



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

TRABAJO EXPERIMENTAL
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

“ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 17 AL ÓVALO 20 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO – HUACHI – PELILEO, CANTÓN CEVALLOS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

AUTOR: CARLOS GONZALO TIPANTASIG MASABANDA

TUTOR: ING. MG. GEOVANNY PAREDES CABEZAS

AMBATO – ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del presente Trabajo Experimental previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, bajo el tema “ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 17 AL ÓVALO 20 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO – HUACHI – PELILEO, CANTÓN CEVALLOS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”, ejecutado por el señor Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, egresado de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

CERTIFICO:

- El presente proyecto técnico fue elaborado en su totalidad por el autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos.
- Ha sido concluido en su totalidad.

Ambato, noviembre 2018

.....
Ing. Mg. Geovanny Paredes Cabezas

TUTOR

AUTORÍA DE TRABAJO EXPERIMENTAL

Los criterios emitidos en este trabajo experimental con el tema “ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 17 AL ÓVALO 20 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO – HUACHI – PELILEO, CANTÓN CEVALLOS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA” como también las ideas, análisis, y conclusiones son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor.

Ambato, noviembre 2018

.....
Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda

C.I.: 180457653 – 4

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 en línea patrimoniales de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento 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, noviembre 2018

.....
Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda

C.I.: 180457653-4

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, bajo el tema: “ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 17 AL ÓVALO 20 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO – HUACHI – PELILEO, CANTÓN CEVALLOS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”.

Para constancia firman:

.....
Ing. Mg.-----

.....
Ing. Mg.-----

Ambato, noviembre 2018

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado en primer lugar a Dios, él me ha ayudado a lo largo del camino no solo estudiantil, me ha dado la fuerza y sabiduría para no darme por vencido y siempre he tenido plena confianza y fe en su palabra.

A mis padres Mentor y Lourdes, por todo el cariño, consejos y apoyo que recibí de su parte a lo largo de toda mi vida, su presencia fue fundamental para el esfuerzo que he entregado a diario. A mis hermanas Rocío y Paulina, por sus palabras de aliento y siempre preocuparse por mi bienestar. A mis sobrinos Joselyn, Jonás, Isabela, Martín y Felipe, siempre los tengo presentes en mi memoria y trato de ser un ejemplo para ellos, quiero que sepan que nada es un obstáculo para alcanzar sus sueños.

A mi enamorada Paola, con quien he compartido la mayor parte de mi vida en la Universidad, quien con su apoyo incondicional me dio la fuerza para enfrentar los obstáculos que se me presentaron.

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento eterno siempre a Dios por sus bendiciones para mi familia y a las personas que me rodean.

Agradezco a mis padres Mentor y Lourdes, por ser un ejemplo de honestidad y humildad para mí e inculcarme valores que me ayudaron a ser una buena persona; a mis hermanas Rocío y Paulina, gracias por sus consejos y sus palabras de aliento en todo momento; a mis sobrinos, por darme tantos momentos de alegría a su lado. A muchos de mis familiares, les agradezco porque siempre han demostrado su preocupación y apoyo en la distancia. A mi enamorada Paola, el motor que me impulso a mejorar día a día, a su lado sentí la seguridad para no rendirme y llegar a estas instancias en el término de mi carrera universitaria.

Quiero extender mis agradecimientos a los Ingenieros Lenin Maldonado y Andrés Hidalgo, gracias por la paciencia y disponibilidad de tiempo para con el grupo de estudiantes tesistas y la generosidad al compartir sus conocimientos que fueron importantes para los resultados obtenidos en el producto final.

Un agradecimiento a mis mas cercanos amigos, La Banda, por las reuniones académicas, en donde podíamos avanzar con nuestro trabajo en conjunto como los buenos amigos que hemos sido hasta ahora y lo seremos en el futuro.

Quiero expresar también un agradecimiento a los docentes y autoridades de la facultad, por impartir su conocimiento en cada rama de su especialización llevando de la mano lo teórico y práctico de la mejor manera y siempre dar toda la disponibilidad de tiempo cuando los estudiantes los necesitaban.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	I
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	¡Error! Marcador no definido.
AUTORÍA DE TRABAJO EXPERIMENTAL	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	XI
RESUMEN EJECUTIVO	XV
ABSTRACT.....	XVI
CAPÍTULO 1.....	1
ANTECEDENTES	1
1.1 Tema de investigación.....	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO 2.....	6
FUNDAMENTACIÓN	6
2.1 Fundamento Teórico	6
2.1.1 Hidráulica de canales abiertos	6
2.1.2 Distribución de velocidades.....	8
2.1.3 Coeficientes de distribución de velocidades	9
2.1.4 Tipos de flujo	11
2.1.5 Estados de flujo	14
2.1.6 Número de Reynolds	16
2.1.7 Número de Froude.....	16
2.1.8 Regímenes de flujo	17
2.1.9 Dimensionalidad de Modelos Numéricos	17
2.1.10 Dimensionalidad.....	18
2.1.11 Ecuación de la conservación de energía	21
2.1.12 Perdidas por contracción y expansión.....	23
2.1.13 Perdidas por fricción.....	24

2.1.14	Ecuación de cantidad de movimiento	24
2.1.15	Ecuación de Saint Venant.....	25
2.1.16	Ecuación de continuidad.....	26
2.1.17	Ecuación de momentum.	26
2.1.18	Variables dependiente e independiente.....	28
2.1.19	Hipótesis.....	28
CAPÍTULO 3.....		29
METODOLOGÍA.....		29
3.1	Tipo de investigación.	29
3.2	Población y muestra	30
3.2.1	Población.....	30
3.2.2	Muestra.....	30
3.3	Plan de muestreo	30
3.4	Operacionalización de variables	32
3.4.1	Variable independiente	32
3.4.2	Variable dependiente	33
3.5	Plan de recolección de información.....	34
3.6	Plan de procesamiento y análisis	35
3.6.1	Plan de procesamiento	35
3.6.2	Plan de análisis	36
CAPÍTULO 4.....		37
RECOLECCIÓN DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS		37
4.1	Mediciones In situ	37
4.1.1	Topografía	37
4.1.2	Ubicación Macro	38
4.1.3	Ubicación Meso.....	39
4.1.4	Ubicación Micro.....	40
4.2	Perfil longitudinal.....	42
4.3	Distribución de velocidades y caudales medio	43
4.3.1	Procedimiento de cálculo de caudal y velocidad media.....	44
4.4	Georreferenciación de puntos en estudio.....	48
4.4.1	Longitud total del tramo en planta	48
4.4.2	Perfil longitudinal.....	49
4.5	Cálculo y simulación de secciones transversales	50
4.5.1	Sección transversal 1	50
4.5.2	Sección transversal 2	58
4.5.3	Sección transversal 3	66

4.5.4	Sección transversal 4	74
4.5.5	Sección transversal 5	82
4.5.6	Sección transversal 6	90
4.5.7	Simulación final	98
4.6	Verificación de la hipótesis	103
CAPÍTULO 5.....		104
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		104
5.1	Conclusiones	104
5.2	Recomendaciones.....	106
MATERIALES DE REFERENCIA.....		107
1.	Bibliografía	107
2	Anexos	109

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Vista longitudinal de un canal abierto</i>	6
<i>Figura 2: Sección transversal de un canal trapezoidal.</i>	7
<i>Figura 3: Distribución vertical de velocidades en un canal abierto</i>	8
<i>Figura 4: Distribución transversal de velocidades en un canal rectangular tipo.</i>	9
<i>Figura 5: Corte longitudinal del flujo uniforme permanente</i>	12
<i>Figura 6: Corte longitudinal del flujo uniforme no permanente</i>	13
<i>Figura 7: Corte longitudinal del flujo rápidamente variado.</i>	13
<i>Figura 8: Flujo acelerado.</i>	14
<i>Figura 9: Flujo retardado.</i>	14
<i>Figura 10: Vista superior del flujo laminar.</i>	15
<i>Figura 11: Vista superior del flujo turbulento.</i>	15
<i>Figura 12: Modelo unidimensional</i>	19
<i>Figura 13: Modelo bidimensional</i>	20
<i>Figura 14: Modelo tridimensional.</i>	20
<i>Figura 15: Energía total en una sección de un canal</i>	22
<i>Figura 16: Componentes utilizados para la conservación de energía</i>	22
<i>Figura 17: Mapa político de Ecuador</i>	38
<i>Figura 18: Mapa político de la Provincia de Tungurahua.</i>	39
<i>Figura 19: Implantación del tramo total en estudio.</i>	40
<i>Figura 20: Esquema de secciones transversales</i>	41
<i>Figura 21: Perfil longitudinal del tramo total en estudio.</i>	42
<i>Figura 22: División de franjas verticales para el cálculo del caudal medio</i>	44
<i>Figura 23: División de áreas superior e inferior para el cálculo del caudal medio.</i>	45
<i>Figura 24: Datos para cálculo de profundidad media P_m. Método 1</i>	45
<i>Figura 25: Datos para cálculo de profundidad media P_m. Método 2</i>	46
<i>Figura 26: Georreferenciación de puntos de estudio en el tramo total.</i>	48
<i>Figura 27: Perfil longitudinal con las secciones en estudio georreferenciadas.</i>	49
<i>Figura 28: Curvas de distribución transversal de velocidades del Punto 1.</i>	51
<i>Figura 29: Distribución de franjas verticales del Método 1</i>	52
<i>Figura 30: División de franjas verticales del Método 2</i>	53
<i>Figura 31: Sección transversal HEC – RAS.</i>	54
<i>Figura 32: Curva de Número de Froude vs Longitud total.</i>	54
<i>Figura 33: Curva de Velocidad vs Longitud total</i>	55
<i>Figura 34: Curva de descarga Nivel de agua vs Caudal.</i>	55
<i>Figura 35: Esquema en 3D del Punto 1.</i>	57
<i>Figura 36: Curvas de distribución transversal de velocidades del Punto 2.</i>	59
<i>Figura 37: División de franjas verticales del Método 1</i>	60
<i>Figura 38: División de franjas verticales del Método 2</i>	61
<i>Figura 39: Sección transversal de HEC – RAS</i>	62
<i>Figura 40: Curva de Número de Froude vs Longitud total.</i>	62
<i>Figura 41: Curva de velocidad vs Longitud total.</i>	63
<i>Figura 42: Curva de descarga Nivel de agua vs Caudal.</i>	63

<i>Figura 43: Esquema en 3 dimensiones.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 44: Curvas de distribución transversal de velocidades del Punto 3.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 45: División de franjas verticales del Método 1.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 46: División de franjas verticales del Método 2.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 47: Sección transversal de HEC – RAS.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 48: Curva de Número de Froude vs Longitud total.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 49: Curva de Velocidad vs Longitud total.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 50: Curva de descarga Nivel de agua vs Caudal.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 51: Esquema en 3 dimensiones.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 52: Curvas de distribución transversal de velocidades del Punto 4.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 53: División de franjas verticales del Método 1.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 54: División de franjas verticales del Método 2.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 55: Sección transversal de HEC – RAS.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 56: Curva de Número de Froude vs Longitud total.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 57: Curva de Velocidad vs Longitud total.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 58: Curva de descarga Nivel de agua vs Caudal.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 59: Esquema en 3 dimensiones.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 60: Curvas de distribución transversal de velocidades del Punto 5.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 61: División de franjas verticales del Método 1.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 62: División de franjas vertical del Método 2.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 63: Sección transversal de HEC – RAS.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 64: Curva de Número de Froude vs Longitud total.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 65: Curva de Velocidad vs Longitud total.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 66: Curva de descarga Nivel de agua vs Calado.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 67: Esquema en 3 dimensiones.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 68: Curvas de distribución transversal de velocidades del Punto 6.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 69: División de franjas verticales del Método 1.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 70: División de franjas verticales del Método 2.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 71: Sección transversal de HEC – RAS.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 72: Curva de Número de Froude vs Longitud total.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 73: Curva de Velocidad vs Longitud total.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 74: Curva de descarga Nivel de agua vs Caudal.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 75: Esquema en 3 dimensiones.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 76: Esquema de distribución de subtramos.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 77: Sección transversal tipo de la simulación final.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 78: Perfil longitudinal de la simulación en HEC – RAS.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 79: Número de Froude y Velocidad vs Longitud total.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 80: Curva de descarga Nivel de agua vs Caudal.....</i>	<i>102</i>

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Coeficientes de distribución de velocidades.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2: Valores límite del Número de Reynolds</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 3: Tipo de flujo según el Número de Reynolds y Froude.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 4: Software para modelación numérica</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 5: Matriz para el registro de datos de velocidad.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 6: Operacionalización de la variable independiente.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 7: Operacionalización de la variable dependiente.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 8: Plan de recolección de información.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 9: Medidas geométricas de los puntos en estudio.</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 10: Pendientes longitudinales de los subtramos.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 11: Coordenadas y abscisas de los puntos en estudio.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 12: Datos de velocidad en campo del Punto 1</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 13: Rango de velocidades</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 14: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 1.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 15: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 2.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 16: Comparación de resultados del Método 1 y 2.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 17: Resultados obtenidos mediante la simulación.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 18: Comparación de resultados en campo y simulados en HEC – RAS.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 19: Datos de velocidad en campo del Punto 2</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 20: Rango de velocidades</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 21: Resultados del cálculo de caudal medio por el Método 1.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 22: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 2.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 23: Comparación de los resultados del Método 1 y 2.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 24: Resultados obtenidos mediante simulación.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 25: Comparación de resultados en campo y simulados en HEC- RAS.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 26: Datos de velocidad en campo del Punto 3</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 27: Rango de velocidades.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 28: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 1.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 29: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 2.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 30: Comparación de resultados del Método 1 y 2.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 31: Resultado obtenidos mediante simulación</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 32: Comparación de resultados en campo y simulación en HEC – RAS</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 33: Datos de velocidad en campo del Punto 4</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 34: Rango de velocidades</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 35: Resultados del cálculo de caudal medio por el Método 1.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 36: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 2.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 37: Comparación de resultados del Método 1 y 2.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 38: Resultados obtenidos mediante simulación.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 39: Comparación de resultados en campo y simulación en HEC – RAS</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 40: Datos de velocidad en campo del Punto 5</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 41: Rango velocidades.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 42: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 1.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 43: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 2.....</i>	<i>85</i>

<i>Tabla 44: Comparación de resultados del Método 1 y 2.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 45: Resultados obtenidos mediante simulación.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 46: Comparación de resultados en campo y simulados en HEC – RAS.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 47: Datos de velocidad en campo del Punto 6</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 48: Rango de velocidades</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 49: Resultados del cálculo del caudal medio con el Método 1</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 50: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 2.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 51: Comparación de resultados del Método 1 y 2.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 52: Resultados obtenidos mediante simulación.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 53: Comparación de resultados en campo y simulados en HEC – RAS.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 54: Caudal promedio de los 6 puntos.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 55: Coeficientes de Manning</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 56: Características del canal según el coeficiente de Manning.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 57: Resumen de resultados de la simulación final</i>	<i>102</i>

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 17 – 20 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN CEVALLOS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”

Autor: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda.

Tutor: Ing. Mg. Geovanny Paredes

Fecha: Noviembre 2018

Para la ejecución del presente proyecto se ha partido de una investigación documental, donde se ha encontrado la información necesaria, las fórmulas y coeficientes requeridos e importantes en la caracterización hidráulica para una correcta correlación de resultados en campo y simulación numérica.

Se realizó en primer lugar el estudio en campo el cual consiste en el levantamiento topográfico, medición de secciones transversales, identificación de los sectores y digitalización por medio de AUTO CAD CIVIL 3D del tramo en estudio que empieza en los límites de la Parroquia de Montalvo y el cantón Cevallos y termina en la intersección del canal y la vía Yanahurco – Cevallos y como segundo paso dentro del estudio en campo es el registro de datos de velocidad con la utilización de un medidor de caudal y velocidad de líquidos DMM – 4000/PFT con el cual se procedió a la medición horizontal y vertical de velocidades para determinar el comportamiento del flujo toda la sección transversal de los 6 puntos analizados.

Basados en el registro de datos de velocidad in situ se procede al cálculo de velocidades y caudales medio en cada sección mediante dos métodos, de los resultados escogemos el escenario más crítico, es decir, el valor más alto. Finalmente, se efectúa la simulación mediante el software HEC – RAS donde analizamos las similitudes y las diferencias de resultados en campo y numéricos, además identificamos por medio del coeficiente de Manning si las características físicas modificadas con el paso del tiempo influyen con el comportamiento hidráulico del modelo numérico.

ABSTRACT

TEMA: “STUDY AND HYDRAULIC CHARACTERIZATION OF THE OVAL 17 - 20 OF THE IRRIGATION CANAL AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTON CEVALLOS, PROVINCE OF TUNGURAHUA.”

Author: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda.

Tutor: Ing. Mg. Geovanny Paredes

Date: Noviembre 2018

For the execution of this project, we have started with a documentary research, where we have found the necessary information, formulas and required and important coefficients in the hydraulic characterization for a correct correlation of results in situ and numerical simulation.

The in situ study was carried out in the first place, which consists in the topographic survey, measurement of cross sections, identification of the sectors and digitalization by means of AUTO CAD CIVIL 3D of the section under study that begins in the limits of the Parroquia Montalvo and the Canton Cevallos and ends at the intersection of the canal and the Yanahurco - Cevallos road and as the second step in the field study is the recording of speed data with the use of a flow meter and fluid velocity DMM - 4000 / PFT with which proceeded to the horizontal and vertical measurement of velocities to determine the flow behavior of the entire cross section of the 6 analyzed points.

Based on the recording of speed data in situ, the calculation of speeds and average flow rates in each section is carried out using two methods. From the results we choose the most critical scenario, that is, the highest value. Finally, the simulation is carried out using the HEC - RAS software where we analyze the similarities and the differences of results in field and numerical, and we also identify by means of the Manning coefficient if the physical characteristics modified with the passage of time influence the hydraulic behavior of the numerical model

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Tema de investigación

“ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 17 – 20 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN CEVALLOS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”

1.2 Antecedentes

La preocupación de los gobiernos y grupos ambientalistas alrededor del mundo en los últimos años está direccionada a la escasez de agua dulce y la generación de energía la cual se ha visto direccionada en un camino al parecer sin retorno por el uso de recursos no renovables como lo son el petróleo y sus derivados, el carbón, etc. Estos recursos que en su mayoría generan diversos problemas medio ambientales y a la salud de poblaciones aledañas a las centrales energéticas que son bien vistas por contados gobiernos locales alrededor del mundo por el bajo costo de estudios, construcción,[1] puesta en marcha y conexión a redes principales, sin embargo, la constante presión de grupos ambientalistas ha hecho que los países busquen nuevas fuentes de energía cambiando así su matriz energética incluyendo a la energía renovable no convencional (ERNC) de la cual se puede destacar la generación de energía hidroeléctrica, eólica, solar y mareomotriz [2].

En nuestro país es más utilizada la generación de energía por hidroeléctricas, el agua es un recurso considerablemente abundante sobretodo en la sierra centro lo que hace posible la construcción de centrales hidroeléctricas a partir de alturas superiores a 2500 msnm aprovechando la fuerza del agua con caudales y velocidades altas para mover la grandes turbinas, esto sin duda aporta en un alto porcentaje en contraste a otros métodos de obtención de electricidad, el agua una vez utilizada vuelve a su cauce y esta puede ser ocupada para distintos fines ya sea domésticos o industriales, para lo cual nos concentramos en el agua ocupada para la agricultura la cual es distribuida alrededor del país en pequeñas cantidades o caudales que bien pueden provenir además de cerros o montañas mediante el uso de bocatomas las cuales recorren grandes distancias al llegar a un punto alto estratégico este es repartido para

distintas poblaciones con alta y baja demanda de caudal según sea necesario por la cantidad de hectáreas que sean destinadas según lo estipule un Plan Nacional de Riego y Drenaje en este caso para Ecuador el previsto del año 2011 proyectado hasta el 2026 [3].

Para la generación de energía en base a caudales y velocidades bajas se ha tenido información de proyectos realizados a ríos los cuales cuentan con condiciones favorables de caudales altos pero velocidades bajas, manteniéndose estas circunstancias se realizan estudios de consumo eléctrico y el potencial eléctrico que tendría un río, por lo que, hacer uso de estos principios para aplicarlos en canales de riego los que tienen su ubicación en zonas rurales y algunos en urbanas, sin embargo, sería de gran ayuda tomar en cuenta la investigación en este campo de los caudales y velocidades bajas para direccionar proyectos de aprovechamiento con la construcción de sistemas que permitan la generación de energía eléctrica bajo estas condiciones [4].

El agua ocupada para el riego en sectores agrícolas podría tener un uso adicional si se realiza el estudio adecuado de las características hidráulicas y físicas de los canales que transportan el agua. En países como Chile y Perú se aprovechan los caudales de ríos y canales destinados al regadío para la generación de energía, esto tiene una característica especial y es la de la cantidad de caudal utilizado el cual es relativamente alto y con velocidades bajas, aun así, la investigación de nuevas fuentes de producción energética que utilizarían recursos en pequeñas cantidades y por ende con una inversión más favorable para el desarrollo de comunidades y pueblos que carecen del servicio eléctrico [5].

1.3 Justificación

La energía hidroeléctrica es la más usada dentro de las energías renovables, debido a su construcción estratégica y óptimo aprovechamiento, dentro de América Latina y el Caribe la producción de energía por medio de hidroeléctricas es del 88% por la cantidad de agua dulce que puede ser aprovechada, así mismo es de gran ayuda las cordilleras montañosas, es decir, la topografía es la idónea para obtener caudales lo suficientemente grandes por medio de embalses en medio de ríos o zonas estratégicas analizadas hidrológicamente (cuencas hidrográficas), otro aspecto importante es la gran cantidad de agua dulce con la que cuenta el territorio Sudamericano con respecto a su población el cual es de 6% de personas respecto al 26% de agua dulce de esta manera el agua puede ser aprovechada para largos periodos de tiempo [6].

En nuestro país en el año 2009 la matriz energética está compuesta en su mayoría por hidroeléctricas las cuales componen el 40.2% de la capacidad total del país con 2032 MW, sin embargo, esto solo representa el 8% del potencial eléctrico existente. El Plan Nacional del Buen Vivir habla de promocionar el uso de energías renovables con tecnología amigable con el medio ambiente y con el menor impacto al mismo sin afectar el derecho a la ciudadanía del acceso al agua y generando una mejora a la situación social de distintos pueblos y comunidades de esta manera se ha venido realizando el cambio y diversificación de la matriz energética en los últimos diez años [7].

El mayor porcentaje de agua utilizada a diario proviene de manera superficial de esta su ocupación se distribuye en riego 82%, uso doméstico 12% e industrial 6%. Dentro del área agraria del país que es mucho más concentrada en la sierra se opta por la utilización de canales que recogen agua desde puntos altos de cuencas hidrográficas de allí el recurso hídrico es conducido por canales a cielo abierto en su mayoría y también por túneles [8].

El uso óptimo y futuro aprovechamiento del agua es producto de diversos factores, entre los que se encuentran con mayor relevancia el tipo de conducción y su respectiva distribución, es decir, el sistema con el cual el agua es conducida desde su encauce ya sea en cuencas hidrográficas o con caudales tomados de ríos, a través de conductos cerrados o canales abiertos [9].

Las simulaciones hidráulicas por medio de HEC – RAS ayudan de una manera más sencilla a relacionar la topografía de un tramo de un río o canal, el volumen de agua y la cantidad de sedimentos que son transportados a lo largo de un tramo, además permite determinar de qué manera afecta al flujo, velocidad y comportamiento del caudal las obstrucciones que se presentan en las secciones transversales de un río o canal esto únicamente con el uso de software especializado. [10]

El modelamiento de un flujo unidimensional es la herramienta adecuada para el análisis de distribución de caudales y niveles de calado ya sea en ríos o canales a cielo abierto y conocer de una manera más directa las características hidráulicas presentes tanto en planta como en perfil longitudinal basados en el estudio de la topografía para ser utilizada como base en una simulación. [11]

La hidráulica fluvial que abarca tanto a canales naturales, ríos y canales artificiales, trata de la intervención que tienen las personas para el adecuado aprovechamiento y reducción de riesgo a pobladores cercanos a estos tipos de conducción de agua, también habla de que existe casos en donde los parámetros del flujo varían gradualmente o abruptamente a lo largo del tiempo esto debido a las características de la zona en estudio como el tiempo o temporadas de lluvia o sequía que afectan a las conducciones, pero además las características físicas en el caso de un canal artificial podrían verse afectados y por ende modificar su funcionabilidad debido a que los parámetros de diseño iniciales se modifican de igual manera en el tiempo para lo cual es de gran ayuda las simulaciones para determinar que tanto ha cambiado y si aún están en condiciones de aportar con la correcta distribución de agua. [12]

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Caracterizar el comportamiento hidráulico del Óvalo 17 – 20 del Canal de Riego Huachi Pelileo, Cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento topográfico del tramo del canal de 2.7 km de longitud dentro del área de estudio.
- Registrar datos de velocidad y secciones transversales a lo largo del tramo en estudio.
- Realizar la modelación y simulación numérica tramo del canal de riego con diferentes caudales y velocidades.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN

2.1 Fundamento Teórico

2.1.1 Hidráulica de canales abiertos

Los canales abiertos son aquellos que cuentan con una superficie libre la cual hace que el agua este en contacto con la presión atmosférica, esto quiere decir que el agua es impulsada por la presión y por su propio peso. [13]

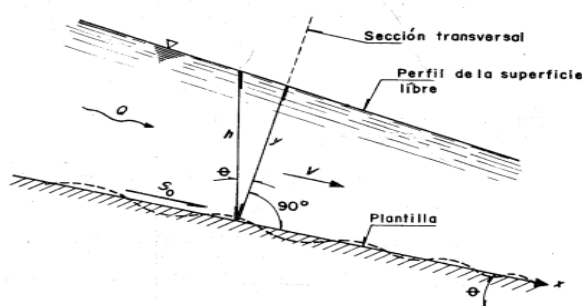


Figura 1: Vista longitudinal de un canal abierto

Fuente: Ven Te Chow, *Hidráulica de Canales Abiertos*, Bogotá, Mc Graw-Hill, 2004

Los canales artificiales están construidos en su mayoría sobre terreno natural cruzando largas distancias con una pendiente que dependiendo de la topografía puede ser constante o variable, estos cuentan con diferentes formas las cuales pueden ser: trapecoidal esta forma es más común en canales revestidos para tramos largos, la forma rectangular funciona también para canales que cuentan con revestimiento además para material estable como lo es el concreto lanzado o mampostería, por último los canales de tipo triangular son utilizados para secciones pequeñas y por donde se espera poca cantidad de fluido como en las cunetas de las carreteras. [13]

2.1.1.1 Elementos geométricos

Es indispensable que para el cálculo de flujo en los canales se tome en cuenta sus elementos geométricos los cuales se basan en parámetros propios de los canales

$$Rh = \frac{A}{P} \quad (1)$$

2.1.2 Distribución de velocidades

Para el análisis de la distribución de velocidades en la sección de un canal abierto se debe tomar en cuenta la variación de la velocidad debido a la superficie libre, a su forma, además de que las paredes y las curvas presentes a lo largo del canal hacen que aumente o disminuya tanto su velocidad horizontal como vertical.

Para el caso idealizado de un canal con ancho infinito y solo influenciado por el fondo del mismo el flujo es bidimensional, de esta manera en cada punto a cierta profundidad del canal hay una velocidad V_h . La velocidad máxima del flujo de agua se encuentra en la superficie mientras que una velocidad mucho menor es localizada en el fondo del canal. [14]

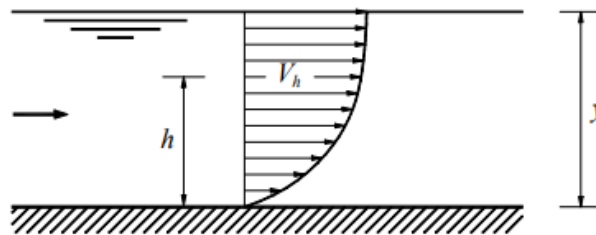


Figura 3: Distribución vertical de velocidades en un canal abierto

Fuente: F. Domínguez, *Hidráulica*, Editorial Universitaria, Santiago de Chile, 1974

En un canal de ancho infinito la velocidad máxima está en la superficie mientras que en un canal rectangular limitado por sus paredes la velocidad máxima se encuentra por debajo de la superficie. Cuanto más angosto es el canal más influencia tienen las paredes en la velocidad y la velocidad máxima se encuentra a mayor profundidad con respecto a la superficie, normalmente a una distancia entre 0.05 – 0.25 veces la profundidad (y). Para el análisis de esta velocidad se debe tomar en cuenta factores como la rugosidad del canal y las curvas, sin embargo, factores como el viento no presentan mayor influencia para la distribución de la velocidad debido a que el viento cuenta con moléculas muy separadas por lo que el efecto de cizalla sobre el agua es totalmente despreciable. [14]

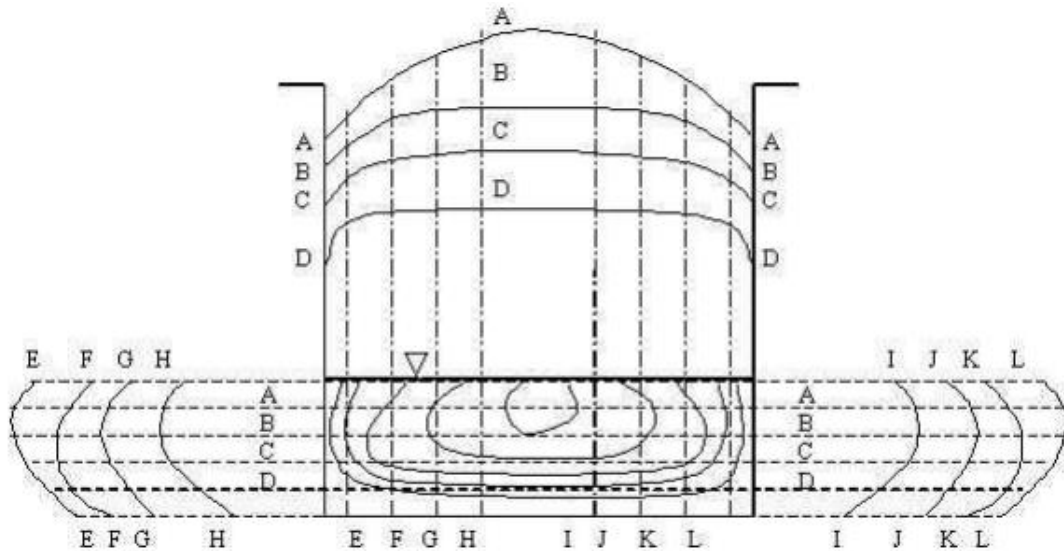


Figura 4: Distribución transversal de velocidades en un canal rectangular tipo.

Fuente: Ven Te Chow, *Hidráulica de Canales Abiertos*, Bogotá, Mc Graw-Hill, 2004

2.1.2.1 Velocidad media

La sección transversal del canal debe ser dividida por medio de líneas verticales que permitan medir la velocidad por medio de dos medidas, la primera a 0.6 veces la profundidad y la segunda a dos alturas de 0.2 y 0.8 veces la profundidad.

Por consiguiente, la velocidad media es el producto del caudal sobre el área de la sección del canal. [14]

2.1.2.2 Velocidad mínima

La velocidad va disminuyendo en base el agua está cerca de las paredes del canal esto se debe por la fricción que se genera entre el líquido y los bordes. El agua puede moverse con mayor lentitud en el fondo del canal, por lo que la curva de velocidades puede terminar en cero. [14]

2.1.3 Coeficientes de distribución de velocidades

Debido a la distribución de velocidades no uniforme, la velocidad es mucho mayor a la calculada con la siguiente expresión. [14]

$$\frac{V^2}{2 * g} \quad (2)$$

Donde V es la velocidad media

Para el cálculo de la altura de velocidad real cuando se utiliza el principio de energía se expresa de la siguiente manera. [14]

$$\alpha * \frac{V^2}{2 * g} \quad (3)$$

Donde α es el coeficiente de *Coriolis* el cual ha sido determinado mediante trabajos experimentales y varia de 1.03 hasta 1.36 para canales prismáticos. El coeficiente toma valores altos si se considera canales pequeños y valores bajos si se plantean canales profundos con corrientes considerablemente grandes.

El coeficiente β o coeficiente de *Boussinesq* es utilizado debido a que la distribución de velocidades afecta al momentum del flujo. Desde el principio de mecánica se expresa de la siguiente manera. [14]

$$\beta * w * \frac{Q * V}{g} \quad (4)$$

Donde β es el coeficiente de momentum, w es el peso unitario del agua, Q es el caudal y V es la velocidad media.

El coeficiente varía entre 1.01 y 1.12 para canales prismáticos aproximadamente rectos [14]

Tabla 1: Coeficientes de distribución de velocidades

Canales	Valores de α			Valores de β		
	Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.	Max.
Canales regulares, canaletas y vertederos	1.10	1.15	1.20	1.03	1.05	1.07
Corrientes naturales y torrentes	1.15	1.30	1.50	1.05	1.10	1.17
Ríos bajo cubiertas de hielo	1.20	1.50	2.00	1.07	1.17	1.33
Valles de ríos inundados	1.50	1.75	2.00	1.17	1.25	1.33

Fuente: F. Gutiérrez, “Evaluación de coeficientes de velocidad α y β ”, Eng. Tesis, Universidad EAFIT, Medellín, 2011

2.1.3.1 Determinación de los coeficientes α Y β

Coeficiente α

$$\alpha = \frac{\int v^3 dA}{V^3 * A} \approx \frac{\sum v^3 \Delta A}{V^3 * A} \quad (5)$$

Coeficiente β

$$\beta = \frac{\int v^2 dA}{V^2 * A} \approx \frac{\sum v^2 \Delta A}{V^2 * A} \quad (6)$$

También se cuenta con fórmulas más sencillas por medio de las cuales se pueden encontrar los coeficientes de manera aproximada. [14]

$$\mu = \frac{V_m}{V} - 1 \quad (7)$$

$$\alpha = 1 + 3\mu^3 - 2\mu^3 \quad (8)$$

$$\beta = 1 + \mu^2 \quad (9)$$

Donde:

V_m : es la velocidad máxima

V : es la velocidad media del flujo

2.1.4 Tipos de flujo

El flujo de los canales abiertos puede clasificarse y describirse en diferentes tipos de acuerdo con el estado del flujo.

Para la siguiente clasificación se ha tomado en cuenta factores como la velocidad, la forma, así como la variación del flujo respecto al tiempo y espacio. [15]

2.1.4.1 Flujo permanente

Se da si dentro del canal la profundidad de su flujo no cambia además los parámetros hidráulicos (tirante, radio hidráulico, perímetro mojado, etc.), esto durante un intervalo de tiempo dado.

2.1.4.2 Flujo No Permanente

Se da cuando varios de los parámetros hidráulicos cambian con respecto a un intervalo de tiempo.

En varios de los casos de canales abiertos es solo necesario el estudio del flujo permanente, sin embargo, si el cambio del flujo es importante a lo largo del canal es importante realizar un análisis a partir de un flujo no permanente. [15]

2.1.4.3 Flujo uniforme

Donde los parámetros hidráulicos no varían con respecto a la variable espacio, es decir, la profundidad de flujo al trazar secciones a lo largo de un canal las características no cambian en todas las secciones dadas.

2.1.4.4 Flujo variado

La profundidad de flujo cambia a lo largo de las secciones del canal, puede producirse bajo los flujos permanente o no permanente

2.1.1 Combinaciones en la naturaleza

2.1.1.1 Flujo uniforme permanente.

Las características hidráulicas, así como la profundidad de flujo se mantienen constantes durante el intervalo de tiempo dado, este tipo de flujo es que está considerado como fundamental dentro de los problemas y análisis de canales abiertos. [15]

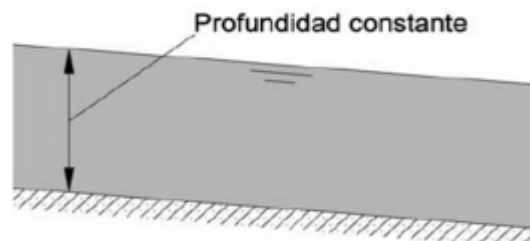


Figura 5: Corte longitudinal del flujo uniforme permanente

Fuente: P. Rodríguez, Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA, 2008

2.1.4.5 Flujo uniforme no permanente.

Para establecer este tipo de combinación de flujo se debe requerir que la superficie del fluido variara de un intervalo de tiempo a otro, más sin embargo este debe permanecer paralelo al fondo del canal, este tipo de flujo es prácticamente una condición imposible en la naturaleza. [15]

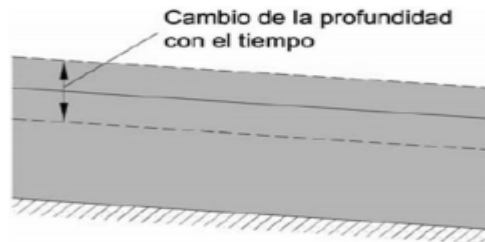


Figura 6: Corte longitudinal del flujo uniforme no permanente

Fuente: P. Rodríguez, Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA, 2008

2.1.4.6 Flujo rápidamente variado.

Este tipo de combinación se da cuando existe una estructura o modificación en el flujo del líquido lo que hace que esta sufra un abrupto cambio en la profundidad del flujo, esto se da en distancias relativamente cortas lo que se puede comparar con un resalto hidráulico. [15]

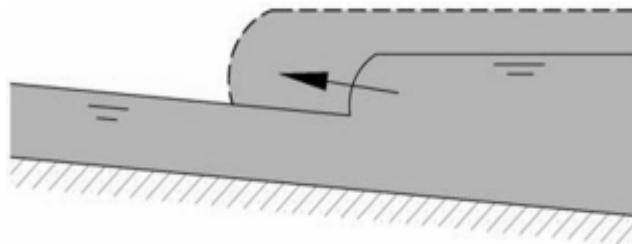


Figura 7: Corte longitudinal del flujo rápidamente variado

Fuente: P. Rodríguez, Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA, 2008

2.1.4.7 Flujo gradualmente variado.

Se presenta un cambio gradual a lo largo del canal comportamiento que se compara al de una curva de remanso.

Este tipo de combinación puede tener un estado acelerado o retardado. Para el flujo acelerado el comportamiento del fluido presenta una disminución del tirante en

dirección del flujo (aguas abajo) como se puede apreciar en la **figura (8)**. En el flujo retardado, el efecto es el contrario el tirante comienza a aumentar mientras se acerca a un vertedero o un azut el cual actúa como obstrucción en la dirección de fluido **figura (9)**. [16]

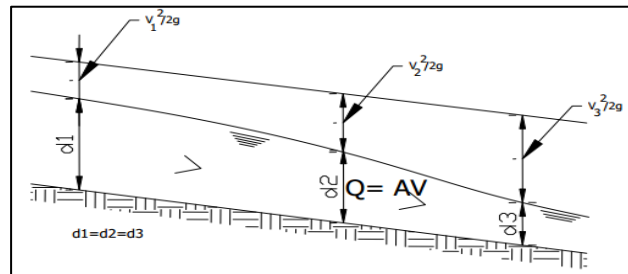


Figura 8: Flujo acelerado

Fuente: P. Rodríguez, *Hidráulica II*, Oaxaca, BOLCA, 2008

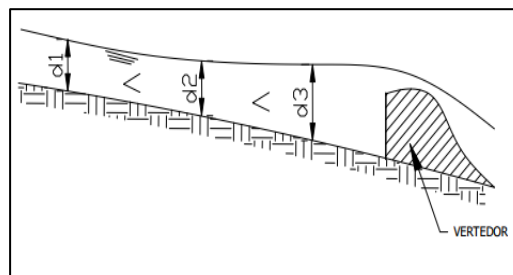


Figura 9: Flujo retardado

Fuente: P. Rodríguez, *Hidráulica II*, Oaxaca, BOLCA, 2008

2.1.5 Estados de flujo

Para definir el comportamiento o el estado de un fluido en canales abiertos, se toman en cuenta dos parámetros importantes la viscosidad y la gravedad mismas que tienen gran relación con las fuerzas inerciales del flujo. Dentro de los problemas en canales abiertos que se presentan en la ingeniería hidráulica, la tensión superficial, aunque presenta comportamientos significativos y afecta en el flujo del canal, este no es tomado en cuenta ya que no toma un papel de importancia para la resolución del problema.

2.1.5.1 Efecto de la viscosidad.

Debido a este efecto el flujo puede tornarse laminar, turbulento o transicional por la relación con la inercia. [16]

2.1.5.2 Flujo laminar:

Al ser la gradiente de velocidad muy baja, las fuerzas viscosas son muy fuertes con respecto a las fuerzas inerciales. En este tipo de flujo el movimiento de las partículas del fluido describe una trayectoria lenta y definida como líneas de corriente, el fluido se mueve por capas infinitesimales lo que aparenta deslizarse sobre capas adyacentes.

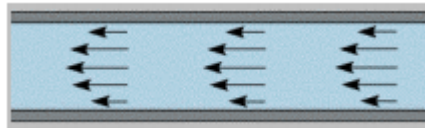


Figura 10: Vista superior del flujo laminar

Fuente: J. Saiz, M. Olavarrieta and A. Saiz, Canales Abiertos, Universidad de Sonora, Sonora, 2012

2.1.5.3 Flujo turbulento

Es el flujo que más se presenta en los problemas de ingeniería. Al aumentar la gradiente va incrementando la fricción entre partículas, es decir, se da cuando las fuerzas de viscosidad son más débiles con respecto a las fuerzas inerciales, debido a esto las partículas del fluido se mueven de manera desorganizada o por trayectoria irregular. [16]



Figura 11: Vista superior del flujo turbulento

Fuente: J. Saiz, M. Olavarrieta and A. Saiz, Canales Abiertos, Universidad de Sonora, Sonora, 2012

2.1.6 Número de Reynolds

Para determinar el efecto que tiene la viscosidad dentro de un flujo puede representarse mediante el número de Reynolds con la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{V * L}{\mu} \quad (10)$$

Donde:

V= velocidad media del flujo, en m/s

L= longitud característica igual al radio hidráulico Rh, m

μ = viscosidad cinemática del flujo, en m²/s

Tabla 2: Valores límite del Número de Reynolds

VALORES LÍMITE	
TIPO DE FLUJO	LÍMITES
Flujo laminar	Re < 500
Flujo turbulento	Re > 1000
Flujo de transición	500 < Re < 1000

Fuente: P. Rodríguez, *Hidráulica II*, Oaxaca, BOLCA, 2008

Se ha demostrado mediante experimentos que el régimen de flujo puede cambiar de laminar a turbulento cuando se trabaja con el radio hidráulico como la longitud característica con valores entre 500 y 12500. [17]

2.1.7 Número de Froude

El efecto de la gravedad que tiene en el estado del flujo se puede presentar por medio de la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales. Esta relación está definida por el número de Froude con la siguiente fórmula:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g * d}} = \frac{V}{\sqrt{g * \frac{A}{T}}} \quad (11)$$

Donde:

F= número de Froude

V= velocidad media del flujo, en m/s

g = aceleración de la gravedad, 9.81 m/s² o 32.4 pies/s²

d = tirante medio del agua, en m

A = área hidráulica, en m²

T = espejo de agua o ancho superficial, en m

2.1.8 Regímenes de flujo

En los canales abiertos se puede dar el efecto combinado de la viscosidad y la gravedad, esto puede ocasionar 4 tipos de regímenes de flujo [18]:

- Subcrítico – laminar
- Supercrítico – laminar
- Supercrítico – turbulento
- Subcrítico – turbulento

Tabla 3: Tipo de flujo según el Número de Reynolds y Froude

REGÍMENES DE FLUJO	
FLUJO	LÍMITES SEGÚN EL NÚMERO DE REYNOLDS Y FROUDE
1. Subcrítico – laminar	$F < 1$ y $Re < 500$
2. Supercrítico – laminar	$F > 1$ y $Re < 500$
3. Supercrítico – turbulento	$F > 1$ y $Re > 1000$
4. Subcrítico – turbulento	$F < 1$ y $Re > 1000$

Fuente: Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, Bogotá, Mc Graw-Hill, 2004

2.1.9 Dimensionalidad de Modelos Numéricos

En la mayoría de casos de interés práctico para la ingeniería civil, se presenta el régimen gradualmente variado que aun en canales de geometría simple requiere de gran cantidad de cálculos numéricos para su solución. Tiempo atrás en los que se utilizaban sofisticados modelos matemáticos en la mayoría de casos en dos dimensiones y en tres dimensiones, dichos modelos podían tener respuesta al transcurrir un importante intervalo de tiempo y solo resueltos por supercomputadoras que estaban disponibles en contados centros de investigación. Es por dicha razón, que para el análisis experimental se requería de modelos físicos que en su mayoría

debían ser construidos a una escala lo más parecida a la natural, con ello se ponía en práctica el estudio de los problemas de flujo superficial más complejos con resultados aproximados a la realidad. El avance de la tecnología a hoy en día ha permitido que los modelos numéricos utilizados en computadores lleguen a la mayor parte de personas alrededor del mundo, debido a la reducción de los precios en software por el aumento de la demanda. [19].

2.1.9.1 Modelos numéricos vs Modelos físicos

Existen ventajas y desventajas entre estos dos tipos de modelación, sin embargo, se podría decir que ambos son complementarios. La modelación física es importante para determinar fenómenos en tramos cortos o cuando el uso de fórmulas no está disponible para algún tipo de problema, así como cuando no hay consenso general del uso de fórmulas matemáticas. La modelación numérica es muy útil para el caso de problemas con tramos muy largos en proyectos de gran magnitud o modelación de ríos para su estudio esto genera un aporte importante en el ahorro económico y ventajas en el aspecto costo – beneficio. Al decir que ambas son complementarias, se estaría pensando que a corto plazo estos dos tipos de modelación podrían crear una sola de tipo físico – matemática, esto maximizara el tiempo de simulación y cálculos más precisos. [19]

2.1.9.2 Tipos de modelos numéricos

Tiempo atrás los modelos numéricos creados por ingenieros especializados era utilizados únicamente para casos específicos; en la actualidad los modelos son más generalizados y pueden ocuparse para el cálculo en distintas condiciones de flujo, resolver fenómenos de transporte de sedimentos, verificación de agentes contaminantes, calidad del agua e inclusive evaluación del hábitat de seres acuáticos. [19]

2.1.10 Dimensionalidad

2.1.10.1 Modelos Unidimensionales (1D).

Para el uso de este modelo, se toma una dimensión como prevaleciente por sobre las otras dos, esta es la longitud que sigue a lo largo de un eje ya sea de un río o de un canal. Los parámetros requeridos como la información topográfica e hidráulica son

ingresados mediante secciones transversales, en estos se calculan el tirante y velocidad promedios en toda la sección transversal. Por lo tanto, cada sección ingresada es representada por el valor único de velocidad media, la cual no considera variación en la distribución de velocidades tanto en sentido horizontal como vertical. Este modelo es más ocupado para la dimensionalidad de ríos o canales en general mayores a 20 veces el ancho y cuando se busca determinar un nivel máximo que puede alcanzar el agua. [19]

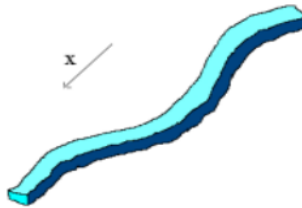


Figura 12: Modelo unidimensional

Fuente: J. Vásquez, *Modelación Numérica en Hidráulica*, Lima, 2003

2.1.10.2 Modelos Bidimensionales (2D).

Las dos variaciones dimensionales son tomadas con respecto al plano horizontal de trabajo de cálculo. La variación de velocidad, así como otro parámetro de interés en sentido vertical del fluido son promediadas y este valor se asume como único. Este modelo es ocupado para casos en donde la variación de velocidad en sentido vertical es pequeña debido a esto se lo suele llamar como modelos de aguas someras o poco profundas. [19].



Figura 13: Modelo bidimensional

Fuente: J. Vásquez, *Modelación Numérica en Hidráulica*, Lima, 2003

2.1.10.3 Modelos Tridimensionales (3D).

Este modelo representa un estado más avanzado de modelación y cálculo, éste es capaz de calcular la variación de velocidad en sus tres componentes espaciales, por lo que es aplicable para cualquier tipo de caso práctico. [19]



Figura 14: Modelo tridimensional

Fuente: J. Vásquez, *Modelación Numérica en Hidráulica*, Lima, 2003

2.1.10.4 Métodos de cálculo.

Para el caso de flujo más simple en una dimensión (1D), la discretización se da a nivel de las secciones transversales ingresadas, para cada sección se debe realizar el cálculo del balance energético una vez terminado se puede continuar con la siguiente, siendo el método de cálculo por etapas, cuando existan problemas de convergencia, se asume el tirante crítico para poder continuar.

Los problemas bi (2D) y tridimensionales (3D), el procedimiento requiere de la resolución de ecuaciones diferenciales, esto le significa al programa una discretización más fina lo que se logra por medio del uso de mallas. Para ello es

conveniente el uso de los siguientes métodos: Método de Elementos Finitos (MEF), Método de Diferencias Finitas (MDF) y el Método de Volúmenes Finitos (MVF).

En términos generales el método que es más utilizado para geometrías simples es el MDF por su interfaz simple y manejo rápido, mientras que para formas más complejas y mallado más fino son mejores los métodos MVF y MEF. [19]

Tabla 4: Software para modelación numérica

NOMBRE MODELO	DIMENSION	REGIMEN		TIPO DE FLUJO		CONTORNOS	
		Subcrítico	Supercrítico	Permanente	Transitorio	Fijos	Móviles
HEC-RAS	1D	X	X	X	X	X	
BRISTARS	2D	X	X	X	X	X	X
RMA-2	2D	X		X	X	X	
FESWMS	2D	X		X	X	X	
RIVER2D	2D	X	X	X	X	X	
SSIMM	3D	X		X	X	X	X

Fuente: J. Vásquez, Modelación Numérica en Hidráulica, Lima, 2003

2.1.10.5 HEC – RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System)

Es un sistema de modelación numérica para el análisis de ríos, utilizado para flujo unidimensional no permanente, este no toma en cuenta el transporte de sedimentos salvo en versiones recientes donde se hace posible el cálculo y análisis de estos y cuenta con gran capacidad para trabajar con flujos mixtos, subcrítico y supercrítico. El programa tiene dos limitaciones importantes, el asumir un fondo rígido y el flujo unidireccional [19]

2.1.11 Ecuación de la conservación de energía

La energía total que sigue una línea de corriente a través de una sección está definida como la suma de las energías de posición, presión y velocidad.

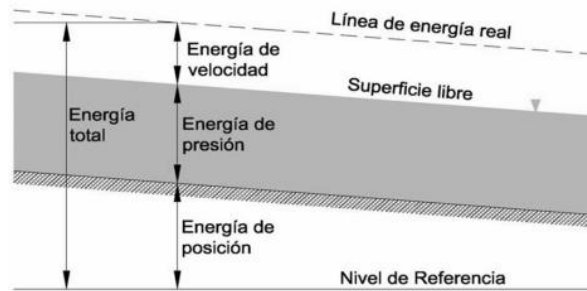


Figura 15: Energía total en una sección de un canal

Fuente: F. Domínguez, *Hidráulica*, Editorial Universitaria, Santiago de Chile, 1974

Como se muestra en la figura a continuación, se conduce agua a través de un canal de sección uniforme con un tirante “d” el cual considera un punto en el fluido “M” que se mueve a una velocidad media “v” [20]

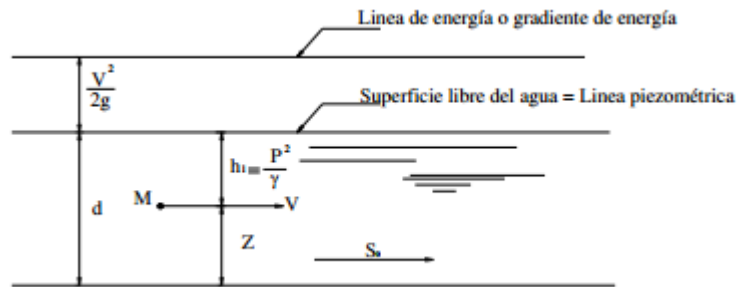


Figura 16: Componentes utilizados para la conservación de energía

Fuente: F. Domínguez, *Hidráulica*, Editorial Universitaria, Santiago de Chile, 1974

Donde:

$$\frac{P}{\gamma} = d = \text{altura de carga de presión, en m.}$$

$$Z_0 = \text{altura de carga de posición, en m.}$$

$$h_v = \frac{V^2}{2g} = \text{altura de carga o de velocidad, en m.}$$

De tal manera, la ecuación de la energía aplicada a un flujo en una sola dimensión que pasa por un canal abierto entre un punto alto 1 o aguas arriba y una sección agua abajo o punto 2 se lo puede describir de la siguiente manera.

$$Z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf \quad (12)$$

O se puede expresar de forma más simplificada donde la energía permanece constante en un punto alto y al llegar a un punto bajo a la energía se suma las pérdidas presentes a lo largo del canal [20].

$$E_1 = E_2 + hf \quad (13)$$

Donde:

E_1 = energía en el punto 1

E_2 = energía en el punto 2

hf = pérdidas presentes en el canal.

2.1.12 Pérdidas por contracción y expansión

En la mayoría de los canales se necesita hacer cambios de sección transversal ya sea para fines estructurales o por cuestiones de topografía, es decir, se debe colocar transiciones para mantener las condiciones del flujo y con esto minorar las pérdidas de energía. Si el área de la sección transversal aumenta se trata de una expansión y si se da el caso contrario será una contracción, en ambos casos mencionados los cambios se los realizarán en tramos rectos del canal. [21]

Las pérdidas de energía que se producen por expansión se calculan con la siguiente expresión:

$$hl = C \left[\left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 - 1 \right] * \frac{V_2^2}{2g} \quad (14)$$

$$C = 0.30 \text{ a } 0.35$$

Para pérdidas por contracción utiliza la siguiente fórmula.

$$hl = C \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] * \frac{V_2^2}{2g} \quad (15)$$

$$C = 0.20 \text{ a } 0.25$$

Donde:

hl = pérdida local debido a la transición.

A_1 = área de la sección aguas arriba.

A_2 = área de la sección aguas abajo.

V_2 = velocidad de la sección aguas abajo.

C = coeficiente de geometría.

Longitud de transición: Se calcula siguiendo el criterio de Hinds mediante la siguiente fórmula.

$$L = \frac{|B_2 - B_1|}{2 * \tan 12.5} \quad (16)$$

Donde:

L = longitud de transición en m.

B_1 = ancho de la superficie libre del agua en la sección aguas arriba, en m.

B_2 = ancho de la superficie libre del agua en la sección aguas abajo, en m.

2.1.13 Pérdidas por fricción.

Las pérdidas por fricción son convenientes de calcular en transiciones largas, aunque no sean de tanta importancia, la pérdida de energía o de carga por fricción se la puede calcular con la siguiente expresión [21]:

$$hf = \frac{Sf_1 + Sf_2}{2} * L \quad (17)$$

$$Sf_i = \left(\frac{v_i * n}{R_i^{2/3}} \right)^2 \quad (18)$$

Donde:

hf = pérdida por fricción.

L = longitud de transición.

n = coeficiente de rugosidad

R_i = radio hidráulico

V_i = velocidad media

2.1.14 Ecuación de cantidad de movimiento

Al producto de la masa y la velocidad se la denomina cantidad de movimiento de un cuerpo rígido de masa m y que se mueve a una velocidad V , esto basado en la Segunda Ley de Newton la cual afirma que la aceleración de un cuerpo es

proporcional a la fuerza que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa. En mecánica de fluidos esto se denomina como la ecuación del momento lineal.

La segunda Ley de Newton para un sistema de masa m sometido a una fuerza neta \vec{F} se la expresa de la siguiente manera. [22]

$$\sum \vec{F} = m * \vec{a} = m \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d}{dt}(m * \vec{V}) \quad (19)$$

Donde $(m * \vec{V})$ se lo denomina como el movimiento lineal del sistema. La forma mas general en que se presenta la ecuación es la siguiente:

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int \rho \vec{V} dV \quad (20)$$

Esta ecuación es utilizada para una masa dada de un sólido y por ende de uso limitado en la mecánica de fluidos y sobretodo en hidráulica de canales.

Cuando se aplica el *teorema del transporte de Reynolds* la fórmula para la cantidad de movimiento que se utiliza bajo los parámetros de la mecánica fluidos para momento lineal queda de la siguiente manera:

$$\frac{d(m\vec{V})_{sist}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{VC} \rho \vec{V} dV + \int_{SC} \rho \vec{V} (\vec{V}_r * \vec{n}) dA \quad (21)$$

Al reemplazar el miembro ubicado a la izquierda de la ecuación se obtiene la forma general de la ecuación del momento lineal el cual es aplicado a volúmenes de control (VC) en tres estados fijos, en movimiento o en deformación y para superficies de control (SC) [22].

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{VC} \rho \vec{V} dV + \int_{SC} \rho \vec{V} (\vec{V}_r * \vec{n}) dA \quad (22)$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{La suma de todas} \\ \text{las fuerzas externas} \\ \text{que actúan sobre un VC} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{La razon de cambio} \\ \text{respecto al tiempo del} \\ \text{momento lineal del} \\ \text{contenido de VC} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{El flujo neto del momento} \\ \text{lineal hacia afuera de la} \\ \text{superficie de control} \\ \text{por el flujo de la masa} \end{array} \right)$$

2.1.15 Ecuación de Saint Venant

Son un conjunto de ecuaciones diferenciales que toman en cuenta la ecuación de continuidad y la de momentum, estos modelan el cambio de caudal y nivel de agua a

lo largo de una dimensión, es decir, estas ecuaciones solo son ocupadas para la dimensión más larga en un río o un canal en un régimen no permanente. En las modelaciones con pendientes superiores al 5% generan una serie de errores en el cálculo por lo que en estos casos se utiliza un esquema mediante desarrollo de una onda cinemática. [23]

Para el uso de las ecuaciones se requiere las suposiciones citadas a continuación:

- El flujo debe ser unidimensional (1D), es decir, la densidad del fluido debe ser constante; el tirante y la velocidad deben variar únicamente en dirección del flujo.
- Las pérdidas pueden ser calculadas por medio de modelos de flujo uniforme permanente
- Las líneas de corriente no deben tener curvas muy pronunciadas, por lo que el flujo debería variar de manera gradual a lo largo del canal, de esta forma las aceleraciones verticales pueden ser despreciables
- Pendientes no muy pronunciadas
- Efectos de la socavación y deposición de sedimentos son despreciables

2.1.16 Ecuación de continuidad.

Esta fórmula toma en cuenta el equilibrio de la masa sobre un determinado volumen de control. Se puede escribir en términos del caudal Q y el área A .

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (23)$$

O de la siguiente manera donde intervienen datos como la velocidad media V y profundidad del fluido y . [23]

$$V \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (24)$$

2.1.17 Ecuación de momentum.

Para esta ecuación al ser utilizada dentro de Saint Venant, se puede escribir en base al caudal Q , área A , profundidad y , pendiente del canal S_o , pendiente de fricción S_f y de la gravedad g de la siguiente forma:

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_f) = 0 \quad (25)$$

En términos de la velocidad media:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_f) = 0 \quad (26)$$

Para determinar la pendiente de fricción S_f se lo realiza mediante la fórmula de Manning a continuación: [24]

$$S_f = \frac{Q^2 * n^2}{A^2 * R^{2/3}} \quad (27)$$

2.1.17.1 Solución por diferencias finitas

En la presente formula de diferencias finitas la variable dependiente es el caudal Q . La ecuación de continuidad al ser una ecuación diferencial parcial, se puede aplicar este método con el fin de conocer Q en cualquier valor del dominio en x del canal en cualquier instante de tiempo [24].

$$Q_{i+1}^j = \frac{\frac{\Delta t}{\Delta x} Q_i^j + ab Q_{i+1}^{j-1} \left(\frac{Q_{i+1}^{j-1} + Q_i^j}{2} \right)^{b-1} + \Delta t \left(\frac{q_{i+1}^j + q_{i+1}^{j-1}}{2} \right)}{\frac{\Delta t}{\Delta x} Q_i^j + ab \left(\frac{Q_{i+1}^{j-1} + Q_i^j}{2} \right)^{b-1}} \quad (28)$$

Los valores que se dan en a y b dependen de la geometría del canal.

Los términos Δx y Δt están relacionados con la siguiente fórmula:

$$\Delta t = \left(\frac{\Delta x}{C_x} \right) \quad (29)$$

2.1.18 Variables dependiente e independiente

2.1.18.1 Variable dependiente.

Caracterización hidráulica del tramo en estudio de 2.7 km que forma parte del Canal Ambato – Huachi – Pelileo, Cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua.

2.1.18.2 Variable independiente.

Velocidad media, sección transversal, geometría, pendiente longitudinal y coeficiente de Manning

2.1.19 Hipótesis

2.1.19.1 Hipótesis nula

Las características físicas del canal de riego Ambato – Huachi – Pelileo en el tramo comprendido entre el óvalo 17 y el óvalo 20 del Cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua no influyen en el comportamiento hidráulico del canal en el tramo evaluado mediante un modelo numérico.

2.1.19.2 Hipótesis alternativa

Las características físicas del canal de riego Ambato – Huachi – Pelileo en el tramo comprendido entre el óvalo 17 y el óvalo 20 del Cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua influyen en el comportamiento hidráulico del canal en el tramo evaluado mediante un modelo numérico.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación.

Para la realización del presente proyecto se seguirán los lineamientos de los siguientes tipos de investigación: [25]

- Investigación Descriptiva: se busca determinar las características y propiedades hidráulicas de los canales abiertos, esto en base a investigación previa resumida en el marco teórico, mediante las fórmulas y ecuaciones que permiten determinar el comportamiento del canal mediante el punto de vista matemático.
- Investigación Experimental: se verifican los datos tomados los cuales pueden estar sujetos a cambios dentro de la variable independiente para poder observar cambios en la simulación numérica que permitan hacer una comparación digital y real del tramo en estudio y así aportar con el análisis para un futuro estudio a mayor escala.
- Investigación Correlacional: al tomar las medidas de caudales y velocidades in situ se busca relacionarlas con un modelo matemático mediante HEC – RAS con lo cual se determinará si las propiedades hidráulicas y su respectiva caracterización matemática permitan la relación entre la generación de energía con el aprovechamiento de las bajas velocidades y caudales en canales de riego.
- Investigación Explicativa: se busca dar a conocer que la generación de energía por medio de fuentes no convencionales es una opción viable para el aprovechamiento al máximo del recurso hidráulico y dejando a un lado el uso de combustibles fósiles, de esta manera se ayudará a aminorar el impacto ambiental.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población total requerida se refiere a la longitud total del canal el cual cuenta con aproximadamente de 27 kilómetros que inician al sur en los límites del Cantón Ambato y finaliza en el Cantón Pelileo.

3.2.2 Muestra

El método de muestro idóneo para este tipo de trabajos experimentales basados en datos reales y simulaciones es un “Muestreo No Probabilístico Por Juicio De Expertos o Discrecional”, esto debido a que el investigador basándose en el conocimiento del área en estudio y a su propio juicio. [26]

- Basados en el método descrito, se ha seleccionado 2.7 km de tramo para el estudio, lo que representa un 10% de la longitud total del canal de regadío.
- Gracias a la muestra tomada el estudio ha sido dividido en 7 subproyectos ubicados en diferentes sectores los cuales se enfocarán en cumplir los objetivos trazados.
- De tal forma que el presente proyecto se define como el “Estudio y caracterización Hidráulica del Óvalo 17 al 20 del Canal de Riego Ambato - Huachi - Pelileo, Cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua” considerará 2.7 km.

3.3 Plan de muestreo

El muestreo se realizará por medio del equipo transmisor de caudales de líquidos DMM-4000/PFT el cual tiene incorporado una hélice y un panel digital que permite visualizar la velocidad del flujo en diferentes posiciones tanto en sentido horizontal como vertical en toda la sección transversal del canal en un rango de 400 a 500 metros de longitud, a continuación, se muestra la matriz a utilizar para toma de datos en cada punto.

Tabla 5: Matriz para el registro de datos de velocidad

MATRIZ PARA DATOS DE VELOCIDAD										
Realizado por:							<i>Ubicación</i>			
Fecha:							Norte:			
Tramo:							Este:			
Abscisa HEC - RAS:				Abscisa Civil 3D:				Cota:		
Calado (m)	Velocidad m/s									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20%*Y										
Promedio										
60%*Y										
Promedio										
80%*Y										
Promedio										

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

3.4 Operacionalización de variables

3.4.1 Variable independiente

Velocidad media, sección transversal, geometría, pendiente longitudinal y coeficiente de Manning

Tabla 6: Operacionalización de la variable independiente.

Concepto	Categoría Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnica e instrumentos
El estudio comprende, la determinación de las propiedades hidráulicas de la sección trasversal y la medición de velocidades en campo.	Topografía	Sección transversal del canal Pendiente longitudinal Coeficiente de Manning	¿Cuál es la variación de la sección transversal y la pendiente longitud del canal?	Estación total Computadora
	Medición in situ	Velocidad horizontal y vertical Caudal Distribución de velocidades	¿Cómo es el esquema de distribución de velocidades en la sección transversal y en sentido longitudinal?	Molinete Equipo de medición <i>in situ</i> Computadora

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

3.4.2 Variable dependiente

Caracterización hidráulica del tramo en estudio de 2.7 km que forma parte del Canal Ambato – Huachi – Pelileo, Cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua.

Tabla 7: Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnica e instrumentos
La finalidad de la simulación consiste en determinar el comportamiento hidráulico del flujo permita correlacionar los datos en campo con los simulados.	Sección transversal	Propiedades geométricas (forma)	¿Qué características geométricas debe tener el sitio para que se lo pueda considerar apto para el fin del estudio?	Verificación visual Uso de Auto Cad Civil 3D
	Modelación numérica	Simulación completa con datos reales en HEC – RAS	¿Cuáles con las diferencias y las similitudes entre los datos de campo y los simulados?	Computadora Software HEC – RAS

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

3.5 Plan de recolección de información

Tabla 8: Plan de recolección de información.

Objetivo del Proyecto	
Preguntas	Explicación
¿Qué datos se requieren registrar?	Son indispensables los datos de caudal y velocidad en conjunto con los datos de sección del canal para la evaluación de sus elementos geométricos.
¿Para qué?	Para alcanzar el objetivo principal del proyecto: Caracterizar el comportamiento hidráulico del tramo comprendido entre el Óvalo 17 – 20 del Canal de Riego Huachi Pelileo, Cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua.
¿Cómo?	Se llevará a cabo el levantamiento topográfico del tramo en estudio con una estación total calibrada y un GPS diferencial para iniciar con las coordenadas correctas. Se procede con el registro de datos de velocidad a lo largo del canal. Finalmente, se ejecutará las simulaciones con los datos ya procesados de levantamiento topográfico y velocidades
¿De qué objetos?	Del tramo en estudio de 2.7 km distancia entre los óvalos 17 al 20
¿Dónde?	En el tramo que inicia en los límites de la parroquia Montalvo y el Cantón Cevallos y llega hasta la intersección de la vía Yanahurco – Cevallos.
¿En qué consiste el registro de datos?	Las mediciones se las realiza en la sección transversal del canal en sentido horizontal y vertical.
¿Con qué técnicas o instrumentos se llevará a cabo las mediciones?	Estación total Estudios previos Molinete- Equipo de medición <i>in situ</i> Verificación visual Uso de AutoCad Civil 3D Computadora Software HEC – RAS

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

3.6 Plan de procesamiento y análisis

3.6.1 Plan de procesamiento

Para el procesamiento se lo realizará en campo, es decir, en el canal de riego siguiendo dos procedimientos fundamentales descritos a continuación:

- a) En primer lugar, es necesario realizar el levantamiento topográfico del canal en donde tendrán más incidencia los datos respecto a la sección del canal y su pendiente longitudinal, así como la topografía a sus costados; todo esto se lo realizará con equipos que encontramos en el departamento de topografía de facultad de los cuales serán necesarios los siguientes: GNSS R 10, Estación total Trimble M3, prismas, GPS, flexómetro.
- b) La segunda parte del procesamiento consiste en recorrer el canal con la máquina medidora de caudales denominada Transmisor de caudal de líquidos DMM – 4000/PFT que permite medir velocidades de entre 0.3 m/s a 10 m/s y con un máximo de 15m/s , se hará la adquisición de una máquina adicional la cual estará conectada al medidor de velocidad, el procedimiento de medición será cada 400 a 500 metros con la verificación de un plano abscisado y una matriz para registrar los datos leídos, en cada punto en la abscisa se registrarán datos en toda la sección transversal del canal en sentido horizontal en un rango de cada 30 cm a 40 cm y en sentido vertical al 20%, 60% y 80% del calado del canal para generar un malla en la que se permitirá observar las curvas de velocidad específicas de cada punto que luego serán analizados.

3.6.2 Plan de análisis

El análisis de los datos tendrá de la misma manera dos aspectos los cuales son referenciados al procesamiento:

- a) Con los datos del levantamiento topográfico se realiza el análisis mediante AUTO CAD Civil 3D, así subiendo los puntos tomados a dicho software los cuales están identificados con códigos los que permiten identificar las siguientes propiedades: sección del canal, eje de vía, óvalos y de terreno; una vez conocidos los códigos se crean nubes de puntos para poder trabajar de manera independiente con cada código, el código correspondiente a la sección del canal se lo une mediante líneas para poder visualizar en planta y en 3 dimensiones la sección completa del tramo, el código eje de vía será tomado debido a que el canal cuenta con esta para su mantenimiento éste también se lo unirá mediante polilínea, los puntos tomados del terreno se los procesará mediante superficie, es decir, que formarán curvas de nivel que permiten conocer la situación topográfica del entorno del canal y por último el código óvalos son las estructuras que derivan el agua para diferentes sectores por esta razón se encuentran a diferentes distancias a lo largo del canal además de permitir la visualización del perfil longitudinal del canal y apreciar los cambios de pendiente en el mismo.
- b) Con los datos tomados en situ de la medición de caudales y velocidad es necesario que estos sean procesados en Excel mediante tablas y posteriormente con el uso de otro software Auto Cad Civil 3D se procede a la interpolación y extrapolación de datos para así consolidar graficas más exactas de las curvas de velocidad al obtener las tablas y sus respectivas graficas de los 6 puntos a medir y analizar la velocidad media y caudal, estos datos juntamente con la topografía son procesados en HEC – RAS para su simulación para recrear el comportamiento del canal en un modelo numérico por cada punto en el que se proceda a hacer el cambio en los valores de coeficiente de rugosidad y así determinar los puntos que tengan mayor relevancia, esto quiere decir, determinar factores y características propias de cada punto en estudio y analizar su impacto en el diseño del canal en la actualidad.

CAPÍTULO 4

RECOLECCIÓN DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Mediciones In situ

4.1.1 Topografía

El proyecto encaminado al riego denominado Ambato – Huachi – Pelileo, además de aportar con el uso del líquido vital para el regadío también hace entrega de un 10% de su caudal el cual es administrado por la Empresa Municipal de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Ambato y por ende hace su distribución a la ciudadanía; el resto de caudal se utiliza para la irrigación de la tierra lo cual cuenta con una zona de influencia comprendida entre los cantones de Ambato, Cevallos, Pelileo y cinco parroquias Huachi Chico, Totoras, Montalvo, Picaihua, Salasaca y Benítez.

El tramo que comprende el estudio tiene su punto de partida en el sector donde limitan la Parroquia de Montalvo y el Cantón Cevallos y finaliza en la intersección con la carretera Yanahurco – Cevallos la cual cruza el cantón en sentido transversal de este a oeste, con una longitud total de 2.7 km el tramo cuenta con una vía pavimentada junto al canal de 5 metros de ancho, a lo largo del canal se puede observar que la mayor parte de pobladores hace uso del agua de regadío debido a la gran cantidad de cultivos que en su mayoría son de fresas y variedad de vegetales.

La topografía del terreno es montañosa característica propia de la sierra centro, así como también sectores con llanuras, debido a que el canal cuenta con una carretera para su debido mantenimiento la pendiente con la que desciende es uniforme salvo los casos en donde el canal cruza por carreteras con rasantes más elevadas, por lo que en este tramo de estudio se presenta una pendiente comprendida entre 0.1% y 0.15% con secciones transversales de forma trapezoidal.

4.1.2 Ubicación Macro

País: Ecuador

Localización: Hemisferio sur, zona noroccidental de América del Sur.

Límites: Al sur y este Perú, y norte con Colombia

División: Se divide en 21 provincias: Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, El Oro, Esmeraldas, Galápagos, Guayas, Imbabura, Loja, Los Ríos, Manabí, Morona-Santiago, Napo, Pastaza, Pichincha, Sucumbíos, Tungurahua, Zamora-Chinchiipe. [27]



Figura 17: Mapa político de Ecuador

Fuente: <https://ecuadorec.com/cuales-son-las-provincias-del-ecuador-y-sus-capitales/>

4.1.3 Ubicación Meso

Provincia: Tungurahua

Localización: Centro sierra, en la región Sierra.

Límites: Al norte con las provincias de Cotopaxi y Napo, al sur con Chimborazo y Morona Santiago, al este Pastaza y Napo y al oeste con las provincias de Cotopaxi y Bolívar.

División: Se divide en 9 cantones: Cevallos, Tisaleo, Mocha, Quero, Baños, Pillaro, Ambato, Patate y Pelileo. [28]



Figura 18: Mapa político de la Provincia de Tungurahua

Fuente: <https://www.mapasecuador.net/mapa/mapa-tungurahua-mapa-division-politica.html>

4.1.4 Ubicación micro

El tramo que comprende el estudio tiene su punto de partida en el sector donde limitan la Parroquia de Montalvo y el Cantón Cevallos y finaliza en la intersección con la Vía Yanahurco - Cevallos.

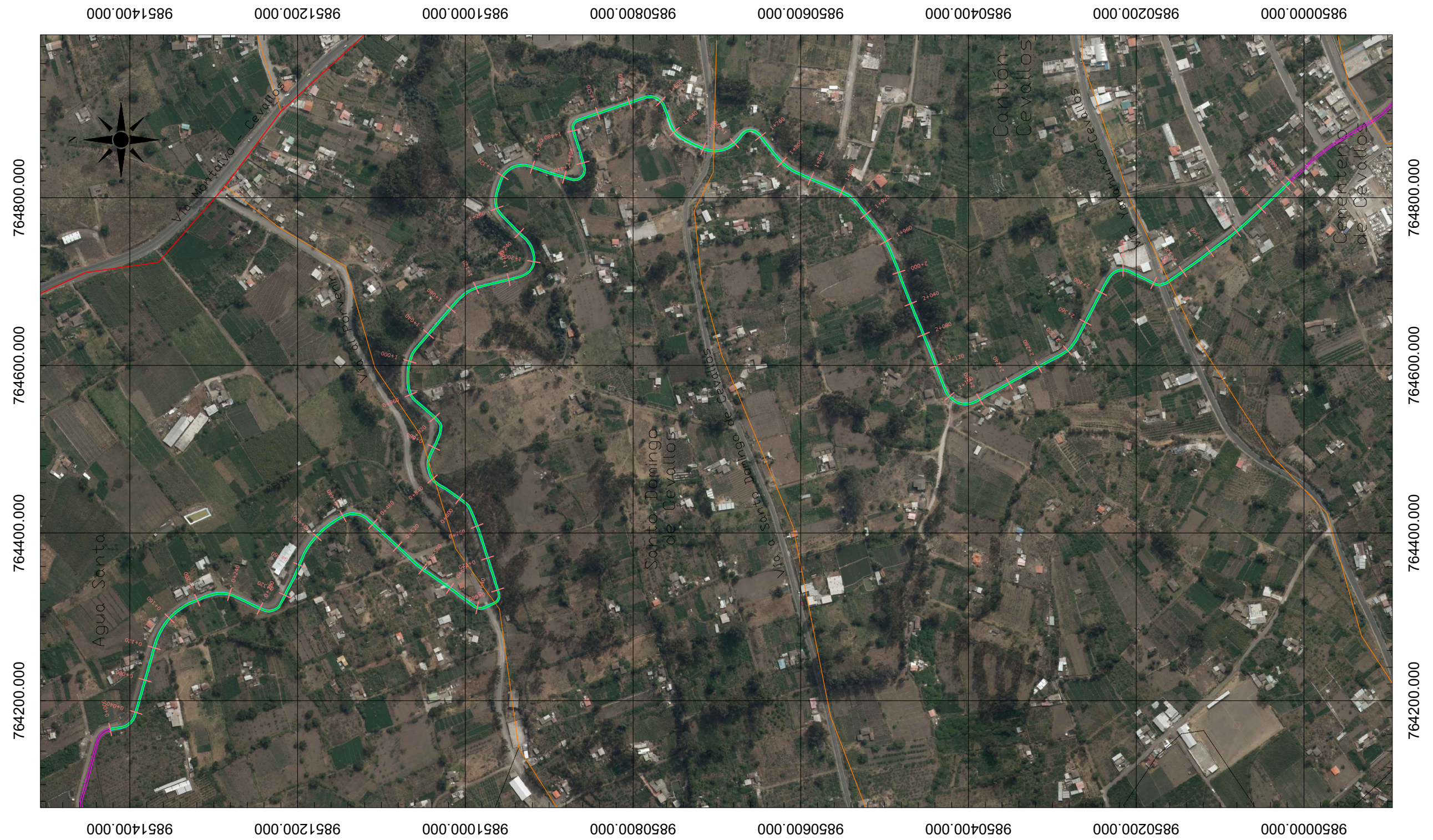


Figura 19: Implantación del tramo total en estudio

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La sección transversal del tramo es de forma trapezoidal en su totalidad, se tomó una base de datos con 6 secciones a lo largo del canal en 6 diferentes puntos las cuales tienen diferentes medidas geométricas y de calado, con un espaciamiento de entre 400 a 500 m entre sí.

Tabla 9: Medidas geométricas de los puntos en estudio.

Abscisa km		Altura total (m)	Ancho (m)	Espejo de agua (m)	Ancho del fondo (m)	Pendiente lateral (1:2)
Inicial	Final					
0+000	0+550	1.41	2.39	2.15	1.06	1 : 0.46
0+550	1+010	1.15	2.24	2.00	1.16	1 : 0.50
1+010	1+450	1.25	2.32	2.00	1.05	1 : 0.50
1+450	1+900	1.43	2.30	2.00	1.05	1 : 0.46
1+900	2+350	1.35	2.40	2.00	1.20	1 : 0.44
2+350	2+700	1.25	2.20	1.80	1.08	1 : 0.44

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

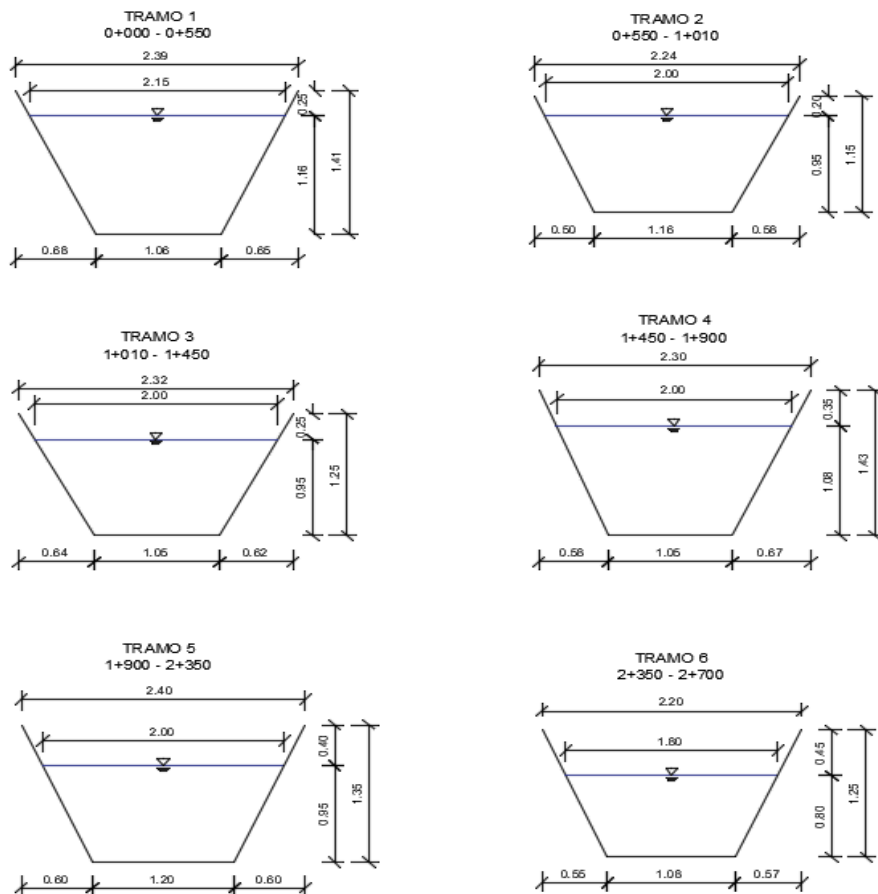


Figura 20: Esquema de secciones transversales

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.2 Perfil longitudinal

A lo largo del tramo en estudio existen cambios de pendiente mínimos que varían entre 0.1% y 0.15%, esto entre los 6 subtramos en los que se divide el tramo total y en relación a los datos registrados en campo

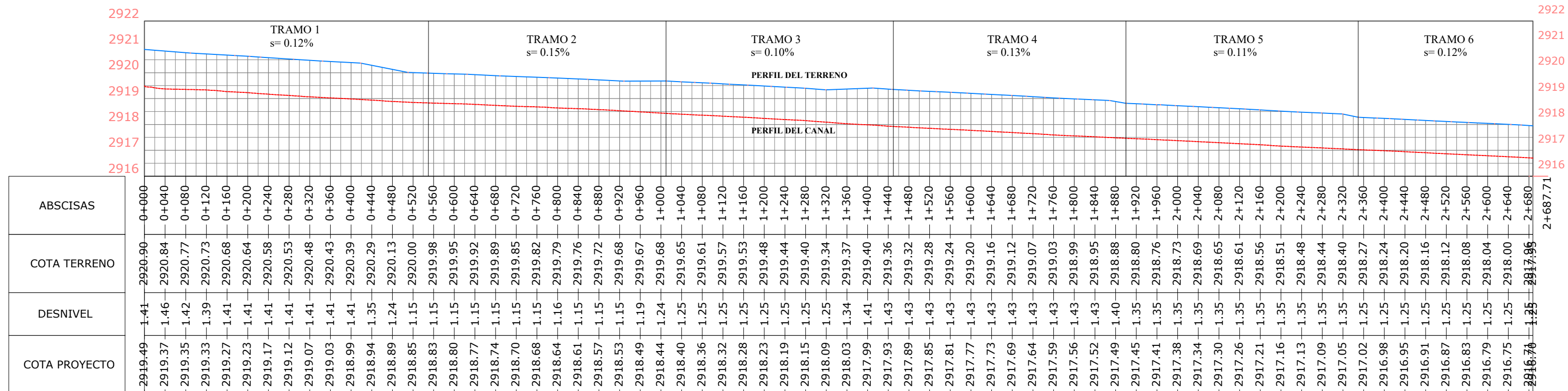


Figura 21: Perfil longitudinal del tramo total en estudio

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 10: Pendientes longitudinales de los subtramos

Abscisa km		Pendiente %
Inicial	Final	
0+000	0+550	0.12
0+550	1+010	0.15
1+010	1+450	0.10
1+450	1+900	0.13
1+900	2+350	0.11
2+350	2+700	0.12

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.3 Distribución de velocidades y caudales medio

Las mediciones de las velocidades en campo se realizaron con equipo especializado de transmisión de caudales de líquidos con capacidad de medición de velocidades de hasta 15 m/s, cuenta con un panel digital el cual muestra las unidades del sistema internacional, la velocidad puntual y el caudal acumulado; se debe trazar una malla en la sección transversal del canal para el registro de los datos tanto de forma vertical a cada 20%, 60% y 80% del calado y de forma horizontal en un rango de 30 cm a 40 cm, para una mayor aproximación en los datos se toman 3 lecturas de velocidad en cada punto con los cuales se hace un promedio; los datos son llevados a la matriz para su posterior procesamiento.

Los datos registrados de velocidad son procesados en AUTO CAD Civil 3D donde se procede a generar las curvas de distribución transversal de velocidades clasificadas e identificadas por colores, según el rango de velocidades, desde las más bajas a las más altas dentro de la sección transversal y se crean tablas dinámicas por cada punto en estudio que contienen los rangos de velocidad, mínima, máxima y sus respectivos colores.

Para el cálculo del caudal medio en cada sección transversal se trazan franjas en sentido vertical donde en medio de las mismas deben estar ubicados los puntos de velocidad, este procedimiento cuenta con dos métodos, en el primero los datos utilizados son los puntos de velocidad ubicados al 20% y 80% del calado y en el segundo método únicamente los puntos al 60% del calado según el Manual de Aforos del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [29].

El manual cuenta con fórmulas para realizar el cálculo de la profundidad media con la cual se determina el área donde tiene su influencia cada punto de velocidad, como último paso, para obtener el caudal medio de cada punto, se realiza una sumatoria de los caudales calculados de forma individual, debido a que hay gran cantidad de datos necesarios para el cálculo, este procedimiento es realizado por medio de tablas programadas en hojas de cálculo para mayor rapidez y precisión de los resultados. Finalmente, se obtiene un caudal medio por cada método y se calcula su respectiva velocidad media con respecto al área total de agua, de los resultados obtenidos se

escoge el escenario más crítico, es decir, el valor mas alto dato que posteriormente se usará para la simulación.

La simulación en HEC – RAS se la ejecutará con los datos obtenidos de caudal y velocidad, se realizan 6 simulaciones cada una con sus respectivos datos donde cada una cuenta con su sección transversal, dentro de los resultados que se obtienen son las gráficas de Número de Froude vs longitud, las gráficas de Velocidad vs longitud y de Calado vs caudal; adicionalmente, el software proporciona un informe o base de datos donde los resultados son organizados en tablas con la información antes mencionada.

Por último, se realiza la simulación final con los datos de caudal promedio de los seis puntos y los respectivos Coeficientes de Manning calculados en cada simulación, es necesaria una división en subtramos dentro de la longitud total en estudio, los resultados obtenidos son los mismos que las simulaciones y al igual los resultados también son mostrados en una tabla de resumen de resultados, que contiene la información en los 6 puntos del estudio.

4.3.1 Procedimiento de cálculo de caudal y velocidad media

- **División de franjas en la sección transversal**

Las franjas son calculadas tomando la distancia entre puntos y dividiéndola entre dos esta con esa distancia se dibujan dos líneas a la derecha e izquierda el punto de velocidad.

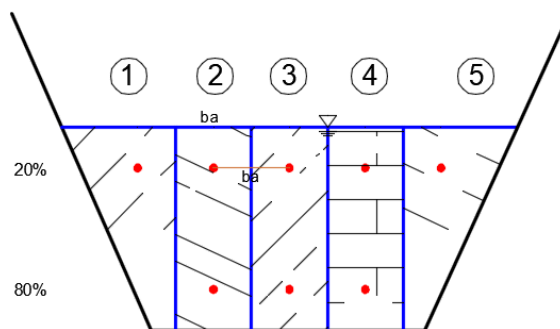


Figura 22: División de franjas verticales para el calculo del caudal medio

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

- Se traza una línea transversal en el centro del calado para separar las áreas de influencia entre los puntos al 20% y 80% del calado, esto se realiza solo para el primer método.

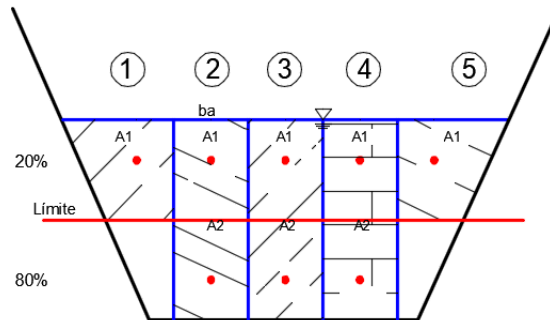


Figura 23: *Division de areas superior e inferior para el calculo del caudal medio*

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Cálculo de la profundidad media P_m

En el primer método para el área de los puntos junto a la pared la distancia ba o ancho de la franja será la distancia promedio entre la base mayor y menor del trapecio formado entre la superficie del agua y el límite marcado en medio del calado total.

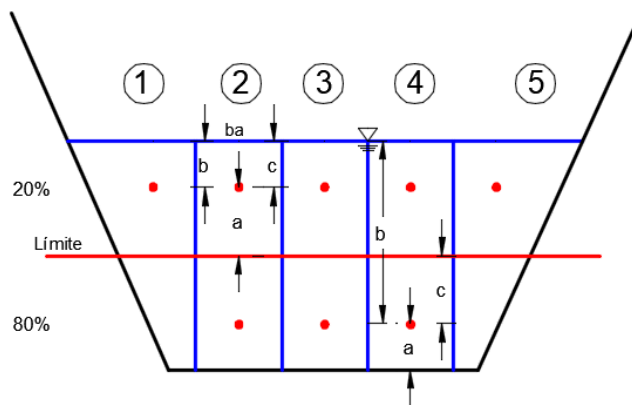


Figura 24: *Datos para calculo de profundidad media P_m . Metodo 1*

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

En el caso del segundo método la distancia ba o ancho de la franja que están junto a las paredes laterales del canal será el promedio de la base mayor y base menor del trapecio que se forma entre la superficie del agua y el fondo del canal.

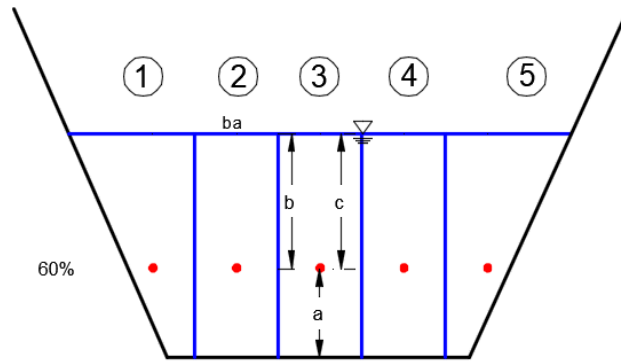


Figura 25: Datos para calculo de profundidad media Pm . Metodo 2

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Fórmulas de cálculo

$$a = ba * Pm \tag{30}$$

$$Pm = \frac{a + 2b + c}{4} \tag{31}$$

$$q_i = \sum_{i=1}^n a_i * v_i \tag{32}$$

$$Q = \sum q_i \tag{33}$$

$$vm = Q/At \tag{34}$$

Donde:

Q = caudal total en toda la sección (m³/s)

a = área en la franja delimitada (m²)

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

q = caudal en cada franja (m³/s)

i = número de franjas

ba = ancho de la franja en (m)

Pm = profundidad media de la franja (m)

a = profundidad límite inferior (m)

b = profundidad vertical del aforo (m)

c = profundidad límite superior (m)

v_m = velocidad media de la sección transversal (m/s)

A_t = área total de agua en la sección transversal (m²)

4.4 Georreferenciación de puntos de medición de velocidad

4.4.1 Longitud del tramo en planta

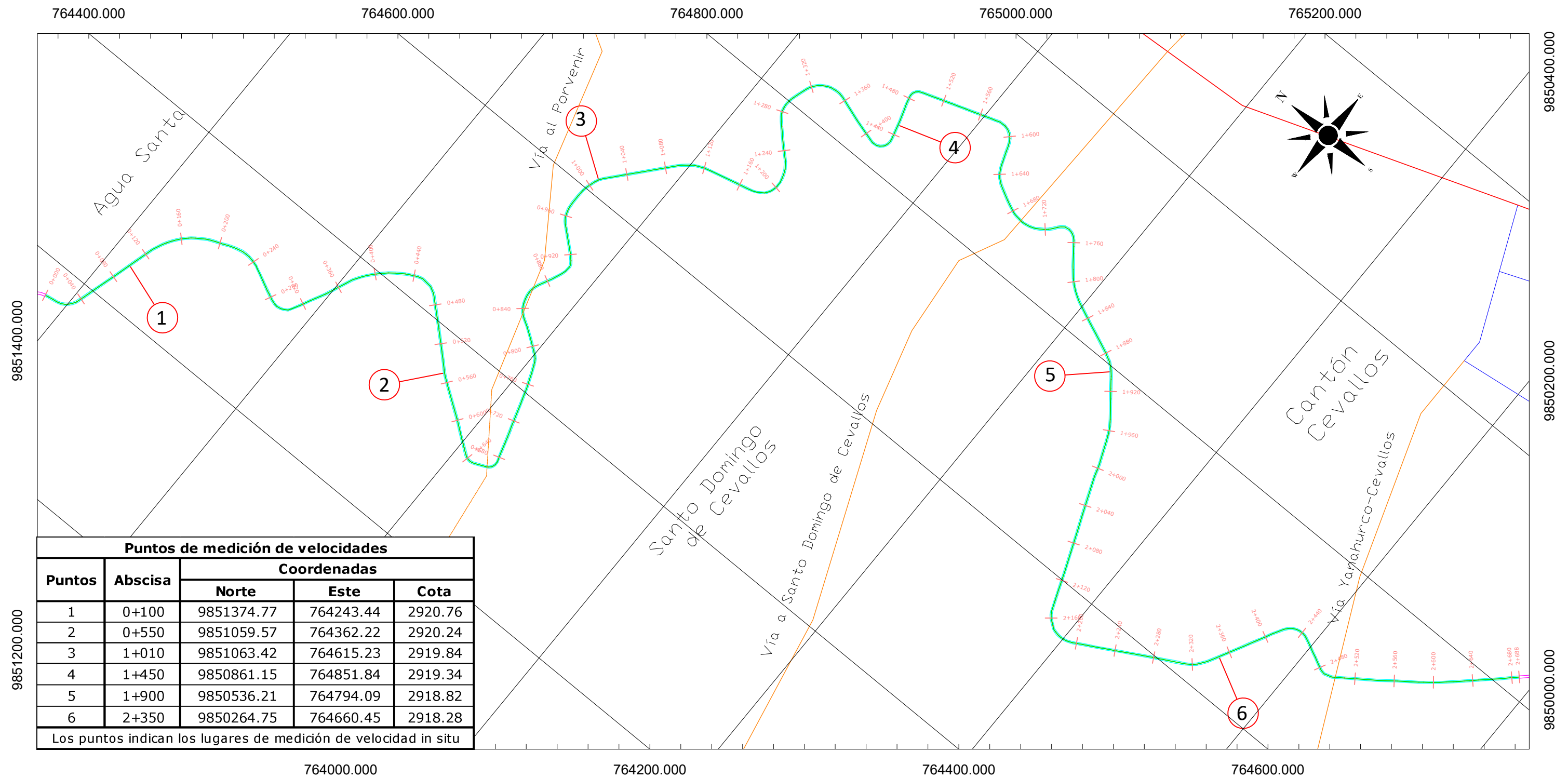


Figura 26: Georreferenciación de puntos de estudio en el tramo total

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.4.2 Perfil longitudinal

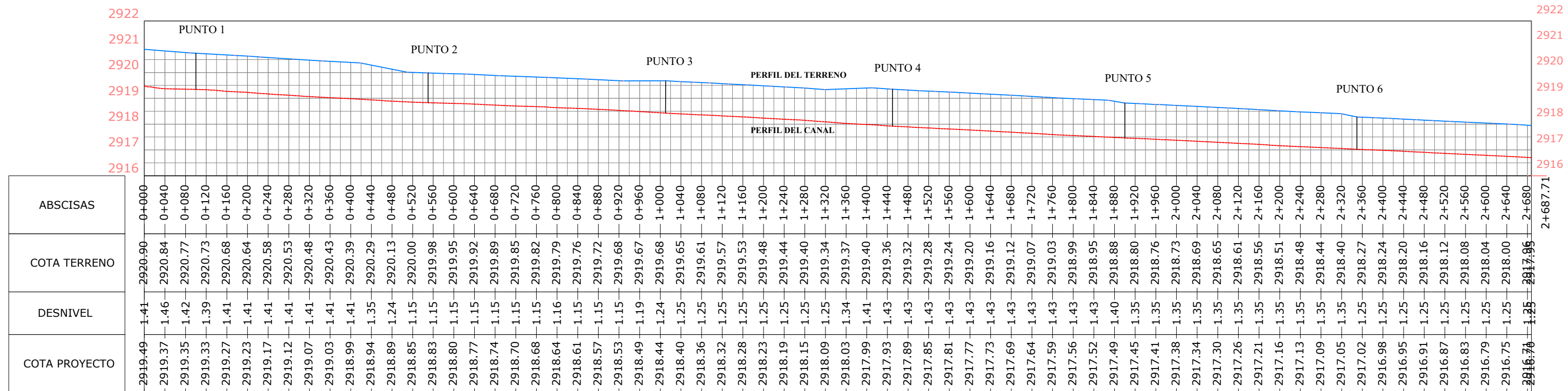


Figura 27: Perfil longitudinal de las secciones en estudio georreferenciadas

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 11: Coordenadas y abscisas de los puntos en estudio

Puntos de medición de velocidades				
Puntos	Abscisa	Coordenadas		
		Norte	Este	Cota
1	0+100	9851374.77	764243.44	2920.76
2	0+550	9851059.57	764362.22	2920.24
3	1+010	9851063.42	764615.23	2919.84
4	1+450	9850861.15	764851.84	2919.34
5	1+900	9850536.21	764794.09	2918.82
6	2+350	9850264.75	764660.45	2918.28

Los puntos indican los lugares de medición de velocidad in situ

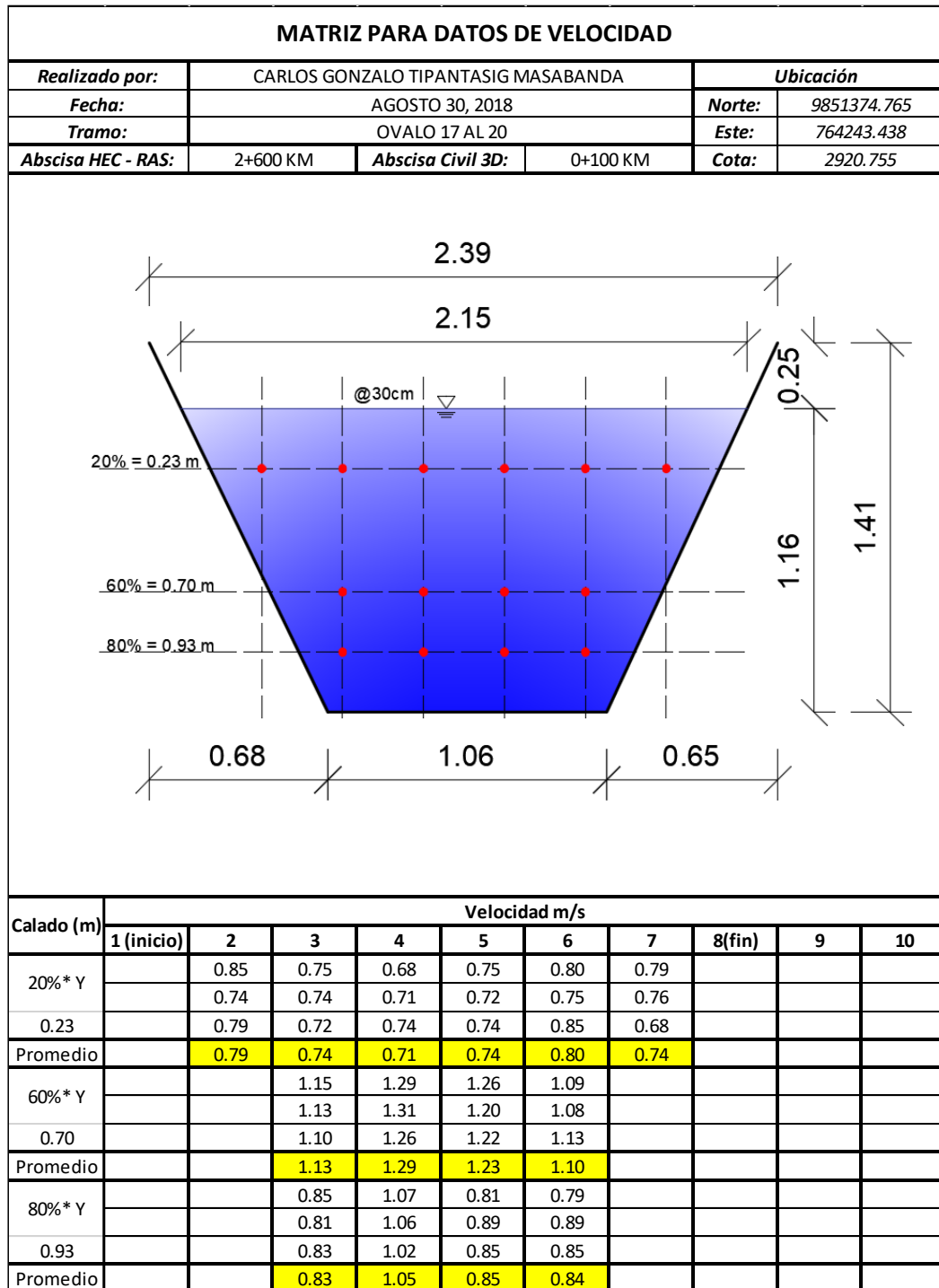
Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.5 Cálculo y simulación de secciones transversales

4.5.1 Sección transversal 1

4.5.1.1 Datos de velocidad in situ

Tabla 12: Datos de velocidad en campo del Punto 1



Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.5.1.2 Curvas de distribución transversal de velocidades

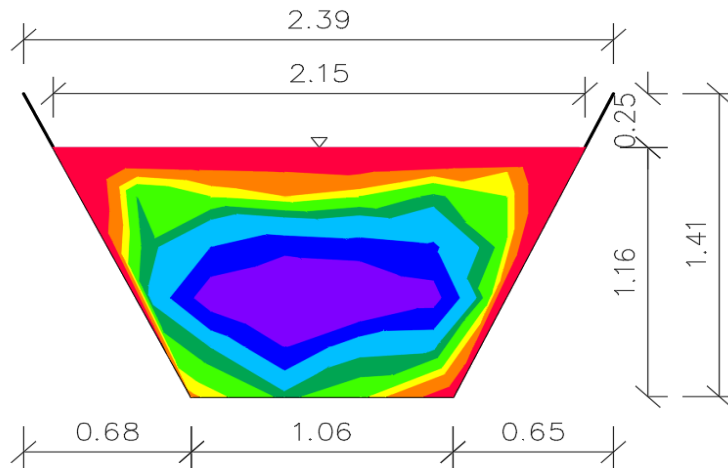


Figura 28: Curvas de distribución transversal de velocidades del Punto 1

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La curva de distribución de velocidades se distribuye en colores siendo el de las velocidades más bajas en color rojo y las más altas el color morado.

Tabla 13: Rango de velocidades

Rango de velocidades				
Número	Velocidad mínima m/s	Velocidad máxima m/s	Area m ²	Color
1	0.40	0.65	0.33	■
2	0.65	0.71	0.18	■
3	0.71	0.74	0.11	■
4	0.74	0.79	0.25	■
5	0.79	0.83	0.19	■
6	0.83	0.94	0.31	■
7	0.94	1.05	0.24	■
8	1.05	1.29	0.25	■

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Para la tabla de velocidades se ha distribuido en 8 rangos de velocidad siendo la más baja de 0.40 m/s que es la que está cerca de las paredes del canal y la más alta en morado de 1.29 m/s la cual se encuentra en el centro del canal.

4.5.1.3 Cálculo de caudal y velocidad media.

a) Método 1 cálculo de caudal medio con datos al 20% y 80% del calado

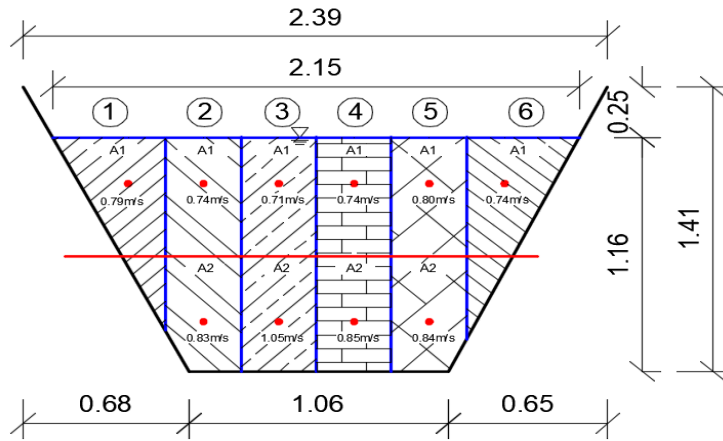


Figura 29: Distribución de franjas verticales del Método 1

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 14: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 1

Franja #	Vi (m/s)	Valores de Pm (m)			Pm (m)	Ancho de franja ba (m)	Área m2	Caudal m3/s
		a	b	c				
1	0.79	0.36	0.23	0.23	0.263	0.32	0.084	0.067
2	0.74	0.36	0.23	0.23	0.263	0.31	0.081	0.060
	0.83	0.23	0.91	0.32	0.593	0.31	0.184	0.152
3	0.71	0.36	0.23	0.23	0.263	0.31	0.081	0.058
	1.05	0.23	0.91	0.32	0.593	0.31	0.184	0.193
4	0.74	0.36	0.23	0.23	0.263	0.31	0.081	0.060
	0.85	0.23	0.91	0.32	0.593	0.31	0.184	0.156
5	0.80	0.36	0.23	0.23	0.263	0.31	0.081	0.065
	0.84	0.23	0.91	0.32	0.593	0.31	0.184	0.155
6	0.74	0.36	0.23	0.23	0.263	0.33	0.087	0.064
Caudal total=				1.030	m3/s			

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La tabla muestra en forma de resumen los cálculos del cálculo de cada franja en la sección transversal cuyo caudal total es de 1.030 m³/s

b) Método 2 cálculo de caudal medio con datos al 60% del calado

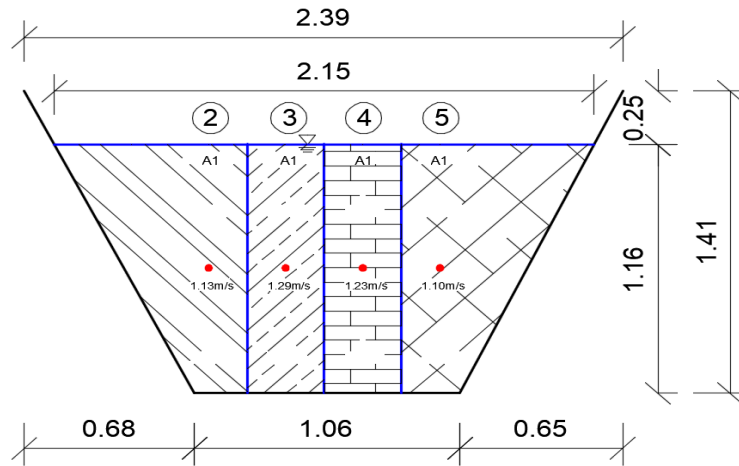


Figura 30: División de franjas verticales del Método 2

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 15: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 2

Franja #	Vi (m/s)	Valores de Pm (m)			Pm (m)	Ancho de franja ba (m)	Área m ²	Caudal m ³ /s
		a	b	c				
2	1.13	0.46	0.7	0.7	0.640	0.49	0.314	0.353
3	1.29	0.46	0.7	0.7	0.640	0.31	0.198	0.255
4	1.23	0.46	0.7	0.7	0.640	0.31	0.198	0.243
5	1.10	0.46	0.7	0.7	0.640	0.50	0.320	0.352
Caudal total=				1.204	m ³ /s			

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 16: Comparación de resultados del Método 1 y 2

Resumen de resultado			
Caudales		Área total	Velocidad media
CAUDAL 20% Y 80%	1.030 m ³ /s	1.864	0.553 m/s
CAUDAL 60%	1.204 m ³ /s		0.646 m/s

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se tomará como dato para el ingreso en Hec – Ras el caudal y la velocidad más alta en este caso será el caudal de 1.20 m³/s y una velocidad de 0.65 m/s

4.5.1.4 Simulación y análisis de datos en HEC – RAS 5.0.5

4.5.1.4.1 Sección transversal

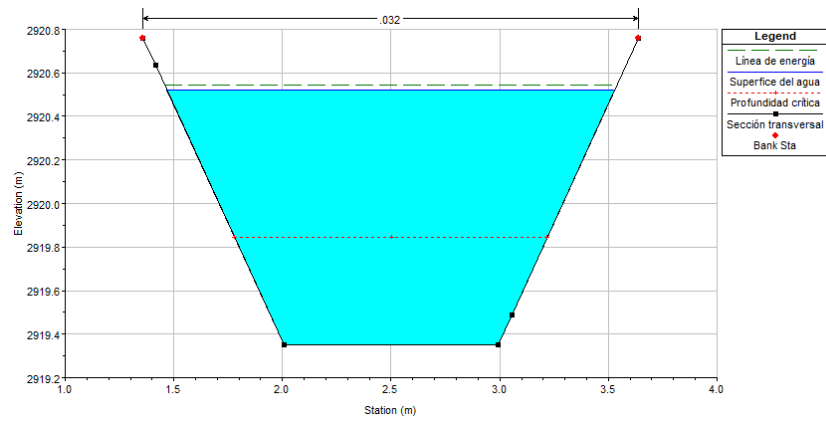


Figura 31: Sección transversal HEC – RAS

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se puede observar la sección transversal en la primera simulación la cual se encuentra en la abscisa 2+600 KM con un calado de 1.17m, en donde el programa nos muestra los parámetros calculados como la línea de energía con una línea entrecortada en color verde y calado crítico con una línea entrecortada de color rojo y nuestro variable ingresada en la parte superior el coeficiente de Manning de 0.032.

4.5.1.4.2 Graficas de numero de Froude, Velocidad y Curva de descarga

a) Numero de Froude

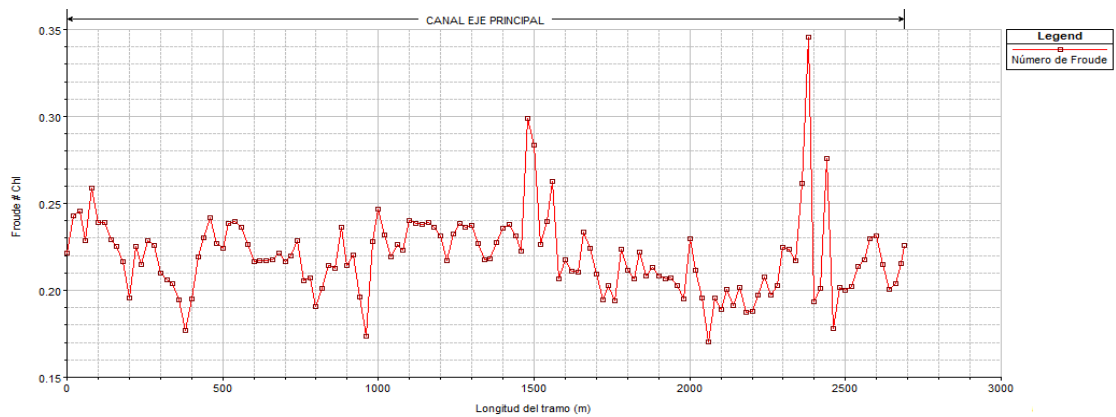


Figura 32: Curva de Número de Froude vs Longitud total

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

En la gráfica se puede observar la variación del número de Froude a lo largo del canal, en el punto analizado para un caudal de 1.20 m³/s nos da como resultado un valor de 0.23 en el punto de análisis.

b) Velocidad Total

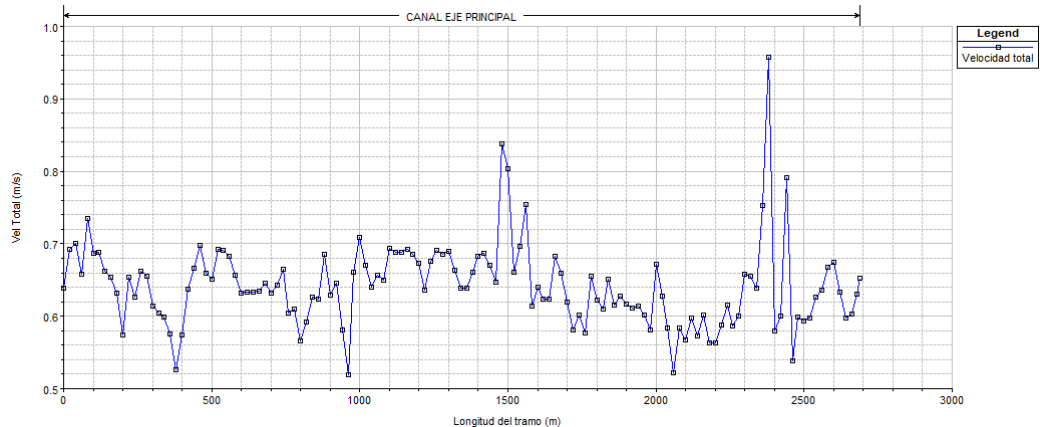


Figura 33: Curva de Velocidad vs Longitud total

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La velocidad que se presenta en el punto de análisis es de 0.67 m/s el cual se acerca al tomado en campo de 0.65 m/s donde podemos observar una variación o desviamiento de 0.02m/s.

c) Curva de descarga

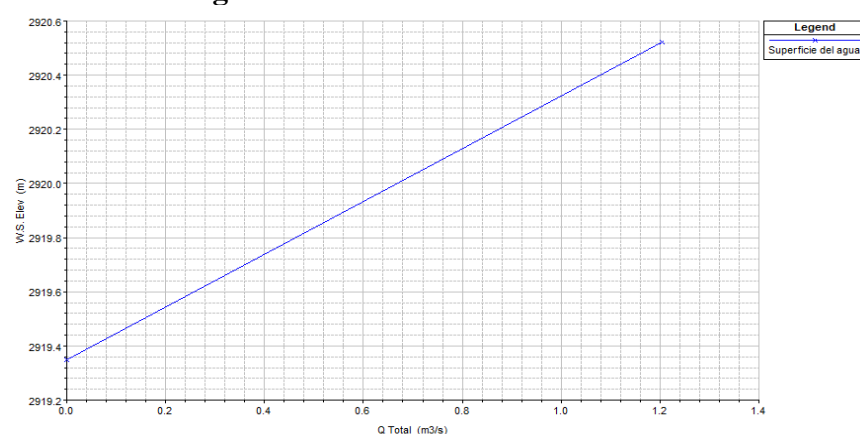


Figura 34: Curva de descarga Nivel de agua vs Caudal

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La gráfica de calado vs caudal total se presenta de manera lineal debido a que los datos ingresados están al inicio del canal aguas arriba en la cota más alta y las condiciones se mantienen a lo largo del mismo.

4.5.1.4.3 Tablas de resumen de resultados

Tabla 17: Resultados obtenidos mediante la simulación.

Abscisa	Q Total	Cota inferior	Nivel de agua	Prof. Crítica	Línea energía	Prof. Crítica	Velocidad	Area	N.
	(m ³ /s)	(m)	Elev. (m)	Elev. (m)	Elev (m)	(m)	(m/s)	(m ²)	Froude
2680	1.20	2919.45	2920.6	2919.9	2920.62	0.45	0.63	1.91	0.22
2660	1.20	2919.4	2920.58	2919.85	2920.6	0.45	0.6	2.00	0.2
2640	1.20	2919.37	2920.57	2919.82	2920.59	0.45	0.6	2.02	0.2
2620	1.20	2919.36	2920.55	2919.83	2920.57	0.47	0.63	1.9	0.21
2600	1.20	2919.35	2920.52	2919.84	2920.54	0.49	0.67	1.78	0.23
2580	1.20	2919.34	2920.5	2919.82	2920.52	0.48	0.67	1.80	0.23
2560	1.20	2919.32	2920.48	2919.78	2920.5	0.46	0.64	1.89	0.22
2540	1.20	2919.29	2920.46	2919.76	2920.48	0.47	0.63	1.92	0.21
2520	1.20	2919.26	2920.44	2919.71	2920.46	0.45	0.6	2.01	0.2

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasi Masabanda, Autor

Podemos observar el resumen de los resultados que genera HEC – RAS en la abscisa en estudio, velocidad media de la sección y la profundidad crítica calculada.

Tabla 18: Comparación de resultados en campo y simulados en HEC – RAS

PUNTO 1			
Ubicación			
<i>Norte:</i>	9851374.765		
<i>Este:</i>	764243.438		
<i>Cota:</i>	2920.755		
<i>Hec - Ras</i>	2+600 km	<i>Civil 3D</i>	0+100 km
Datos calculados			
Caudal	1.20	m ³ /s	
Velocidad	0.65	m/s	
Calado	1.16	m	
Calibración de simulación			
n	Vm (m/s)	Yn (m)	sí cumple/no cumple
0.013	1.18	0.76	No cumple
0.020	0.94	0.91	No cumple
0.030	0.71	1.13	No cumple
0.035	0.63	1.23	No cumple
0.032	0.67	1.17	Si cumple

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasi Masabanda, Autor

La comparación de resultados nos permite verificar que las condiciones reales en campo se vean reflejados en la simulación, se puede apreciar como los datos simulados son muy cercanos a los reales con un coeficiente de Manning de 0.32 en base al estudio bibliográfico el coeficiente de rugosidad se acerca a un canal abierto con fondo cubierto de raíces de maleza, lo cual pudo ser apreciado en el momento de la medición de velocidad debido a que en la sección se encontró restos de maleza, algas y sedimentos en el fondo y paredes del canal. Dado las características de velocidad, calado, calado crítico y numero de Froude se puede determinar que el flujo en esta sección transversal tiene un estado subcrítico.

4.5.1.4.4 Ilustración 3D del punto 1

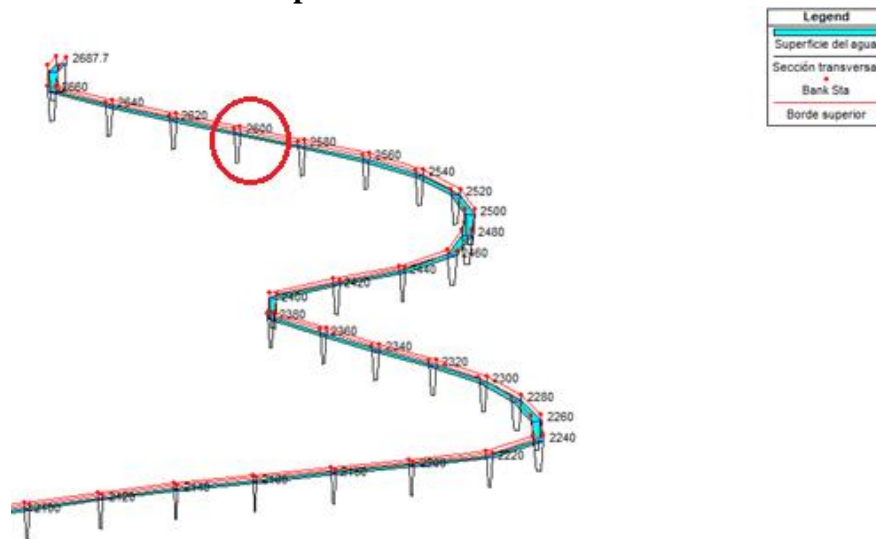


Figura 35: Esquema en 3D del Punto 1

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.5.2 Sección transversal 2

4.5.2.1 Datos de velocidad in situ

Tabla 19: Datos de velocidad en campo del Punto 2

MATRIZ PARA DATOS DE VELOCIDAD										
Realizado por:	CARLOS GONZALO TIPANTASIG MASABANDA						Ubicación			
Fecha:	AGOSTO 30, 2018						Norte:	9851059.567		
Tramo:	OVALO 17 AL 20						Este:	764362.219		
Abscisa HEC - RAS:	2+140 KM	Abscisa Civil 3D:	0+550 KM			Cota:	2920.240			
Calado	Velocidad m/s									
	1(inicio)	2	3	4	5	6	7(fin)	8	9	10
20%* Y 0.19		0.79	0.79	0.75	0.73	0.68				
		0.82	0.77	0.70	0.78	0.70				
	Promedio	0.82	0.79	0.72	0.74	0.71				
60%* Y 0.57		1.03	1.56	1.57	1.54	1.16				
		1.06	1.51	1.58	1.57	1.08				
	Promedio	1.00	1.54	1.58	1.54	1.10				
80%* Y 0.76			1.30	1.48	1.40					
			1.34	1.45	1.35					
	Promedio		1.32	1.48	1.37					

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.5.2.2 Curvas de distribución transversal de velocidades

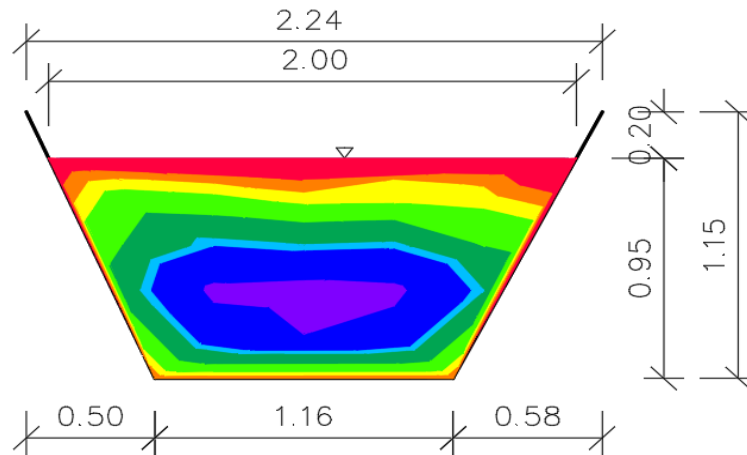


Figura 36: Curvas de distribución transversal de velocidades del Punto 2

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se pudo observar que en las paredes y en parte de la superficie del agua se tienen velocidades de 0.60 m/s a 0.67 m/s y a una profundidad de 0.57 m se tiene un rango de velocidad de 1.48 m/s a 1.54 m/s.

Tabla 20: Rango de velocidades

Rango de velocidades				
Número	Velocidad mínima m/s	Velocidad máxima m/s	Area m ²	Color
1	0.42	0.60	0.17	■
2	0.60	0.67	0.12	■
3	0.67	0.74	0.15	■
4	0.74	0.90	0.27	■
5	0.90	1.10	0.28	■
6	1.10	1.17	0.08	■
7	1.17	1.48	0.35	■
8	1.48	1.58	0.11	■

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se realizó una tabla de datos de velocidad con 8 rangos para mostrar la variación de velocidad en la sección transversal.

4.5.2.3 Cálculo de caudal y velocidad media

a) Método 1 cálculo de caudal medio con datos al 20% y 80% del calado

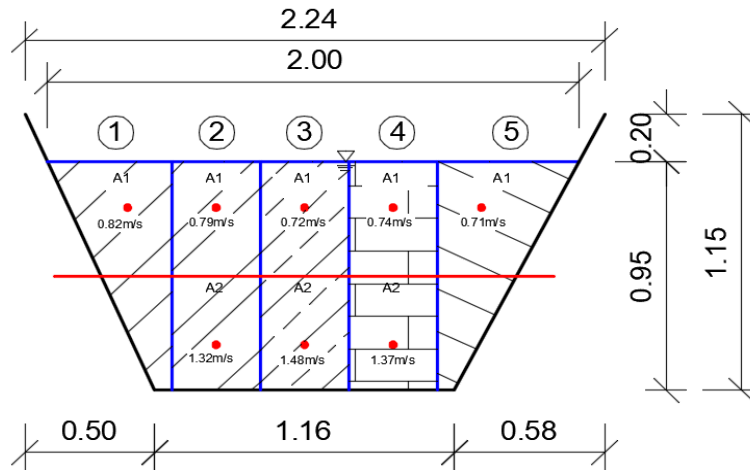


Figura 37: División de franjas verticales del Método 1

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 21: Resultados del cálculo de caudal medio por el Método 1

Franja #	Vi (m/s)	Valores de Pm (m)			Pm (m)	Ancho de franja ba (m)	Área m ²	Caudal m ³ /s
		a	b	c				
1	0.82	0.29	0.19	0.19	0.215	0.38	0.082	0.067
2	0.79	0.29	0.19	0.19	0.215	0.34	0.073	0.058
	1.32	0.19	0.76	0.29	0.500	0.34	0.170	0.224
3	0.72	0.29	0.19	0.19	0.215	0.34	0.073	0.053
	1.48	0.19	0.76	0.29	0.500	0.34	0.170	0.251
4	0.74	0.29	0.19	0.19	0.215	0.34	0.073	0.054
	1.37	0.19	0.76	0.29	0.500	0.34	0.170	0.233
5	0.71	0.29	0.19	0.19	0.215	0.43	0.092	0.065
Caudal total=				1.006	m ³ /s			

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La tabla muestra en forma de resumen los cálculos del cálculo de cada franja en la sección transversal cuyo caudal total es de 1.006 m³/s

b) Método 2 cálculo de caudal medio con datos al 60% del calado

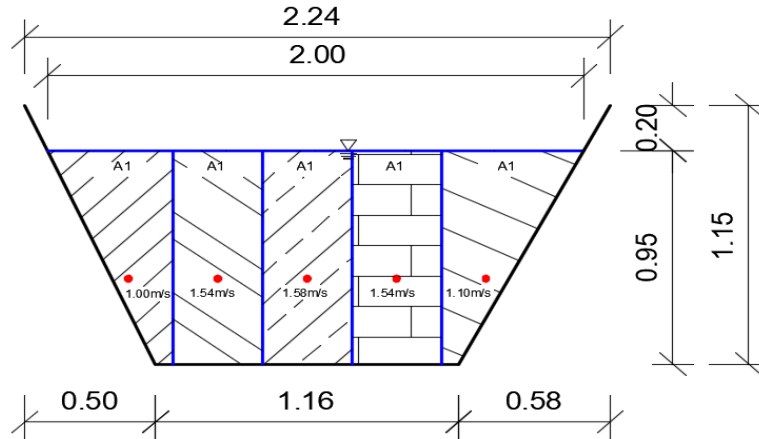


Figura 38: División de franjas verticales del Método 2

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 22: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 2

Franja #	Vi (m/s)	Valores de Pm (m)			Pm (m)	Ancho de franja (m)	Área m ²	Caudal m ³ /s
		a	b	c				
1	1.00	0.38	0.57	0.57	0.523	0.275	0.144	0.143
2	1.54	0.38	0.57	0.57	0.523	0.34	0.178	0.273
3	1.58	0.38	0.57	0.57	0.523	0.34	0.178	0.281
4	1.54	0.38	0.57	0.57	0.523	0.34	0.178	0.273
5	1.10	0.38	0.57	0.57	0.523	0.31	0.162	0.178
Caudal total=				1.148	m ³ /s			

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 23: Comparación de los resultados del Método 1 y 2

Resumen de resultados				
Caudales			Área total	Velocidad media
CAUDAL 20% Y 80%	1.006	m ³ /s	1.526	0.659 m/s
CAUDAL 60%	1.148	m ³ /s		0.752 m/s

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se tomará como dato para el ingreso en HEC-RAS el caudal y la velocidad más alta en este caso será el caudal de 1.15 m³/s y una velocidad de 0.75 m/s

4.5.2.4 Simulación y análisis de datos en HEC – RAS 5.0.5

4.5.2.4.1 Sección transversal

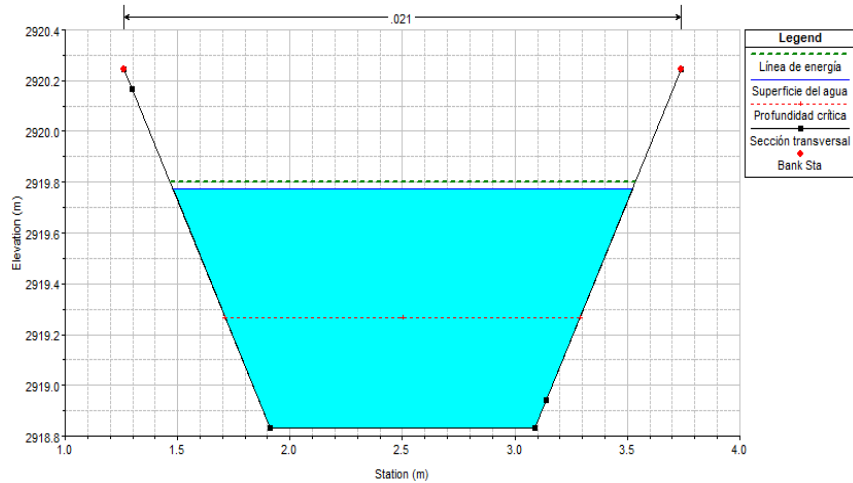


Figura 39: Sección transversal de HEC – RAS

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se puede observar la sección transversal en la primera simulación la cual se encuentra en la abscisa 2+140 KM con un calado de 0.94 m, en donde el programa nos muestra los parámetros calculados como la línea de energía con una línea entrecortada en color verde y calado crítico con una línea entrecortada de color rojo y nuestro variable ingresada en la parte superior el coeficiente de Manning de 0.021.

4.5.2.4.2 Graficas de Número de Froude, Velocidad y Curva de descarga

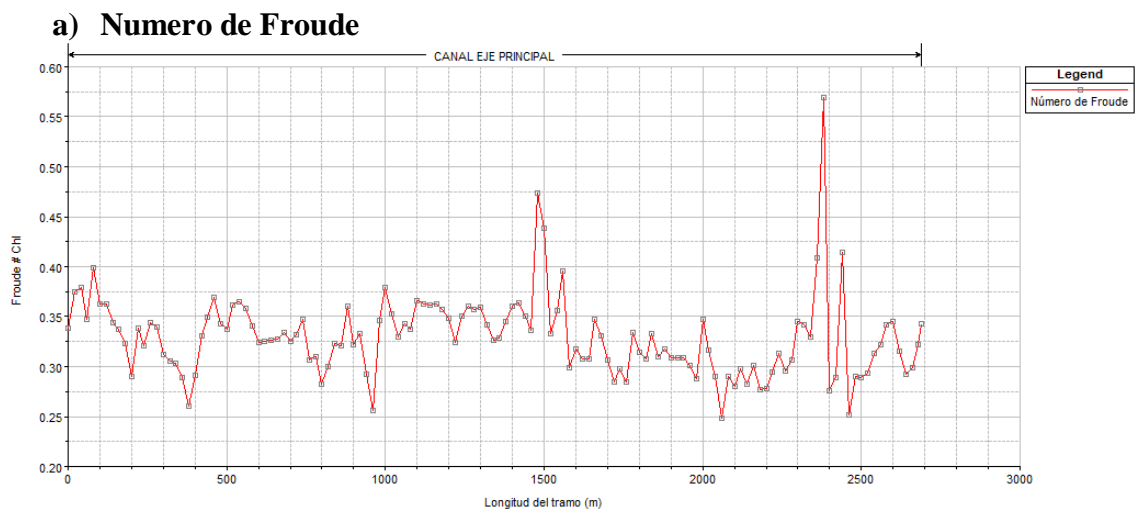


Figura 40: Curva de Número de Froude vs Longitud total.

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

En la gráfica se puede observar la variación del número de Froude a lo largo del canal, en el punto analizado para un caudal de 1.15 m³/s nos da como resultado un valor de 0.28.

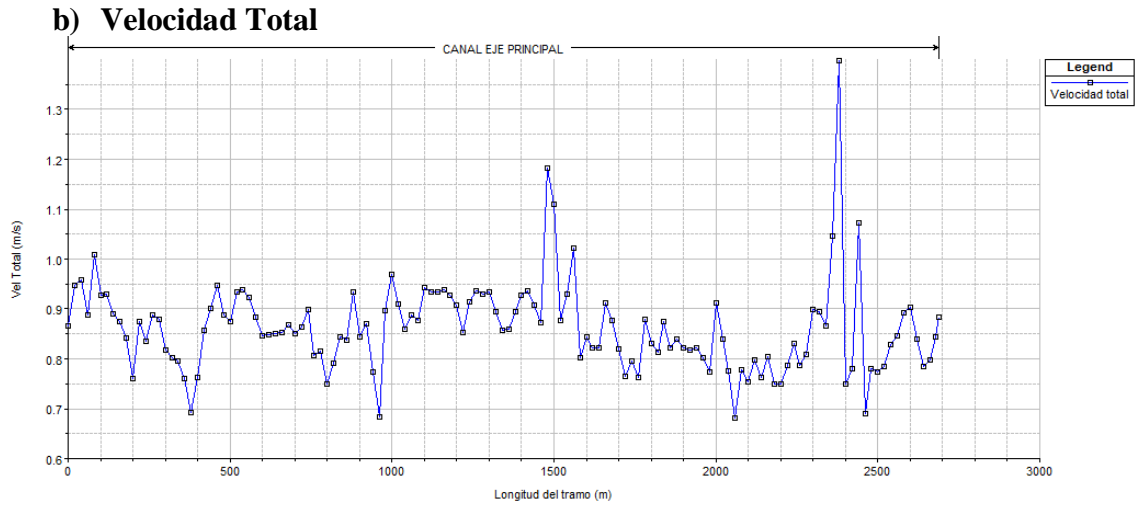


Figura 41: Curva de velocidad vs Longitud total

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La velocidad que se presenta en el punto de análisis es de 0.76 m/s resultado que se aproxima al tomado en campo de 0.75 m/s donde podemos observar una variación o desviamiento de 0.01m/s.

c) Curva de descarga

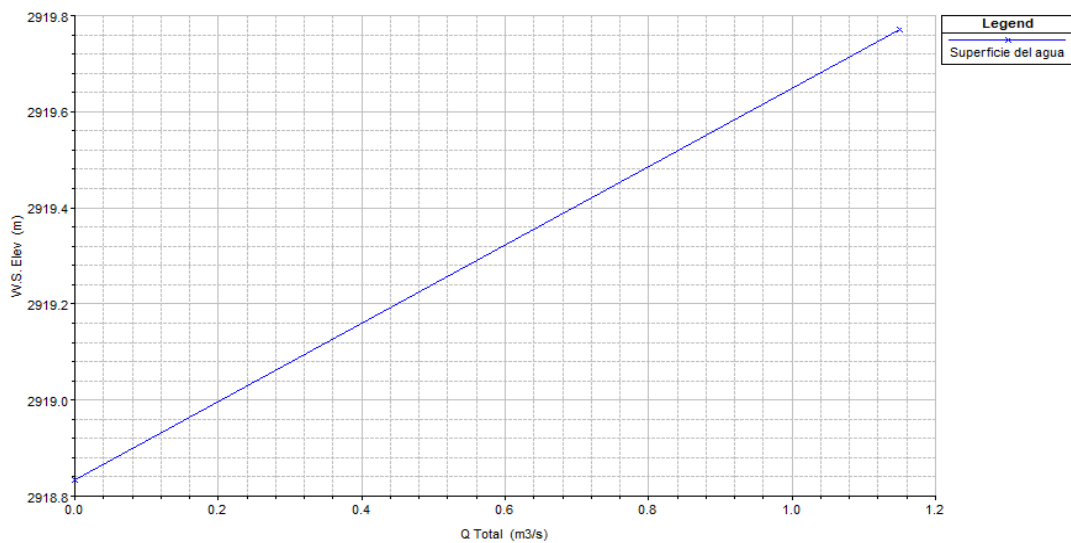


Figura 42: Curva de descarga Nivel de agua vs Caudal.

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La grafica de calado vs caudal total se presenta de manera lineal debido a que los datos ingresados están al inicio del canal aguas arriba en la cota más alta y las condiciones se mantienen a lo largo del mismo.

4.5.2.4.3 Tablas de resumen de resultados

Tabla 24: Resultados obtenidos mediante simulación.

Abscisa	Q Total	Cota inferior	Nivel de agua	Prof. Crítica	L. energía	Prof. Crítica	Velocidad	Area	N. Froude
	(m3/s)	(m)	Elev. (m)	Elev. (m)	Elev (m)	(m)	(m/s)	(m2)	
2220	1.15	2918.9	2919.83	2919.34	2919.86	0.44	0.79	1.46	0.29
2200	1.15	2918.88	2919.82	2919.3	2919.85	0.42	0.75	1.53	0.28
2180	1.15	2918.86	2919.8	2919.29	2919.83	0.43	0.75	1.54	0.28
2160	1.15	2918.85	2919.79	2919.3	2919.82	0.45	0.81	1.43	0.3
2140	1.15	2918.83	2919.77	2919.27	2919.8	0.44	0.76	1.51	0.28
2120	1.15	2918.82	2919.75	2919.27	2919.79	0.45	0.8	1.44	0.3
2100	1.15	2918.81	2919.74	2919.23	2919.77	0.42	0.75	1.53	0.28
2080	1.15	2918.8	2919.73	2919.23	2919.76	0.43	0.78	1.48	0.29
2060	1.15	2918.79	2919.72	2919.17	2919.74	0.38	0.68	1.69	0.25

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasi Masabanda, Autor

Podemos observar el resumen de los resultados que genera HEC – RAS en la abscisa en estudio, velocidad media de la sección y la profundidad critica calculada.

Tabla 25: Comparación de resultados en campo y simulados en HEC- RAS

PUNTO 2			
Ubicación			
<i>Norte:</i>	9851059.567		
<i>Este:</i>	764362.219		
<i>Cota:</i>	2920.240		
<i>Hec - Ras</i>	2+140 km	<i>Civil 3D</i>	0+550 km
Datos calculados			
Caudal	1.15	m3/s	
Velocidad	0.75	m/s	
Calado	0.95	m	
Calibración de simulación			
n	Vm (m/s)	Yn (m)	Si cumple/no cumple
0.013	1.04	0.73	No cumple
0.020	0.79	0.92	No cumple
0.023	0.72	0.99	No cumple
0.021	0.76	0.94	Si cumple

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasi Masabanda, Autor

La comparación de resultados nos permite verificar que las condiciones reales en campo se vean reflejados en la simulación, se puede apreciar como los datos simulados son muy cercanos a los reales con un coeficiente de Manning de 0.021 que equivale a una superficie de hormigón lanzado con una buena sección y con poca presencia de sedimentos en el fondo del canal lo que concuerda lo encontrado en campo ya que en el sector hay poca presencia de pobladores y el talud en el lado derecho se encuentra alejado a 1.50 metros del borde del canal.

4.5.2.4.4 Ilustración 3D del punto 2

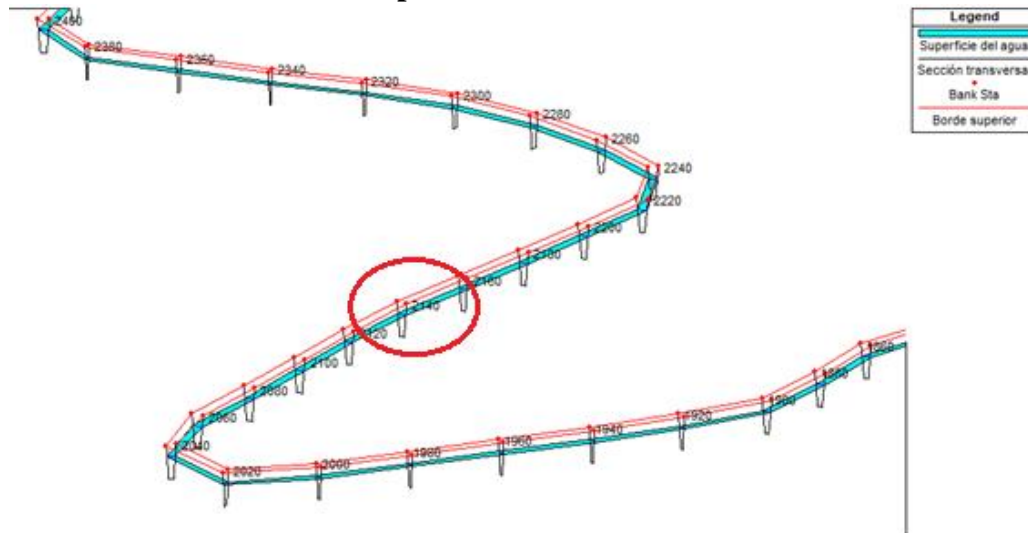


Figura 43: Esquema en 3 dimensiones.

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.5.3 Sección transversal 3

4.5.3.1 Datos de velocidad in situ

Tabla 26: Datos de velocidad en campo del Punto 3

MATRIZ PARA DATOS DE VELOCIDAD										
Realizado por:	CARLOS GONZALO TIPANTASIG MASABANDA					Ubicación				
Fecha:	AGOSTO 30, 2018					Norte:	9851063.422			
Tramo:	OVALO 17 AL 20					Este:	764615.225			
Abscisa HEC - RAS:	1+680 KM	Abscisa Civil 3D:	1+010 KM	Cota:	2919.838					
Calado	Velocidad m/s									
	1(inicio)	2	3	4	5	6	7(fin)	8	9	10
20%* Y		0.64	0.80	0.87	0.70	0.63				
0.19		0.62	0.85	0.68	0.83	0.64				
Promedio		0.64	0.84	0.77	0.78	0.62				
60%* Y		0.83	1.05	1.26	1.02	0.89				
0.57		0.90	1.09	1.31	1.05	0.75				
Promedio		0.76	1.11	1.28	1.13	0.92				
80%* Y			0.72	0.85	0.81					
0.76			0.71	0.84	0.79					
Promedio			0.82	0.78	0.71					
Promedio			0.75	0.82	0.77					

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.5.3.2 Curvas de distribución transversal de velocidades

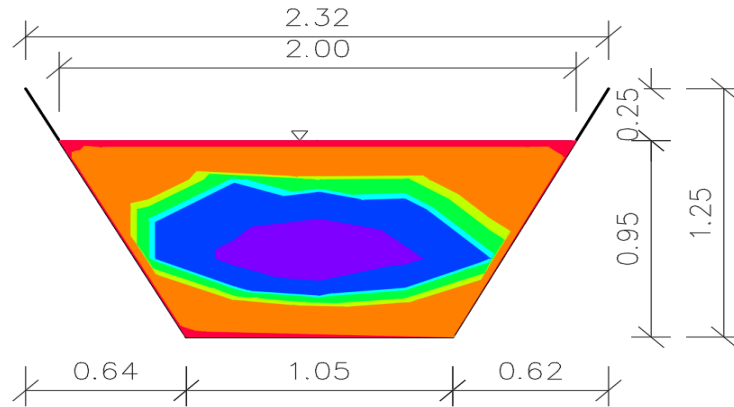


Figura 44: Curvas de distribución transversal de velocidades del Punto 3

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se pudo observar mediante el análisis en Civil 3D, que el comportamiento de la velocidad cercana a las paredes del canal se encuentra en un rango bajo el cual ocupa un área de 0.71 m² con una velocidad máxima de 0.74 m/s

Tabla 27: Rango de velocidades.

Rango de velocidades				
Número	Velocidad mínima m/s	Velocidad máxima m/s	Area m2	Color
1	0.35	0.42	0.10	Red
2	0.42	0.74	0.61	Orange
3	0.74	0.77	0.07	Yellow
4	0.77	0.83	0.15	Green
5	0.83	0.85	0.06	Cyan
6	0.85	1.02	0.34	Blue
7	1.02	1.28	0.16	Purple

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La tabla de rango de velocidades ha sido dividida en 7 partes para una mayor apreciación de las velocidades bajas en los bordes del canal y una velocidad máxima ubicada al 60% del calado de 1.28 m/s

4.5.3.3 Cálculo de caudal y velocidad media

a) Método 1 cálculo de caudal medio con datos al 20% y 80% del calado

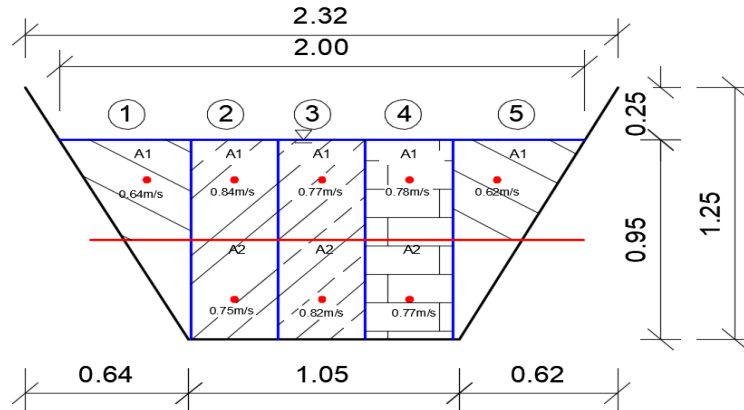


Figura 45: División de franjas verticales del Método 1

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 28: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 1

Franja #	Vi (m/s)	Valores de Pm (m)			Pm (m)	Ancho de franja ba (m)	Área m ²	Caudal m ³ /s
		a	b	c				
1	0.64	0.29	0.19	0.19	0.215	0.39	0.084	0.054
2	0.84	0.29	0.19	0.19	0.215	0.34	0.073	0.061
	0.75	0.19	0.76	0.29	0.500	0.34	0.170	0.128
3	0.77	0.29	0.19	0.19	0.215	0.34	0.073	0.056
	0.82	0.19	0.76	0.29	0.500	0.34	0.170	0.140
4	0.78	0.29	0.19	0.19	0.215	0.34	0.073	0.057
	0.77	0.19	0.76	0.29	0.500	0.34	0.170	0.131
5	0.62	0.29	0.19	0.19	0.215	0.39	0.084	0.052
Caudal total =				0.679	m ³ /s			

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La tabla muestra en forma de resumen los cálculos del cálculo de cada franja en la sección transversal cuyo caudal total es de 0.679 m³/s.

b) Método 2 cálculo de caudal medio con datos al 60% del calado

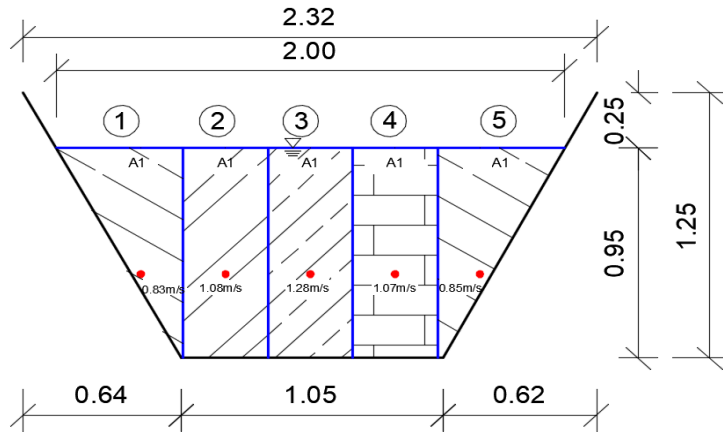


Figura 46: División de franjas verticales del Método 2

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 29: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 2

Franja #	Vi (m/s)	Valores de Pm (m)			Pm (m)	Ancho de franja (m)	Área m ²	Caudal m ³ /s
		a	b	c				
1	0.83	0.57	0.57	0.38	0.523	0.275	0.144	0.119
2	1.08	0.57	0.57	0.38	0.523	0.34	0.178	0.192
3	1.28	0.57	0.57	0.38	0.523	0.34	0.178	0.228
4	1.07	0.57	0.57	0.38	0.523	0.34	0.178	0.189
5	0.85	0.57	0.57	0.38	0.523	0.31	0.162	0.138
Caudal total=				0.867	m ³ /s			

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 30: Comparación de resultados del Método 1 y 2

Resumen de resultados				
Caudales			Área total	Velocidad media
CAUDAL 20% Y 80%	0.679	m ³ /s	1.481	0.458 m/s
CAUDAL 60%	0.867	m ³ /s		0.586 m/s

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se tomará como dato para el ingreso en Hec – Ras el caudal y la velocidad más alta en este caso será el caudal medio de 0.87 m³/s y una velocidad media de 0.59 m/s

4.5.3.4 Simulación y análisis de datos en HEC – RAS 5.0.5

4.5.3.4.1 Sección transversal

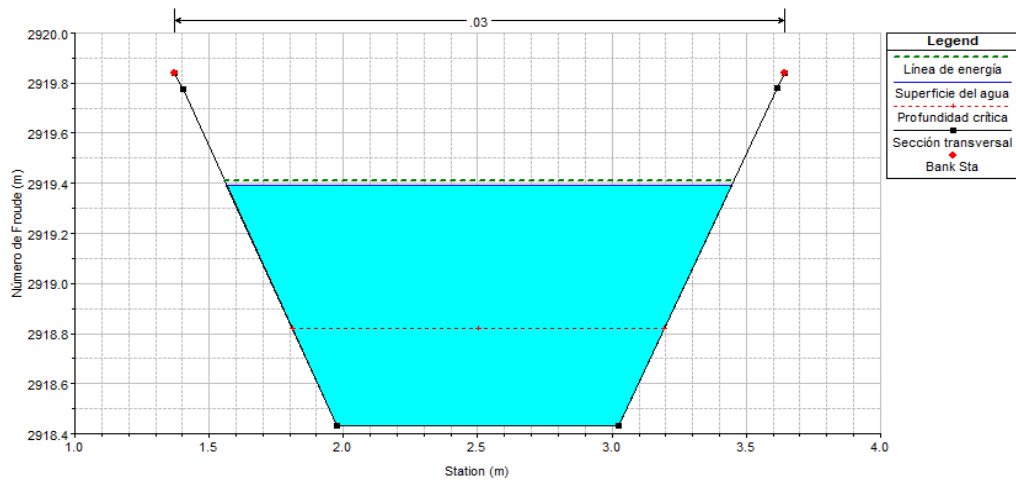


Figura 47: Sección transversal de HEC – RAS

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se puede observar la sección transversal en la primera simulación la cual se encuentra en la abscisa 1+680 KM con un calado de 0.96 m, en donde el programa nos muestra los parámetros calculados como la línea de energía con una línea entrecortada en color verde y calado crítico con una línea entrecortada de color rojo y nuestro variable ingresada en la parte superior el coeficiente de Manning de 0.030.

4.5.3.4.2 Graficas de numero de Froude, Velocidad y Curva de descarga

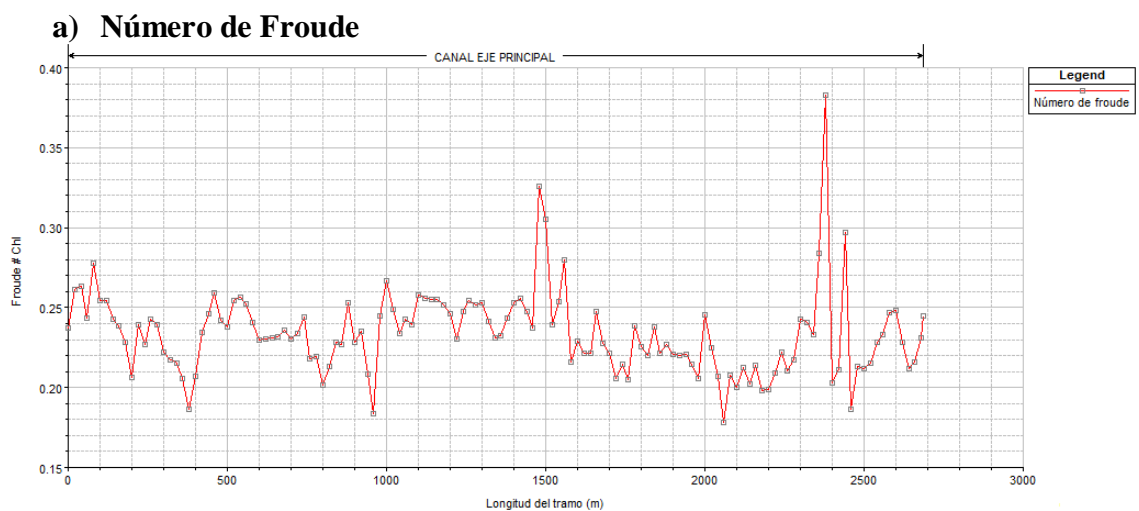


Figura 48: Curva de Número de Froude vs Longitud total

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

En la gráfica se puede observar la variación del número de Froude a lo largo del canal, en el punto analizado para un caudal de 0.87 m³/s nos da como resultado un valor de 0.23.

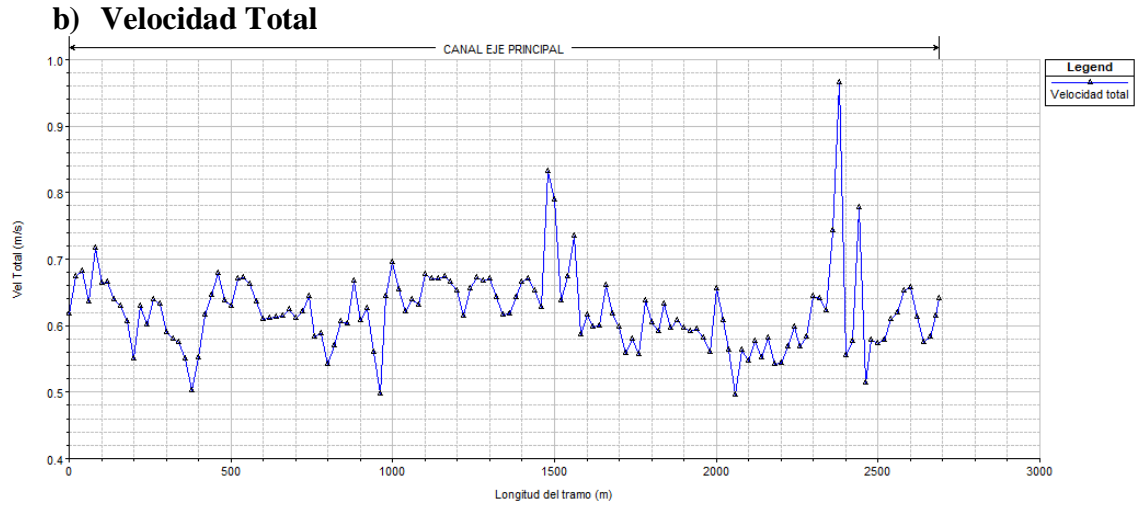


Figura 49: Curva de Velocidad vs Longitud total

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La velocidad que se presenta en el punto de análisis es de 0.62 m/s el cual se acerca al tomado en campo de 0.59 m/s donde podemos observar una variación o desviamiento de 0.03m/s.

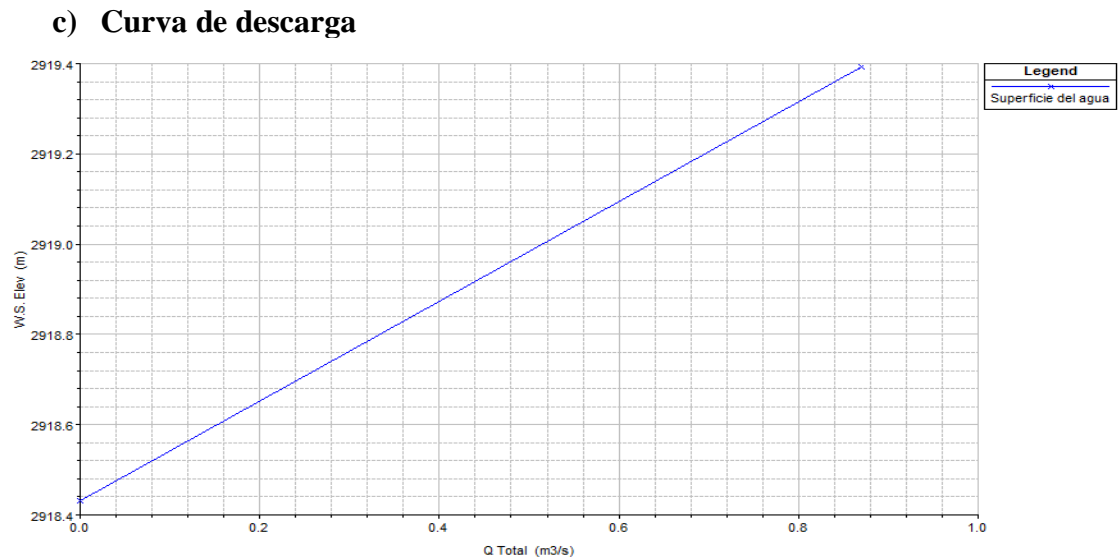


Figura 50: Curva de descarga Nivel de agua vs Caudal

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La grafica de calado vs caudal total se presenta de manera lineal debido a que los datos ingresados están al inicio del canal aguas arriba en la cota más alta y las condiciones se mantienen a lo largo del mismo.

4.5.3.4.3 Tablas de resumen de resultados

Tabla 31: Resultado obtenidos mediante simulación

Abscisa	Q Total	Cota inferior	Nivel de agua	Prof. Crítica	L. energía	Prof. Crítica	Velocidad	Área	N.
	(m ³ /s)	(m)	Elev. (m)	Elev. (m)	Elev (m)	(m)	(m/s)	(m ²)	Froude
1760	0.87	2918.52	2919.47	2918.87	2919.48	0.35	0.56	1.57	0.21
1740	0.87	2918.5	2919.45	2918.87	2919.47	0.37	0.58	1.5	0.21
1720	0.87	2918.48	2919.43	2918.84	2919.45	0.36	0.56	1.56	0.21
1700	0.87	2918.45	2919.41	2918.83	2919.43	0.38	0.6	1.46	0.22
1680	0.87	2918.43	2919.39	2918.82	2919.41	0.39	0.62	1.41	0.23
1660	0.87	2918.41	2919.37	2918.82	2919.39	0.41	0.66	1.32	0.25
1640	0.87	2918.39	2919.35	2918.77	2919.37	0.38	0.6	1.45	0.22
1620	0.87	2918.37	2919.33	2918.75	2919.35	0.38	0.6	1.45	0.22
1600	0.87	2918.35	2919.31	2918.75	2919.33	0.40	0.62	1.41	0.23

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Podemos observar el resumen de los resultados que genera HEC – RAS en la abscisa en estudio, velocidad media de la sección y la profundidad crítica calculada.

Tabla 32: Comparación de resultados en campo y simulación en HEC – RAS

PUNTO 3			
Ubicación			
Norte:	9851063.422		
Este:	764615.225		
Cota:	2919.838		
Hec - Ras	1+680 km	Civil 3D	1+010 km
Datos calculados			
Caudal	0.87	m ³ /s	
Velocidad	0.59	m/s	
Calado	0.95	m	
Calibración de simulación			
n	Vm (m/s)	Yn (m)	Si cumple/no cumple
0.013	1.09	0.63	No cumple
0.020	0.84	0.77	No cumple
0.025	0.72	0.87	No cumple
0.030	0.62	0.96	Si cumple

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La comparación de resultados nos permite verificar que las condiciones reales en campo se vean reflejados en la simulación, se puede apreciar como los datos simulados son muy cercanos a los reales con un coeficiente de Manning de 0.030 en base al estudio bibliográfico el coeficiente de rugosidad se acerca a un canal abierto con fondo cubierto de raíces de maleza, lo cual pudo ser apreciado por la presencia de cultivos junto al borde del canal; por las características simuladas se puede determinar que el estado de flujo es subcrítico.

4.5.3.4.4 Ilustración 3D del punto 3



Figura 51: Esquema en 3 dimensiones

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.5.4 Sección transversal 4

4.5.4.1 Datos de velocidad in situ

Tabla 33: Datos de velocidad en campo del Punto 4

MATRIZ PARA DATOS DE VELOCIDAD										
Realizado por:	CARLOS GONZALO TIPANTASIG MASABANDA						Ubicación			
Fecha:	AGOSTO 30, 2018						Norte:	9850861.153		
Tramo:	OVALO 17 AL 20						Este:	764851.837		
Abscisa HEC - RAS:	1+240 KM	Abscisa Civil 3D:	1+450 KM			Cota:	2919.34			
Calado	Velocidad m/s									
	1(inicio)	2	3	4	5	6	7(fin)	8	9	10
20%*Y		0.62	0.71	0.67	0.60	0.63				
		0.63	0.65	0.64	0.62	0.65				
0.22		0.58	0.67	0.57	0.64	0.69				
Promedio		0.61	0.68	0.63	0.62	0.66				
60%*Y		0.80	1.10	1.19	1.11	0.78				
		0.70	0.98	1.21	1.14	0.75				
0.65		0.65	0.95	1.23	1.17	0.72				
Promedio		0.72	1.01	1.21	1.14	0.75				
80%*Y			0.8	0.95	0.85					
			0.82	1.01	0.91					
0.86			0.91	1.08	0.94					
Promedio			0.84	1.01	0.90					

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.5.4.2 Curvas de distribución transversal de velocidades

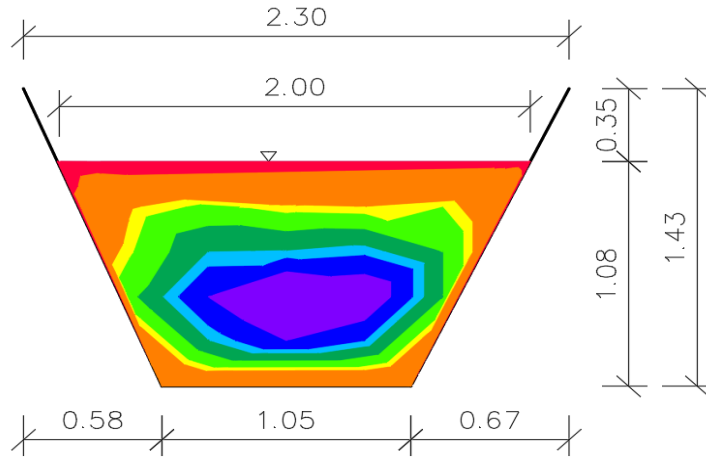


Figura 52: Curvas de distribución transversal de velocidades del Punto 4

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

El análisis muestra que existen velocidades inferiores a 0.40 m/s en la superficie del agua, mientras que en las paredes se notan velocidades de rango medio – bajo que van de 0.40 m/s a 0.60 m/s.

Tabla 34: Rango de velocidades

Rango de velocidades				
Número	Velocidad mínima m/s	Velocidad máxima m/s	Área m ²	Color
1	0.30	0.40	0.11	Red
2	0.40	0.62	0.50	Orange
3	0.62	0.66	0.11	Yellow
4	0.66	0.75	0.26	Light Green
5	0.75	0.84	0.22	Dark Green
6	0.84	0.90	0.11	Cyan
7	0.90	1.01	0.17	Dark Blue
8	1.01	1.21	0.16	Purple

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

En la tabla se puede apreciar los 8 rangos de velocidad propuestos para la apreciación de la variación del flujo en su sección transversal mostrando una velocidad alta de 1.21 m/s a una profundidad igual al 60% del calado de la sección en este punto.

4.5.4.3 Cálculo de caudal y velocidad media

a) Método 1 cálculo de caudal medio con datos al 20% y 80% del calado.

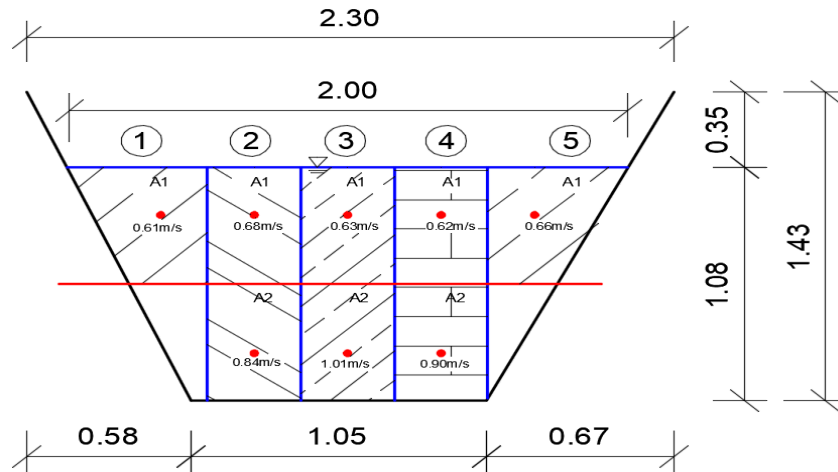


Figura 53: División de franjas verticales del Método 1

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 35: Resultados del cálculo de caudal medio por el Método 1

Franja #	Vi (m/s)	Valores de Pm (m)			Pm (m)	Ancho de franja ba (m)	Área m ²	Caudal m ³ /s
		a	b	c				
1	0.61	0.32	0.22	0.22	0.245	0.39	0.096	0.058
2	0.68	0.32	0.22	0.22	0.245	0.33	0.081	0.055
	0.84	0.22	0.86	0.32	0.565	0.33	0.186	0.157
3	0.63	0.32	0.22	0.22	0.245	0.33	0.081	0.051
	1.01	0.22	0.86	0.32	0.565	0.33	0.186	0.189
4	0.62	0.32	0.22	0.22	0.245	0.33	0.081	0.050
	0.90	0.22	0.86	0.32	0.565	0.33	0.186	0.168
5	0.66	0.32	0.22	0.22	0.245	0.39	0.096	0.063
Caudal total=				0.791	m ³ /s			

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La tabla muestra en forma de resumen los cálculos del cálculo de cada franja en la sección transversal cuyo caudal total es de 0.791 m³/s

b) Método 2 cálculo de caudal medio con datos al 60% del calado

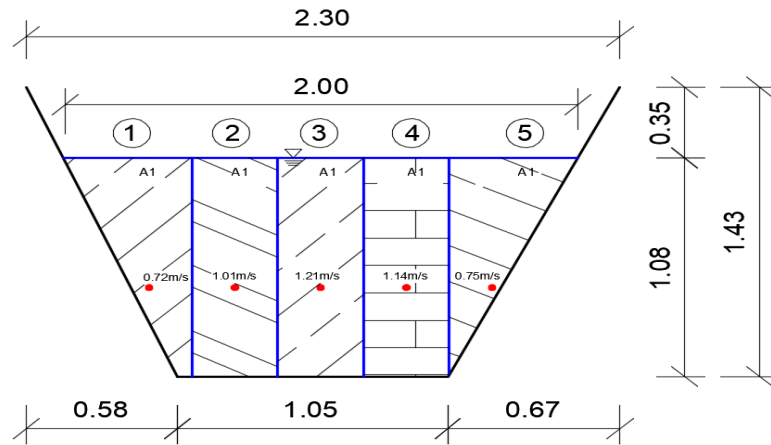


Figura 54: División de franjas verticales del Método 2

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 36: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 2

Franja #	Vi (m/s)	Valores de Pm (m)			Pm (m)	Ancho de franja ba (m)	Área m2	Caudal m3/s
		a	b	c				
1	0.72	0.44	0.64	0.64	0.590	0.28	0.165	0.118
2	1.01	0.44	0.64	0.64	0.590	0.33	0.195	0.197
3	1.21	0.44	0.64	0.64	0.590	0.33	0.195	0.236
4	1.14	0.44	0.64	0.64	0.590	0.33	0.195	0.222
5	0.75	0.44	0.64	0.64	0.590	0.28	0.165	0.124
Caudal total=				0.896	m3/s			

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 37: Comparación de resultados del Método 1 y 2

Resumen de resultados				
Caudales			Área total	Velocidad media
CAUDAL 20% Y 80%	0.791	m3/s	1.645	0.481 m/s
CAUDAL 60%	0.896	m3/s		0.545 m/s

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se tomará como dato para el ingreso en Hec – Ras el caudal y la velocidad más alta en este caso será el caudal de $0.90 \text{ m}^3/\text{s}$ y una velocidad de 0.55 m/s

4.5.4.4 Simulación y análisis de datos en HEC – RAS 5.0.5

4.5.4.4.1 Sección transversal

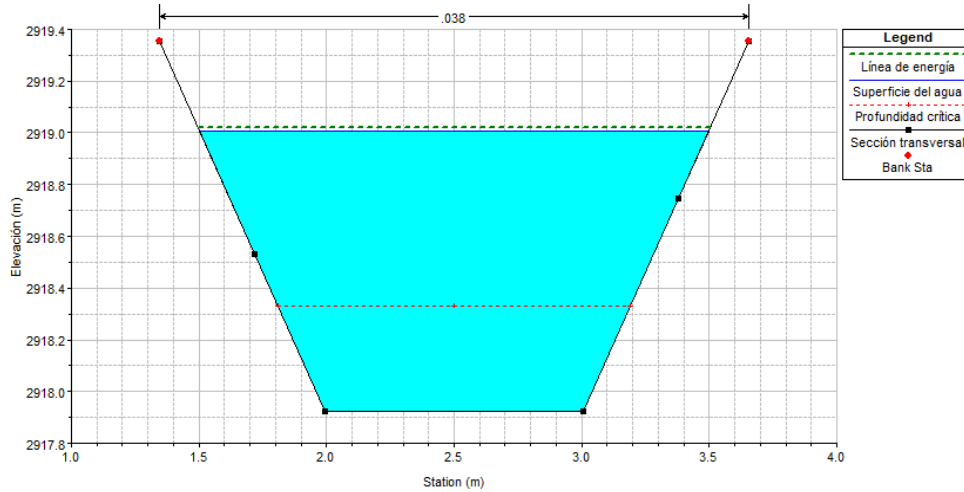


Figura 55: Sección transversal de HEC – RAS

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se puede observar la sección transversal en la primera simulación la cual se encuentra en la abscisa 1+240 KM con un calado de 1.08 m, en donde el programa nos muestra los parámetros calculados como la línea de energía con una línea entrecortada en color verde y calado crítico con una línea entrecortada de color rojo y nuestro variable ingresada en la parte superior el coeficiente de Manning de 0.038.

4.5.4.4.2 Graficas de numero de Froude, Velocidad y Curva de descarga

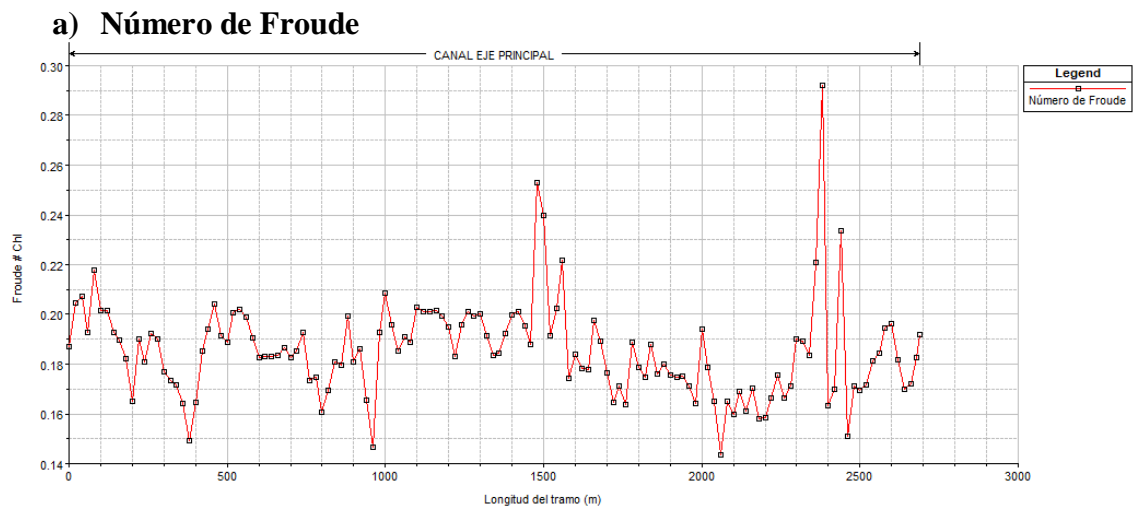


Figura 56: Curva de Número de Froude vs Longitud total

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

En la gráfica se puede observar la variación del número de Froude a lo largo del canal, en el punto analizado para un caudal de 0.87 m³/s nos da como resultado un valor de 0.20.

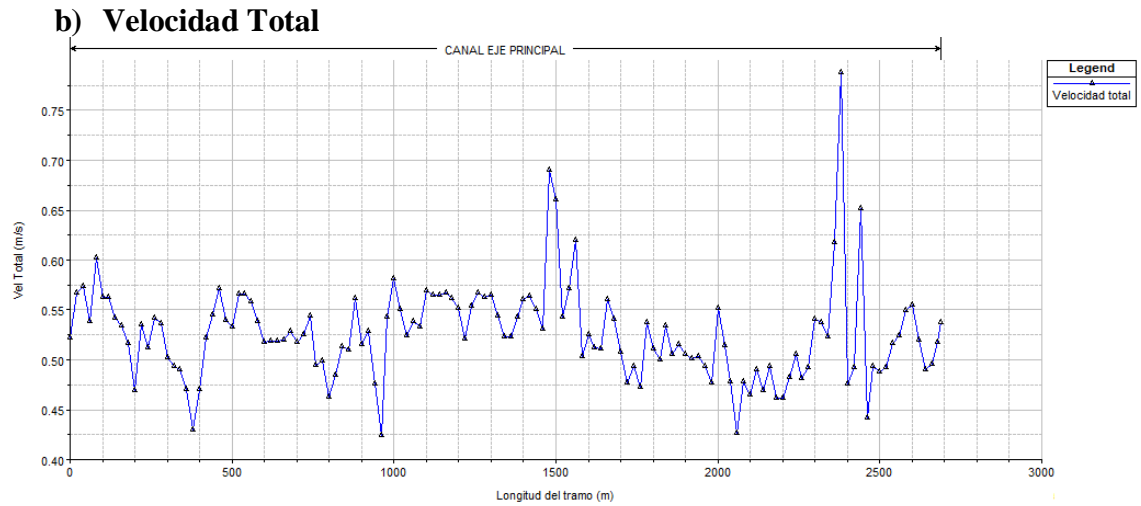


Figura 57: Curva de Velocidad vs Longitud total.

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La velocidad que se presenta en el punto de análisis es de 0.55 m/s el cual se acerca al tomado en campo de 0.54 m/s donde podemos observar una variación o desviamiento de 0.01m/s.

c) Curva de descarga

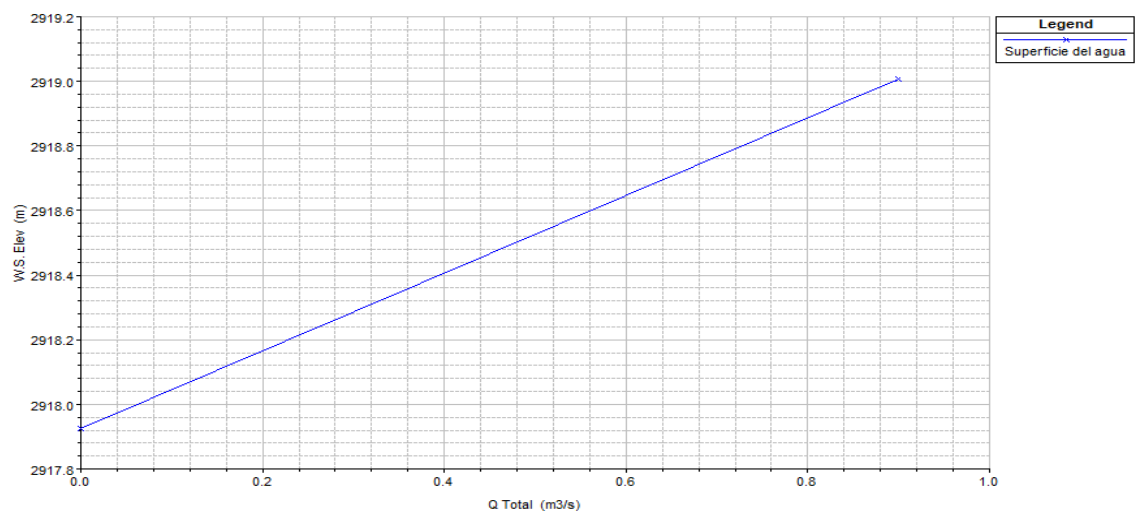


Figura 58: Curva de descarga Nivel de agua vs Caudal.

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La grafica de calado vs caudal total se presenta de manera lineal debido a que los datos ingresados están al inicio del canal aguas arriba en la cota más alta y las condiciones se mantienen a lo largo del mismo.

4.5.4.4.3 Tablas de resumen de resultados

Tabla 38: Resultados obtenidos mediante simulación

Abscisa	Q Total	Cota inferior	Nivel de agua	Prof. Crítica	L. energía	Prof. Crítica	Velocidad	Area	N.
	(m ³ /s)	(m)	Elev. (m)	Elev. (m)	Elev (m)	(m)	(m/s)	(m ²)	Froude
1320	0.9	2918.02	2919.1	2918.42	2919.12	0.40	0.54	1.66	0.19
1300	0.9	2918	2919.08	2918.41	2919.1	0.41	0.57	1.59	0.20
1280	0.9	2917.98	2919.06	2918.39	2919.07	0.41	0.56	1.6	0.20
1260	0.9	2917.95	2919.03	2918.36	2919.05	0.41	0.57	1.59	0.20
1240	0.9	2917.92	2919.01	2918.33	2919.02	0.41	0.55	1.62	0.20
1220	0.9	2917.91	2918.99	2918.29	2919	0.38	0.52	1.73	0.18
1200	0.9	2917.88	2918.96	2918.28	2918.98	0.40	0.55	1.63	0.19
1180	0.9	2917.86	2918.94	2918.27	2918.95	0.41	0.56	1.6	0.20
1160	0.9	2917.84	2918.91	2918.25	2918.93	0.41	0.57	1.59	0.20

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Podemos observar el resumen de los resultados que genera HEC – RAS en la abscisa en estudio, velocidad media de la sección y la profundidad critica calculada.

Tabla 39: Comparación de resultados en campo y simulación en HEC – RAS

PUNTO 4			
Ubicación			
<i>Norte:</i>	9850861.153		
<i>Este:</i>	764851.837		
<i>Cota:</i>	2919.340		
<i>Hec - Ras</i>	1+240 km	<i>Civil 3D</i>	1+450 km
Datos calculados			
Caudal	0.90	m ³ /s	
Velocidad	0.54	m/s	
Calado	1.08	m	
Calibración de simulación			
n	Vm (m/s)	Yn (m)	Si cumple/no cumple
0.013	1.21	0.59	No cumple
0.020	0.89	0.75	No cumple
0.035	0.59	1.04	No cumple
0.038	0.55	1.09	Si cumple

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La comparación de resultados nos permite verificar que las condiciones reales en campo se ven reflejados en la simulación, se puede apreciar como los datos simulados son muy cercanos a los reales con un coeficiente de Manning de 0.038 siendo el valor más alto calculado mediante la simulación lo que indica que la superficie del canal en el fondo cuenta con presencia de grava y gravilla esto puede deberse a que muy cerca del punto en estudio cruzan las vías del tren las cuales bajo sus tienen presencia de este material además que las paredes laterales tienen gran presencia de vegetación sobre el hormigón desgastado.

4.5.4.4 Ilustración 3D del punto 4

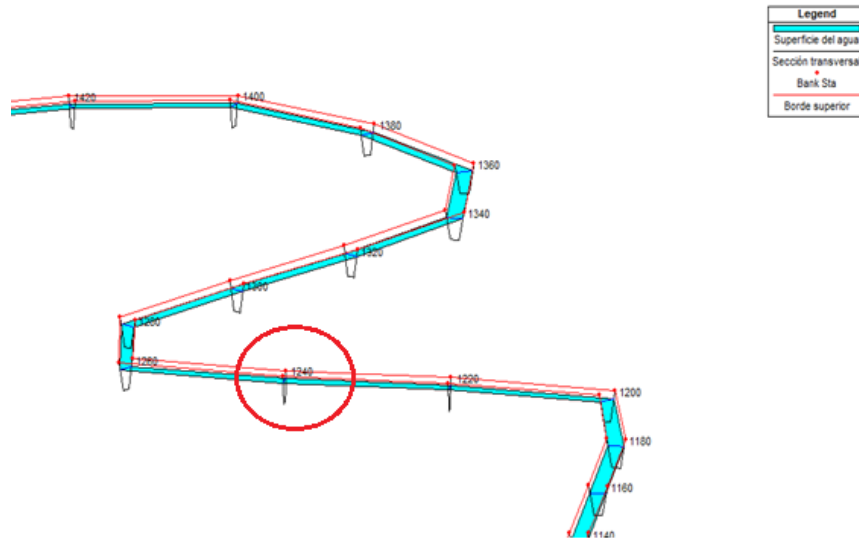


Figura 59: Esquema en 3 dimensiones

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.5.5 Sección transversal 5

4.5.5.1 Datos de velocidad in situ

Tabla 40: Datos de velocidad en campo del Punto 5

MATRIZ PARA DATOS DE VELOCIDAD										
Realizado por:	CARLOS GONZALO TIPANTASIG MASABANDA						Ubicación			
Fecha:	AGOSTO 30, 2018						Norte:	9850536.206		
Tramo:	OVALO 17 AL 20						Este:	764794.092		
Abscisa HEC - RAS:	0+780 KM		Abscisa Civil 3D:	1+900 KM		Cota:	2918.815			
Calado	Velocidad m/s									
	1(inicio)	2	3	4	5	6	7(fin)	8	9	10
20%* Y		0.72	0.77	0.83	0.74	0.71				
	0.19	0.61	0.87	0.79	0.81	0.68				
Promedio		0.68	0.80	0.82	0.78	0.71				
60%* Y		0.98	1.31	1.48	1.55	1.05				
	0.57	1.17	1.46	1.57	1.45	1.08				
Promedio		1.10	1.42	1.53	1.49	1.09				
80%* Y			1.22	1.10	1.27					
	0.76		1.24	1.28	1.25					
Promedio			1.21	1.21	1.25					

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.5.5.2 Curvas de distribución transversal de velocidades

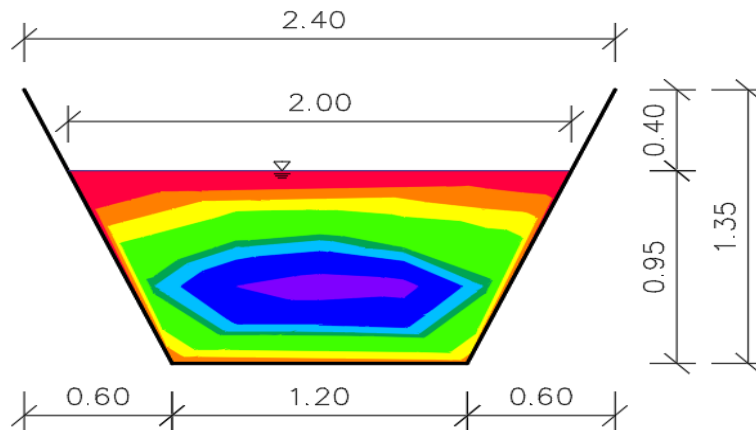


Figura 60: Curvas de distribución transversal de velocidades del Punto 5

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Mediante el análisis se pudo determinar que en esta sección del canal se presentan velocidades bajas en la superficie del agua, pero en las paredes del canal se presentan velocidades en un rango medio.

Tabla 41: Rango velocidades

Rango de velocidades				
Número	Velocidad mínima m/s	Velocidad máxima m/s	Area m ²	Color
1	0.35	0.60	0.22	Red
2	0.60	0.71	0.19	Orange
3	0.71	0.82	0.20	Yellow
4	0.82	1.06	0.40	Light Green
5	1.06	1.11	0.08	Dark Green
6	1.11	1.21	0.13	Cyan
7	1.21	1.42	0.25	Blue
8	1.42	1.53	0.06	Purple

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La velocidad más baja observada es de 0.35 m/s a 0.60 m/s que se observa cerca de la superficie del agua, mientras que en las paredes del canal existen velocidades de hasta 1.11 m/s.

4.5.5.3 Cálculo de caudal y velocidad media

a) Método 1 cálculo de caudal medio con datos al 20% y 80% del calado

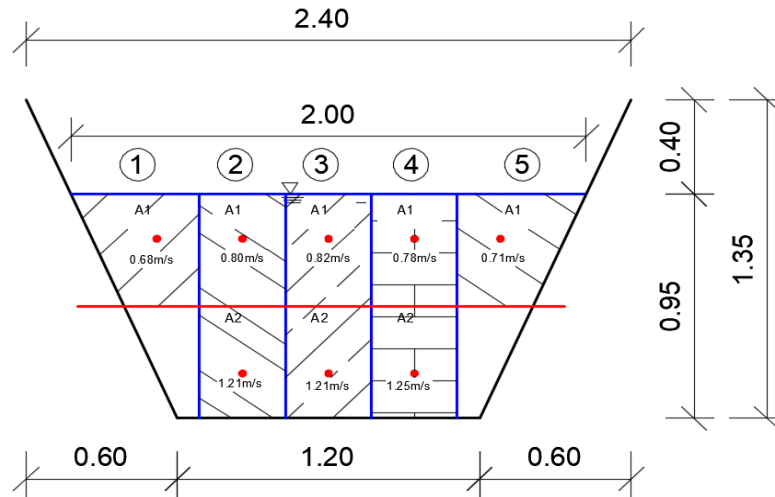


Figura 61: División de franjas verticales del Método 1

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 42: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 1

Franja #	Vi (m/s)	Valores de Pm (m)			Pm (m)	Ancho de franja ba (m)	Área m2	Caudal m3/s
		a	b	c				
1	0.68	0.19	0.19	0.29	0.215	0.41	0.088	0.060
2	0.80	0.19	0.19	0.29	0.215	0.34	0.073	0.058
	1.21	0.29	0.76	0.19	0.500	0.34	0.170	0.206
3	0.82	0.19	0.19	0.29	0.215	0.34	0.073	0.060
	1.21	0.29	0.76	0.19	0.500	0.34	0.170	0.206
4	0.78	0.19	0.19	0.29	0.215	0.34	0.073	0.057
	1.25	0.29	0.76	0.19	0.500	0.34	0.170	0.213
5	0.71	0.19	0.19	0.29	0.215	0.41	0.088	0.063
Caudal total=				0.923	m3/s			

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La tabla muestra en forma de resumen los cálculos del cálculo de cada franja en la sección transversal cuyo caudal total es de 0.923 m³/s

b) Método 2 cálculo de caudal medio con datos al 60% del calado

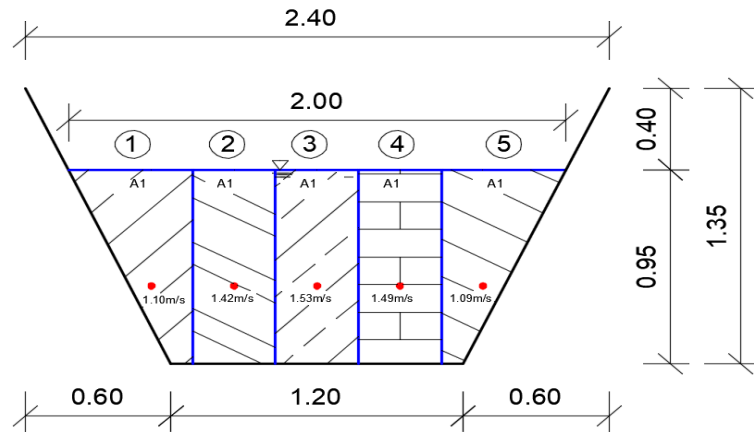


Figura 62: División de franjas vertical del Método 2

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 43: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 2

Franja #	Vi (m/s)	Valores de Pm (m)			Pm (m)	Ancho de franja ba (m)	Área m ²	Caudal m ³ /s
		a	b	c				
1	1.10	0.57	0.57	0.38	0.523	0.31	0.162	0.178
2	1.42	0.57	0.57	0.38	0.523	0.34	0.178	0.252
3	1.53	0.57	0.57	0.38	0.523	0.34	0.178	0.272
4	1.49	0.57	0.57	0.38	0.523	0.34	0.178	0.265
5	1.09	0.57	0.57	0.38	0.523	0.31	0.162	0.176
Caudal total=				1.144	m ³ /s			

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 44: Comparación de resultados del Método 1 y 2

Resumen de resultados				
Caudales			Área total	Velocidad media
CAUDAL 20% Y 80%	0.923	m ³ /s	1.541	0.599 m/s
CAUDAL 60%	1.144	m ³ /s		0.742 m/s

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se tomará como dato para el ingreso en Hec – Ras el caudal y la velocidad más alta en este caso será el caudal de 1.14 m³/s y una velocidad de 0.74 m/s

4.5.5.4 Simulación y análisis de datos en HEC – RAS 5.0.5

4.5.5.4.1 Sección transversal

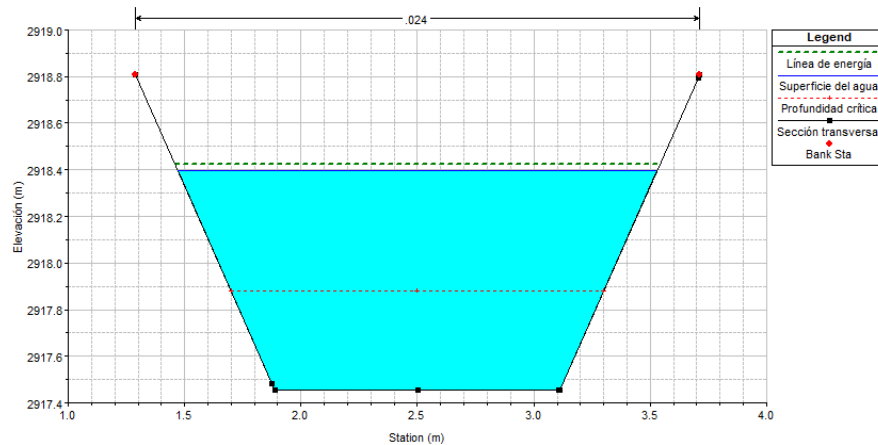


Figura 63: Sección transversal de HEC – RAS

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se puede observar la sección transversal en la primera simulación la cual se encuentra en la abscisa 0+780 KM con un calado de 0.94 m, en donde el programa nos muestra los parámetros calculados como la línea de energía con una línea entrecortada en color verde y calado crítico con una línea entrecortada de color rojo y nuestro variable ingresada en la parte superior el coeficiente de Manning de 0.024.

4.5.5.4.2 Graficas de numero de Froude, Velocidad y Curva de descarga

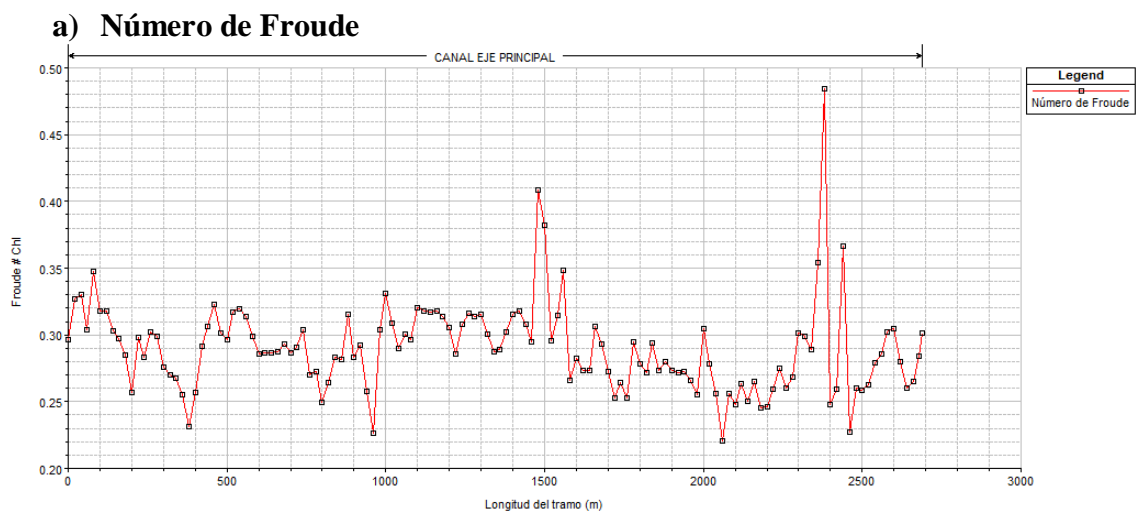


Figura 64: Curva de Número de Froude vs Longitud total

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

En la gráfica se puede observar la variación del número de Froude a lo largo del canal, en el punto analizado para un caudal de 1.14 m³/s nos da como resultado un valor de 0.27.

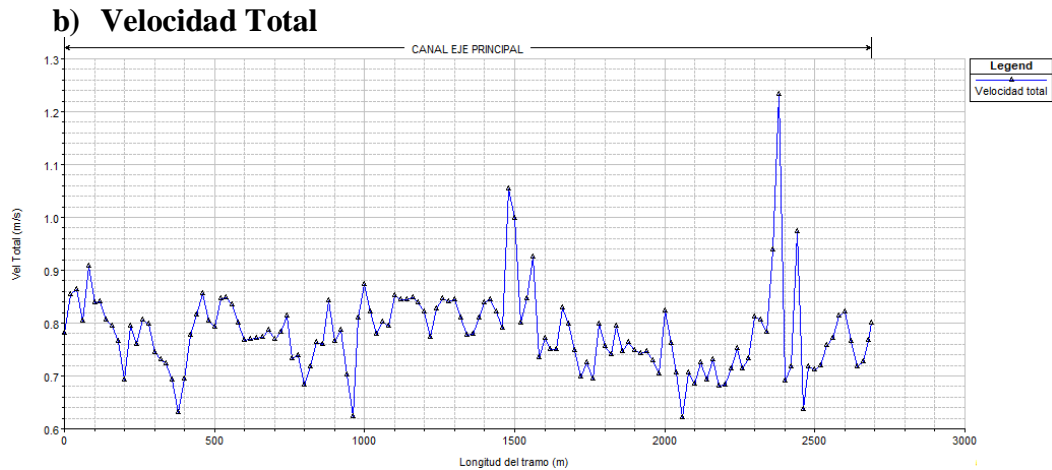


Figura 65: Curva de Velocidad vs Longitud total

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La velocidad que se presenta en el punto de análisis es de 0.74 m/s el cual se acerca al tomado en campo de 0.74 m/s donde podemos observar que no hay una variación.

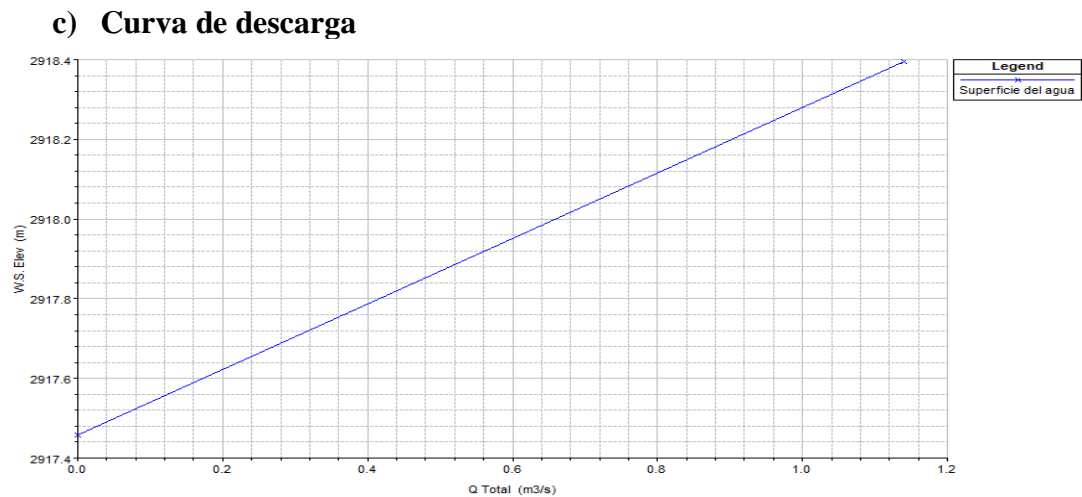


Figura 66: Curva de descarga Nivel de agua vs Calado

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La grafica de calado vs caudal total se presenta de manera lineal debido a que los datos ingresados están al inicio del canal aguas arriba en la cota más alta y las condiciones se mantienen a lo largo del mismo.

4.5.5.4.3 Tablas de resumen de resultados

Tabla 45: Resultados obtenidos mediante simulación

Abscisa	Q Total	Cota inferior	Nivel de agua	Prof. Crítica	L. energía	Prof. Crítica	Velocidad	Area	N. Froude
	(m ³ /s)	(m)	Elev. (m)	Elev. (m)	Elev (m)	(m)	(m/s)	(m ²)	
860	1.14	2917.54	2918.46	2917.95	2918.49	0.41	0.76	1.5	0.28
840	1.14	2917.51	2918.44	2917.94	2918.47	0.43	0.76	1.49	0.28
820	1.14	2917.5	2918.43	2917.91	2918.46	0.41	0.72	1.59	0.26
800	1.14	2917.48	2918.42	2917.87	2918.44	0.39	0.68	1.67	0.25
780	1.14	2917.46	2918.4	2917.88	2918.42	0.42	0.74	1.54	0.27
760	1.14	2917.44	2918.38	2917.86	2918.41	0.42	0.73	1.56	0.27
740	1.14	2917.43	2918.35	2917.88	2918.39	0.45	0.81	1.4	0.3
720	1.14	2917.4	2918.33	2917.84	2918.37	0.44	0.78	1.46	0.29
700	1.14	2917.39	2918.31	2917.82	2918.35	0.43	0.77	1.48	0.29

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Podemos observar el resumen de los resultados que genera HEC – RAS en la abscisa en estudio, velocidad media de la sección y la profundidad crítica calculada.

Tabla 46: Comparación de resultados en campo y simulados en HEC – RAS

PUNTO 5			
Ubicación			
<i>Norte:</i>	9850536.206		
<i>Este:</i>	764794.092		
<i>Cota:</i>	2918.815		
<i>Hec - Ras</i>	0+780 km	<i>Civil 3D</i>	1+900 km
Datos calculados			
Caudal	1.14	m ³ /s	
Velocidad	0.74	m/s	
Calado	0.95	m	
Calibración de simulación			
n	Vm (m/s)	Yn (m)	Si cumple/no cumple
0.013	1.12	0.66	No cumple
0.020	0.84	0.84	No cumple
0.025	0.72	0.96	No cumple
0.024	0.74	0.94	Si cumple

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La comparación de resultados nos permite verificar que las condiciones reales en campo se vean reflejados en la simulación, se puede apreciar como los datos simulados son muy cercanos a los reales con un coeficiente de Manning de 0.024 que equivale a una superficie de hormigón lanzado con una buena sección y con poca presencia de sedimentos en el fondo del canal y vegetación en las paredes, es de gran ayuda las planchas de hormigón colocados antes y después del punto en estudio en la conservación de las características físicas del canal

4.5.5.4.4 Ilustración 3D del punto 5

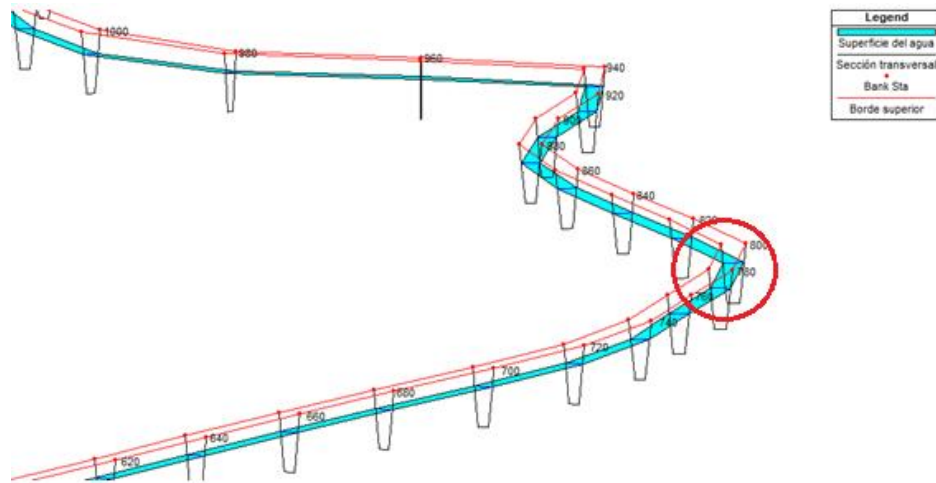


Figura 67: Esquema en 3 dimensiones

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.5.6 Sección transversal 6

4.5.6.1 Datos de velocidad in situ

Tabla 47: Datos de velocidad en campo del Punto 6

MATRIZ PARA DATOS DE VELOCIDAD										
Realizado por:	CARLOS GONZALO TIPANTASIG MASABANDA						Ubicación			
Fecha:	AGOSTO 30, 2018						Norte:	9850264.753		
Tramo:	OVALO 17 AL 20						Este:	764660.447		
Abscisa HEC - RAS:	0+340 KM		Abscisa Civil 3D:	2+350 KM		Cota:	2918.275			

Calado	Velocidad m/s									
	1(inicio)	2	3	4	5	6	7(fin)	8	9	10
20%* Y 0.16		0.70	0.82	0.90	0.83	0.74				
		0.75	0.85	0.79	0.82	0.70				
	Promedio	0.70	0.82	0.89	0.85	0.73				
60%* Y 0.48		1.15	1.36	1.40	1.42	1.18				
		1.16	1.38	1.39	1.39	1.08				
	Promedio	1.17	1.38	1.39	1.39	1.14				
80%* Y 0.64			1.03	1.15	1.11					
			1.12	1.16	1.12					
	Promedio		1.02	1.16	1.10					

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.5.6.2 Curva de distribución de velocidades

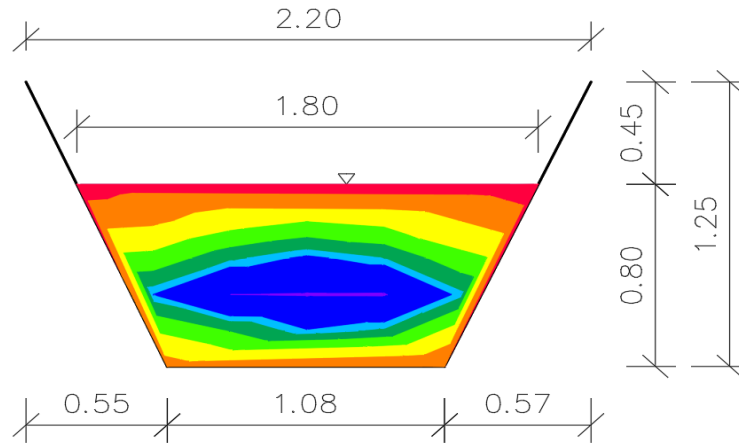


Figura 68: Curvas de distribución transversal de velocidades del Punto 6

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Mediante el análisis se pudo determinar que en esta sección del canal se presentan velocidades bajas en la superficie del agua, pero en las paredes del canal se presentan velocidades en un rango medio, así mismo se puede observar en una zona pequeña de color morado un rango de velocidad que va de 1.38 m/s a 1.39m/s.

Tabla 48: Rango de velocidades

Rango de velocidades				
Número	Velocidad mínima m/s	Velocidad máxima m/s	Area m ²	Color
1	0.40	0.54	0.09	Red
2	0.54	0.73	0.22	Orange
3	0.73	0.89	0.22	Yellow
4	0.89	1.02	0.18	Light Green
5	1.02	1.12	0.14	Green
6	1.12	1.17	0.07	Cyan
7	1.17	1.38	0.22	Blue
8	1.38	1.39	0.01	Purple

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La velocidad más baja observada es de 0.40 m/s a 0.54 m/s que se observa cerca de la superficie del agua, mientras que en las paredes del canal existen velocidades de hasta 1.12 m/s y se observa una zona pequeña con la mayor velocidad en esta sección.

4.5.6.3 Cálculo de caudal y velocidad media

a) Método 1 cálculo de caudal medio con datos al 20% y 80% del calado

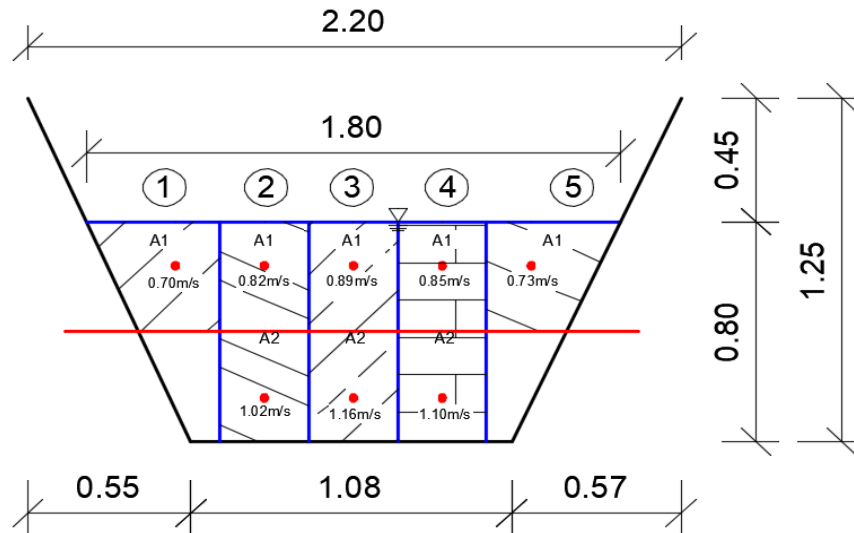


Figura 69: División de franjas verticales del Método 1

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 49: Resultados del cálculo del caudal medio con el Método 1

Franja #	Vi (m/s)	Valores de Pm (m)			Pm (m)	Ancho de franja ba (m)	Área m2	Caudal m3/s
		a	b	c				
1	0.70	0.16	0.16	0.24	0.180	0.35	0.063	0.044
2	0.82	0.16	0.16	0.24	0.180	0.30	0.054	0.044
	1.02	0.24	0.64	0.16	0.420	0.30	0.126	0.129
3	0.89	0.16	0.16	0.24	0.180	0.30	0.054	0.048
	1.16	0.24	0.64	0.16	0.420	0.30	0.126	0.146
4	0.85	0.16	0.16	0.24	0.180	0.30	0.054	0.046
	1.10	0.24	0.64	0.16	0.420	0.30	0.126	0.139
5	0.73	0.16	0.16	0.24	0.180	0.35	0.063	0.046
Caudal total=				0.642	m3/s			

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La tabla muestra en forma de resumen los cálculos del cálculo de cada franja en la sección transversal cuyo caudal total es de 0.642 m³/s

b) Método 2 cálculo de caudal medio con datos al 60% del calado

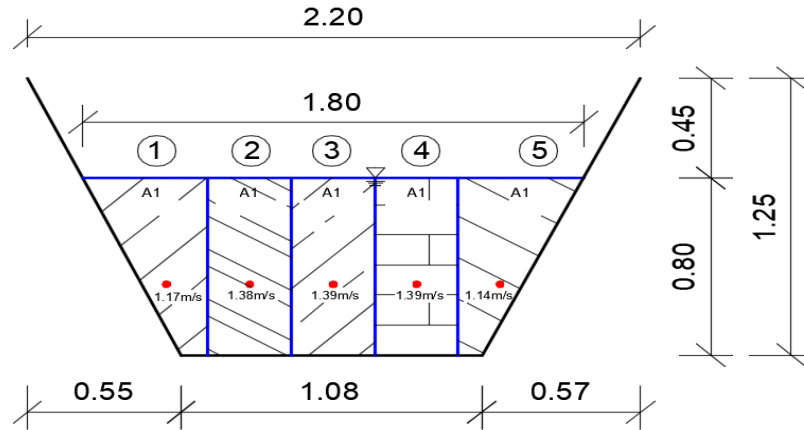


Figura 70: División de franjas verticales del Método 2

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 50: Resultados del cálculo del caudal medio por el Método 2

Franja #	Vi (m/s)	Valores de Pm (m)			Pm (m)	Ancho de franja ba (m)	Área m ²	Caudal m ³ /s
		a	b	c				
1	1.17	0.32	0.48	0.48	0.440	0.27	0.119	0.139
2	1.38	0.32	0.48	0.48	0.440	0.30	0.132	0.182
3	1.39	0.32	0.48	0.48	0.440	0.30	0.132	0.184
4	1.39	0.32	0.48	0.48	0.440	0.30	0.132	0.184
5	1.14	0.32	0.48	0.48	0.440	0.26	0.114	0.130
Caudal total=				0.819	m ³ /s			

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 51: Comparación de resultados del Método 1 y 2

Resumen de resultados				
Caudales			Área total	Velocidad media
CAUDAL 20% Y 80%	0.642	m ³ /s		
CAUDAL 60%	0.819	m ³ /s	0.712 m/s	

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se tomará como dato para el ingreso en Hec – Ras el caudal y la velocidad más alta en este caso será el caudal de 0.82 m³/s y una velocidad de 0.71 m/s

4.5.6.4 Simulación y análisis de datos en HEC – RAS 5.0.5

4.5.6.4.1 Sección transversal

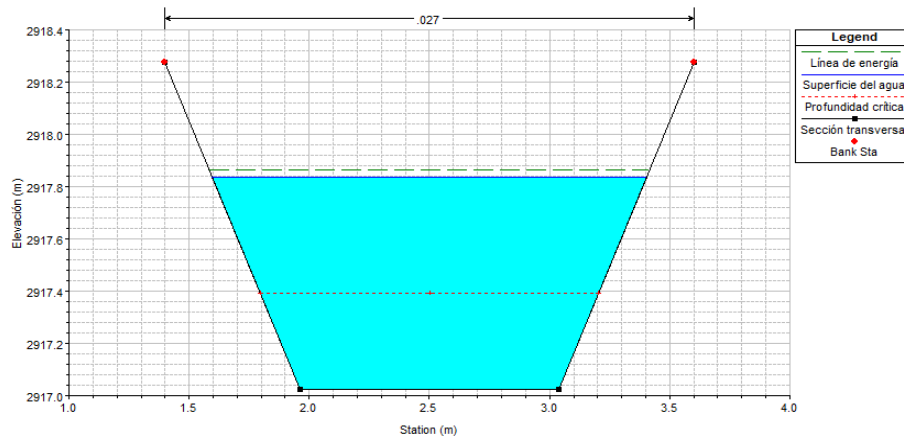


Figura 71: Sección transversal de HEC – RAS

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se puede observar la sección transversal en la primera simulación la cual se encuentra en la abscisa 0+340 KM en donde el programa nos muestra los parámetros calculados como la línea de energía con una línea entrecortada en color verde y calado crítico con una línea entrecortada de color rojo y nuestro variable ingresada en la parte superior el coeficiente de Manning de 0.027.

4.5.6.4.2 Graficas de numero de Froude, Velocidad y Curva de descarga

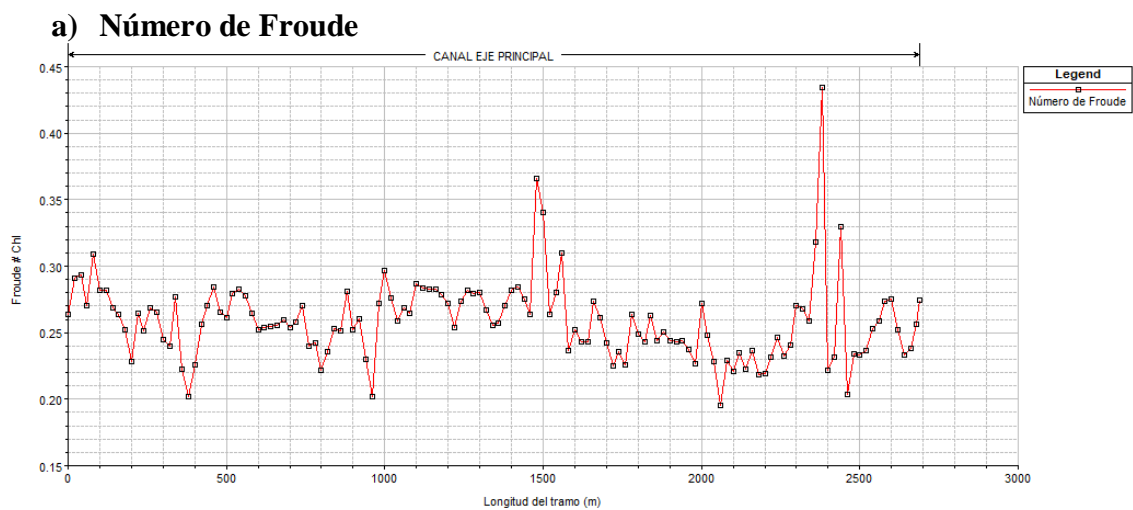


Figura 72: Curva de Número de Froude vs Longitud total

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

En la gráfica se puede observar la variación del número de Froude a lo largo del canal, en el punto analizado para un caudal de 0.82 m³/s nos da como resultado un valor de 0.28.

b) Velocidad Total

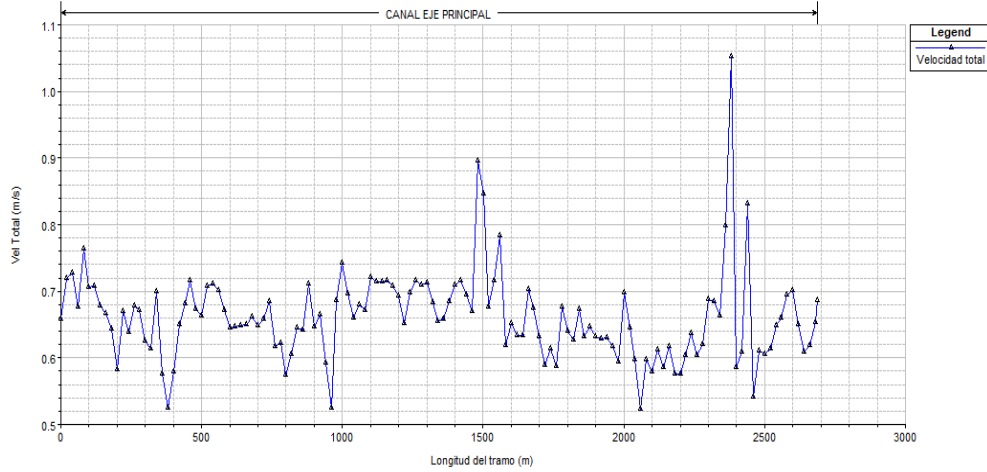


Figura 73: Curva de Velocidad vs Longitud total

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La velocidad que se presenta en el punto de análisis es de 0.70 m/s el cual se acerca al tomado en campo de 0.71 m/s donde podemos observar que hay una variación de 0.01 m/s

c) Curva de descarga

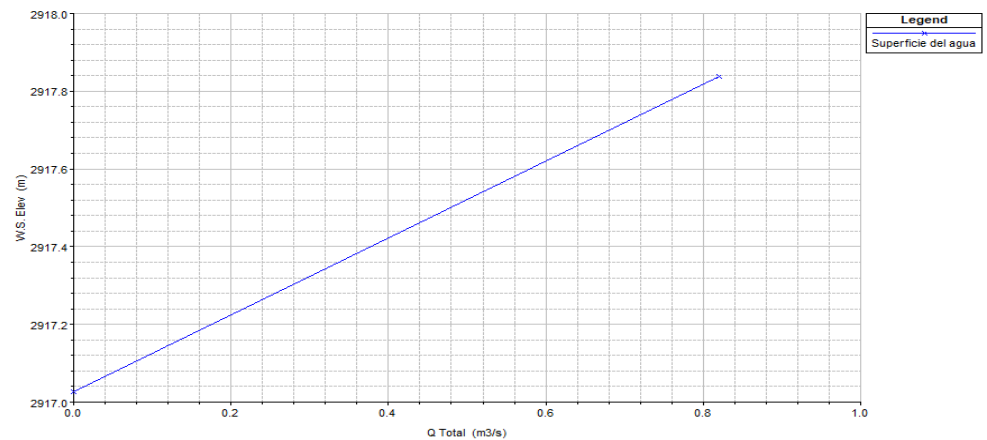


Figura 74: Curva de descarga Nivel de agua vs Caudal

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La grafica de calado vs caudal total se presenta de manera lineal debido a que los datos ingresados están al inicio del canal aguas arriba en la cota más alta y las condiciones se mantienen a lo largo del mismo.

4.5.6.4.3 Tablas de resumen de resultados

Tabla 52: Resultados obtenidos mediante simulación

Abscisa	Q Total	Cota inferior	Nivel de agua	Prof. Crítica	L. energía	Prof. Crítica	Velocidad	Area	N. Froude
	(m3/s)	(m)	Elev. (m)	Elev. (m)	Elev (m)	(m)	(m/s)	(m2)	
420	0.82	2917.1	2917.9	2917.45	2917.93	0.35	0.65	1.26	0.26
400	0.82	2917.08	2917.89	2917.4	2917.91	0.32	0.58	1.42	0.23
380	0.82	2917.07	2917.88	2917.36	2917.89	0.29	0.52	1.56	0.2
360	0.82	2917.05	2917.87	2917.36	2917.88	0.31	0.58	1.43	0.22
340	0.82	2917.03	2917.84	2917.39	2917.86	0.36	0.70	1.17	0.28
320	0.82	2917.01	2917.82	2917.34	2917.84	0.33	0.61	1.34	0.24
300	0.82	2917	2917.8	2917.33	2917.82	0.33	0.63	1.31	0.25
280	0.82	2916.98	2917.78	2917.33	2917.81	0.35	0.67	1.22	0.27
260	0.82	2916.96	2917.76	2917.31	2917.78	0.35	0.68	1.21	0.27

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasi Masabanda, Autor

Podemos observar el resumen de los resultados que genera HEC – RAS en la abscisa en estudio, velocidad media de la sección y la profundidad crítica calculada.

Tabla 53: Comparación de resultados en campo y simulados en HEC – RAS

PUNTO 6			
Ubicación			
<i>Norte:</i>	9850264.753		
<i>Este:</i>	764660.447		
<i>Cota:</i>	2918.275		
<i>Hec - Ras</i>	0+340 km	<i>Civil 3D</i>	2+350 km
Datos calculados			
Caudal	0.82	m3/s	
Velocidad	0.71	m/s	
Calado	0.80	m	
Calibración de simulación			
n	Vm (m/s)	Yn (m)	Si cumple/no cumple
0.013	1.18	0.52	X
0.020	0.87	0.68	X
0.025	0.74	0.77	X
0.027	0.70	0.81	O

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasi Masabanda, Autor

La comparación de resultados nos permite verificar que las condiciones reales en campo se vean reflejados en la simulación, se puede apreciar como los datos

simulados son muy cercanos a los reales con un coeficiente de Manning de 0.027 lo que indica la presencia de tierra en el fondo del canal, adicionalmente a esto presencia de maleza y bancos de hierbas, en las paredes la vegetación es poco visible pero el desgaste es apreciable

4.5.6.4.4 Ilustración 3D del punto 6

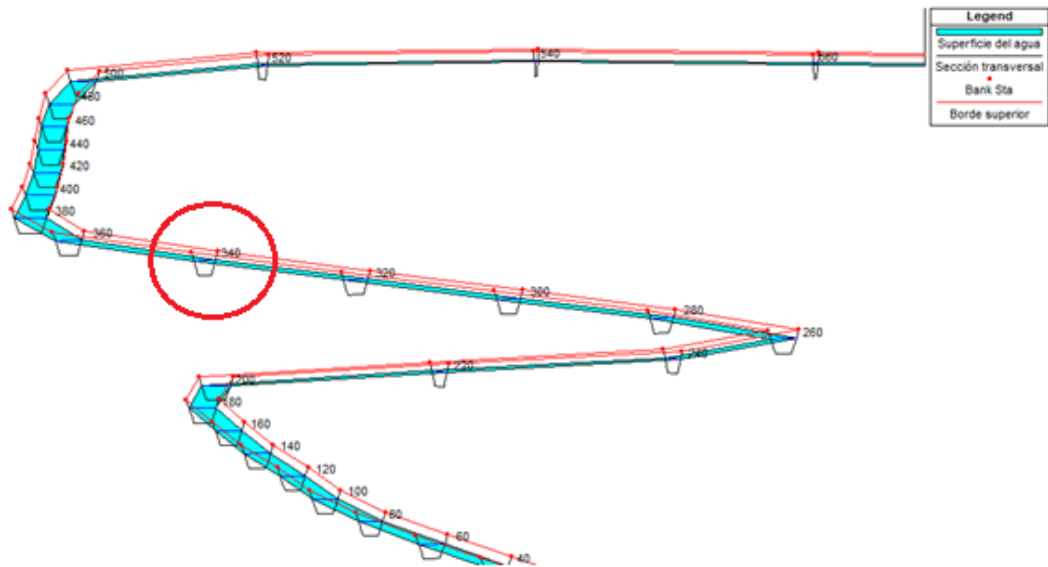


Figura 75: Esquema en 3 dimensiones

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.5.7 Simulación final

La simulación final ayuda a identificar la influencia de las características actuales del canal con un caudal promedio de entre los 6 puntos analizados y con 6 diferentes coeficientes de Manning a lo largo del tramo en estudio generándose de esta manera 6 subtramos con distintas características las cuales muestran la influencia del desgaste o deterioro de las características físicas del canal en el diseño actual de las mismas.

4.5.7.1 Esquema de distribución de tramos

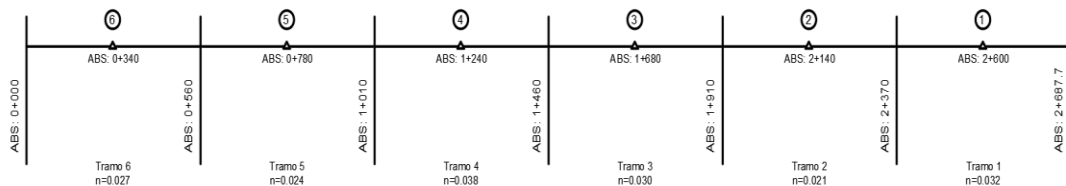


Figura 76: Esquema de distribución de subtramos

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Se realiza un esquema en el cual se pueda identificar los tramos de distribución con su respectiva abscisa inicial y final en los cuales se encuentran los puntos de estudio con sus coeficientes de Manning los cuales son diferentes en cada tramo y fueron el resultado de las simulaciones realizadas.

4.5.7.2 Datos para el análisis final

Los datos requeridos son, el caudal promedio total y los coeficientes de Manning de cada punto en estudio.

Tabla 54: Caudal promedio de los 6 puntos.

Sección transversal	Q m3/s
1	1.20
2	1.15
3	0.87
4	0.9
5	1.14
6	0.82
Caudal promedio	1.01

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Tabla 55: Coeficientes de Manning

Tramo	Coef. Manning	Abscisas	
		Inicial	Final
1	0.032	2+687.7	2+370
2	0.021	2+370	1+910
3	0.030	1+910	1+460
4	0.038	1+460	1+010
5	0.024	1+010	0+560
6	0.027	0+560	0+000

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

En la tabla siguiente podemos observar los coeficientes de Manning comparados con rangos de diferentes bibliografías para así obtener las características de la superficie que tienen las paredes laterales y el fondo del canal, donde sobre la superficie existe material orgánico como maleza, hierbas, arcilla y gravilla además de los sedimentos que se van a acumulando por la cercanía del talud derecho al canal

Tabla 56: Características del canal según el coeficiente de Manning

Sección	Bibliografía	n	Rango de "n"			Características de la Superficie de la sección
			n normal	n min	n max	
1	Mecánica de Fluidos de Cengel [22]	0.032	0.030	0.024	0.036	Raíces con maleza
	Manual de HEC – RAS [30]		0.025	0.030	0.033	Tierra con hierba
2	Hidráulica de Ruiz [16]	0.021	0.020	0.017	0.025	Tierra en buenas condiciones
	Manual de HEC – RAS [30]		0.019	0.016	0.023	Hormigón Lanzado Buena sección
3	Mecánica de Fluidos de Cengel [22]	0.03	0.030	0.024	0.036	Raíces con maleza
	Manual de HEC – RAS [30]		0.025	0.030	0.033	Tierra con hierba
4	Hidráulica de Ruiz [16]	0.038	0.035	0.025	0.040	Canal revestido de arcilla
	Manual de HEC – RAS [30]		0.035	0.025	0.040	Fondo de gravilla y paredes con vegetación
5	Hidráulica de Ruiz [16]	0.024	0.020	0.017	0.025	Tierra en buenas condiciones
	Mecánica de Fluidos de Cengel [22]		0.030	0.024	0.036	Raíces con maleza
6	Mecánica de Fluidos de Cengel [22]	0.027	0.030	0.024	0.036	Raíces con maleza
	Manual de HEC – RAS [30]		0.025	0.030	0.033	Tierra con hierba

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.5.7.3 Sección transversal tipo

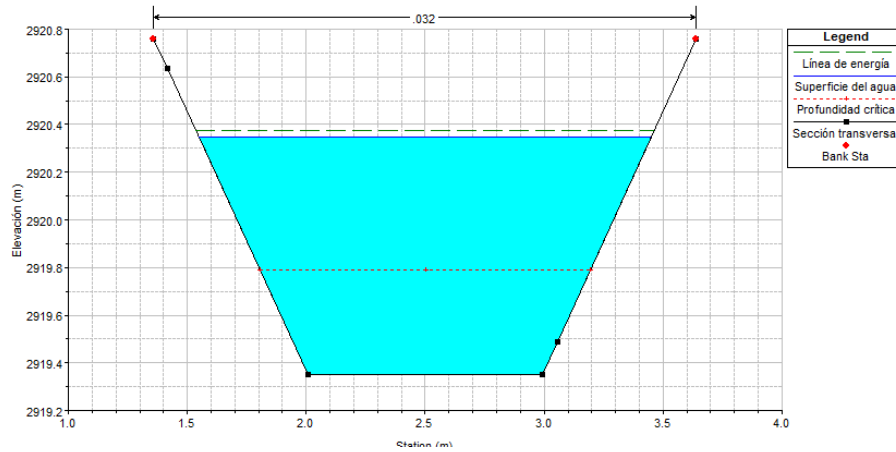


Figura 77: Sección transversal tipo de la simulación final

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La sección tipo de la simulación final se puede apreciar que se tiene un número de Froude promedio de 0.245, calado crítico promedio de 0.42 m, y calado normal promedio de 0.99 m lo que establece que todas las secciones se encuentran en estado subcrítico.

4.5.7.4 Perfil longitudinal

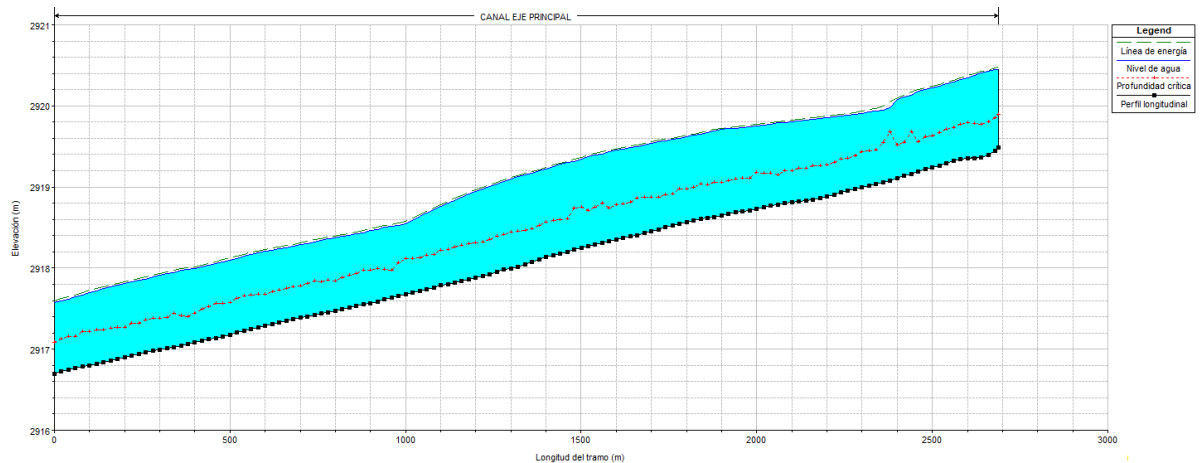


Figura 78: Perfil longitudinal de la simulación en HEC – RAS

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

Según los resultados del perfil longitudinal observamos, que existe un flujo uniforme desde inicio del tramo estudiado aguas arriba hasta la abscisa 2+380 KM donde la

velocidad es de 1.22 m/s y el número de Froude es de 0.49 en este punto característico de la conducción donde se presenta una reducción de calado y por ende un aumento en la velocidad del flujo, debido a que en este punto existe una curvatura en planta y un cambio en la sección transversal (reducción del ancho en el fondo del canal). A la salida de la curvatura se aprecia un aumento gradual del calado hasta nuevamente llegar un flujo uniforme en la abscisa 1+00 KM., se pudo observar además que en la abscisa 1+600 KM el calado tiene una altura mayor al resto de secciones con un valor de 1.12 m pero aun manteniéndose en estado subcrítico.

4.5.7.5 Grafica de número de Froude y velocidad total vs Longitud total

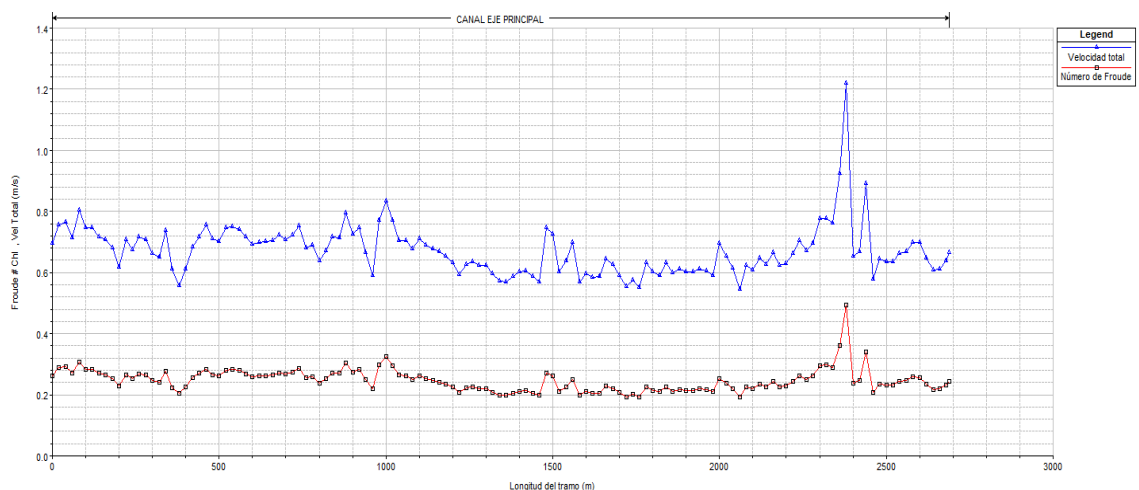


Figura 79: Número de Froude y Velocidad vs Longitud total

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

En grafica podemos observar como los valores de velocidad se relacionan directamente con los del número de Froude siendo los picos más altos los sectores en donde en base a la información de topográfica se encuentran curvas horizontales.

4.5.7.6 Curva de descarga

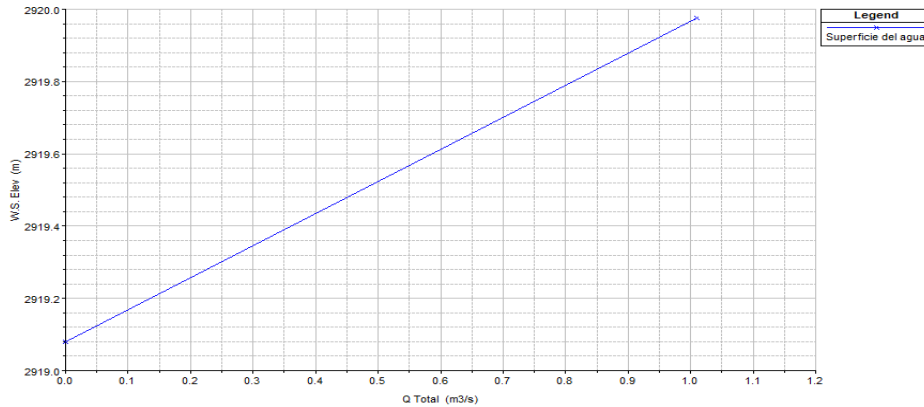


Figura 80: Curva de descarga Nivel de agua vs Caudal

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

La grafica del caudal total vs la superficie del agua nos ayuda a determinar de manera directa el caudal a la altura que se especifique o se requiera conocer.

4.5.7.7 Tabla resumen de los valores obtenidos por medio de la simulación

Tabla 57: Resumen de resultados de la simulación final

Abcisa	Q Total	Cota inferior	Nivel de agua	Prof. Critica	L. energía	Prof. Crítica	Velocidad	N. Froude
	(m3/s)	(m)	Elev. (m)	Elev. (m)	Elev (m)	(m)	(m/s)	
2600	1.01	2919.35	2920.35	2919.79	2920.37	0.70	1.44	0.26
2140	1.01	2918.83	2919.82	2919.23	2919.84	0.63	1.61	0.23
1680	1.01	2918.43	2919.52	2918.87	2919.54	0.63	1.61	0.22
1240	1.01	2917.92	2919	2918.36	2919.02	0.63	1.62	0.22
780	1.01	2917.46	2918.36	2917.85	2918.38	0.69	1.46	0.26
340	1.01	2917.03	2917.94	2917.44	2917.97	0.74	1.37	0.28

Elaborado por: Carlos Gonzalo Tipantasig Masabanda, Autor

4.6 Verificación de la hipótesis

Las características físicas en el tramo en estudio se han ido modificando con el paso del tiempo específicamente las de la superficie lo que ha modificado la rugosidad de las paredes del fondo del canal, según los resultados obtenidos en las 6 simulaciones realizadas y una última con los datos finales calculados el canal cuenta aún con su funcionalidad para la cual fue diseñada manteniendo un flujo subcrítico y un calado por encima de la profundidad crítica lo que caracteriza los canales de primer orden con pendientes y velocidades relativamente bajas, por lo tanto, las características físicas no han influido de manera en el comportamiento hidráulico de la simulación numérica

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se determinó en base al trabajo en campo que el tramo en estudio posee una pendiente media del 0.12% con el cual fue construido dicho canal y la medición en campo de las secciones transversales que constatan que la forma de la sección transversal es de tipo trapezoidal con variantes en el ancho total del canal que van de 2.20 m a 2.40, altura total de 1.41m a 1.15 m y de pendientes de las paredes laterales de 1:0.45 hasta 1:0.60 en toda su longitud.
- Se pudo observar que las velocidades registradas en 6 puntos diferentes a lo largo del tramo en estudio varían tanto en sentido vertical como horizontal respecto a su sección transversal, con el registro de datos de velocidad al 20%, 60% y el 80% del calado, se determinó el comportamiento y distribución de velocidades en el área ocupada por el agua dentro de la sección, siendo las velocidades más bajas de entre 0.30 m/s a 0.40 m/s en las curvas más cercanas a las paredes y fondo del canal, mientras que las velocidades más altas registradas están entre 1.21 m/s a 1.58 m/s que ocupan áreas dentro de las curvas de distribución de 0.01 m² a 0.25 m² con una profundidad de 0.60% del calado.
- Se observó en campo que el coeficiente de rugosidad de Manning inicial de 0.013 correspondiente a un hormigón nuevo según [13] se ha visto afectado por el transcurso de los años, el cambio no ha sido uniforme, actualmente se puede observar que en el tramo en estudio la afectación se da por la descarga de aguas servidas al canal, basura arrojada y parte de taludes derrumbados, por lo cual el valor de rugosidad se ha incrementado hasta valores que sobrepasan el 0.030 cuyas características de superficie tienen alta cantidad de maleza y sedimentos.
- Se determinó que en el análisis de la simulación final con un caudal medio calculado de 1.01 m³ /s y una velocidad media de 0.66 m/s, el calado normal promedio de 0.99 metros es superior a la profundidad crítica promedio de

0.42 metros a lo largo de toda la longitud del tramo, de la misma manera, el número de Froude se mantiene entre 0.22 y 0.28 con una media de 0.24; estas dos características indican que el estado de flujo es subcrítico es decir que su velocidad relativa es baja así como su pendiente longitudinal lo cual concuerda correctamente al tipo de canal en estudio.

- En el perfil longitudinal en la simulación final, que existe un flujo uniforme desde inicio del tramo aguas arriba hasta la abscisa 2+380 KM donde la velocidad es de 1.22 m/s y el número de Froude es de 0.49 en este punto de la conducción, se presenta una reducción del calado y un aumento en la velocidad del flujo, esto debido a que en el punto existe una curva en planta y un cambio en la sección transversal (reducción del ancho en el fondo del canal); en la salida de la curva se observa un aumento gradual del calado que llega a una altura de 1.12 metros en la abscisa 1+600 KM. hasta nuevamente llegar un flujo uniforme en la abscisa 1+000 KM.
- Se concluyó en base a la simulación de cada sección transversal que los coeficientes de rugosidad varían en un rango mínimo de 0.021 correspondiente a un hormigón lanzado de buena sección transversal según [30] y un máximo de 0.038 correspondiente a un canal con fondo de gravilla y paredes con presencia de vegetación respectivamente.

5.2 Recomendaciones

- Cubrir el canal con planchas de hormigón en las abscisas 1+500 km en una longitud de 20 metros que incluye la curva horizontal y realizar el mantenimiento y sustitución de planchas ya existentes que se encuentran agrietadas.
- Realizar en un futuro análisis de las zonas de posibles inundaciones en temporadas de lluvia, ya que se ha podido observar que en estas épocas el agua llega a la altura total del canal e incluso sobrepasa esta e inunda la zona correspondiente a la vía de mantenimiento del canal.
- Realizar un control más exigente a las personas que tienen sus viviendas junto al canal porque se ha visto que la mayoría tienen sus salidas de aguas servidas hacia el canal, estas acciones hacen que se reduzca la calidad del agua para los cultivos.

MATERIALES DE REFERENCIA

1. Bibliografía

- [1] J. Yves, “Impacto Ambiental. Planeta Herido”, Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 2011.
- [2] M. Carpio, “Los combustibles fósiles en el horizonte 2035”, Univ. De Barcelona, Barcelona, ESP, 2000
- [3] Y. A. Alzamora, P. C. Villar and A. D. Gonzales, “Evaluación ambiental de la producción de combustibles fósiles y renovables”, Univ. De San Buenaventura, Cartagena, COL, 2010
- [4] A. Cubillos and F. Estenssoro, “Energía y medio ambiente ecuación difícil para América Latina”, CLACSO, 2011.
- [5] J. Ferris, J. García, J. A. Ortega and E. Guillén, “Enfermedades asociadas a la polución atmosférica por combustibles fósiles”, Univ. De Valencia, Valencia, ESP, 2011
- [6] O. Edenhofer, Y. Sokona, and K. Seyboth, “Informe especial sobre fuentes de energía renovable y mitigación del cambio climático”, IPCC, 2011,
- [7] A. Chávez and R. Poveda, “Inventario de recursos energéticos del Ecuador con fines de producción eléctrica”, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2012.
- [8] E. Rosero and B. Chilibingua, “Observatorio de energías renovables en América Latina y el Caribe”, OLADE ONUDI, 2011,
- [9] F. Román, S. Bleuze, J. León and J. Silva, “Plan Nacional de Riego y Drenaje”, Secretaría de Riego y Drenaje, 2011.
- [10] A. Ortiz, D. Pérez, “Diseño de un simulador de flujos de ríos”, Univ. Santo Tomas, Villavicencio, 2018
- [11] M. Mori, “Simulación Hidráulica, uso de HEC – RAS”, Chiclayo, Perú, 2012
- [12] Autoridad Nacional del Agua, “Criterios de diseño de obras hidráulicas”, Dirección de Estudios de proyectos Hidráulicos, Lima, 2010
- [13] Ven Te Chow, “Hidráulica de canales abiertos”, McGraw Hill, Editorial Nomos S.A., Colombia, 2004

- [14] F. Gutiérrez, “Evaluación de coeficientes de velocidad alfa y beta”, Univ. EAFIT, Medellín, Colombia, 2011
- [15] P. Ruíz, “Hidráulica II”, BOLCA S.A., Oaxaca, México, 2008
- [16] J. Saiz y A Saiz, “Canales Abiertos”, Univ. de Sonora, División de Ingeniería, Sonora, México, 2012.
- [17] G. Zucarelli y M. Morresi, “Flujo en canales abiertos”, Univ. Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, 2012
- [18] J. García, “Modelos Hidráulicos”, Univ. Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2013.
- [19] A. Vásquez, “Modelación Numérica en Hidráulica”, Univ. de Piura, Piura, Perú, 2003
- [20] A. Rocha, “Hidráulica de tuberías y canales”, Oaxaca, México, 2012
- [21] M. Jiménez, A. Ortiz y otros, “Manual de Apuntes de tuberías y canales”, Univ. Veracruzana, Xalapa, México, 2010.
- [22] A. Cengel y M. Cimbala, “Mecánica de Fluidos”, McGraw Hill, Primera edición, Ebooks, México, 2006.
- [23] G. Amarís, T. Guerrero y E. Sánchez, “Comportamiento de las ecuaciones de Saint Venant en 1D”, Revista Tecnura 75 – 87, 2015
- [24] G. López y V. Prado, “Verificación de procedimientos numéricos de simulaciones”, Univ. Autónoma de Chapingo, México, 2014
- [25] R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, “Metodología de la Investigación”, Quinta Edición, McGraw Hill, México, 2010
- [26] S. Gómez, “Metodología de la Investigación”, Primera Edición, Red Tercer Milenio, México, 2012
- [27] Ecuador Ec, (2007). [en línea]. Available: <https://ecuadorec.com/cuales-son-las-provincias-del-ecuador-y-sus-capitales/>
- [28] Mapas Ecuador, (2014). [en línea]. Available: <https://www.mapasecuador.net/mapa/mapa-tungurahua-mapa-division-politica.html>
- [29] Comisión Nacional de agua, Manual de Aforos, Inst. Mexicano de Tecnología del agua, Primera Edición, Ed. IMTA, México, 1992
- [30] U.S. Army Corps of Engineers, HEC -RAS Users Manual 5.0.5, U.S.A, 2018

2 Anexos

Anexos fotográficos



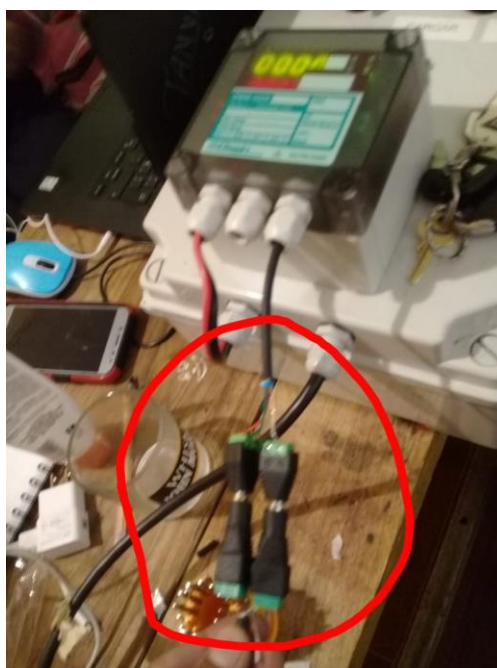
Levantamiento topográfico ejecutada con estación total trimble M3



Equipo completo para medición de caudales con su respectiva batería para su uso en campo



Verificación de unidades para el posterior uso en campo, el panel muestra 2 valores el de color verde correspondiente a el caudal acumulado y el de color rojo que muestra la velocidad del flujo.



Adición de plugs para una mayor agilidad al momento de cambiar de puntos de medición.



Prueba en campo del eje utilizado para alcanzar las profundidades de medición del 20%, 60% y 80% del calado.



Registro de datos de velocidad en los puntos requeridos a lo largo del tramo en estudio con la utilización de una plataforma

ÍNDICE DE PLANOS

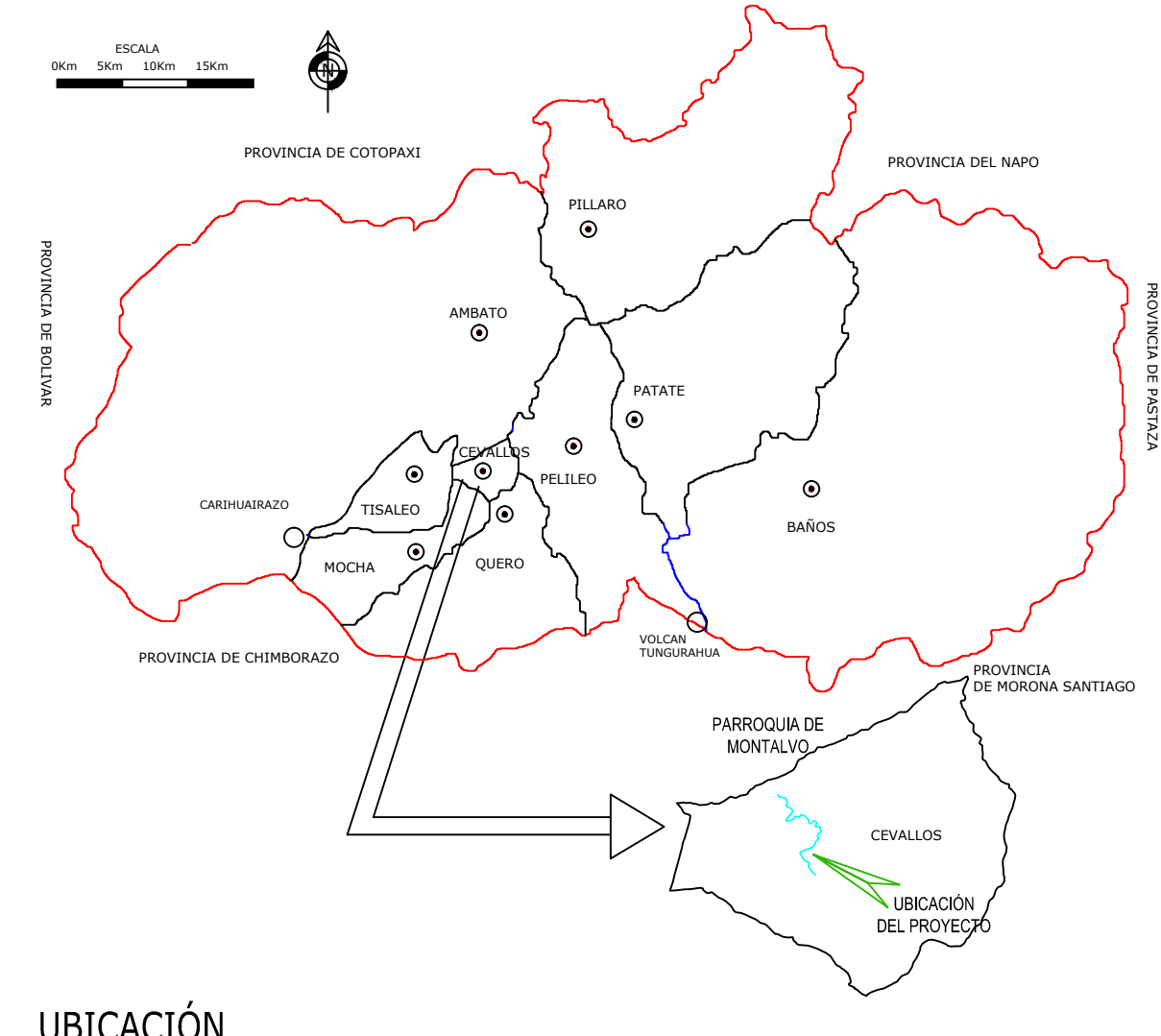
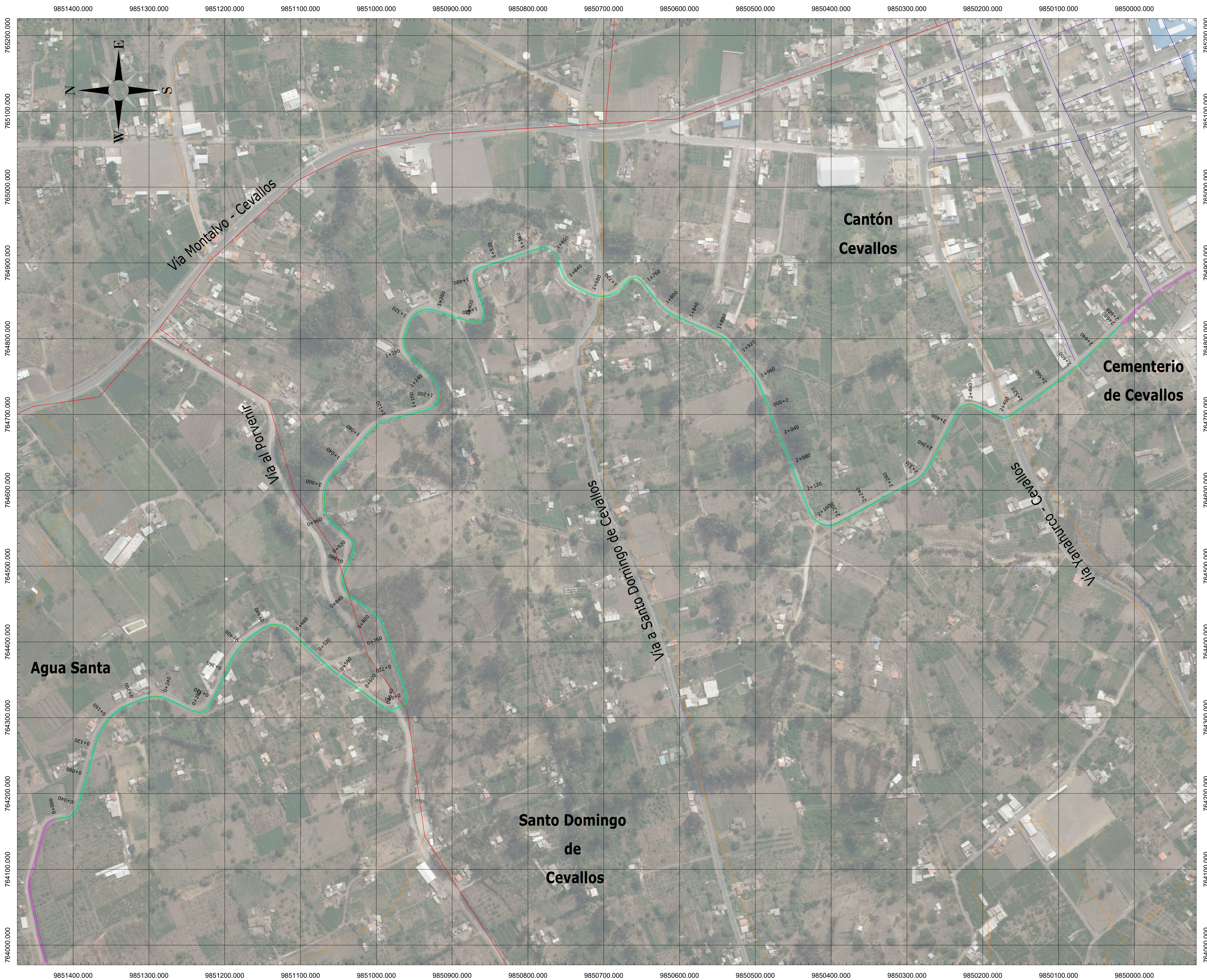
Plano 1: Implantación del tramo en estudio del óvalo 17 al óvalo 20

Plano 2: Visa en planta y perfil longitudinal

Plano 3: Secciones transversales






Plano 4: Curvas de distribución transversal de velocidades



IMPLANTACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO
DESDE EL ÓVALO 17 AL ÓVALO 20
CANAL AMBATO - HUACHI - PELILEO



UBICACIÓN

SIMBOLOGÍA

-  Tramo en estudio desde el óvalo 17 al 20
-  Canal de riego Ambato - Huachi - Pelileo
-  Vía Montalvo - Cevallos
-  Vías Colectoras
-  Calles principales y secundarias


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


TEMA:
"ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 17 AL ÓVALO 20 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN CEVALLOS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"

CONTIENE:
IMPLANTACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO Y UBICACIÓN

REALIZADO POR:
CARLOS GONZALO TIPANTASIG MASABANDA

REVISADO POR:
ING. Mg. GEOVANNY PAREDES

ESCALA:
1:2500

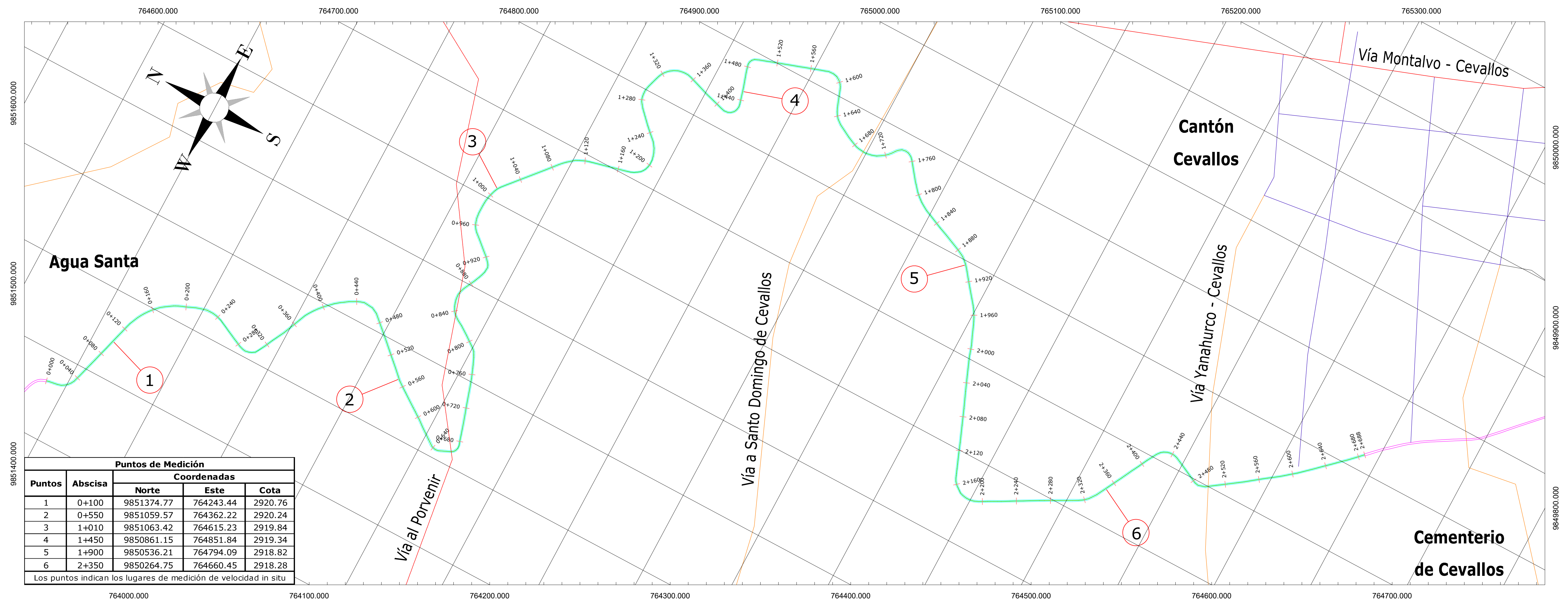
FECHA:
NOVIEMBRE 2018

HOJA No:
1 DE 4

PLANO EN PLANTA Y PERFIL DEL TRAMO EN ESTUDIO

CANAL AMBATO - HUACHI - PELILEO

ÓVALO 17 AL ÓVALO 20

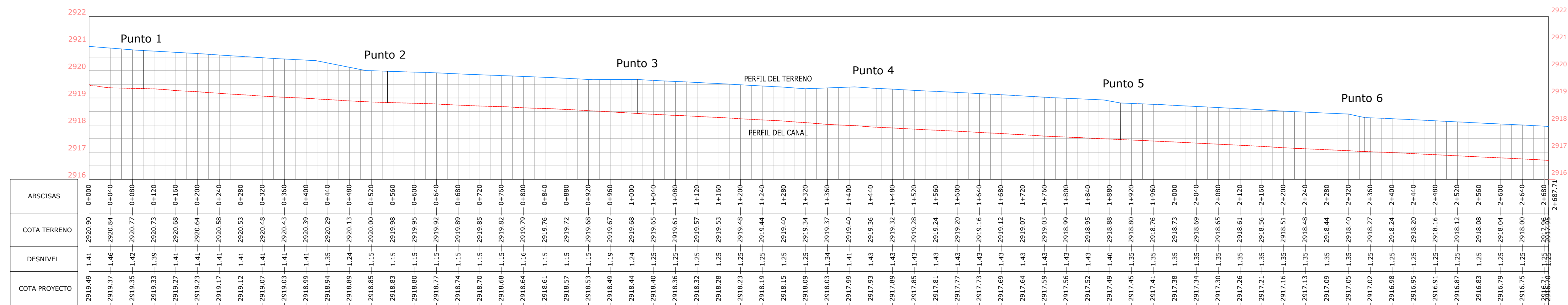


Puntos de Medición				
Puntos	Abscisa	Coordenadas		
		Norte	Este	Cota
1	0+100	9851374.77	764243.44	2920.76
2	0+550	9851059.57	764362.22	2920.24
3	1+010	9851063.42	764615.23	2919.84
4	1+450	9850861.15	764851.84	2919.34
5	1+900	9850536.21	764794.09	2918.82
6	2+350	9850264.75	764660.45	2918.28

Los puntos indican los lugares de medición de velocidad in situ

VISTA EN PLANTA

ESC: 1:2500



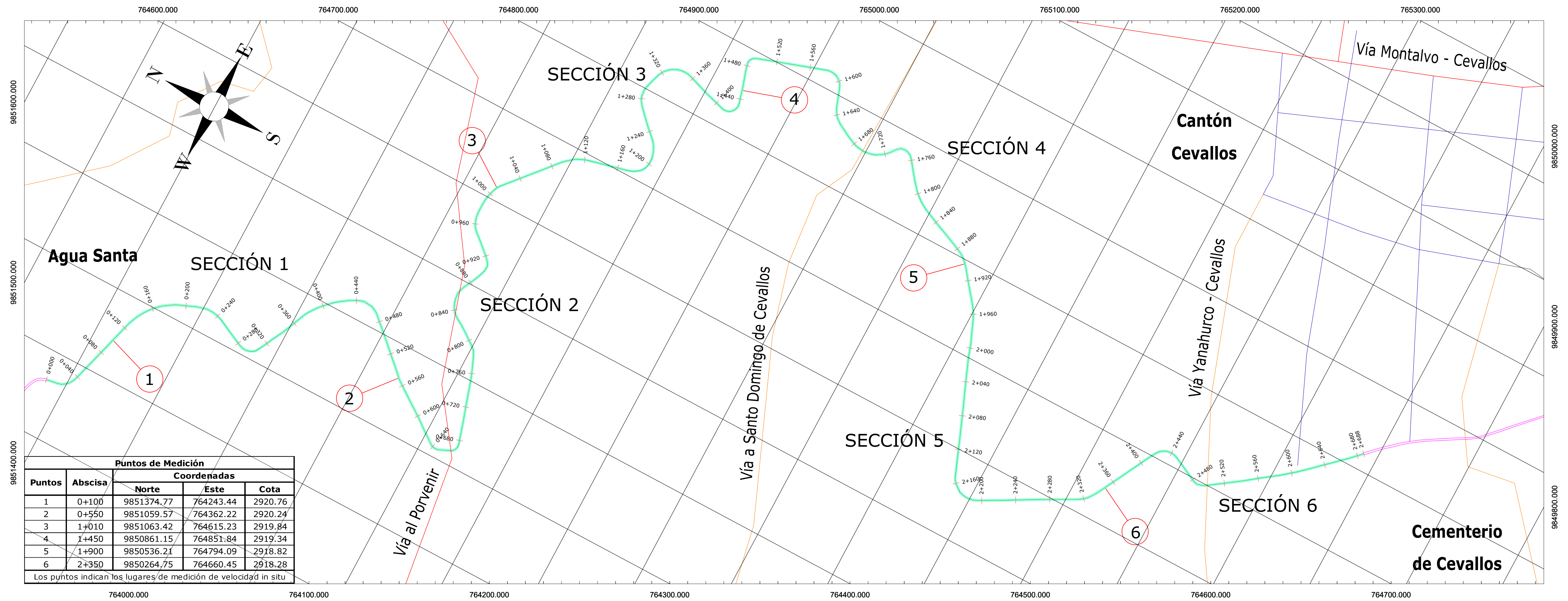
PERFIL LONGITUDINAL

ESC H: 1:7500 ESC V: 1:150

PLANO DE SECCIONES TRANSVERSALES

CANAL AMBATO - HUACHI - PELILEO

ÓVALO 17 AL ÓVALO 20



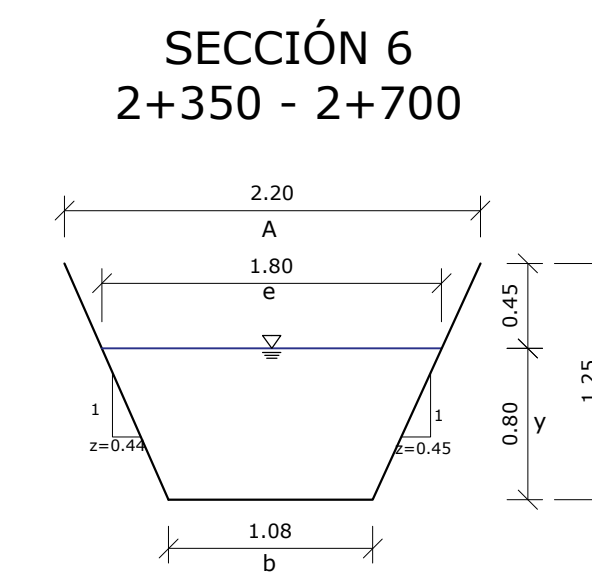
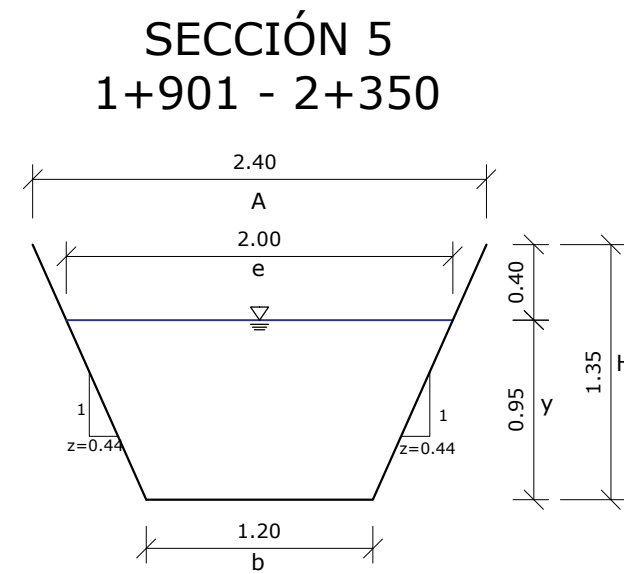
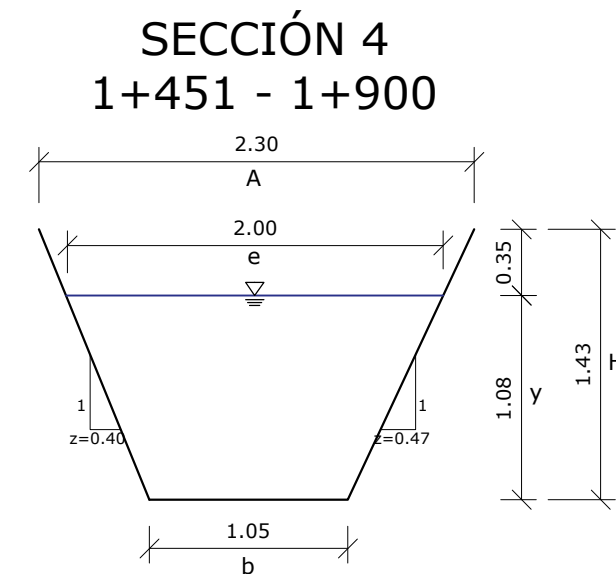
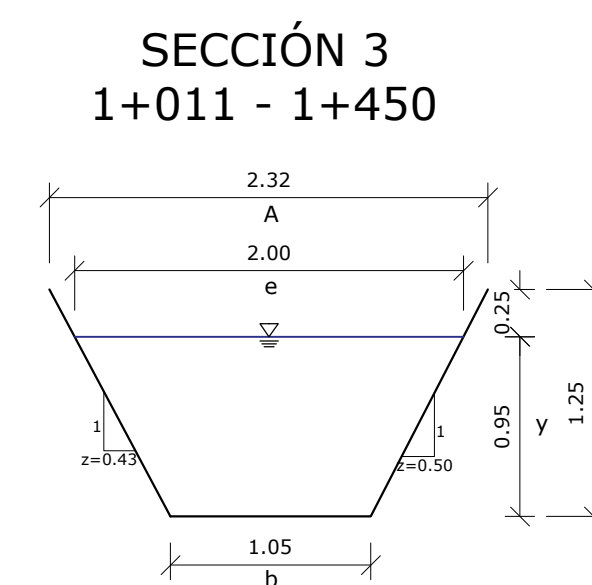
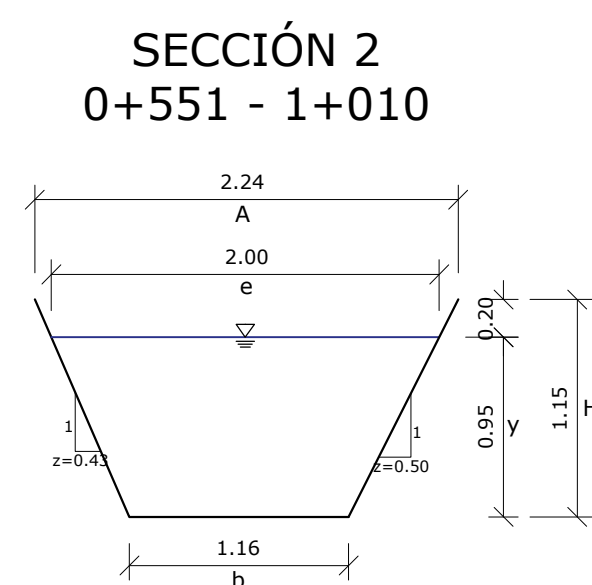
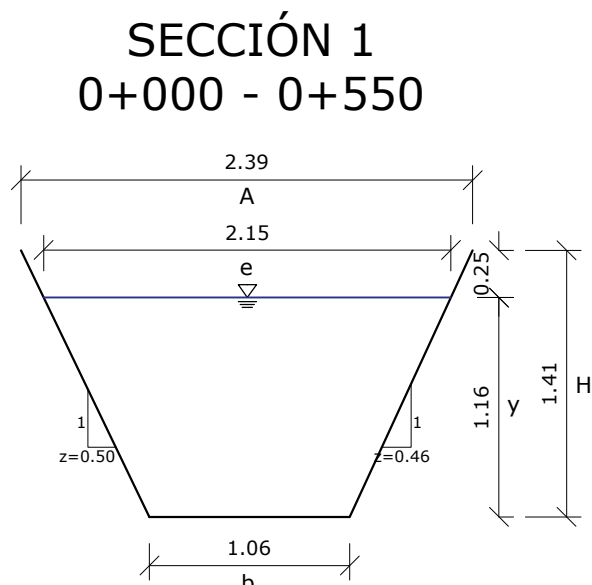
Puntos de Medición				
Puntos	Abscisa	Coordenadas		
		Norte	Este	Cota
1	0+100	9851374.77	764243.44	2920.76
2	0+550	9851059.57	764362.22	2920.24
3	1+010	9851063.42	764615.23	2919.84
4	1+450	9850861.15	764851.84	2919.34
5	1+900	9850536.21	764794.09	2918.82
6	2+350	9850264.75	764660.45	2918.28

Los puntos indican los lugares de medición de velocidad in situ

VISTA EN PLANTA

ESC: 1:2500

SECCIONES TRANSVERSALES



Secciones	Abscisa	
	Inicial	Final
1	0+000	0+550
2	0+550	1+010
3	1+010	1+450
4	1+450	1+900
5	1+900	2+350
6	2+350	2+700

Las secciones son uniformes a lo largo de las abscisas indicadas

Nomenclatura	
H	Altura total
A	Ancho total
y	Tirante
e	Espejo de agua
z	Pendiente lateral
b	Base

TESISTA:

CARLOS GONZALO TIPANTASIG MASABANDA

PROYECTO:

"ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DEL ÓVALO 17 AL ÓVALO 20 DEL CANAL DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO, CANTÓN CEVALLOS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"

CONTIENE:

- PLANO EN PLANTA DEL TRAMO EN ESTUDIO DEL ÓVALO 17 AL ÓVALO 20
- SECCIONES TRANSVERSALES

REALIZADO POR:

CARLOS GONZALO TIPANTASIG MASABANDA

REVISADO POR:

ING. Mg. GEOVANNY PAREDES

ESCALA:

INDICADAS

FECHA:

NOVIEMBRE 2018

HOJA No:

3 DE 4



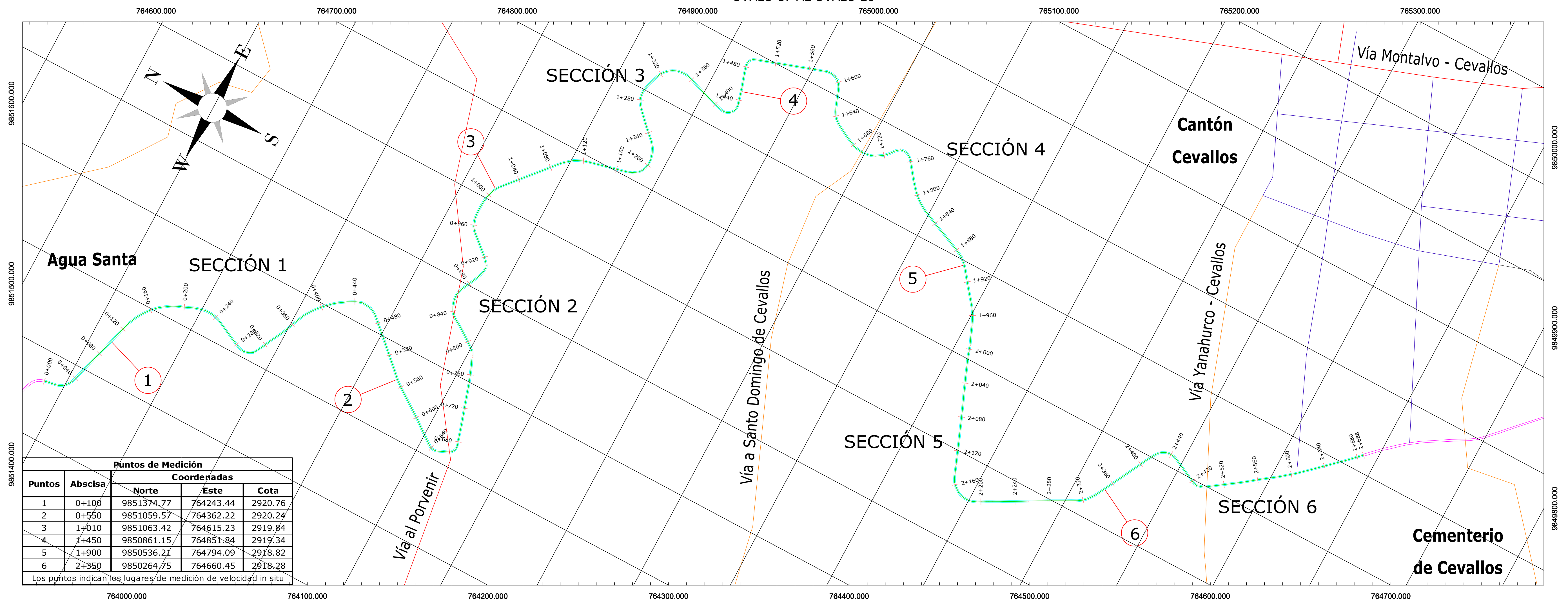
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA CIVIL



DISTRIBUCIÓN TRANSVERSAL DE VELOCIDADES

CANAL AMBATO - HUACHI - PELILEO

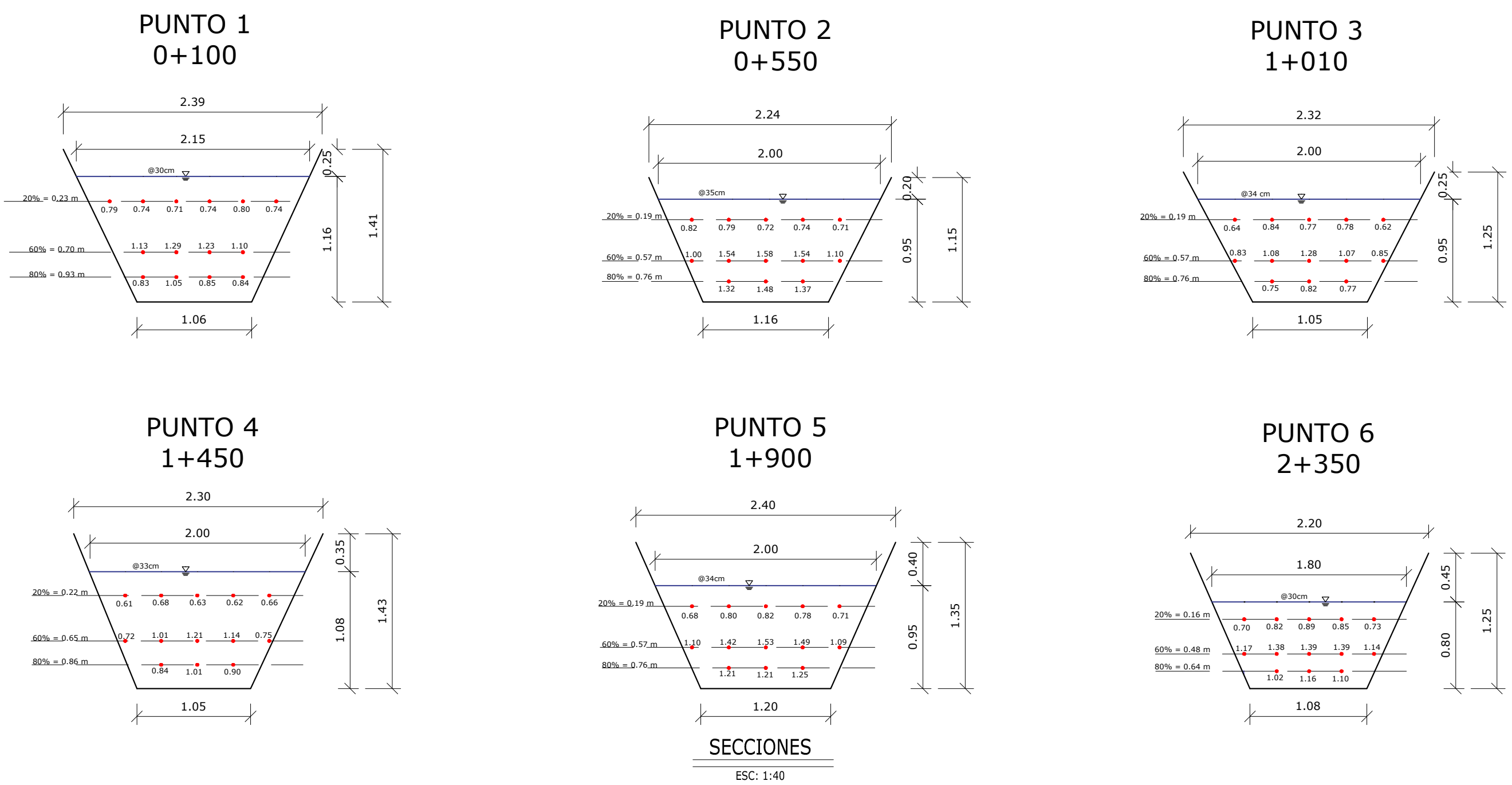
ÓVALO 17 AL ÓVALO 20



Puntos de Medición				
Puntos	Abscisa	Coordenadas		Cota
		Norte	Este	
1	0+100	9851374.77	764243.44	2920.76
2	0+550	9851059.57	764362.22	2920.24
3	1+010	9851063.42	764615.23	2919.84
4	1+450	9850861.15	764851.84	2919.34
5	1+900	9850536.21	764794.09	2918.82
6	2+350	9850264.75	764660.45	2918.28

Los puntos indican los lugares de medición de velocidad in situ

PUNTOS CON VELOCIDADES IN SITU



VISTA EN PLANTA
ESC: 1:2500

CURVAS DE DISTRIBUCIÓN TRANSVERSAL DE VELOCIDADES

