

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



TESIS

“VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AGUA EN LA DESCARGA DEL CUENCO AMORTIGUADOR PARA DISTINTOS CAUDALES DE FLUJO, EN LA CAPTACIÓN REMONTA-II CAJAMARCA”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO HIDRÁULICO

AUTOR:

Bach. ACUÑA MARÍN, WILMER

ASESOR:

Dr. Ing. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ

CAJAMARCA – PERÚ

2023



CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca certifica:

La originalidad de la tesis denominada **VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AGUA EN LA DESCARGA DEL CUENCO AMORTIGUADOR PARA DISTINTOS CAUDALES DE FLUJO, EN LA CAPTACIÓN REMONTA-II CAJAMARCA**, realizada por el Bachiller en Ingeniería Hidráulica **Wilmer Acuña Marín** de acuerdo al resultado del análisis reportado por su asesor Dr. Luis Vásquez Ramírez con el software antiplagio Urkund que indica **1% (uno por ciento)** de índice de similitud, asignándole el código D173365531.

Se expide el presente certificado para los fines pertinentes.

Cajamarca, 05 de setiembre del 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN


Dra. Yvonne Katherine Fernández
DIRECTORA

Cc.
Archivo
c10723wa

AGRADECIMIENTO

Agradecer primeramente a Dios por haberme guiado en mi vida, por todas las cosas que me ha dado para seguir adelante, a mis padres y familiares que han sido el apoyo incondicional durante toda mi formación profesional.

A mi asesor Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez, por su invaluable apoyo académico durante el desarrollo de la presente investigación.

Al Dr. Ing. Francisco Huamán Vidaurre, al Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez, al Dr. Ing. José Antonio Coronel Delgado, por sus aportes y comentarios en la mejora de esta investigación.

Especial agradecimiento a Harold Álvarez – General Manager de FLOW SCIENCE LATIN AMERICA, quien ha proporcionado el software y su respectiva licencia para el desarrollo de esta investigación, además el agradecimiento al Dr. Ing. Gaspar Méndez Cruz, decano de la Facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca puesto que es gracias a su recomendación que se logró el trámite y entrega de licencia del software FLOW-3D HYDRO.

Y a cada una de esas personas que me han brindado su apoyo ya sea académico o moral para siempre seguir adelante.

DEDICATORIA

A mis padres Florentina Marín y Marcial Acuña, por todo el apoyo brindado durante mi vida, a mis familiares y amigos quienes han formado parte de los buenos y malos momentos.

Wilmer Acuña

ÍNDICE

	Pág.
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.1. Contextualización	1
1.1.2. Descripción del problema.....	1
1.1.3. Formulación del problema.....	1
1.2 Justificación e importancia de la investigación	2
1.2.1 Justificación científica	2
1.2.2 Justificación técnico práctico.....	2
1.2.3 Justificación institucional y personal.....	3
1.3 Alcances o delimitación de la investigación.....	3
1.4 Limitaciones.	4
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo general.	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes Teóricos.....	5
2.1.1 Antecedentes Locales	5
2.1.2 Antecedentes Nacionales	5
2.1.3 Antecedentes Internacionales	5
2.2 Bases Teóricas	6
2.2.1 Topografía	6
2.2.2 Hidrología.....	7
2.2.3 Bocatoma.....	17
2.2.4 Ingeniería fluvial.....	22
2.2.5 Dinámica de fluidos computacional	27
2.3 Definición de términos básicos.....	32
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1 Localización del área de estudio.....	35
3.2 Materiales y softwares	37
3.2.1 Materiales	37
3.2.2 Softwares	37

3.3	Procedimiento.....	38
3.3.1	Determinación de caudales máximos y caudal dominante.....	38
3.3.2	Obtención de información de geometría, topografía e hidráulica	41
3.3.3	Ejecución y calibración del modelo numérico.	44
3.3.4	Determinación de la variación de velocidad, cálculo de la velocidad aguas abajo y análisis.....	48
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		52
4.1	Estimación de los caudales máximos y caudal dominante.....	52
4.2	Levantamiento de información topográfica, geométrica e hidrométrica.....	55
4.3	Calibración del modelo matemático.	58
4.4	Determinación de las velocidades para distintos tiempos de retorno y en una sección normal de río aguas abajo.	59
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		78
5.1	Conclusiones.....	78
5.2	Recomendaciones.....	79
BIBLIOGRAFÍA		80
ANEXOS.....		83

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Representación topográfica de un terreno.....	6
Figura 2: Ciclo hidrológico.....	7
Figura 3: Parámetros de la cuenca.....	8
Figura 4: Cálculo de la pendiente por compensación de áreas.....	9
Figura 5: Perfil hidráulico de una bocatoma.	18
Figura 6: croquis de forma de cresta de un barrage,.....	18
Figura 7: Cuenco amortiguador tipo USBR - IV.....	20
Figura 8: Cuenco amortiguador tipo USBR - III.....	21
Figura 9: Cuenco amortiguador tipo USBR - II.	21
Figura 10: partes de un sistema fluvial.....	22
Figura 11: Partes de un proceso de desarrollo de los CFD.....	30
Figura 12: Croquis de ubicación política.....	36
Figura 13: Ubicación satelital de la estructura de estudio.....	37
Figura 14: Ubicación satelital de las cuencas en comparación.....	38
Figura 15: Ubicación de la sección donde se calculó el caudal dominante.....	40
Figura 16: Sección hidráulica del caudal dominante.....	40
Figura 17: Levantamiento topográfico de la estructura.....	41
Figura 18: Levantamiento geométrico de la estructura.	42
Figura 19: Croquis de medición de los tirantes para calibración.	43
Figura 20: Medición de los tirantes para calibración del modelo.....	43
Figura 21: Distribución del mallado del modelo.....	44
Figura 22: Mallado final del modelo.	45
Figura 23: Localización en tres dimensiones de las coordenadas y plano de corte de medición de tirantes.....	46
Figura 24: Perfil de localización de los puntos de presión.....	47
Figura 25: Perfil de localización de los puntos de presión.....	49
Figura 26: Esquema de ubicación de los cortes paralelos al flujo.....	49
Figura 27: Ubicación topográfica de la sección transversal aguas debajo de la estructura.....	50
Figura 28: Perfil para un caudal de 137.96 m ³ /s aguas debajo de la estructura.	50
Figura 29. de distribución de los datos respecto a los extremos límite.	52

Figura 30. Resultados de la simulación para tiempo de retorno 10 años y caudal 67.54 m ³ /s.....	59
Figura 31. Ventana 1 tiempo de retorno 10 años y caudal 67.54 m ³ /s.	60
Figura 32. Ventana 2 tiempo de retorno 10 años y caudal 67.54 m ³ /s.	61
Figura 33. Perfil de velocidades a 9.64 metros del muro, izquierdo aguas arriba, tiempo de retorno 10 años y caudal 67.54 m ³ /s.	63
Figura 34. Perfil de velocidades a 18.28 metros del muro, izquierdo aguas arriba, tiempo de retorno 10 años y caudal 67.54 m ³ /s.	63
Figura 35. Perfil de velocidades a 18.28 metros del muro, izquierdo aguas arriba, tiempo de retorno 10 años y caudal 67.54 m ³ /s.	64
Figura 36. Perfil de velocidades a un metro del muro, izquierdo aguas arriba, tiempo de retorno 10 años y caudal 67.54 m ³ /s.	64
Figura 37. Resultados de la simulación para tiempo de retorno 25 años y caudal 103.35 m ³ /s.....	65
Figura 38. Ventana 1, para tiempo de retorno 25 años y caudal 103.35 m ³ /s.....	66
Figura 39. Ventana 2, para tiempo de retorno 25 años y caudal 103.35 m ³ /s.....	67
Figura 40. Perfil de velocidades a un metro del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 25 años y caudal 103.35 m ³ /s.	69
Figura 41. Perfil de velocidades a 9.64 metros del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 25 años y caudal 103.35 m ³ /s.	69
Figura 42. Perfil de velocidades a 18.28 metros del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 25 años y caudal 103.35 m ³ /s.	70
Figura 43. Perfil de velocidades a 18.28 metros del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 25 años y caudal 103.35 m ³ /s.	70
Figura 44. Resultados de la simulación para tiempo de retorno 50 años y caudal 137.94 m ³ /s.....	71
Figura 45. Ventana 1, para tiempo de retorno 50 años y caudal 137.94 m ³ /s.....	72
Figura 46. Ventana 2, para tiempo de retorno 50 años y caudal 137.94 m ³ /s.....	73
Figura 47. Perfil de velocidades a un metro del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 50 años y caudal 137.94 m ³ /s.	75
Figura 48. Perfil de velocidades a 9.64 metros del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 50 años y caudal 137.94 m ³ /s.	75
Figura 49. Perfil de velocidades a 18.28 metros del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 50 años y caudal 137.94 m ³ /s.	76
Figura 50. Perfil de velocidades a 18.28 metros del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 50 años y caudal 137.94 m ³ /s.	76

Figura 51. Perfil de presión del modelo en Pascales para una altura $H1=0.80$ metros y rugosidad absoluta 0.001.	97
Figura 52. Perfil de presión del modelo en Pascales para una altura $H1=0.96$ metros y rugosidad absoluta 0.0013.	98
Figura 53. Perfil de presión del modelo en Pascales para una altura $H1=0.93$ metros y rugosidad absoluta 0.0016.	99
Figura 54. Perfil de presión del modelo en Pascales para una altura $H1=0.88$ metros y rugosidad absoluta 0.0015.	100
Figura 55. Perfil de presión del modelo en Pascales para una altura $H1=0.96$ metros y rugosidad absoluta 0.0015.	101
Figura 56. Perfil de presión del modelo en Pascales para una altura $H1=0.93$ metros y rugosidad absoluta 0.0015.	102
Figura 57: Levantamiento topográfico del río.	104
Figura 58: Levantamiento geométrico de la estructura.	104
Figura 59: Medición de tirantes 28/12/2022.	105
Figura 60: Medición de tirantes 03/01/2023.	105
Figura 61: Medición de tirantes 05/01/2023.	106
Figura 62: Medición de tirantes 08/01/2023.	106

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Precipitación media anual.	16
Tabla 2: Altura de rugosidades de Manning del río Chonta.....	25
Tabla 3: Altura de rugosidades absolutas del río Chonta.	26
Tabla 4. Datos de las pruebas realizadas para calibración.	48
Tabla 5: Distribuciones teóricas y prueba de bondad de ajuste.....	53
Tabla 6: Estimación de caudales máximos para distintos tiempos de retorno.	54
Tabla 7: Cálculo de la precipitación media de la cuenca de la estación hidrométrica Jesús Túnel.....	54
Tabla 8: Cálculo de la precipitación media de la cuenca de la captación Remonta - II.	54
Tabla 9: Transferencia de caudales máximos de una cuenca a otra.	55
Tabla 10. Tirantes medidos en campo para calibración del modelo.	57
Tabla 11. Resultados de las pruebas de calibración.	58
Tabla 12. Datos de caudales máximos proporcionados por el SENAMIH, en el punto de aforo estación Jesús Túnel.....	85
Tabla 13. de análisis de datos dudosos máximos y mínimos.	87
Tabla 14. Distribuciones teóricas – Distribución normal.....	88
Tabla 15. Distribuciones teóricas – LogNormal de dos parámetros.....	89
Tabla 16. Distribuciones teóricas – LogNormal de tres parámetros.	90
Tabla 17. Distribuciones teóricas – Gamma de dos parámetros.....	91
Tabla 18. Distribuciones teóricas – Gamma de tres parámetros.	92
Tabla 19. Distribuciones teóricas – LogPerson III.....	93
Tabla 20. Distribuciones teóricas – Gumbel.	94
Tabla 21. Distribuciones teóricas – Gumbel.	95
Tabla 22. Datos obtenidos para cálculo de tirante para $H_1=0.80$ metros y rugosidad absoluta 0.001 metros.....	97
Tabla 23. Datos obtenidos para cálculo de tirante para $H_1=0.96$ metros y rugosidad absoluta 0.0013 metros.....	98
Tabla 24. Datos obtenidos para cálculo de tirante para $H_1=0.93$ metros y rugosidad absoluta 0.0013 metros.....	99
Tabla 25. Datos obtenidos para cálculo de tirante para $H_1=0.88$ metros y rugosidad absoluta 0.0015 metros.....	100

Tabla 26. Datos obtenidos para cálculo de tirante para $H_1=0.96$ metros y rugosidad absoluta 0.0015 metros.....	101
Tabla 27. Datos obtenidos para cálculo de tirante para $H_1=0.93$ metros y rugosidad absoluta 0.0015 metros.....	102

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar las velocidades en la salida del cuenco amortiguador de la bocatoma del sistema de riego Remonta – II, y determinar si está expuesto a velocidades erosivas para caudales calculados con distintos tiempos de retorno; para lo cual se obtuvieron previamente los datos necesarios tales como; caudales de la estación base Jesús Túnel que fueron proporcionadas por el SENAMIH, la topografía del río y la geometría de la estructura, encontrándose en esta un cuenco amortiguador de 16.40 metros de largo y , 27.85 metros de ancho con un umbral de salida de 2.50 metros que parte desde el fondo del cuenco con una pendiente de 1:1.5. a lo largo de 1.50 metros. Se midieron los tirantes a lo largo de la estructura de captación, además se obtuvo la rugosidad absoluta del río y coeficiente de rugosidad de Manning de una investigación anterior; con los datos de caudales máximos anuales se procedió a estimar los caudales para tiempos de retorno de 10, 25 y 50 años y se transfirió los datos de la estación Jesús Túnel al punto requerido (Remonta – II), se comparó con respecto al caudal dominante y luego se realizó la calibración del modelo en función a los tirantes medidos para cuatro caudales distintos, de los cuales se determinó que la rugosidad absoluta de la estructura es 0.0015 m, con los datos de rugosidad absoluta de la estructura y del río, topografía y caudales para distintos tiempos de retorno se realizaron las respectivas pruebas, donde se detallaron las variaciones de velocidad en cuatro secciones paralelas al flujo, finalmente se concluyó que las velocidad máxima de salida del cuenco amortiguador es 5.90 m/s misma que supera en 63% a la velocidad calculada aguas debajo de la estructura la cual tiene un valor de 3.24 m/s. En consecuencia, es importante tomar medidas para proteger la estructura y prevenir posibles daños. Se sugiere llevar a cabo acciones de mantenimiento y reforzamiento en la bocatoma, para asegurar su óptimo funcionamiento y prolongar su vida útil.

Palabras clave: variación de velocidad, bocatoma, caudal, descarga, cuenco amortiguador, tirante.

ABSTRACT

The present study was conducted with the aim of determining the velocities at the outlet of the energy dissipator basin of the intake structure of the Remonta - II irrigation system, and to assess whether it is exposed to erosive velocities for calculated flow rates with different return periods. To achieve this, the necessary data were obtained beforehand, including flow rates from the Jesús Tunnel base station provided by SENAMIH, the river's topography, and the geometry of the structure. Within this structure, there is an energy dissipator basin measuring 16.40 meters in length and 27.85 meters in width, with an outlet threshold of 2.50 meters that starts from the bottom of the basin with a slope of 1:1.5 over a length of 1.50 meters. Water depths were measured along the intake structure, and the absolute roughness of the river and Manning's roughness coefficient from a previous study were obtained. Using the data for maximum annual flow rates, flow rates for return periods of 10, 25, and 50 years were estimated. The data from the Jesús Tunnel station were transferred to the required point (Remonta - II) and compared with the dominant flow rate. Subsequently, the model was calibrated based on the measured water depths for four different flow rates, from which it was determined that the absolute roughness of the structure is 0.0015 meters.

With the data on the absolute roughness of the structure, river roughness, topography, and flow rates for different return periods, respective tests were conducted, detailing the velocity variations in four sections parallel to the flow. Finally, it was concluded that the maximum outlet velocity of the energy dissipator basin is 5.90 m/s, which exceeds the calculated velocity downstream of the structure by 63%, with a value of 3.24 m/s. Consequently, it is important to take measures to protect the structure and prevent potential damage. It is recommended to carry out maintenance and reinforcement actions at the intake structure to ensure its optimal operation and extend its useful life.

Keywords: velocity variation, intake, flow rate, discharge, damping bowl, water level.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contextualización

En el país, específicamente en la ciudad de Cajamarca entre los meses de diciembre a marzo se registran los picos más elevados de lluvias en esta región, la cual genera altos caudales, mismos que a su vez generan flujos con velocidades excesivas las cuales van deteriorando las distintas estructuras construidas a lo largo de los ríos (SENHAMI, 2016) (CENEPRED, 2015).

Las velocidades erosivas son producto del aumento de la energía cinética en la descarga de flujo al lecho del río debido a la contracción y el cambio de rigidez entre el dissipador de energía y el lecho (Ramirez, 2016)

Las estructuras construidas a lo largo del río Chonta, como la bocatoma del canal Remonta – II, en su mayoría están sometidos a cambios elevados de caudales los cuales son bastante altos en épocas de lluvias y caudales pequeños en temporadas de verano, la energía cinética producida por grandes caudales en épocas de invierno, provocan variaciones en el lecho del río lo cual tiene un efecto negativo en las estructuras que se encuentren dentro de él.

1.1.2. Descripción del problema

En la captación Remonta – II, se puede evidenciar que el cuenco amortiguador sometido a grandes caudales, mismos que aumentan la energía cinética a la que está sometida la estructura, va perdiendo su estabilidad, a causa de la socavación lo cual genera un riesgo en la estructura de captación ubicada aguas arriba; la zona donde puede evidenciarse mayor movimiento de partículas es en el umbral de salida del cuenco amortiguador.

1.1.3. Formulación del problema

¿Cuál es la variación de la velocidad del agua, en la descarga del cuenco amortiguador, para distintos caudales de flujo en la captación Remonta-II Cajamarca?

1.2 Justificación e importancia de la investigación

1.2.1 Justificación científica

El presente trabajo cumple con los lineamientos de investigación propuestos por la Universidad Nacional de Cajamarca, tiene una importancia significativa en el campo de la investigación en ingeniería hidráulica y la gestión de recursos hídricos. El estudio de las velocidades en la salida del cuenco amortiguador de la bocatoma del sistema de riego Remonta – II, en combinación con la evaluación de las exposiciones a velocidades erosivas en diferentes caudales y tiempos de retorno, contribuye a la comprensión y mitigación de los riesgos asociados a la erosión y desgaste de infraestructuras hidráulicas. Además, la estimación de caudales máximos y la calibración del modelo hidráulico proporcionan una base sólida para la toma de decisiones en el diseño, de sistemas de riego y captación de agua, respaldando la planificación sustentable de recursos hídricos en la región de estudio.

1.2.2 Justificación técnico práctico

Desde un enfoque técnico-práctico, esta investigación ayuda en el desarrollo de soluciones en la gestión del sistema de riego Remonta – II. Al obtener datos estimados sobre las velocidades en la salida del cuenco amortiguador y su relación con la erosión, se podrían diseñar y aplicar medidas de mantenimiento y reforzamiento específicas en la estructura o lecho del río en el punto de salida del flujo. La captación Remonta-II, es una de las estructuras ubicadas a lo largo del río Chonta la cual abastece a los cultivos de la población de tartar, este proyecto ejecutado por la municipalidad de Baños del Inca a través de su programa de inversión, viene siendo de gran importancia para la comunidad mencionada anteriormente puesto que de su caudal de captación depende la producción agrícola y ganadera de la zona. la captación a la actualidad puede mostrarse con algunas deficiencias ya sea por material de sedimentación aguas arriba mientras que aguas abajo con el paso del tiempo la estructura de disipación de energía se ha venido deteriorando debido a los grandes caudales y velocidades que esta soporta en meses de máximas avenidas.

1.2.3 Justificación institucional y personal

Esta investigación encuentra relevancia a nivel institucional al alinearse con los objetivos de formación educativa de la Universidad Nacional de Cajamarca, y de la facultad de ingeniería donde se forman profesionales capaces de diseñar, ejecutar y evaluar proyectos de infraestructura hidráulica, además gracias a la colaboración de Flow Science se logra un trabajo conjunto entre ambas instituciones en favor del desarrollo de la investigación.

A nivel personal, el presente trabajo contribuye a la formación del investigador y desarrolla sus capacidades de trabajo y aplicación de métodos y técnicas aprendidas durante su formación dentro de la universidad, para encontrar las causas de un problema, establecer hipótesis y proponer soluciones prácticas en función a lo aprendido e investigado, de otro lado considerando como cajamarquino la importancia de la agricultura en nuestra región y su dependencia de los sistemas de riego es bastante importante desarrollar investigación que ayuden a mejorar las estructuras existentes así como dar un panorama a considerar en las estructuras que se vayan a construir a futuro.

1.3 Alcances o delimitación de la investigación

La presente investigación está enfocada a evaluar las velocidades a la que está sometida la estructura de disipación de energía existente, y comparar estas con las velocidades permisibles de acuerdo a las características del fondo del río.

La investigación recopilará registros de 49 años de información de caudales máximos de la estación hidrométrica Jesús - Túnel, perteneciente al SENHAMI, para el tratamiento estadístico y determinación de máximos caudales para distintos tiempos de retorno, los datos de rugosidad absoluta en la estructura serán calibrado de modo tal que para cuatro caudales distintos se medirán tirantes de modo que cada tirante calculado, para un modelo de turbulencia elegido y rugosidades absolutas de la estructura y fondo del río, en el software coincida con los medidos en campo.

Se determinarán las velocidades simulando el caudal máximo en el software FLOW-3D HYDRO, proporcionado por la empresa FLOW SCIENCE, a través de su programa académico de investigación para la región de Latinoamérica, quienes previamente analizaron y dieron el visto bueno para el uso y desarrollo de la investigación con el software antes indicado.

1.4 Limitaciones

Para el modelamiento matemático (Software), no se consideran las partículas en suspensión, además, otros factores como sub-presiones o sedimentos que estén dentro de la poza disipadora de energía.

Los caudales máximos, como en cada análisis estadístico son aproximados, y no será posible determinar con exactitud para los distintos tiempos de retorno asumidos.

No es posible replicar las características iniciales del material de fondo del río, debido a la erosión actual, la rugosidad se ha considerado el obtenido en campo por Burgos, Nelson en su investigación titulada “estimación del coeficiente de rugosidad de Manning mediante mediciones de velocidad y profundidad, empleando un molinete hidrométrico, en el río Chonta, Cajamarca, 2016”.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Determinar la variación de la velocidad del flujo, en la descarga del cuenco amortiguador, para distintos caudales, en la captación Remonta-II Cajamarca.

1.5.2 Objetivos específicos

- a) Determinar los caudales máximos para distintos tiempos de retorno en el punto de aforo, mediante el método de transferencia de información; y comparación con el caudal dominante en una sección aguas abajo del río calculado mediante la huella hídrica.
- b) Obtener la información de geometría, topografía e hidrometría de la estructura en estudio.
- c) Calibrar el modelo matemático con los tirantes en los puntos de entrada y salida entre la estructura y el modelo matemático.
- d) Determinar la variación de velocidad para los caudales calculados con distintos tiempos de retorno y analizar con respecto a la velocidad aguas abajo de la estructura en la zona de acorazamiento del cauce.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos

2.1.1 Antecedentes Locales

Según la tesis de pregrado presentada en la Universidad Nacional de Cajamarca titulada “Estructura disipadora de energía aguas abajo de la captación Tres Molinos-Cajamarca”, Herrera Valdivia en 2019 analizó la eficiencia de la segunda poza disipadora de energía, realizando sus pruebas en un modelo físico a escala para los caudales respectivos calculados en función a sus estaciones influyentes en el área de estudio; en lo cual logró determinar que los disipadores de energía el de fondo horizontal y el U.S.B.R, tenían menor eficiencia comparado con el disipador de fondo no horizontal (Herrera, 2019).

2.1.2 Antecedentes Nacionales

En la tesis titulada “Comparación del modelamiento hidráulico de una poza disipadora inclinada mediante el uso de los modelos IBER y HEC-RAS” presentada en la Universidad Privada de Ciencias, se realizó el modelamiento de una poza disipadora de energía y se ha calculado los factores que pueden afectar la estructura aguas abajo tales como la velocidad, calado, número de froude y la energía, luego de haber realizado su estudio hidrológico y determinado sus variables de entrada para modelar la estructura perteneciente al río San Pedro, en las conclusiones resaltan la importancia y precisión de estos softwares, además de cumplir con los estándares especificados de acuerdo a la norma ISO correspondiente (Espejo, y otros, 2021).

2.1.3 Antecedentes Internacionales

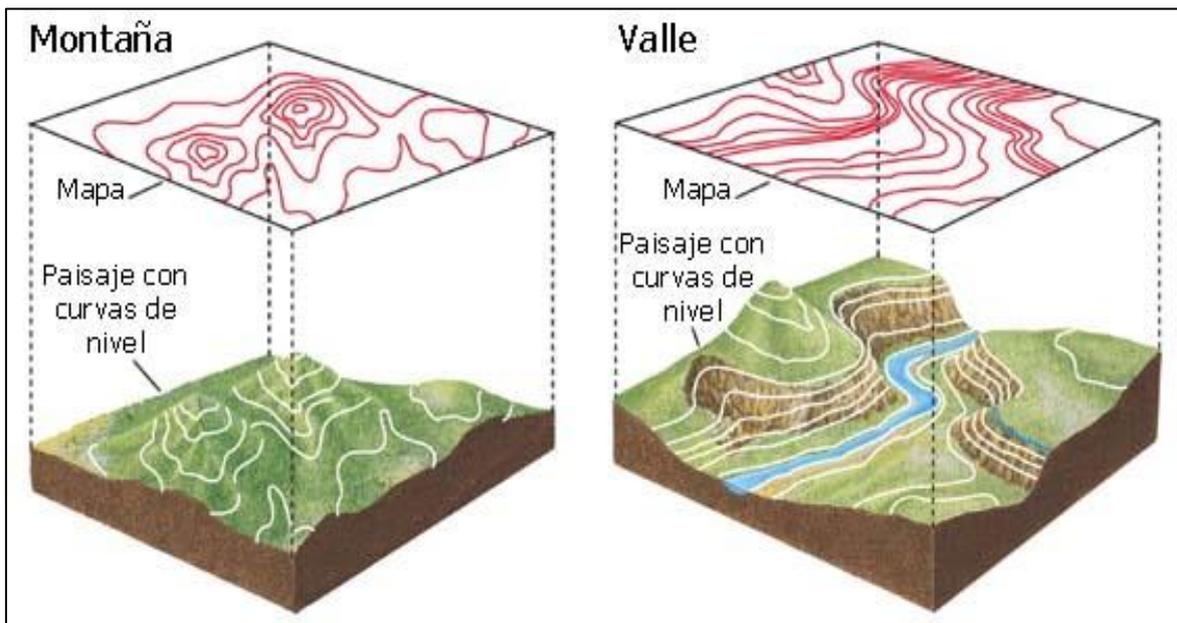
En la tesis de pregrado presentado en la universidad de Cuenca titulada “modelamiento bidimensional hidrodinámico del flujo a través del río Calabí y obras hidráulicas”, analiza mediante un modelo matemático el comportamiento del flujo y su influencia dentro de una de las bocatomas ubicadas en el río Calabi, determinando mediante el estudio hidrodinámico realizado, la ubicación y dimensiones que las estructuras de disipación deben tener para la estructura de captación (Salamena, 2015).

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Topografía

La topografía es la ciencia que se encarga de realizar mediciones en el terreno, ya sean distancias horizontales o verticales, así como la ubicación de puntos a lo largo de un terreno para principalmente luego ser representados en un dibujo a escala (Rincón, y otros, 2017).

Figura 1. Representación topográfica de un terreno.



Fuente: (Rincón, y otros, 2017).

- **Levantamiento planimétrico**

Procedimientos realizados en campo que permiten la representación sobre un plano en planta, la superficie horizontal del terreno, ya sea perímetros, áreas y detalles de vista en planta, que vayan a necesitar.

- **Levantamiento altimétrico**

Determina las variaciones de alturas entre cada punto que se requiera dentro de la extensión del terreno en el que se está trabajando, se pueden tomar con relación al plano ubicado en el punto más bajo del levantamiento o con relación al plano ubicado a la altura del nivel medio del mar (Zamarripa, 2010).

- **El plano topográfico**

Es la representación a escala de un área determinada de la superficie de la tierra, en ella se pueden establecer detalles de elementos encontrados ya sean estructuras, o elementos naturales, así como trazos mediante curvas de nivel de alturas, según se requiera (Gómez, y otros, 2013).

2.2.2 Hidrología

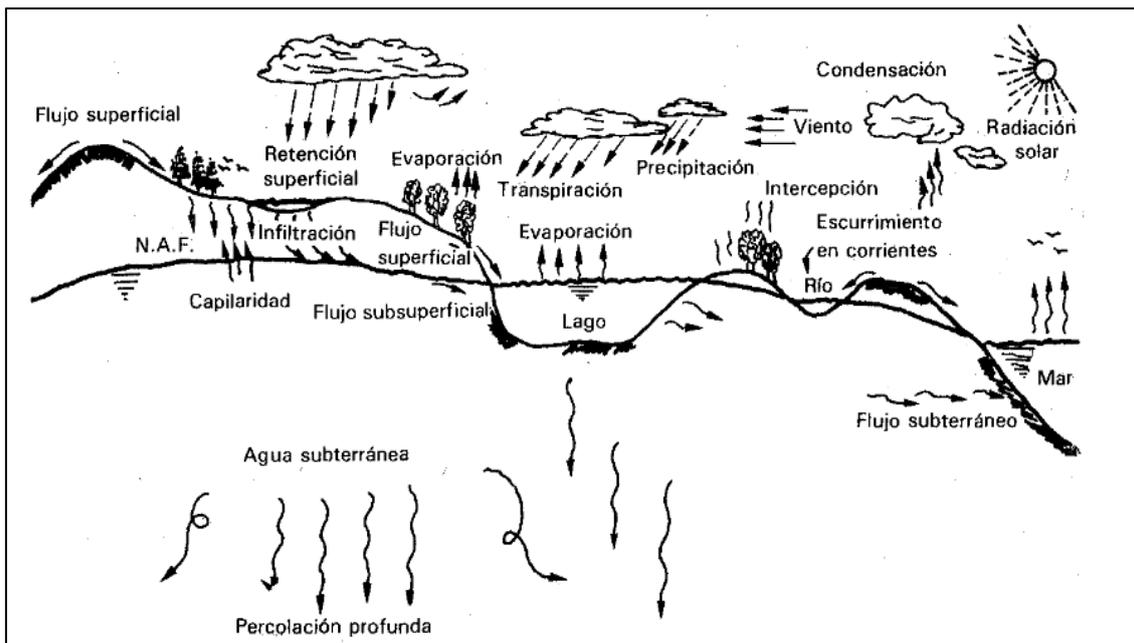
“Hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos”

La hidrología en la ingeniería es la encargada de determinar las cantidades de disponibilidad de recurso hídrico con que se cuenta al momento de ejecutar un proyecto, dando así al proyectista los caudales, volúmenes o cargas con a los que estará sujeta la obra en cuestión (Aparicio, 1989).

- **Ciclo hidrológico**

Proceso circular el cual permite dar dinamismo a la concentración y distribución del agua ya sea en la superficie terrestre, ríos mares y tierra o en la atmósfera como precipitaciones y nubes (Chow, 1994).

Figura 2: Ciclo hidrológico

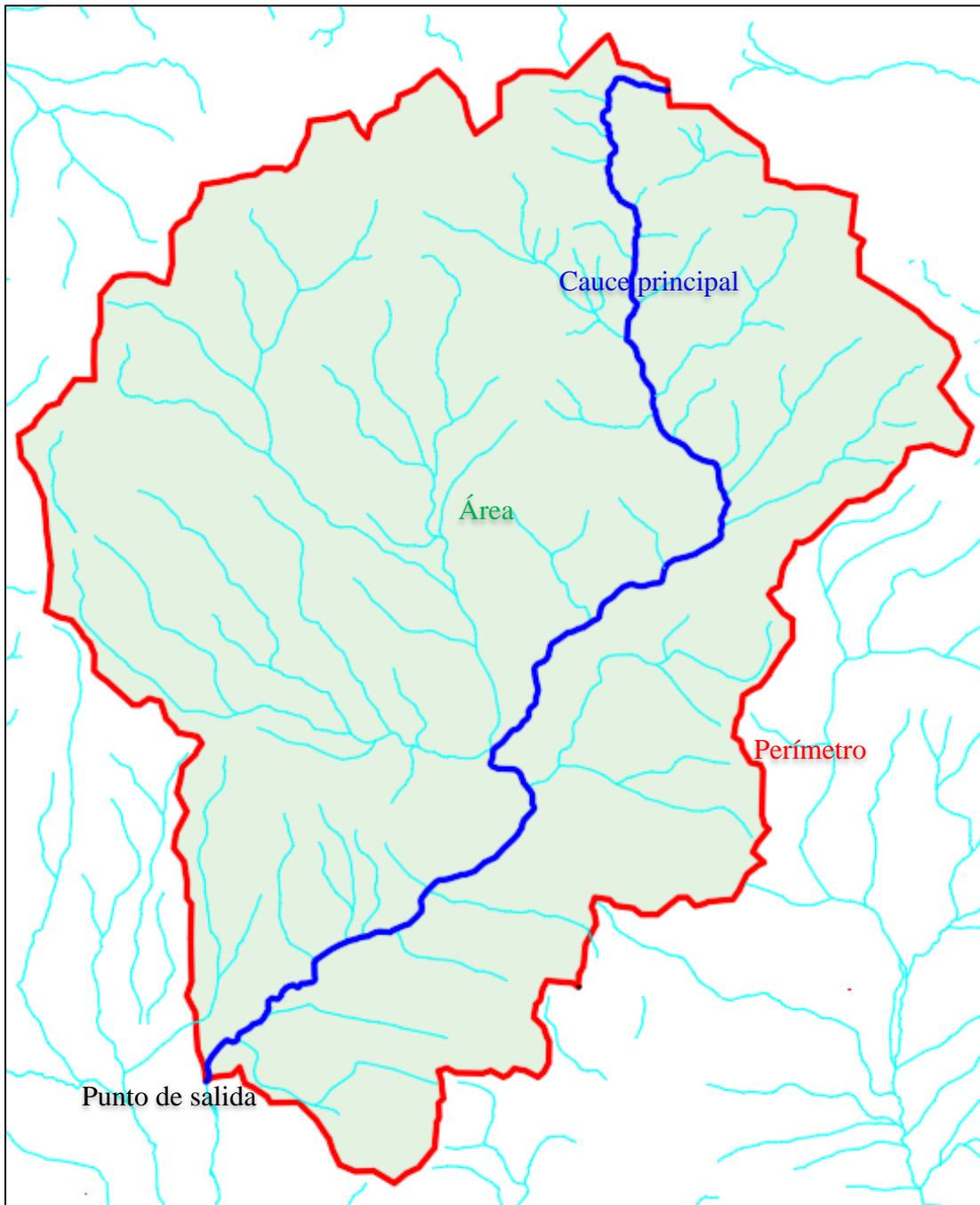


Fuente: (Aparicio, 1989)

- **Cuenca hidrológica**

Se considera cuenca hidrológica a la superficie delimitada en función a la escorrentía superficial; en esta superficie considerada impermeable o sin tener en cuenta la infiltración, el agua de lluvia drena o se concentra en un mismo punto; pueden ser endorreicas o exorreicas, las primeras el punto de concentración es un lago o laguna y para el segundo caso el drenaje es hacia un río o el mar (Aparicio, 1989) (Breña, 2013).

Figura 3: Parámetros de la cuenca.



- Área de la cuenca

El área de la cuenca se considera la proyección de la superficie del terreno de la misma, sobre un plano horizontal, se utilizan distintos métodos para su cálculo, ya sea el planímetro; balanza analítica o programas SIG, se cuantifica en unidades de superficie.

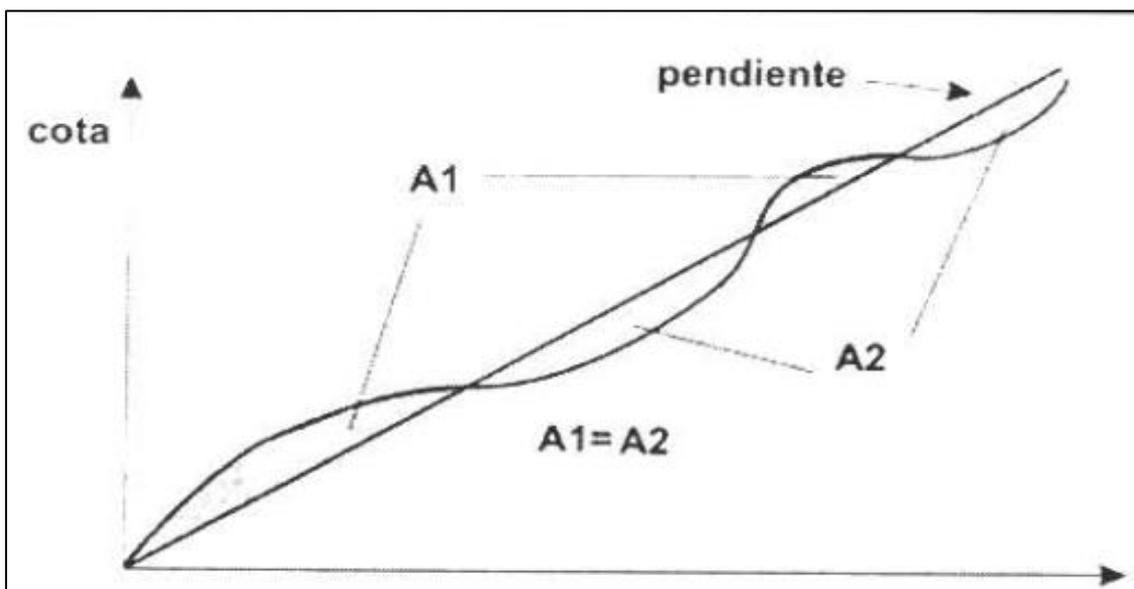
- Altitud media de la cuenca

Parámetro influyente en las precipitaciones, evaporación y transpiración; como tal repercute en el caudal de la cuenca, se cuantifica como la división entre la suma de áreas por la altitud media de cada una de dichas áreas, entre la superficie total de la cuenca (Gutierrez, 2017).

- Pendiente del cauce

La pendiente del cauce vendría a ser la inclinación del drenaje principal de la cuenca, se puede cuantificar de dos maneras; ya sea considerando un perfil uniforme con lo cual solo se calcularía la diferencia de cotas, mayor y menor; entre la longitud horizontal; o de otro modo se calcularía considerando una línea recta a modo de una rasante de carretera de modo que la sumatoria de áreas sobre la rasante menos la sumatoria de áreas debajo de la rasante sea cero (Villón, 2002).

Figura 4: Cálculo de la pendiente por compensación de áreas



Fuente: (Villón, 2002)

- **Hidrología estadística**

En hidrología estadística se consideran los procesos hidrológicos como parcialmente predecibles, determinísticos y aleatorios, para nuestro caso el análisis que realizaremos con las funciones de probabilidad estará basadas en principios matemáticos que mediante un conjunto de observaciones de un proceso (Caudal máximo), describiremos las variaciones aleatorias de éstas (Chow, 1994).

- **Función de densidad**

Estima la probabilidad de que una variable aleatoria tome un valor determinado.

- **Función de distribución acumulada**

Denominada FDA, es la función que determina la probabilidad de que la variable aleatoria en que se está analizando sea mayor, menor o igual a un valor determinado.

- **Media aritmética**

Es una medida de tendencia central que resulta de la suma de todos los datos entre la cantidad de datos de la muestra.

- **Varianza y desviación estándar**

Son medidas de dispersión que expresan los desvíos entre las observaciones y la media aritmética; la desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza; están determinadas por las siguientes ecuaciones.

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2 \dots\dots\dots(01)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots(02)$$

S²: Varianza.

S: Desviación estándar de la muestra.

n: Cantidad de datos.

X_i: Dato de la muestra.

\bar{X} : Media aritmética.

- Coeficiente de asimetría

Medida de forma de la función de probabilidad que indica si la distribución de valores por encima o debajo de la media son simétricos (Bacchini, y otros, 2018).

- Análisis de datos dudosos - Outliers

El análisis de datos dudosos se realiza con el fin de identificar los valores que estén alejados la media de frecuencias y puedan generar errores en las posteriores estimaciones y cálculos; estos datos pueden ser mayores o menores y se realizará el límite máximo y límite mínimo de la tendencia de datos que se tenga.

$$y_a = \bar{y} + k_0 * \sigma_y \dots\dots\dots(03)$$

$$y_a = \bar{y} - k_0 * \sigma_y \dots\dots\dots(04)$$

Donde:

\bar{y} : Promedio de los logaritmos decimales de la muestra.

σ_y : Desviación estándar de los logaritmos decimales de la muestra.

K_0 : Valor tabular en función a la cantidad de datos.

$y_a - y_b$: Umbral de valores máximos y mínimos respectivamente.

(Fattorelli, y otros, 2011) (American Society of Civil Engineers (ASCE), 2004)

• Distribuciones teóricas

Permiten realizar la prueba de bondad de ajuste y elegir cuál es más conveniente a utilizar; para el caso de hidrología las más comunes con sus respectivas ecuaciones de función de densidad de probabilidad son:

- Distribución normal o gaussiana

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \dots\dots\dots(05)$$

Donde:

σ : Desviación estándar.

μ : Promedio.

(Villón, 2000 pág. 197)

- Distribución log-normal de 2

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right]^2} \dots\dots\dots(06)$$

Para la variable aleatoria $y = \ln(x)$

Donde:

μ_y : Promedio del logaritmo natural de la variable x.

σ_y : Desviación del logaritmo natural de la variable x.

(Villón, 2000 pág. 211)

- Distribución log-normal 3 parámetros

$$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp -\frac{1}{2} \left[\frac{\ln(x-x_0) - \mu_y}{\sigma_y} \right]^2 \dots\dots\dots(07)$$

Donde:

x_0 : Parámetro de posición en el dominio x.

μ_y : Parámetro de escala en el dominio x.

σ_y^2 : Parámetro de forma en el dominio x.

(Villón, 2000 pág. 218)

- Distribución gamma de 2 parámetros

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma}\Gamma(\gamma)} \dots\dots\dots(08)$$

Para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Siendo:

γ : Parámetro de forma (+)

β : Parámetro de escala (+)

$\Gamma(\gamma)$: Función gamma completa.

(Villón, 2000 pág. 227)

- Distribución gamma de 3 parámetros o Pearson tipo III

$$f(x) = \frac{(x-x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \dots\dots\dots(09)$$

Para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x: Variable aleatoria gamma de 3 parámetros.

x_0 : Origen de la variable x, parámetro de posición.

γ : Parámetro de forma.

β : Parámetro de escala.

$\Gamma(\gamma)$: Función gamma completa.

(Villón, 2000 pág. 234)

- Distribución log-Pearson tipo III

$$f(x) = \frac{(\ln x-x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{\ln x-x_0}{\beta}}}{x \beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \dots\dots\dots(10)$$

Para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_0 : Parámetro de posición.

γ : Parámetro de forma.

β : Parámetro de escala.

(Villón, 2000 págs. 242,243)

- Distribución Gumbel

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}}} \dots\dots\dots(11)$$

Para:

$$-\infty < x < \infty$$

$$0 < \alpha < \infty$$

$$-\infty < \mu < \infty$$

Donde:

α : Parámetro de escala.

μ : Parámetro de posición, llamado también valor central o moda.

(Villón, 2000 pág. 251)

- Distribución log-Gumbel

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}}} \dots\dots\dots(12)$$

Para:

$$-\infty < x < \infty$$

$$0 < \alpha < \infty$$

$$-\infty < \mu < \infty$$

Donde:

α : Parámetro de escala, para $\ln(x)$.

μ : Parámetro de posición, llamado también valor central o moda para $\ln(x)$.

(Villón, 2000 pág. 257)

- **Prueba de Smirnov-Kolmogorov**

Es una prueba estadística que se utiliza en hidrología estadística para evaluar si una muestra de datos sigue una distribución de probabilidad específica o para comparar dos muestras de datos y determinar si provienen de la misma distribución. En el contexto de hidrología estadística, se utiliza comúnmente para verificar si un conjunto de datos hidrológicos sigue una distribución de probabilidad particular, Para tal caso se hace una comparativa entre el valor absoluto máximo calculado para una distribución determinada y el valor del delta tabular.

El delta tabular para una cantidad de datos mayor a 35 y un nivel de significación de 0.05 se calcula mediante la fórmula.

$$\Delta = \frac{1.36}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (13)$$

Donde:

Δ : Valor crítico o delta tabular.

n: Cantidad de datos de la muestra (Villón, 2000).

- **Caudal máximo de la cuenca**

Los caudales máximos definen la cantidad de valor extremo mayor para un intervalo de tiempo, en el caso de estudio de cuencas se miden caudales en Estaciones Hidrométricas (Streamflow Gauge); la calibración mediante modelación ha determinado a la estación Jesús Túnel como “muy bueno” dentro de una escala literal de “Reprobado, Malo, Bueno, Muy Bueno y Excelente”, además que cuenta con los datos suficientes (ANA, 2015).

Se estiman caudales máximos en función al tiempo de retorno que se le asigne, estos dos parámetros (caudal máximo y tiempo de retorno) son directamente proporcionales, y están condicionados por el riesgo, máximo, esfuerzo o capacidad máxima a la que estará sometida la estructura (Villón, 2002).

-Transposición de caudales

Método que toma como variables de comparación la altitud media de la cueca, Precipitación media y área de la cuenca para puntos cercanos o dentro de una misma

cunca se considera solamente el área de la cuenca como factor de transposición, así tenemos:

$$Q_d = \frac{A_d P_d}{A_c P_c} Q_c \dots\dots\dots(14)$$

Donde:

Qd: Caudal desconocido o de la cuenca en estudio.

Ad: Área de la cuenca en estudio.

Pd: Precipitación de la cuenca desconocida.

Qc: Caudal de la cuenca base o con datos.

Ac: Área de la cuenca con datos de caudal.

Pc: Precipitación media de la cuenca con caudal (ANA, 2010) (Consuegra, 2013) .

• **Precipitación media anual de la cuenca.**

La precipitación media anual de una cuenca hidrográfica se refiere a la cantidad promedio de precipitación que cae en un área geográfica determinada durante un año calendario completo. La precipitación media anual se estima sacando el promedio de los registros anuales de lluvia.

La precipitación media anual puede variar según la ubicación geográfica, el clima regional y otros factores. En algunas áreas, la precipitación media anual puede ser variable para el caso de las cuencas ubicadas en las zonas altoandinas del Perú las precipitaciones varían con la altitud media de la cuenca, las estaciones influyentes para la cuenca de la estación hidrométrica Jesús Túnel y otras ubicadas en el cauce del mismo río aguas arriba se tiene los siguientes datos (Villón, 2002) (ANA, 2015).

Tabla 1: Precipitación media anual.

La Encañada	ubicación		PP media anual (mm)
	Este	Norte	
Est. Porcón	761452.5	9221443.8	1416.8
Est. Weberbauer	776880.9	9206978.4	661.78
Est. Jesús	785733.8	9200079.3	678.98
Est. La Encañada	794592.6	9211766.4	963.75
Est. Namora	794516.3	9203282.3	783.88

Fuente: Autoridad Nacional del agua.

2.2.3 Bocatoma

Se define como bocatoma a la estructura construida dentro del cauce de un río con la finalidad de extraer cierta parte de su caudal y destinarlo para un fin con el propósito de satisfacer una necesidad humana ya sean sistemas de riego, abastecimiento, hidroeléctricas, minería e industria entre otros.

Si bien es cierto que el costo total de un proyecto no radica sólo en la construcción de la estructura de toma, sino que esta viene a ser solo una fracción del total, se deben de tomar en cuenta factores de seguridad en estabilidad y funcionamiento a través del tiempo; antes de construir, se debe considerar que al punto de ubicación de la obra de toma llegará:

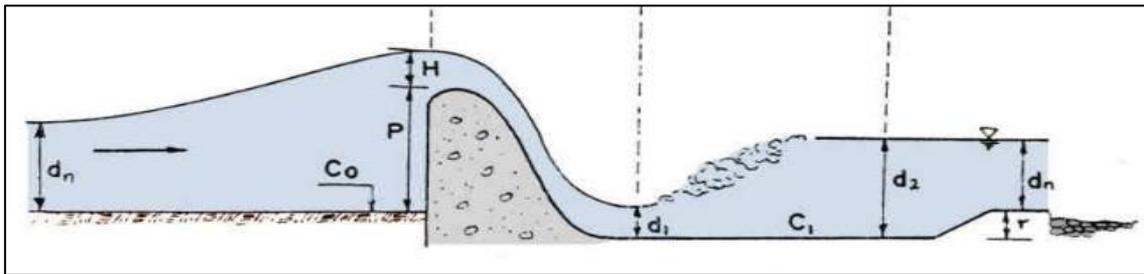
- Agua de precipitaciones ocurridas dentro de la cuenca delimitada desde el punto de ubicación de la bocatoma hacia arriba.
- Materiales sólidos producidos como parte de la erosión de la cuenca.
- Hielo, en lugares donde la temperatura alcanza niveles suficientes para dicho fenómeno natural.
- Cuerpos extraños como plantas, basura o desperdicios.

A excepción de la última todos los anteriores fenómenos y condiciones son naturales e inevitables, la construcción, operación y funcionamiento de una bocatoma están condicionados por circunstancias como:

- Inestabilidad fluvial y descargas variables.
- Información hidrológica limitada.
- Transporte de sólidos que pueden acumularse de la bocatoma aguas arriba y erosionar aguas debajo de la misma.
- Eventos de variación interanual de los factores meteorológicos como el fenómeno del niño.

La bocatoma presenta distintas variaciones en el flujo y el perfil hidráulico es ampliamente variable. (Rocha, 2013).

Figura 5: Perfil hidráulico de una bocatoma.



Fuente: (Mansen, 2016).

De la figura se tiene:

Co: Cota del terreno en 0.

C1: cota del dissipador de energía.

P: altura del barraje.

H: altura de lámina vertiente.

d1: Tirante del río al pie del vertedor.

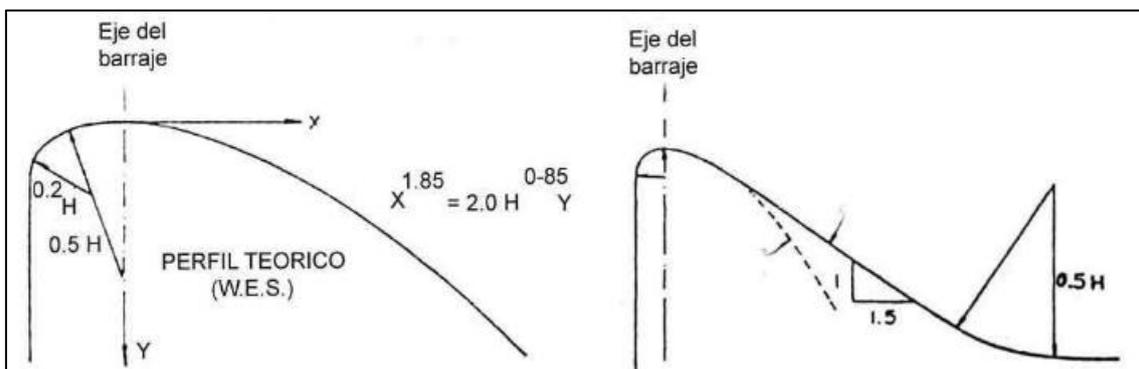
dn: tirante normal.

d2: tirante normal en la poza disipadora.

• Barraje

Es la estructura encargada de generar el embalse para la derivación del flujo por lo general las formas construidas deben evitar que se cree presiones negativas; por lo general se adoptan formas redondeadas aplicándose las fórmulas desarrolladas por la U.S. Army Engineers, Waterways Experiment Station aunque siempre se recomienda dar mayor robustez de ser necesario para evitar el daño por erosión.

Figura 6: croquis de forma de cresta de un barraje,



Fuente: (Mansen, 2016).

Canal de derivación

Estructura ubicada después de la ventana de captación, regulado por una compuerta, encargada de conducir el flujo hacia el lugar deseado, por lo general es donde se ubica el vertedor de demasías (Rocha, 2013).

- **Canal desripador**

Estructura perpendicular a la obra de toma encargada de eliminar sólidos y partículas de arrastre cuando las circunstancias hidráulicas y topográficas lo permiten (Rocha, 2013).

- **Cuenca amortiguador**

Un cuenco amortiguador de energía es una estructura hidráulica diseñada para reducir la energía cinética del agua que fluye después de pasar por una estructura, como una presa, una compuerta o una bocatoma. Cuando el agua fluye a través de estas estructuras, adquiere una alta velocidad y energía cinética. Una poza disipadora de energía está diseñada para dispersar esa energía, evitando así daños por erosión y turbulencias en el flujo aguas abajo. Las pozas disipadoras suelen tener una forma diseñada específicamente para que el agua pueda disipar su energía gradualmente y fluir de manera segura hacia el siguiente tramo del curso de agua; de acuerdo al tipo de cuenco amortiguador, se pueden encontrar dentro de estos distintos elementos como:

- **Bloques de concreto:** Los bloques de concreto o baffles en pozas disipadoras de energía son elementos que se utilizan para disipar la energía del agua. Están diseñados para crear una turbulencia que ayuda a reducir la velocidad del agua y a prevenir la erosión. Los baffles pueden estar hechos de una variedad de materiales, incluyendo concreto, acero y madera.

Los baffles se pueden colocar en una variedad de configuraciones, dependiendo del diseño específico de la poza disipadora de energía. Pueden colocarse en filas horizontales, verticales o diagonales. También se pueden colocar en grupos o en patrones aleatorios.

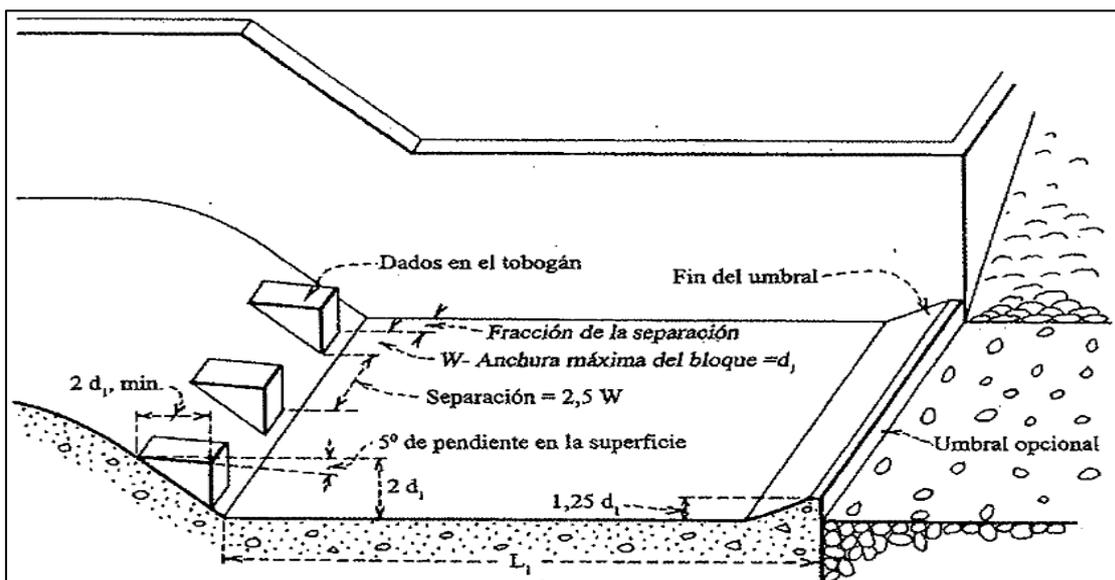
Los baffles son una parte importante de muchas pozas disipadoras de energía. Ayudan a proteger las estructuras de la erosión, el movimiento de los sedimentos, y la fuerza del agua. Los baffles también pueden utilizarse para controlar la velocidad y el nivel del agua, y para mejorar la calidad del agua.

- **Fondo de poza:** El fondo de la poza es una parte importante de muchas pozas disipadoras de energía, ayuda a proteger las estructuras de la erosión, el movimiento de los sedimentos, y la fuerza del agua. El fondo de la poza se utiliza para controlar la velocidad y el nivel del agua.
- **Umbral de salida:** El umbral de salida en una poza disipadora de energía es la estructura que permite que el agua fluya fuera de la poza. Está diseñado para evitar que el agua se estanque en la poza y para controlar la velocidad del agua.

Tipos de cuenco amortiguador: Según la USBR, "United States Bureau of Reclamation", que en español se traduce como "Oficina de Recuperación de Tierras de Estados Unidos"; de acuerdo a sus múltiples pruebas realizadas a desarrollado mediante fórmulas empíricas las dimensiones de cada uno de los elementos que constituyen la poza disipadora en función al número de Froude; dentro de las cuales tenemos:

- **Para número de Froude entre 1.00 a 2.50:** Se sugiere construir cuencos amortiguadores tipo USBR I, mismos que no siempre es necesario que cuenten con dados de impacto u otras estructuras además de la longitud del canal, construido a partir del punto donde inicia la variación del calado.
- **Para número de Froude entre 2.50 a 4.50:** Cuando el número de Froude oscila entre estos valores se recomienda la construcción de cuencos amortiguadores tipo USBR – IV, considerando que los cuencos amortiguadores ordinarios no son eficientes en el control de oleaje superficial (Buerau of reclamation, 1995).

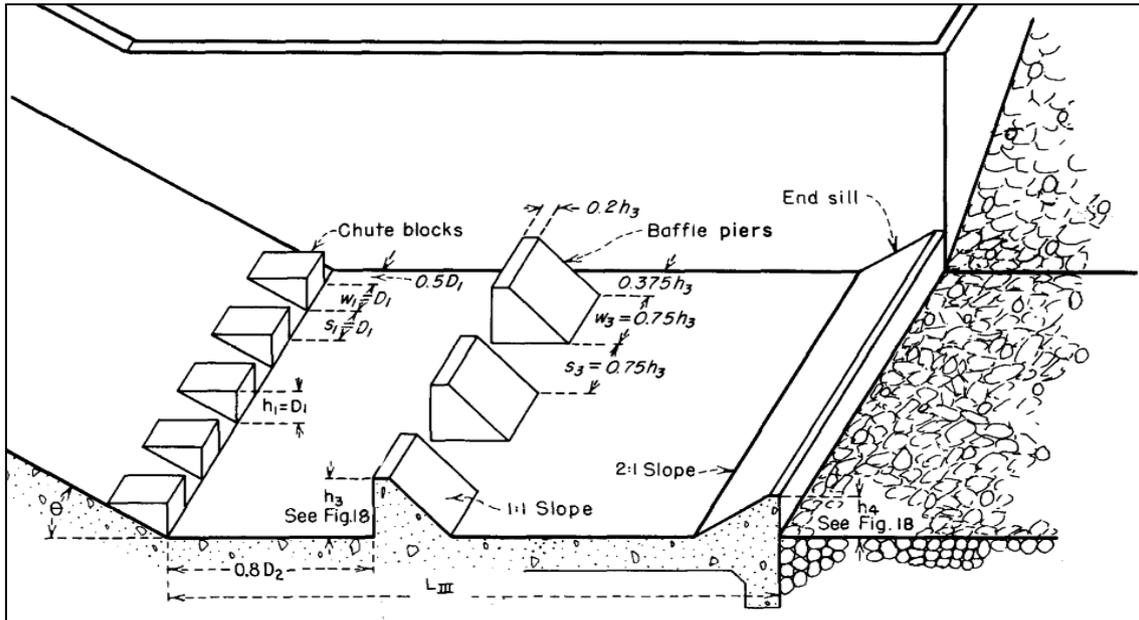
Figura 7: Cuenco amortiguador tipo USBR - IV.



Fuente: (Buerau of reclamation, 1995)

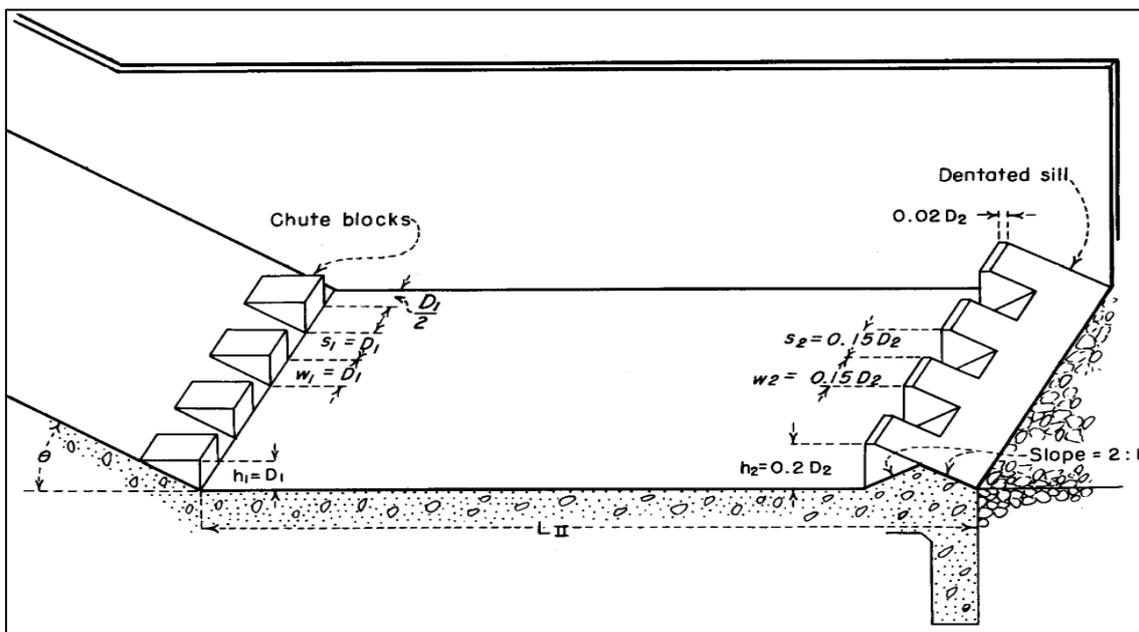
- **Para número de Froude mayor a 4.50:** Se recomiendan cuencos amortiguadores tipo USBR – III, de acuerdo a la Oficina de Recuperación de Tierras de Estados Unidos, estos cuencos amortiguadores son efectivos en tanto la velocidad de entrada no supere los 18 m/s; en tanto si la velocidad de ingreso supera los 18 m/s se recomienda la construcción de cuenco amortiguador tipo USBR – II (Bureau of reclamation, 1995).

Figura 8: Cuenco amortiguador tipo USBR - III.



Fuente: (Peterka, 1964)

Figura 9: Cuenco amortiguador tipo USBR - II.

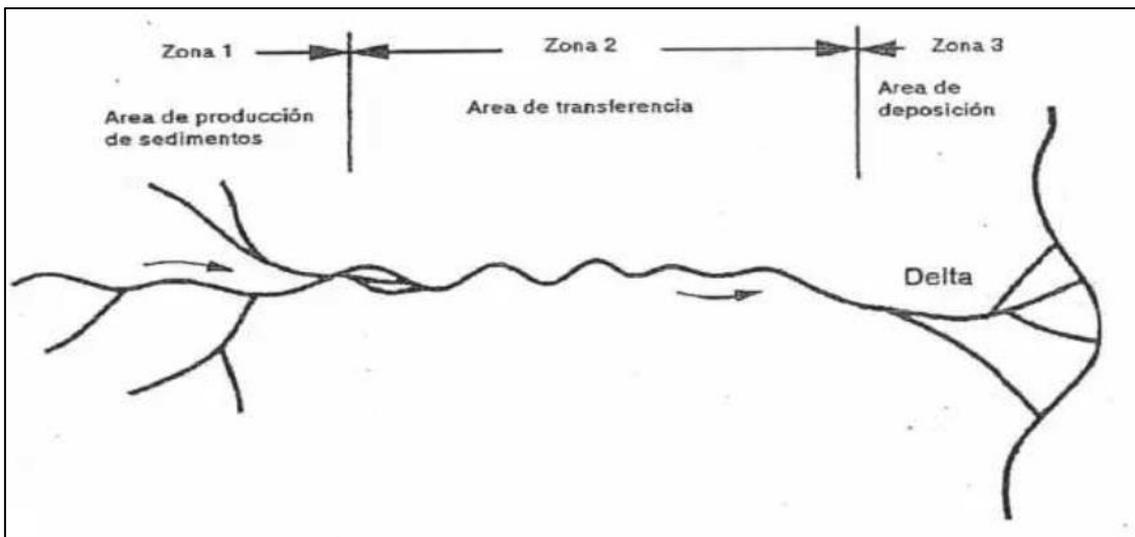


Fuente: (Peterka, 1964)

2.2.4 Ingeniería fluvial

Los ríos son parte fundamental del ciclo hidrológico, y constituyen la pieza fundamental dentro del sistema fluvial, un sistema fluvial según estudios realizados se divide en tres zonas, considerando la zona superior (zona 1), como el espacio geográfico en que se genera la mayor cantidad de caudal y sedimentos, la zona intermedia es la zona con mayor estabilidad y la zona 3 se considera las zonas de desembocadura de los ríos generalmente afectados por la marea.

Figura 10: partes de un sistema fluvial.



Fuente: (Apacla, 2014).

- **Huella hídrica**

La "marca de agua" o "línea de agua" es el punto visible y distintivo en la orilla de un río, donde el nivel del agua ha alcanzado su punto más alto y aún puede ser visible. Esta marca es el resultado directo de la acción del agua en el entorno. A medida que las aguas suben y bajan debido las crecidas y otros factores, dejan su marca en la orilla, dejando a menudo una línea o una serie de marcas en la tierra, arena, grava, rocas, vegetación y otras superficies cercanas al agua.

- **Caudal dominante**

Es el caudal de agua que prevalece en un río, arroyo u otro cuerpo de agua durante la mayor parte del tiempo. El caudal dominante es una medida útil para comprender el comportamiento habitual de un río o corriente. Es el caudal que determina la forma en que el agua erosiona, transporta sedimentos y modela el paisaje a lo largo del tiempo. Además, puede ser esencial para la planificación y el diseño de infraestructuras fluviales,

ya que proporciona información sobre la cantidad de agua que se puede esperar que fluya en un cuerpo de agua durante condiciones normales.

- **Inicio de movimiento en ríos**

La variación de la velocidad de la corriente del agua realiza modificaciones en el cauce de los ríos dependiendo de las condiciones de los materiales de los que está constituido el río este tendrá la capacidad o no de resistir a las fuerzas provocadas por el movimiento del agua sobre su superficie.

Las condiciones que se necesitan para que un flujo de agua inicie el movimiento, transporte o arrastre de las partículas sedimentarias por las cuales está conformado el fondo del río se denomina movimiento incipiente, movimiento crítico, condición crítica de arrastre, inicio de arrastre o transporte incipiente. Sin embargo, a condición de movimiento incipiente es diferente a la de transporte incipiente, pues la primera describe una situación instantánea en que una o más partículas comienzan a moverse, pero ello no significa que una vez que se han movido continúen haciéndolo, como ocurre en las situaciones de arrastre o transporte incipiente.

El fenómeno está basado en un análisis de laboratorio suponiendo un canal de vidrio recubierto con material no cohesivo como gravas y arenas el incremento gradual del caudal aumentará la velocidad de manera que se genere la separación de las partículas del fondo generando un balanceo en el gasto sólido; pero si se aumenta aún más la velocidad las partículas se alejarán del punto de observación.

- **Criterios para definir la condición crítica de arrastre**

Es muy difícil definir la condición crítica de arrastre puesto que existen múltiples situaciones de las cuales se pueden considerar tales como:

- ✓ Una partícula en se mueve dentro de un campo de observación.
- ✓ Varias partículas están en movimiento, pero se puede contar la cantidad de estas por área.
- ✓ Cuando a pesar del movimiento generalizado de partículas, el fondo aún se mantiene plano.
- ✓ Cuando el gasto sólido alcanza algún grado de acorazamiento.

Cuando se defina alguna de estas condiciones críticas de arrastre, se deben expresar no solo en términos de tamaño o densidad, sino también en función de las del flujo que da lugar a la condición crítica especificada. De ahí que el inicio de arrastre suela relacionarse

con la densidad o viscosidad del fluido, con el esfuerzo cortante medio que el flujo crítico produce en el lecho del canal (Comisión nacional del agua, 1996).

- **Acorazamiento de un cauce**

El acorazamiento en ríos es un proceso mediante el cual las partículas finas van siendo arrastradas en tanto en la superficie del lecho quedan expuestas los sedimentos no cohesivos de mayor tamaño, estos sedimentos quedan en la superficie en función a sus características, al estar expuestos a la acción del flujo forman una coraza o armadura a modo de empedrado que protege el acarreo de material fino subyacente.

Teniendo en cuenta que durante el proceso de acorazamiento de un cauce solo quedan en el lecho partículas o sedimentos de mayor tamaño es muy importante considerar que estos son fundamentales en los cálculos para lo que transporte incipiente o inicio de movimiento, en función a las características del material, las características del flujo y la morfología fluvial serán factores determinantes en la selección de partículas que formen parte de esta coraza, además puede que aleatoriamente y dependiendo a la ubicación de cada uno de las partículas estén sometidas a esfuerzos de distinta magnitud es por ello que en algunas zonas las partículas que formen la coraza tendrán mayor o menor diámetro (Apacla, 2014).

- **Coefficiente de Manning y cálculo de caudales mediante la fórmula de Manning**

- **Coefficiente de rugosidad de Manning:** Es un número adimensional desarrollado por el ingeniero Robert Manning en 1889, el cual relaciona la velocidad con el radio hidráulico y la sección transversal del río; por lo cual se puede decir que es un factor de resistencia al flujo del agua en un canal (Chow, 1994).

Para el río Chonta entre los puntos de coordenadas Este: 779730, Norte: 9207456 y Este: 787212, Norte: 9215966; el coeficiente de rugosidad de Manning estimado mediante la metodología propuesta por Chow, Ven Te, en función a los tirantes y velocidades está entre 0.028 hasta 0.0341, con valores relativamente mayores aguas arriba del primer punto (Burgos, 2017).

Tabla 2: Altura de rugosidades de Manning del río Chonta.

TRAMO	ESTE	NORTE	n (mínimo)	n (máximo)	n (promedio)
INICIO	779730	9207456	0.0444	0.0131	0.0290
E1	779881	9208681	0.0401	0.0093	0.0285
E2	780023	9210494	0.0432	0.0098	0.0295
E3	781211	9211610	0.0427	0.0116	0.0325
E4	782268	9212581	0.0495	0.0174	0.0341
E5	783903	9213110	0.0642	0.0021	0.0317
E6	784910	9214273	0.0417	0.0134	0.0253
E7	786574	9215092	0.0642	0.0021	0.0301
FIN	787212	9215966	0.0444	0.0131	0.0290

Fuente: (Burgos, 2017)

- **Fórmula de Manning:** La fórmula de Manning desarrollada también alrededor del año 1889, está basada en la fórmula básica del caudal la cual establece que el caudal es igual a la velocidad por la pasa un flujo por una sección sección transversal, así Manning para el cálculo de la velocidad establece mediante experimentos que esta es directamente proporcional al radio hidráulico y la pendiente e inversamente proporcional al coeficiente de rugosidad (Chow, 1994).

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

$$Q = \frac{A \cdot R^{2/3} S^{1/2}}{n} \dots\dots\dots(16)$$

Donde:

V: Velocidad

R: Radio hidráulico.

S: Pendiente del cauce.

n: Coeficiente de rugosidad según Manning.

- **Propiedades físicas del material del lecho del río**

Las propiedades físicas de la composición del lecho del río son determinantes en el comportamiento o respuesta a la fuerza tractiva que va modificando el río con el paso del tiempo, estos materiales pueden ser cohesivos o no cohesivos; los primeros conformados principalmente por arcillas ejercen una fuerza proveniente de la adhesión de partículas mientras que las segundas conformadas principalmente por gravas están conformadas por gravas o material grueso y la fuerza de resistencia está determinada por el peso propio de las mismas.

- **Forma y tamaño:** Para la clasificación de las partículas de fondo existen distintos estándares el más utilizado es el propuesto por la American Geophysical Union, el cual va determinando mediante tamices el tamaño de las partículas de gravas y arenas mientras que el tamaño de los cantos y guijarros se miden directamente con cinta métrica, usualmente se utiliza el D50 o tamaño medio de las partículas para el análisis de transporte de sólidos (Rocha, 2013).

En el río Chonta para las coordenadas 780023 Este y 9210494 Norte; la altura de rugosidad según su granulometría es 8.70 centímetros habiendo una variación ascendente aguas arriba y una variación descendente aguas abajo (Burgos, 2017).

Tabla 3: Altura de rugosidades absolutas del río Chonta.

TRAMO	ESTE	NORTE	Kmax cm	Kmin cm	Kmed cm
INICIO	779730	9207456	-	-	-
E1	779881	9208681	10.65	5.44	8.33
E2	780,023	9210494	10.16	7.62	8.70
E3	781211	9211610	12.92	10.91	12.12
E4	782268	9212581	16.68	12.04	14.64
E5	783903	9213110	18.66	16.20	17.70
E6	784910	9214273	17.43	14.03	15.62
E7	786574	9215092	18.15	18.15	18.15
FIN	787212	9215966	-	-	-

Fuente: (Burgos, 2017)

2.2.5 Dinámica de fluidos computacional

Los principios o leyes de conservación que describen de manera general el comportamiento de los fluidos, se pueden compilar en ecuaciones idealizadas de modo tal que den solución o describan matemáticamente un proceso. Estos procesos, en comparación con las soluciones que se pudieran tener como alternativas tales como los modelos hidráulicos físicos, suponen un bajo costo de Elaboración, un periodo de tiempo relativamente corto y se puede probar a distintas condiciones según se requiera.

Los métodos más ampliamente usados para el desarrollo de estas ecuaciones matemáticas están basados en métodos como el Método de Diferencias Finitas (MDF), de Volúmenes Finitos (MVF) y de elementos finitos (MEF), las cuales se utilizan para desarrollar ecuaciones mediante el principio de conservación de masa, momento, energía y especies químicas (transporte de masa), aunque existen otros métodos de solución numérica que incluyen integrales o también métodos espectrales o de frontera los más utilizados son los mencionados inicialmente.

FLOW-3D HYDRO, tiene un algoritmo de solución mediante aproximaciones numéricas, la compilación del software son las ecuaciones de Navier-Stokes, Reynolds y el concepto de turbulencia, mismas que son desarrolladas mediante el método de volúmenes finitos (diferencias finitas de tres dimensiones en el espacio).

- **Método de volúmenes finitos**

Este método aplica las ecuaciones de conservación; para una división finita de celdas y volúmenes de control, en el centro de masa o centroide de cada volumen de control recae un nodo computacional para el cual el programa calcula el valor de las variables para cada celda siguiente a la anterior el programa emplea una interpolación de valores para dar continuidad y conservación al flujo el principal fundamento de este método se basa en que en el flujo estudiado haya una conservación de masa, momento, energía y especies químicas si fuera el caso las ecuaciones de momento empleados por FLOW-3D HYDRO, son las de Navier-Stokes mismas que emplean funciones de masa, aceleración, viscosidad, velocidad y temperatura para realizar un proceso computacional como el descrito en el manual del software (Xamán, y otros, 2015) (Flow Science, Inc., 2022).

- **Modelos de turbulencia**

Los modelos de turbulencia en Dinámica de Fluidos Computacional son aproximaciones matemáticas que se utilizan para describir y simular el comportamiento de la turbulencia

en los fluidos. Estos modelos se basan en ecuaciones que representan la velocidad y la presión del fluido en función del tiempo y la posición en el espacio, y se utilizan en simulaciones numéricas para predecir el flujo de los fluidos en sistemas complejos, como en la ingeniería aeronáutica, la ingeniería civil y la industria automotriz. Existen varios tipos de modelos de turbulencia, desde modelos simplificados hasta modelos más complejos y precisos, y la elección del modelo dependerá de la aplicación específica y de las limitaciones computacionales del problema en cuestión.

Existen múltiples modelos de turbulencia; los más comunes son:

- Modelos de esfuerzo de Reynolds (RSM).
- Modelos de turbulencia de gran escala (LES).
- Modelos de turbulencia de escala media (MILES).
- Modelos híbridos.

-Modelos de turbulencia RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes): Estos modelos promedian los valores de la velocidad y la presión sobre un intervalo de tiempo, lo que permite una simulación más rápida. Los modelos RANS más comunes son:

- ✓ Modelo de turbulencia k-epsilon estándar.
- ✓ Modelo de turbulencia k-omega.
- ✓ **Modelo de Re Normalization Group (RNG):** Este modelo fue desarrollado por Yakov Yakubovich y Boris Kozlov en la década de 1990 y se basa en la teoría de la renormalización de grupos, que es una técnica matemática utilizada en física teórica para estudiar los sistemas complejos.

El modelo de turbulencia RNG se considera una mejora del modelo k-epsilon estándar, ya que incorpora términos adicionales en las ecuaciones de transporte de la energía cinética turbulenta y la disipación de la misma, lo que permite una mejor predicción de los flujos turbulentos. En particular, el modelo RNG tiene en cuenta el efecto de las fluctuaciones de velocidad en la escala de Kolmogorov, lo que permite una mejor descripción de la turbulencia en las capas límite de alta velocidad y en los flujos con separación y recirculación.

El modelo de turbulencia RNG se ha utilizado con éxito en diversas aplicaciones de CFD, como la simulación de flujos en geometrías complejas, la predicción de la aerodinámica de vehículos y la simulación de flujos en la industria de la energía (Versteeg, y otros, 2007).

- **Condiciones de simulación según FLOW-3D HYDRO**

- **Elección de las características del medio y tipo de flujo.** FLOW – 3D HYDRO, tiene distintas opciones para el caso de simulaciones con fluidos entre ellos tenemos Superficie libre un fluido, TruVOF incompresible; Superficie libre - Dos fluidos; Superficie Libre - Dos Fluidos – Compresible; Flujo confinado - Un fluido – Incompresible; Mezcla - Dos fluidos – Incompresible.

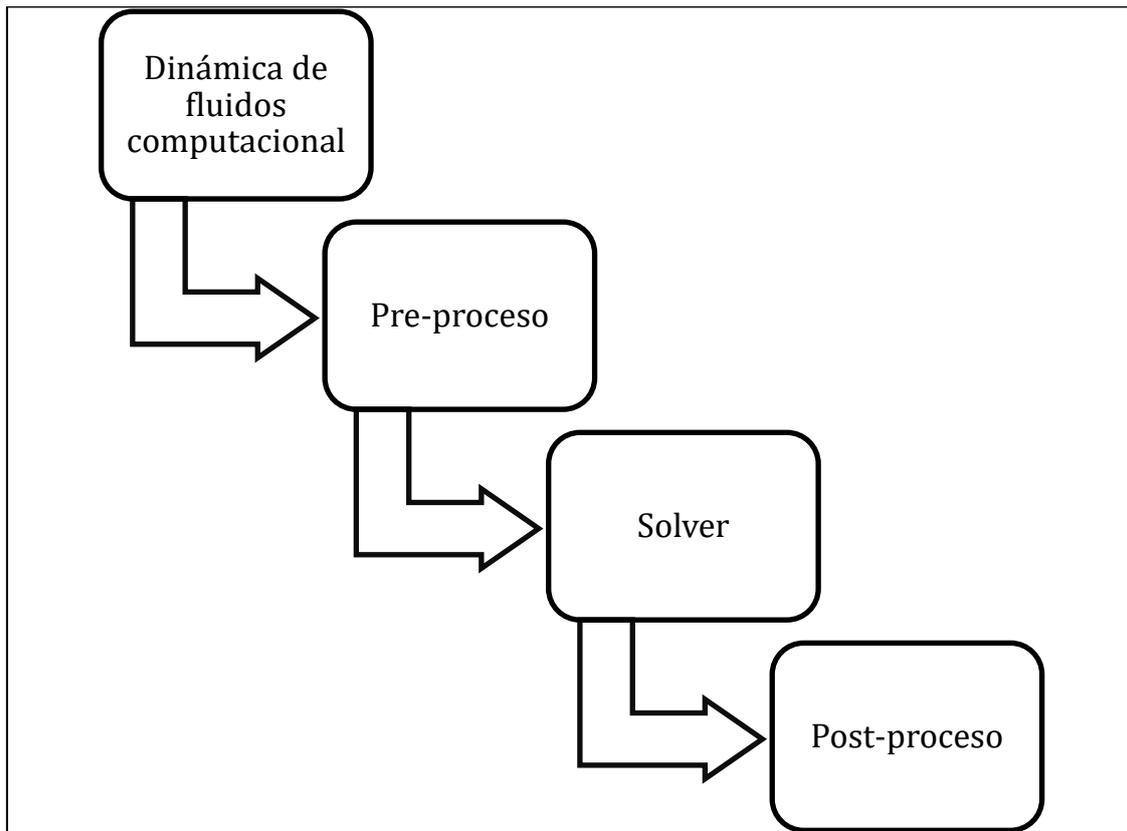
En el caso de Superficie libre, TruVOF incompresible; el software realiza la simulación teniendo en cuenta un fluido incompresible como el agua considerando que el desplazamiento está libre de confinamiento y es causado por la gravedad en la dirección Z del sistema de referencia, asignados por software; esta simulación puede aplicarse para lo que son estructuras que cumplan tales características como canales, bocatomas o estructuras de disipación de energía en flujo por gravedad.

- **Elección de las características del fluido.** Las características del fluido como temperatura, viscosidad y peso específico vienen pre establecidos en el software; sin embargo, se pueden modificar de acuerdo a las condiciones que se pudieran medir en campo; además se debe tener en cuenta que las unidades de trabajo con las que cuenta el software son ya sea en en sistema internacional de unidades o en sistema inglés (Flow Science, Inc., 2022).

- **Estructura de los CFD**

Normalmente se consideran tres etapas en el desarrollo de los CFD, en el siguiente orden establecido.

Figura 11: Partes de un proceso de desarrollo de los CFD.



Fuente: (Xamán, y otros, 2015)

- **Pre-proceso**

Es la etapa de preparación de los datos de entrada y las condiciones iniciales del modelo, en los softwares ampliamente difundidos ya sean de uso libre o pagado se tiene que en esta fase se definen:

- Geometría.**

En esta etapa se crea la geometría del modelo, que puede ser una estructura física ya sean estructuras geométricas regulares (estructuras) o topografía de terrenos. En general, la geometría se construye utilizando un software de dibujo asistido por computadora (CAD), si bien todos los programas de simulación tienen su propia extensión para creación de geometrías es muy importante y casi indispensable ayudarse de otros programas que han sido creados exclusivamente para dibujo, tales como AutoCad Civil 3d o ArcMap.

-Mallado

Se refiere a la división de una región de interés en pequeños elementos rectangulares o tetraédricos, conocidos como "celdas". Este proceso se utiliza para representar un volumen continuo de fluido en términos de un conjunto discreto de puntos o celdas, lo que facilita la resolución numérica de las ecuaciones que describen el comportamiento de los fluidos.

Se deberá tener mucho cuidado al momento de realizar el mallado puesto que de este depende la calidad y detalle de la estructura que se está modelando además de el paso de tiempo para la estabilización del modelo.

-Condiciones iniciales y Condiciones de borde

Las condiciones iniciales están referidas a las características iniciales del fluido a modelar; ya sean sus condiciones físicas o químicas del agua; mientras que las condiciones de borde son las que definen la interacción entre el fluido y las superficies que se están modelando (Versteeg, y otros, 2007).

• Solver o Procesamiento

Es el proceso de solución del problema, utilizando el ordenador mismo que realiza la resolución de las ecuaciones preestablecidas de acuerdo al desarrollador del software. el responsable del modelamiento solo debe esperar el tiempo que la máquina necesite para dar solución a la cantidad de ecuaciones generadas, el proceso generalmente es relativamente largo y demandará de tiempo.

-Estabilización del modelo: Para que la solución numérica del programa no sea divergente se deberá tener en cuenta el espacio y el paso de tiempo, existen algunas maneras de aproximar y encontrar el tiempo y espacio óptimos mediante la fórmula propuesta por Courant-Friedrich-Levy (Lozano, 2019); en el caso del software Flow-3d Hydro tiene un mensaje de aviso en cuanto el modelo se ha estabilizado (Flow Science, Inc., 2022).

• Post-proceso

Es la parte final del proceso donde se visualizan los resultados calculados, el responsable del modelamiento realizará el análisis y conclusiones del trabajo generalmente los resultados gráficos se dan en escalas de colores dependiendo de la intensidad o cantidad

de la variable estudiada se apreciará el color correspondiente (Xamán, y otros, 2015) (Flow Science, Inc., 2022).

2.3 Definición de términos básicos

Calibración: Se define por calibración al proceso de medición y comparación entre un elemento patrón y un elemento a calibrar, para el caso de modelos matemáticos, se utiliza el término calibración a la actividad realizada con el fin de hacer coincidir los parámetros de medición dentro del prototipo y el modelo (American Society of Civil Engineers (ASCE), 2004).

Bocatoma: Es una estructura de aprovechamiento hídrico la estructura de captación dependerá del tipo de Fuente: de agua que se quiera aprovechar para el caso de captación de ríos es la estructura primaria para el proceso de derivación tratamiento y uso que se le quiera dar, esta se construye perpendicular al cauce del río de modo que se genere un embalse para evacuar el caudal requerido (Rocha, 2013).

Caudal: Se define por caudal a la cantidad de materia por unidad de tiempo que pasa por una sección determinada, para el caso de caudal en ríos definimos al caudal como el volumen de agua por unidad de tiempo, que pasa por una sección determinada (Cengel, y otros, 2018).

CFD: La dinámica de fluidos computacional o CFD (del inglés Computational Fluid Dynamics) es la representación mediante ecuaciones matemáticas del comportamiento de un fluido dentro de un medio determinado, tales ecuaciones matemáticas serán solucionadas mediante un ordenador de acuerdo a la metodología elaborada por el desarrollador del programa (Xamán, y otros, 2015).

Cuenca: Es el área delimitada por los puntos más altos desde donde drena el agua hacia un mismo punto de salida o evacuación, la unión de estos puntos más altos se le llama divortium aquarum (Villón, 2002).

Descarga: Es el flujo que pasa a través de una estructura, para el caso de la presente investigación está referido al flujo que se desplaza por acción de la gravedad a través del umbral de salida (Chow, 1994).

Cuenca amortiguador: Es la estructura ubicada en la parte final de la obra de toma inmediatamente después del vertedor o estructura que se encarga de derivar el caudal su finalidad es dar estabilidad a estructura y evitar la erosión debido al cambio brusco de la energía cinética a causa del aumento de velocidad (Bureau of reclamation, 1995).

Estadística: Es la ciencia que se encarga de realizar análisis a partir de un conjunto de datos, con la finalidad de realizar inferencia mediante las probabilidades (Mendenhall, y otros, 2019).

Hidrología: La hidrología es una ciencia que se encarga del estudio de las propiedades del agua distribuidas a lo largo del todo el planeta esencialmente en la circulación de esta, además de sus propiedades ya sean físicas químicas o mecánicas (Villón, 2002).

Hidrometría: Se define como hidrometría al estudio de las masas de agua en distintos de sus características ya sean caudales, velocidad, tirantes, sedimentos, entre otros que sean datos relacionados con la distribución respecto al tiempo o espacio del agua sobre un área determinada de la tierra (Arboleda, y otros, 2018)

Periodo de retorno: Es la estimación probabilística de un evento en determinado periodo de tiempo, para nuestro caso en particular estamos utilizando el periodo de retorno para la ocurrencia de máximos caudales dentro de ese tiempo asumido.

Precipitación media: La precipitación media anual de una cuenca es la cantidad promedio de lluvia, nieve y otras formas de precipitación que caen en una cuenca hidrográfica durante un año determinado. (Villón, 2002).

Rugosidad: Es un de las características físicas del medio por el cual se transporta el fluido, que ofrece resistencia al movimiento y como tal un factor de disipación de energía realizando variaciones importantes en los parámetros de velocidad y dirección del flujo, dicho de un modo más simple la rugosidad es la aspereza de la superficie (Comisión Nacional de Agua - UNAM, 1996).

Tirante: Se refiere a la profundidad con la que fluye el agua a través de un medio; el tirante tiene unidades de medición de longitud (Apacla, 2014).

Topografía: Es la técnica que nos ayuda a describir y representar gráficamente una determinada área de terreno, la topografía implica los procedimientos necesarios para la ubicación de puntos u objetos dentro de un espacio de la tierra y su representación de manera gráfica a escala (Zamarripa, 2010).

Variación de velocidad: Es el cambio de rapidez con la que se desplaza el agua a través de una sección determinada considerando que el caudal y la velocidad son magnitudes directamente proporcionales la variación de cualquiera de estas implicará un cambio cuantificable de la otra (Chow, 1994).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área de estudio

El proyecto, ejecutado con el afán de mejorar el sistema de riego de los usuarios del canal Remonta II, fue construido por la Municipalidad Distrital De Baños Del Inca, para la comunidad de Tartar Chico – C.P. Huayrapongo, la Captación en estudio está ubicada en el cauce del río Chonta, junto a la carretera Otuzco – Baños del Inca, frente al restaurante Castope de tartar, el acceso principal es mediante la vía antes indicada, su ubicación política y geográfica es:

Distrito: Cajamarca.

Provincia: Cajamarca.

Región: Cajamarca.

UTM – WGS84:

Zona: 17S

Norte: 779716.25 E

Este: 9210161.28 S

Figura 12: Croquis de ubicación política.

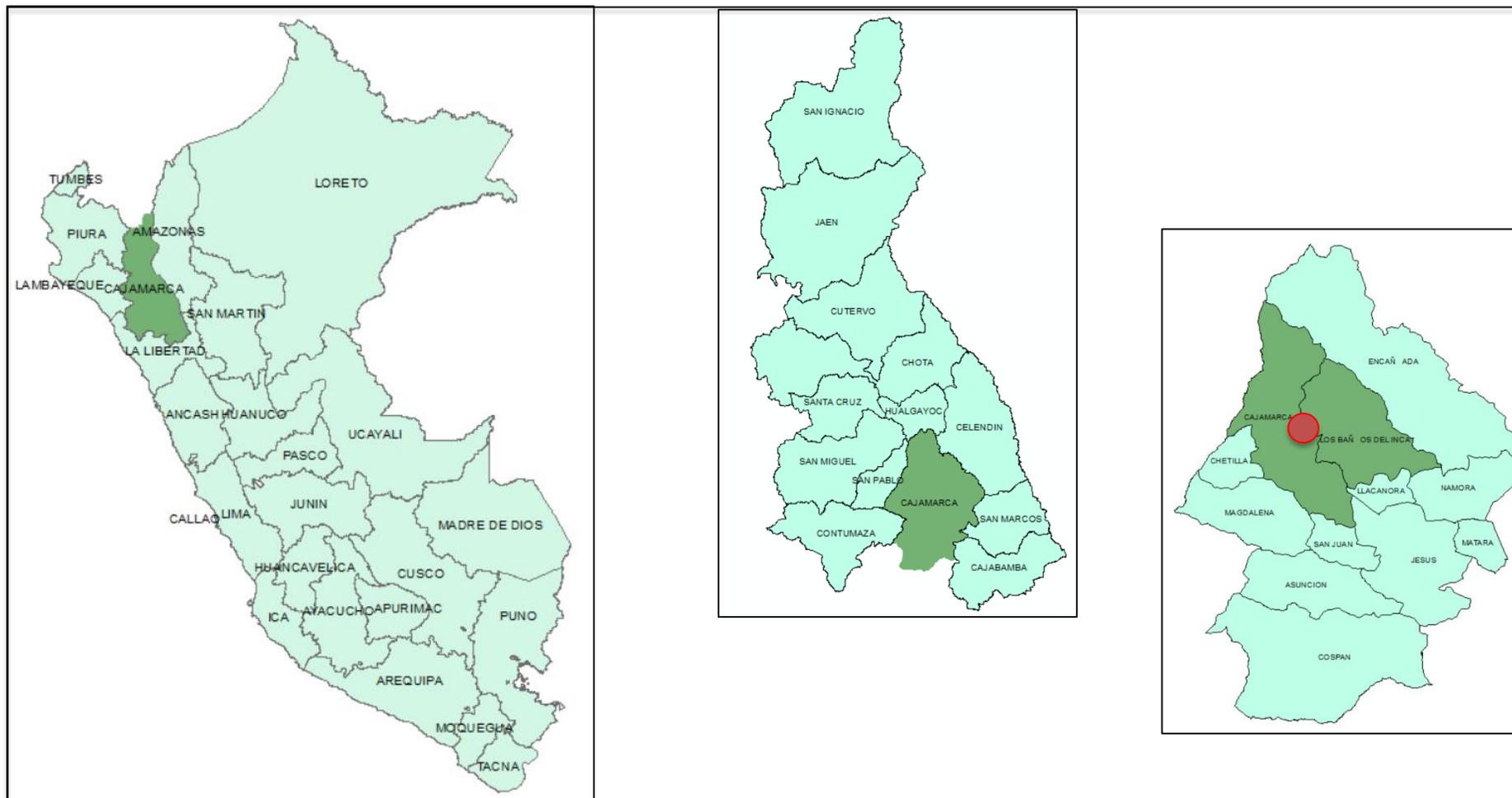
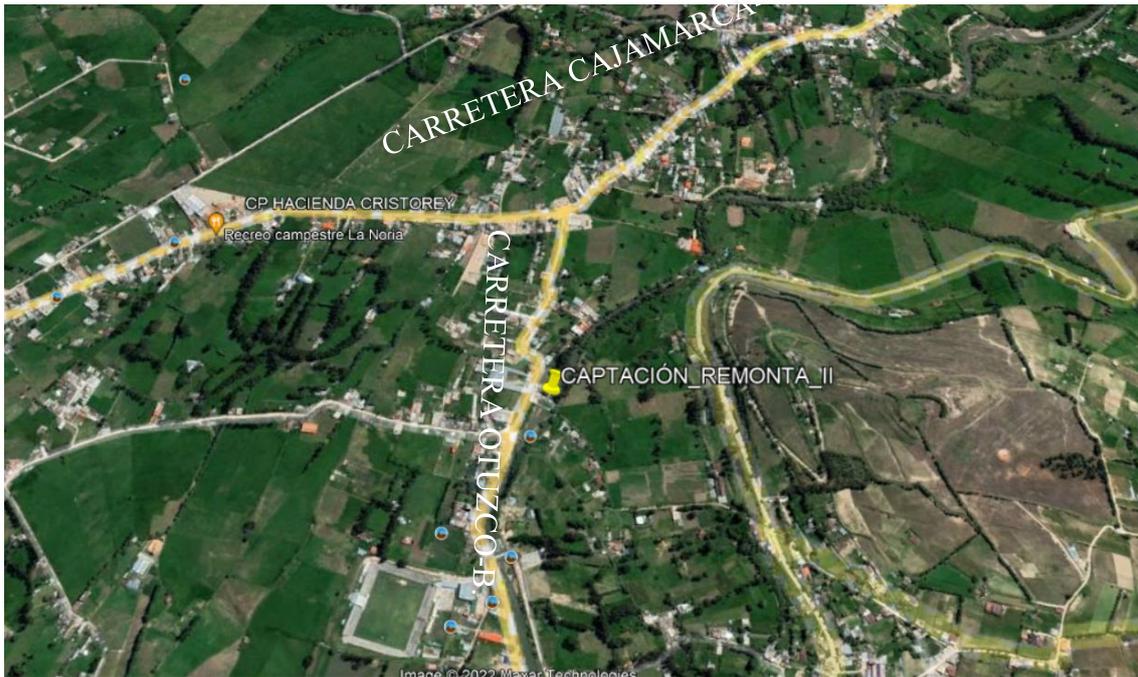


Figura 13: Ubicación satelital de la estructura de estudio.



3.2 Materiales y softwares

3.2.1 Materiales

Fichas de recolección de datos para medición de tirantes.

Equipo para levantamiento topográfico (Estación total, prisma y otros)

Equipo para levantamiento geométrico de la estructura (Wincha, regla estadimétrica, libreta de apuntes)

Útiles de escritorio y laptop.

3.2.2 Softwares

Autocad Civil 3D

ArcGis

Flow-3D HYDRO

Softwares desarrollados por Microsoft (Word, Excel, Power Point)

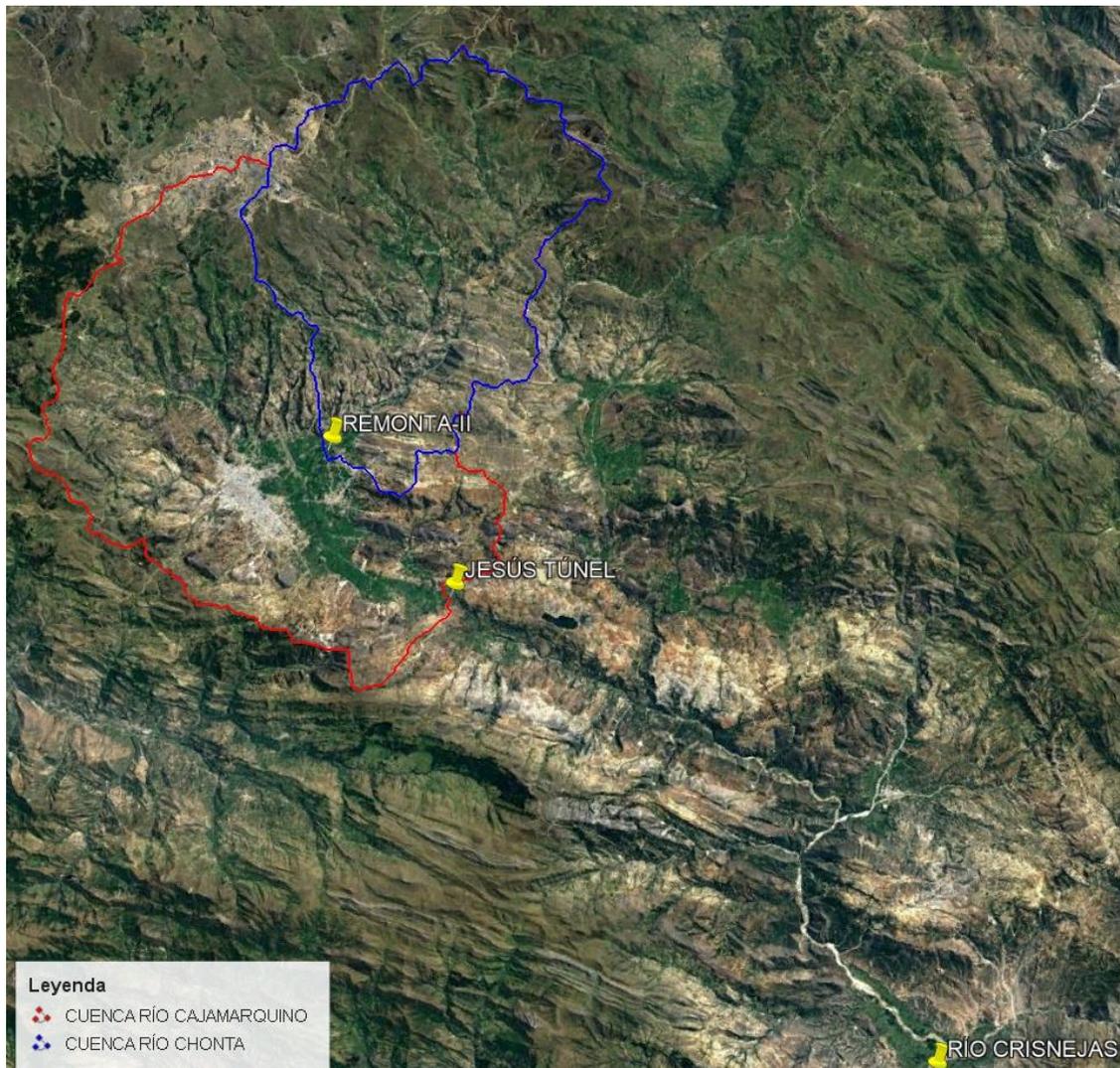
3.3 Procedimiento

3.3.1 Determinación de caudales máximos y caudal dominante

➤ Determinación de Caudales Máximos

Se solicitó al SENAMIH, datos de caudales máximos de la estación hidrométrica Jesús Túnel ubicada en el cauce del río Cajamarquino Latitud: $7^{\circ}13'14.32''S$, Longitud: $78^{\circ}24'13.55''O$ y Altitud: 2568 m.s.n.m. según la web del SENAMIH, de otra parte se tomaron los datos de la ubicación de la estructura de captación Remonta II con Latitud: $7^{\circ}8'18.70''S$, Longitud: $78^{\circ}28'3.05''O$ y Altitud: 2711 m.s.n.m. siendo ambas tributarios de la cuenca del río Crisnejas se consideraron las variables necesarias para la aplicación de la fórmula.

Figura 14: Ubicación satelital de las cuencas en comparación



- **Análisis de datos dudosos Outliers**

Con la información proporcionada por el SENAMIH se realizaron análisis para determinar si existen datos dudosos en la muestra para la cual se realizó mediante las fórmulas 01, 02, 03 y 04 que ya vienen cargadas por defecto en el programa Excel.

- **Análisis estadístico de datos de caudales**

La información proporcionada por el SENAMHI está, como se ha mencionado anteriormente en la estación hidrométrica Jesús – Túnel, ubicado geográficamente en las coordenadas UTM WGS-84 Zona 17 sur Este: 785683.5 – Norte: 9200074.7, para los cuales se realizaron las pruebas de bondad de ajuste utilizando las fórmulas 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12 y 13 siendo el modelo de distribución probabilístico el que más se ajusta la distribución Log. Pearson III para los cuales se proyectaron los periodos de retorno de prueba de 15, 25 y 50 años de acuerdo con el tipo de construcción considerando que el periodo de retorno para estas estructuras se considera tiempos de retorno mayores a veinticinco años, dependiendo de factores económicos y sociales, al momento de su construcción, de acuerdo a la metodología propuesta por la autoridad nacional del agua.

- **Delimitación de la cuenca aportante y la cuenca base**

Se realizó la delimitación de la cuenca del río cajamarquino considerando como punto de descarga la estación hidrométrica Jesús túnel, para transposición de caudal, además de otro lado se realizó la delimitación de la cuenca aportante para el punto de análisis en nuestro caso la captación del canal Remonta II, para esto nos apoyamos de softwares de sistemas de información geográfica, se tuvieron que descargar las cartas nacionales disponibles en la página web de Geo Gps Perú; y posteriormente sacar las variables necesarias para las cuencas antes mencionadas.

- **Cálculo de caudales para tiempos de retorno**

Se estimó previamente la precipitación media de la cuenca para punto de descarga en la estación Jesús Túnel y también la precipitación media para la cuenca con punto de descarga en la bocatoma del sistema de riego Remonta – II y mediante la fórmula 14 se realizó la transposición de caudales.

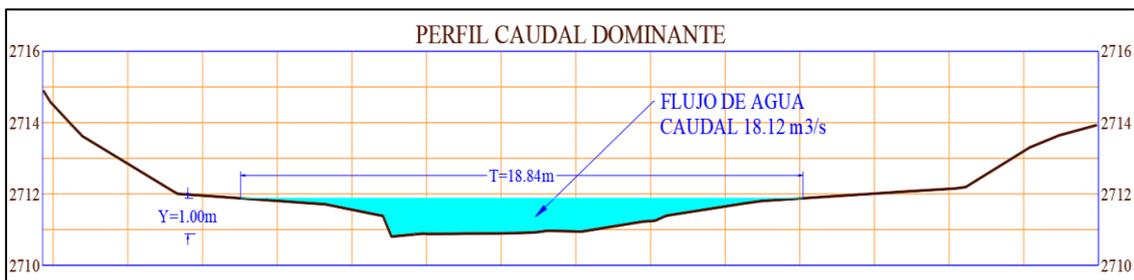
➤ **Determinación del caudal dominante**

Mediante la huella hídrica se dibujó una sección de río de la topografía obtenida para lo cual con la respectiva pendiente obtenida de la topografía y los datos de rugosidad de Manning obtenidas de la tesis de grado de Burgos Irving se aplicó la fórmula número 08 y se determinó el caudal dominante.

Figura 15: Ubicación de la sección donde se calculó el caudal dominante.



Figura 16: Sección hidráulica del caudal dominante



3.3.2 Obtención de información de geometría, topografía e hidráulica

- **Levantamiento topográfico**

El levantamiento topográfico, se realizó con estación total Leica Ts06, con el apoyo de un topógrafo capacitado y dos prismeros, para la presente investigación se realizó el levantamiento de los puntos más relevantes de la estructura, así como la topografía aguas arriba y la topografía aguas abajo.

Figura 17: Levantamiento topográfico de la estructura.



- **Levantamiento geométrico de la estructura**

Esta actividad se realizó como parte de la contrastación de la topografía y la medición de figuras geométricas regulares, entre ellos los muros, el vertedor, las ventanas de limpia y la ventana de captación, así como la poza disipadora de energía y el umbral terminal, para lo cual utilizamos wincha, una mira topográfica y una varilla de acero para la medida de la profundidad de los muros puesto que debido a la energía cinética provocada por la corriente del agua ocasionaba pandeo y desestabilización en la mira topográfica.

Las estructuras como parte de la medición de la estructura fueron las siguientes:

- Vertedero.
- Muros de encausamiento.
- Ventanas de limpia o flujo de sedimentos.
- Ventana de captación.
- Umbral de salida.

Figura 18: Levantamiento geométrico de la estructura.



- **Obtención de datos hidrométricos**

Se tomaron cuatro puntos de control, para cuatro caudales distintos el primer punto a dos metros aguas arriba del vertedero otro sobre la ventana de limpia, otro en la parte baja del vertedero a un metro con sesenta centímetros, de este debido a que el acceso a medir exactamente sobre el pie del vertedero era demasiado riesgoso y el acceso quedaba en la pared trapezoidal del muro, el tercero en el inicio del umbral de salida y el último al final del umbral, estas medidas se tomaron en máximas avenidas con la ayuda de una mira topográfica a partir del borde superior del muro se realizaron las medidas y para encontrar el tirante se descontó la profundidad inicial del muro; cada una de las medidas se realizó cuando el tirante H2 superaba el borde del vertedor puesto que en estiaje el caudal baja tanto que solo pasa por las ventanas de limpia, además en época de estiaje la compuerta en la ventana de captación se abre lo cual genera pérdida de caudal en cambio en temporada de lluvia esta permanece cerrada lo cual permite el paso por el río de la totalidad del caudal.

Figura 19: Croquis de medición de los tirantes para calibración.

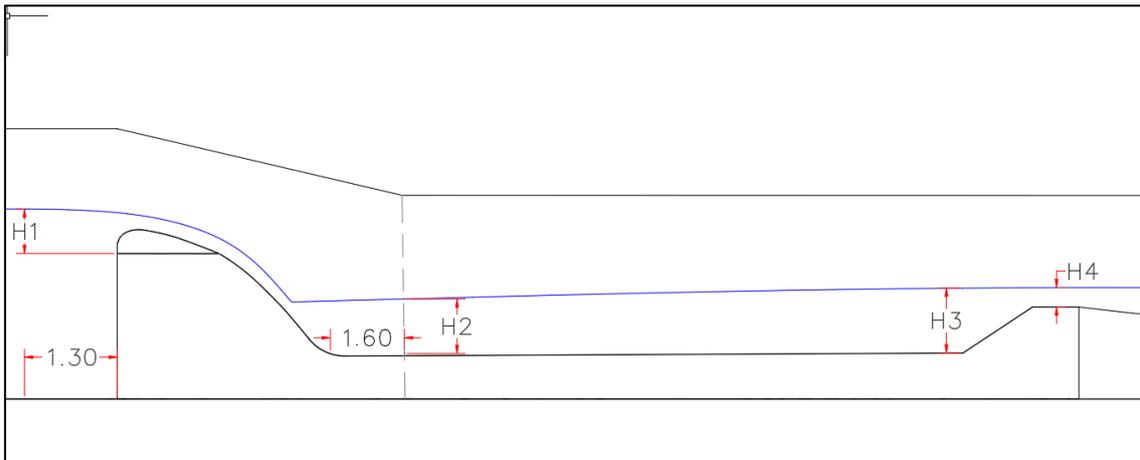


Figura 20: Medición de los tirantes para calibración del modelo.



3.3.3 Ejecución y calibración del modelo numérico

➤ Ejecución del modelo hidráulico

- Pre-proceso

Para este caso realizamos cuatro mallados uno a dos metros aguas arriba de la estructura otro mallado con el vertedero puesto que por su geometría se debía reducir el tamaño de celdas y crear dos secciones de mallado más fino al pie y a la mitad de este, otra malla con la poza disipadora creando un refinamiento de malla en el umbral de salida, y otra con la topografía 10 metros aguas abajo.

Figura 21: Distribución del mallado del modelo.

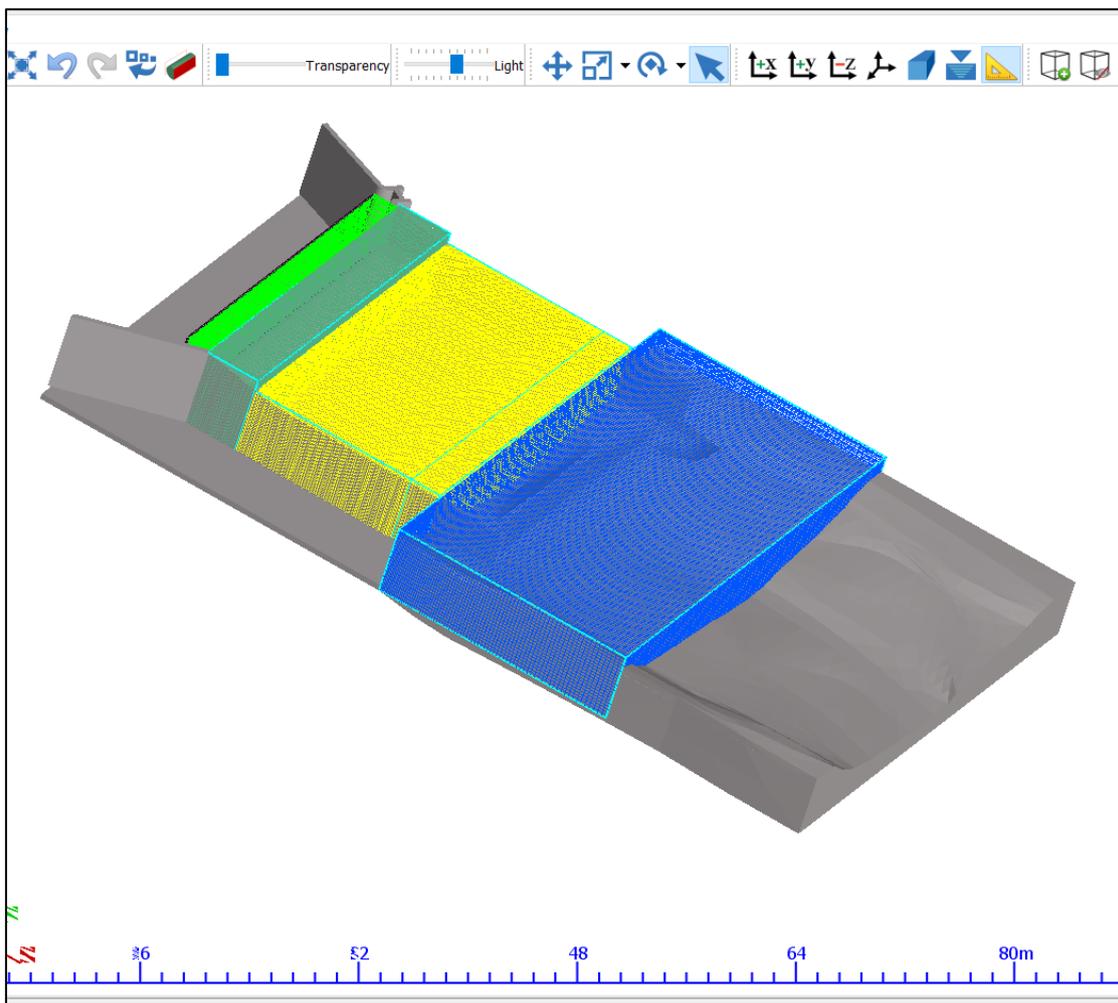
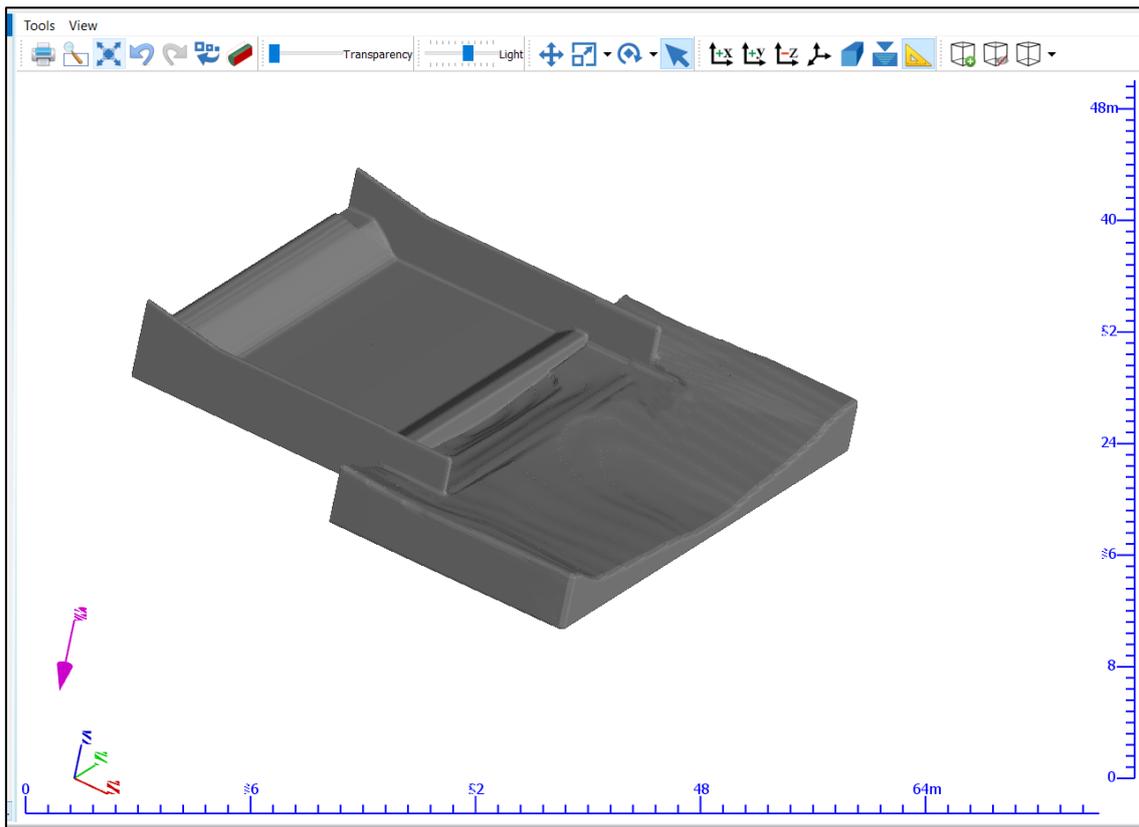


Figura 22: Mallado final del modelo.



- Solución

La solución con las características de la laptop demoró en promedio unas 24 horas por cada tirante de ingreso evaluado, la capacidad del procesador y tarjeta RAM fueron fundamentales para el desarrollo de las ecuaciones compiladas en el software.

Los tiempos de simulación fueron variables entre 65 y 75 segundos ingresados dentro del programa, el software tiene la bondad de avisar cuando el flujo es estable y ya no existen variaciones considerables en los cálculos por lo tanto los modelos podrían detenerse cuando el mensaje: *“solution is nearly steady: variation from the mean is less than 1.3013E-01 % at t= 7.30581E+01”*, el texto anterior es tomado de la primera simulación donde nos alerta de la estabilización del modelo para el tiempo dado.

- Post-proceso

Durante esta etapa se verificaron y contrastaron los tirantes medidos con los calculados se corrigieron las rugosidades absolutas de la estructura existente, y se probaron los modelos de turbulencia cargados en el programa siendo el que mejor se adapta a las condiciones de trabajo y se ajusta a los tirantes medidos el modelo Renormalized Group.

Para el cálculo de los tirantes se siguió el siguiente proceso:

- ✓ Se colocó un sistema de referencia relativo en el gráfico de Post proceso.
- ✓ Se ubicaron los puntos de aforo a lo largo del eje de corte tomando una distancia relativa a partir del punto 10,10,10
- ✓ Se identificaron los valores de presión en Pascales y se convirtieron a metros columna de agua.

Figura 23: Localización en tres dimensiones de las coordenadas y plano de corte de medición de tirantes.

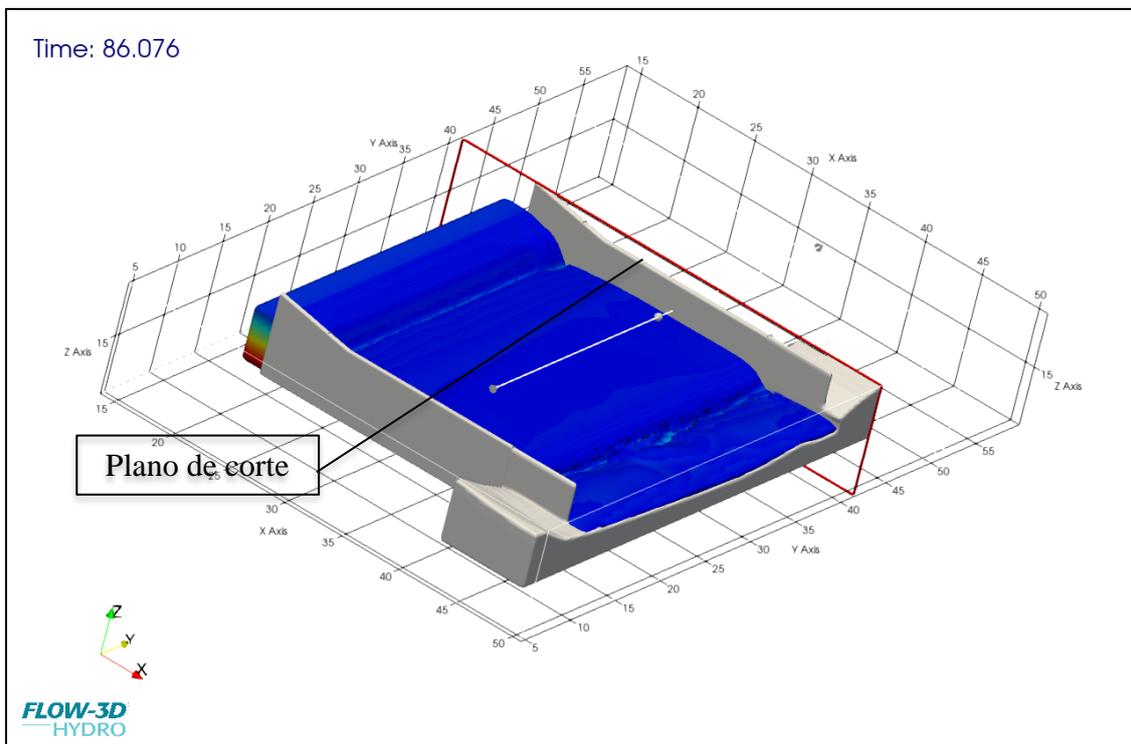
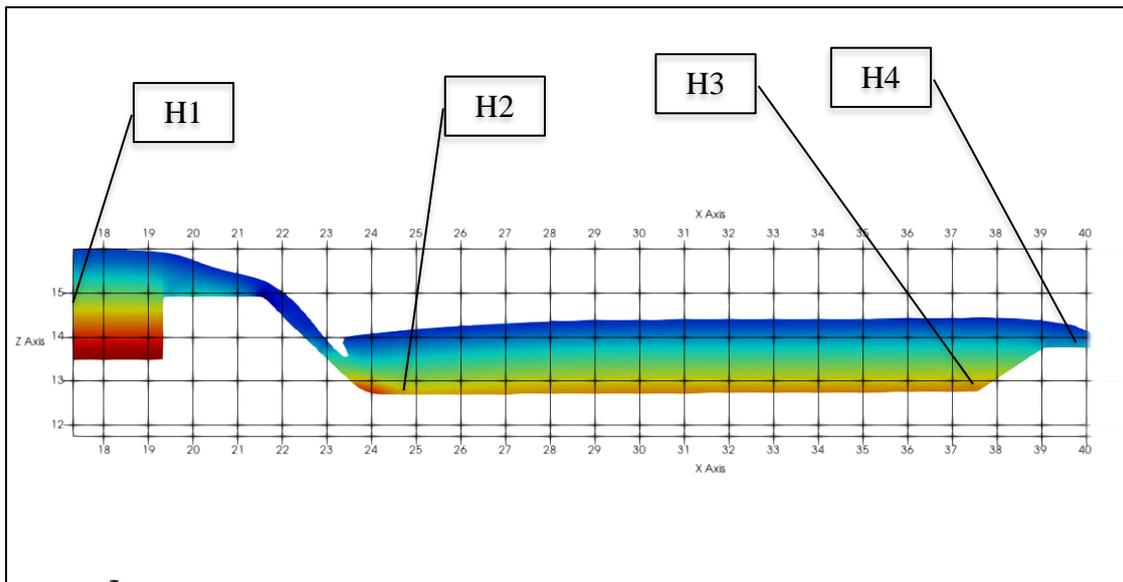


Figura 24: Perfil de localización de los puntos de presión.



➤ **Calibración del modelo hidráulico.**

Para este caso se realizó la medición de tirantes para cuatro caudales distintos y se creó una tabla de datos de modo que al variar el modelo de turbulencia y la rugosidad absoluta de la estructura se hizo coincidir los cálculos de tirante del software con los medidos en campo; para lo cual se ejecutó el programa seis veces de la siguiente manera:

- ✓ Se ingresó un tirante de altura denominado TIRANTE1, para el cual se consideró una altura de ingreso sobre la ventana de limpia de 0.70 metros y 0.001 metros de rugosidad absoluta.
- ✓ Puesto que los tirantes calculados con el programa no coincidían con los tirantes medidos en campo, se asumió un nuevo valor de rugosidad de 0.0013 metros para una altura sobre la ventana de limpia de 0.87 metros considerado TIRANTE2P.
- ✓ Debido a que aún con la anterior prueba no coincidían los tirantes se realizó una tercera prueba con para una altura sobre la ventana de limpia de 0.84 metros y una rugosidad del concreto de 0.0016 considerado TIRANTE3P.
- ✓ Puesto que las anteriores medidas se acercaban bastante a las medidas realizadas en campo se volvió a corregir la rugosidad esta vez a 0.0015 metros y para una carga hidráulica sobre la ventana de limpia de 0.78 metros se realizó una cuarta prueba considerada TIRANTE4P, para la cual se encontró un error máximo en longitud de tirantes de 2.5%

- ✓ Para verificar que la aproximación sea la mayor posible se realizaron las pruebas para los tirantes anteriores de 0.87 metros y 0.84 metros para las pruebas denominadas TIRANTE2 y TIRANTE3 con una rugosidad de 0.0015 metros, para las cuales se encontraron errores por debajo del 2.8%.

Las pruebas y simulaciones de calibración fueron las siguientes.

Tabla 4. Datos de las pruebas realizadas para calibración.

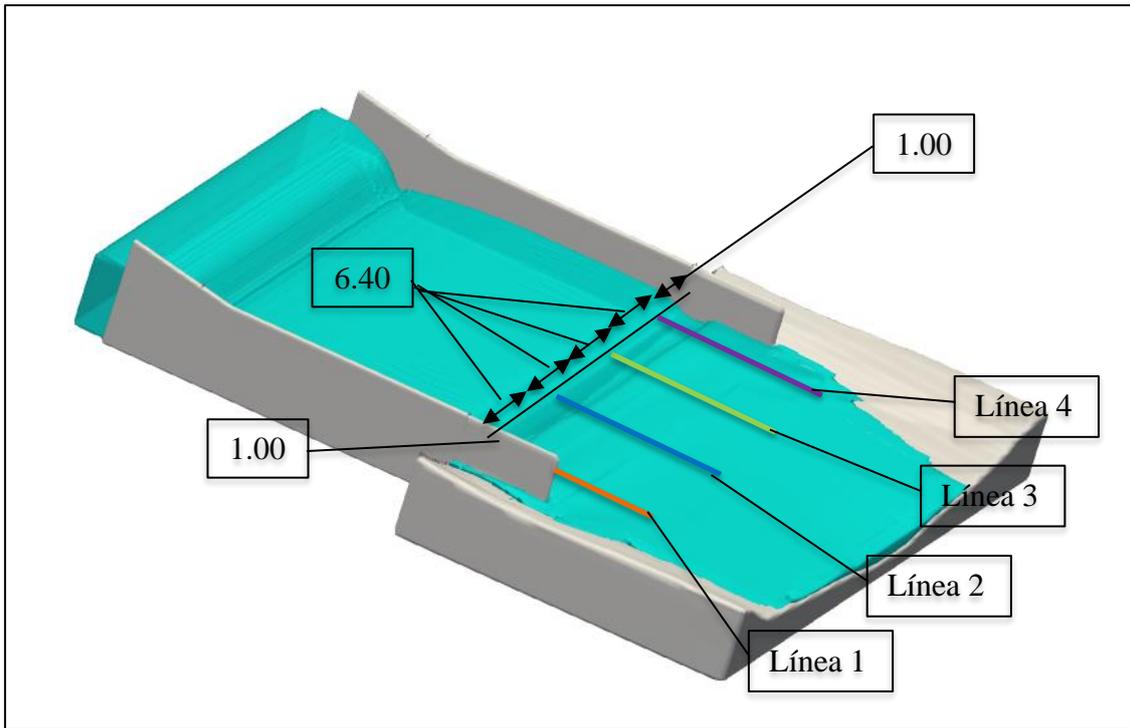
Prueba	Carga Hidráulica	Rugosidad	Tiempo de solución	Validación
TIRANTE1	0.70	0.0010	22h 51m	Corregir +
TIRANTE2P	0.87	0.0013	22h 32m	Corregir +
TIRANTE3P	0.84	0.0016	22h 48m	Corregir -
TIRANTE4P	0.78	0.0015	24h 29m	Correcto
TIRANTE2	0.87	0.0015	17h 40m	Correcto
TIRANTE3	0.84	0.0015	20h 40m	Correcto

3.3.4 Determinación de la variación de velocidad, cálculo de la velocidad aguas abajo y análisis

Determinación de la variación de velocidad: Se llevaron a cabo las actividades de preproceso, utilizando las características de la malla previamente calculadas durante la calibración. Se ingresaron caudales correspondientes a tiempos de retorno de 10, 25 y 50 años, para los cuales se analizaron las velocidades permisibles de acuerdo a la zona de acorazamiento del río en la zona ubicada aguas debajo de la estructura. Para lograr esto, se realizaron los siguientes procesos:

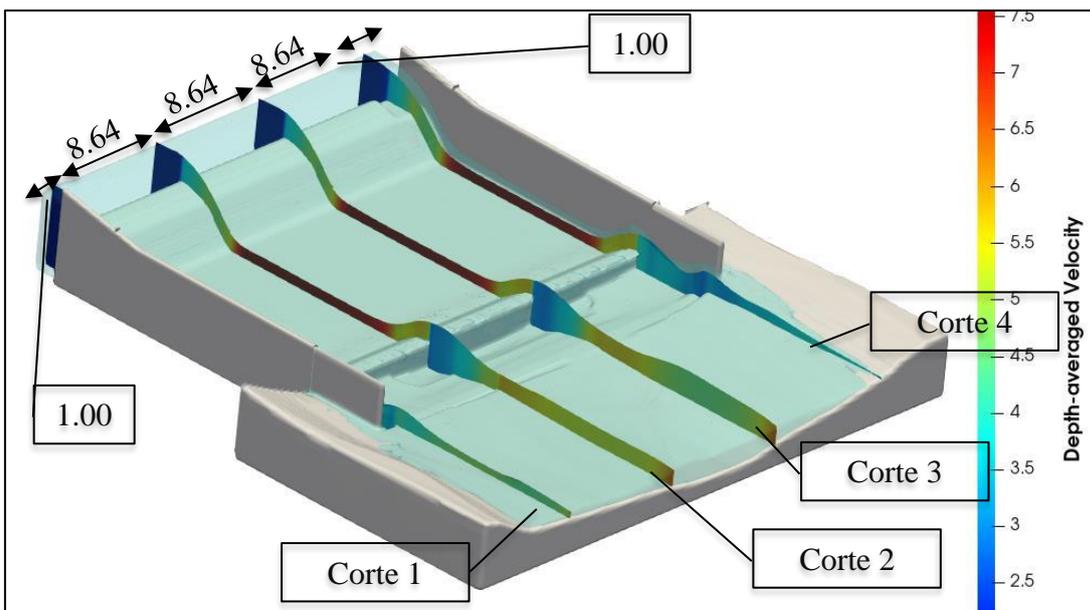
Se trazaron cuatro líneas base cada 8.64 metros las dos intermedias y las dos de los extremos a 1.00 metro de cada muro respectivamente, para graficar y observar la variación de la velocidad desde el inicio del umbral de salida hasta 15 metros hacia abajo de la descarga del cuenco amortiguador y se tabularon los valores máximos y mínimos encontrados en los puntos como se indica a continuación en el siguiente gráfico.

Figura 25: Perfil de localización de los puntos de presión.



Además, para visualizar la distribución de velocidades a lo largo de la estructura se realizaron cortes a partir de planos paralelos al flujo ubicados a la misma separación que se realizaron el trazo de líneas anteriores.

Figura 26: Esquema de ubicación de los cortes paralelos al flujo.



Cálculo de la velocidad aguas abajo: Mediante el uso de la fórmula se calculó la velocidad aguas abajo del cuenco amortiguador, teniendo en cuenta que esta zona es la zona de acorazamiento que se ha formado con el paso del flujo a lo largo del tiempo que existe la estructura; para lo cual del levantamiento topográfico se obtuvo previamente la pendiente y con la sección transversal se realizaron aproximaciones sucesivas variando el nivel del flujo (con esto el perímetro mojado y sección transversal) hasta alcanzar el caudal máximo calculado.

Figura 27: Ubicación topográfica de la sección transversal aguas debajo de la estructura.

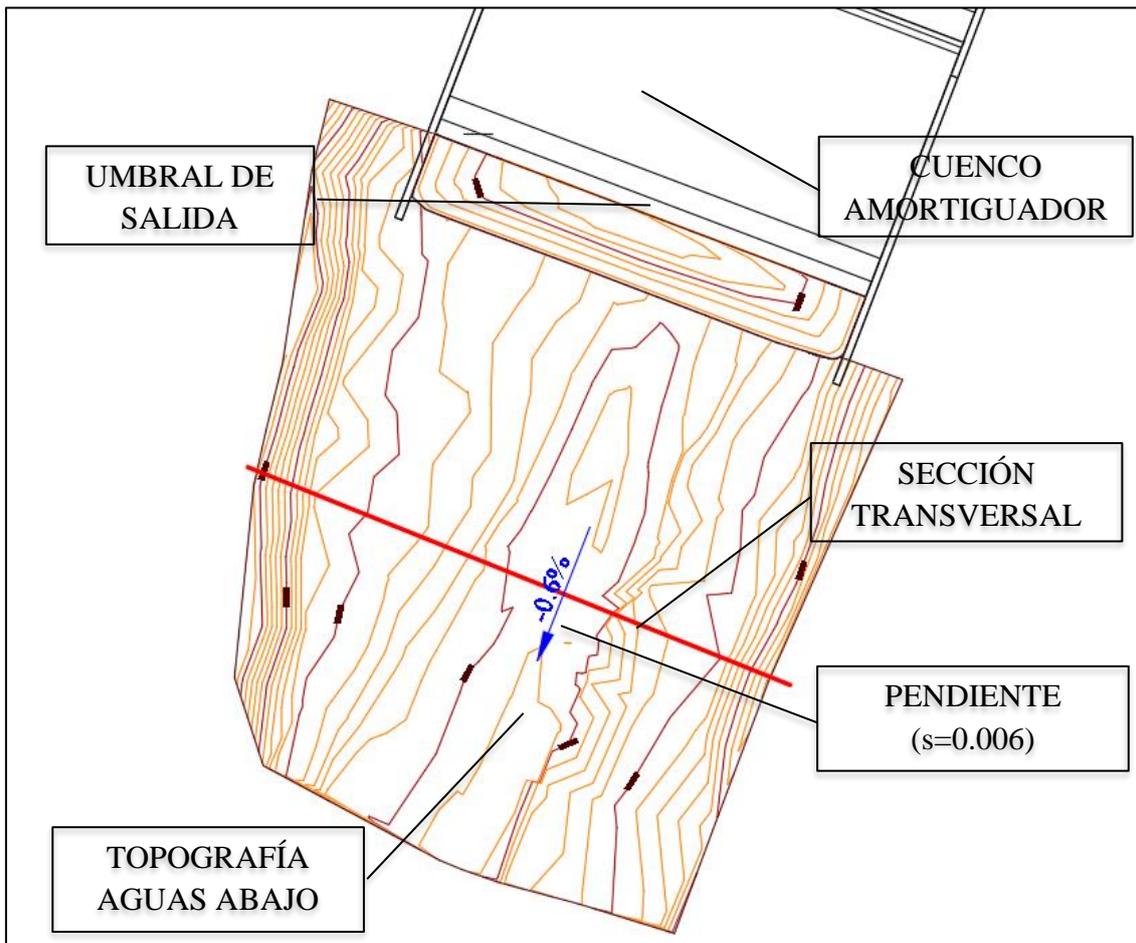
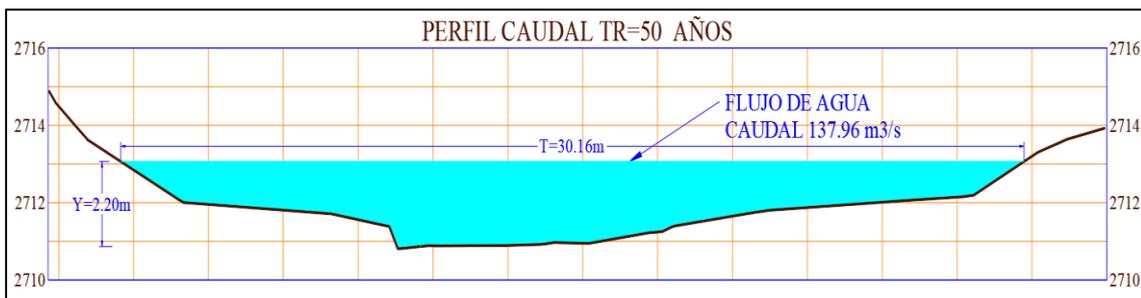


Figura 28: Perfil para un caudal de 137.96 m³/s aguas debajo de la estructura.



Finalmente, con la máxima velocidad encontrada para los tiempos de retorno, se comparó con la velocidad calculada mediante la fórmula de Manning para la sección aguas debajo de la estructura en la zona de acorazamiento del cauce.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

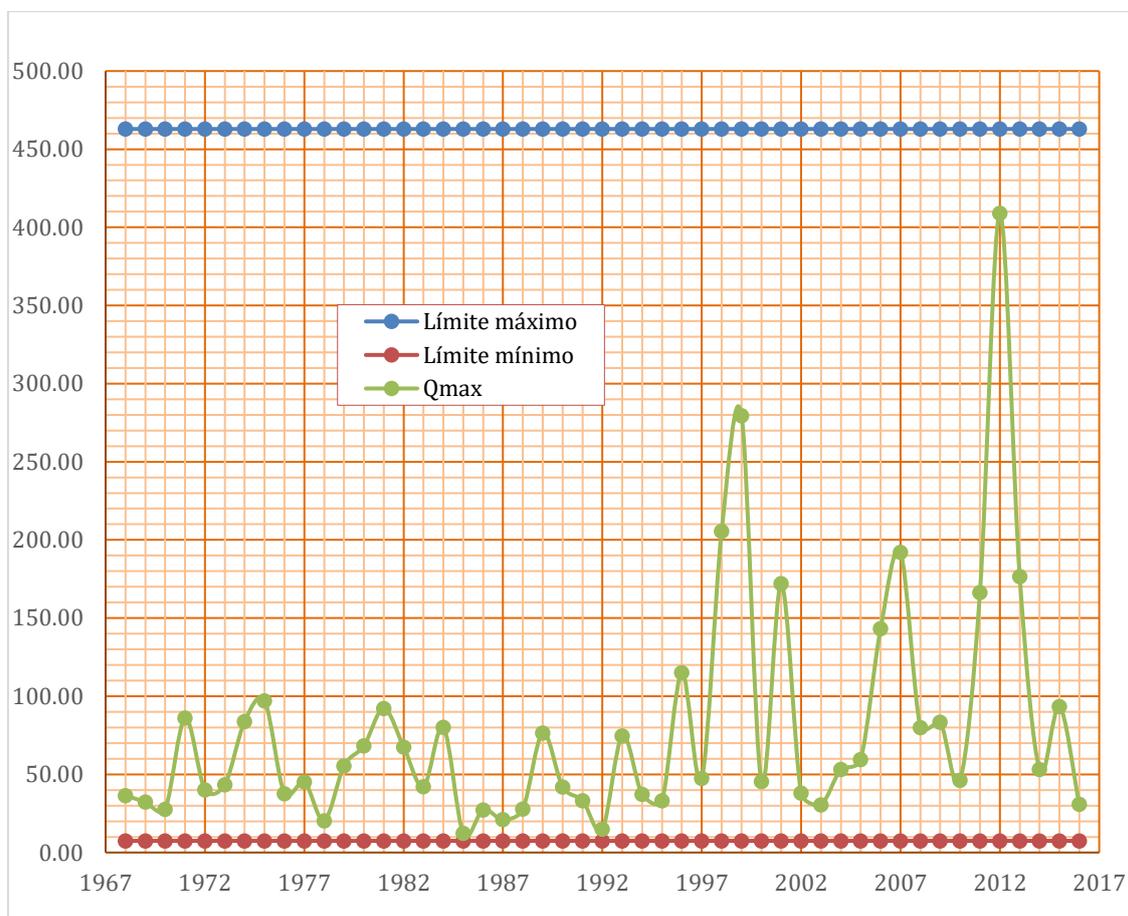
4.1 Estimación de los caudales máximos y caudal dominante

4.1.1 Estimación de caudales máximos

- **Análisis de datos dudosos proporcionados por el SENAMIH, el punto de aforo “Estación Jesús Túnel”**

Para esta investigación se contó con los datos proporcionados por el SENAMIH con la lista de caudales de la estación Jesús Túnel desde el año 1968 hasta el 2016; se realizó la prueba de análisis de datos dudosos obteniendo el siguiente gráfico:

Figura 29. de distribución de los datos respecto a los extremos límite.



De dónde se puede observar que:

Umbral máximo: 462.92 m³/s

Umbral mínimo: 7.441 m³/s

Cantidad de datos dudosos: 0

Para el año 1985 se observa una ligera aproximación a límite mínimo para un caudal máximo de 12.30 m³/s; en cambio el caudal pico fue tomado en 2012 con un valor de 409.11 m³/s.

- **Distribuciones teóricas y bondad de ajuste de Smirnov Kolmogorov**

Se calculó el valor del delta tabular que dio un valor de 0.1943 y se calcularon los valores de los deltas teóricos para las siguientes funciones de distribución probabilística con lo cual se realizó el análisis

- Distribución Normal
- Distribución LogNormal 2p.
- Distribución LogNormal 3p.
- Distribución Gamma 2p.
- Distribución Gamma 3p.
- Distribución LogPearson III.
- Distribución Gumbel.
- Distribución LogGumbel.

Tabla 5: Distribuciones teóricas y prueba de bondad de ajuste.

Distribución	Δ Teórico
Distribución Normal	0.2043
Distribución LogNormal 2p	0.0919
Distribución LogNormal 3p	0.0694
Distribución Gamma 2p	0.1275
Distribución Gamma 3p	Los parámetros no se ajustan
Distribución LogPearson III	0.0658
Distribución Gumbel	0.1523
Distribución LogGumbel	0.0698

Del análisis a los datos entregado por el SENAMHI se pueden observar que para la función de distribución normal el valor del delta teórico calculado es mayor que el valor del delta tabular por lo tanto la función de probabilidad no se ajusta; por otro lado, para la distribución Gamma de 3p, las fórmulas matemáticas no se pueden evaluar correctamente; teniendo en cuenta la teoría se eligió la función de probabilidad con menor delta teórico calculado que corresponde a la distribución LogPearson III, con un valor de 0.0658.

- **Estimación de caudales máximos para distintos tiempos de retorno en la estación base (Jesús Túnel)**

Como vimos en el ítem anterior la distribución que más se acerca es la LogPearson III, para la cual se estimaron los caudales presentados en la siguiente tabla.

Tabla 6: Estimación de caudales máximos para distintos tiempos de retorno.

Tr - años	$P(X \leq xT)$	X^2	Q (m ³ /s)
10	0.900	52.95	147.26
25	0.960	58.14	225.34
50	0.980	61.67	300.75

- **Estimación de caudales máximos en la captación Remonta - II**

Los cálculos de las precipitaciones medias mediante polígonos de Thiessen se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 7: Cálculo de la precipitación media de la cuenca de la estación hidrométrica Jesús Túnel.

Estación	Área (Km ²)	PPmm	Producto
Est. Porcón	144.41	1416.80	204599.21
Est. Weberbauer	313.73	661.78	207621.57
Est. Jesús	73.24	678.98	49731.40
Est. La Encañada	233.91	963.75	225432.06
Est. Namora	2.73	783.88	2141.05

La precipitación media mediante promedio ponderado en función al área es 921 mm.

Tabla 8: Cálculo de la precipitación media de la cuenca de la captación Remonta - II

Estación	Área (Ha)	PPm	Producto
Est. Porcón	2636.98	1416.80	3736066.34
Est. Weberbauer	8794.03	661.78	5819714.95
Est. La Encañada	22899.72	963.75	22069602.05

La precipitación media mediante promedio ponderado en función al área es 897.79 mm.

El valor estimado del factor de transferencia calculado mediante los parámetros de áreas y precipitaciones medias de cada cuenca es 0.459 el cual multiplica al valor de los caudales estimados de la cuenca base con lo cual tenemos:

Tabla 9: Transferencia de caudales máximos de una cuenca a otra.

Tr - años	Q(m ³ /s) Caj	Q(m ³ /s) Chonta
10	147.26	67.54
25	225.34	103.35
50	300.75	137.94

4.1.2 Estimación del caudal dominante

Se encontró mediante software AutoCad que los siguientes parámetros:

Perímetro mojado: 19.24 m

Área de la sección transversal: 10.40 m²

Pendiente: 0.006 m/m

Seguidamente se estimó el radio hidráulico y el caudal obteniéndose:

Radio hidráulico: 0.54 m

Caudal: 18.12 m³/s

De donde se observa que el caudal dominante es inferior 3.70 veces el caudal calculado para un tiempo de retorno de diez años; 5.70 menor que el caudal calculado para un tiempo de retorno de 25 años y 7.60 menor que el caudal calculado para un tiempo de retorno de 50 años, de lo cual se puede deducir que el caudal al que está frecuentemente sometido la estructura y el cual determina durante gran parte del tiempo la formación del cauce es menor a los que encontraremos las respectivas velocidades.

4.2 Levantamiento de información topográfica, geométrica e hidrométrica

- **Levantamiento topográfico del terreno aguas arriba y aguas abajo**

Se realizó el respectivo levantamiento aguas arriba de la captación y aguas abajo lo suficiente para lo que se requiere en el modelamiento; debido a la complejidad del programa solo se han utilizado dos metros aguas arriba del vertedor y 10 metros aguas abajo del dissipador de energía.

- **Levantamiento geométrico de la estructura**

La captación está compuesta por las siguientes estructuras:

- Aletas de entrada.**

Están ubicadas a 26° con respecto al flujo del río, son dos, al margen izquierdo de una de estas se encuentra la ventana de captación con su respectiva compuerta; tienen una

longitud de 10.40 metros, la profundidad es variable dependiendo de la topografía del terreno y del material de arrastre que ha generado el barraje.

-Vertedor tipo creager

Las dimensiones medidas de esta estructura es: una longitud de 23.90 metros (tomado transversal al flujo del río) y un ancho de 3.90 metros y una altura medida desde el fondo de la poza disipadora de energía de 1.70 metros.

-Ventanas de limpia de sedimentos

Son dos ubicadas simétricamente al cauce del río generando una discontinuidad en el vertedor tienen una altura de 0.40 metros una anchura de 2.00 metros (considerada perpendicular al flujo de río) y un largo de 2.50 metros.

-Cuenco amortiguador

El cuenco amortiguador tiene un ancho de 27.90 metros (considerado perpendicular al flujo del río), y un largo de 16.40 metros, con un umbral de salida de 2.50 metros que parte desde el fondo del cuenco con una pendiente de 1:1.5. a lo largo de 1.50 metros, y tiene una longitud completamente horizontal a lo largo de un metro hasta el punto de descarga, como se detalla en los planos anexos.

-Muros de Encausamiento.

Consta de dos secciones una rectangular y otra de forma trapezoidal.

Sección trapezoidal: Con una altura respecto a la superficie del cuenco amortiguador de 4.70 metros al inicio y una altura de 3.30 metros donde se une con el muro rectangular y 3.90 metros de longitud.

Sección rectangular: Con una altura de 3.30 metros medidos desde la superficie del cuenco amortiguador y una longitud de 19.00 metros.

-Ventana de salida y compuerta. La ventana de salida y compuerta no fueron medidos puesto que en máximas avenidas estas permanecen cerradas y son poco influyentes en el caudal medido.

- **Levantamiento de información hidrométrica en máximas avenidas**

Los resultados obtenidos para cada una de las mediciones realizadas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 10. Tirantes medidos en campo para calibración del modelo.

Medición	1	2	3	4
Altura muro (m)	3.45	3.45	3.45	3.45
Altura1 (m)	2.75	2.58	2.61	2.67
Tirante1 (m)	0.70	0.87	0.84	0.78
Altura muro (m)	4.24	4.24	4.24	4.24
Altura2 (m)	2.68	2.65	2.66	2.60
Tirante2 (m)	1.56	1.59	1.58	1.64
Altura muro (m)	4.23	4.23	4.23	4.23
Altura3 (m)	2.55	2.40	2.45	2.35
Tirante3 (m)	1.68	1.83	1.78	1.88
Altura muro (m)	3.18	3.18	3.18	3.18
Altura4 (m)	2.89	2.81	2.82	2.78
Tirante4 (m)	0.29	0.37	0.36	0.40

4.3 Calibración del modelo matemático

Con los cuatro tirantes iniciales se logró realizar la calibración en función a la rugosidad de la estructura para lo cual se lograron los siguientes resultados.

Tabla 11. Resultados de las pruebas de calibración.

H1-ingresado (m)	Rugosidad (m)	H2-medido (m)	H2-calculado (m)	% error	H3-medido (m)	H3-calculado (m)	% error	H4-medido (m)	H4-calculado (m)	% error
0.70	0.0010	1.56	1.50	3.85%	1.68	1.64	2.38%	0.29	0.27	6.90%
0.87	0.0012	1.59	1.58	0.63%	1.83	1.80	1.64%	0.37	0.35	5.41%
0.84	0.0016	1.58	1.59	-0.63%	1.78	1.80	-1.12%	0.36	0.37	-2.78%
0.78	0.0015	1.64	1.65	-0.61%	1.88	1.89	-0.53%	0.40	0.41	-2.50%
0.87	0.0015	1.59	1.59	0.00%	1.83	1.82	0.55%	0.37	0.37	0.00%
0.84	0.0015	1.58	1.57	0.63%	1.78	1.79	-0.56%	0.36	0.36	0.00%

Para rugosidades absolutas menores a 0.0015 metros se tienen tirantes menores a los medidos en campo, esto debido a que en superficies menos rugosas la fricción es baja y la energía cinética tiene menor variación; para rugosidades mayores a los 0.0015 metros los tirantes calculados mediante el programa son mayores a los medidos en campo mientras que para una rugosidad estimada de 0.0015 los tirantes calculados con los medidos en campo son relativamente iguales; en el cuadro de anexos se muestran los perfiles obtenidos mediante curvas de los puntos calculados y de los medidos en campo.

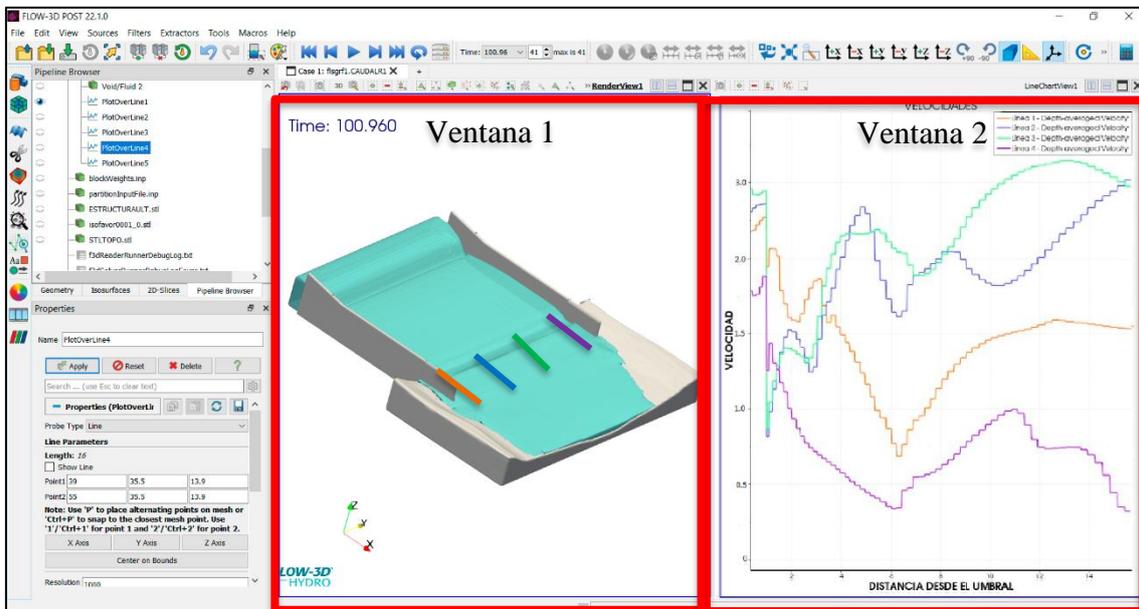
4.4 Determinación de las velocidades para distintos tiempos de retorno y en una sección normal de río aguas abajo

a) Determinación de las velocidades para distintos tiempos de retorno

✓ Tiempo de retorno 10 años y caudal 67.54 m³/s.

Se muestran los resultados de velocidades desde el inicio del umbral de salida hasta 15 metros aguas abajo los colores que se muestran están ubicados en las líneas de acuerdo a lo establecido en el procedimiento.

Figura 30. Resultados de la simulación para tiempo de retorno 10 años y caudal 67.54 m³/s.



Se detallan a continuación el contenido de cada una de las ventanas.

Figura 31. Ventana 1 tiempo de retorno 10 años y caudal 67.54 m³/s.

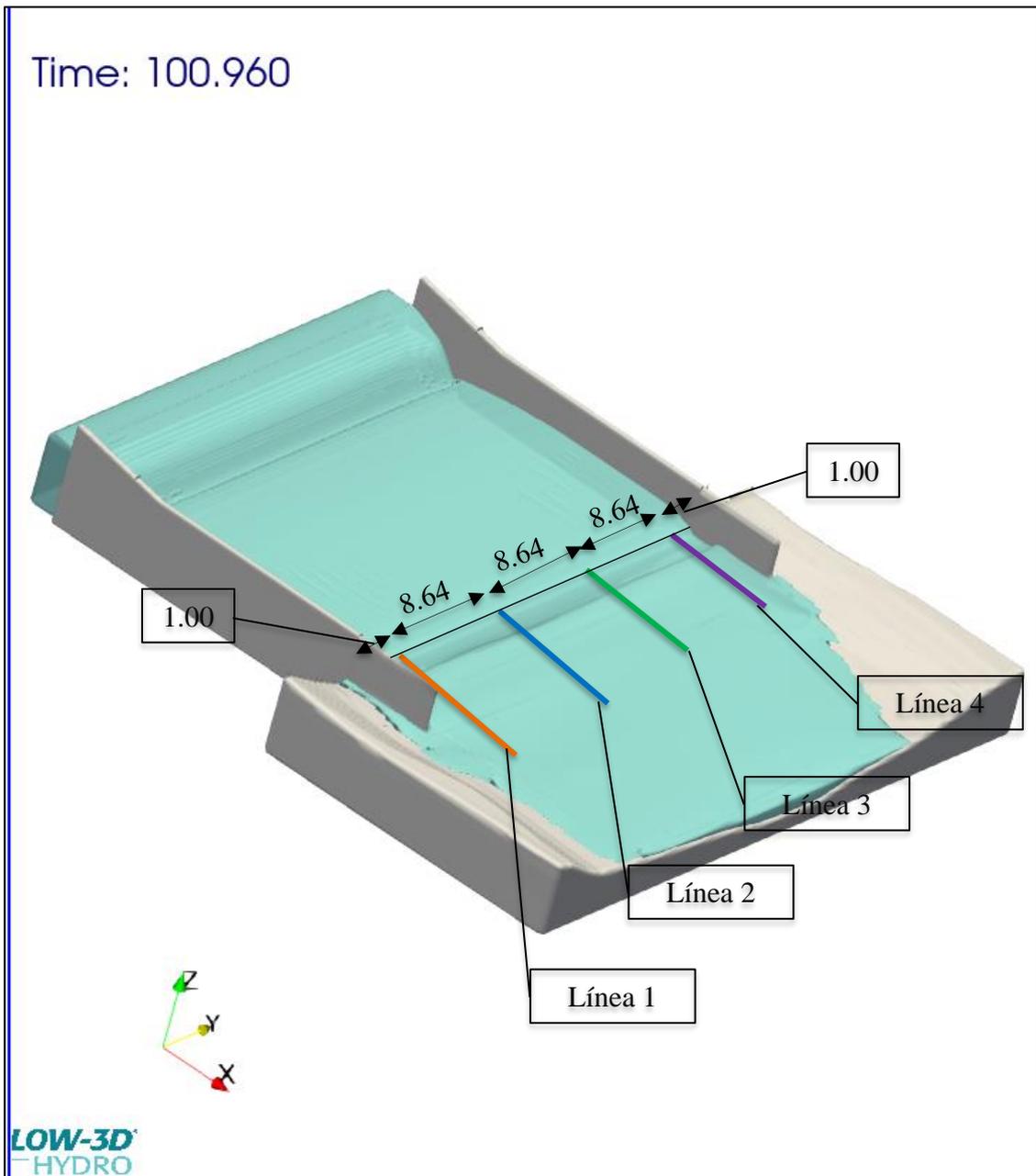
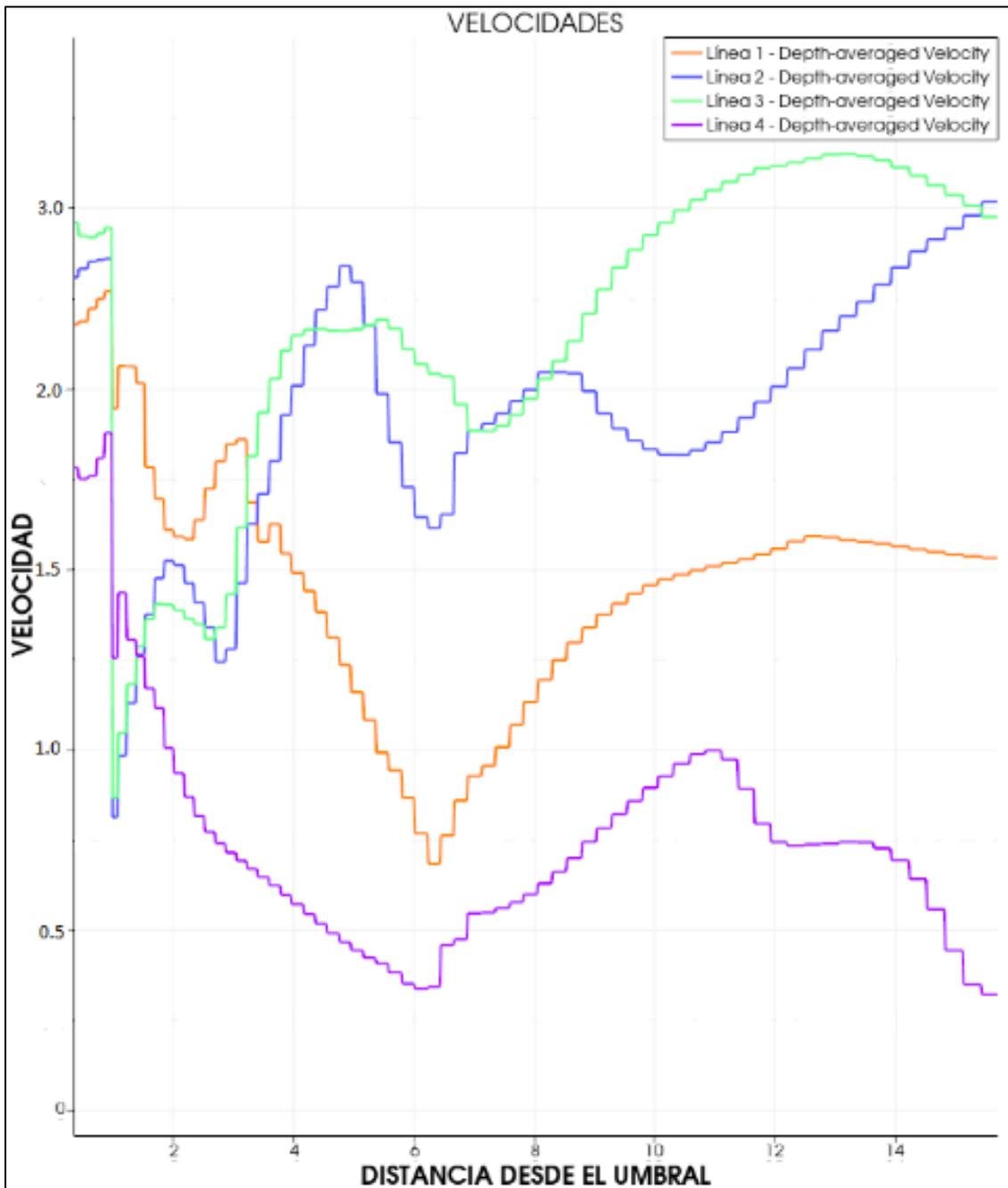


Figura 32. Ventana 2 tiempo de retorno 10 años y caudal 67.54 m³/s.



Para la línea 1 se observa que la velocidad en el umbral de salida es 2.40. m/s entre el cuenco amortiguador y el terreno la velocidad disminuye a 1.90 m/s; esto debido a que la erosión del suelo ha generado mayor turbulencia y una reducción de la energía cinética; entre las distancia 1.00 metros y 2.20 metros la velocidad varía de 2.10 m/s a 1.70 m/s; seguidamente hasta la distancia de tres metros la velocidad aumenta hasta 1.90 m/s luego descendiendo hasta 0.60 m/s en la distancia de 6.30 metros para luego ascender 1.60 m/s en 13 metros y continua descendiendo levemente hasta los 16 metros analizados.

Para la línea 2 observamos que la velocidad de salida es de aproximadamente 2.70 metros descendiendo bruscamente a 0.90 m/s en el punto de descarga; luego la secuencia que sigue la curva con las velocidades alcanzadas por puntos es la siguiente; en 2.00 metros velocidad de 1.50 m/s; en 3.00 metros velocidad de 1.25 m/s ; en 5.00 metros velocidad de 2.70 m/s; en 6.50 metros velocidad de 1.60 m/s; en 8.50 metros velocidad de 2.1 m/s; en 10.3 metros velocidad de 1.80 m/s y luego asciende hasta 3.00 m/s en los 16 metros analizados.

Para la línea 3, la velocidad del cuenco amortiguador en el umbral es de 2.90 m/s disminuye considerablemente a 0.80 m/s en el primer metro la secuencia que sigue la curva es la siguiente; en 2.00 metros la velocidad es 1.50 metros; en 3.00 metros la velocidad es 1.25 m/s; en 5.00 metros la velocidad es 2.70 m/s; en 6.30 metros la velocidad es 1.60 m/s; en 8.70 metros la velocidad es 2.10 m/s; en 10.2 la velocidad es 1.80 y luego asciende hasta alcanzar los 3.00 m/s en los 16 metros analizados.

Para la línea 4 la velocidad de inicio analizada es 1.75 m/s disminuye en el primer metro hasta 1.25 m/s; luego la secuencia que sigue es la siguiente; en 6.30 metros la velocidad es 0.40; en 11.00 metros es 1.00 m/s; luego disminuye hasta alcanzar los 0.40 m/s en los 16 metros analizados.

Como se puede observar claramente la velocidad a los costados de la estructura es menor que al centro; además entre el umbral de salida y el lecho del río la velocidad disminuye puesto que la energía cinética va descendiendo por la turbulencia generada por la erosión del suelo; además la velocidad de salida del cuenco amortiguador supera a la velocidad aguas abajo en la mayoría de los puntos; sobre todo en los extremos.

Mostramos además los perfiles gráficos de toda la estructura donde se encuentran ubicadas las líneas.

Figura 33. Perfil de velocidades a 9.64 metros del muro, izquierdo aguas arriba, tiempo de retorno 10 años y caudal 67.54 m³/s.

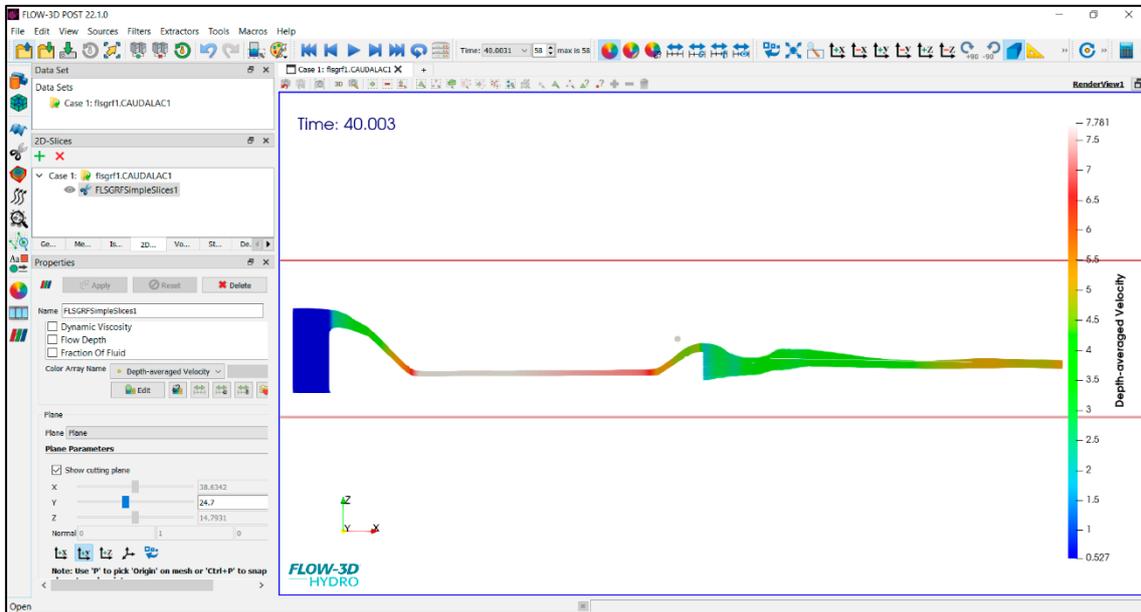


Figura 34. Perfil de velocidades a 18.28 metros del muro, izquierdo aguas arriba, tiempo de retorno 10 años y caudal 67.54 m³/s.

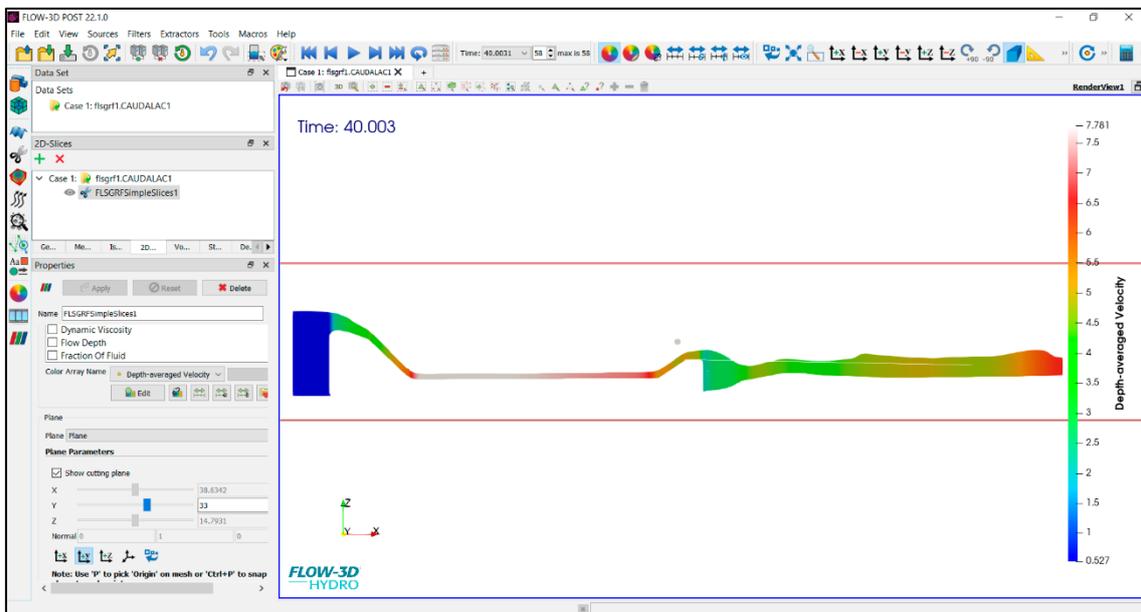


Figura 35. Perfil de velocidades a 18.28 metros del muro, izquierdo aguas arriba, tiempo de retorno 10 años y caudal 67.54 m³/s.

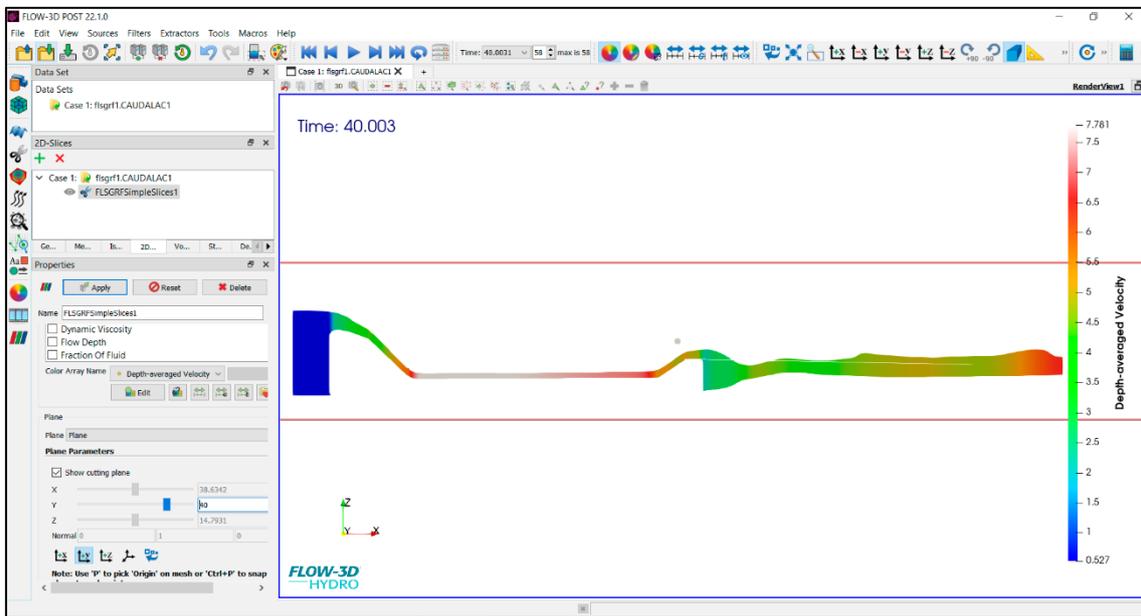
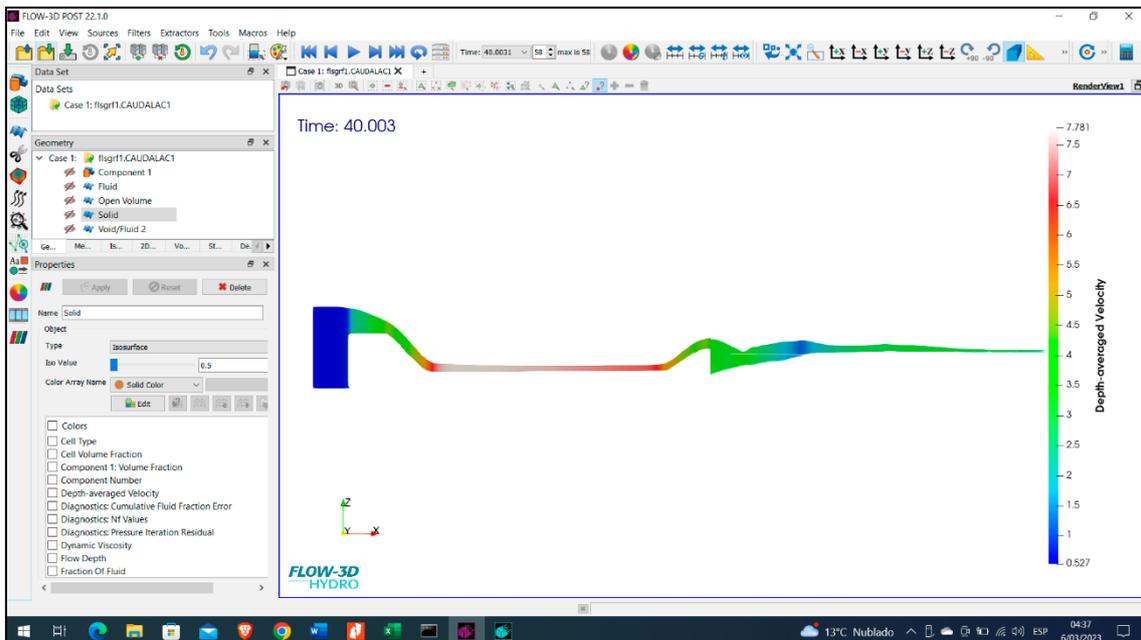


Figura 36. Perfil de velocidades a un metro del muro, izquierdo aguas arriba, tiempo de retorno 10 años y caudal 67.54 m³/s.



✓ **Tiempo de retorno 25 años y caudal 103.35 m³/s**

Se muestran los resultados de velocidades desde el inicio del umbral de salida hasta 15 metros aguas abajo los colores que se muestran están ubicados en las líneas de acuerdo a lo establecido en el procedimiento.

Figura 37. Resultados de la simulación para tiempo de retorno 25 años y caudal 103.35 m³/s.

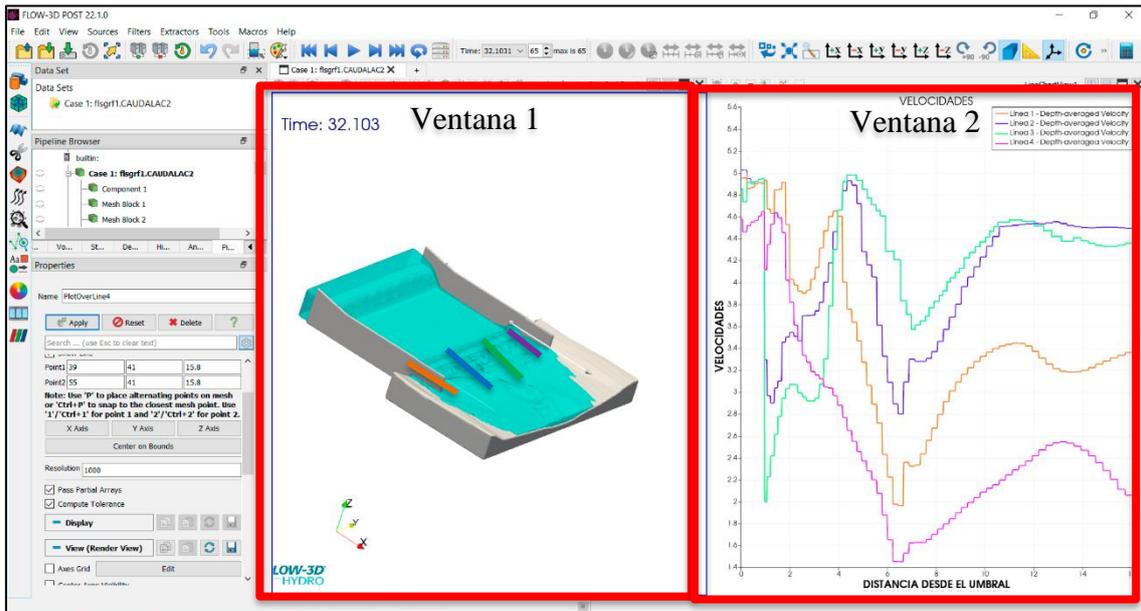


Figura 38. Ventana 1, para tiempo de retorno 25 años y caudal 103.35 m³/s.

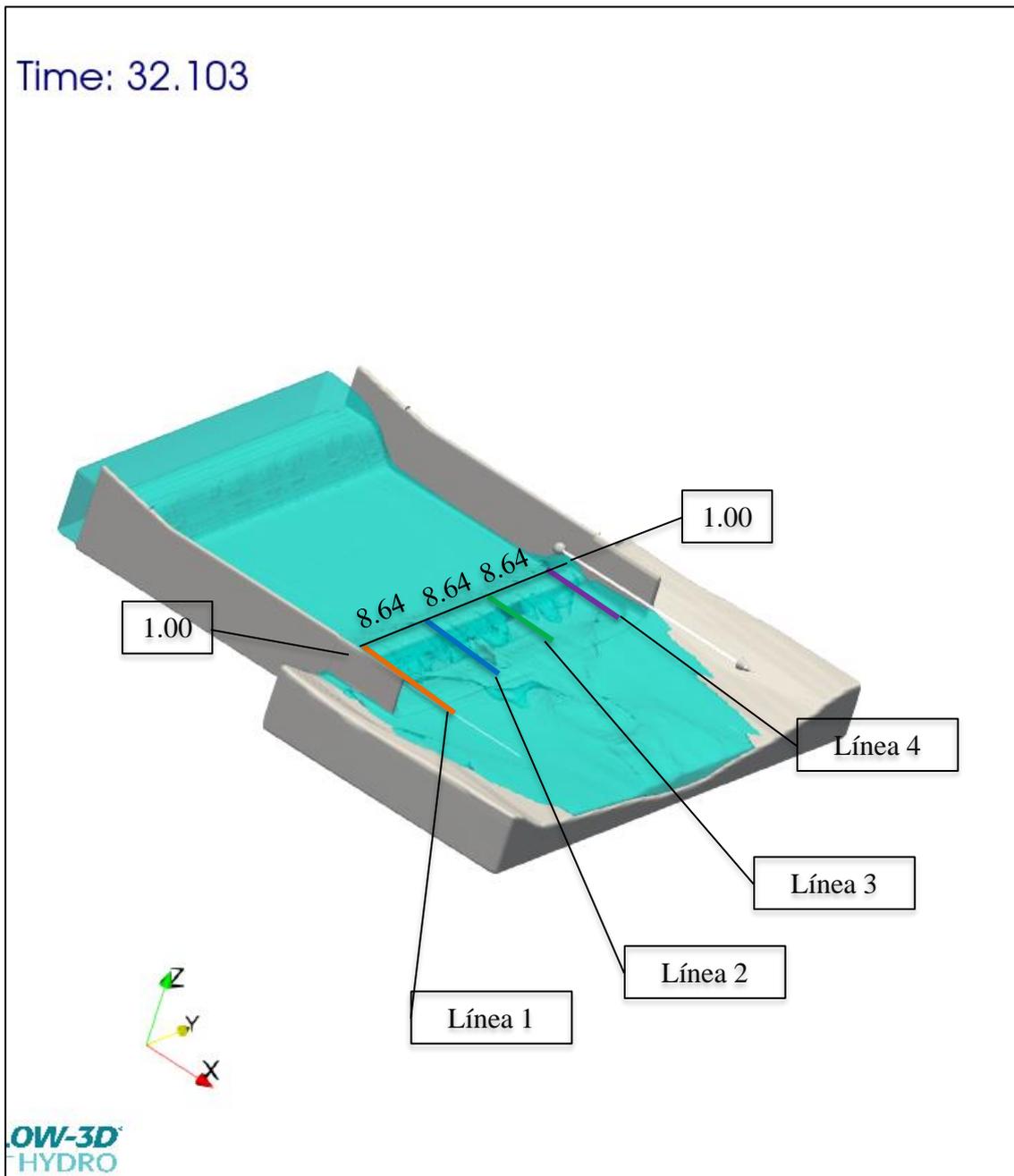
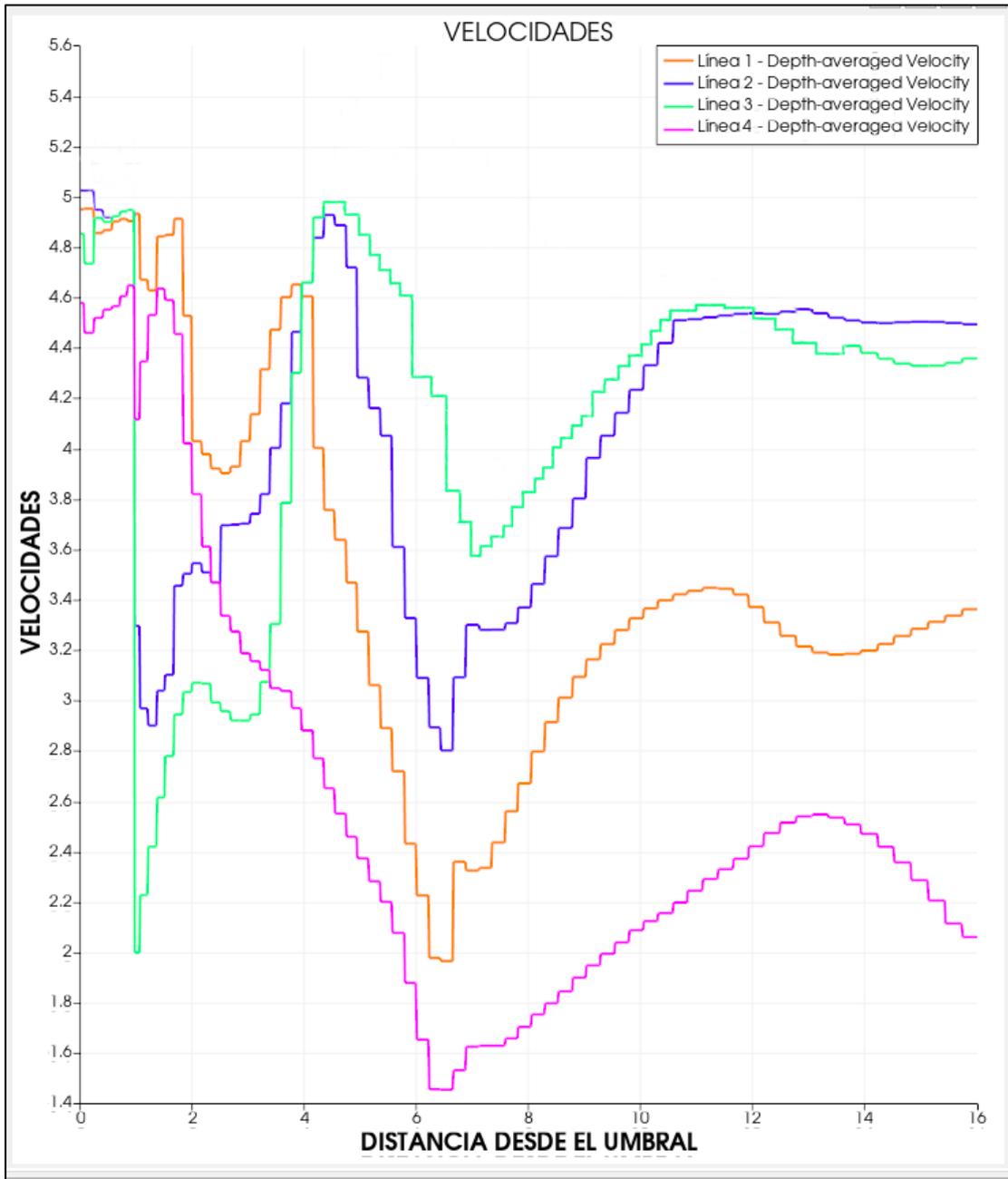


Figura 39. Ventana 2, para tiempo de retorno 25 años y caudal 103.35 m³/s.



Para la línea 1 se observa que la velocidad en el umbral de salida es 4.90. m/s entre el cuenco amortiguador y el terreno la velocidad disminuye a 3.90 m/s luego la secuencia que sigue la curva con las velocidades alcanzadas por puntos es la siguiente; en 4.00 metros velocidad de 4.60 m/s; en 6.50 metros velocidad de 1.90 m/s; en 11.00 metros velocidad de 3.40 m/s; en 13.00 metros velocidad de 3.20 m/s; y luego asciende hasta 3.40 m/s en los 16 metros analizados.

Para la línea 2 observamos que la velocidad de salida es de aproximadamente 5.30 metros descendiendo bruscamente a 2.90 m/s en el punto de descarga; luego la secuencia que sigue

la curva con las velocidades alcanzadas por puntos es la siguiente; en 4.50 metros velocidad de 4.90 m/s; en 6.50 metros velocidad de 2,80 m/s; en 10.20 metros velocidad de 4.50 m/s; y luego se mantiene de manera relativamente constante hasta los 16 metros analizados.

Para la línea 3, la velocidad del cuenco amortiguador en el umbral es de 4.80 m/s disminuye considerablemente a 2.00 m/s en el primer metro la secuencia que sigue la curva es la siguiente; en 5.00 metros la velocidad es 5.00 metros; y luego desciende hasta alcanzar los 3.70 m/s; posteriormente asciende hasta los 4.60 m/s a una distancia de once metros y se mantiene relativamente constante en los 16 metros analizados.

Para la línea 4 se observa que la velocidad en el umbral de salida es 4.60. m/s entre el cuenco amortiguador y el terreno la velocidad disminuye a 4.10 m/s luego la secuencia que sigue la curva con las velocidades alcanzadas por puntos es la siguiente; en 2.00 metros velocidad de 4.10 m/s; en 3.00 metros velocidad de 4.60 m/s ; en 6.10 metros velocidad de 1.40 m/s; en 13.00 metros velocidad de 2.50 m/s; y luego asciende hasta 2.10 m/s en los 16 metros analizados.

Se vuelven a observar los patrones de velocidad anteriores al centro mayores velocidades que a los costados además que en las zonas donde la topografía es menos uniforme las velocidades también disminuyen.

Mostramos además los perfiles gráficos de toda la estructura donde se encuentran ubicadas las líneas.

Figura 40. Perfil de velocidades a un metro del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 25 años y caudal 103.35 m³/s.



Figura 41. Perfil de velocidades a 9.64 metros del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 25 años y caudal 103.35 m³/s.

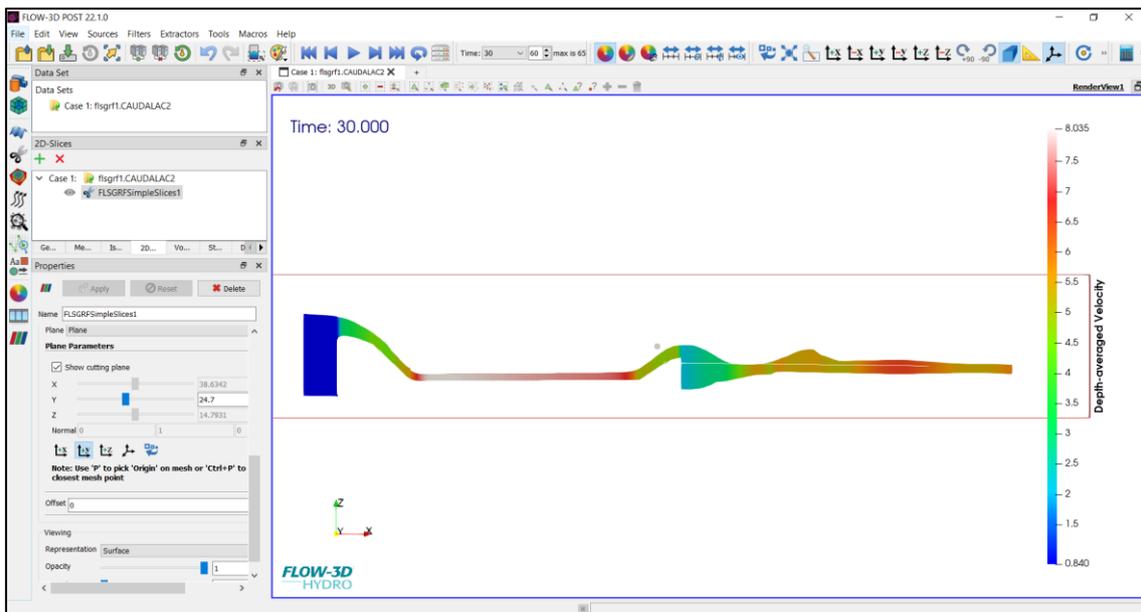


Figura 42. Perfil de velocidades a 18.28 metros del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 25 años y caudal 103.35 m³/s.

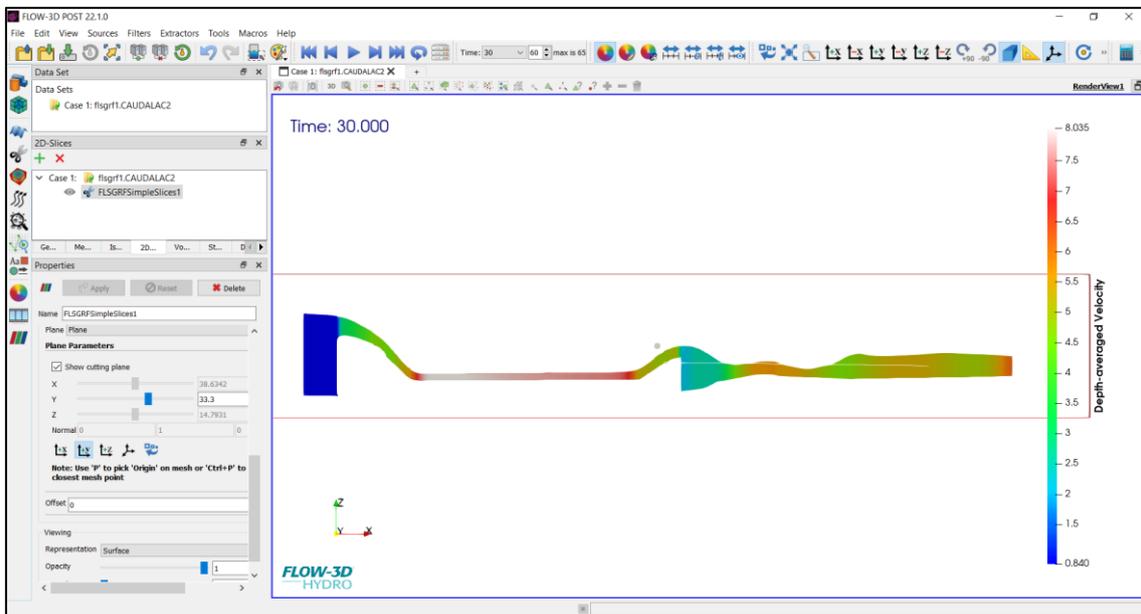


Figura 43. Perfil de velocidades a 18.28 metros del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 25 años y caudal 103.35 m³/s.



✓ **Tiempo de retorno 50 años y caudal 137.94 m³/s**

Se muestran los resultados de velocidades desde el inicio del umbral de salida hasta 15 metros aguas abajo los colores que se muestran están ubicados en las líneas de acuerdo a lo establecido en el procedimiento.

Figura 44. Resultados de la simulación para tiempo de retorno 50 años y caudal 137.94 m³/s.

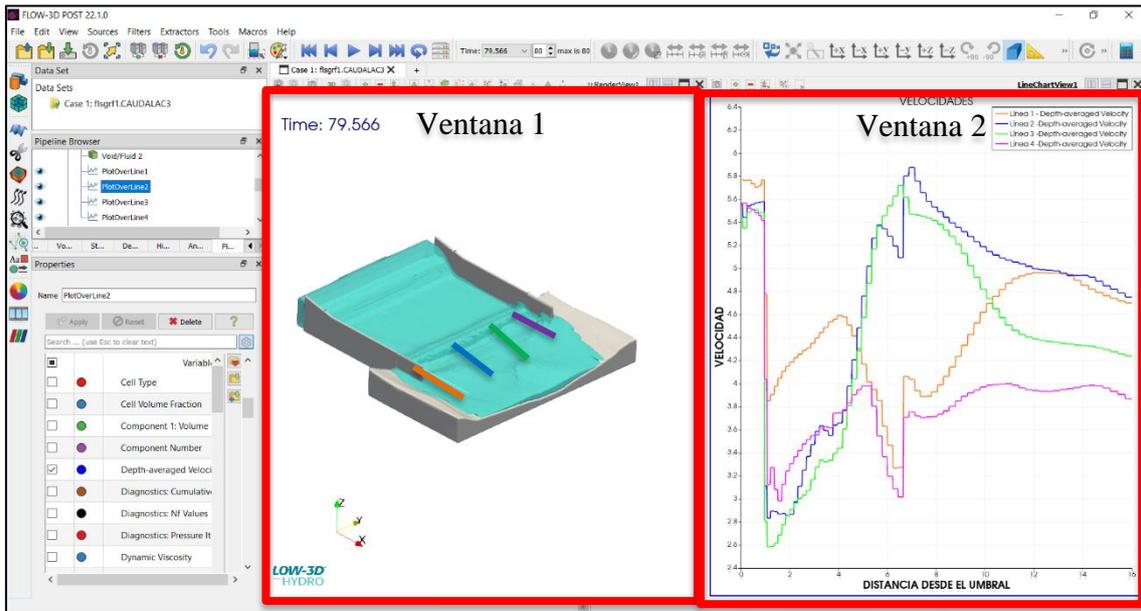


Figura 45. Ventana 1, para tiempo de retorno 50 años y caudal 137.94 m³/s.

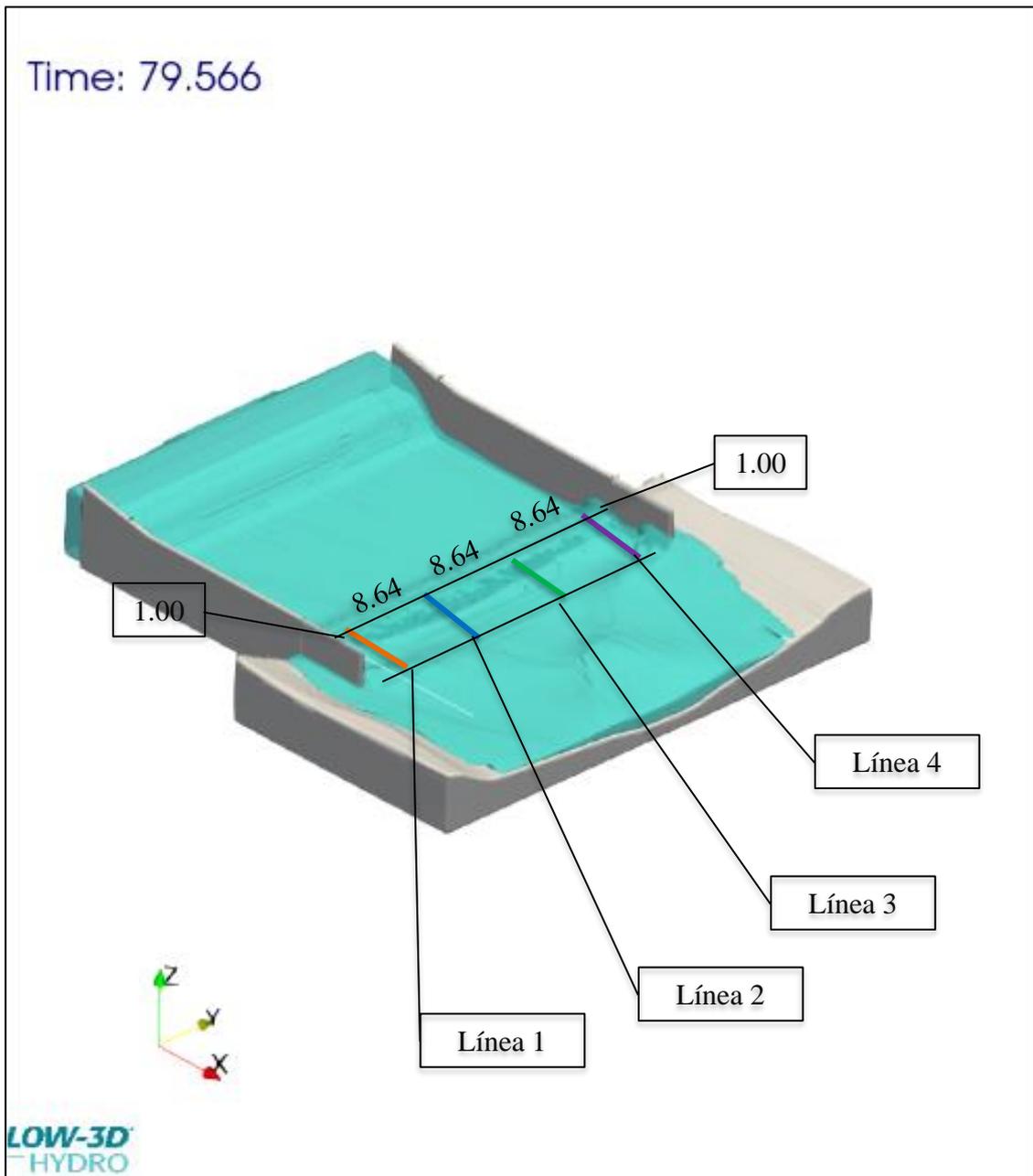
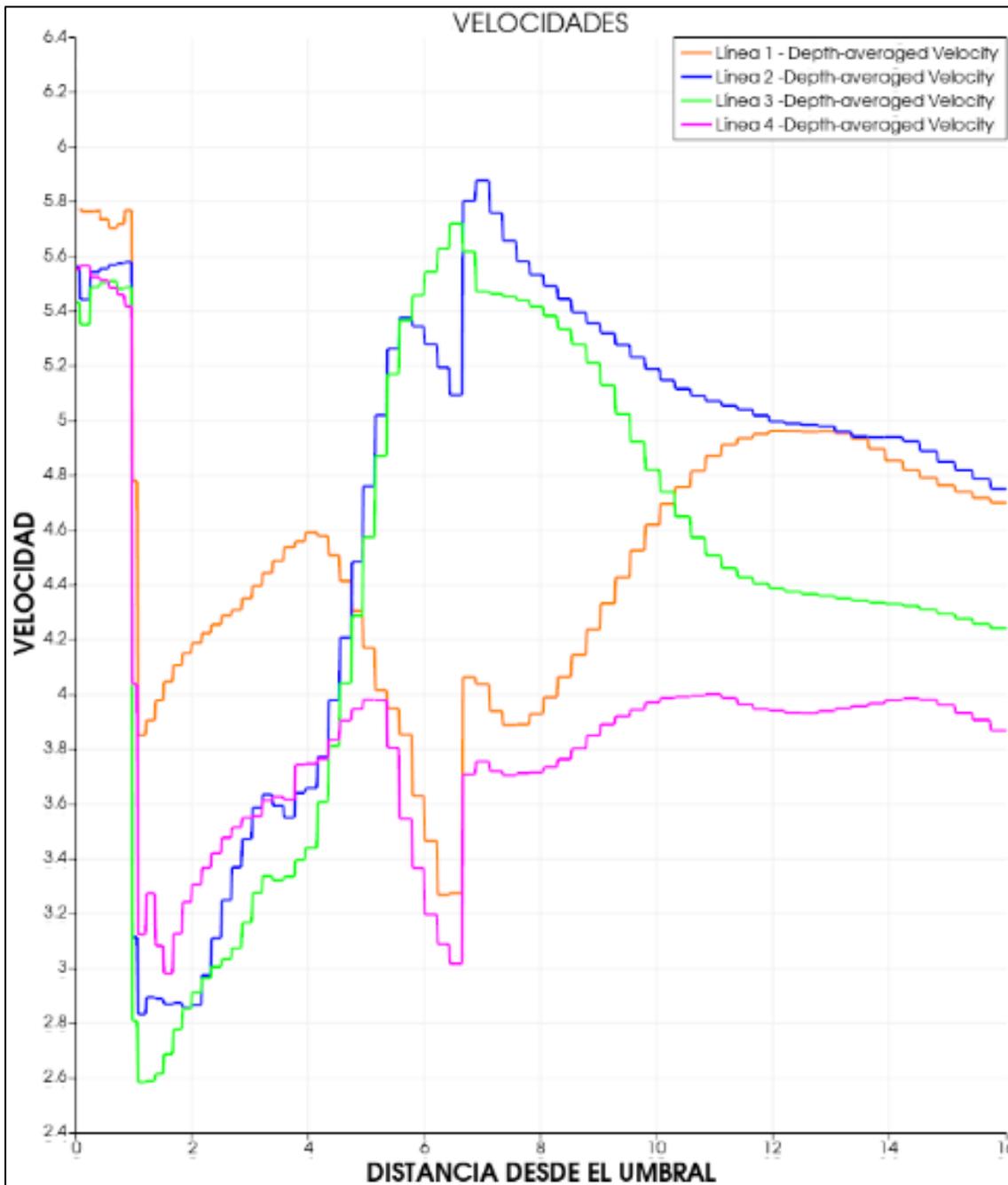


Figura 46. Ventana 2, para tiempo de retorno 50 años y caudal 137.94 m³/s.



Para la línea 1 se observa que la velocidad en el umbral de salida es 5.80. m/s entre el cuenco amortiguador y el terreno la velocidad disminuye a 3.90 m/s luego la secuencia que sigue la curva con las velocidades alcanzadas por puntos es la siguiente; en 4.00 metros velocidad de 4.60 m/s; en 6.50 metros velocidad de 3.30 m/s; en 12.00 metros velocidad de 5.00 m/s; y luego asciende hasta 34.70 m/s en los 16 metros analizados.

Para la línea 2 observamos que la velocidad de salida es de aproximadamente 5.60 metros descendiendo bruscamente a 2.80 m/s en el punto de descarga; luego la secuencia que sigue

la curva con las velocidades alcanzadas por puntos es la siguiente; en 2.20 metros velocidad de 4.80 m/s; en 6.50 metros velocidad de 5.40 m/s; en 7.00 metros velocidad de 5.10 m/s; en 7.20 metros velocidad de 5.80 m/s; y luego desciende hasta los 4.90 m/s en los 16 metros analizados.

Para la línea 3, la velocidad del cuenco amortiguador en el umbral es de 5.50 m/s disminuye considerablemente a 2.60 m/s en el primer metro la secuencia que sigue la curva es la siguiente; en 6.70 metros la velocidad es 5.70 metros; y luego asciende hasta alcanzar los 4.30 m/s en los 16 metros analizados.

Para la línea 4 se observa que la velocidad en el umbral de salida es 5.60. m/s entre el cuenco amortiguador y el terreno la velocidad disminuye a 3.00 m/s luego la secuencia que sigue la curva con las velocidades alcanzadas por puntos es la siguiente; en 4.50 metros velocidad de 4.00 m/s; en 6.80 metros velocidad de 3.00 m/s; y luego asciende hasta 3.80 m/s en los 16 metros analizados.

Se vuelven a observar los patrones de velocidad anteriores al centro mayores velocidades que a los costados además que en las zonas donde la topografía es menos uniforme las velocidades también disminuyen.

Mostramos además los perfiles gráficos de toda la estructura donde se encuentran ubicadas las líneas.

Figura 47. Perfil de velocidades a un metro del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 50 años y caudal 137.94 m³/s.

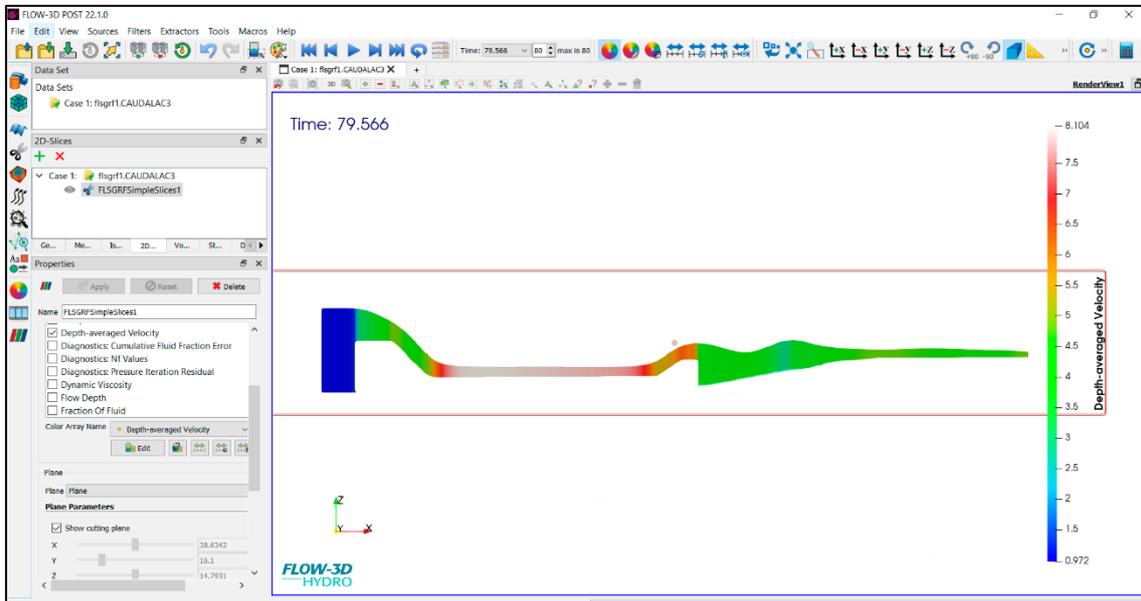


Figura 48. Perfil de velocidades a 9.64 metros del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 50 años y caudal 137.94 m³/s.

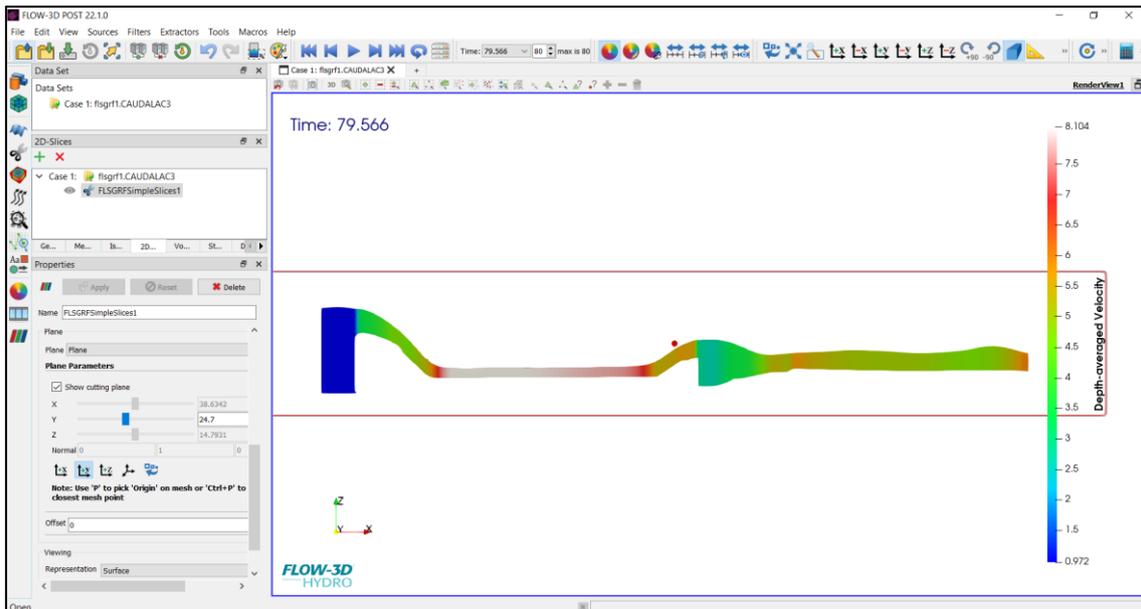


Figura 49. Perfil de velocidades a 18.28 metros del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 50 años y caudal 137.94 m³/s.

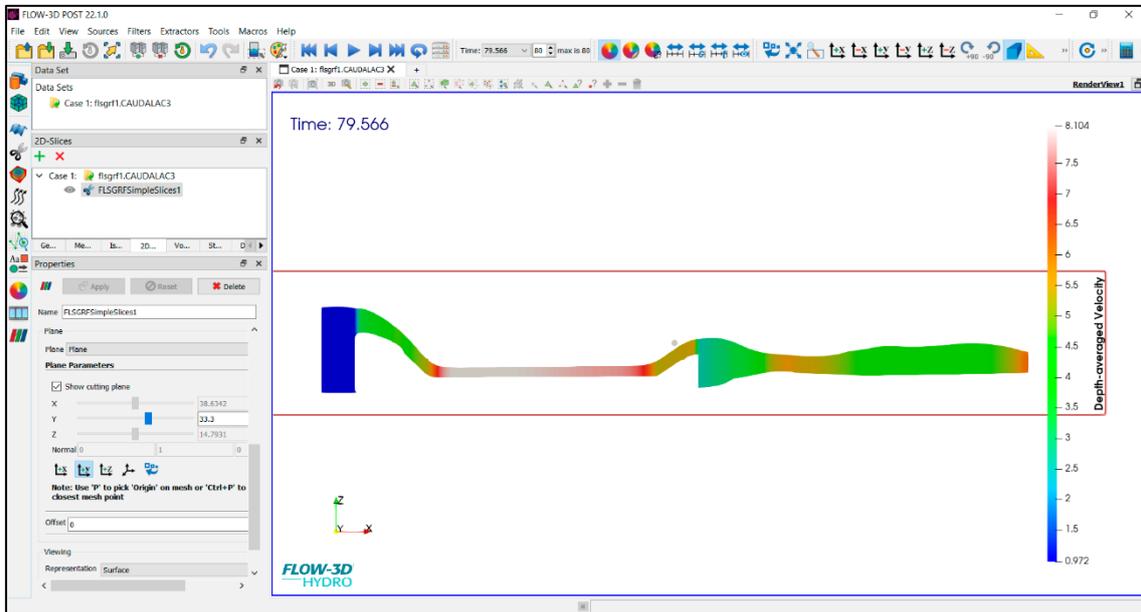
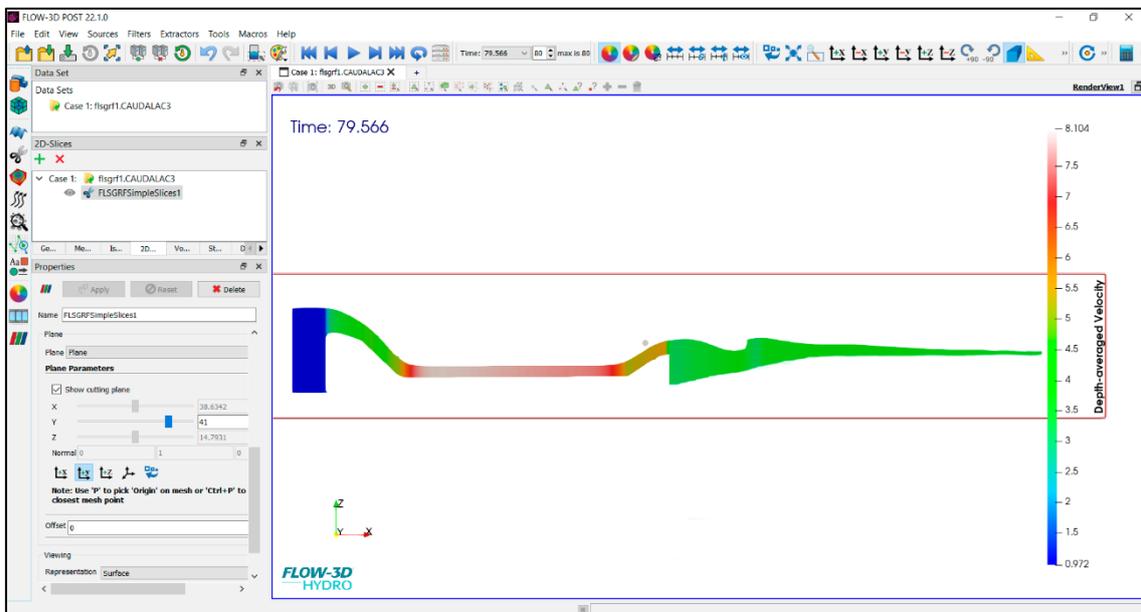


Figura 50. Perfil de velocidades a 18.28 metros del muro, izquierdo aguas arriba, para tiempo de retorno 50 años y caudal 137.94 m³/s.



Realizando el análisis de los gráficos se resume la siguiente tabla de máximas velocidades alcanzadas para cada uno de los caudales probados.

b) Determinación de la velocidad para el máximo caudal en un tramo normal de río aguas abajo

Mediante el uso de software de dibujo se encontró los parámetros tales como:

Área de la sección transversal: 42.61 m²

Perímetro mojado: 31.12 m

Pendiente: 0.0061m/m

Como dato y de acuerdo a lo indicado al procedimiento el valor de la rugosidad de Manning es: 0.0295

Aplicando la fórmula de Manning se obtiene:

Radio hidráulico: 1.37 m

Velocidad: 3.24 m/s

Caudal: 137.96 m³/s

Como se puede observar en los cálculos para un caudal de 137.94 m³/s estimado en un tiempo de retorno igual a 50 años se tiene una máxima velocidad de 5.90 m/s en tanto que para un caudal estimado de 137.96 m³/s en una sección aguas abajo, se encontró una velocidad igual a 3.24 m/s, haciendo una comparación la excedencia se estima en un 63% entre la velocidad máxima en la salida de la estructura y el tramo de la zona de acorazamiento del cauce, esto justifica por qué en alrededor de quince años la erosión ha llegado a 1.90 metros en el centro de la estructura donde las velocidades son mayores.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se estimaron los caudales máximos para los distintos tiempos de retorno en el punto de ubicación de la bocatoma Remonta – II, el caudal para tiempo de retorno de 10 años es $67.54 \text{ m}^3/\text{s}$, para 25 años es $103.35 \text{ m}^3/\text{s}$; para 50 años $130.94 \text{ m}^3/\text{s}$. en tanto el caudal dominante es $18.12 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Se realizó el levantamiento topográfico del río encontrándose un ancho medio de 35.40 metros aguas abajo y una pendiente de 0.61% aproximadamente mientras que aguas arriba el ancho promedio viene a ser 38.20 metros con una pendiente media de 0.46%.

-Se calibró el modelo para una rugosidad de la estructura con 0.0015 metros de los cuales se estimaron errores en tirantes menores a 2.5%.

-Se determinó las variaciones de velocidad para cada caudal calculado con tiempo de retorno, encontrándose de estos que la máxima velocidad es para un tiempo de retorno de 50 años con una velocidad de 5.90 m/s; en tanto la velocidad en la zona de acorazamiento del cauce aguas abajo es de 3.24 m/s misma que es superada en un 63% por la velocidad máxima calculada mediante el programa; esta puede ser una de las causas por la que a la actualidad la estructura presenta una erosión de 1.30 m. de profundidad en la zona donde se presentan las mayores velocidades (zona central).

-Se determinaron las variaciones de velocidad para los caudales máximos calculados, para $67.54 \text{ m}^3/\text{s}$, la velocidad mínima estimada es 0.40 m/s y la velocidad máxima 3.1 m/s, para un caudal calculado de $103.35 \text{ m}^3/\text{s}$ las velocidades mínima y máxima son 1.5 m/s y 5.0 m/s respectivamente en tanto para un caudal de $130.94 \text{ m}^3/\text{s}$ la velocidad mínima es 2.60 m/s y la máxima velocidad es 5.90 m/s.

5.2 Recomendaciones

- Para futuras investigaciones se recomienda, realizar transposición de caudales en vez de aplicar métodos empíricos para estimar datos para periodos de retorno; además de que es muy importante realizar análisis previos de las condiciones y características de la zona en estudio como la huella hídrica

-Para los trabajos de levantamiento se recomienda realizarlo en épocas de estiaje puesto que incluso aunque se midan profundidades a partir de los muros los instrumentos utilizados pueden pandearse o deteriorarse, además de constituir un riesgo debido a la fuerza de la corriente.

-Para la calibración de modelos en Flow-3d Hydro hasta encontrar la rugosidad, se pueden asumir intervalos de tiempos mayores a los que vienen preestablecidos por defecto, y se pueden suspender cuando se ha alcanzado el tiempo de estabilización mostrado en pantalla.

BIBLIOGRAFÍA

American Society of Civil Engineers (ASCE). 2004. *Guidelines for Determining Flood Flow Frequency*. 1.^a ed. Virginia : ASCE, 2004. pp. 75-98. ISBN: 978-0-7844-0846-2.

ANA. 2010. *Estudio hidrológico y ubicación de red de estaciones hidrométricas en la cuenca del río Rimac*. Lima : ANA, 2010. pp. 39-48.

ANA. 2015. *Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca de Crisnejas*. Lima : INCLAM, 2015. pp. 259-262.

Apacla, Ricardo. 2014. *Hidráulica Fluvial*. Lima : UNALM, 2014. pp. 73-154. ISBN: 978-612-414-728-9.

Aparicio, Francisco. 1989. *Fundamentos de hidrología de superficie*. 1.^a ed. México : LIMUSA, 1989. p. 13. ISBN: 978-968-183-014-4.

Arboleda, José, Felipe, Oscar and Yerrén, Jorge. 2018. *Manual de Hidrometría*. Lima : Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), 2018. pp. 14-18. ISBN: 978-9972-512-78-4.

Bacchini, Roberto, et al. 2018. *Introducción a la Probabilidad y a la Estadística*. Buenos Aires : CMA IADCOM - UBA, 2018. pp. 18-45. ISBN: 978-950-29-1734-4.

Breña, Agustín. 2013. *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. México : Limusa, 2013. pp. 23-39. ISBN: 978-607-00-2387-0.

Buerau of reclamation. 1995. *Diseño de pequeñas presas*. 2.^a ed. Denver, Colorado : Gobierno de los Estados Unidos, 1995. pp. 463-481. ISBN: 978-0-16-048937-9.

Burgos, Irving N. 2017. *Estimación del coeficiente de rugosidad de manning mediante mediciones de velocidad y profundidad, empleando un molinete hidrométrico, en el río chonta, cajamarca, 2016*. Cajamarca : s.n., 2017. pp. 26-36.

CENEPRED. 2015. *ECENARIO DE RIESGOS ANTE LA TEMPORADA DE LLUVIAS 2015 - 2016*. Lima : CENEPRED, 2015. pp. 13-18.

Cengel, Yunus and Cimbala, John. 2018. *Mecánica de fluidos Fundamentos y aplicaciones*. 4.^a ed. México : McGraw-Hill, 2018. pp. 269-347. ISBN: 978-607-150-779-2.

Chow, Ven. 1994. *Hidología aplicada*. 2.^a ed. Texas : McGRAW-HILL, 1994. pp. 35-158. ISBN: 978-0-07-034812-5.

Chow, Ven Te. 1994. *Hidráulica de canales abiertos*. [trans.] Juan Saldarriaga. 2.^a ed. Nueva York : McGraw-Hill Interamericana, 1994. pp. 154-501. ISBN: 978-958-600-228-4.

Comisión Nacional de Agua - UNAM. 1996. *Manual de Ingeniería de Ríos*. México : s.n., 1996.

Comisión nacional del agua. 1996. *Manual de ingeniería de ríos.* México : UNAM, 1996. pp. 96-154.

Consuegra, Claudio. 2013. *Síntesis Metodológica Para La Obtención De Caudales Ecológicos.* Bogotá : s.n., 2013. pp. 84-92.

Espejo, Oriole Katherine and Zabaleta, Yamileth. 2021. *Comparación del modelamiento hidráulico de una poza disipadora inclinada mediante el uso de los modelos IBER y HEC-RAS.* Lima : s.n., 2021. pp. 5-14.

Fattorelli, Sergio and Fernández, Pedro. 2011. *Diseño Hidrológico.* 2.^a ed. Barcelona : Ediciones UPC, 2011. p. 183. ISBN 978-84-9874-138-2.

Flow Science, Inc. 2022. *FLOW-3D® HYDRO User Guide (Versión 2022R1).* s.l. : Flow-science, 2022. pp. 85-117.

Gómez, José Antonio and Gómez, Ricardo. 2013. *Texto Básico Autoformativo de Topografía General.* 2.^a ed. Madrid : Editorial Tébar Flores, 2013. pp. 141-152. ISBN: 978-84-17327-00-4.

Gutierrez, Carlos. 2017. *Hidrología básica y aplicada.* 2.^a ed. Quito : Editorial CIEMAT, 2017. p. 35. ISBN: 978-84-9838-829-3.

Herrera, Orlando. 2019. *Estructura disipadora de energía aguas abajo de la captación Tres Molinos - Cajamarca.* Cajamarca : s.n., 2019. pp. 87-103.

Lozano, Adrian. 2019. *Apuntes sobre Dinámica de Fluidos Computacional.* 1.^a ed. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2019. pp. 54-87. ISBN: 978-84-09-21045-3.

Mansen, Alfredo. 2016. *Diseño de bocatomas.* 1.^a ed. Lima : Fondo Editorial de la Universidad Nacional de Ingeniería, 2016. pp. 10-27. ISBN: 978-612-4121-23-1.

Mendenhall, William, Beaver, Robert and Beaver, Barbara. 2019. *Introducción a la probabilidad y estadística.* 14.^a ed. México : Cengage Learning, 2019. pp. 35-72. ISBN: 978-1-337-55415-9.

Peterka, John. 1964. *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators.* Washington : United States Department of the Interior, 1964. pp. 19-55. ISBN: 978-0-16-048937-9.

Ramirez, Luis. 2016. *Influencia de la contracción del cauce en la profundidad de socavación en la descarga de la estructura de captación de agua huayrapongo en el río cajamarquino.* Cajamarca : s.n., 2016.

Rincón, Mario, Vargas, Wilson and Gonzáles, Javier. 2017. *Topografía conceptos básicos y aplicaciones.* Bogotá : Ecoe Ediciones, 2017. p. 8. ISBN: 978-958-771-506-4.

Rocha, Arturo. 2013. *La Bocatoma, Estructura Clave En Un Proyecto De Aprovechamiento Hidráulico.* Lima : UNI, 2013. pp. 10-18. ISBN: 978-9972-512-78-4.

Salamena, Tomás Andrés. 2015. *Modelamiento bidimensional hidrodinámico del flujo a través del río Calabí y obras hidráulicas.* Cuenca : s.n., 2015. pp. 53-89.

SENHAMI. 2016. *CICLOS HORARIOS DE PRECIPITACIÓN EN EL PERÚ UTILIZANDO INFORMACIÓN SATELITAL.* Lima : SENHAMI, 2016.

Versteeg, Hendrik and Malalasekera, Weeratunge. 2007. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics.* Nueva York : Pearson Prentice Hall, 2007. pp. 35-52. ISBN: 978-0-13-127498-3.

Villón, Máximo. 2002. *Hidrorlogía.* 1.^a ed. México : MaxSoft, 2002. pp. 16-180. ISBN: 978-9977-66-277-0.

Villón, Máximo. 200. *Hidrología Estadística.* Lima : Villón, 200. pp. 48-79. ISBN: 9977-661-05-9.

Xamán, Jesús and Guijón, Miguel. 2015. *Dinámica de fluidos computacional para ingenieros.* Monterrey : Palibrio, 2015. pp. 45-96. ISBN: 978-607-708-060-4.

Zamarripa, Manuel. 2010. *APUNTES DE TOPOGRAFÍA.* México : Trillas, 2010. pp. 115-135. ISBN: 978-607-17-2416-5.

ANEXOS

Anexo 01. Análisis estadístico de datos de caudales

Tabla 12. Datos de caudales máximos proporcionados por el SENAMIH, en el punto de aforo estación Jesús Túnel.

AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1968	14.48	36.47	28.04	16.44	16.97	3.09	1.04	0.77	3.35	8.40	12.40	12.30
1969	9.10	16.30	10.70	18.10	3.80	2.30	0.90	0.90	0.30	11.50	32.30	22.60
1970	13.20	15.50	27.70	10.70	7.90	5.20	1.60	0.50	0.30	13.70	12.40	27.60
1971	11.60	42.00	86.10	84.10	16.00	7.00	2.60	2.30	2.40	11.00	7.80	15.80
1972	12.30	11.20	28.80	40.20	10.10	4.60	1.40	0.70	8.20	7.30	7.40	9.70
1973	16.00	12.30	21.00	43.40	15.40	4.80	3.90	3.60	23.70	21.10	23.40	24.50
1974	28.40	83.90	54.20	19.50	7.20	3.20	2.60	2.90	3.90	10.60	11.50	9.90
1975	13.20	63.20	81.40	97.10	22.10	8.50	3.90	3.40	6.30	15.70	11.90	1.60
1976	23.60	25.40	35.80	37.70	8.70	2.80	0.70	0.60	0.30	2.20	2.70	3.20
1977	12.50	45.20	37.90	20.80	7.70	2.00	0.70	0.50	0.51	6.79	11.23	12.17
1978	3.77	3.22	11.85	6.57	20.37	1.31	0.88	0.22	0.11	0.86	6.05	4.99
1979	9.05	14.61	55.37	11.84	4.50	3.58	1.03	0.50	1.08	9.34	5.30	14.48
1980	11.75	68.28	65.24	45.28	20.83	5.67	1.42	0.64	3.03	12.27	43.59	60.38
1981	6.21	92.15	64.72	4.33	5.44	1.07	0.60	0.26	0.88	7.30	30.50	60.50
1982	12.50	64.60	21.60	67.60	4.60	1.80	0.40	0.20	1.40	19.40	10.40	51.70
1983	21.00	12.00	42.10	25.20	19.80	3.40	0.50	0.80	1.20	7.30	2.40	22.90
1984	9.20	73.40	80.10	23.90	49.40	6.20	3.50	1.60	2.30	13.30	16.10	19.80
1985	5.90	7.60	8.00	9.60	4.20	1.00	0.20	0.20	0.60	1.30	0.50	12.30
1986	27.30	11.90	14.90	22.20	6.90	2.30	0.40	0.19	0.06	1.88	4.05	14.22
1987	20.34	21.07	17.82	14.93	16.53	0.53	0.13	0.68	0.25	1.23	10.15	8.00
1988	25.19	25.85	16.27	27.95	15.23	1.58	0.48	0.10	0.55	5.10	12.24	8.86
1989	32.29	53.11	50.70	76.55	16.90	1.20	0.60	0.20	2.30	54.07	13.26	2.22
1990	10.05	18.83	4.43	6.62	4.62	2.31	0.45	0.13	0.09	16.93	34.12	42.00
1991	7.59	13.25	33.28	14.11	8.89	0.84	0.25	0.26	0.15	0.30	1.00	4.50
1992	8.00	0.30	5.30	8.20	2.60	0.50	0.32	0.10	0.27	15.00	3.80	0.80

AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1993	3.90	20.40	74.70	27.80	7.40	2.40	0.70	0.10	2.00	15.97	48.08	33.35
1994	20.75	37.21	32.98	17.33	5.73	1.70	0.95	0.51	0.45	0.57	6.37	11.79
1995	4.22	29.72	33.24	30.86	6.73	2.85	0.26	0.23	1.01	1.70	17.07	23.68
1996	38.29	115.14	10.07	68.08	62.18	5.93	3.13	2.08	1.37	9.68	1.26	83.98
1997	10.95	25.40	9.00	5.96	4.14	2.29	0.82	0.73	0.38	4.16	47.45	37.11
1998	18.07	79.38	205.60	55.07	17.14	5.31	1.98	1.55	1.93	6.90	7.48	5.93
1999	31.04	279.55	60.78	23.14	5.45	7.62	1.34	0.59	8.58	16.92	7.07	31.40
2000	8.05	45.51	39.01	15.34	15.34	4.37	2.24	2.04	4.38	3.31	1.88	10.09
2001	172.00	38.02	10.13	56.24	68.77	4.04	1.23	0.80	0.98	6.52	10.09	15.17
2002	12.58	38.00	25.32	29.46	6.92	2.57	1.07	0.47	0.81	5.27	12.99	17.47
2003	15.75	30.53	26.62	27.83	13.86	5.57	1.27	0.69	0.66	5.99	6.27	7.51
2004	22.47	53.22	38.96	18.30	7.66	2.67	1.05	0.77	2.10	4.30	11.73	9.38
2005	8.03	32.71	30.76	24.62	6.20	1.86	1.05	0.58	0.92	20.70	10.08	59.63
2006	15.06	23.58	143.26	17.20	89.23	5.81	1.25	0.63	2.88	2.08	1.58	6.34
2007	24.14	17.13	192.09	90.37	38.51	8.65	2.41	2.05	2.05	43.42	27.73	20.02
2008	70.09	80.00	38.28	36.96	12.20	10.29	3.65	4.02	11.10	20.94	57.57	25.79
2009	75.53	54.70	69.07	83.43	55.42	7.68	5.54	4.04	1.58	40.05	34.12	24.57
2010	13.73	46.23	25.20	39.54	39.22	7.68	1.63	1.10	6.61	20.78	24.27	23.89
2011	24.91	98.58	64.66	166.43	37.06	11.13	6.81	0.51	6.15	8.93	5.88	33.28
2012	409.11	11.55	83.26	12.27	42.27	46.09	1.48	1.26	1.12	2.56	75.14	32.08
2013	17.84	26.58	176.63	97.71	10.91	19.10	5.84	3.95	1.13	24.02	9.66	22.89
2014	25.70	33.02	53.15	50.92	38.10	7.30	3.22	1.78	3.91	7.10	16.50	43.35
2015	78.27	56.92	93.52	53.23	22.43	9.11	0.51	0.34	1.05	2.46	13.33	7.99
2016	25.51	22.99	30.85	16.78	3.40	1.04	0.51	0.23	0.56	11.45	10.75	10.77

Fuente: SENAMIH

Tabla 13. de análisis de datos dudosos máximos y mínimos.

AÑO	Q Max	Log (Qmax)	MAX	MIN
1968	36.47	1.56	462.92	7.441
1969	32.30	1.51	462.92	7.441
1970	27.70	1.44	462.92	7.441
1971	86.10	1.94	462.92	7.441
1972	40.20	1.60	462.92	7.441
1973	43.40	1.64	462.92	7.441
1974	83.90	1.92	462.92	7.441
1975	97.10	1.99	462.92	7.441
1976	37.70	1.58	462.92	7.441
1977	45.20	1.66	462.92	7.441
1978	20.37	1.31	462.92	7.441
1979	55.37	1.74	462.92	7.441
1980	68.28	1.83	462.92	7.441
1981	92.15	1.96	462.92	7.441
1982	67.60	1.83	462.92	7.441
1983	42.10	1.62	462.92	7.441
1984	80.10	1.90	462.92	7.441
1985	12.30	1.09	462.92	7.441
1986	27.30	1.44	462.92	7.441
1987	21.07	1.32	462.92	7.441
1988	27.95	1.45	462.92	7.441
1989	76.55	1.88	462.92	7.441
1990	42.00	1.62	462.92	7.441
1991	33.28	1.52	462.92	7.441
1992	15.00	1.18	462.92	7.441
1993	74.70	1.87	462.92	7.441
1994	37.21	1.57	462.92	7.441
1995	33.24	1.52	462.92	7.441
1996	115.14	2.06	462.92	7.441
1997	47.45	1.68	462.92	7.441
1998	205.60	2.31	462.92	7.441
1999	279.55	2.45	462.92	7.441
2000	45.51	1.66	462.92	7.441
2001	172.00	2.24	462.92	7.441
2002	38.00	1.58	462.92	7.441
2003	30.53	1.48	462.92	7.441
2004	53.22	1.73	462.92	7.441
2005	59.63	1.78	462.92	7.441
2006	143.26	2.16	462.92	7.441
2007	192.09	2.28	462.92	7.441
2008	80.00	1.90	462.92	7.441
2009	83.43	1.92	462.92	7.441
2010	46.23	1.66	462.92	7.441
2011	166.43	2.22	462.92	7.441
2012	409.11	2.61	462.92	7.441
2013	176.63	2.25	462.92	7.441
2014	53.15	1.73	462.92	7.441
2015	93.52	1.97	462.92	7.441
2016	30.85	1.49	462.92	7.441

Tabla 14. Distribuciones teóricas – Distribución normal.

Nº	X	P (X)	z	F(Z)	Δ
1	12.30	0.020	-0.902	0.184	0.164
2	15.00	0.040	-0.865	0.193	0.153
3	20.37	0.060	-0.793	0.214	0.154
4	21.07	0.080	-0.784	0.217	0.137
5	27.30	0.100	-0.699	0.242	0.142
6	27.70	0.120	-0.694	0.244	0.124
7	27.95	0.140	-0.691	0.245	0.105
8	30.53	0.160	-0.656	0.256	0.096
9	30.85	0.180	-0.652	0.257	0.077
10	32.30	0.200	-0.632	0.264	0.064
11	33.24	0.220	-0.619	0.268	0.048
12	33.28	0.240	-0.619	0.268	0.028
13	36.47	0.260	-0.576	0.282	0.022
14	37.21	0.280	-0.566	0.286	0.006
15	37.70	0.300	-0.559	0.288	0.012
16	38.00	0.320	-0.555	0.289	0.031
17	40.20	0.340	-0.525	0.300	0.040
18	42.00	0.360	-0.501	0.308	0.052
19	42.10	0.380	-0.500	0.309	0.071
20	43.40	0.400	-0.482	0.315	0.085
21	45.20	0.420	-0.458	0.323	0.097
22	45.51	0.440	-0.454	0.325	0.115
23	46.23	0.460	-0.444	0.328	0.132
24	47.45	0.480	-0.428	0.334	0.146
25	53.15	0.500	-0.351	0.363	0.137
26	53.22	0.520	-0.350	0.363	0.157
27	55.37	0.540	-0.321	0.374	0.166
28	59.63	0.560	-0.263	0.396	0.164
29	67.60	0.580	-0.156	0.438	0.142
30	68.28	0.600	-0.147	0.442	0.158
31	74.70	0.620	-0.060	0.476	0.144
32	76.55	0.640	-0.035	0.486	0.154
33	80.00	0.660	0.012	0.505	0.155
34	80.10	0.680	0.013	0.505	0.175
35	83.43	0.700	0.058	0.523	0.177
36	83.90	0.720	0.064	0.526	0.194
37	86.10	0.740	0.094	0.537	0.203
38	92.15	0.760	0.176	0.570	0.190
39	93.52	0.780	0.194	0.577	0.203
40	97.10	0.800	0.242	0.596	0.204
41	115.14	0.820	0.486	0.686	0.134
42	143.26	0.840	0.865	0.807	0.033
43	166.43	0.860	1.178	0.881	0.021
44	172.00	0.880	1.253	0.895	0.015
45	176.63	0.900	1.315	0.906	0.006
46	192.09	0.920	1.524	0.936	0.016
47	205.60	0.940	1.706	0.956	0.016
48	279.55	0.960	2.704	0.997	0.037
49	409.11	0.980	4.452	1.000	0.020
				Δ Teórico	0.2043
				Δ Tabular	0.1943
No se ajusta					

Tabla 15. Distribuciones teóricas – LogNormal de dos parámetros.

m	X	P(X)	Ln(x)	z	f(z)	F(z)	Δ	
1	12.30	0.020	2.510	-2.088	0.005	0.0184	0.00162	
2	15.00	0.040	2.708	-1.823	0.007	0.0341	0.00586	
3	20.37	0.060	3.014	-1.414	0.010	0.0786	0.01865	
4	21.07	0.080	3.048	-1.369	0.010	0.0855	0.00549	
5	27.30	0.100	3.307	-1.023	0.012	0.1532	0.05318	
6	27.70	0.120	3.321	-1.003	0.012	0.1578	0.03782	
7	27.95	0.140	3.330	-0.991	0.012	0.1607	0.02073	
8	30.53	0.160	3.419	-0.873	0.012	0.1912	0.03121	
9	30.85	0.180	3.429	-0.860	0.012	0.1950	0.01502	
10	32.30	0.200	3.475	-0.798	0.012	0.2124	0.01239	
11	33.24	0.220	3.504	-0.760	0.012	0.2237	0.00368	
12	33.28	0.240	3.505	-0.758	0.012	0.2242	0.01584	
13	36.47	0.260	3.596	-0.636	0.012	0.2624	0.00243	
14	37.21	0.280	3.617	-0.609	0.012	0.2713	0.00875	
15	37.70	0.300	3.630	-0.592	0.012	0.2771	0.02292	
16	38.00	0.320	3.638	-0.581	0.012	0.2806	0.03936	
17	40.20	0.340	3.694	-0.506	0.012	0.3065	0.03348	
18	42.00	0.360	3.738	-0.447	0.011	0.3274	0.03264	
19	42.10	0.380	3.740	-0.444	0.011	0.3285	0.05149	
20	43.40	0.400	3.770	-0.403	0.011	0.3433	0.05667	
21	45.20	0.420	3.811	-0.349	0.011	0.3635	0.05648	
22	45.51	0.440	3.818	-0.340	0.011	0.3670	0.07305	
23	46.23	0.460	3.834	-0.319	0.011	0.3749	0.08512	
24	47.45	0.480	3.860	-0.284	0.011	0.3881	0.09185	
25	53.15	0.500	3.973	-0.133	0.010	0.4473	0.05273	
26	53.22	0.520	3.974	-0.131	0.010	0.4480	0.07203	
27	55.37	0.540	4.014	-0.078	0.010	0.4690	0.07103	
28	59.63	0.560	4.088	0.021	0.009	0.5085	0.05155	
29	67.60	0.580	4.214	0.189	0.008	0.5749	0.00511	
30	68.28	0.600	4.224	0.202	0.008	0.5801	0.01987	
31	74.70	0.620	4.313	0.322	0.007	0.6264	0.00639	
32	76.55	0.640	4.338	0.355	0.007	0.6387	0.00129	
33	80.00	0.660	4.382	0.414	0.006	0.6605	0.00053	
34	80.10	0.680	4.383	0.416	0.006	0.6611	0.01886	
35	83.43	0.700	4.424	0.470	0.006	0.6808	0.01917	
36	83.90	0.720	4.430	0.478	0.006	0.6835	0.03649	
37	86.10	0.740	4.456	0.512	0.005	0.6957	0.04428	
38	92.15	0.760	4.523	0.603	0.005	0.7267	0.03330	
39	93.52	0.780	4.538	0.623	0.005	0.7332	0.04678	
40	97.10	0.800	4.576	0.673	0.004	0.7495	0.05054	
41	115.14	0.820	4.746	0.901	0.003	0.8161	0.00392	
42	143.26	0.840	4.965	1.193	0.002	0.8835	0.04348	
43	166.43	0.860	5.115	1.393	0.001	0.9182	0.05817	
44	172.00	0.880	5.147	1.437	0.001	0.9246	0.04463	
45	176.63	0.900	5.174	1.472	0.001	0.9295	0.02954	
46	192.09	0.920	5.258	1.585	0.001	0.9435	0.02346	
47	205.60	0.940	5.326	1.675	0.001	0.9531	0.01307	
48	279.55	0.960	5.633	2.086	0.000	0.9815	0.02151	
49	409.11	0.980	6.014	2.595	0.000	0.9953	0.01527	
Promedio \bar{x} (log.normal)			4.072				Δ Teórico	0.0919
Des.Est. S (log.normal)			0.748				Δ Tabular	0.1943
SE AJUSTA								

Tabla 16. Distribuciones teóricas – LogNormal de tres parámetros.

m	X	P(X)	X-Xo	Ln(X-Xo)	z	f(z)	F(z)	Δ
1	12.30	0.020	5.296	1.667	-2.564	0.0032	0.0052	0.01482707
2	15.00	0.040	7.996	2.079	-2.090	0.0065	0.0183	0.02170197
3	20.37	0.060	13.366	2.593	-1.499	0.0112	0.0669	0.00688634
4	21.07	0.080	14.066	2.644	-1.441	0.0116	0.0748	0.00516315
5	27.30	0.100	20.296	3.010	-1.019	0.0134	0.1541	0.05409738
6	27.70	0.120	20.696	3.030	-0.997	0.0135	0.1595	0.03948591
7	27.95	0.140	20.946	3.042	-0.983	0.0135	0.1629	0.02286167
8	30.53	0.160	23.526	3.158	-0.849	0.0136	0.1979	0.0378902
9	30.85	0.180	23.846	3.172	-0.834	0.0136	0.2022	0.0222407
10	32.30	0.200	25.296	3.231	-0.766	0.0135	0.2219	0.02190964
11	33.24	0.220	26.236	3.267	-0.724	0.0135	0.2346	0.01459415
12	33.28	0.240	26.276	3.269	-0.722	0.0135	0.2351	0.00486763
13	36.47	0.260	29.466	3.383	-0.590	0.0131	0.2775	0.01750162
14	37.21	0.280	30.206	3.408	-0.562	0.0130	0.2871	0.00714134
15	37.70	0.300	30.696	3.424	-0.543	0.0129	0.2935	0.0065211
16	38.00	0.320	30.996	3.434	-0.532	0.0128	0.2973	0.02265955
17	40.20	0.340	33.196	3.502	-0.453	0.0125	0.3252	0.01480051
18	42.00	0.360	34.996	3.555	-0.392	0.0121	0.3474	0.01264925
19	42.10	0.380	35.096	3.558	-0.389	0.0121	0.3486	0.03143642
20	43.40	0.400	36.396	3.594	-0.347	0.0119	0.3642	0.03584477
21	45.20	0.420	38.196	3.643	-0.292	0.0115	0.3852	0.03480358
22	45.51	0.440	38.506	3.651	-0.283	0.0114	0.3888	0.05124496
23	46.23	0.460	39.226	3.669	-0.261	0.0113	0.3969	0.06305427
24	47.45	0.480	40.446	3.700	-0.226	0.0111	0.4106	0.06941427
25	53.15	0.500	46.146	3.832	-0.074	0.0099	0.4703	0.02966174
26	53.22	0.520	46.216	3.833	-0.073	0.0099	0.4710	0.04896821
27	55.37	0.540	48.366	3.879	-0.020	0.0095	0.4919	0.04813179
28	59.63	0.560	52.626	3.963	0.077	0.0087	0.5306	0.02943496
29	67.60	0.580	60.596	4.104	0.239	0.0074	0.5944	0.01439348
30	68.28	0.600	61.276	4.115	0.252	0.0073	0.5994	0.00063854
31	74.70	0.620	67.696	4.215	0.366	0.0063	0.6429	0.02292158
32	76.55	0.640	69.546	4.242	0.397	0.0061	0.6544	0.01442117
33	80.00	0.660	72.996	4.290	0.453	0.0057	0.6747	0.01471232
34	80.10	0.680	73.096	4.292	0.455	0.0057	0.6753	0.00472105
35	83.43	0.700	76.426	4.336	0.506	0.0053	0.6935	0.00650943
36	83.90	0.720	76.896	4.342	0.513	0.0052	0.6960	0.02403881
37	86.10	0.740	79.096	4.371	0.545	0.0050	0.7072	0.03278768
38	92.15	0.760	85.146	4.444	0.630	0.0044	0.7357	0.02434085
39	93.52	0.780	86.516	4.460	0.648	0.0043	0.7416	0.03837094
40	97.10	0.800	90.096	4.501	0.695	0.0040	0.7565	0.04352639
41	115.14	0.820	108.136	4.683	0.905	0.0028	0.8172	0.00276072
42	143.26	0.840	136.256	4.915	1.171	0.0017	0.8791	0.03914245
43	166.43	0.860	159.426	5.072	1.351	0.0012	0.9117	0.05170205
44	172.00	0.880	164.996	5.106	1.391	0.0011	0.9179	0.03785744
45	176.63	0.900	169.626	5.134	1.423	0.0010	0.9226	0.02257813
46	192.09	0.920	185.086	5.221	1.523	0.0008	0.9361	0.01611273
47	205.60	0.940	198.596	5.291	1.604	0.0006	0.9456	0.00563813
48	279.55	0.960	272.546	5.608	1.968	0.0002	0.9755	0.0154642
49	409.11	0.980	402.106	5.997	2.415	0.0001	0.9921	0.01213695
Mediana	53.15	Promedio \bar{x}		3.897			Δ Teórico	0.0694
Xo	7.004	Des.Est. S		0.870			Δ Tabular	0.1943
SE AJUSTA								

Tabla 17. Distribuciones teóricas – Gamma de dos parámetros.

m	X	P(X)	Ln(x)	f(x)	F(x)	Δ
1	12.30	0.020	2.510	0.0066	0.0490	0.0290
2	15.00	0.040	2.708	0.0073	0.0677	0.0277
3	20.37	0.060	3.014	0.0082	0.1095	0.0495
4	21.07	0.080	3.048	0.0083	0.1153	0.0353
5	27.30	0.100	3.307	0.0089	0.1694	0.0694
6	27.70	0.120	3.321	0.0090	0.1730	0.0530
7	27.95	0.140	3.330	0.0090	0.1752	0.0352
8	30.53	0.160	3.419	0.0091	0.1986	0.0386
9	30.85	0.180	3.429	0.0091	0.2015	0.0215
10	32.30	0.200	3.475	0.0092	0.2147	0.0147
11	33.24	0.220	3.504	0.0092	0.2233	0.0033
12	33.28	0.240	3.505	0.0092	0.2237	0.0163
13	36.47	0.260	3.596	0.0092	0.2530	0.0070
14	37.21	0.280	3.617	0.0092	0.2598	0.0202
15	37.70	0.300	3.630	0.0092	0.2643	0.0357
16	38.00	0.320	3.638	0.0092	0.2670	0.0530
17	40.20	0.340	3.694	0.0091	0.2872	0.0528
18	42.00	0.360	3.738	0.0091	0.3036	0.0564
19	42.10	0.380	3.740	0.0091	0.3045	0.0755
20	43.40	0.400	3.770	0.0090	0.3163	0.0837
21	45.20	0.420	3.811	0.0090	0.3325	0.0875
22	45.51	0.440	3.818	0.0090	0.3353	0.1047
23	46.23	0.460	3.834	0.0089	0.3417	0.1183
24	47.45	0.480	3.860	0.0089	0.3525	0.1275
25	53.15	0.500	3.973	0.0085	0.4021	0.0979
26	53.22	0.520	3.974	0.0085	0.4027	0.1173
27	55.37	0.540	4.014	0.0084	0.4209	0.1191
28	59.63	0.560	4.088	0.0081	0.4560	0.1040
29	67.60	0.580	4.214	0.0075	0.5179	0.0621
30	68.28	0.600	4.224	0.0074	0.5229	0.0771
31	74.70	0.620	4.313	0.0069	0.5687	0.0513
32	76.55	0.640	4.338	0.0067	0.5813	0.0587
33	80.00	0.660	4.382	0.0064	0.6040	0.0560
34	80.10	0.680	4.383	0.0064	0.6046	0.0754
35	83.43	0.700	4.424	0.0062	0.6256	0.0744
36	83.90	0.720	4.430	0.0061	0.6284	0.0916
37	86.10	0.740	4.456	0.0059	0.6417	0.0983
38	92.15	0.760	4.523	0.0055	0.6762	0.0838
39	93.52	0.780	4.538	0.0054	0.6836	0.0964
40	97.10	0.800	4.576	0.0051	0.7023	0.0977
41	115.14	0.820	4.746	0.0039	0.7827	0.0373
42	143.26	0.840	4.965	0.0024	0.8698	0.0298
43	166.43	0.860	5.115	0.0016	0.9158	0.0558
44	172.00	0.880	5.147	0.0015	0.9244	0.0444
45	176.63	0.900	5.174	0.0013	0.9308	0.0308
46	192.09	0.920	5.258	0.0010	0.9487	0.0287
47	205.60	0.940	5.326	0.0008	0.9607	0.0207
48	279.55	0.960	5.633	0.0002	0.9911	0.0311
49	409.11	0.980	6.014	0.0000	0.9994	0.0194
Media	79.142	4.0723			Δ Teórico	0.1275
Y	0.29894492				Δ Tabular	0.1943
α	1.82253573				SE AJUSTA	
β	43.4242487					

Tabla 18. Distribuciones teóricas – Gamma de tres parámetros.

m	X	P(X)	X-Xo	f(x)	F(x)	Δ
1	12.30	0.020	-8.4146	No se ajusta	No se ajusta	No se ajusta
2	15.00	0.040	-5.7146	No se ajusta	No se ajusta	No se ajusta
3	20.37	0.060	-0.3446	No se ajusta	No se ajusta	No se ajusta
4	21.07	0.080	0.3554	0.0607	0.03480	0.0452
5	27.30	0.100	6.5854	0.0188	0.20822	0.1082
6	27.70	0.120	6.9854	0.0183	0.21565	0.0956
7	27.95	0.140	7.2354	0.0180	0.22019	0.0802
8	30.53	0.160	9.8154	0.0156	0.26341	0.1034
9	30.85	0.180	10.1354	0.0154	0.26838	0.0884
10	32.30	0.200	11.5854	0.0144	0.28996	0.0900
11	33.24	0.220	12.5254	0.0138	0.30323	0.0832
12	33.28	0.240	12.5654	0.0138	0.30378	0.0638
13	36.47	0.260	15.7554	0.0123	0.34528	0.0853
14	37.21	0.280	16.4954	0.0120	0.35425	0.0742
15	37.70	0.300	16.9854	0.0118	0.36006	0.0601
16	38.00	0.320	17.2854	0.0117	0.36357	0.0436
17	40.20	0.340	19.4854	0.0109	0.38834	0.0483
18	42.00	0.360	21.2854	0.0103	0.40741	0.0474
19	42.10	0.380	21.3854	0.0103	0.40844	0.0284
20	43.40	0.400	22.6854	0.0099	0.42158	0.0216
21	45.20	0.420	24.4854	0.0095	0.43902	0.0190
22	45.51	0.440	24.7954	0.0094	0.44194	0.0019
23	46.23	0.460	25.5154	0.0092	0.44863	0.0114
24	47.45	0.480	26.7354	0.0089	0.45970	0.0203
25	53.15	0.500	32.4354	0.0078	0.50731	0.0073
26	53.22	0.520	32.5054	0.0078	0.50786	0.0121
27	55.37	0.540	34.6554	0.0074	0.52425	0.0158
28	59.63	0.560	38.9154	0.0068	0.55457	0.0054
29	67.60	0.580	46.8854	0.0058	0.60478	0.0248
30	68.28	0.600	47.5654	0.0058	0.60872	0.0087
31	74.70	0.620	53.9854	0.0051	0.64359	0.0236
32	76.55	0.640	55.8354	0.0050	0.65292	0.0129
33	80.00	0.660	59.2854	0.0047	0.66954	0.0095
34	80.10	0.680	59.3854	0.0047	0.67001	0.0100
35	83.43	0.700	62.7154	0.0044	0.68512	0.0149
36	83.90	0.720	63.1854	0.0044	0.68718	0.0328
37	86.10	0.740	65.3854	0.0042	0.69664	0.0434
38	92.15	0.760	71.4354	0.0038	0.72097	0.0390
39	93.52	0.780	72.8054	0.0037	0.72616	0.0538
40	97.10	0.800	76.3854	0.0035	0.73920	0.0608
41	115.14	0.820	94.4254	0.0027	0.79504	0.0250
42	143.26	0.840	122.5454	0.0018	0.85749	0.0175
43	166.43	0.860	145.7154	0.0013	0.89353	0.0335
44	172.00	0.880	151.2854	0.0012	0.90065	0.0207
45	176.63	0.900	155.9154	0.0012	0.90619	0.0062
46	192.09	0.920	171.3754	0.0009	0.92244	0.0024
47	205.60	0.940	184.8854	0.0008	0.93422	0.0058
48	279.55	0.960	258.8354	0.0003	0.97282	0.0128
49	409.11	0.980	388.3954	0.0001	0.99395	0.0140
Media	79.1422				Δ Teórico	No se ajusta
S	74.1160				Δ Tabular	0.1943
Cs	2.5370					
Xo	20.7146					
β	94.0168					
α	0.6215					

Tabla 19. Distribuciones teóricas – LogPerson III.

m	X	P(X)	Ln(x)	Ln(x)-X0	f(x)	F(X)	Δ
1	12.30	0.020	2.510	1.855	0.040	0.00700	0.01300
2	15.00	0.040	2.708	2.053	0.089	0.01927	0.02073
3	20.37	0.060	3.014	2.359	0.216	0.06440	0.00440
4	21.07	0.080	3.048	2.393	0.233	0.07198	0.00802
5	27.30	0.100	3.307	2.652	0.369	0.14996	0.04996
6	27.70	0.120	3.321	2.667	0.376	0.15538	0.03538
7	27.95	0.140	3.330	2.676	0.381	0.15879	0.01879
8	30.53	0.160	3.419	2.764	0.424	0.19434	0.03434
9	30.85	0.180	3.429	2.774	0.428	0.19878	0.01878
10	32.30	0.200	3.475	2.820	0.448	0.21892	0.01892
11	33.24	0.220	3.504	2.849	0.460	0.23195	0.01195
12	33.28	0.240	3.505	2.850	0.461	0.23250	0.00750
13	36.47	0.260	3.596	2.942	0.494	0.27622	0.01622
14	37.21	0.280	3.617	2.962	0.500	0.28620	0.00620
15	37.70	0.300	3.630	2.975	0.504	0.29276	0.00724
16	38.00	0.320	3.638	2.983	0.506	0.29677	0.02323
17	40.20	0.340	3.694	3.039	0.520	0.32565	0.01435
18	42.00	0.360	3.738	3.083	0.529	0.34863	0.01137
19	42.10	0.380	3.740	3.085	0.529	0.34989	0.03011
20	43.40	0.400	3.770	3.116	0.534	0.36606	0.03394
21	45.20	0.420	3.811	3.156	0.539	0.38788	0.03212
22	45.51	0.440	3.818	3.163	0.540	0.39157	0.04843
23	46.23	0.460	3.834	3.179	0.541	0.40005	0.05995
24	47.45	0.480	3.860	3.205	0.543	0.41417	0.06583
25	53.15	0.500	3.973	3.318	0.542	0.47583	0.02417
26	53.22	0.520	3.974	3.320	0.542	0.47655	0.04345
27	55.37	0.540	4.014	3.359	0.539	0.49795	0.04205
28	59.63	0.560	4.088	3.433	0.528	0.53752	0.02248
29	67.60	0.580	4.214	3.559	0.501	0.60223	0.02223
30	68.28	0.600	4.224	3.569	0.499	0.60723	0.00723
31	74.70	0.620	4.313	3.659	0.472	0.65087	0.03087
32	76.55	0.640	4.338	3.683	0.464	0.66232	0.02232
33	80.00	0.660	4.382	3.727	0.449	0.68245	0.02245
34	80.10	0.680	4.383	3.729	0.449	0.68301	0.00301
35	83.43	0.700	4.424	3.769	0.434	0.70099	0.00099
36	83.90	0.720	4.430	3.775	0.432	0.70343	0.01657
37	86.10	0.740	4.456	3.801	0.423	0.71449	0.02551
38	92.15	0.760	4.523	3.869	0.397	0.74232	0.01768
39	93.52	0.780	4.538	3.883	0.391	0.74814	0.03186
40	97.10	0.800	4.576	3.921	0.377	0.76256	0.03744
41	115.14	0.820	4.746	4.091	0.310	0.82103	0.00103
42	143.26	0.840	4.965	4.310	0.229	0.87976	0.03976
43	166.43	0.860	5.115	4.460	0.181	0.91045	0.05045
44	172.00	0.880	5.147	4.493	0.171	0.91625	0.03625
45	176.63	0.900	5.174	4.519	0.164	0.92071	0.02071
46	192.09	0.920	5.258	4.603	0.142	0.93351	0.01351
47	205.60	0.940	5.326	4.671	0.125	0.94256	0.00256
48	279.55	0.960	5.633	4.978	0.068	0.97152	0.01152
49	409.11	0.980	6.014	5.359	0.029	0.98903	0.00903
Promedio \bar{x}			4.0723			Δ Teórico	0.06583
Des.Est. S			0.7483			Δ Tabular	0.19429
Coef. Asimetria Cs			0.4379			SE AJUSTA	
Xo			0.6548				
β			0.1638				
α			20.8594				

Tabla 20. Distribuciones teóricas – Gumbel.

m	X	P(X)	f(x)	F(x)	Δ
1	12.30	0.020	0.00166	0.1678	0.1478
2	15.00	0.040	0.00175	0.1820	0.1420
3	20.37	0.060	0.00192	0.2117	0.1517
4	21.07	0.080	0.00194	0.2157	0.1357
5	27.30	0.100	0.00211	0.2523	0.1523
6	27.70	0.120	0.00212	0.2547	0.1347
7	27.95	0.140	0.00213	0.2562	0.1162
8	30.53	0.160	0.00218	0.2719	0.1119
9	30.85	0.180	0.00219	0.2739	0.0939
10	32.30	0.200	0.00222	0.2828	0.0828
11	33.24	0.220	0.00223	0.2886	0.0686
12	33.28	0.240	0.00223	0.2889	0.0489
13	36.47	0.260	0.00228	0.3088	0.0488
14	37.21	0.280	0.00229	0.3135	0.0335
15	37.70	0.300	0.00230	0.3166	0.0166
16	38.00	0.320	0.00230	0.3184	0.0016
17	40.20	0.340	0.00232	0.3323	0.0077
18	42.00	0.360	0.00233	0.3438	0.0162
19	42.10	0.380	0.00233	0.3444	0.0356
20	43.40	0.400	0.00234	0.3527	0.0473
21	45.20	0.420	0.00234	0.3641	0.0559
22	45.51	0.440	0.00234	0.3661	0.0739
23	46.23	0.460	0.00234	0.3707	0.0893
24	47.45	0.480	0.00234	0.3784	0.1016
25	53.15	0.500	0.00230	0.4146	0.0854
26	53.22	0.520	0.00230	0.4151	0.1049
27	55.37	0.540	0.00228	0.4286	0.1114
28	59.63	0.560	0.00221	0.4552	0.1048
29	67.60	0.580	0.00203	0.5038	0.0762
30	68.28	0.600	0.00201	0.5078	0.0922
31	74.70	0.620	0.00181	0.5453	0.0747
32	76.55	0.640	0.00175	0.5558	0.0842
33	80.00	0.660	0.00163	0.5751	0.0849
34	80.10	0.680	0.00163	0.5756	0.1044
35	83.43	0.700	0.00151	0.5937	0.1063
36	83.90	0.720	0.00149	0.5962	0.1238
37	86.10	0.740	0.00141	0.6079	0.1321
38	92.15	0.760	0.00119	0.6387	0.1213
39	93.52	0.780	0.00114	0.6454	0.1346
40	97.10	0.800	0.00101	0.6626	0.1374
41	115.14	0.820	0.00046	0.7400	0.0800
42	143.26	0.840	0.00006	0.8310	0.0090
43	166.43	0.860	0.00000	0.8834	0.0234
44	172.00	0.880	0.00000	0.8935	0.0135
45	176.63	0.900	0.00000	0.9013	0.0013
46	192.09	0.920	0.00000	0.9236	0.0036
47	205.60	0.940	0.00000	0.9390	0.0010
48	279.55	0.960	0.00000	0.9826	0.0226
49	409.11	0.980	0.00000	0.9981	0.0181
Promedio \bar{x}	79.1422			Δ Teórico	0.15231
Des.Est. S	74.1160			Δ Tabular	0.19429
μ	45.7900			SE AJUSTA	
α	57.7880				

Tabla 21. Distribuciones teóricas – Gumbel.

m	X	P(X)	Ln(P)	F(x)	Δ
1	12.30	0.020	2.510	0.0003	0.020
2	15.00	0.040	2.708	0.0030	0.037
3	20.37	0.060	3.014	0.0319	0.028
4	21.07	0.080	3.048	0.0388	0.041
5	27.30	0.100	3.307	0.1243	0.024
6	27.70	0.120	3.321	0.1309	0.011
7	27.95	0.140	3.330	0.1350	0.005
8	30.53	0.160	3.419	0.1788	0.019
9	30.85	0.180	3.429	0.1844	0.004
10	32.30	0.200	3.475	0.2095	0.010
11	33.24	0.220	3.504	0.2259	0.006
12	33.28	0.240	3.505	0.2265	0.013
13	36.47	0.260	3.596	0.2811	0.021
14	37.21	0.280	3.617	0.2934	0.013
15	37.70	0.300	3.630	0.3015	0.001
16	38.00	0.320	3.638	0.3064	0.014
17	40.20	0.340	3.694	0.3416	0.002
18	42.00	0.360	3.738	0.3692	0.009
19	42.10	0.380	3.740	0.3707	0.009
20	43.40	0.400	3.770	0.3899	0.010
21	45.20	0.420	3.811	0.4154	0.005
22	45.51	0.440	3.818	0.4196	0.020
23	46.23	0.460	3.834	0.4294	0.031
24	47.45	0.480	3.860	0.4456	0.034
25	53.15	0.500	3.973	0.5140	0.014
26	53.22	0.520	3.974	0.5148	0.005
27	55.37	0.540	4.014	0.5377	0.002
28	59.63	0.560	4.088	0.5790	0.019
29	67.60	0.580	4.214	0.6436	0.064
30	68.28	0.600	4.224	0.6484	0.048
31	74.70	0.620	4.313	0.6898	0.070
32	76.55	0.640	4.338	0.7004	0.060
33	80.00	0.660	4.382	0.7188	0.059
34	80.10	0.680	4.383	0.7193	0.039
35	83.43	0.700	4.424	0.7354	0.035
36	83.90	0.720	4.430	0.7376	0.018
37	86.10	0.740	4.456	0.7474	0.007
38	92.15	0.760	4.523	0.7717	0.012
39	93.52	0.780	4.538	0.7767	0.003
40	97.10	0.800	4.576	0.7891	0.011
41	115.14	0.820	4.746	0.8379	0.018
42	143.26	0.840	4.965	0.8855	0.045
43	166.43	0.860	5.115	0.9102	0.050
44	172.00	0.880	5.147	0.9149	0.035
45	176.63	0.900	5.174	0.9185	0.019
46	192.09	0.920	5.258	0.9291	0.009
47	205.60	0.940	5.326	0.9366	0.003
48	279.55	0.960	5.633	0.9621	0.002
49	409.11	0.980	6.014	0.9801	0.000
Promedio \bar{x}	4.07230			Δ Teórico	0.0698
Des.Est. S	0.74828			Δ Tabular	0.1943
μ	3.73558			SE AJUSTA	
α	0.58343				

Anexo 02. Gráficos de pruebas de calibración del modelo y ensayos con caudales para tiempos de retorno

Figura 51. Perfil de presión del modelo en Pascales para una altura H1=0.70 metros y rugosidad absoluta 0.001.

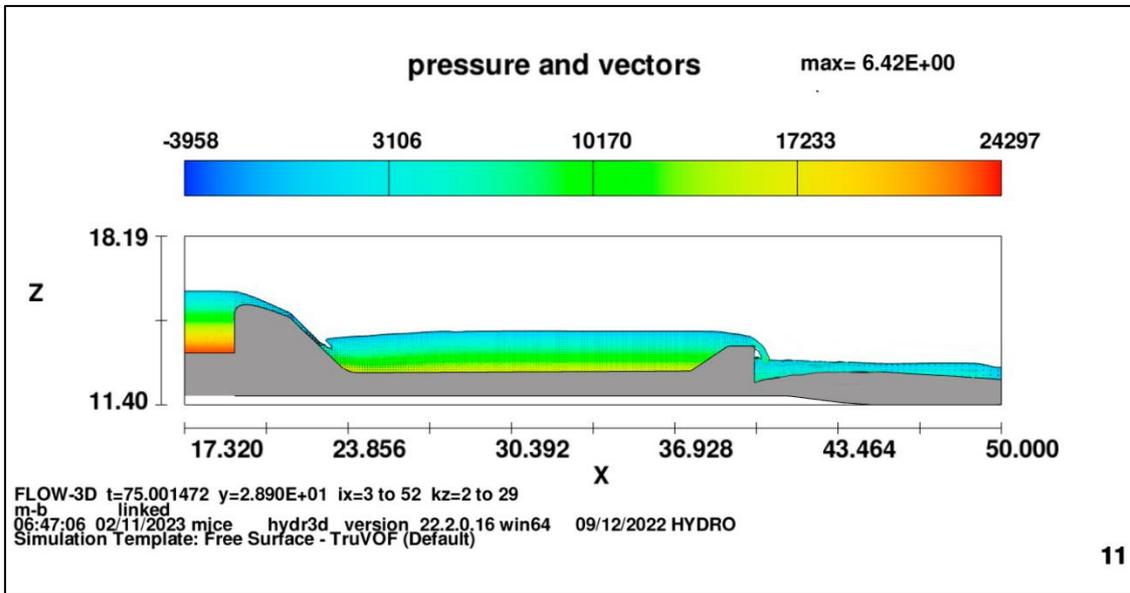


Tabla 22. Datos obtenidos para cálculo de tirante para H1=0.70 metros y rugosidad absoluta 0.001 metros.

	Ubicación en X	Presión (Pa)	Tirante (m)
ALTURA 1	17.32	6864.63	0.70
ALTURA 2	25.52	14709.92	1.5
ALTURA 3	37.56	16082.85	1.64
ALTURA 4	40.00	2647.79	0.27

Figura 52. Perfil de presión del modelo en Pascales para una altura $H1=0.87$ metros y rugosidad absoluta 0.0013.

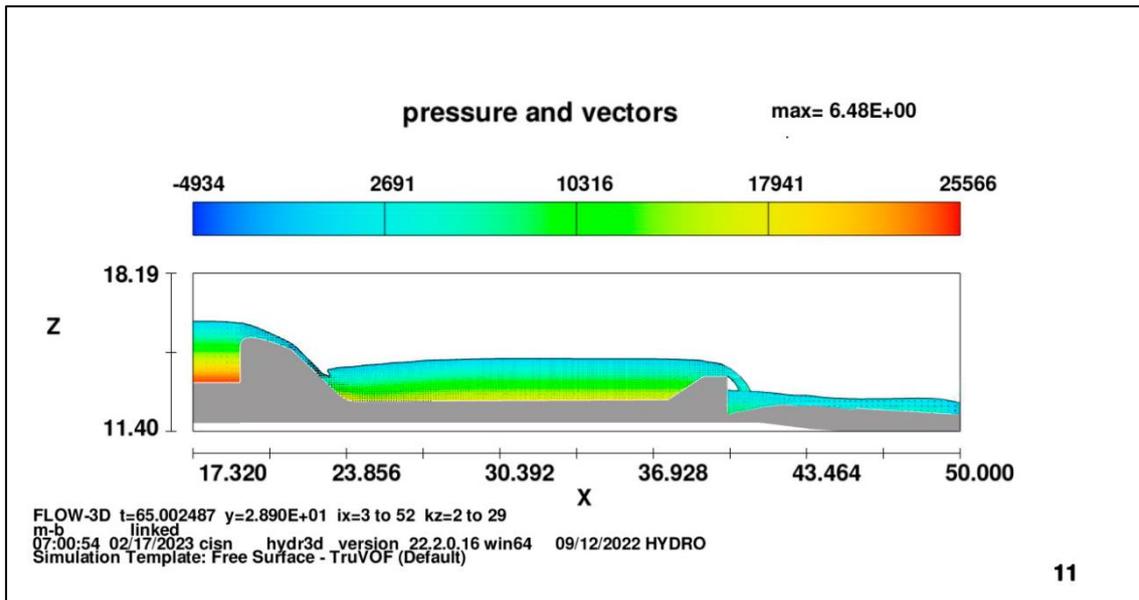


Tabla 23. Datos obtenidos para cálculo de tirante para $H1=0.87$ metros y rugosidad absoluta 0.0013 metros.

	UBICACIÓN EN X	Presión (Pa)	TIRANTE
PUNTO 1	17.32	8531.75	0.87
PUNTO 2	25.52	15494.45	1.58
PUNTO 3	37.56	17651.9	1.80
PUNTO 4	40.00	3432.31	0.35

Figura 53. Perfil de presión del modelo en Pascales para una altura H1=0.84 metros y rugosidad absoluta 0.0016.

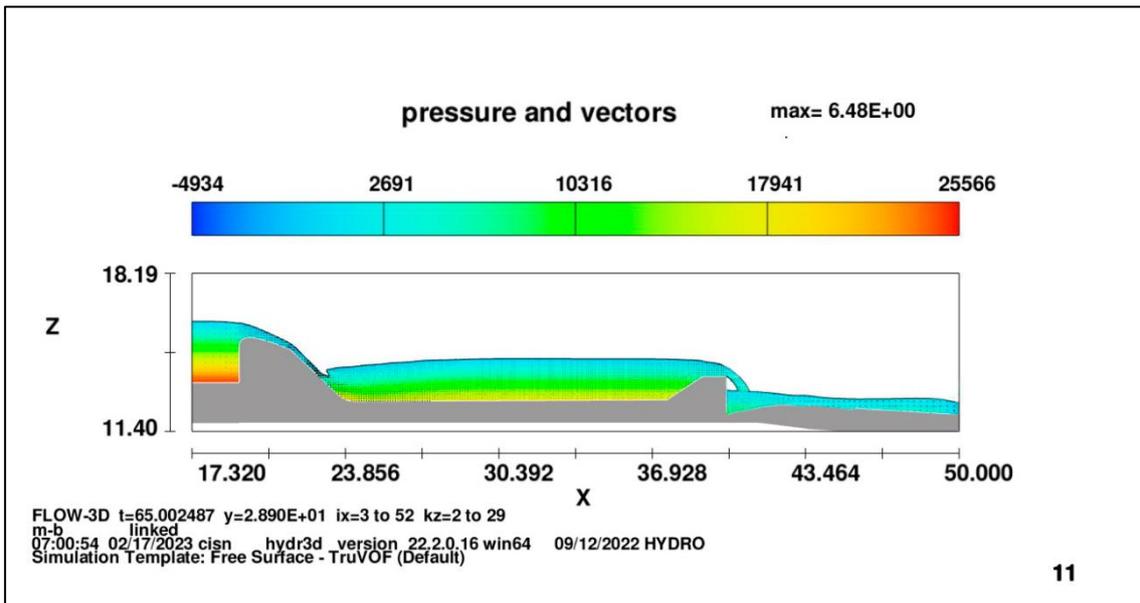


Tabla 24. Datos obtenidos para cálculo de tirante para H1=0.84 metros y rugosidad absoluta 0.0013 metros.

	UBICACIÓN EN X	Presión (Pa)	TIRANTE
PUNTO 1	17.32	8237.55	0.84
PUNTO 2	25.52	15592.52	1.59
PUNTO 3	37.56	17651.9	1.80
PUNTO 4	40.00	3628.45	0.37

Figura 54. Perfil de presión del modelo en Pascales para una altura H1=0.78 metros y rugosidad absoluta 0.0015.

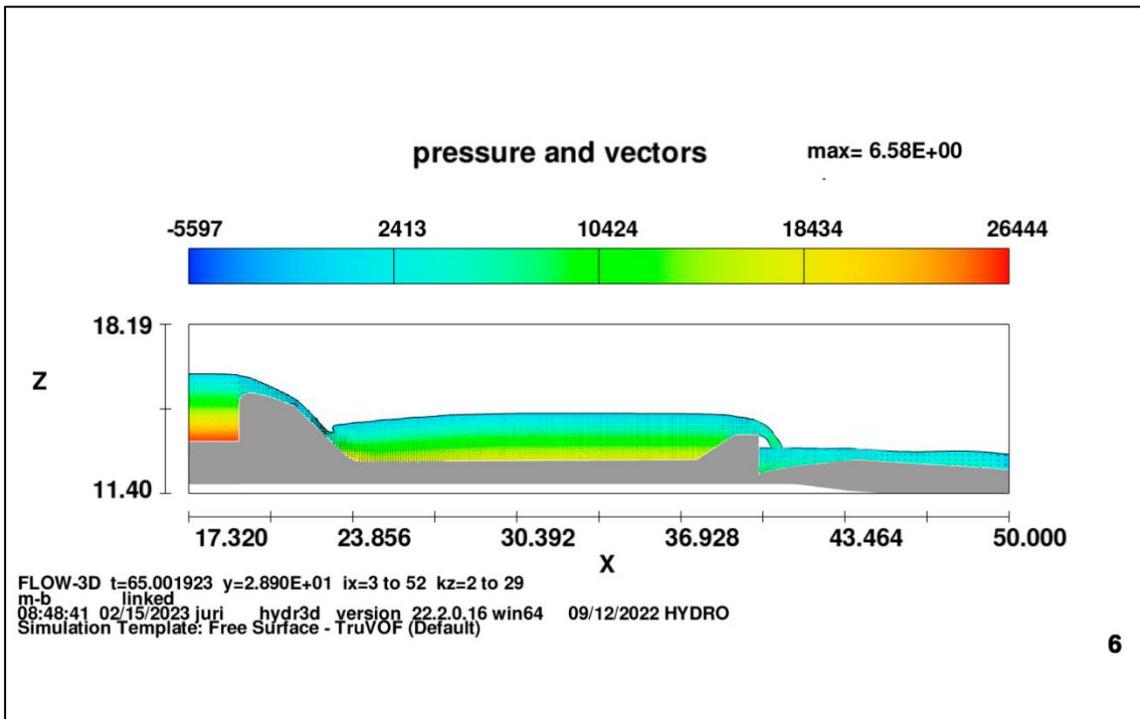


Tabla 25. Datos obtenidos para cálculo de tirante para H1=0.78 metros y rugosidad absoluta 0.0015 metros.

	UBICACIÓN EN X	Presión (Pa)	TIRANTE
PUNTO 1	17.32	7649.16	0.78
PUNTO 2	25.52	16180.91	1.65
PUNTO 3	37.56	18534.5	1.89
PUNTO 4	40.00	4020.71	0.41

Figura 55. Perfil de presión del modelo en Pascales para una altura H1=0.87 metros y rugosidad absoluta 0.0015.

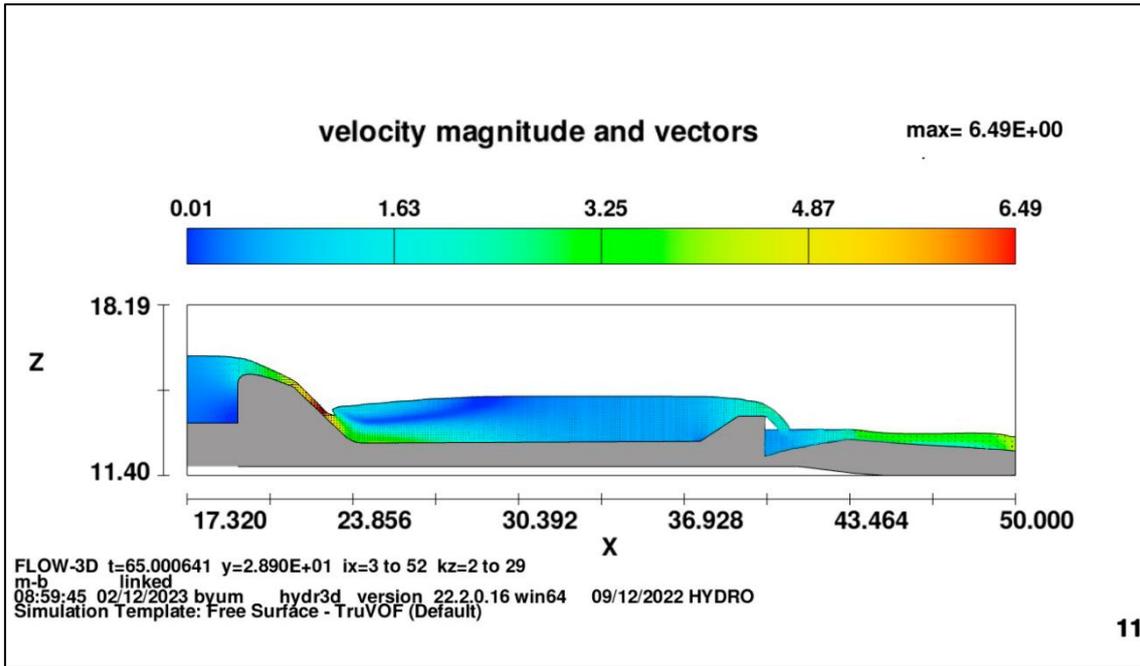


Tabla 26. Datos obtenidos para cálculo de tirante para H1=0.87 metros y rugosidad absoluta 0.0015 metros.

	Ubicación en X	Presión (Pa)	Tirante
Punto 1	17.32	8531.75	0.87
Punto 2	25.52	15592.52	1.59
Punto 3	37.56	17848.04	1.82
Punto 4	40.00	3628.45	0.37

Figura 56. Perfil de presión del modelo en Pascales para una altura H1=0.84 metros y rugosidad absoluta 0.0015.

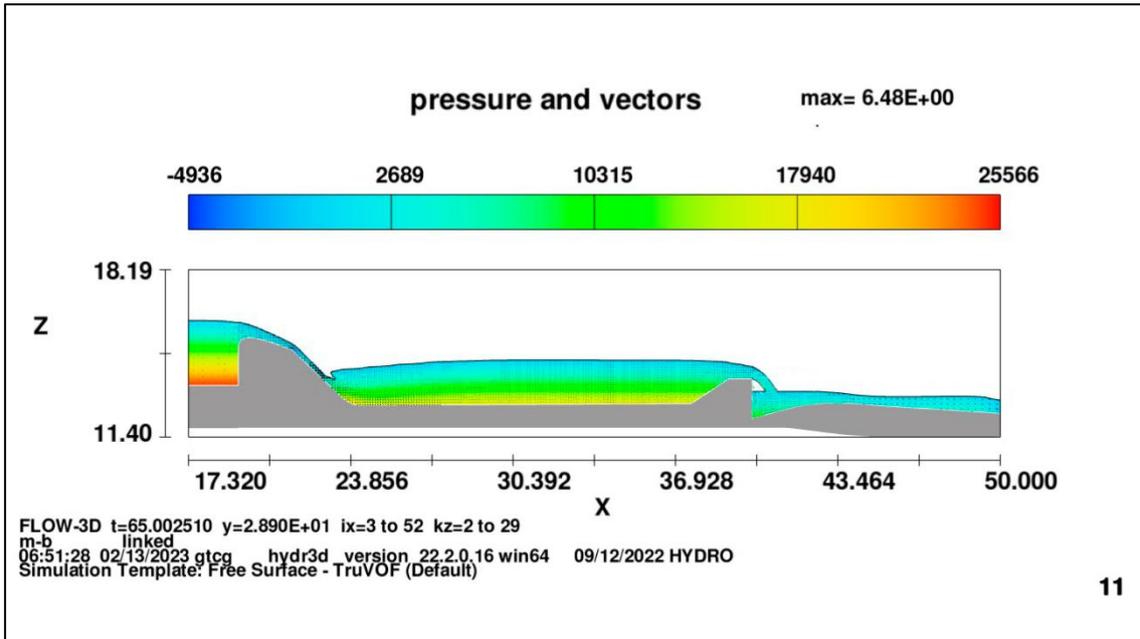


Tabla 27. Datos obtenidos para cálculo de tirante para H1=0.84 metros y rugosidad absoluta 0.0015 metros.

	Ubicación en X	Presión (Pa)	Tirante
Punto 1	17.32	8237.55	0.84
Punto 2	25.52	15396.38	1.57
Punto 3	37.56	17553.84	1.79
Punto 4	40.00	3530.38	0.36

Anexo 03. Registro fotográfico

Figura 57: Levantamiento topográfico del río.



Figura 58: Levantamiento geométrico de la estructura.



Figura 59: Medición de tirantes 28/12/2022.



Figura 60: Medición de tirantes 03/01/2023.



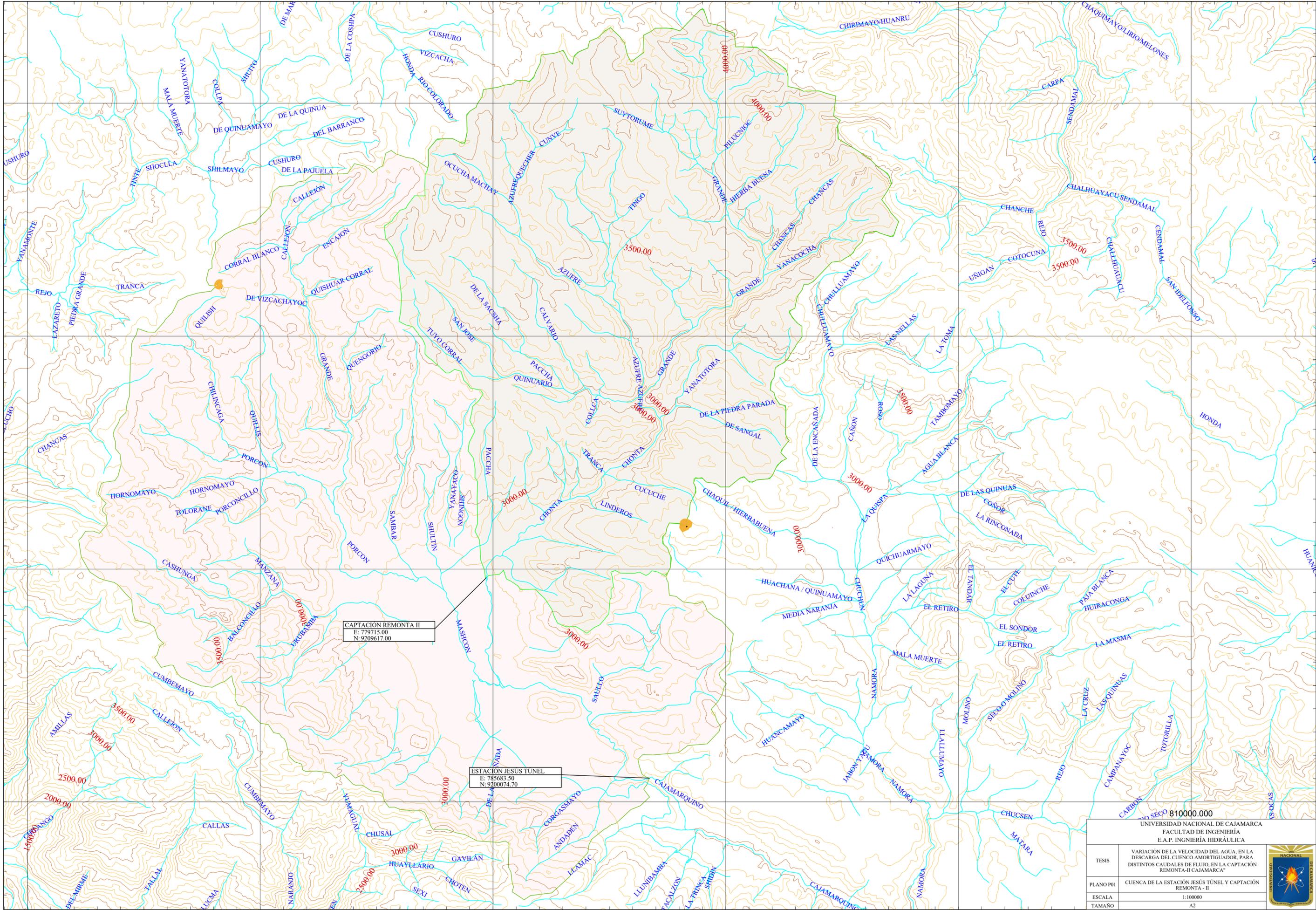
Figura 61: Medición de tirantes 05/01/2023.



Figura 62: Medición de tirantes 08/01/2023.



Anexo 04. Planos



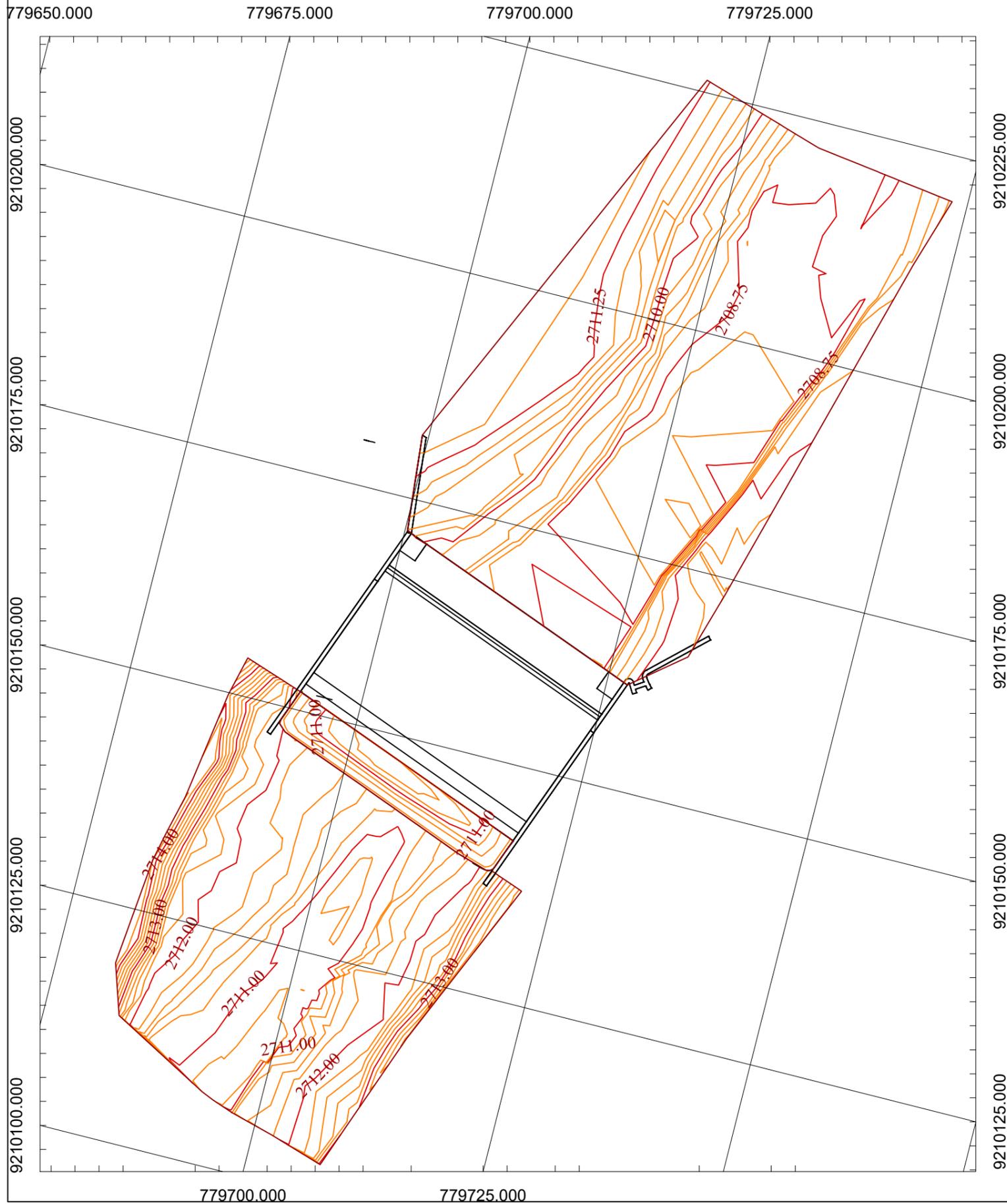
CAPTACION REMONTA II
E: 779715.00
N: 9209617.00

ESTACION JESUS TUNEL
E: 785683.50
N: 9200074.70

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
E.A.P. INGENIERIA HIDRAULICA

TESIS	VARIACION DE LA VELOCIDAD DEL AGUA, EN LA DESCARGA DEL CUENCO AMORTIGUADOR, PARA DISTINTOS CAUDALES DE FLUJO, EN LA CAPTACION REMONTA-II CAJAMARCA*	
PLANO P01	CUENCA DE LA ESTACION JESUS TUNEL Y CAPTACION REMONTA - II	
ESCALA	1:100000	
TAMAÑO	A2	

PLANO TOPOGRÁFICO AGUAS ARRIBA, AGUAS ABAJO Y ESTRUCTURA



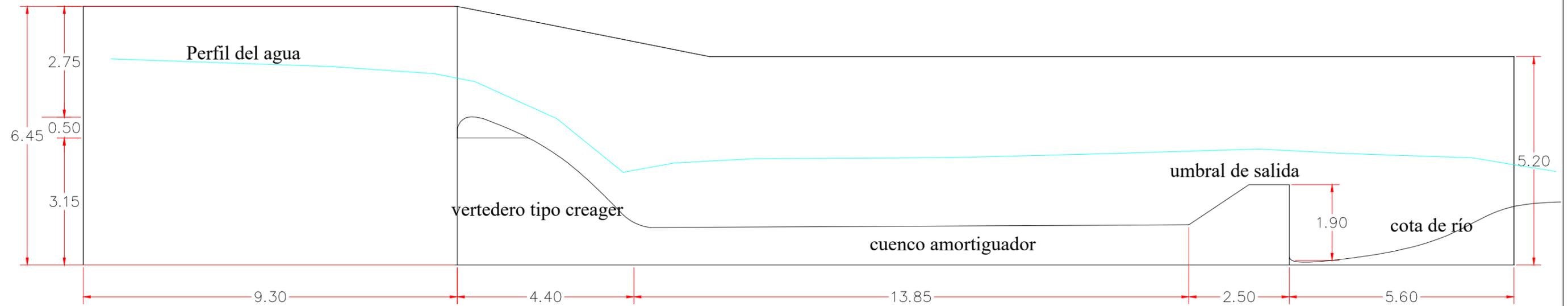
PLANO ISOMÉTRICO DE LA ESTRUCTURA Y TERRENO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA E.A.P. INGNIERÍA HIDRÁULICA	
TESIS	VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AGUA, EN LA DESCARGA DEL CUENCO AMORTIGUADOR, PARA DISTINTOS CAUDALES DE FLUJO, EN LA CAPTACIÓN REMONTA-II CAJAMARCA"
PLANO P02	TOPOGRAFÍA Y GEMOETRÍA DE LA CAPTACIÓN
ESCALA	1:500
TAMAÑO	A3

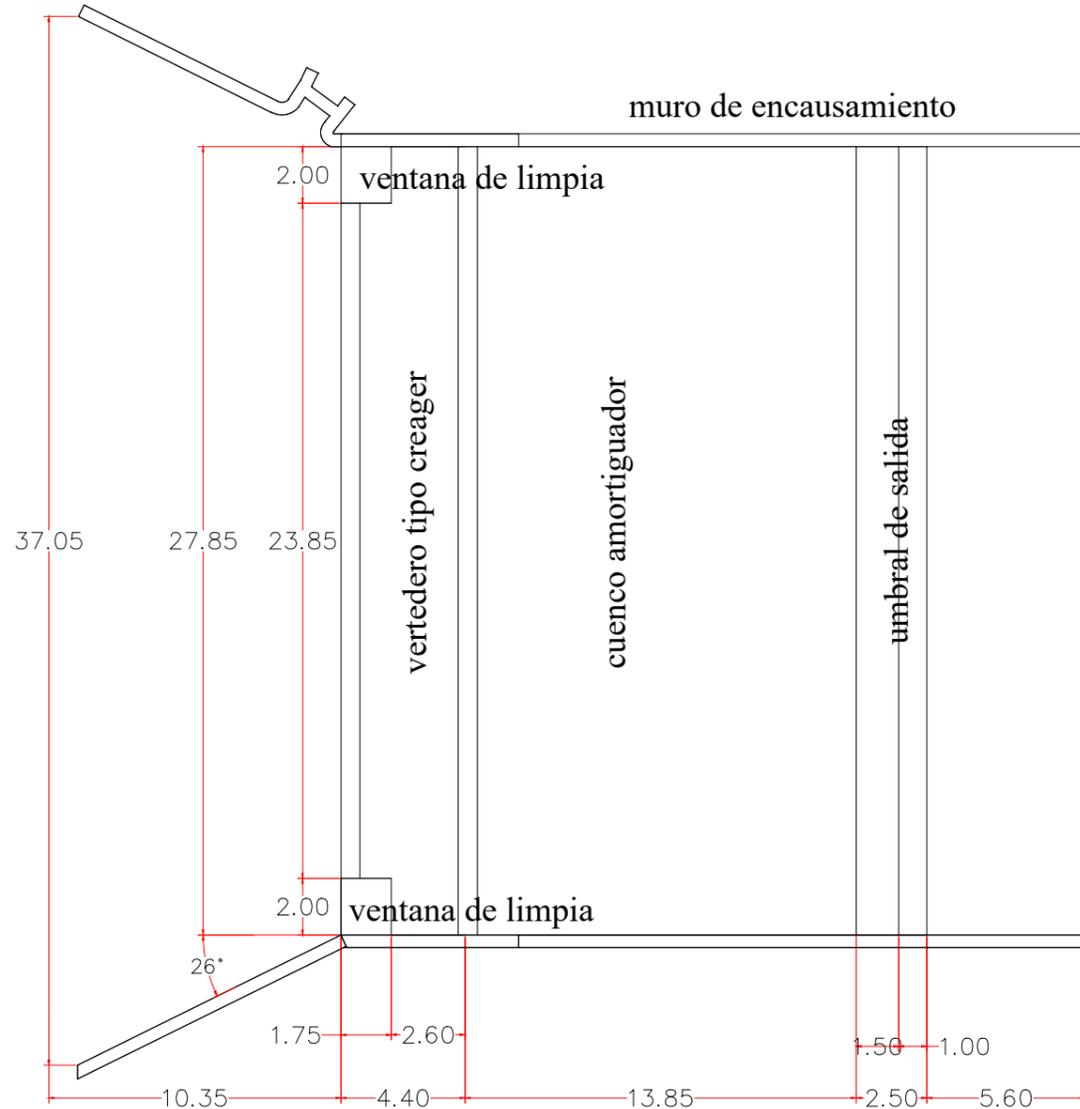


PLANO DE PERFIL



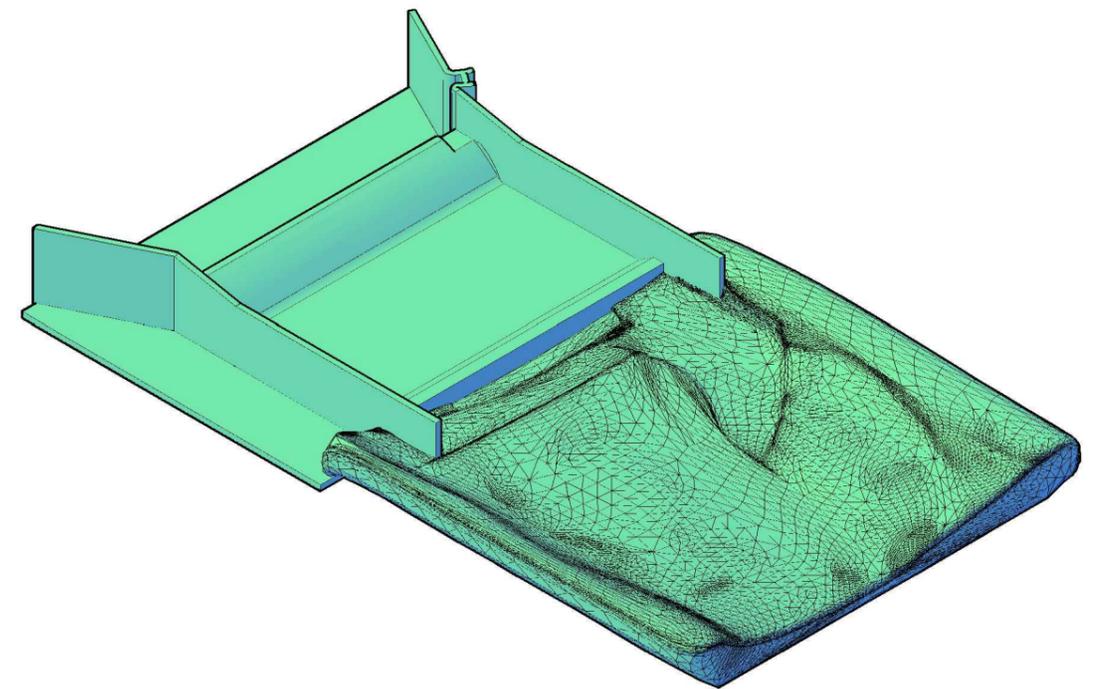
ESC: 1/100

PLANO EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA



ESC: 1/250

CROQUIS ISOMÉTRICO DE LA ESTRUCTURA Y TERRENO MODELADOS



ESC: 1/500

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA E.A.P. INGENIERÍA HIDRÁULICA	
TESIS	VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AGUA, EN LA DESCARGA DEL CUENCO AMORTIGUADOR, PARA DISTINTOS CAUDALES DE FLUJO, EN LA CAPTACIÓN REMONTA-II CAJAMARCA"
PLANO P03	DETALLES DE LA CAPTACIÓN
ESCALA	INDICADA
TAMAÑO	A3



760000.000

770000.000

780000.000

790000.000

9240000.000

9240000.000

9230000.000

9230000.000

9220000.000

9220000.000

9210000.000

9210000.000

9200000.000

9200000.000

9190000.000

9190000.000

ESTACIÓN PORCÓN



ESTACIÓN A. WEBERBAUER



ESTACIÓN JESÚS



ESTACIÓN LA ENCAÑADA



ESTACIÓN NAMORA



LEYENDA	
	ESTACIÓN
	ÁREA INFLUENCIADA POR LA ESTACIÓN PORCÓN
	ÁREA INFLUENCIADA POR LA ESTACIÓN A. WEBERBAUER
	ÁREA INFLUENCIADA POR LA ESTACIÓN LA ENCAÑADA
	ÁREA INFLUENCIADA POR LA ESTACIÓN JESÚS
	ÁREA INFLUENCIADA POR LA ESTACIÓN NAMORA
	LÍNEA IMAGINARIA DE UNIÓN ENTRE ESTACIONES
	DELEMITACIÓN DEL POLIGONO DE PRECIPITACIÓN

DATOS DE LAS ESTACIONES		
Estación	Área (Km2)	PPm
Est. Porcón	144.409	1416.800
Est. A. Weberbauer	313.732	661.780
Est. Jesús	73.244	678.980
Est. La Encañada	233.911	963.750
Est. Namora	2.731	783.880

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA E.A.P. INGNIERÍA HIDRÁULICA	
TESIS	VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AGUA, EN LA DESCARGA DEL CUENCO AMORTIGUADOR, PARA DISTINTOS CAUDALES DE FLUJO, EN LA CAPTACIÓN REMONTA-II CAJAMARCA"
PLANO P04	POLÍGONOS DE THIESSEN PARA ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIONES MEDIAS
ESCALA	1:150 000
TAMAÑO	A3



760000.000

770000.000

780000.000

790000.000

760000.000

770000.000

780000.000

790000.000

800000.000

9230000.000

9220000.000

9210000.000

ESTACIÓN PORCÓN



ESTACIÓN JESÚS



ESTACIÓN A. WEBERBAUER



LEYENDA	
	ESTACIÓN
	ÁREA INFLUENCIADA POR LA ESTACIÓN PORCÓN
	ÁREA INFLUENCIADA POR LA ESTACIÓN A. WEBERBAUER
	ÁREA INFLUENCIADA POR LA ESTACIÓN JESÚS
	ÁREA INFLUENCIADA POR LA ESTACIÓN NAMORA
	DELEMITACIÓN DEL POLIGONO DE PRECIPITACIÓN

DATOS DE LAS ESTACIONES		
Estación	Área (Km2)	PPm
Est. Porcón	2636.975	1416.800
Est. A. Weberbauer	8794.033	661.780
Est. Jesús	22899.717	678.980

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA E.A.P. INGENIERÍA HIDRÁULICA	
TESIS	VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AGUA, EN LA DESCARGA DEL CUENCO AMORTIGUADOR, PARA DISTINTOS CAUDALES DE FLUJO, EN LA CAPTACIÓN REMONTA-II CAJAMARCA*
PLANO P05	POLÍGONOS DE THIESSEN PARA ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIONES MEDIAS
ESCALA	1:125 000
TAMAÑO	A3



760000.000

770000.000

780000.000

790000.000

800000.000