



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA TRIDIMENSIONAL DEL INGRESO DE AGUA
A LA BOCATOMA LATERAL DE LA CAPTACIÓN PARA LA PTAP DE TIXÁN
PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

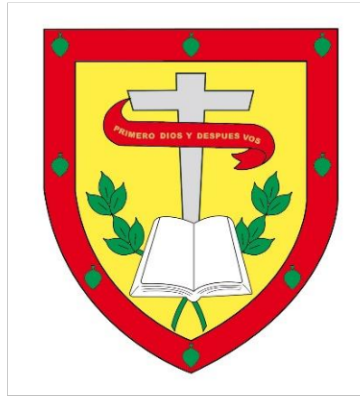
AUTOR: PAÚL ISRAEL SALINAS VARGAS

DIRECTOR: ING. SANTIAGO AURELIO OCHOA GARCÍA

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA TRIDIMENSIONAL DEL INGRESO DE AGUA
A LA BOCATOMA LATERAL DE LA CAPTACIÓN PARA LA PTAP DE TIXÁN**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR: PAUL ISRAEL SALINAS VARGAS

DIRECTOR: ING. SANTIAGO AURELIO OCHOA GARCÍA

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLL

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Paul Israel Salinas Vargas portador de la cédula de ciudadanía N° 010737058. Declaro ser el autor de la obra: "SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA TRIDIMENSIONAL DEL INGRESO DE AGUA A LA BOCATOMA LATERAL DE LA CAPTACIÓN PARA LA PTAP DE TIXÁN", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

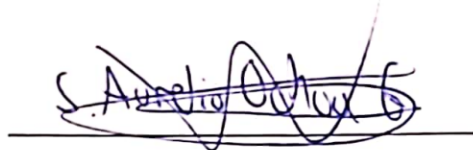
Cuenca, 19 de octubre de 2023

F: 
.....

Paul Israel Salinas Vargas
0107370058

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Paul Israel Salinas Vargas,
bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'S. Aurelio Ochoa G.', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat illegible.

Ing. Santiago Aurelio Ochoa García
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Dedicatoria

Con profundo cariño y gratitud, dedico este proyecto de titulación a las personas que han sido fundamentales en mi camino y han contribuido significativamente a mi éxito.

Primero y ante todo, dedico este proyecto a Dios, fue él quien me brindó la fuerza, la sabiduría y la determinación necesarias para enfrentar esta etapa en mi vida académica. En cada paso del camino, sentí Su presencia y guía, y estoy profundamente agradecido por Su amor incondicional.

A mis queridos padres, Celia Vargas y Luis Salinas, les dedico esta labor con todo mi corazón. Ustedes han sido el pilar de mi vida y el apoyo incondicional de cada uno de mis sueños. Su amor, sacrificio y constante aliento me han impulsado a superar obstáculos y a seguir adelante con determinación. Este logro también es suyo, y les agradezco infinitamente por estar a mi lado en este viaje.

A mis hermanos Darwin, Geovanny y Byron, esta dedicatoria también les pertenece. En momentos de dificultad, sus consejos, apoyo y ánimo fueron un faro de luz en mi vida. Su presencia y amor incondicional me han brindado fuerza y confianza en cada paso del camino. Este proyecto es un reflejo de nuestro lazo indestructible como familia, y estoy agradecido por tenerlos a mi lado.

Esta titulación es un logro compartido, y cada uno de ustedes ha sido una parte esencial de mi éxito. Agradezco de todo corazón a Dios, a mis padres y a mis hermanos por su amor incondicional y apoyo constante a lo largo de esta travesía académica. Este proyecto es un testimonio de nuestro amor y unidad como familia.

Agradecimiento

Permítame expresarle mi sincero agradecimiento en este momento especial de mi vida, en el que deseo reconocer y valorar la influencia positiva que ha tenido en mi trayectoria académica y personal.

Primeramente, gracias a Dios por darme las fuerzas y la sabiduría para poder continuar en este camino que se llama vida. Reconozco que Su guía constante y Su amor han sido el fundamento de mi fuerza y determinación a lo largo de este viaje.

A la Universidad Católica de Cuenca, mi segunda casa durante estos años, le extiendo mi gratitud más sincera. Gracias a la universidad por abrirme sus puertas y convertirse en un segundo hogar para mí. Cada día en este campus ha sido una experiencia enriquecedora que me ha permitido crecer académica y personalmente, y por ello, estoy profundamente agradecido.

Gracias al Ing. Santiago Aurelio Ochoa por brindarme su apoyo, consejos y experiencia, que fueron esenciales para llevar a cabo mi proyecto de titulación con éxito. Su orientación y sabios consejos me ayudaron a superar los desafíos y a perfeccionar mi trabajo de investigación de una manera que nunca habría logrado por mi cuenta.

Su dedicación para compartir su conocimiento y su disposición para brindarme su valioso tiempo son testimonios de su compromiso con la formación de futuros profesionales. Estoy profundamente agradecido por su influencia positiva en mi desarrollo académico y personal.

Resumen

En el trabajo de titulación realizado, se llevó a cabo un análisis hidráulico a través de una simulación tridimensional de la bocatoma lateral de la captación que abastece de agua a la planta de tratamiento de agua potable de Tixán, perteneciente a la empresa ETAPA en la ciudad de Cuenca. Esta investigación se realizó debido a que las estructuras de captación tienden a sufrir daños con el transcurso del tiempo debido al aumento del flujo de los ríos durante la época de invierno, causado por un incremento en las precipitaciones provenientes de las cuencas.

Para llevar a cabo este estudio, se recopilaron datos reales que incluyeron información topográfica, geometría de la estructura hidráulica y características del flujo, incluyendo las diversas líneas de flujo que ingresaban a la bocatoma. Se construyó un modelo tridimensional realista de la zona y de la bocatoma lateral utilizando la metodología de esquemas de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, por sus siglas en inglés Computational Fluid Dynamics). Esta metodología adapta las ecuaciones de Navier-Stokes y Reynolds para resolver diversos sistemas de ecuaciones que suelen ser complejos para los métodos convencionales.

El análisis llevado a cabo permitió la identificación y caracterización del comportamiento del flujo de agua hacia la bocatoma. Se establecieron y evaluaron las diferentes líneas de flujo que ingresaban a la estructura, con el objetivo de comprender cómo interactuaba el agua superficial capturada en esta estructura.

Palabras Clave: Bocatoma, Dinámica de Fluidos Computacional, velocidad de flujo, ecuaciones de Navier-Stokes, modelo tridimensional

Abstract

This thesis presents a hydraulic analysis conducted through a three-dimensional simulation of the lateral intake of the collection that supplies water to the potable water treatment plant in Tixán, operated by the company ETAPA in the city of Cuenca. This research was developed because the intake structures tend to suffer damage over time due to increased river flow during the winter season, brought on by elevated rainfall from the basins.

This study involved actual data that included topographic information, geometry of the hydraulic structure, and flow characteristics were collected, including the various flow paths entering the intake. A realistic three-dimensional area and lateral intake model was constructed using Computational Fluid Dynamics (CFD) schematic methodology. This methodology adapts the Navier-Stokes and Reynolds equations to solve various systems of equations that are usually complex for conventional methods.

The analysis facilitated the identification and characterization of the water flow behavior towards the intake. The different flow lines entering the structure were established and evaluated to understand how the surface water captured in this structure interacted.

Keywords: Intake, Computational Fluid Dynamics, flow velocity, Navier-Stokes equations, three-dimensional model.

Índice

Dedicatoria.....	1
Agradecimiento	2
Resumen	3
Abstract.....	4
1.1 Formulación del problema	10
1.2 Delimitación del problema.....	10
1.3 Justificación del problema	11
1.4 Definición de la zona de estudio	11
1.5 Objetivos.....	12
1.5.1 Objetivo general.....	12
1.5.2 Objetivos específicos	12
2 Conceptos Clave	18
2.1 Sistemas de obras de captación.....	18
2.2 Captación toma lateral	19
2.3 Bocatoma superficial	20
2.4 Tipos de Bocatomas.....	20
2.5 Inclinación de rejillas.....	21
2.6 Efectos de los caudales máximos y mínimos que se producen en las rejillas.....	22
2.7 Dinámica de fluidos computacional.....	23
2.8 Topografía.....	24
2.9 Hidráulica de flujo	24
2.9.1 Régimen de flujo y numero de Froude	24
2.9.2 Continuidad de las masas y sus variaciones	25
2.9.3 Ecuación del momento.....	28
2.9.4 Ecuación Navier-Stokes.....	29
2.9.5 Modelo de Turbulencia.....	30
2.9.5.1 Modelos de Turbulencia aplicados en CFD	31
2.9.6 Esfuerzo cortante	37
2.9.7 Flujo a través de rejillas	37
2.10 Análisis estadístico.....	38
3 Procedimiento	41

3.1	Levantamiento Topográfico del terreno.....	41
3.2	Modelación tridimensional de la Bocatoma.	43
3.3	Determinación de velocidades del flujo del río Machángara en el ingreso a la bocatoma con aplicación de molinete.	45
3.4	Modelamiento Hidráulico tridimensional.....	48
3.4.1	Características del fluido.....	48
3.4.2	Mallado Básico	49
3.4.3	Mallado múltiple bloque.....	50
3.4.4	Parámetros del modelo tridimensional.....	53
3.4.4.1	Condiciones de contorno	53
3.4.4.2	Región de flujo	55
4	Resultados.....	57
4.1	Validación del modelo tridimensional.....	57
4.2	Resultados de la modelación tridimensional.....	65
4.2.1	Magnitud de la velocidad.....	66
4.2.2	Numero de Froude	68
4.2.3	Velocidad Promedio de la Profundidad	71
4.2.4	Altura total hidráulica	74
4.2.5	Esfuerzo cortante.	77
5	Conclusiones y recomendaciones	80
5.1	Conclusiones.....	80
5.2	Recomendaciones	82
6	Anexos	83
7	Bibliografía	92

Índice Tablas

Tabla 1.Revisión literaria	14
Tabla 2. Aforo de velocidad tramo 1	47
Tabla 3.Aforo de velocidad tramo 2	47
Tabla 4. Caracterización de los bloques de mallado	51
Tabla 5. Configuración geométrica del bloque múltiple	52
Tabla 6. Tiempo de generación del modelo simulado.....	53
Tabla 7. Dimensionamiento de la región de flujo	56

Tabla 8. Validación Sección 1	58
Tabla 9. Validación sección 2.....	61
Tabla 10. Coeficientes estadísticos.....	64
Tabla 11. Numero de Froude – X(m)	70
Tabla 12. Velocidad promedio de la profundidad - X(m)	73
Tabla 13. Altura total hidráulica - X(m).....	76

Índice Gráficas

Gráfica 1: Mapa de ubicación de la bocatoma.	11
Gráfica 2. Topografía	42
Gráfica 3. Mapas Puntos topográficos.....	42
Gráfica 4: Vista superior de la bocatoma	43
Gráfica 5: Vista lateral de la bocatoma	44
Gráfica 6: Vista Superior de la bocatoma.....	44
Gráfica 7: Modelo 3D de la Bocatoma	45
Gráfica 8: Seccionamiento de aforo en la bocatoma.	45
Gráfica 9. Dovelas en la medición con molinete (Pedroza González, 2017)	46
Gráfica 10. Propiedades del fluido	48
Gráfica 11. Mallado básico.....	49
Gráfica 12. Bloque de mallado básico.....	50
Gráfica 13. Bocatoma renderizada a bloque simple	50
Gráfica 14. Bocatoma renderizada a bloques múltiples	52
Gráfica 15. Condiciones de contorno del modelo	54
Gráfica 16. MAE sección 1	58
Gráfica 17 RMSE sección 1	59
Gráfica 18.EF2 sección 1.....	59
Gráfica 19. BIAS sección 1	60
Gráfica 20. R2 sección 1.....	60
Gráfica 21. Puntos modelo vs aforo sección 1	61
Gráfica 22.MAE sección 2	62
Gráfica 23.RMSE sección 2	62
Gráfica 24.EF2 sección 2.....	63

Gráfica 25. BIAS sección 2	63
Gráfica 26. R2 sección 2.....	64
Gráfica 27. Curvas modelo vs aforo sección 2	64
Gráfica 28. Modelo 3D estable.....	65
Gráfica 29. Modelo 3D de la magnitud de la velocidad	66
Gráfica 30. Magnitud de la velocidad sección (X-Y).....	67
Gráfica 31. Magnitud de la velocidad sección (X-Z)	67
Gráfica 32. Magnitud de la velocidad sección (Y-Z)	68
Gráfica 33. Numero de Froude sección (X-Y)	69
Gráfica 34. Número de Froude sección (X-Z).....	69
Gráfica 35. Froude Vs X(m).....	70
Gráfica 36. Modelo 3D de la velocidad promedio de la profundidad	71
Gráfica 37. Velocidad promedio de la profundidad sección (X-Y)	72
Gráfica 38. Velocidad promedio de la profundidad sección (Z-X)	72
Gráfica 39. Velocidad promedio de la profundidad Vs X(m)	73
Gráfica 40. Modelo 3D de la altura total hidráulica	74
Gráfica 41. Altura total hidráulica sección (X-Z).....	75
Gráfica 42. Altura total hidráulica sección (Y-X)	75
Gráfica 43. Altura total hidráulica Vs X(m).....	76
Gráfica 44. Esfuerzo Cortante sección (X-Y)	78
Gráfica 45. Esfuerzo cortante sección (X-Z).....	78
Gráfica 46. A1	83
Gráfica 47. A3	83
Gráfica 48. A2	84
Gráfica 49. A5	84
Gráfica 50. A6	85
Gráfica 51. A7	85
Gráfica 52. A8	86
Gráfica 53. A9	86
Gráfica 54. A10	87
Gráfica 55. A11	87
Gráfica 56. A12	88
Gráfica 57. A13	88

Gráfica 58. A14	89
Gráfica 59. A15	89
Gráfica 60. A16	90
Gráfica 61. A17	90
Gráfica 62. A18	90
Gráfica 63. A19	91
Gráfica 64. A20	91
Gráfica 65. A21	91
Gráfica 66. A22	92

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Formulación del problema

Las estructuras hidráulicas de captación de las PTAP tienden a enfrentar problemas o fallas a futuro debido al aumento o crecida del caudal proveniente de las Cuencas de los ríos en temporadas de invierno, lo cual incrementaba la velocidad del flujo. Esto era causado por el agua resultante de las precipitaciones que lograba infiltrarse en las cuencas, lo que generaba complicaciones en la bocatoma lateral que estaba instalada en la estructura de captación en el río. Se desconoce cómo se comporta las líneas de flujo en el ingreso del agua a la bocatoma.

Por esa razón, entidades encargadas del control de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable, como lo es ETAPA, requerían este tipo de estudios para determinar si las condiciones de las estructuras hidráulicas eran las adecuadas.

1.2 Delimitación del problema

Se llevó a cabo una simulación tridimensional de la captación lateral y el comportamiento del agua en este sistema de control de entrada de la planta de tratamiento de agua potable de Tixán, con el propósito de evaluar las diferentes líneas de flujo que ingresaban a la bocatoma. A través de esta simulación, se analizaron las características hidráulicas de la estructura, como la velocidad de flujo, el tipo de flujo, entre otros aspectos relevantes.

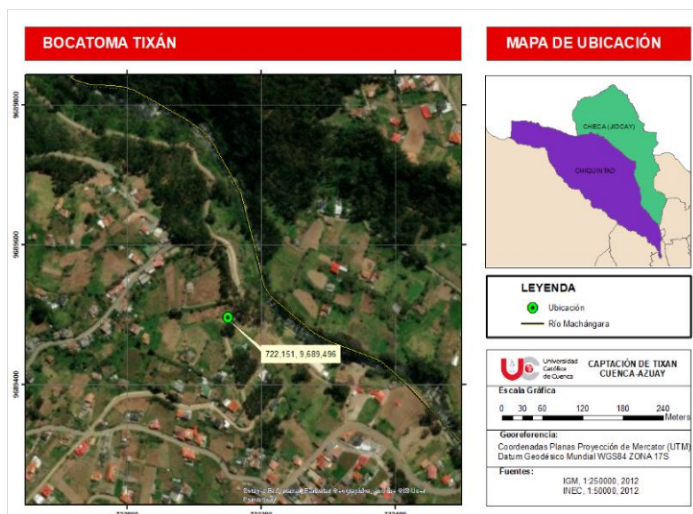
En el contexto de esta investigación, se llevó a cabo un levantamiento topográfico en la zona que albergaba la bocatoma lateral de la PTAP. Paralelamente, se adquirió la información de la topográfica estructural para realizar el modelado tridimensional. Además, se ejecutó una caracterización experimental de la velocidad del flujo con el fin de obtener datos concretos que enriquecieran el análisis.

1.3 Justificación del problema

Es importante conocer si la capacidad y condiciones de la bocatoma lateral son las requeridas para posibles crecidas de corrientes que producen altas velocidades de flujo que pueden afectar a la estructura, porque si la bocatoma no es la adecuada para diferentes líneas de flujo, se producirán daños a las estructuras que han sido colocadas, teniendo costos de mantenimiento elevados, por lo tanto, un análisis hidráulico del comportamiento del flujo frente a la captación lateral es necesario para entender si el actuar del agua y sus características hidráulicas cumplen las necesidades de la planta de tratamiento.

1.4 Definición de la zona de estudio

La ubicación de la toma lateral de PTAP de Tixán se encuentra ubicada en la parroquia de Chiquintad, las coordenadas UTM de la captación son X: 722,151; Y: 9,689,496; con el DATUM WGS84 en la zona 17 sur, como se muestra a continuación:



Gráfica 1: Mapa de ubicación de la bocatoma.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar las características hidráulicas del ingreso de flujo a la bocatoma de la captación de la PTAP de Tixán aplicando esquemas hidrodinámicos de simulación numérica tridimensionales

1.5.2 Objetivos específicos

Caracterizar el comportamiento dinámico e hidráulico del ingreso del flujo del río Machángara a la rejilla.

Calibrar y validar el modelo numérico de flujo tridimensional, con los datos obtenidos de la caracterización experimental.

Evaluar las líneas de flujo que ingresan a la bocatoma y la magnitud de los esfuerzos cortantes que se producen por el flujo, para identificar zonas de erosión y sedimentación que se puedan producir en la captación estudiada.

CAPITULO II

ESTADO DEL ARTE

Tanto a nivel nacional como internacional, se han desarrollado una variedad de metodologías, tanto numéricas como informáticas y experimentales, destinadas a abordar y resolver problemas hidráulicos que afectan a distintas comunidades y sistemas. Estas metodologías representan un enfoque integral para comprender y solucionar los desafíos relacionados con el agua, desde la gestión de recursos hasta la prevención de inundaciones. A través de la colaboración entre expertos en hidráulica, ingeniería y otras disciplinas relevantes, se han logrado avances significativos en la gestión sostenible del agua en diversos contextos. Un ejemplo destacado que ilustra el potencial de la modelación con Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) es el caso de la optimización del diseño del sistema de llenado y vaciado del tercer juego de esclusas en el Canal de Panamá (Menéndez et al., 2014). Esta importante vía acuática, considerada una de las obras más significativas en Latinoamérica, requería un enfoque minucioso para mejorar su eficiencia y capacidad de operación. A través de la simulación CFD, los ingenieros pudieron analizar diversas configuraciones y escenarios para optimizar la operación de las esclusas, lo que resultó en una mejora notable en su funcionamiento y eficacia.

El Canal de Panamá, emblemático por su impacto en el comercio global y la conectividad entre océanos, sirve como un ejemplo representativo de la importancia de aplicar tecnologías avanzadas para abordar los desafíos hidráulicos en infraestructuras críticas (Menéndez et al., 2014). No obstante, estas metodologías también han demostrado su eficacia en situaciones más específicas y localizadas. Un estudio de caso ejemplar se llevó a cabo en Italia, donde se realizó una modelización tridimensional CFD para evaluar las fuerzas de las inundaciones urbanas sobre los edificios (Viccione & Izzo, 2022). Este análisis permitió comprender mejor cómo las inundaciones afectan las estructuras urbanas y proporcionó información crucial para el diseño y la planificación de medidas de mitigación.

La ciudad de Cuenca trabaja con diversos métodos numéricos e informáticos para el análisis de estudios hidráulicos, sin embargo, existe una falta de conocimiento en cuanto a los esquemas de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, por sus siglas en inglés). Los esquemas CFD son una herramienta poderosa y eficiente para simular el comportamiento de los flujos de fluidos en diversas estructuras hidráulicas. A través de estos esquemas, es posible analizar y comprender las características del flujo en los diferentes componentes del sistema hídrico de la ciudad, lo que permitiría tomar medidas preventivas y correctivas de forma más precisa y efectiva.

Tabla 1. Revisión literaria

Autor/Año de publicación	Título	Metodología	Resultados obtenidos
(Banchón Bustillos & Pincay Villafuerte, 2022)	ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA CRUDA A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE UBICADA EN EL CANTÓN ROCAFUERTE, PROVINCIA DE MANABÍ.	Observación de campo, recolección de datos, verificación de datos	Meses de invierno se presentan niveles altos de turbiedad en la corriente del río Chico provocando problemas en la captación
(Baque & Stalin, 2018)	MODELO PARA EL CÁLCULO HIDRÁULICO EN CAPTACIONES DE AGUAS SUPERFICIALES MEDIANTE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA	Metodología informática	El funcionamiento hidráulico óptimo de una captación superficial depende de las

			características geométricas y condiciones de servicio de la rejilla
(Chandi Pozo & Escobar Montenegro, 2018)	MODELACIÓN NUMERICA TRIDIMENSIONAL DE LOS VERTEDEROS DE EXCESOS DE LA PRESA TOACHI MEDIANTE EL PROGRAMA FLOW-3D	MODELACIÓN NUMERICA TRIDIMENSIONAL	La simulación numérica no se presentó problemas de desborde de la lámina de agua
(Gutierrez Garcia, 2020)	MODELO 3D DE LA ENTRADA DE AGUA EN LA ESTACIÓN DE METRO DE BARCELONA	MODELADO 3D	El riesgo de inundaciones en zonas subterráneas es frecuente y debido al cambio climático
(Jimenez Motta, 2019)	EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL ALIVIADERO DE LA PRESA GALLITO CIEGO MEDIANTE MODELACIÓN NUMÉRICA TRIDIMENSIONAL	MODELACIÓN NUMERICA TRIDIMENSIONAL	La presa Gallito Ciego carece de seguridad hidrológica, siendo necesario redefinir el caudal de diseño del aliviadero
(Silva Bastidas, 2019)	MODELACIÓN NUMÉRICA TRIDIMENSIONAL DEL MEDIDOR DE CAUDAL TIPO	MODELACIÓN NUMERICA	Resultado de la calibración del

	PALMER-BOWLUS APLICANDO EL PROGRAMA FLOW 3D	TRIDIMENSION AL	modelo, los modelos de turbulencia se ajustan muy bien entre ellos
(Benites Gracia & Lázaro Gutiérrez, 2018)	DISEÑO Y MODELAMIENTO NÚMÉRICO DE LA BOCATOMA POROTO, TRUJILLO, LA LIBERTAD	DISEÑO Y MODELAMIENT O NÚMÉRICO	tiene un buen comportamiento hidráulico en las diversas situaciones que se analizó
(Menéndez et al., 2014)	OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE LLENADO/VACIAD O DEL TERCER JUEGO DE ESCLUSAS DEL CANAL DE PANAMÁ	MODELACIÓN TRIDIMENSION AL	Los coeficientes de pérdida de carga local fueron generados con precisión mediante el uso de modelos tridimensionales RANS que consideraron componentes no convencionales.
(Neromylioti, 2020)	ESTIMATING THE PROBABILITY OF LEVEE FAILURE FOR FLOOD RISK MAPPING	ANÁLISIS DE FLUJOS NO	Los ensayos de permeabilidad arrojaron

		ESTACIONARIO	mediciones
		S 2D	promedio de la permeabilidad en la ribera izquierda
(Viccione & Izzo, 2022)	THREE-DIMENSIONAL CFD MODELLING OF URBAN FLOOD FORCES ON BUILDINGS: A CASE STUDY	MODELADO 3D	Este análisis muestra cómo la topografía ejerce una influencia significativa en las inundaciones urbanas.
(Brozovsky et al., 2021)	VALIDATION OF A CFD MODEL FOR THE EVALUATION OF URBAN MICROCLIMATE AT HIGH LATITUDES: A CASE STUDY IN TRONDHEIM, NORWAY	Aplicando el enfoque tridimensional utilizando el modelo de turbulencia k-ε.	El modelo CFD es capaz de replicar con una precisión aceptable las condiciones registradas en la ubicación de la estación meteorológica de referencia.

MARCO TEORICO

En este capítulo, se expondrán los principales conceptos que son clave para comprender el objeto de estudio en cuestión. Además, se utilizarán estas bases teóricas para analizar y explicar los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo de titulación, con el fin de fundamentar las conclusiones a las que se pretende llegar.

2 Conceptos Clave

2.1 Sistemas de obras de captación

La captación es una estructura hidráulica que contrala el ingreso del agua de una fuente hídrica, así también a su vez mide la cantidad del agua que pasa a través de la misma, siendo un derivador de caudal necesario para la planta. Existen varios tipos de captaciones que permiten y regulan el acceso de un caudal a la conducción, estos se adecuan al tipo de fuente: Superficial, subterráneo y agua lluvia. (Banchón Bustillos & Pincay Villafuerte, 2022).

Los sistemas de captación, existen para usos en diferentes ámbitos, por ende, el agua recolectada puede ser destinada para riego, abastecimiento humano, industria o actividades de esparcimiento.

Cuando se refieren a aguas superficiales, se habla de fuentes de agua que provienen de ríos, lagos y embalses. Existen diversas variables a considerar al captar agua superficial, tales como velocidades, caudales, escorrentías, materiales, y más. Estas variables son fundamentales para tomar decisiones acerca del tipo de captación más adecuado según las condiciones del entorno. En consecuencia, es posible aplicar diferentes enfoques de captación, como tomas de fondo, laterales, entre otros. (Baque & Stalin, 2018)

2.2 Captación toma lateral

Una toma lateral es una captación superficial que se realiza comúnmente en ríos, esta captación se la realiza en la parte lateral de la estructura del río, permitiendo el ingreso del agua a una cámara o caja en la que se capta el agua para posteriormente dirigirla a través de tuberías o canales, habilitando el ingreso de acuerdo a lo necesario o requerido para la planta de tratamiento de agua potable. Es importante aclarar que para poder adaptar este tipo de captaciones es necesario que el río no produzca socavaciones y que el mismo no contenga contaminantes que puedan afectar la calidad del agua, por lo tanto, la estructura se colocará en zonas de estabilidad geológica. (Baque & Stalin, 2018)

El uso apropiado de esta categoría de estructura está destinado a ríos con caudales limitados y que no presenten el riesgo de generar socavaciones profundas en su lecho. En este contexto, resulta crucial seleccionar la ubicación de la obra de toma en el tramo del río que exhiba la máxima estabilidad geológica. Para reforzar esta precaución, es esencial anticipar la construcción de muros protectores con el propósito de contrarrestar el desgaste que podría ser causado por el flujo del río sobre el terreno circundante. En última instancia, esta combinación de medidas asegurará no solo la funcionalidad de la obra de toma, sino también la preservación del entorno fluvial en el cual se emplaza. (Baque & Stalin, 2018)

La utilidad de la obra de toma lateral se expande incluso al ámbito de las presas derivadoras. En este contexto, la toma lateral encuentra su sitio no solamente en ríos, sino también en puntos estratégicos del perímetro del cuerpo de agua formado por la presa. Esta versatilidad demuestra la capacidad de la estructura para adaptarse a distintos escenarios hidráulicos y para ser un recurso valioso tanto en el control de caudales como en la optimización de la distribución del agua. En las presas derivadoras, la toma lateral emerge como una herramienta que contribuye a la gestión efectiva de los recursos hídricos, permitiendo regular el flujo y atender las demandas específicas de manera eficiente. (Baque & Stalin, 2018)

2.3 Bocatoma superficial

Es una estructura hidráulica de canal abierto en el cual ingresa un porcentaje del caudal total de un río para la captación por lo que es esencial conocer si será para riego, tratamiento, abastecimiento, etc. La bocatoma está conformada por una rejilla que evita el paso e ingreso de materiales de arrastre del río. (Chingate Chingate et al., 2021)

La bocatoma es una estructura hidráulica crítica en la captación y tratamiento de agua para diversos fines. Consiste en una rejilla instalada en un canal abierto que evita la entrada de materiales de arrastre, como hojas, ramas y rocas, que pueden obstruir el paso del agua y dañar los equipos de tratamiento. La rejilla también ayuda a retener peces y otros organismos acuáticos que pueden ser una fuente de contaminación o impedir el correcto funcionamiento de los procesos de tratamiento. Por esta razón, la limpieza y mantenimiento periódico de la bocatoma son cruciales para garantizar la calidad del agua captada y la eficiencia del sistema de tratamiento. (Chingate Chingate et al., 2021)

Además de su función de protección contra materiales de arrastre y organismos acuáticos, la bocatoma también es el primer paso para determinar el destino y uso del agua captada. Dependiendo de la cantidad del caudal, así como las necesidades específicas de los usuarios y las regulaciones locales. Es importante conocer con exactitud la cantidad y calidad del agua captada en la bocatoma para asegurar la viabilidad de los usos previstos de la misma. Por lo tanto, la ubicación, diseño y mantenimiento de las bocatomas son aspectos clave en la planificación y operación de los sistemas de agua a nivel local, regional y nacional. (Chingate Chingate et al., 2021)

2.4 Tipos de Bocatomas

Es importante que la bocatoma cumpla con ciertos requisitos que no solo permitan el ingreso del caudal del río, sino que también se debe asegurar la derivación adecuada del caudal captado para su posterior tratamiento. Por último, es necesario que se tenga un control cuidadoso del material que transporta el agua del río, siendo que se podría obstruir la rejilla y de esta manera podría afectar

negativamente la calidad del agua y la eficacia del sistema de captación. Con estos tres elementos en cuenta, se puede garantizar un suministro de agua efectivo y sostenible a lo largo del tiempo. (Felices, 2003)

La elección del tipo de bocatoma es crucial para garantizar su correcto funcionamiento en la captación de agua. Para ello, es fundamental tomar en cuenta la condición que impone el régimen de flujo, la cual se establece a través del número de Froude. Si el flujo que representa el agua es alto, la bocatoma se clasificará como supercrítica. En cambio, si el flujo es bajo, la bocatoma será subcrítica. Este conocimiento es vital para evitar problemas como el impacto de las corrientes en la estructura de la bocatoma o la formación de remolinos que puedan afectar la calidad del agua captada. Es por ello que resulta imprescindible realizar un adecuado diseño de la bocatoma, considerando siempre las condiciones hidráulicas del lugar. (Felices, 2003)

2.5 Inclinación de rejillas

En el ámbito de la captación de agua proveniente de zonas montañosas, se establece una regla fundamental en relación con la inclinación. Esta norma indica que la pendiente de las captaciones debe ubicarse en un rango entre el 10 % y el 20 % con respecto a la dirección aguas abajo. Esta consideración resulta esencial para asegurar un flujo constante y controlado del agua desde las elevaciones montañosas hasta las zonas más bajas. Esta inclinación permite optimizar la captación y prevenir la acumulación excesiva de sedimentos, lo que a su vez garantiza un suministro eficiente y sostenible de agua a lo largo del tiempo. (Mendez Bernal et al., 2015)

En el diseño y mantenimiento de diversas estructuras hidráulicas, la inclinación desempeña un papel crucial. Específicamente, cuando se trata de la limpieza manual de una rejilla, se sugiere emplear inclinaciones estratégicas para asegurar una limpieza minuciosa. En este sentido, se recomienda una inclinación equivalente a la mitad de la medida vertical o a un tercio de la medida horizontal. Esta elección de inclinación permite acceder a todos los rincones y recovecos de la rejilla con eficacia, lo

que resulta fundamental para eliminar residuos y obstrucciones que podrían afectar el flujo del agua. (Mendez Bernal et al., 2015)

Mantener estas inclinaciones adecuadas durante la limpieza asegura que la estructura hidráulica continúe funcionando sin problemas y conserve su eficiencia en el control del flujo hídrico. (Mendez Bernal et al., 2015)

En resumen, tanto en el diseño de captaciones de aguas montañosas como en la limpieza de estructuras hidráulicas, la inclinación desempeña un papel fundamental en el rendimiento y la funcionalidad de estos sistemas. En el caso de las captaciones, una inclinación entre el 10 % y el 20 % aguas abajo garantiza un flujo controlado y eficiente. Por otro lado, en la limpieza manual de rejillas, las inclinaciones de 1/2 de la medida vertical o 1/3 de la medida horizontal son ideales para asegurar una limpieza exhaustiva. Estas consideraciones técnicas resultan esenciales para mantener la integridad y el óptimo funcionamiento de las estructuras hidráulicas, contribuyendo así al manejo adecuado y sostenible de los recursos hídricos. (Ur Rahman, 2021)

2.6 Efectos de los caudales máximos y mínimos que se producen en las rejillas.

Los efectos que ocurren en una entrada de agua debido a las velocidades de los flujos pueden variar y perjudicar la estabilidad y el rendimiento de la estructura. Algunos de los daños que pueden ocurrir son:

La erosión de las superficies de concreto es un daño que ocurre cuando los flujos de los ríos captados corren a altas velocidades, lo cual puede generar fenómenos hidrodinámicos en el flujo de agua y la acción abrasiva de las partículas. Este proceso puede resultar en el deterioro progresivo de la superficie de concreto de la bocatoma (Basante, 2017)

La obstrucción de las rejillas de captación puede ocurrir cuando se produce corrientes rápidas en los ríos, haciendo que el agua fluya con fuerza, transportando sedimentos ramas, piedras, animales,

entre otros; llegando a bloquear a las rejillas por la acumulación de material de arrastre, esto puede tener un impacto negativo en el funcionamiento de la bocatoma. (Basante, 2017)

Los flujos rápidos en los ríos pueden causar un problema de estabilidad en la estructura de la bocatoma. Esto potencialmente ocasiona erosión en las paredes y pone en peligro la seguridad de las personas y los bienes cercanos al río. (Valencia, 2014)

En términos generales, los perjuicios causados por las velocidades de los flujos en una bocatoma pueden comprometer la estabilidad y el rendimiento de la estructura. Estos daños pueden originarse a partir de diferentes factores, como la erosión, la obstrucción de las rejillas de captación y el bloqueo de las cajas hidráulicas. (Valencia, 2014)

2.7 Dinámica de fluidos computacional

Existen varias ramas en el estudio y análisis de la mecánica de fluidos siendo que esta se ha vuelto una ciencia esencial para los ingenieros, como lo es la dinámica de fluidos computacional o también conocida en inglés (computational fluid dynamics) o por sus iniciales (CFD), es importante aclarar que la forma de trabajar del CFD es el uso y aplicación de métodos computacionales, numéricos y algebraicos para poder solucionar problemas que se encuentren en el estudio de flujo de fluidos que pueden generar fenómenos físicos.(Chandi Pozo & Escobar Montenegro, 2018)

El método de simulación CFD es una herramienta muy poderosa para el análisis de estructuras hidráulicas en diferentes industrias. La complejidad de la ingeniería hidráulica se puede abordar gracias a la aplicación de modelos matemáticos y físicos que pueden predecir el comportamiento del fluido en un sistema en particular. La integración de la ecuación de continuidad y los métodos de Reynolds y Stokes permiten que el programa CFD determine la solución de los problemas, calculando de forma precisa y reproducible las fuerzas fluidas que actúan sobre las superficies sólidas, lo que permite tomar decisiones más informadas sobre el diseño de sistemas hidráulicos. (Silva Bastidas, 2019)

La forma de trabajar del CFD es aplicando soluciones mediante Stokes que se promedian con Reynolds, también incluyendo a las variables para el volumen de fluidos que permitirán detallar el contorno sólido para definir el modelo y posteriormente establecer la simulación de la estructura hidráulica. Por lo tanto, la metodología radica en un método de diferenciales finitas que permitirán al mismo modelo encontrar una solución, utilizando la ecuación de continuidad para que de forma repetitiva encuentre y defina soluciones a las ecuaciones. (Silva Bastidas, 2019)

En resumen, la simulación CFD es práctica para el diseño y análisis de diferentes sistemas hidráulicos. La aplicación de los métodos de Reynolds, Stokes y la ecuación de continuidad son fundamentales para que los profesionales puedan tomar decisiones efectivas con un grado de precisión alto sobre el diseño y el análisis de estructuras hidráulicas. La simulación CFD ofrece la capacidad de analizar diferentes escenarios de operación para evaluar el desempeño hidráulico bajo diferentes condiciones lo que facilita la resolución de problemas que se presentan en el diseño y ejecución de sistemas hidráulicos de calidad. (Silva Bastidas, 2019)

2.8 Topografía

Es una ciencia necesaria para la ingeniería civil puesto que es el estudio de varios métodos o procedimientos para establecer los puntos o tipos de relieve que existen en el terreno o zona de estudio, para lo cual se aplica 3 datos necesarios para estos estudios, que son la elevación, distancia y la dirección. Los profesionales constantemente requieren de esta información debido a que el terreno en el que se realizara la obra determinara las condiciones de la estructura, permitiendo que los ingenieros civiles pueden adoptar o estudiar los requerimientos o necesidades para el lugar de trabajo. (Jiménez Calero et al., 2019)

2.9 Hidráulica de flujo

2.9.1 Régimen de flujo y numero de Froude

El número de Froude se lo representa con relación que tienen las fuerzas inerciales con respecto a las gravitacionales, así mostrando el régimen que tiene el flujo en el canal o en este caso la toma lateral. El régimen del flujo tendrá 3 estados, flujo subcrítico, flujo crítico, y flujo supercrítico. (Quiñónez et al., 2018)

$$F_R = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L_C}} \quad [2.1]$$

Cuando el número de Froude es menor a 1, se entiende que las fuerzas inerciales lograron ser superadas por las fuerzas gravitacionales dando paso a velocidades bajas, pero se recalca que las alturas o profundidades de la lámina de agua llegan a ser mayores comparadas con el flujo supercrítico. (Quiñónez et al., 2018)

Cuando el número de Froude es igual a 1, se da a entender que existe una transición del flujo subcrítico a supercrítico, siendo que habrá una dependencia de la velocidad de carga y de la respectiva geometría de la sección, cabe recalcar esto se debe a una sinergia que se produce por las fuerzas gravitacionales con respecto a las fuerzas inerciales volviéndose inestable. (Quiñónez et al., 2018)

Cuando el número de Froude es mayor a 1, se establece que el Flujo es supercrítico, este régimen muestra velocidades y pendientes altas, pero a su vez la profundidad de la línea de agua disminuye, esto debido a que las fuerzas inerciales llegan a superar a las fuerzas gravitacionales, formando así resaltos hidráulicos. (Quiñónez et al., 2018)

2.9.2 Continuidad de las masas y sus variaciones

La ecuación general de la continuidad de la masa es representada por:

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_z) + \xi \frac{\partial \rho u A_x}{\partial x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad [2.2]$$

Donde:

VF : volumen fraccionario abierto al flujo

ρ : Densidad del fluido

R : Término de difusión turbulento y una fuente de masa

(u, v, w) : Componentes de la velocidad

En coordenadas (x, y, z) o (r, θ, z)

A : Área fraccional abierta al flujo

El coeficiente R : depende de la elección del sistema de coordenadas

En el caso de emplear coordenadas cilíndricas, las derivadas respecto a y necesitan ser transformadas en derivadas azimutales.

$$\frac{\partial}{\partial y} \rightarrow \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \quad [2.3]$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} = \frac{r}{r} \frac{\partial}{\partial y} \quad [2.4]$$

La ecuación establece que la relación $y = r_m \theta$, donde r_m denota un radio de referencia constante. La transformación derivada de la Ecuación 2.4 se muestra eficiente, ya que su implementación solamente requiere la introducción del factor multiplicador $R = r_m/r$ en cada derivada y en las ecuaciones originarias de las coordenadas cartesianas. Cuando se trata de escenarios relacionados con coordenadas cartesianas, se asigna a R al valor unitario y se fija ξ en cero. El primer término que figura en el lado derecho de la Ecuación 2.2 corresponde a un término vinculado a la difusión turbulenta. (Flow Science, 2008)

$$R_{DIF} = \frac{\partial}{\partial x} \left(v_\rho A_x \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(v_\rho A_y R \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_\rho A_z \frac{\partial \rho}{\partial z} \right) + \xi \frac{\rho v_\rho A_x}{x} \quad [2.5]$$

El valor del coeficiente v_p es equivalente a $cp\mu\rho$, donde μ representa el coeficiente de difusión de momento, es decir, la viscosidad, y c_p es una constante cuyo inverso suele ser conocido como el número de Schmidt turbulento. Esta forma de difusión de masa solo adquiere sentido en procesos de mezcla turbulenta que involucran fluidos con densidad no uniforme. (Flow Science, 2008)

En cuanto al último término, R_{SOR} , situado en el lado derecho de la ecuación 2.2, se trata de un término generador de densidad. Un ejemplo de su aplicación podría ser para modelar la introducción de masa a través de superficies con obstáculos porosos. (Flow Science, 2008)

La resolución de ecuaciones de densidad completa, tal como se expone en la ecuación 2.2, es un requisito para abordar problemas de flujo compresible. En el caso de fluidos incompresibles, donde ρ es constante, la ecuación 2.2 se simplifica a la condición de incompresibilidad. (Flow Science, 2008)

$$\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) + \xi \frac{uA_x}{x} = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad [2.6]$$

Cuando se enfrentan situaciones donde la propagación de las ondas acústicas de presión es significativa, pero es posible considerar el fluido como incompresible, se lleva a cabo una aproximación en la que la derivada temporal. (Flow Science, 2008)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} \approx \frac{1}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} \quad [2.7]$$

Aquí, c^2 representa el valor al cuadrado de la velocidad del sonido y p denota la presión. Esta simplificación es aceptable dentro del rango (Flow Science, 2008):

$$\left| \frac{\delta \rho}{\rho} \right| < 0.1 \quad [2.8]$$

Utilizando esta estimación, la ecuación alterada de continuidad se convierte en:

$$\frac{V_F}{\rho c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial uA_x}{\partial x} + R \frac{\partial vA_y}{\partial y} + \frac{\partial wA_z}{\partial z} + \xi \frac{uA_x}{x} = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad [2.9]$$

2.9.3 Ecuación del momento

Las ecuaciones que rigen el desplazamiento de las componentes de velocidad del fluido (u, v, w) en las tres dimensiones de coordenadas corresponden a las ecuaciones de Navier-Stokes con la incorporación de ciertos términos suplementarios. (Flow Science, 2008)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} - \xi \frac{A_y v^2}{xV_F} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s)$$

[2.10]

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} + \xi \frac{A_y uv}{xV_F} = -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial p}{\partial y} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s)$$

[2.11]

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s)$$

[2.12]

Donde:

(G_x, G_y, G_z) : Aceleraciones del cuerpo u objeto

(f_x, f_y, f_z) : Aceleraciones viscosas

(b_x, b_y, b_z) : Perdidas de flujo en medios porosos

$\mathbf{U}_w = (u_w, v_w, w_w)$: componente de la velocidad de la fuente, normalmente difiere de cero en un objeto en movimiento

$\mathbf{U}_s = (u_s, v_s, w_s)$: Velocidad del fluido en la superficie de la fuente

$$\mathbf{U}_s = dQ / (RHOQSR \cdot dA) \cdot \mathbf{n} \quad [2.13]$$

En esta ecuación, dQ representa el flujo másico, ρQSR se refiere a la densidad de la fuente de fluido, dA indica el tamaño del área en la superficie de la fuente dentro de la celda, y n denota el normal exterior a esa superficie. Cuando δ es igual a cero en las ecuaciones 2.10, 2.11 y 2.12, la fuente se relaciona con una presión de estancamiento. En el caso en que δ es igual a uno, la fuente se asocia con una presión estática. (Flow Science, 2008)

Los últimos términos describen la introducción de masa en una fuente, la cual está modelada a través de un componente geométrico. (Flow Science, 2008)

2.9.4 Ecuación Navier-Stokes

Las ecuaciones de “Navier-Stokes” están enfocadas en el estudio del campo de las velocidades de flujo, permitiendo de esta manera realizar una revisión numérica bidimensional del comportamiento hidráulico y las características de flujo. (Restrepo Bustamante, 2011)

Para mecánica de fluidos existen cerca de 17 ecuaciones que tienen un nivel de dificultad muy alto puesto que este sistema de ecuaciones tiene también 17 incógnitas por lo que la ecuación de Navier-Stokes permite solucionar este tipo de sistema de ecuaciones de alto nivel de complejidad. Esta expresión es una ecuación más sencilla que representa la cantidad de movimiento que se encuentra en función del campo de velocidad y presión. (Gutierrez Garcia, 2020)

Es necesario recalcar que se puede llegar a desacoplar la ecuación de Navier-Stokes si también se toma en cuenta casos particulares del fluido o en este caso agua, que permitirán que el problema se establezca en 4 ecuaciones con 4 incógnitas, que es un sistema de ecuaciones más sencillo de resolver. (Gutierrez Garcia, 2020)

Navier Stokes:

$$-\underline{v}p + \mu\Delta\underline{v} + pb = \rho \frac{d\underline{v}}{dt} \quad [2.14]$$

Siendo que:

\underline{vp} : fuerzas producidas debido al gradiente hidráulico

$\mu\Delta\underline{v}$: fuerzas de viscosidad

$\rho \frac{dv}{dt}$: Fuerzas de inercias

ρb : Gravedad

Continuidad:

$$\nabla \cdot v = 0 \quad [2.15]$$

Debido a que el agua es un líquido incompresible de acuerdo con las leyes de Newton, esto significa que:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{d\rho}{dt} = 0 \\ \frac{dp}{dt} + \rho \nabla \cdot v = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \rho = \rho_0 \\ \nabla \cdot v = \text{Tr}(d) = 0 \end{array} \right. \quad [2.16]$$

La divergencia de velocidad, representada como $\nabla \cdot v$, indica la expansión. Las fuerzas causadas por el gradiente de presiones se denotan como ∇p . Las fuerzas viscosas están representadas por $\mu\Delta v$. Las fuerzas másicas, que incluyen la gravedad, se representan como ρb . Por último, las fuerzas de inercia se expresan como $\rho \frac{dv}{dt}$. (Gutierrez Garcia, 2020)

2.9.5 Modelo de Turbulencia

Las ecuaciones de Navier-Stokes y de Reynolds son el principal recurso al momento de estudiar los problemas relacionados con el comportamiento de flujos turbulentos. Estas ecuaciones describen de manera matemática la dinámica de los fluidos, teniendo en cuenta factores como la

viscosidad y las fuerzas de inercia. A través de la aplicación de estas ecuaciones, los investigadores pueden analizar y comprender mejor la complejidad de los flujos turbulentos, lo que resulta fundamental en numerosos campos de la ingeniería y la ciencia. (Arteaga-Acuña, 2017)

Anteriormente, eran pocos los programas que analizaban la mecánica de los fluidos, y estos presentaban herramientas que solamente se enfocaban en alguna característica en específico. Sin embargo, el gran avance que ha habido en la última década en la potencia de los computadores ha permitido que el proceso de modelación en CFD (Computational Fluid Dynamics) y sus respectivos análisis de resultados resulten menos trabajosos y más veloces. (Arteaga-Acuña, 2017)

Ahora se pueden simular con mayor precisión y detalle los flujos turbulentos, lo que ha permitido mejorar el diseño y la optimización de numerosos dispositivos y estructuras, como aviones, automóviles y sistemas de energía. Si se aplica de manera adecuada, esta metodología podría incluso fácilmente reemplazar a los modelos físicos, lo que representa una notable ventaja en términos de tiempo, costo y eficiencia en la investigación y desarrollo de nuevos productos y (Arteaga-Acuña, 2017)

Es importante considerar la turbulencia que se produce en la falta o la insuficiencia de fuerzas viscosas produciendo a su vez movimientos caóticos que no logran ser estables, por lo tanto, es importante e ideal aplicar las ecuaciones que establecen y permiten la conservación de las masas y cantidad de movimiento, esto se podrá aplicar cuando se logre revolucionar o establecer una malla que logre ser lo suficientemente fina que resalte las características ya mencionadas. (Jimenez Motta, 2019)

2.9.5.1 Modelos de Turbulencia aplicados en CFD

Hay diferentes formas de categorizar los modelos de turbulencia utilizados en mecánica de fluidos. Los modelos diseñados para propósitos generales de CFD deben ser universales y no depender de ningún sistema de coordenadas específico.

En FLOW-3D, se presentan cinco modelos de turbulencia, que abarcan desde el modelo de longitud de mezcla de Prandtl hasta los modelos de dos ecuaciones k-ε y RNG, además del modelo de simulación de grandes remolinos, LES. La singularidad de esta formulación radica en la incorporación de áreas/volúmenes fraccionados del método FAVORTM y la generalización de la producción (o decaimiento) de turbulencia en relación con las fuerzas de flotación. Esta diferencia otorga una perspectiva única a la comprensión y modelado de la turbulencia en el software. (Flow Science, 2008)

- **Modelo PRANT**

El modelo más básico, el enfoque de longitud de mezcla de Prandtl, plantea que la viscosidad del fluido aumenta debido a la mezcla turbulenta en regiones de alto cizallamiento, como aquellas próximas a los límites sólidos. No obstante, esta aproximación es adecuada únicamente para flujos completamente desarrollados y prácticamente estacionarios. Desde una perspectiva más amplia, resulta crucial tener en cuenta ciertos procesos de transporte (como la convección y la difusión) para representar de manera más precisa las distribuciones en el espacio y en el tiempo de la intensidad de la turbulencia. El modelo basado en la longitud de mezcla de Prandtl supone que la generación y la disipación de turbulencia están en equilibrio a lo largo de todo el flujo. (Flow Science, 2008)

$$P_T + G_T = \varepsilon_T \quad [2.17]$$

Donde P_T y G_T son las producciones de turbulencia a causa de los efectos de cizallamiento y flotabilidad, respectivamente, y ε_T denota la disipación de la turbulencia. En otras palabras, se excluyen la advección, la difusión y la tasa de cambio temporal de la energía turbulenta. La disipación de la turbulencia también se puede expresar como: (Flow Science, 2008)

$$\varepsilon_T = CNU \sqrt{\frac{3}{2} \frac{k_T^{1/2}}{TLEN}} \quad [2.18]$$

- **Modelo de transporte de turbulencia**

El modelo de transporte de turbulencia con una ecuación implica una expresión de transporte para la energía cinética específica vinculada a las variaciones turbulentas de velocidad presentes en el flujo (la energía cinética turbulenta). (Flow Science, 2008)

$$k_T = \frac{1}{2}(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \quad [2.19]$$

En esta expresión, u' , v' y w' representan las componentes en las direcciones x , y y z de la velocidad del fluido asociadas a las variaciones turbulentas caóticas. El factor $3/2$ proviene de la suma de la energía cinética de las fluctuaciones en cada una de las tres coordenadas. (Flow Science, 2008)

El contenido de esta ecuación de transporte engloba tanto la convección como la difusión de la energía cinética turbulenta. La creación de energía cinética turbulenta ocurre debido a los efectos de cizallamiento y flotabilidad, y también se contemplan en ella la difusión y la disipación debido a las pérdidas viscosas dentro de los vórtices turbulentos. La producción de flotabilidad se manifiesta únicamente en situaciones donde existe una densidad no uniforme en el flujo, e involucra los impactos de la gravedad y las aceleraciones no inerciales. La correspondiente ecuación de transporte se formula de la siguiente manera: (Flow Science, 2008)

$$\frac{\partial k_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial k_T}{\partial x} + v A_y \frac{\partial k_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial k_T}{\partial z} \right\} = P_T + G_T + Diff_T - \varepsilon_T \quad [2.20]$$

En esta instancia, k_T hace referencia a la energía cinética turbulenta, mientras que V_F , A_x , A_y , A_z se refieren a las funciones FAVOR™ de FLOW-3D. Adicionalmente, P_T simboliza la generación de energía cinética turbulenta. (Flow Science, 2008)

$$P_T = \text{CSPRO} \left(\frac{\mu}{\rho V_F} \right) \left\{ \begin{array}{l} 2A_x \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2A_y \left(R \frac{\partial v}{\partial y} + \xi \frac{u}{x} \right)^2 + 2A_z \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \\ + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + R \frac{\partial u}{\partial y} - \xi \frac{v}{x} \right) \left[A_x \frac{\partial v}{\partial x} + A_y \left(R \frac{\partial u}{\partial y} - \xi \frac{v}{x} \right) \right] \\ + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \left(A_z \frac{\partial u}{\partial z} + A_x \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + R \frac{\partial w}{\partial y} \right) \left(A_z \frac{\partial v}{\partial z} + A_y R \frac{\partial w}{\partial y} \right) \end{array} \right\} \quad [2.21]$$

Un enfoque más avanzado involucra dos ecuaciones de transporte que consideran tanto la energía cinética turbulenta k_T como su tasa de disipación ε_T . Conocido como el modelo $k-\varepsilon$, esta metodología elimina la necesidad de emplear la ecuación 2.18, a excepción de situaciones en los límites de entrada y en zonas de flujo donde la disipación ε_T tiende a aproximarse a cero. La efectividad del modelo $k-\varepsilon$ ha sido respaldada por pruebas, ya que ofrece estimaciones razonables para diversos tipos de flujos. Además, se agrega una ecuación de transporte adicional para describir la disipación turbulenta, ε_T : (Flow Science, 2008)

$$\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_s \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z} \right\} = \frac{CDIS1 \cdot \varepsilon_T}{k_T} (P_T + CDIS3 \cdot G) + Diff_\varepsilon - CDIS2 \frac{\varepsilon_T^2}{k_T} \quad [2.22]$$

En este contexto, los valores de CDIS1, CDIS2 y CDIS3, que son factores adimensionales ajustables por el usuario, están predeterminados en 1.44, 1.92 y 0.2, respectivamente, para el modelo $k-\varepsilon$. La difusión de la disipación, denominada $Diff_\varepsilon$, se expresa como: (Flow Science, 2008)

$$Diff_\varepsilon = \frac{1}{V_F} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(v_\varepsilon A_x \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(v_\varepsilon A_y R \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_\varepsilon A_z \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z} \right) + \xi \frac{v_\varepsilon A_x \varepsilon_T}{x} \right\} \quad [2.22]$$

El modelo RNG emplea ecuaciones que guardan similitud con las del modelo $k-\varepsilon$. No obstante, las constantes presentes en las ecuaciones, las cuales se establecen empíricamente en el modelo $k-\varepsilon$ estándar, son obtenidas explícitamente en el modelo RNG. En términos generales, el modelo RNG posee una aplicabilidad más extensa en comparación con el modelo $k-\varepsilon$ estándar. Específicamente, se ha observado que el modelo RNG proporciona una representación más precisa de los flujos turbulentos de baja intensidad y de los flujos caracterizados por regiones de cizallamiento intensas. Además, los valores por defecto de CDIS1 y CNU difieren de los empleados en el modelo $k-\varepsilon$, siendo 1.42 y 0.085, respectivamente. Por otro lado, CDIS2 se calcula a partir de los términos de energía cinética turbulenta (k_T) y producción turbulenta (P_T). (Flow Science, 2008)

El propósito principal de cualquier modelo de turbulencia es brindar un mecanismo que permita estimar cómo las variaciones turbulentas impactan en las magnitudes medias del flujo. Esta

influencia es comúnmente reflejada mediante términos de difusión suplementarios en las ecuaciones para el transporte promedio de masa, momento y energía. Dado que la turbulencia potencia la dispersión del momento, también impulsa el aumento en la viscosidad. Cada vez que el coeficiente de viscosidad dinámica aparece en las ecuaciones, suponemos que se compone de la suma de las viscosidades molecular y turbulenta. (Flow Science, 2008)

$$\mu = \rho(v + v_T) \quad [2.23]$$

En un sentido estricto, esta afirmación no siempre es completamente precisa, pero constituye una aproximación adecuada para niveles significativos de turbulencia, es decir, cuando la viscosidad turbulenta supera con creces el valor molecular. En contextos de baja turbulencia, el modelo k-ε resulta insuficiente sin realizar ajustes adicionales. (Flow Science, 2008)

La viscosidad asociada a la turbulencia proviene de un modelo conceptual de vórtices turbulentos que transportan momento y otras cantidades durante su movimiento. Este proceso se define a través de las escalas de velocidad y longitud de los vórtices. En donde TLEN representa la escala de longitud característica de los vórtices que contienen energía (corresponde a la escala de longitud inercial) y la raíz cuadrada de la energía cinética turbulenta, k_T , que describe la escala de velocidad, la viscosidad cinemática turbulenta, v_T , se calcula. (Flow Science, 2008)

$$v_T = TLEN \sqrt{\frac{2k_T}{3}} \quad [2.24]$$

En el enfoque de dos ecuaciones para describir la turbulencia, se sustituye el parámetro constante de escala de longitud por la función de disipación de energía turbulenta ϵ_T , y posteriormente se calcula la viscosidad cinemática correspondiente. (Flow Science, 2008)

$$v_T = CNU \frac{k_T^2}{\epsilon_T} \quad [2.25]$$

- **Modelo LES (Large-eddy simulation)**

En el modelo Large Eddy Simulation (LES) realiza el cálculo directo de los movimientos de gran escala, mientras que los movimientos de pequeña escala en la malla computacional son modelados, pero no resueltos directamente. Esta estrategia contribuye a reducir significativamente el costo computacional en comparación con una simulación directa numérica (DNS). (Richmond, 2019)

Los remolinos de gran escala, al estar sujetos directamente a las condiciones de frontera, se ven impactados de manera significativa, ya que tienen acceso a una mayor cantidad de información y, por lo tanto, deben ser calculados de forma precisa. Por otro lado, la turbulencia de pequeña escala tiende a ser más débil y con una disponibilidad de información más limitada. Además, se destaca que la turbulencia de pequeña escala tiende a ser más isotrópica y presenta características más (Richmond, 2019)

Dentro del modelo LES, se capturan los impactos de la turbulencia en una escala muy fina que no puede ser directamente calculada, a través del uso de una viscosidad específica para la submalla. Esta viscosidad se encuentra vinculada a una dimensión de longitud multiplicada por una evaluación de las fluctuaciones de velocidad a esa escala. Para determinar esta dimensión de longitud, Smagorinsky utiliza el promedio geométrico de las dimensiones de las celdas en la rejilla. (Flow Science, 2008)

$$L = (\delta x \delta y \delta z)^{\frac{1}{3}} \quad [2.26]$$

Además, ajusta las fluctuaciones de velocidad mediante el valor de L multiplicado por el promedio del esfuerzo cortante. Estos elementos se fusionan para formar la viscosidad cinemática correspondiente a la submalla en el marco del modelo LES. (Flow Science, 2008)

$$v_T = (cL)^2 \cdot \sqrt{e_{ij} e_{ij}} \quad [2.27]$$

2.9.6 Esfuerzo cortante

Cuando un fluido se expone a un esfuerzo cortante, las capas del fluido que están cerca de la superficie sólida o del objeto que lo mueve comienzan a moverse. A medida que las capas se mueven, es como si se deslizaran unas sobre otras. Este tipo de movimiento se conoce como flujo laminar. La velocidad de este movimiento depende de la fuerza de corte aplicada al fluido. Además, la tasa de flujo de un fluido también es influenciada por la viscosidad del fluido. Mientras más alta sea la viscosidad del fluido, más difícil será para las capas del fluido deslizarse unas sobre otras. Entonces, la tasa de flujo se reducirá. En resumen, la fuerza de corte y la viscosidad del fluido son factores importantes a considerar cuando se trata de entender cómo fluyen los fluidos en un sistema (Jiménez-Carballo, 2018)

2.9.7 Flujo a través de rejillas

Se conoce que el flujo espacialmente variado, es el cambio que sufre un caudal en dirección a la estructura hidráulica de captación, en el cual se presenta la carga de presión que se ejerce el agua sobre la rejilla, expresándose de tal manera que si la presión es similar a la hidrostática, su valor será igual a 1, esto para caudales de caudal decreciente, en el caso de flujos de rejillas paralelas se define una expresión que es afectada por el coeficiente de descarga, que es caracterizado por aspectos físicos e hidrodinámicos. (J. F. Ochoa, 2011)

Canales de caudal decreciente

$$\frac{P}{g\rho} = a'y_c \quad [2.28]$$

Flujo de rejillas paralelas

$$\frac{-dQ}{dx} = mb\sqrt{2gE_c} \quad [2.29]$$

2.10 Análisis estadístico

El análisis estadístico desempeña un papel fundamental al evaluar la confiabilidad de un modelo en el contexto de estudio. Al aplicar técnicas estadísticas, es posible medir la consistencia y precisión con las que el modelo se ajusta a los datos observados. Esta evaluación de confiabilidad se logra al comparar las predicciones del modelo con los valores reales, identificando posibles discrepancias y calculando medidas de error. Además, el análisis estadístico permite detectar patrones, tendencias y relaciones en los datos, lo que brinda información esencial para la selección adecuada de un modelo que se ajuste a la estructura del estudio en cuestión. (Suquilanda Ramón & Tacuri Jaramillo, 2021)

- MAE (Error absoluto medio)

El puntaje en cuestión tiene una naturaleza lineal, lo que implica que todas las diferencias individuales se ponderarán de manera equitativa en el proceso de cálculo del promedio. En este enfoque, cada disparidad individual contribuye al resultado final sin mostrar preferencia alguna, lo que resulta en una asignación uniforme de ponderación a todas las variaciones presentes. (S. A. Ochoa, 2014)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{n} \quad [2.30]$$

Su valor refleja la distancia promedio entre las predicciones del modelo y los valores reales, y cuanto más cercano a cero sea este valor, mayor será la precisión del ajuste. En otras palabras, a medida que el error medio absoluto se aproxima a cero, el modelo logra un ajuste más óptimo, indicando que las predicciones se alinean de manera más exacta con los datos reales.

- RMSE (Error Medio Relativo Cuadrado)

Este indicador cuantifica qué tan cerca se encuentran los puntos de datos reales de las predicciones generadas por el modelo. En esencia, proporciona una evaluación directa de la precisión del modelo al medir la discrepancia absoluta entre lo que el modelo predice y lo que realmente se observa en los datos. Un ajuste absoluto cercano a cero sugiere una alta concordancia entre el modelo y los datos, mientras que valores más altos indican una mayor discrepancia entre las predicciones y las observaciones reales. (S. A. Ochoa, 2014)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - P_i)^2}{n}} * \frac{1}{\bar{o}} \quad [2.31]$$

Estos valores positivos reflejan la magnitud promedio de los errores entre las predicciones del modelo y los valores reales observados. Cuanto más cercano a cero sea el valor de RMSE, mejor será el ajuste del modelo a los datos, indicando una menor discrepancia entre las predicciones y la realidad, aunque en situaciones prácticas siempre se espera que el RMSE tenga algún grado de positividad que denote la diferencia entre el modelo y los datos reales.

- **EF₂ (Coeficiente de eficiencia)**

Los valores obtenidos pueden variar en un rango que incluye aquellos menores o iguales a 1. Un valor de 1 en particular es indicativo de un ajuste perfecto entre el modelo y los datos observados. Esta cifra representa la situación ideal en la que las predicciones del modelo coinciden de manera exacta con los valores reales, sin ningún grado de error. (S. A. Ochoa, 2014)

$$EF_2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \quad [2.32]$$

- **CD (Coeficiente de determinación)**

El coeficiente de determinación es una métrica fundamental en el análisis de regresión que cuantifica la fracción de la variabilidad total de la variable dependiente en relación con su media, la

cual puede ser atribuida a las influencias y explicaciones proporcionadas por el modelo de regresión. En otras palabras, este coeficiente brinda una medida numérica de la proporción de la variación presente en la variable dependiente que puede ser entendida y justificada a través de las relaciones establecidas por el modelo.(S. A. Ochoa, 2014)

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{o})^2} \quad [2.33]$$

- **BIAS (Desviación media)**

Cuantifica el error sistemático presente en el modelo, evidenciando cómo este se aparta consistentemente de los valores reales. El valor ideal del sesgo sería cero, lo que indicaría que el modelo no presenta ninguna tendencia sistemática a sobreestimar o subestimar.(S. A. Ochoa, 2014)

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{n} \quad [2.34]$$

- **R² (Coeficiente de determinación múltiple)**

Se trata de una medida relativa que señala el nivel de conformidad con una línea recta entre los datos reales y los simulados. Esta métrica proporciona una evaluación de qué tan bien se adapta un modelo a la disposición lineal de los datos observados y generados. En esencia, refleja la capacidad del modelo para capturar la tendencia general de los datos, mostrando la proximidad entre los valores predichos y los valores reales a lo largo de la línea de referencia.(S. A. Ochoa, 2014)

$$R^2 = \frac{Cov(O_i, P_i)^2}{\sigma_O^2 \sigma_P^2} \quad [2.35]$$

CAPITULO III

METODOLOGÍA

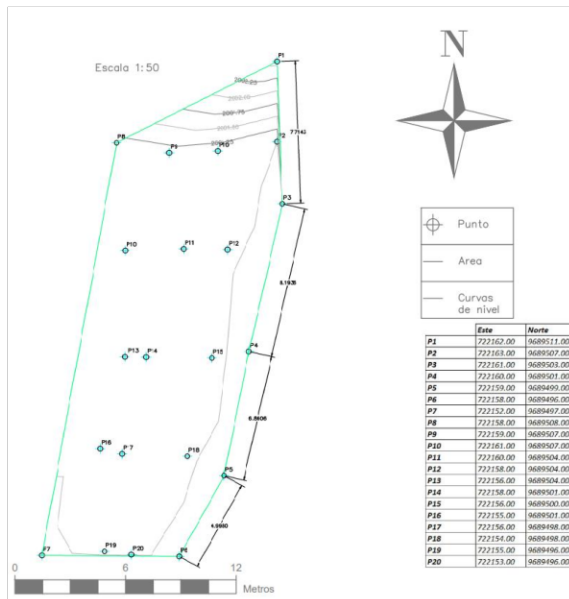
En el siguiente capítulo se desarrolla la caracterización del material analizado en el cual se realizan los ensayos.

3 Procedimiento

3.1 Levantamiento Topográfico del terreno.

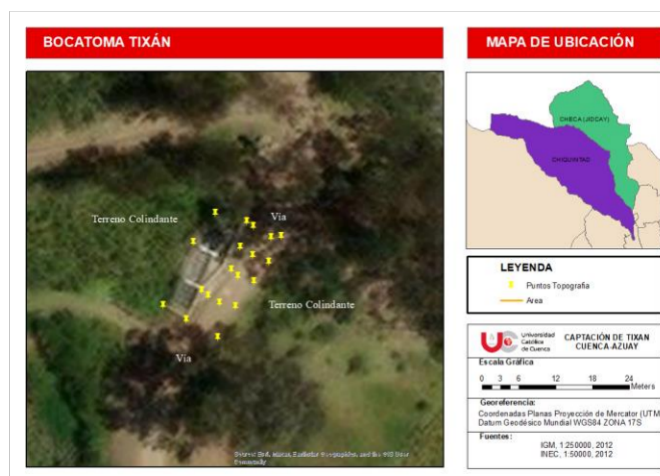
Para el correcto funcionamiento de una bocatoma es imprescindible que se tenga en cuenta la pendiente del terreno sobre el que se sitúa. Esto se debe a que la tubería que lleva el agua desde la bocatoma debe ser construida teniendo en cuenta las condiciones topográficas del terreno. Además, la pendiente es importante ya que influirá en la velocidad del agua y en su dirección, lo que a su vez puede afectar el rendimiento de la bocatoma. (Jiménez Calero et al., 2019)

Con la aplicación de la estación total, se levantó la topografía que abarca la zona de la bocatoma, delimitando su área y a su vez estableciendo las curvas para determinar el perfil y su posible pendiente. Se estableció la distancia entre los puntos internos, fijando una separación de 5 metros entre cada uno de ellos, y los puntos perimetrales llegaban hasta los 6m.



Gráfica 2. Topografía

Para garantizar una representación detallada y precisa del terreno, se procedió a elaborar curvas de nivel con una meticulosa planificación. Las curvas mayores se establecieron con un espaciado de 0.5 metros, lo que permitió capturar con mayor claridad las variaciones en la elevación del terreno. Esta elección estratégica en el espaciado de las curvas aseguró que los cambios en la topografía fueran adecuadamente capturados y presentados en el mapa. Asimismo, las curvas menores se definieron con un espaciado de 0.25 metros, lo que permitió un nivel adicional de detalle y precisión en la representación.

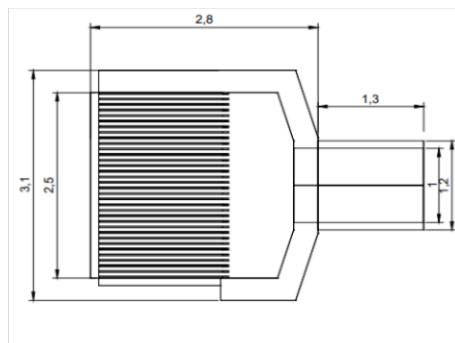


Gráfica 3. Mapas Puntos topográficos

3.2 Modelación tridimensional de la Bocatoma.

El modelado 3D de cualquier estructura requiere de dimensiones precisas para lograr una representación fiel a la realidad. En el caso de la bocatoma, se necesitó medir la estructura existente con una cinta métrica para poder obtener las dimensiones, pero en el caso de la profundidad y la inclinación de la losa de la bocatoma se consultó a la entidad encargada de la estructura para establecer la geometría de la losa. Este proceso fue crucial para poder generar un modelo tridimensional preciso y detallado de la bocatoma en cuestión. El uso de herramientas precisas y metodologías adecuadas son fundamentales para garantizar que el modelado 3D sea fiel a la realidad y útil para propósitos específicos.

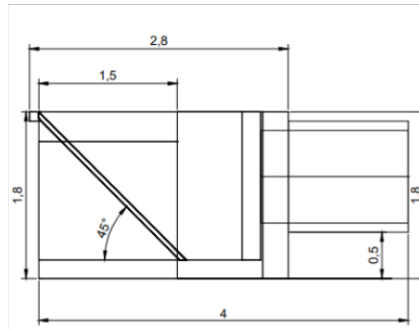
Debido a que se tiene las dimensiones de la bocatoma se estableció tridimensionalmente la misma mediante el software AutoCAD de esta manera se establece modelo sólido y se convierte en un archivo STL.



Gráfica 4: Vista superior de la bocatoma

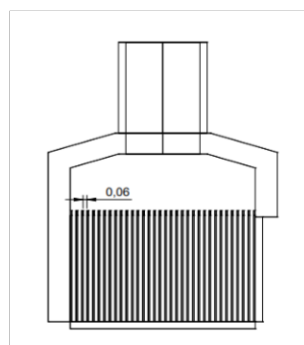
La rejilla instalada en esta estructura hidráulica se caracteriza por presentar una inclinación de 45 grados con respecto a la horizontal, según la información brinda por ETAPA; siendo que en el 2021 fue instalada, no ha presentado daños ni deformaciones en la rejilla. Esta particularidad en el diseño de la inclinación no ha sido accidental, sino que ha sido cuidadosamente planificada teniendo en mente la futura limpieza y mantenimiento de la estructura. Al elegir una inclinación de 45 grados, se ha

facilitado la labor de limpieza manual de la rejilla, debido a que la inclinación proporciona un ángulo adecuado para el acceso y la remoción de sedimentos, hojas u otros materiales que puedan obstruir el flujo del líquido captado.



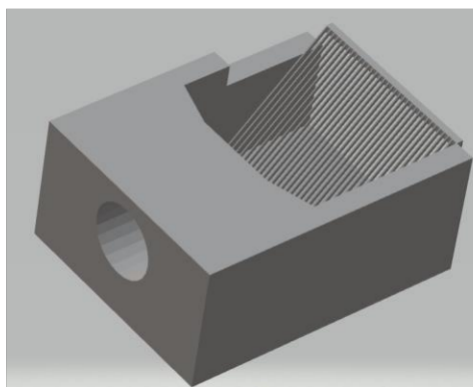
Gráfica 5: Vista lateral de la bocatoma

La estructura de la bocatoma se destaca por su ancho de 2.5 metros, una dimensión que no considera la inclusión del ancho de las paredes que la conforman. Este aspecto permite que la bocatoma tenga una capacidad de captación considerable en el rango de 800 lt/s a 900 lt/s en temporada de invierno, lo que es esencial para su función en la recolección de agua u otros fluidos. Un detalle adicional de diseño es evidente en las rejillas dispuestas en la bocatoma: cada una de ellas presenta un ancho interno de 6 centímetros. Es importante mencionar que este ancho se ha calculado cuidadosamente para asegurar un equilibrio entre la capacidad de captación y la eficiencia en la filtración.



Gráfica 6: Vista Superior de la bocatoma

Se creó el modelo 3D de la bocatoma de PTAP de Tixán con la información proporcionada y a continuación se muestra la representación visual del mismo.



Gráfica 7: Modelo 3D de la Bocatoma

3.3 Determinación de velocidades del flujo del río Machángara en el ingreso a la bocatoma con aplicación de molinete.

Para la medición de las velocidades del agua que ingresa a la bocatoma, se adoptó un enfoque sistemático que involucra la división de las secciones transversales de la bocatoma en segmentos de 50cm. Para cada sección transversal se determinaron los puntos en los que se realizarán las mediciones de la velocidad con el molinete, y en total se realizaron mediciones en dos secciones transversales.



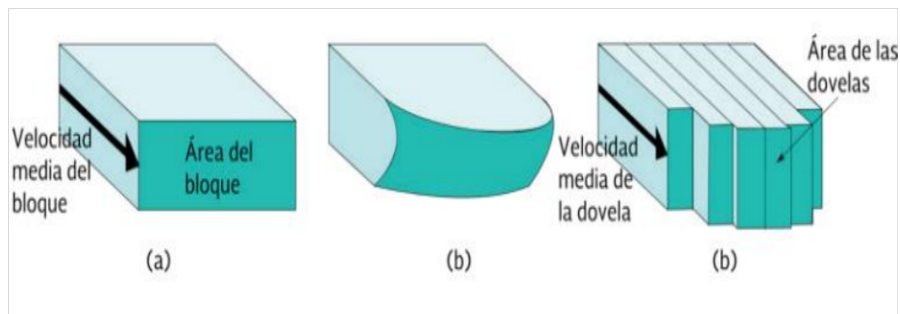
Gráfica 8: Seccionamiento de aforo en la bocatoma.

Este enfoque permite obtener una visión detallada de la velocidad del agua en puntos específicos de la bocatoma, lo que proporciona información valiosa para el análisis de la eficacia de la utilización del agua disponible en el curso de agua. La selección cuidadosa de los puntos de medición es crucial para garantizar la precisión de los resultados obtenidos y para tener una comprensión clara

de cómo se distribuye la velocidad a lo largo de la sección transversal de la bocatoma, lo que ayuda a identificar cualquier área problemática o ineficiente.

La forma de medir con un molinete consiste en crear las piezas curvas llamadas dovelas y situar el molinete a una sexta parte de la profundidad del agua o, alternativamente, a 0.2 y 0.8 veces el nivel desde la superficie del agua. La velocidad promedio en la dovela será el promedio de ambos valores. (Pedroza González, 2017)

En resumen, el cálculo de la suma implica la multiplicación de las áreas de cada franja por la velocidad media correspondiente, lo que resulta en el cálculo del gasto (Pedroza González, 2017)



Gráfica 9. Dovelas en la medición con molinete (Pedroza González, 2017)

Durante el proceso de medición y análisis de la sección rectangular de la bocatoma, se establecieron los puntos claves en los cuales se iba a trabajar. Una vez identificados estos puntos, se procedió a ingresar con el molinete a la bocatoma con el objetivo de obtener las mediciones de velocidad necesarias. En cada uno de estos puntos se tomaron tres velocidades, lo que permitió obtener datos más precisos y confiables. Con la información recopilada, se pudo realizar la tabulación y, de esta manera, calcular la velocidad media que atravesó la sección rectangular de la bocatoma.

Tabla 2. Aforo de velocidad tramo 1

Hmed (m)	0,77		
B (m)	0,5		
Área 1 (m²)	0,385		
	V(m/s)	Promedio(m/s)	Q(m³/s)
P1	0,74	0,707	0,272195
	0,696		
	0,685		
P2	0,801	0,797	0,306845
	0,796		
	0,794		
P3	0,918	0,913333333	0,35163333
	0,901		
	0,921		
P4	0,796	0,767	0,295295
	0,724		
	0,781		
Qtotal (m³/s)	1,22596833		
Atotal (m²)	1,54		
Velocidad (m/s)	0,79608333		

Tabla 3. Aforo de velocidad tramo 2

Hmed (m)	0,77		
B (m)	0,5		
Área 1 (m²)	0,385		
	V(m/s)	Promedio(m/s)	Q(m³/s)
P1	0,677	0,656	0,216
	0,662		
	0,629		
P2	0,723	0,721	0,237
	0,705		
	0,735		
P3	0,76	0,766	0,252
	0,768		
	0,771		
P4	0,895	0,873	0,288
	0,864		
	0,861		
Qtotal (m³/s)	0,9955		
Atotal (m²)	1,32		
Velocidad (m/s)	0,75416667		

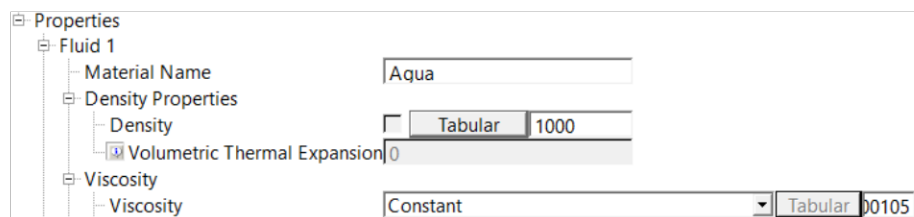
3.4 Modelamiento Hidráulico tridimensional

3.4.1 Características del fluido

En el modelo, se han establecido las características físicas del flujo a trabajar. La gravedad actúa con la misma constante gravitacional de -9.81 m/s^2 . Además, se ha determinado que la viscosidad y el régimen de flujo es turbulento.

Se ha determinado mediante el manual hidráulico del Flow 3D que, en este escenario, el fluido de la bocatoma exhibe un comportamiento de altamente turbulento. Esto se debe a que el modelo de turbulencia $k-\epsilon$ está diseñado para describir aguas altamente turbulentas, y en este caso en particular, las características del flujo presentan niveles significativos de turbulencia. Por lo tanto, la elección de emplear un modelo de turbulento $k-\epsilon$ en lugar del modelo de laminar introduce modificaciones sustanciales en los resultados obtenidos mediante el modelo tridimensional. (Flow Science, 2008)

Para llevar a cabo el estudio, se determinaron las propiedades del fluido utilizado, en este caso el agua proveniente del río Machángara en la bocatoma. Se conoce que la densidad del agua es de 1000 Kg/m^3 , lo que indica su masa por unidad de volumen, además, se determinó que la viscosidad del agua es de 0.00105 Kg/m-s debido a que este valor se encuentra en condiciones normales, es decir, a una temperatura de 25°C y a una presión atmosférica estándar. La viscosidad del agua puede variar en función de la temperatura y la presión, pero este valor es ampliamente aceptado como una referencia en condiciones típicas de estudio. Estos valores son fundamentales para comprender y analizar el comportamiento del fluido durante el trabajo realizado.



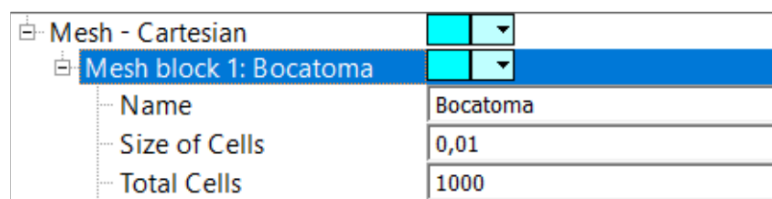
Gráfica 10. Propiedades del fluido

La precisión de los resultados depende en gran medida de la elección de parámetros, como la viscosidad del agua. En este contexto, es fundamental que la viscosidad del agua se establezca en 0.00105 Kg/m-s. Esto se debe a que considerar una viscosidad nula (0) implicaría tratar el agua como un fluido ideal, una simplificación que no se ajusta a la realidad física. En la práctica, no existe un fluido verdaderamente sin viscosidad, por lo que asignar un valor realista a la viscosidad es esencial para lograr resultados confiables y coherentes con el comportamiento de los fluidos en condiciones reales.

3.4.2 Mallado Básico

El tamaño de las celdas es constante en todas las direcciones. Puedes crear un mallado uniforme de dos formas: ajustando el tamaño de cada celda de manera constante o modificando el número total de celdas.

Para el modelo, se estableció inicialmente un espaciado uniforme de 0.01 m. Esta decisión se tomó considerando el grosor de las rejillas presentes en el modelo. Si se utiliza un espaciado mayor a 0.01m, la representación de las rejillas no se mostrará correctamente, lo cual afectaría la precisión del modelo. Sin embargo, el uso de un espaciado menor garantiza una renderización precisa por parte del software, aunque también puede ralentizar el proceso de visualización del modelo.

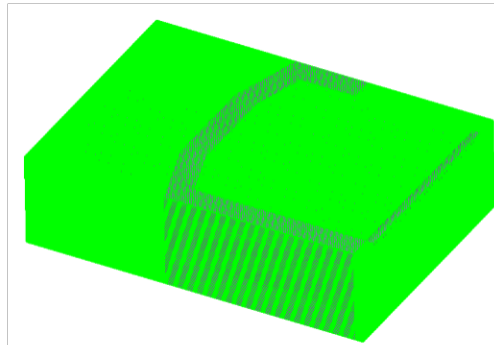


Mesh - Cartesian	
Mesh block 1: Bocatoma	
Name	Bocatoma
Size of Cells	0,01
Total Cells	1000

Gráfica 11. Mallado básico

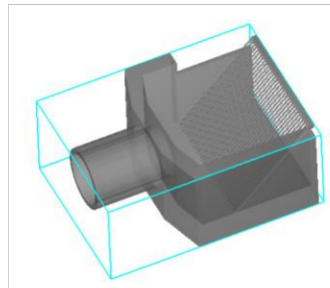
Es importante señalar que la elección del espaciado adecuado depende del nivel de detalle que se requiera. Para modelos simples, un espaciado de 0.01 puede ser suficiente para obtener resultados aceptables. Sin embargo, en casos donde se necesite una mayor precisión y definición en las rejillas,

puede ser necesario reducir el espaciado aún más, aunque esto conlleva una mayor carga computacional y un tiempo de renderización más largo.



Gráfica 12. Bloque de mallado básico

El espaciado de 0.01 se estableció como un punto de partida para el modelo, considerando el grosor de las rejillas. Aunque esto resultó en una renderización más lenta, garantizando una representación más precisa de la rejilla en el modelo.



Gráfica 13. Bocatoma renderizada a bloque simple

3.4.3 Mallado múltiple bloque

La utilización de bloques de malla múltiple en un modelo tiene un impacto significativo en la optimización del tiempo. Esto se debe a que permite dividir el proceso en varios bloques, lo cual acelera la generación de la malla.

El modelo tridimensional utilizado en este proyecto se dividió en cuatro bloques para facilitar el proceso de mallado. Se realizaron secciones específicas en diferentes áreas del sistema, incluyendo la tubería, la salida de agua en la tubería, la zona de la rejilla y la salida del fluido de la bocatoma.

En cuanto a la zona de la tubería, se estableció una distancia de 1.6 metros y un espaciado de mallado de 0.1. Esta elección se basó en el hecho de que no se observan problemas en la renderización con este espaciado de malla.

La zona de la salida de agua en la tubería, por otro lado, requería una menor distancia de 0.9 metros y un mallado más fino de 0.07. Esto se hizo para garantizar que no se pierdan detalles importantes en esta área del sistema.

La zona de la rejilla resultó ser la más importante en términos de detalle. Por lo tanto, se decidió utilizar un mallado extremadamente fino de 0.01 para capturar con precisión el tamaño de la rejilla. La distancia en esta área fue de 1.5 metros.

Finalmente, la última zona correspondió a la salida del fluido. Dado que no se requería un modelo de trabajo en esta área, se estableció un mallado de 0.1, lo cual es suficiente para nuestros propósitos.

Tabla 4. Caracterización de los bloques de mallado

	Mallado Múltiple			
Tramos longitudinales(m)	0-1,6	1,6-2,5	2,5-4	4-5
Malla	1	2	3	4
Numero de celdas	1000	1000	1000	1000
Celda(m)	0,1	0,08	0,01	0,1

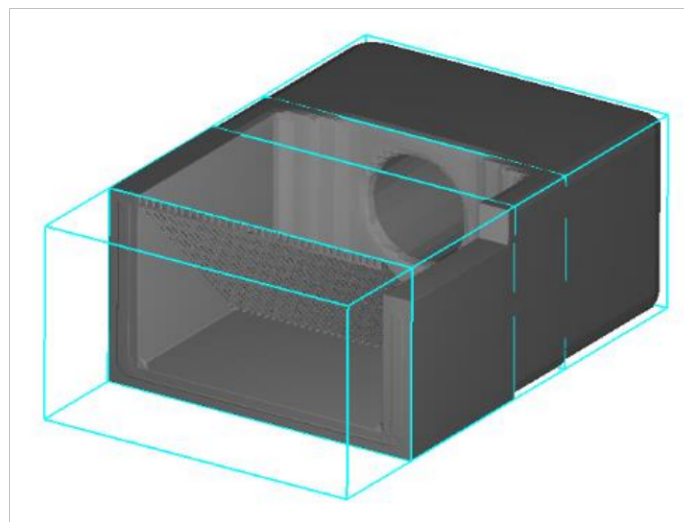
En el contexto del estudio, resulta esencial observar detalladamente la configuración geométrica de cada bloque, y esta información se encuentra sintetizada en la tabla 5. En esta tabla, se exhiben de manera clara y precisa las dimensiones que abarca cada bloque, proporcionando un punto de referencia fundamental para el análisis ulterior. Es destacable que se ha mantenido una consistencia en los ejes Y y Z, donde tanto el ancho como la altura se han mantenido invariables. Este enfoque se

justifica por el hecho de que el proceso de mallado múltiple se llevó a cabo tomando como referencia la longitud total de la bocatoma.

Sin embargo, una estrategia diferente se aplicó al eje X, en el que se ha fragmentado el dominio según las distintas zonas clave de la estructura. Este desglose se ha realizado considerando las zonas correspondientes a la tubería, la caída desde la tubería, la rejilla y, finalmente, la salida del fluido. Cada una de estas regiones ha sido sometida a una subdivisión, permitiendo un análisis más focalizado y detallado en función de las particularidades de cada área.

Tabla 5. Configuración geométrica del bloque múltiple

<i>Mallado múltiple</i>			
	<i>Dirección</i>	<i>Plano 1</i>	<i>Plano 2</i>
<i>Tubería</i>	<i>X(m)</i>	<i>0</i>	<i>1,6</i>
	<i>Y(m)</i>	<i>0</i>	<i>3,1</i>
	<i>Z(m)</i>	<i>0</i>	<i>1,8</i>
<i>Caída</i>	<i>X(m)</i>	<i>1,6</i>	<i>2,4</i>
	<i>Y(m)</i>	<i>0</i>	<i>3,1</i>
	<i>Z(m)</i>	<i>0</i>	<i>1,8</i>
<i>Rejilla</i>	<i>X(m)</i>	<i>2,4</i>	<i>4</i>
	<i>Y(m)</i>	<i>0</i>	<i>3,1</i>
	<i>Z(m)</i>	<i>0</i>	<i>1,8</i>



Gráfica 14. Bocatoma renderizada a bloques múltiples

Tabla 6. *Tiempo de generación del modelo simulado*

<i>Mallado múltiple</i>	
<i>Tiempo de simulación (seg)</i>	<i>Tiempo en generar la simulación (Horas)</i>
2	5
5	7
10	16

La tabla 6 proporciona una síntesis valiosa del tiempo empleado en la simulación, permitiendo un análisis claro de la optimización temporal alcanzada a través del mallado por bloque múltiple. En ella, se condensan los datos relacionados con el tiempo de simulación, resaltando cómo esta técnica de mallado ha influido en la eficiencia del proceso. Esta información es esencial para evaluar el impacto de esta estrategia de modelado en términos de tiempo y recursos, proporcionando una base cuantitativa para comparar y contrastar con otros enfoques de mallado.

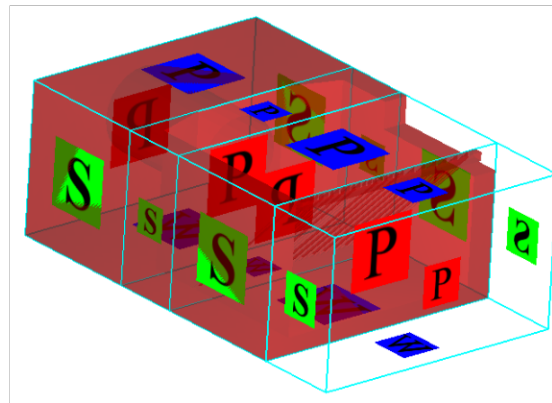
3.4.4 Parámetros del modelo tridimensional

La modelación incluye una etapa crucial en la que el criterio del diseñador adquiere gran importancia. Las condiciones iniciales son fundamentales para que la estructura se comporte de acuerdo a lo planeado.

En el análisis de este caso, se establecen condiciones de contorno específicas para los cuatro bloques de malla. Estas condiciones están diseñadas para determinar el comportamiento del flujo en relación con la altura del fluido ya conocida. Al establecer estas condiciones, se busca obtener información detallada sobre cómo se distribuye y moviliza el fluido en cada uno de los bloques de la malla. Esto permitirá una comprensión más completa de cómo afecta la altura del fluido al flujo en cada bloque y cómo se propagan los cambios a lo largo de toda la estructura.

3.4.4.1 Condiciones de contorno

Al tener 4 bloques para el modelo, se deben establecer las condiciones de contorno individualmente para cada uno. Esto se debe a que el mallado solo abarca la zona establecida, lo cual requiere considerar aspectos específicos en cada bloque. Sin embargo, es importante destacar que todo el modelo requiere establecer el comportamiento del agua a través de la bocatoma. Esta parte es fundamental para comprender y simular de manera precisa el flujo y la dinámica del agua dentro del sistema.



Gráfica 15. Condiciones de contorno del modelo

La bocatoma muestra una altura del fluido de 1.48m y, en base a esta medida, se establecerán las condiciones de ingreso y salida de cada bloque. Es crucial especificar el tipo de condición de contorno para el bloque, y para ello se utilizará la condición de presión especificada (Specified pressure).

En relación a las condiciones aplicadas al eje Z, se ha determinado que el eje mayor Z adoptará la opción de "presión especificada" (Specified pressure). Este enfoque se fundamenta en la ausencia de paredes u objetos en la parte superior de la bocatoma que pudiesen generar una influencia específica en términos de flujo de presión. Por otro lado, en contraste, para el eje menor Z, se ha optado por la condición de "muro" (Wall) debido a la presencia de la losa en la bocatoma. Esta elección se justifica dado que el flujo de agua podría enfrentar una resistencia significativa al interactuar con la losa, lo cual demanda tener en cuenta su influencia en el análisis de la dinámica del flujo en este eje.

En lo referente a las condiciones del eje Y, tanto el eje menor como el mayor, se ha decidido aplicar la condición de "simetría" (Symmetry). Esta decisión se basa en la consideración de que no se simula ni entrada ni salida de agua a través de estos ejes, centrándose exclusivamente en el análisis del flujo a lo largo del eje X. Dado que no existen variaciones notables en la dirección vertical, la condición de simetría resulta apropiada y contribuye a simplificar el análisis al eliminar factores de influencia externa que no son relevantes para los ejes Y. Esta estrategia permite focalizarse en el estudio específico del flujo en la dirección principal de interés.

3.4.4.2 Región de flujo

La región de flujo del modelo es distinta de las condiciones de contorno, ya que se define una única región para el comportamiento del modelo. Esta región se establece en función de la longitud, ancho y altura del modelo, o mediante sus coordenadas rectangulares (X, Y, Z) respectivas.

El modelo ha adoptado una perspectiva global al abarcar una región que engloba la totalidad de su extensión. Esta elección fue motivada por la necesidad de capturar todos los aspectos relevantes del fenómeno bajo investigación. Como se detalla en la tabla 6, los parámetros definidos para la región de interés resultan esenciales para garantizar la precisión del análisis. Para el eje menor X, se estableció un valor de 0, marcando el inicio de la región en ese punto, mientras que el eje mayor X alcanzó una dimensión de 5, indicando la extensión máxima en dicha dirección.

De manera análoga, en el eje Y, se tomó en cuenta el ancho total del modelo para abarcar todos los componentes pertinentes. El eje menor Y fue fijado en 0, definiendo el inicio de la región en esa coordenada, mientras que el eje mayor Y se extendió hasta 3.1, marcando la distancia máxima en esa dirección. Al considerar la dimensión Z, se aplicó la misma lógica. El eje menor Z se estableció en 0 para marcar el punto inicial de interés, mientras que el eje mayor Z se definió en 1.48, estableciendo la extensión total en esa dimensión. Estos ajustes de parámetros reflejan una consideración minuciosa de

los límites espaciales con el objetivo de asegurar que el modelo capture de manera adecuada todas las áreas y aspectos clave del fenómeno hidráulico bajo estudio.

Tabla 7. Dimensionamiento de la región de flujo

Región de flujo		
Low	X(m)	0
High	X(m)	5
Low	Y(m)	0
High	Y(m)	3,1
Low	Z(m)	0
High	Z(m)	1,48

CAPITULO IV

RESULTADOS

4 Resultados

4.1 Validación del modelo tridimensional

Mediante un proceso de aforo llevado a cabo, se logró establecer con precisión la velocidad promedio del flujo que ingresa a la bocatoma. Este procedimiento implicó una meticulosa medición de la cantidad de agua que atravesaba el punto de interés. Utilizando esta información, se procedió a realizar dos cortes en el modelo tridimensional que representa el sistema hidráulico. Estos cortes se ubicaron en las zonas específicas donde se habían realizado las mediciones de aforo. La inclusión de los datos de velocidad en estos cortes posibilitó una visualización más precisa de las variaciones en la velocidad del flujo en esas ubicaciones particulares.

Se procede a llevar a cabo una comparación detallada entre estas velocidades y las establecidas previamente en el modelo tridimensional. Esta comparación, esencial para la evaluación del rendimiento del modelo, implica un proceso minucioso de análisis estadístico en el que se confrontan los resultados del aforo con las velocidades predichas. Este análisis busca identificar discrepancias y similitudes entre los datos observados y los valores proyectados, permitiendo así una medición rigurosa de la coherencia y exactitud con las que el modelo se ajusta a la realidad.

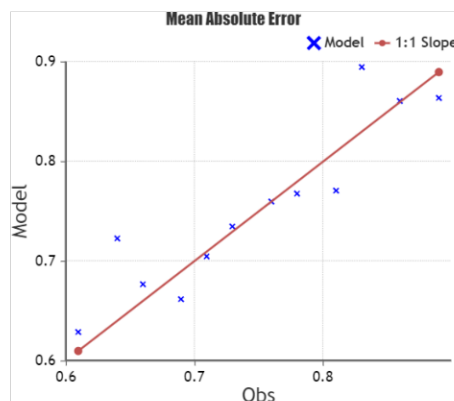
En este contexto, el análisis estadístico desempeña un papel fundamental al confrontar el aforo realizado con las velocidades establecidas en el modelo. A través de este análisis comparativo, se puede evaluar la calidad del ajuste del modelo a los datos observados, determinando si las velocidades pronosticadas concuerdan de manera consistente con las mediciones reales obtenidas mediante el molinete. Esta evaluación no solo proporciona una comprensión más profunda de la eficacia del modelo tridimensional en la predicción de las velocidades, sino que también permite detectar posibles

áreas de mejora en el ajuste y ajustar parámetros según sea necesario para mejorar la precisión del modelo en futuros análisis hidráulicos.

Tabla 8. Validación Sección 1

Vel. Modelo m/s	Aforo m/s
0,640	0,685
0,668	0,696
0,689	0,724
0,712	0,74
0,740	0,781
0,770	0,794
0,786	0,796
0,810	0,796
0,838	0,801
0,868	0,901
0,890	0,918
0,911	0,921

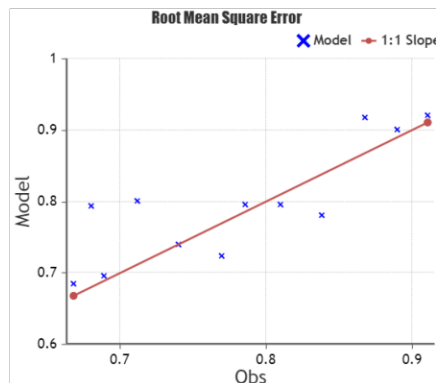
La sección 1 exhibe un coeficiente de error absoluto medio (MAE) de 0.025, lo cual prácticamente se acerca a cero con una mínima desviación. Esta cifra próxima a cero es especialmente significativa para el análisis comparativo, ya que demuestra que las predicciones realizadas en dicha sección están en sintonía prácticamente exacta con los valores reales observados.



Gráfica 16. MAE sección 1

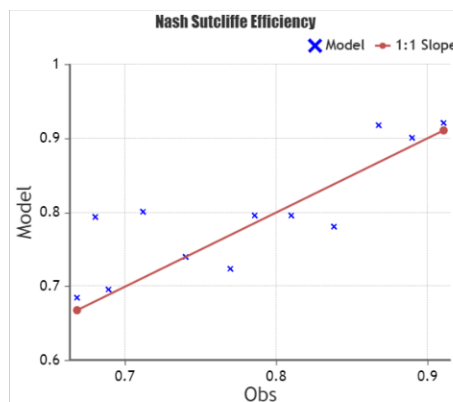
Se registra un coeficiente de error cuadrático medio (RMSE) de 0.025, lo que equivale a una aproximación extremadamente cercana a cero. Esta medida es de gran importancia para el análisis

comparativo, ya que subraya que las discrepancias entre las predicciones del modelo y los valores observados en dicha sección son mínimas.



Gráfica 17 RMSE sección 1

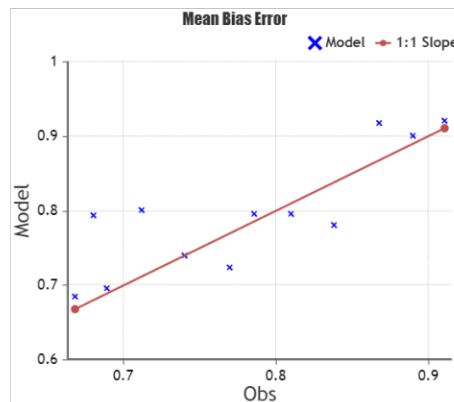
Se observa un Coeficiente de Eficiencia de 0.622. Es importante tener en cuenta que este coeficiente puede variar en un rango que incluye valores menores o iguales a 1. En este contexto, un valor mayor a 0.7 se considera estadísticamente muy adecuado.



Gráfica 18.EF₂ sección 1

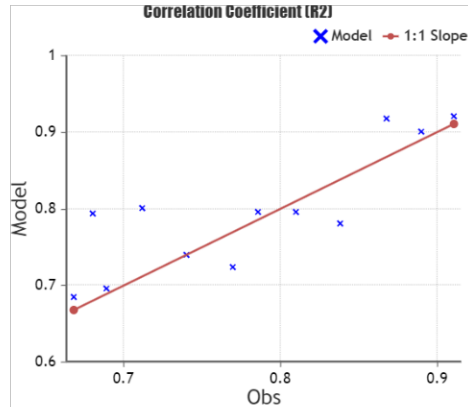
Se destaca un Coeficiente BIAS de 0.016, un valor que refleja el error medio sistemático existente entre las predicciones generadas por el modelo y los valores observados en los datos. Este coeficiente proporciona una medida cuantitativa de la tendencia del modelo a sobreestimar o subestimar las variables en juego. En este caso, un valor de 0.016 indica que existe una ligera inclinación hacia la subestimación, aunque el error sistemático es mínimo. Cabe señalar que un valor

óptimo de BIAS sería cero, lo que implicaría que no hay sesgo sistemático presente y que las predicciones del modelo se ajustan sin error promedio a los valores reales observados.



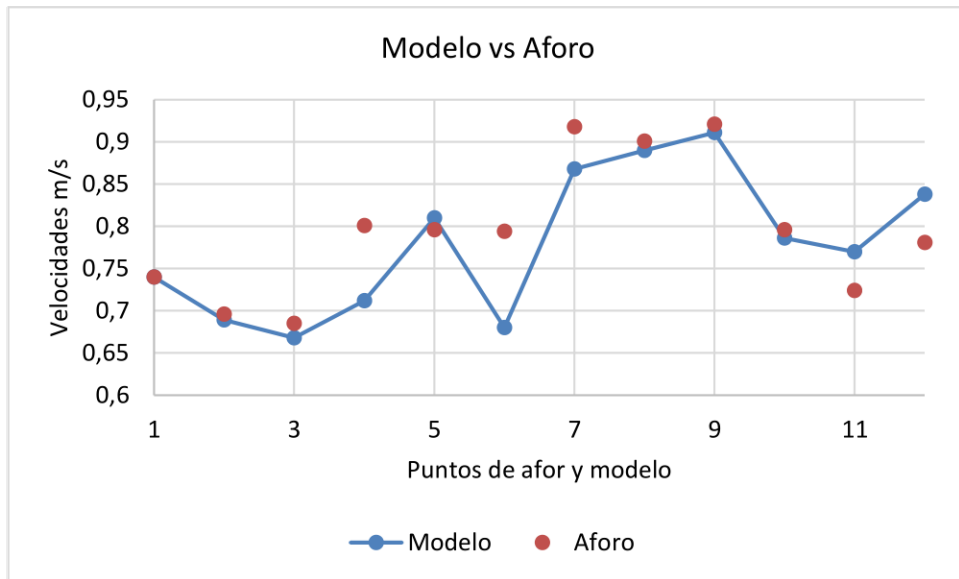
Gráfica 19. BIAS sección 1

Se observa un Coeficiente R^2 de 0.68. Este coeficiente, también conocido como coeficiente de correlación, es una medida que evalúa cómo bien las variaciones en la variable dependiente pueden ser explicadas por el modelo de regresión en comparación con la variabilidad total presente en los datos.



Gráfica 20. R^2 sección 1

La Gráfica 20 visualiza de manera clara la variación entre las velocidades predichas por el modelo y las velocidades medidas durante el aforo de la sección 1. Esta representación gráfica proporciona una visualización directa de cómo se comparan y se desvían las estimaciones del modelo con respecto a las mediciones reales.

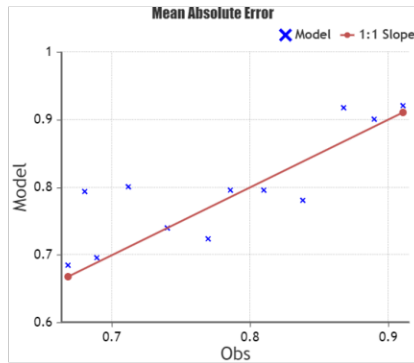


Gráfica 21. Puntos modelo vs aforo sección 1

Tabla 9. Validación sección 2

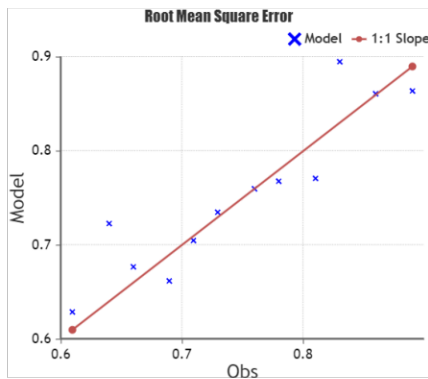
<i>Vel. Modelo m/s</i>	<i>Aforo m/s</i>
0,614	0,677
0,637	0,662
0,661	0,629
0,685	0,723
0,709	0,705
0,734	0,735
0,759	0,76
0,784	0,768
0,809	0,771
0,835	0,895
0,860	0,864
0,885	0,861

Se destaca un coeficiente de error absoluto medio (MAE) de 0.035, lo que prácticamente se acerca a cero con una desviación mínima. Indica que las diferencias entre las predicciones del modelo y los valores observados en esta sección son extremadamente pequeñas.



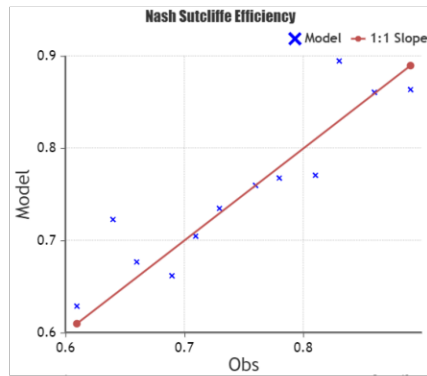
Gráfica 22.MAE sección 2

Se registra un coeficiente de error cuadrático medio (RMSE) de 0.035, lo que prácticamente equivale a una aproximación de cero en términos de desviación. Este valor cercano a cero es una indicación de que las diferencias entre las predicciones del modelo y los valores reales observados en esta sección son sumamente pequeñas.



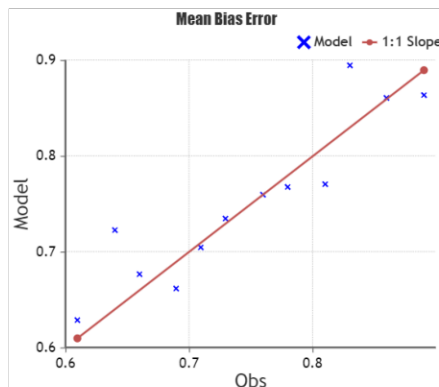
Gráfica 23.RMSE sección 2

El valor registrado de 0.83 en la sección 2 refuerza la calidad del ajuste del modelo en esta área y subraya su capacidad para proporcionar estimaciones que se alinean en gran medida con la realidad observada, un coeficiente mayor a 0.7 se considera estadísticamente adecuado y sugiere una adecuada capacidad del modelo para representar con precisión las relaciones entre las variables en juego.



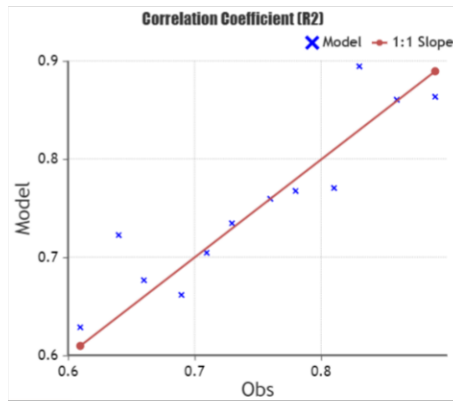
Gráfica 24.EF₂ sección 2

Se resalta un Coeficiente BIAS de 0.0017, lo que indica el error medio sistemático existente entre las predicciones del modelo y los valores observados. Este coeficiente desempeña un papel esencial al cuantificar la tendencia del modelo a sobreestimar o subestimar las variables en estudio. El valor de 0.0017 sugiere que esta sección exhibe un mínimo sesgo sistemático en las predicciones, con una tendencia muy leve hacia la subestimación.



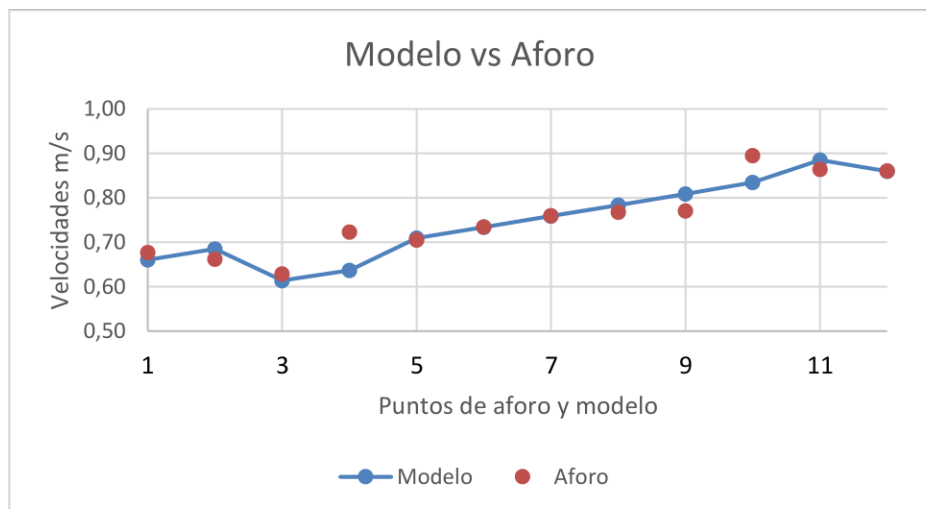
Gráfica 25.BIAS sección 2

A pesar de no llegar a la perfección, el valor de 0.837 refleja que el modelo está capturando una porción significativa de la variabilidad en los datos de la sección 2, lo que sugiere que está proporcionando un ajuste sólido y confiable para el análisis llevado a cabo.



Gráfica 26.R2 sección 2

La Gráfica 28 constituye una representación visual esclarecedora de cómo varían las velocidades pronosticadas por el modelo en comparación con las velocidades medidas durante el aforo.



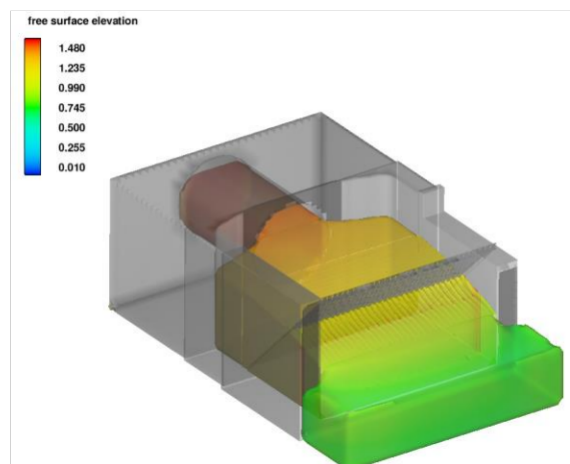
Gráfica 27. Curvas modelo vs aforo sección 2

Tabla 10. Coeficientes estadísticos

	Coeficiente estadístico			
	Sección 1		Sección 2	
MAE	0,025	Satisfactorio	0,035	Satisfactorio
RMSE	0,025	Satisfactorio	0,035	Satisfactorio
EF₂	0,622	Bueno	0,83	Muy adecuado
BIAS	0,016	Optimo	0,007	Optimo
R²	0,68	Satisfactorio	0,837	Satisfactorio

Basándonos en los datos y análisis presentados en los textos, parece que el modelo es válido y muestra un rendimiento satisfactorio en la mayoría de los aspectos evaluados en las secciones 1 y 2. En ambas secciones, se observa que los coeficientes de error (MAE y RMSE) son extremadamente bajos, lo que indica que las diferencias entre las predicciones del modelo y los valores observados son mínimas. Además, los coeficientes de eficiencia en ambas secciones son relativamente altos (0.622 en la sección 1 y 0.83 en la sección 2), lo que sugiere una buena concordancia entre las predicciones y los datos reales. Aunque en la sección 2 existe un sesgo sistemático leve según el coeficiente BIAS, su magnitud es mínima (0.0017), lo que indica que las predicciones del modelo están cerca de los valores reales. El coeficiente R^2 también proporciona evidencia de que el modelo está capturando una parte significativa de la variabilidad en los datos.

En general, los resultados positivos en términos de precisión, concordancia y rendimiento estadístico respaldan la validez y confiabilidad del modelo en ambas secciones. Sin embargo, es importante considerar que la validez de un modelo puede depender del contexto y los criterios específicos de evaluación. Sería recomendable realizar análisis adicionales y comparaciones en diferentes escenarios para tener una evaluación más completa y robusta del modelo en cuestión.



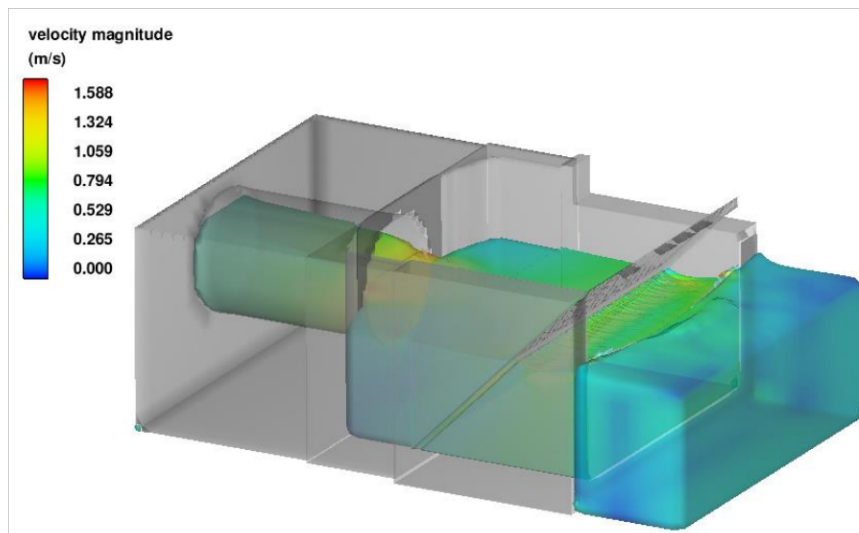
Gráfica 28. Modelo 3D estable

4.2 Resultados de la modelación tridimensional

A continuación, se presenta las diferentes características hidráulicas en el modelo validado, como la velocidad de flujo, altura de la superficie libre, tipo de flujo, entre otros. Para lo cual se representa a manera ilustrativa el comportamiento de flujo frente a la rejilla caracterizando las variables hidráulicas presentes.

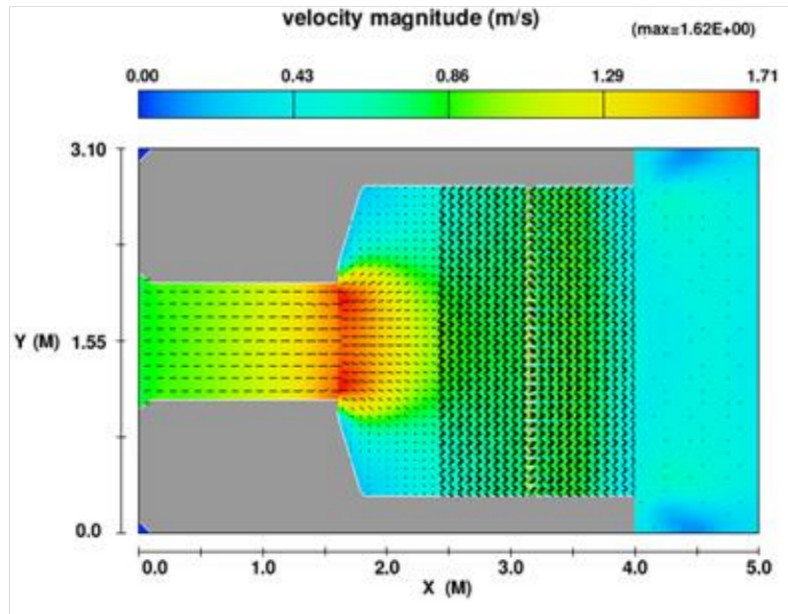
4.2.1 Magnitud de la velocidad

La gráfica 29 detalla las velocidades que se producen en toda la bocatoma, mostrando de esta manera el comportamiento espacial del fluido previo al ingreso de la rejilla y a su posterior paso por la misma.



Gráfica 29. Modelo 3D de la magnitud de la velocidad

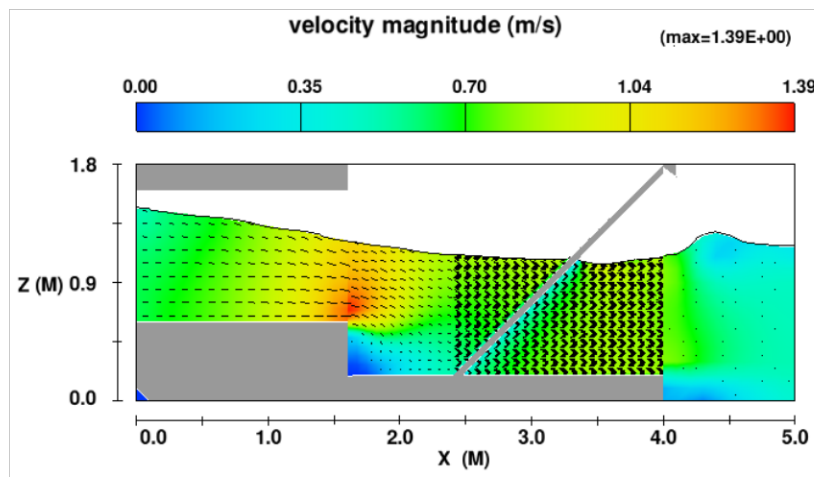
La magnitud de la velocidad y el comportamiento de flujo se caracterizó presentando una vista superior de la bocatoma, complementado con un indicador de escala de colores, el aumento producido de la velocidad en la zona de la rejilla.



Gráfica 30. Magnitud de la velocidad sección (X-Y)

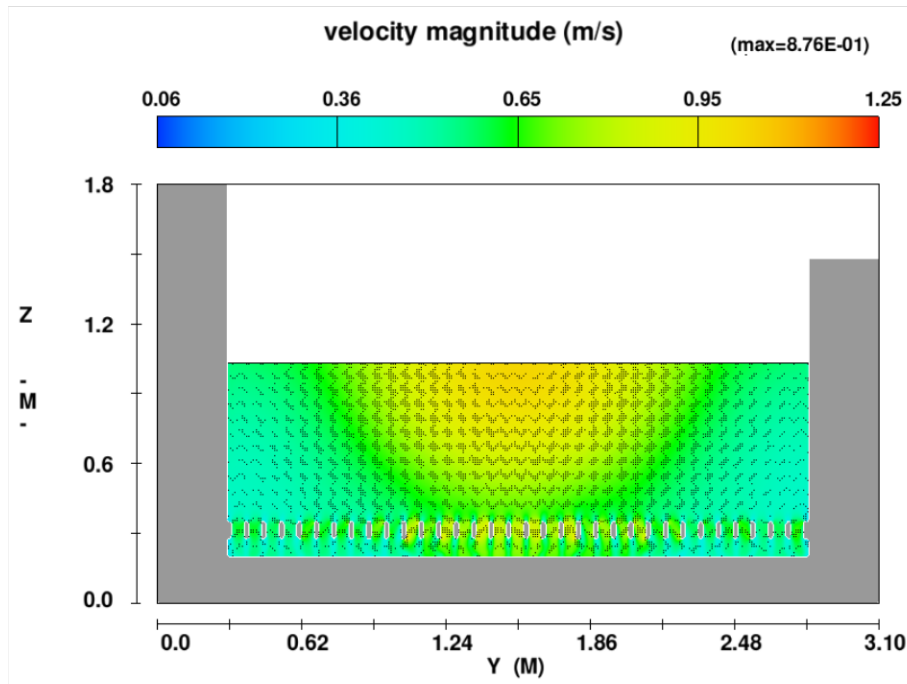
Según la gráfica 30 se presenta un incremento de la velocidad en el rango de 1.71 m/s de la salida de la tubería, así también, se presenta la velocidad en el orden de 0.86 m/s antes del paso por la rejilla, siendo esta la zona del aforado.

La vista corte X-Z del modelo presentado en la gráfica 31 muestra el aumento de la velocidad que alcanza rangos de 1.38 m/s en el punto de salida de la tubería.



Gráfica 31. Magnitud de la velocidad sección (X-Z)

El detalle Y-Z de la sección del modelo presentado en la gráfica 32 representa el comportamiento del fluido a través de la sección transversal en la bocatoma.



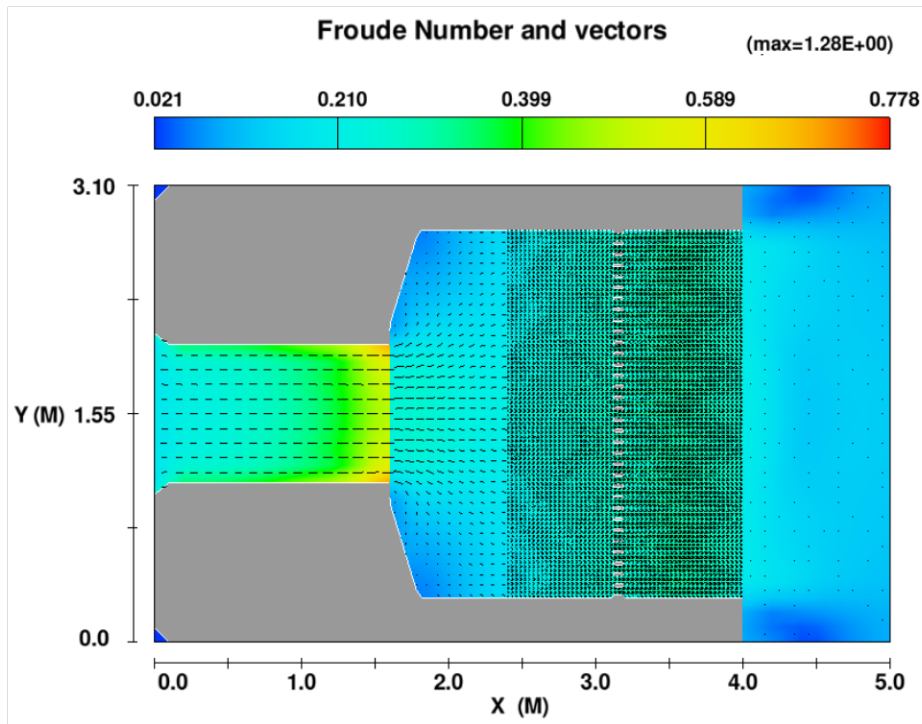
Gráfica 32. Magnitud de la velocidad sección (Y-Z)

La velocidad de flujo en el ingreso a la bocatoma es relativamente baja, rondando los 0.65 m/s. Sin embargo, es importante resaltar que se producen aumentos significativos de velocidad dentro de la bocatoma, alcanzando valores de hasta 0.95 m/s.

Aunque las velocidades de flujo sean bajas a pesar de la alta captación de caudal por parte de la planta de tratamiento de Tixán, es fundamental reconocer que esto no compromete el ingreso de agua a la bocatoma. A su vez, la infraestructura de la bocatoma está diseñada para mantener un flujo constante y óptimo, permitiendo recibir la cantidad de agua necesaria para su posterior tratamiento y distribución en la planta. Es evidente que el funcionamiento eficiente de la bocatoma garantiza la continuidad y calidad del suministro de agua potable a la comunidad.

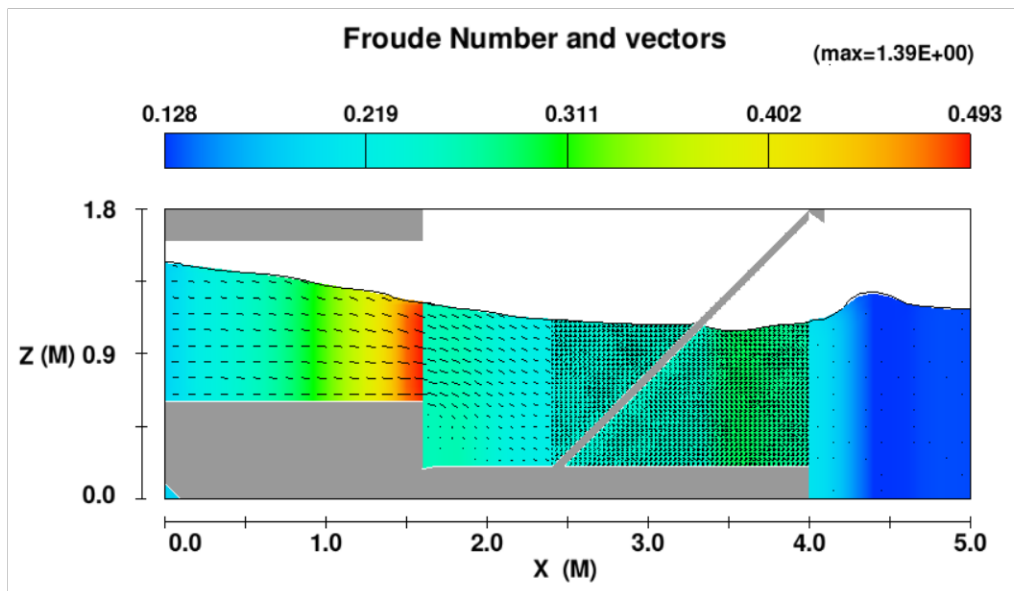
4.2.2 Numero de Froude

La Gráfica 33 detalla el comportamiento del número de Froude en funcionamiento en la bocatoma, identificando el tipo de flujo que se genera en dicha estructura. Esta gráfica presenta intervalos de 0.21 y 0.399, los cuales indican la presencia de un flujo subcrítico en la obra.



Gráfica 33. Numero de Froude sección (X-Y)

La Gráfica 34 ilustra un ligero incremento en el valor del número de Froude en las áreas cercanas a la salida de la tubería y la rejilla. Sin embargo, este aumento no es significativo como para provocar un cambio notable en el flujo.



Gráfica 34. Número de Froude sección (X-Z)

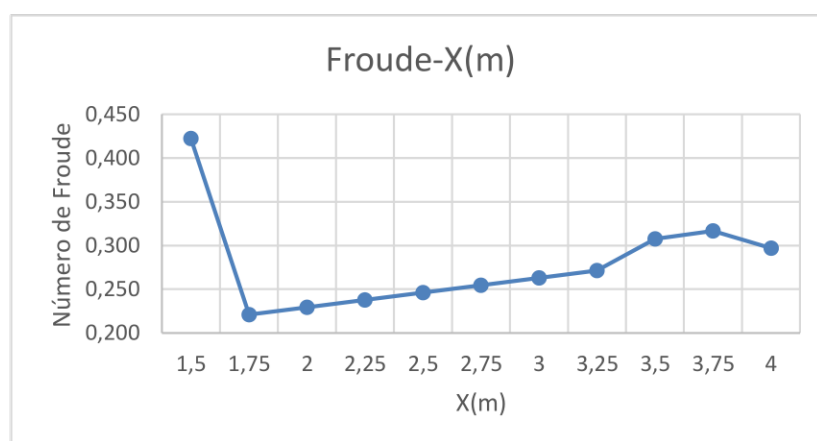
Este análisis resalta cómo el flujo hidráulico experimenta cambios notables en su comportamiento a lo largo de distancias relativamente cortas. Dicho fenómeno es evidenciado por los

valores numéricos presentes en la tabla, los cuales muestran una tendencia ascendente en el número de Froude en la mencionada zona, conforme se avanza de un tramo al siguiente.

Tabla 11. Numero de Froude – $X(m)$

$X(m)$	Froude
1,5	0,422050
1,75	0,221028
2	0,229294
2,25	0,237726
2,5	0,246325
2,75	0,254518
3	0,262867
3,25	0,271387
3,5	0,307668
3,75	0,316689
4	0,297047

Es importante señalar que los valores expuestos en la tabla 11 guardan una concordancia marcada con los datos presentados en la gráfica 33. Esta coherencia entre las dos representaciones visuales subraya la validez y consistencia de los resultados obtenidos en este estudio. La correlación entre los valores numéricos y la representación gráfica es fundamental para respaldar las conclusiones extraídas de la investigación.



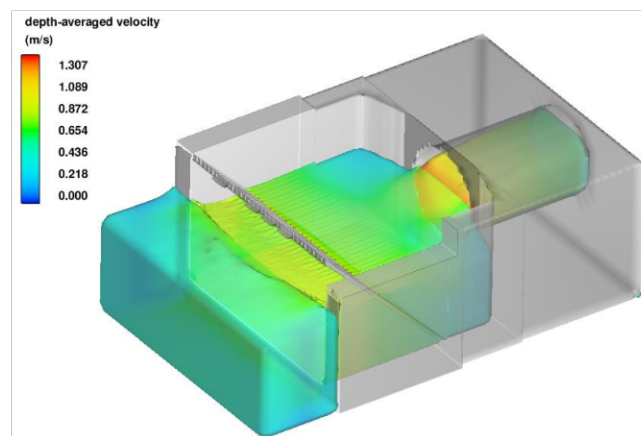
Gráfica 35. Froude Vs $X(m)$

La Gráfica 33 se concentra en analizar el número de Froude en la bocatoma, resaltando intervalos específicos: 0.21 y 0.399. Estos rangos numéricos son reveladores de un flujo subcrítico, indicando que la velocidad del flujo es menor que la velocidad de propagación de las ondas de agua. Este análisis profundiza en la naturaleza del flujo característico en la bocatoma, desempeñando un papel fundamental al evaluar la estabilidad y el desempeño hidráulico de la estructura en cuestión.

En contraste, la Gráfica 34 exhibe un ligero aumento en el número de Froude en las proximidades de la salida de la tubería y la rejilla. No obstante, se enfatiza que este incremento carece de la magnitud necesaria para ocasionar una alteración drástica en el flujo general. Tal observación sugiere que el aumento registrado en el número de Froude en esas ubicaciones no generará modificaciones sustanciales en las características globales del flujo en la estructura. La información proporcionada por esta gráfica resulta esencial para evaluar la influencia de las condiciones locales en el flujo, así como para comprender cómo cambios sutiles pueden incidir o no en el comportamiento hidrodinámico en la región de interés.

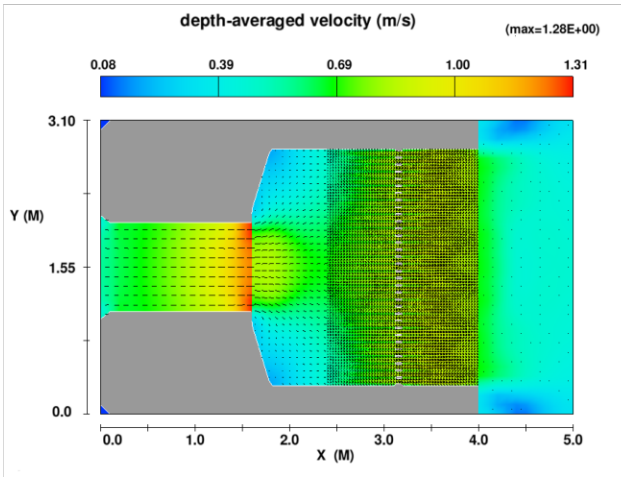
4.2.3 Velocidad Promedio de la Profundidad

La gráfica 36 representa la estimación simplificada promediada de la velocidad del flujo, mediante la profundidad, siendo que la magnitud de la velocidad en la bocatoma llega a variar en diferentes niveles, de esta forma se toma más en consideración la influencia de la profundidad.



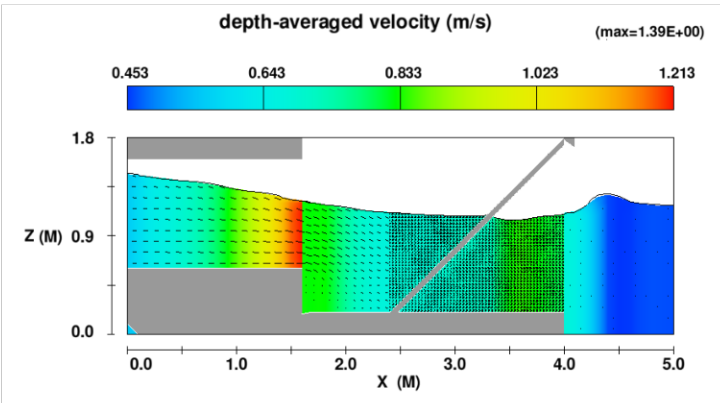
Gráfica 36. Modelo 3D de la velocidad promedio de la profundidad

La vista X-Y de la gráfica 37 explica en detalle la velocidad promedio de la profundidad que se ejerce por el flujo que ingresa a la bocatoma. La paleta de colores desglosa y expone las zonas más relevantes de la estructura hidráulica como el aumento de la velocidad de hasta 1 m/s en la zona de salida de la rejilla.



Gráfica 37. Velocidad promedio de la profundidad sección (X-Y)

De la misma manera la gráfica 38 muestra la sección Z-X de la bocatoma, donde se aprecia los aspectos relevantes de la velocidad promedio de la profundidad, mostrando el aumento de velocidades en la salida de la tubería y de la rejilla, con velocidades en el orden de 1.213 m/s y 0.833 m/s respectivamente.



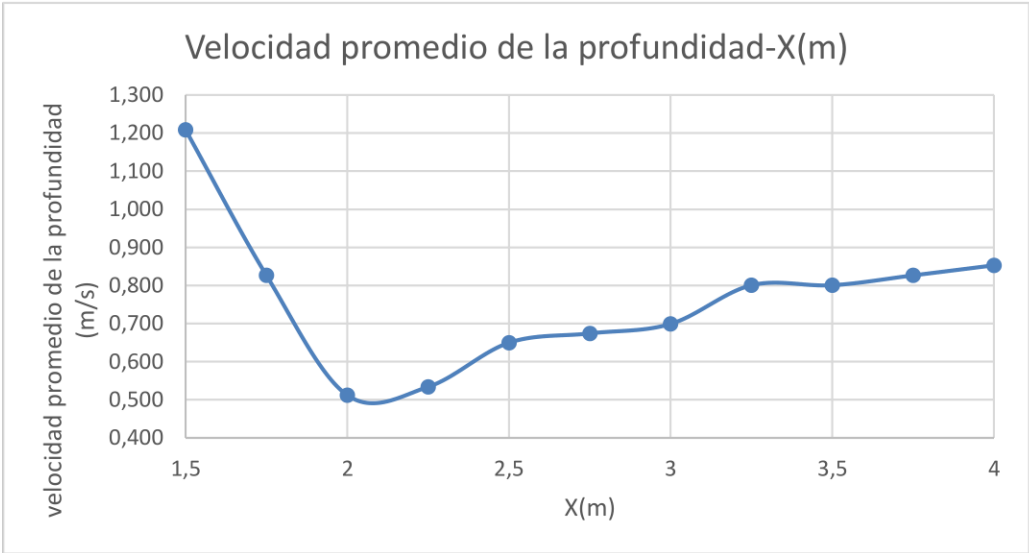
Gráfica 38. Velocidad promedio de la profundidad sección (Z-X)

Aquí, se produce un cambio drástico en los valores, con la velocidad promedio aumentando

notoriamente de 0.643 m/s a 0.833 m/s en la zona de la rejilla. Esta transformación en la velocidad del flujo resalta la influencia predominante de las características hidrodinámicas en esta área específica.

Tabla 12. Velocidad promedio de la profundidad - X(m)

X(m)	velocidad promedio de la profundidad
1,5	1,2082318
1,75	0,82648283
2	0,512152
2,25	0,533867
2,5	0,649678
2,75	0,674148
3	0,699084
3,25	0,800574
3,5	0,80057353
3,75	0,82648283
4	0,85280466



Gráfica 39. Velocidad promedio de la profundidad Vs X(m)

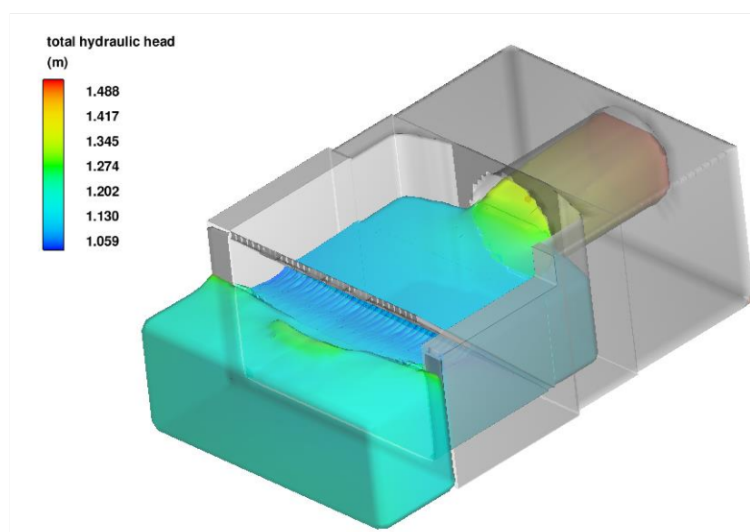
La gráfica 38 muestra la sección Z-X del modelo y proporciona información relevante sobre la velocidad en diferentes profundidades. Se observa un aumento de velocidades en la salida de la tubería y de la rejilla, alcanzando valores de 1.21m/s y 0.83 m/s respectivamente. Esto indica que, en estas

áreas específicas, el flujo de agua es más rápido. Dicho hallazgo puede ser importante para determinar posibles áreas de obstrucción o evaluar la eficiencia del sistema de tuberías y rejillas en el transporte del agua.

Por otro lado, la gráfica 37 que representa la vista X-Y, se enfoca en la velocidad promedio de la profundidad generada por el flujo. La paleta de colores utilizada en esta gráfica ayuda a distinguir las diferentes zonas relevantes de la estructura hidráulica. Se destaca un aumento en la velocidad de hasta 1 m/s en la salida de la rejilla, lo que indica una mayor intensidad del flujo en esa región específica.

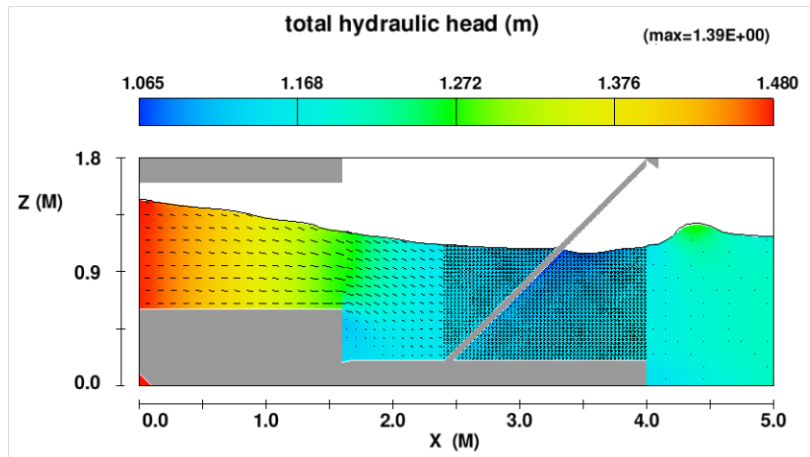
4.2.4 Altura total hidráulica

El modelo de la gráfica 40 describe el comportamiento de la energía total del fluido en movimiento, al ingreso y salida de la bocatoma.



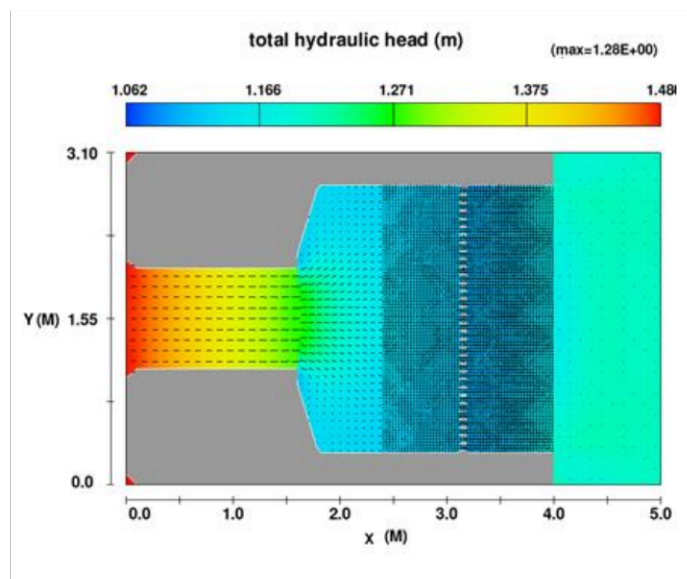
Gráfica 40. Modelo 3D de la altura total hidráulica

La vista de la gráfica 41 de la sección Z-X, explica en detalle la energía total del fluido, indicando una reducción de la energía en la zona de la rejilla, debido a la presencia de este elemento se presenta un valor en el orden de 1.168 m de altura del fluido.



Gráfica 41. Altura total hidráulica sección (X-Z)

En la vista de Y-Z de la gráfica 42 se aprecia adecuadamente lo mencionado, debido a la rejilla se produce una pérdida gradual de energía hidráulica en la bocatoma, teniendo valores de en el orden de 1.37 m que se reducen a valores medios de 1.166m.



Gráfica 42. Altura total hidráulica sección (Y-X)

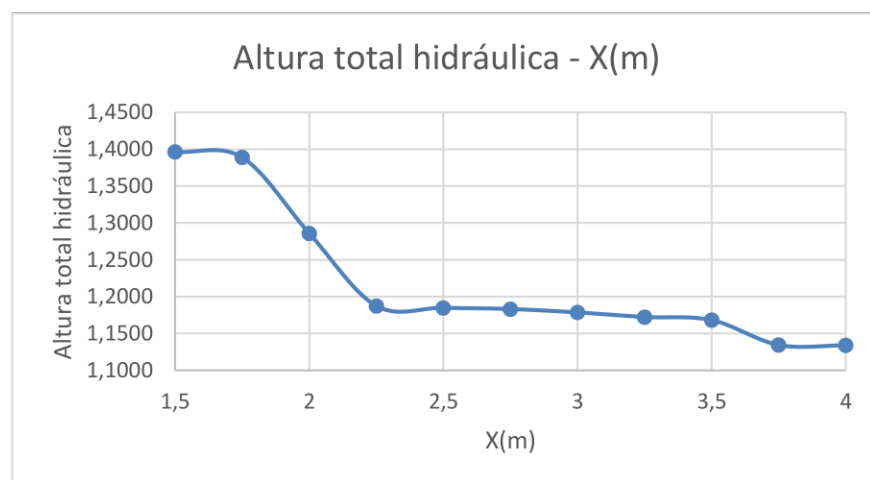
Antes de que el agua ingrese a la rejilla, se registra una pérdida de energía de tan solo 0.204 metros. Este valor mínimo sugiere que la geometría de la bocatoma y las condiciones iniciales del flujo están diseñadas de manera efectiva para mantener una pérdida de energía hidráulica

insignificante en esta etapa inicial del proceso. Sin embargo, al considerar la presencia de la rejilla en el flujo, se revela un cambio significativo en el panorama.

Tabla 13. *Altura total hidráulica - X(m)*

<i>X(m)</i>	<i>Altura total hidráulica</i>
1,5	1,3964
1,75	1,3889
2	1,286
2,25	1,1876
2,5	1,1849
2,75	1,1832
3	1,1786
3,25	1,1724
3,5	1,1682
3,75	1,13447
4	1,13396

La introducción de la rejilla en la bocatoma resulta en una pérdida de energía hidráulica considerable, alcanzando los 0.204 metros. Esta diferencia sustancial indica que la presencia de la rejilla conlleva una disrupción significativa en el flujo de agua, provocando una mayor pérdida de energía en comparación con la fase previa sin la rejilla.



Gráfica 43. Altura total hidráulica Vs X(m)

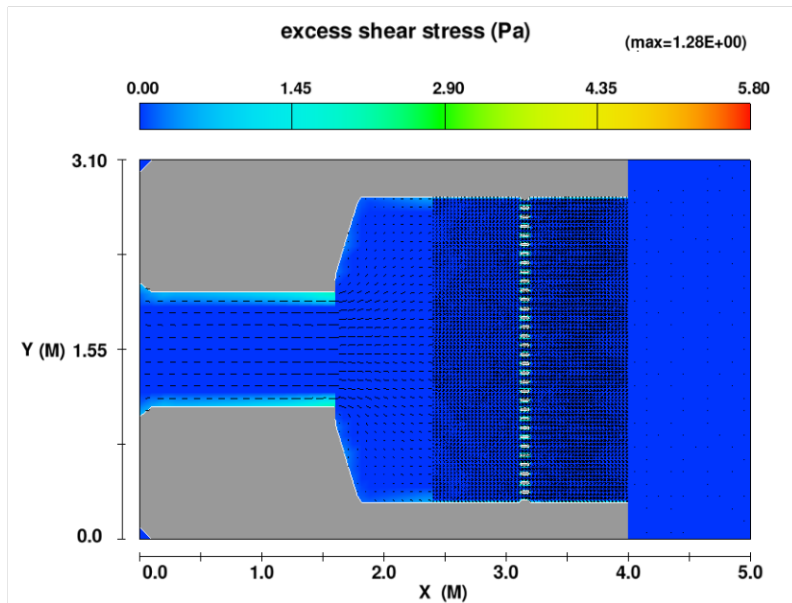
Para ilustrar esta transformación, la gráfica que muestra la variación de la altura total hidráulica en función de la distancia "X" a lo largo de la bocatoma demuestra de manera vívida el contraste entre las dos condiciones. El punto en el que se introduce la rejilla se destaca claramente en la gráfica, mostrando una marcada caída en la altura hidráulica, lo que refleja la pérdida de energía inducida por la presencia de la rejilla en el flujo.

En la gráfica 41 la vista Z-X, se observa que la energía total del fluido disminuye en la zona de la rejilla, con un valor de aproximadamente 1.16 m de altura. Esta disminución de energía se debe a la presencia de la rejilla, lo que produce una reducción o pérdida de energía en esa área específica.

Por otro lado, en la vista Y-X de la gráfica 42 se aprecia de manera adecuada lo mencionado con respecto a la gráfica 41. Debido a la rejilla en la bocatoma, se produce una pérdida uniforme de energía del fluido. Se pueden observar valores de aproximadamente 1.37 m que se reducen posteriormente a valores medios de 1.16 m.

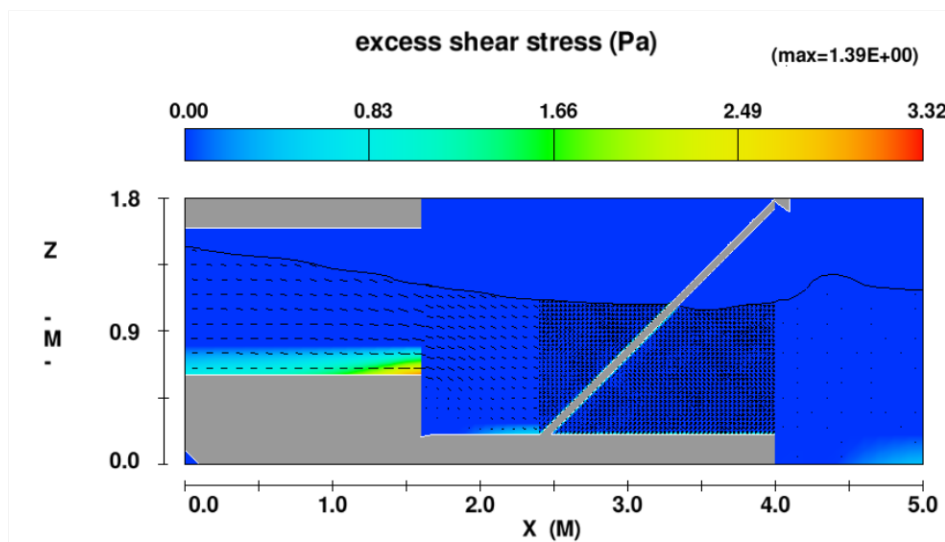
4.2.5 Esfuerzo cortante.

El esfuerzo cortante producido en el modelo de la bocatoma presenta bajos esfuerzos en el rango de 2.9 Pa, que abarca principalmente en la zona de la rejilla, mostrando un bajo esfuerzo cortante en las diferentes zonas de la bocatoma.



Gráfica 44. Esfuerzo Cortante sección (X-Y)

La sección Z-X presentada en la gráfica 45 detalla la lámina del esfuerzo cortante, que exhibe un valor cortante en el rango de 1.66 Pa, pero se destaca el esfuerzo cortante que se produce en la salida de la tubería, llegando hasta los 2.49 Pa.



Gráfica 45. Esfuerzo cortante sección (X-Z)

El modelo de la bocatoma presenta bajos niveles de esfuerzo cortante, con valores de alrededor de 1.66 Pa en la zona de la rejilla. Esto indica que, en esta área en particular, no se producen fuerzas significativas de corte. Además, en la sección Z-X representada en la gráfica 45, se distingue un valor de esfuerzo cortante, en el orden de 2.49 Pa a la salida de la tubería.

Estos resultados sugieren que la estructura de la bocatoma está experimentando fuerzas de corte mínimas en general y que la mayor concentración de esfuerzo cortante se encuentra en la zona de la salida de la tubería. Esto puede tener implicaciones importantes para la resistencia de la bocatoma, ya que, al ser un valor bajo, es poco probable que se generen problemas relacionados con la resistencia estructural, garantizando su funcionamiento.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

El análisis realizado revela que las velocidades de la bocatoma se mantienen en condiciones óptimas, lo que demuestra la eficiencia del sistema en el transporte del agua captada del río Machángara. Estas velocidades aseguran un flujo óptimo, fundamental para el tratamiento y la distribución del agua potable a la comunidad.

La presencia de la rejilla en la bocatoma provoca una disminución de la energía total del fluido en esa área, pero los valores obtenidos indican que la infraestructura sigue funcionando adecuadamente y garantiza la continuidad y calidad del suministro de agua potable.

El análisis de esfuerzos cortantes muestra que la bocatoma experimenta fuerzas de corte mínimas en general, lo que sugiere una resistencia adecuada de la estructura. La mayor concentración de esfuerzo cortante se presenta en la zona de la salida de la tubería, aunque baja, debe seguir siendo monitoreada para asegurar el buen funcionamiento y evitar problemas futuros.

El análisis de los resultados sugiere que la bocatoma opera de manera apropiada, asegurando un suministro constante y de calidad de agua potable para la comunidad. Además, la infraestructura muestra una resistencia adecuada, con esfuerzos cortantes mínimos que no representan un problema en su funcionamiento. Los resultados respaldan la eficiencia y confiabilidad de la bocatoma en el manejo del flujo de agua.

En la investigación llevada a cabo, se determinó que el caudal aforado en la bocatoma se encuentra en un intervalo que se encuentra en el rango de 0.99 y 1.22 m³/s. Esta precisión en las

mediciones ha resultado ser de gran importancia, ya que ha permitido establecer el orden del caudal aforado que será utilizado en la simulación tridimensional.

Al analizar las gráficas 20 y 26, se observa claramente que se producen variaciones en las velocidades entre los datos del aforo y los resultados de la simulación. Estas diferencias son el resultado de las fluctuaciones de turbulencia que están presentes en el flujo estudiado. La turbulencia, como fenómeno inherente a los flujos de baja viscosidad, conlleva cambios y movimientos caóticos en la velocidad del agua, lo que afecta directamente la precisión de la simulación. Por lo tanto, estas variaciones en las velocidades entre el aforo y la simulación pueden atribuirse a la influencia de la turbulencia en el sistema, entre otros.

El proceso de calibración del modelo tridimensional en base a los datos experimentales establecidos previamente, desempeñó un papel fundamental. Gracias a esto, es posible establecer las condiciones de contorno adecuadas para el comportamiento del modelo tridimensional, lo que a su vez permite entender el comportamiento del fluido en la bocatoma.

La aplicación de mallado múltiple permite optimizar tiempo en la simulación del modelo tridimensional, así estableciendo la zona de mayor interés con un mallado pequeño, y para lugares donde no se altere la renderización al utilizar mallas más grandes.

Se aplicó el modelo de turbulencia $k-\varepsilon$, y se observaron cambios o alteraciones notables en comparación con el modelo de turbulencia laminar previamente utilizado. Esto concuerda con la información proporcionada en el manual hidráulico de Flow 3D, que indica que el modelo de turbulencia $k-\varepsilon$ es más adecuado para situaciones de alta turbulencia y magnitud, lo que sugiere que su implementación en este contexto se tuvo un impacto significativo en los resultados obtenidos.

La aplicación esquemas de CFD permite detallar características hidráulicas necesarias para estudios de la misma índole, sin embargo, es importante conocer la zona estudio y estructura para

entender el comportamiento del fluido que se pretende analizar, así de esta manera interpretar los resultados brindados por la simulación.

5.2 Recomendaciones

A pesar de que el enfoque tridimensional del modelo hidráulico brinda la capacidad de analizar características detalladas en el flujo, es importante considerar la naturaleza de las estructuras en estudio. En casos donde las velocidades del flujo no son excesivamente altas y la turbulencia es limitada, se sugiere emplear estudios bidimensionales para agilizar el proceso de análisis sin comprometer la calidad de los resultados. Esta estrategia puede ser particularmente útil para optimizar el tiempo necesario en la evaluación de sistemas hidráulicos con condiciones más suaves.

La elección del modelo de turbulencia adecuado desempeña un papel fundamental en la precisión del análisis hidráulico. En este contexto, se optó por el modelo $k-\varepsilon$ debido a la turbulencia observada en la bocatoma. No obstante, se recomienda consultar el manual hidráulico del software utilizado, ya que este proporciona información detallada sobre el funcionamiento de los distintos modelos de turbulencia disponibles y ofrece orientación sobre su aplicación en casos específicos.

Aunque la captación actualmente direcciona correctamente el agua a la bocatoma y rejilla sin dificultades, es prudente llevar a cabo un estudio detallado del arrastre de material de partículas discretas. Este análisis permitirá identificar posibles escenarios de acumulación de sedimentos o bloqueos en la bocatoma, lo que podría dar lugar a daños o interrupciones en el flujo. Abordar este aspecto es esencial para mantener un funcionamiento hidráulico eficiente y prevenir problemas a largo plazo en la operatividad de la estructura. Sin embargo, dada la situación y observando los materiales flotantes como hojas, se recomienda limpiar diariamente este material en la rejilla porque cambian las condiciones de flujo y disminuye el caudal de ingreso

CAPITULO VI

ANEXOS

6 Anexos



Gráfica 46. A1



Gráfica 47. A3



Gráfica 48. A2



Gráfica 49. A5



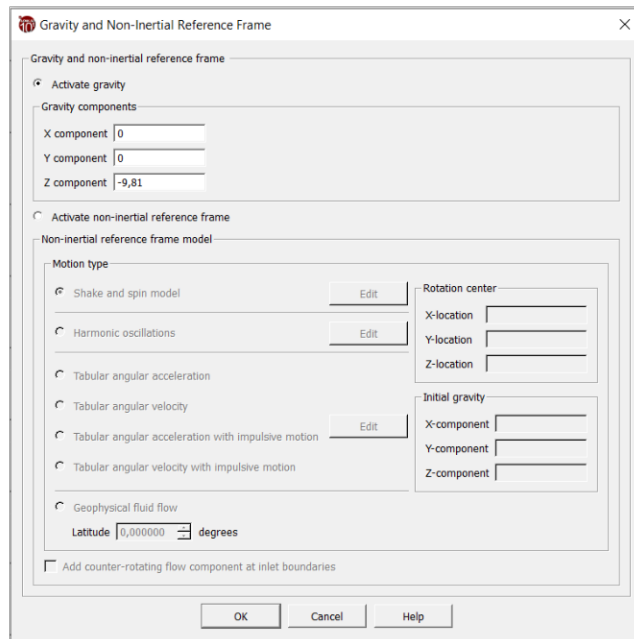
Gráfica 50. A6



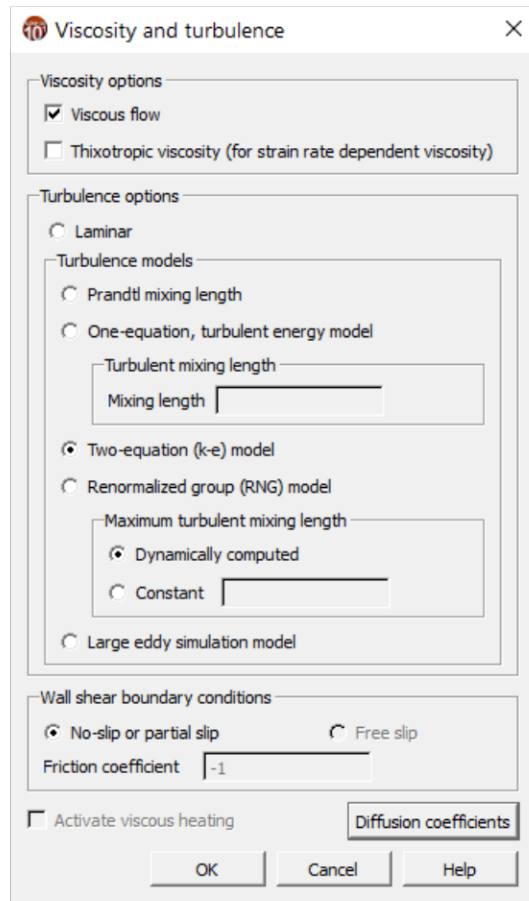
Gráfica 51. A7



Gráfica 52. A8



Gráfica 53. A9



Gráfica 54. A10

Mesh block 1: Tuberia	
Name	Tuberia
Size of Cells	0,1
Total Cells	1000
X direction	
Total Cells	
Mesh Plane 1	0
Mesh Plane 2	1,6
Y direction	
Total Cells	
Mesh Plane 1	0
Mesh Plane 2	3,1
Z direction	
Total Cells	
Mesh Plane 1	0
Mesh Plane 2	1,8
Boundaries	

Gráfica 55.A11

Mesh block 2: Caida	<input type="checkbox"/>	
Name		Caida
Size of Cells		0,07
Total Cells		1000
X direction	<input type="checkbox"/>	
Total Cells		
Mesh Plane 1	<input type="checkbox"/>	1,6
Mesh Plane 2	<input type="checkbox"/>	2,4
Y direction	<input type="checkbox"/>	
Total Cells		
Mesh Plane 1	<input type="checkbox"/>	0
Mesh Plane 2	<input type="checkbox"/>	3,1
Z direction	<input type="checkbox"/>	
Total Cells		
Mesh Plane 1	<input type="checkbox"/>	0
Mesh Plane 2	<input type="checkbox"/>	1,8
Boundaries	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Shallow water mesh block		

Gráfica 56. A12

Mesh block 3: rejilla	<input type="checkbox"/>	
Name		rejilla
Size of Cells		0,01
Total Cells		1000
X direction	<input type="checkbox"/>	
Total Cells		
Mesh Plane 1	<input type="checkbox"/>	2,4
Mesh Plane 2	<input type="checkbox"/>	4
Y direction	<input type="checkbox"/>	
Total Cells		
Mesh Plane 1	<input type="checkbox"/>	0
Mesh Plane 2	<input type="checkbox"/>	3,1
Z direction	<input type="checkbox"/>	
Total Cells		
Mesh Plane 1	<input type="checkbox"/>	0
Mesh Plane 2	<input type="checkbox"/>	1,8
Boundaries	<input type="checkbox"/>	

Gráfica 57. A13

Mesh block 4: salida	<input type="text" value="salida"/>
Name	salida
Size of Cells	0,1
Total Cells	1000
X direction	
Total Cells	
Mesh Plane 1	4
Mesh Plane 2	5
Y direction	
Total Cells	
Mesh Plane 1	0
Mesh Plane 2	3,1
Z direction	
Total Cells	
Mesh Plane 1	0
Mesh Plane 2	1,8
Boundaries	

Gráfica 58. A14

Mesh block 1 [X Min Boundary] ×

Boundary type

Symmetry
 Continuitive
 Specified pressure
 Grid overlay
 Wave
 Wall
 Periodic
 Specified velocity
 Outflow
 Volume flow rate

<input type="checkbox"/> Velocity X Velocity <input type="text"/> Y velocity <input type="text"/> Z velocity <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Pressure <input type="text"/> <input checked="" type="checkbox"/> Stagnation pressure	<input type="checkbox"/> Fluid fraction <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Fluid elevation <input type="text" value="1,48"/>
<input type="checkbox"/> Density <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Alloy solute concentration <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Sediment <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Scalars <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Electric Charge <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Specified potential boundary <input type="checkbox"/> Electric potential <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Non-condensable gas volume fraction <input type="text"/>		<input type="checkbox"/> Relative saturation <input type="text"/>

Turbulence quantities
 Thermal information

Gráfica 59. A15

Mesh block 1 [X Max Boundary]

Boundary type

Symmetry Continuitive Specified pressure Grid overlay Wave
 Wall Periodic Specified velocity Outflow Volume flow rate

Velocity
 X Velocity
 Y velocity
 Z velocity

Pressure
 Stagnation pressure

Fluid fraction
 Fluid elevation 1,48

Density
 Alloy solute concentration

Sediment
 Scalars

Electric Charge
 Specified potential boundary
 Electric potential

Non-condensable gas volume fraction Relative saturation

Turbulence quantities Thermal information

OK Cancel

Gráfica 60. A16

Mesh block 2 [X Min Boundary]

Boundary type

Symmetry Continuitive Specified pressure Grid overlay Wave
 Wall Periodic Specified velocity Outflow Volume flow rate

Velocity
 X Velocity
 Y velocity
 Z velocity

Pressure
 Stagnation pressure

Fluid fraction
 Fluid elevation 1,48

Density
 Alloy solute concentration

Sediment
 Scalars

Electric Charge
 Specified potential boundary
 Electric potential

Non-condensable gas volume fraction Relative saturation

Turbulence quantities Thermal information

OK Cancel

Gráfica 61. A17

Mesh block 2 [X Max Boundary]

Boundary type

Symmetry Continuitive Specified pressure Grid overlay Wave
 Wall Periodic Specified velocity Outflow Volume flow rate

Velocity
 X Velocity
 Y velocity
 Z velocity

Pressure
 Stagnation pressure

Fluid fraction
 Fluid elevation 1,48

Density
 Alloy solute concentration

Sediment
 Scalars

Electric Charge
 Specified potential boundary
 Electric potential

Non-condensable gas volume fraction Relative saturation

Turbulence quantities Thermal information

OK Cancel

Gráfica 62. A18

Mesh block 3 [X Min Boundary]

Boundary type

Symmetry Continuative Specified pressure Grid overlay Wave
 Wall Periodic Specified velocity Outflow Volume flow rate

Velocity
 X Velocity
 Y velocity
 Z velocity

Pressure
 Stagnation pressure

Fluid fraction
 Fluid elevation

Density
 Alloy solute concentration

Sediment
 Scalars

Electric Charge
 Specified potential boundary
 Electric potential

Non-condensable gas volume fraction Relative saturation

Turbulence quantities Thermal information

Gráfica 63. A19

Mesh block 3 [X Max Boundary]

Boundary type

Symmetry Continuative Specified pressure Grid overlay Wave
 Wall Periodic Specified velocity Outflow Volume flow rate

Velocity
 X Velocity
 Y velocity
 Z velocity

Pressure
 Stagnation pressure

Fluid fraction
 Fluid elevation

Density
 Alloy solute concentration

Sediment
 Scalars

Electric Charge
 Specified potential boundary
 Electric potential

Non-condensable gas volume fraction Relative saturation

Turbulence quantities Thermal information

Gráfica 64. A20

Mesh block 4 [X Min Boundary]

Boundary type

Symmetry Continuative Specified pressure Grid overlay Wave
 Wall Periodic Specified velocity Outflow Volume flow rate

Velocity
 X Velocity
 Y velocity
 Z velocity

Pressure
 Stagnation pressure

Fluid fraction
 Fluid elevation

Density
 Alloy solute concentration

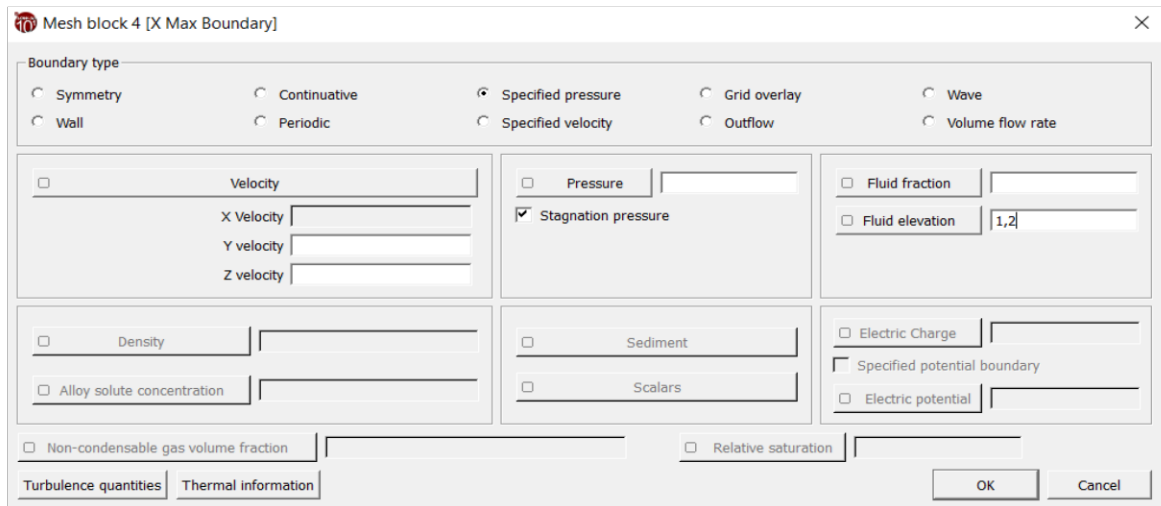
Sediment
 Scalars

Electric Charge
 Specified potential boundary
 Electric potential

Non-condensable gas volume fraction Relative saturation

Turbulence quantities Thermal information

Gráfica 65. A21



Gráfica 66. A22

7 Bibliografía

Arteaga-Acuña, F. (2017). ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA BOCATOMA MARÍA

AUXILIADORA DEL RÍO QUIROZ CON MODELO NUMÉRICO TRIDIMENSIONAL

[Thesis, Universidad de Piura].

[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3245/ICI_244.pdf?sequence=1&isAllowed](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3245/ICI_244.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

=y

Banchón Bustillos, F. F., & Pincay Villafuerte, J. C. (2022). Análisis y propuesta de mejora del

sistema de Captación de agua cruda a la planta de tratamiento de agua potable ubicada en el

cantón Rocafuerte, provincia de Manabí [Thesis, Universidad de Guayaquil - Facultad de

Ciencias Matemáticas y Físicas - Carrera de Ingeniería Civil].

<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/60785>

Baque, M., & Stalin, D. (2018). MOD ELO PARA EL CÁLCULO HIDRÁULICO EN

CAPTACIONES DE AGUA S SUPERFICIAL ES MEDIANTE UNA APLICACIÓN

INFORMÁTICA [BachelorThesis, JIPIJAPA-UNESUM].

<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1407>

- Basante, P. F. M. (2017). EVALUACIÓN Y REDISEÑO HIDRÁULICO DESDE LA BOCATOMA HASTA EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO EN LA CABECERA DEL CORREGIMIENTO DE SAN JUAN MUNICIPIO DE IPIALES, DEPARTAMENTO DE NARIÑO. 2017.
<https://repositorio.uniautonoma.edu.co/bitstream/handle/123456789/206/T%20IA-P%20067%202017.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- Benites Gracia, L. del C., & Lázaro Gutiérrez, A. L. del P. (2018). Diseño y modelamiento numérico de la bocatoma Poroto, Trujillo, La Libertad. Universidad Privada Antenor Orrego.
<https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4443>
- Brozovsky, J., Simonsen, A., & Gaitani, N. (2021). Validation of a CFD model for the evaluation of urban microclimate at high latitudes: A case study in Trondheim, Norway. *Building and Environment*, 205, 108175. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108175>
- Chandi Pozo, P. J., & Escobar Montenegro, J. F. (2018). Modelación numérica tridimensional de los vertederos de excesos de la Presa Toachi mediante el programa FLOW-3D. [Bachelor Thesis, Quito, 2018.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19487>
- Chingate Chingate, E. A., Álvarez Ávila, H. S., & León Luna, N. (2021). Diseño y construcción de un prototipo de bocatoma lateral para el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/34576>
- Felices, A. (2003). La bocatoma, estructura clave en un proyecto de aprovechamiento hidráulico. Obtenido de [http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/ROCHA/La_bocatoma](http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/ROCHA/La_bocatoma....)
- Flow Science. (2008). Flow 3D User Manual. Flow-3D. www.flow3d.com
- Gutierrez Garcia, D. (2020). Modelo 3D de la entrada de agua en una estación de metro de Barcelona [Bachelor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya].
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/332202>

- Jimenez Motta, J. V. (2019). Evaluación del funcionamiento hidráulico del aliviadero de la presa Gallito Ciego mediante modelación numérica tridimensional. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3849>
- Jiménez-Carballo, C. A. (2018). Dinámica de fluidos viscosos.
- Menéndez, A. N., Lecertua, E. A., & Badano, N. D. (2014). Optimización del diseño del sistema de llenado/vaciado del Tercer Juego de Esclusas del Canal de Panamá. RIBAGUA - Revista Iberoamericana del Agua, 1(1), 4-13. [https://doi.org/10.1016/S2386-3781\(15\)30003-7](https://doi.org/10.1016/S2386-3781(15)30003-7)
- Neromylioti, T. (2020). Estimating the probability of levee failure for flood risk mapping [Thesis, KTH Royal Institute of Technology]. <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1410875/FULLTEXT01.pdf>
- Ochoa, J. F. (2011). PERFILES DE FLUJO Y DIMENSIONAMIENTO DE REJILLAS EN BOCATOMAS DE FONDO UTILIZANDO EL MÉTODO DE MOSTKOW.
- Ochoa, S. A. (2014). Evaluación de modelos hidrodinámicos para representar flujos en cauces naturales: Aplicación en un tramo del Río Suquía que incluye la confluencia con el arroyo La Cañada, Provincia de Córdoba [MasterThesis, Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.]. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1467>
- Pedroza González, E. (2017). El molinete, importancia, fundamentos y buenas prácticas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/2185>
- Restrepo Bustamante, S. (2011). Solución a de la ecuación de Navier-Stokes por Diferencias Finitas.
- Richmond, G. (2019). Modelos de turbulencia introductorio. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21060.17289>
- Silva Bastidas, R. C. (2019). Modelación numérica tridimensional del medidor de caudal tipo Palmer-Bowlus aplicando el programa Flow 3D [BachelorThesis, Quito, 2019.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20385>

Suquilanda Ramón, T. J., & Tacuri Jaramillo, J. I. (2021). Estudio para la optimización del volumen de agua en los embalses de Mazar y Amaluza en la provincia del Azuay-Ecuador. Universidad Católica de Cuenca. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11553>

Ur Rahman, F. (2021, noviembre 5). Trash Racks: Types, Installation, and Maintenance. The Constructor. <https://theconstructor.org/water-resources/trash-racks/559412/>

Valencia, I. J. D. (2014). MODELO DE REPORTE DE DAÑOS DE LA INFRAESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO EN COLOMBIA.

Viccione, G., & Izzo, C. (2022). Three-dimensional CFD modelling of urban flood forces on buildings: A case study. *Journal of Physics: Conference Series*, 2162(1), 012020. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2162/1/012020>

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Paul Israel Salinas Vargas portador de la cédula de ciudadanía N.º 0107370058. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA TRIDIMENSIONAL DEL INGRESO DE AGUA A LA BOCATOMA LATERAL DE LA CAPTACIÓN PARA LA PTAP DE TIXÁN” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 19 de octubre de 2023

F:


Paul Israel Salinas Vargas
0107370058