO EXPERIMENTAL

TESISTA: FÉLIX SEBASTIÁN ROMERO CÓRDOVA
 ESCALA: 1:100

CÓDIGO:
 FECHA: 24/06/2019

CONTIENE: PLANTA Y PERFIL DE LA SECCIÓN 1 DEL CANAL AMBATO-HUACHI- PELILEO
 ARCHIVO:
 HOJA No: 2/5

REALIZADO: SEBASTIÁN ROMERO
 REVISADO: Ing. LENIN MALDONADO
 APROBADO:



- SIMBOLOGÍA:**
- ABCISAS
 - EJE DEL CANAL
 - CANAL EN ESTUDIO
 - PUNTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

REFERENCIAS:

COORDENADAS DE REFERENCIA
 N: 760900.00 m
 E: 9856000.00 m

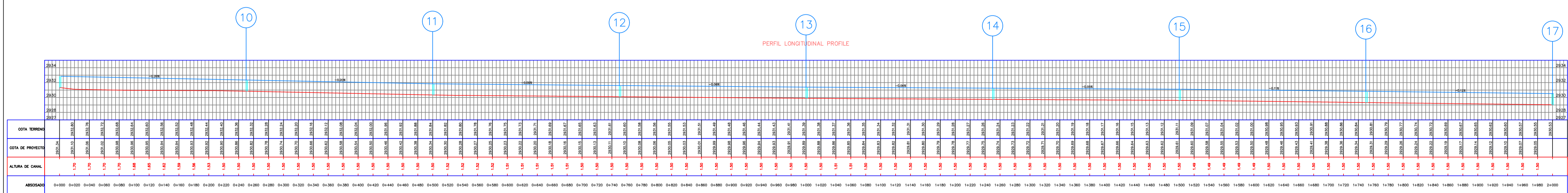
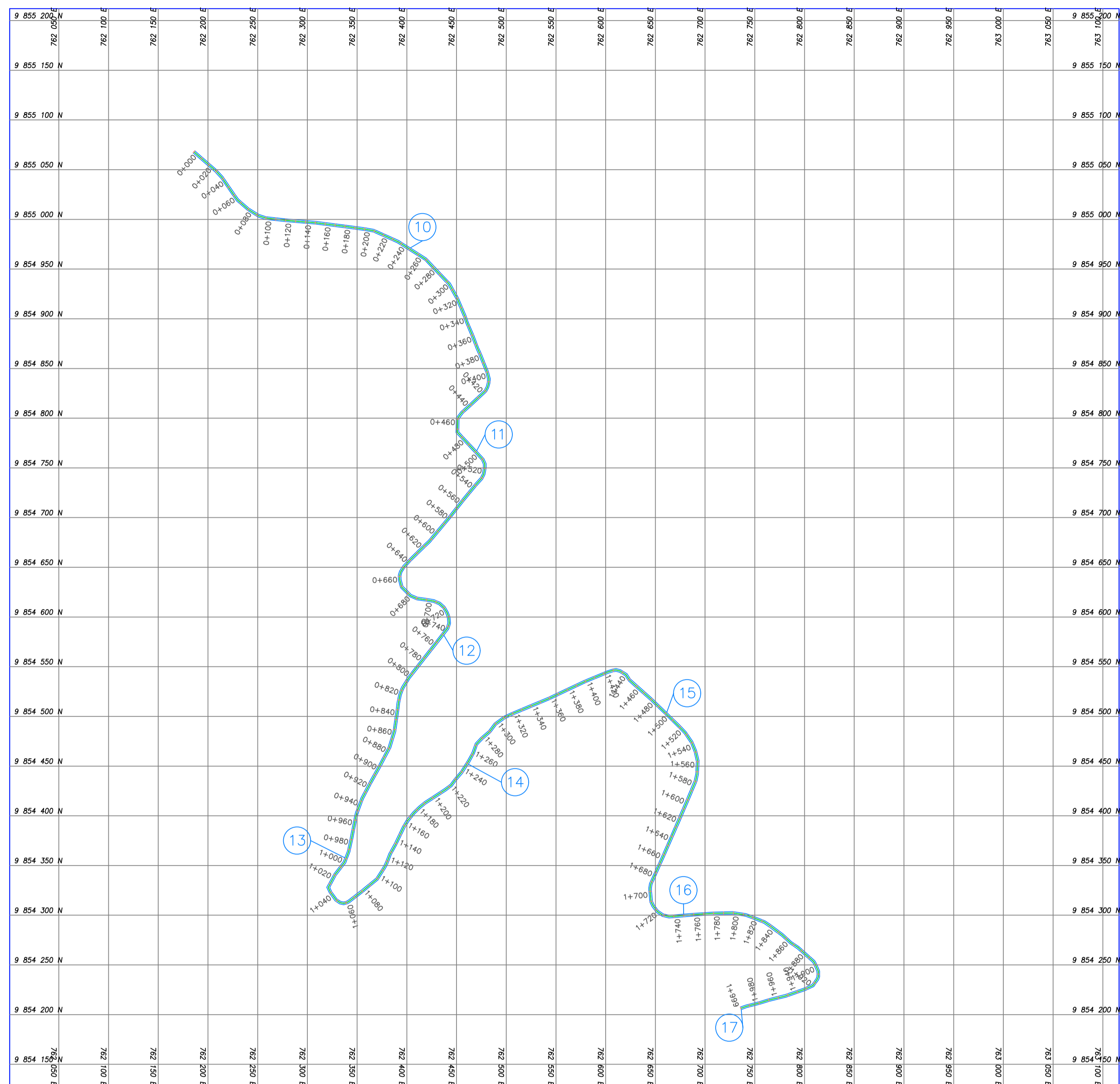
CANAL AMBATO - HUACHI - PELILEO

CANTÓN AMBATO

PROVINCIA DE TUNGURAHUA

REFERENCIAS DE PUNTOS :

PUNTO	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN (MSNM)
10	9854965.948	762412.0287	2932.321
11	9854767.306	762470.0638	2931.841
12	9854574.008	762431.302	2931.597
13	9854356.768	762340.1375	2931.393
14	9854444.509	762453.999	2931.255
15	9854490.537	762675.245	2931.101
16	9854301.864	762687.815	2930.813
17	9854207.543	762735.3642	2930.525



COTA TERRENO	COTA DE PROYECTO	ALTURA DE CANAL	ABSCISAS
2934	2931.4	2.6	0+000
2933	2931.4	2.6	0+100
2932	2931.4	2.6	0+200
2931	2931.4	2.6	0+300
2930	2931.4	2.6	0+400
2929	2931.4	2.6	0+500
2928	2931.4	2.6	0+600
2927	2931.4	2.6	0+700
2926	2931.4	2.6	0+800
2925	2931.4	2.6	0+900
2924	2931.4	2.6	1+000
2923	2931.4	2.6	1+100
2922	2931.4	2.6	1+200
2921	2931.4	2.6	1+300
2920	2931.4	2.6	1+400
2919	2931.4	2.6	1+500
2918	2931.4	2.6	1+600
2917	2931.4	2.6	1+700
2916	2931.4	2.6	1+800
2915	2931.4	2.6	1+900
2914	2931.4	2.6	2+000

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL

TESISTA: FÉLIX SEBASTIÁN ROMERO CORDOVA

ESCALA: 1:100

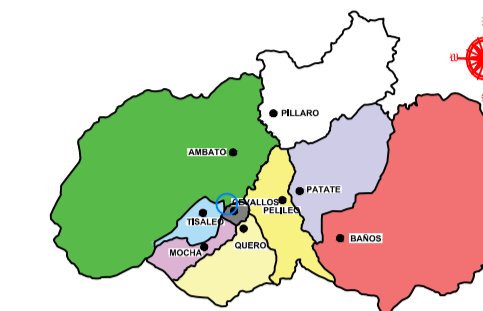
FECHA: 24/06/2019

HOJA No: 3/5

REALIZADO: SEBASTIÁN ROMERO

REVISADO: Ing. LENIN MALDONADO

APROBADO:



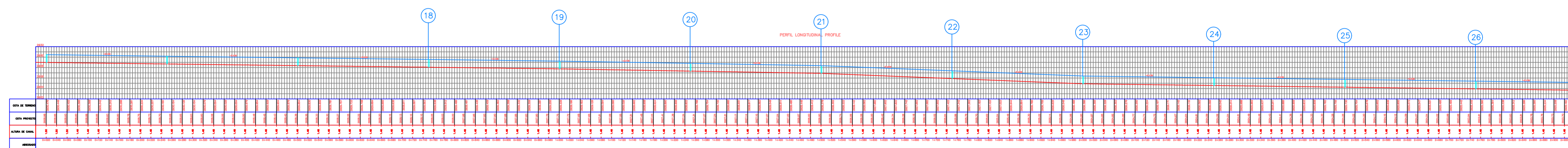
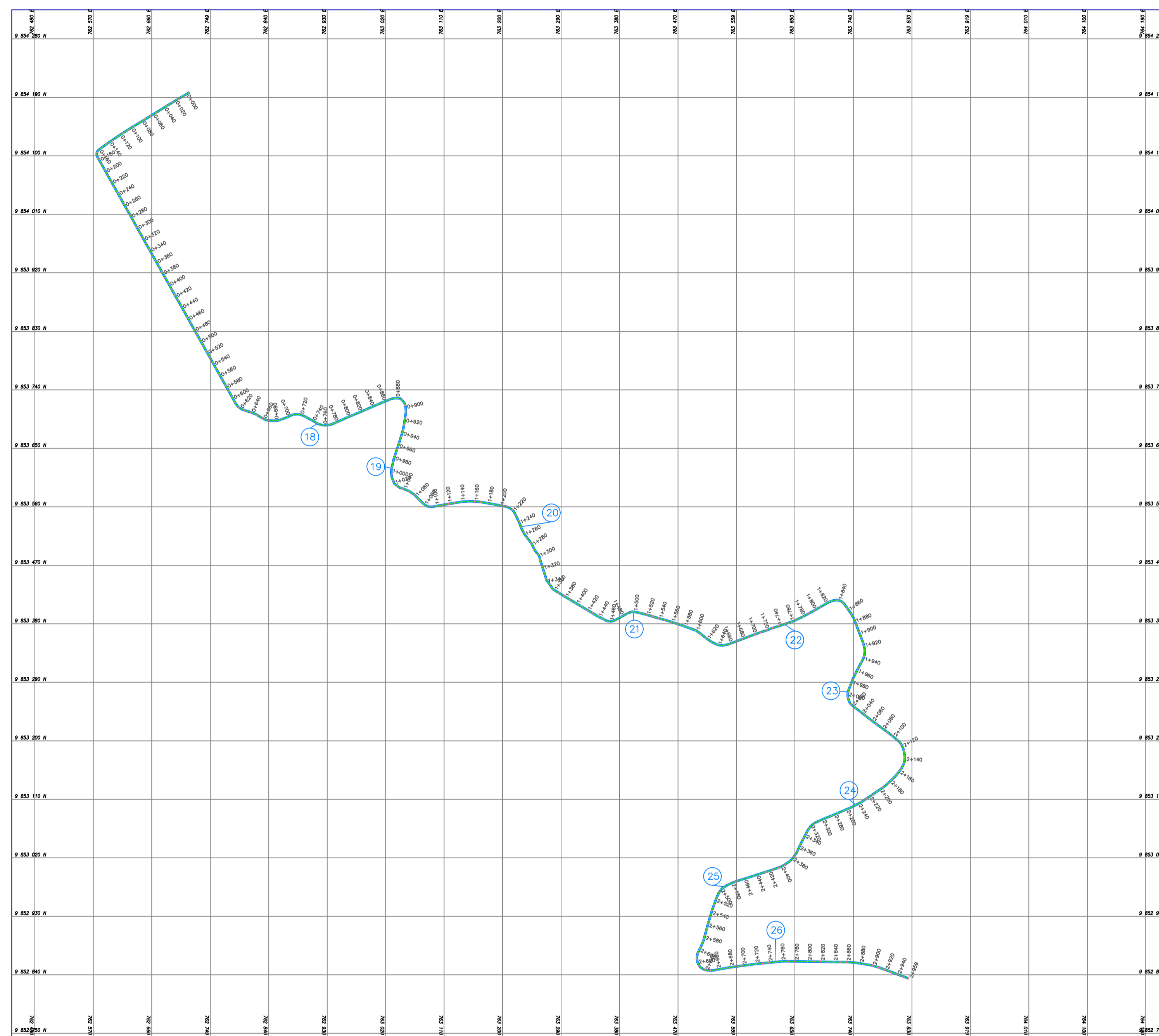
SIMBOLOGIA:

- ABCISAS
- EJE DEL CANAL
- CANAL EN ESTUDIO

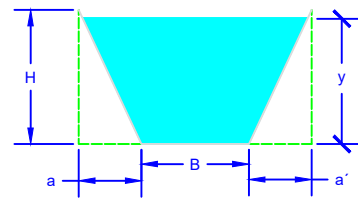
REFERENCIAS:

COORDENADAS DE REFERENCIA
 N: 760900.00 m
 E: 9856000.00 m
 CANAL AMBATO - HUACHI - PELILEO
 CANTÓN AMBATO
 PROVINCIA DE TUNGURAHUA

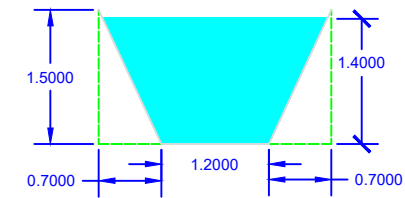
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
TRABAJO EXPERIMENTAL		
REFERENCIA:	CONTIENE:	ESCALA:
TERCETA:	IMPLANTACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO	1:750
ARCHIVO:		FECHA:
		02/02/2017
		HORA:
		4/5
REVISADO:	APROBADO:	DEFINITIVA:
Ing. LENIN MALDONADO		



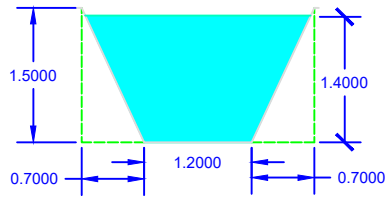
SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA



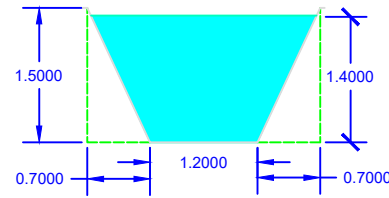
SECCIÓN TRANSVERSAL 1



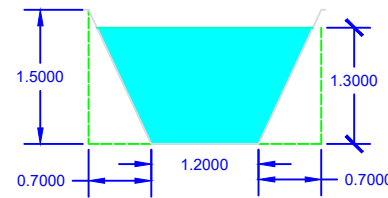
SECCIÓN TRANSVERSAL 2



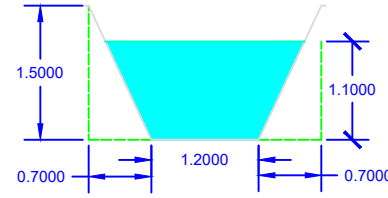
SECCIÓN TRANSVERSAL 7



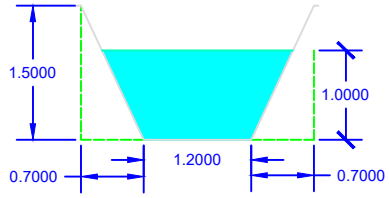
SECCIÓN TRANSVERSAL 12



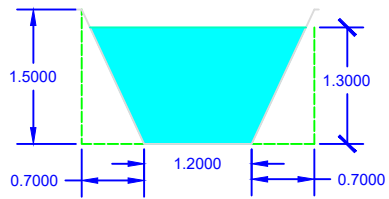
SECCIÓN TRANSVERSAL 17



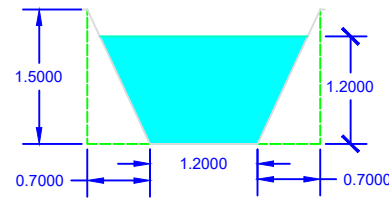
SECCIÓN TRANSVERSAL 23



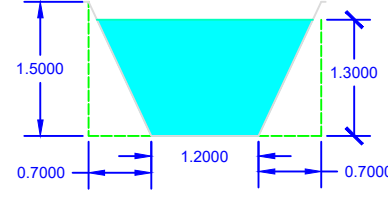
SECCIÓN TRANSVERSAL 3



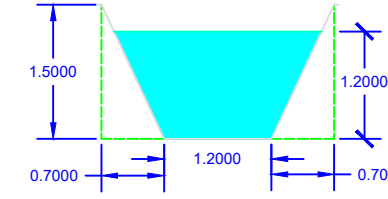
SECCIÓN TRANSVERSAL 8



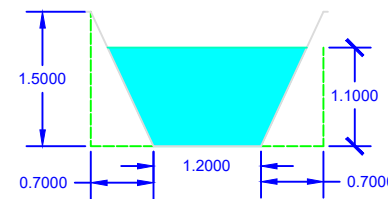
SECCIÓN TRANSVERSAL 13



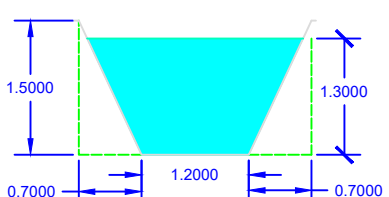
SECCIÓN TRANSVERSAL 18



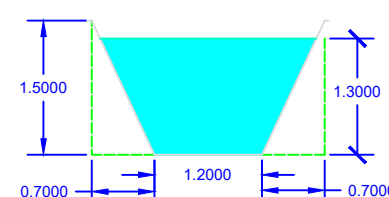
SECCIÓN TRANSVERSAL 23



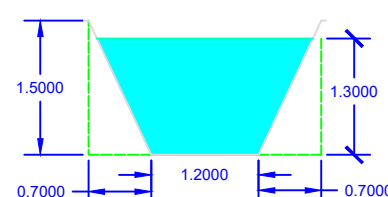
SECCIÓN TRANSVERSAL 4



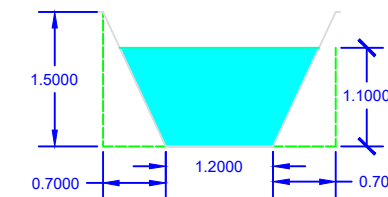
SECCIÓN TRANSVERSAL 9



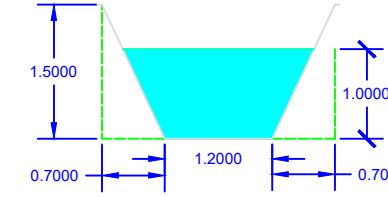
SECCIÓN TRANSVERSAL 14



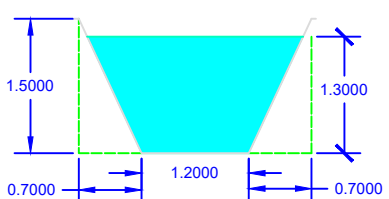
SECCIÓN TRANSVERSAL 19



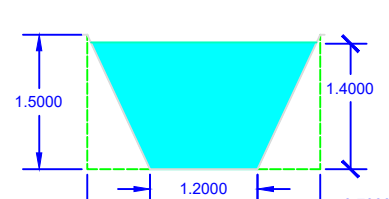
SECCIÓN TRANSVERSAL 24



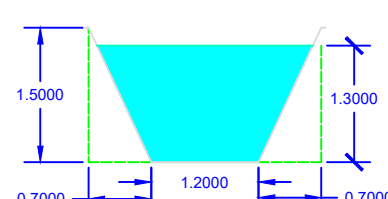
SECCIÓN TRANSVERSAL 5



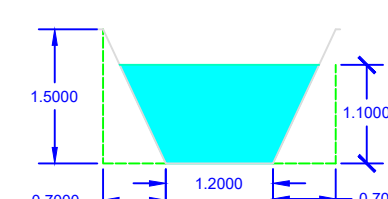
SECCIÓN TRANSVERSAL 10



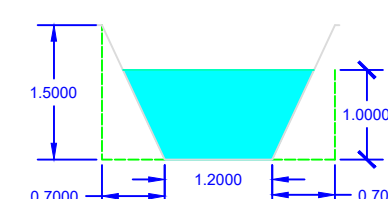
SECCIÓN TRANSVERSAL 15



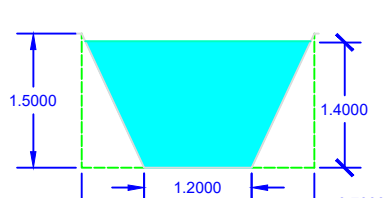
SECCIÓN TRANSVERSAL 20



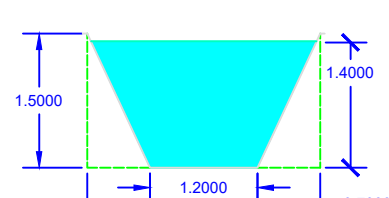
SECCIÓN TRANSVERSAL 25



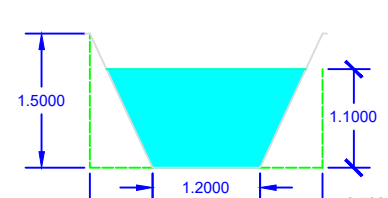
SECCIÓN TRANSVERSAL 6



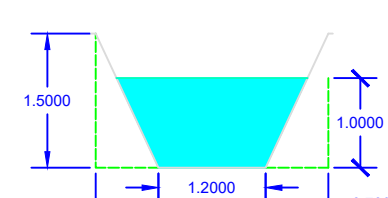
SECCIÓN TRANSVERSAL 11



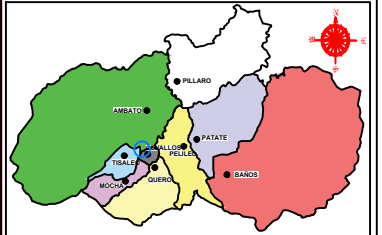
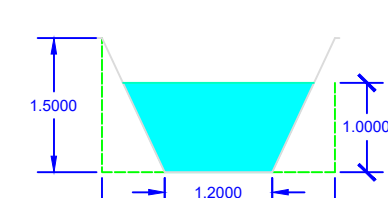
SECCIÓN TRANSVERSAL 16



SECCIÓN TRANSVERSAL 21



SECCIÓN TRANSVERSAL 26



SIMBOLOGÍA:
H altura de canal
y altura de agua
b base de canal
a - a' longitud complementaria

REFERENCIAS:
COORDENADAS DE REFERENCIA
N: 760900.00 m
E: 9856000.00 m
CANAL AMBATO - HUACHI - PELILEO
CANTÓN AMBATO
PROVINCIA DE TUNGURAHUA

REFERENCIAS DE PUNTOS :

PUNTO	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN (MSNM)
1	9855900.22	761085.109	2935.426
2	9855742.164	760993.9095	2935.21
3	9855546.07	761113.038	2935.124
4	985517.6326	761321.6273	2934.754
5	9855589.755	761548.175	2934.385
6	9855490.528	761698.557	2934.051
7	9855304.007	761838.6413	2933.726
8	9855147.989	761971.7389	2933.282
9	9855068.957	762186.828	2932.838
10	9854965.948	762412.0287	2932.321
11	9854767.306	762470.0638	2931.841
12	9854574.008	762431.302	2931.597
13	9854356.768	762340.1375	2931.393
14	9854444.509	762453.999	2931.255
15	9854490.537	762675.245	2931.101
16	9854301.864	762687.815	2930.813
17	9854207.543	762735.3642	2930.525
18	9853694.528	762906.3767	2929.576
19	9853638.37	763035.332	2929.276
20	9853538.104	763222.9903	2928.843