

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y
CIVIL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**Análisis de vórtices en el río Cachi a través de la dinámica de fluidos
computacional al pie del puente Allcomachay, Ayacucho 2024**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. Max Limber FLORES DIAZ

ASESOR:

Mg. Ing. Alex Sander IRCAÑAUPA HUAMANÍ

AYACUCHO - PERÚ

2025

Dedicatoria

A mis padres Maximo y Juana, hermanos Aldayr y Grisel, por su amor incondicional, apoyo constante y por darme guía en los momentos más difíciles y hacer la realidad el presente trabajo de investigación.

Agradecimientos

Un enorme agradecimiento a mi querida Universidad de San Cristobal de Huamanga, y todos los docentes que pudieron compartir el conocimiento para mi formación como Ingeniero Civil.

Al asesor del presente trabajo Mg. Ing. Alex Sander Ircañaupa Huamani, por el tiempo y el aporte aportado a la investigación en la Ingeniería Hidráulica.

A los docentes de mi vida universitaria por la enseñanza y apoyo que tuvieron conmigo en la asesoría de los trabajos de investigación.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
AYACUCHO - PERÚ , MARZO 2025

Max Limber Flores Diaz

Resumen

El CFD posibilita el análisis preciso de fluidos, disminuyendo así costos y tiempo. Promueve la simulación de situaciones complejas, la mejora de diseños y la optimización de la eficiencia en aplicaciones industriales sin requerir evaluaciones físicas. En esta investigación se ha desarrollado dos simulaciones del Río Cachi con la intersección del puente Allccomachay, para poder identificar las zonas donde se producen vórtices en flujos, se tomaron como condiciones iniciales un caudal de 1602.8m³/seg distribuidos en el Río Cachi donde al intersectar a los pilares del puente se ha evidenciado la formación de vórtices, también se han detectado que el cambio de dirección de los vectores de velocidad influyen en la formación de vórtices, que se producen al colisionar con los pilares, también se ha visto como influye el cambio de presión y turbulencia en la formación de vórtices.

Se han desarrollado dos simulaciones, el primero se ha incluido el caudal completo en el lecho del Río Cachi con su topografía real incluyendo ambos pilares del puente Allccomachay, en el segundo se ha desarrollado el modelo para el pilar izquierdo discretizando con mayor detalle esta zona donde el flujo presenta mayor dispersión de sus variables hidráulicas resultado de la simulación inicial. Ambas simulaciones mostraron la influencia del vector velocidad, presión y turbulencia que generan la formación de vórtices, estos modelos fueron desarrollados en el Ansys Fluent obteniendo resultados de todas las variables hidráulicas.

Palabras clave : Vortices, Modelos CFD, Ansys Fluent, Río Cachi

Abstract

CFD enables precise fluid analysis, thereby reducing costs and time. It facilitates the simulation of complex scenarios, design improvement, and efficiency optimization in industrial applications without requiring physical evaluations. In this research, two simulations of the Cachi River with the intersection of the Allccomachay Bridge were developed to identify areas where flow vortices occur. An initial condition of a flow rate of 1602.8 m³/s was used, distributed along the Cachi River, where the intersection with the bridge pillars revealed the formation of vortices. It was also observed that changes in the direction of velocity vectors influence vortex formation due to collisions with the pillars. Additionally, pressure changes and

turbulence were found to play a role in vortex development.

Two simulations were carried out. In the first, the full flow was included in the riverbed of the Cachi River using its real topography, including both pillars of the Allccomachay Bridge. In the second, the model focused on the left pillar, with a more detailed discretization of the area where the flow shows greater dispersion of its hydraulic variables, as indicated by the results of the initial simulation. Both simulations demonstrated that velocity vectors, pressure, and turbulence contribute to vortex formation. These models were developed using Ansys Fluent, providing results for all hydraulic variables.

Keywords : Vortex, Model CFD, Ansys Fluent, River Cachi

Índice general

Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Resumen	IV
I: Introducción	1
1.1. Antecedentes de la investigación	1
1.1.1. Investigaciones internacionales.	1
1.1.2. Investigaciones nacionales.	2
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Formulación del problema	5
1.3.1. Problema general.	5
1.3.2. Problemas específicos.	5
1.4. Delimitación del problema.	5
1.4.1. Espacial (geográfica).	5
1.4.2. Temporal.	6
1.4.3. Temática y unidad de análisis.	6
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo general.	6
1.5.2. Objetivos específicos.	6
II: Marco Teórico	7
2.1. Movimiento de fluidos	7
2.1.1. Descripción Lagrangiana y euleriana	8
2.1.2. Teorema de transporte de Reynolds	9
2.1.3. Ecuaciones de movimiento	9
2.2. Flujos alrededor de un obstáculo - Capa limite	10

2.3. Vorticidad	11
2.4. Ecuacion de Navier Stokes	13
2.5. Dinamica de fluidos computacional (CFD)	14
2.5.1. Proceso de la Dinámica de fluidos computacional (CFD)	15
2.5.2. Modelos y ecuaciones de la CFD	16
2.5.2.1. Métodos Numéricos en CFD	17
2.5.3. Volúmenes Finitos (FVM)	18
2.5.3.1. Principios Básicos del Método de Volúmenes Finitos:	18
2.5.3.2. Ventajas del Método de Volúmenes Finitos:	19
2.5.4. CFD aplicado a fluidos turbulentos y Modelos computacionales	20
2.6. Ansys Fluent	21
III: Material y métodos	22
3.1. Tipo de investigación	22
3.2. Nivel de Investigación	22
3.3. Unidad y tipo de investigación	22
3.4. Población	23
3.5. Muestra	25
3.6. Metodología seleccionada y aplicada al proyecto	25
3.6.1. Técnicas de obtención de datos para obtener la geometría	25
3.6.2. Caudal de diseño considerado para el puente Allccomachay	29
3.7. Procesamiento de datos en ANSYS 2024R1	32
3.7.1. Creación de la geometría - Ansys Geometry	32
3.7.2. Creación de la malla - Ansys Meshing CFD	32
3.7.3. Condiciones iniciales para la simulación - Ansys Fluent	35
IV: Resultados y discusiones	40
4.1. Descripción de la zona de estudio	40
4.2. Resultados de la primera simulación	41
4.3. Resultados de la segunda Simulación	49
4.4. Discusión de los resultados	55
V: Conclusiones	59
VI: Recomendaciones	60
Anexo A. Estudio Hidraulico del Puente Allccomachay y Accesos	63

Anexo B. Planos del Puente Allccomachay	84
Anexo C. Panel fotografico	89

Índice de figuras

1.	Fluido en movimiento.	7
2.	Capa limite en fluidos	11
3.	Simulation of vortex-induced vibration of a bluff body structure by ANSYS fluent	12
4.	Diferentes vortices	13
5.	Dinamica de fluidos computacional CFD Ansys Workbench	15
6.	Pagina Web de descarga del softawre Ansys Fluent	21
7.	Representación la población Rio Cachi Ayacucho y Huancavelica.	23
8.	Río Cachi con intersección al puente Allccomachay	24
9.	Río Cachi intersección con el puente Allccomachay	24
10.	Topografía de la zona de estudio	26
11.	Vista panorámica del puente Allccomachay.	26
12.	Geometría del puente Allccomachay	27
13.	Ubicación del río Cachi	27
14.	Geometría del pilar del puente Allccomachay	28
15.	Perfil y planta del puente Allcomachay	28
16.	Revision del estudio definitivo Puente Allccomachay y Accesos	29
17.	Hietograma de precipitación de diseño estación Quinua	29
18.	Hietograma de precipitación de diseño estación Acobamba	30
19.	Hietograma de precipitación de diseño Tr=500años	30
20.	Resumen de los parametros hidraulicos Expediente tecnico Tr=500años	31
21.	Definición de la geometría del modelo tipo solido - Ansys Geometry	32
22.	Definición de las condiciones de frontera - Ansys Meshing-CFD	33
23.	Creación de la malla - Ansys Meshing-CFD	34
24.	Refinamiento de la malla - Ansys Meshing-CFD	34
25.	Condición inicial - Ansys Fluent	35
26.	Configuración del modelo - Ansys Fluent	36
27.	Condición inicial inlet - Ansys Fluent	36

28.	Condición inicial outlet - Ansys Fluent	37
29.	Condición inicial Wall - Ansys Fluent	37
30.	Configuración Methods - Ansys Fluent	38
31.	Configuración Initialization - Ansys Fluent	38
32.	Configuración Run Calculation - Ansys Fluent	39
33.	Vista panorámica de la identificación de la geometría del modelo a simular . . .	41
34.	Velocidades obtenidas con la simulación del flujo	42
35.	Velocidades en X, obtenidas con la simulación del flujo	43
36.	Velocidades en Y, obtenidas con la simulación del flujo	43
37.	Presión estática obtenidas con la simulación del flujo	44
38.	Presión dinámica obtenidas con la simulación del flujo	44
39.	Presión total obtenidas con la simulación del flujo	45
40.	Turbulencia del río obtenidas con la simulación del flujo	45
41.	Turbulencia expresado en porcentaje obtenidas con la simulación del flujo . . .	46
42.	Variación de los vectores de velocidad con la simulación del flujo	46
43.	Variación de los vectores de velocidad en el pilar izquierdo	47
44.	Variación de los vectores de velocidad en el pilar derecho	47
45.	Velocidades obtenidos en campo Rio Cachi, NAMO	48
46.	Velocidades obtenidos en campo Rio Cachi, NAMO	49
47.	Simulación del pilar izquierdo	50
48.	Simulación del pilar izquierdo	50
49.	Presión estática obtenidas con la simulación en el pilar izquierdo del puente Allccomachay	51
50.	Presión en el superficie inferior, obtenidas con la simulación en el pilar izquierdo del puente Allccomachay	51
51.	Velocidades obtenidas con la simulación en el pilar izquierdo del puente Allcco- machay	52
52.	Velocidades en el superficie inferior, obtenidas con la simulación en el pilar izquierdo del puente Allccomachay	52
53.	Velocidades obtenidos en campo Rio Cachi, NAMO	53
54.	Turbulencia obtenidas con la simulación en el pilar izquierdo del puente Allcco- machay	54
55.	Turbulencia en el superficie inferior, pilar izquierdo del puente Allccomachay . .	54
56.	Validación del comportamiento de flujo en el Río Cachi	55
57.	Velocidades registrados en el Río Cachi	56
58.	Presión observado en el Río Cachi	57

59.	Turbulencia registrados en el Río Cachi Imágenes registradas en vídeo en 25 de febrero del 2025	58
1.	Vista fotográficas del trabajo de campo.	89
2.	Vista fotográficas del trabajo de campo validacion.	90

I: Introducción

1.1. Antecedentes de la investigación

1.1.1. Investigaciones internacionales.

Chiliquinga Chiriboga y Pinto Franco, 2019 en su investigación titulada *Análisis experimental en modelo físico de fenómenos de turbulencia causantes de erosión alrededor de pilas de puentes utilizando Acoustic Doppler Velocimeter Adv*, indica que uno de los problemas asociados a los flujos de ríos son el transporte de sedimentos, modificación del lecho de río, la socavación y hasta inundaciones. Así mismo indica que el principal problema que se presenta en los puentes son la socavación haciendo referencia el estudio que realizó U.S. Federal Highway Administration de 1973 donde a partir de 383 casos de estudio de puentes el 97 % fueron causados por la influencia del flujo por la socavación (25 % en pilares y 75 % en estribos) y el 3 % por otras causas. Chiliquinga Chiriboga y Pinto Franco, 2019 analiza experimentalmente mediante la utilización de la sonda Acoustic Doppler Velocimeter ADV el problema de la erosión generada por la turbulencia en pilares de puentes a escala corroborando su hipótesis planteado.

Según Leon Gimenez, Lizárraga Mendiola, Rivera Trejo, Nungaray Núñez, y Díaz Arcos, 2017 en el artículo titulado *Cambio hidrodinámico y evolución de fondo en ríos de planicie por espigones* plantea la optimización de la forma de los espigones como medidas de protección en planicies. En este artículo plantea la implementación de la metodología usar modelos bidimensionales para el análisis de flujos para poder estimar las velocidades hidrodinámicas, donde la información inicial era la complejidad del lecho del río obteniendo a través de equipo Doppler ADCP y Estación total. En su trabajo concluye que existen zonas donde los modelos bidimensionales describen mejores resultados en comparación a los modelos tradicionales de una dimensión.

Luciano Zuñiga, 2018 en su tesis titulado *Simulación de alta resolución de turbulencia no estacionaria* estudia un flujo combinado sobre una pared rígida mediante simulación numérica directa (DNS, por Direct Numerical Simulation) de las ecuaciones de Navier-Stokes. Este tipo de flujos se presenta, por ejemplo, en ambientes costeros donde corrientes marinas se superponen a las olas, flujo de sangre, álabes de turbomáquinas, o flujo cruzado entre subcanales de elementos combustibles nucleares. El trabajo se focaliza en el análisis de las velocidades medias, las tensiones de corte totales, la energía cinética turbulenta y las componentes de la ecuación de balance de la misma. Los resultados obtenidos demuestran que para el caso con mayor componente de correntada el comportamiento corresponde a un flujo cuasiestacionario cuyas propiedades no dependen del avance temporal si se utiliza la escala correspondiente para cada momento de tiempo.

1.1.2. Investigaciones nacionales.

Abarca Mora, 2018 en su tesis titulado *Modelamiento numérico de la vibración inducida por flujo en una tubería horizontal que transporta flujo bifásico turbulento agua – aire* estudia el comportamiento de un flujo bifásico (agua y aire) sobre una tubería con una longitud de 3m teniendo varios escenarios de simulación, donde estima que los modelos de $RANSK-\omega SST$ es capaz de representar con buena precisión el comportamiento del flujo bifásico, así mismo recomienda el uso en casos prácticos para flujos como petróleo y gas los cuales presentaran sus propias características.

Según Cordova Acuña, 2022 en su investigación *Desarrollo de modelos de turbulencia les utilizados en simulaciones numéricas de flujos turbulentos complejos presentes en la industria minera* estudia el transporte de flujos no newtonianos referidos a la molienda de pulpas mineras, donde resalta la importancia de la simulación de estos flujos complejos con modelos numéricos que incluyan la turbulencia, en este trabajo Cordova Acuña, 2022 desarrolla modelos a través del LES(simulación de grandes escalas), y como propuesta plantea el desarrollo de un modelo numérico computacional $CFLOWSS$ con los resultados obtenidos de los ensayos experimentales.

Rodriguez Briceño, 2020 resalta el problema general que se presenta en el estudio de fluidos a través del uso de ecuaciones parciales, y mas aun cuando los flujos son compresibles donde el comportamiento de estos flujos presenta un régimen no lineal.

1.2. Planteamiento del problema

Según Peña Gonzalez, 2011 en su investigación trata de caracterizar las tensiones tangenciales y de turbulencia en ríos meandriformes para poder estimar la diferencia del caudal en el cause central y en las llanuras de inundación. Donde concluye que los modelos numéricos 3D en lamina libre describen mejor los procesos de turbulencia.

Josefina Torres, 2014 en su trabajo de investigación estudia el comportamiento de flujos turbulentos cargados de partículas solidas a través de canales de sección constante usando flujos eulerianos y lagrangianos, e indica que la turbulencia esta presente en los flujos e inclusive en la simulación de grandes escalas para evaluar el flujo (aire).

También Leon Gimenez et al., 2017 analizan el comportamiento de flujos a través de modelos bidimensionales midiendo las velocidades hidrodinámico y el cambio del fondo de ríos planteando la implementación de espigones para reducir las velocidades y cambiar el régimen de flujos.

Así mismo Luciano Zuñiga, 2018 indica que otros ejemplos donde se genera la vortici- dad es detrás de las hélices de un barco que generan flujos turbulentos.

También Maza Sócola, 2019 indica que la erosión se presenta de manera general o local, asociando la vorticidad en ríos a una erosión local, producto de la turbulencia que se presenta por el cambio de presiones, sí mismo Maza Sócola, 2019 indica que la erosión es producto de un desequilibrio geomorfológico o por la acción del hombre y explica que un río puede presentar una socavación natural y permanente mientras el cause no este interrumpida, asocia a las presas como infraestructura que interrumpen el caudal y el transporte de material solido aumentando las velocidades de erosión hasta llegar a reducir el ritmo a lo largo del tiempo.

Chiliquinga Chiriboga y Pinto Franco, 2019 indica que no existe información suficiente para analizar la turbulencia en flujos y refiere que existen formulaciones empíricas para de- terminar estos fenómenos. Desarrollando modelos físicos y experimentales usando la sonda ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) para analizar modelos físicos en 3D.

También Chiliquinga Chiriboga y Pinto Franco, 2019 en su investigación mencionan que cuando en un flujo se presenta obstáculos inicia la formación de un fenómeno en tres dimensiones, e indican la formación de vórtices asociados al cambio de la gradiente de ve- locidades verticales que genera una presión vertical impactando al lecho del río en la base generando erosiones.

Chiliquinga Chiriboga y Pinto Franco, 2019 también reúne información sobre la formación de vórtices concluyendo que la razón de este fenómeno es debido al choque del agua contra un objeto que genera la modificación de las velocidades y presiones y refiere que *"...Cuando aumenta la velocidad del flujo, y por tanto el número de Reynolds, la tendencia al desorden crece..."*

Hernández Olivares, 2019 también en su trabajo describe como el problema entender mejor los mecanismos que aportan energía cinética turbulenta en las capas de fluido en ambos lados de la superficie del mar, en este trabajo se estudia el efecto de las olas que aún no rompen en la generación de turbulencia. Para ello se realizaron mediciones de las velocidades de las partículas de fluido inducidas por la propagación de olas sin rompiente con el propósito de detectar la presencia de turbulencia y su asociación con la pendiente de las olas.

Según De Souza Reátegui y Aguilar Silvano, 2022 en su investigación indica *"...Los ríos altoandinos presentan una marcada dinámica hidrológica debido al flujo de agua rápido y turbulento, además están sujetos a la variación temporal y a las características propias de la cuenca..."*, también indica que *"...a pesar de ello, la elevada velocidad de flujo y turbulencia..."*, concluyendo que De Souza Reátegui y Aguilar Silvano, 2022 define que los ríos de la sierra peruana presentan turbulencia y altas velocidades asociadas a la morfología de la región.

Segun Arteaga, Cervantes, y Vasquez, 2022 en su investigación Modelación de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) del efecto de socavación local en pilares circulares de puentes donde indica que uno de los principales causas de fallo en los puentes es la socavación local en pilares refiriendo que que los vórtices son un tema de gran interés para la ingeniería y el diseño, ya que los procedimientos actuales para el estudio de este fenómeno, como la implementación de modelos físicos y fórmulas, presentan dificultades de precisión.

Agriman, 2023 en su tesis doctoral *Turbulencia en flujos multifase* refiere que la turbulencia es un fenómeno que se presenta en todos los fluidos y este proceso tiene como finalidad la iniciación del impulso o movimiento de objetos como barcos o aviones así mismo indica que la turbulencia que se genera en un túnel de viento *"...comparte una gran cantidad de propiedades estadísticas con simulaciones numéricas..."*.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general.

¿Como evaluar el comportamiento de flujos que tienen como obstáculos pilares o estribos de puentes mediante la dinámica de fluidos computacional para localizar e identificar la formación de vórtices en el Río Cachi con la intersección del puente Allccomachay?

1.3.2. Problemas específicos.

- ¿Como influye la velocidad de flujo en la formación de vórtices en el Río Cachi con intersección del Puente Allccomachay?
- ¿Como influye la presión de flujo en la formación de vórtices en el Río Cachi con intersección del Puente Allccomachay?
- ¿Como identificar la formación flujos turbulentos para encontrar donde se forman los vórtices en el Río Cachi con intersección del Puente Allccomachay?

1.4. Delimitación del problema.

Debido a la incertidumbre de caudales en los ríos, cada vez la ingeniería hidráulica trata de describir el comportamiento de flujos newtonianos y no newtonianos con el uso de la dinámica de fluidos computacional, esto se agrava cuando en los lechos del río se construyen obstáculos como pilares o estribos que modifican la dirección del flujo y el cambio de presiones siendo necesario identificar estos fenómenos a través de simulaciones.

1.4.1. Espacial (geográfica).

Esta investigación se realizara en el Río Cachi con la intersección del puente Allccomachay, perteneciente a la carretera 3S tramo Huanta-Huancayo, de la provincia de Huanta, entre los límites del departamento de Ayacucho y Huancavelica.

1.4.2. Temporal.

Todos las variables hidráulicas evaluadas en el análisis de los efectos del vórtice en ríos producto de pilares y estribos se realizaran con los caudales de máxima avenida de diseño del puente, esta investigación se realizara durante el año 2024.

1.4.3. Temática y unidad de análisis.

En esta investigación se analizara la formación de vórtices en ríos por la presencia de obstáculos como los pilares y estribos en puentes, determinar y localizar los puntos donde se forman estos fenómenos.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general.

El objetivo principal de la investigación esta en relación directa al problema identificado:

- Analizar la formación de vórtices para flujos que tienen como obstáculos pilares o estribos de puentes mediante el uso de la dinámica de fluidos computacional-ANSYS FLUENT aplicado en el Río Cachi con la intersección del puente Allccomachay.

1.5.2. Objetivos específicos.

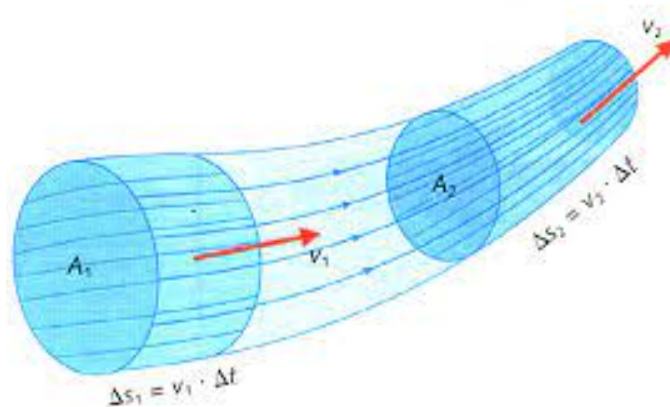
- Analizar la relación que existe entre la velocidad de flujos en la formación de de vórtices en el Río Cachi con la intersección del puente Allccomachay.
- Analizar la relación que existe entre la presión de flujos en la formación de de vórtices en el Río Cachi con la intersección del puente Allccomachay.
- Analizar la formación de flujos turbulentos y poder estimar donde se presenta vortices en el Río Cachi con la intersección del puente Allccomachay.

II: Marco Teórico

2.1. Movimiento de fluidos

Segun Streeter, Wylie, Bedford, y Saldarriaga, 1988 indica que el movimiento de un fluido se produce debido al desequilibrio de las fuerzas que actúan sobre él. Se van obteniendo los métodos útiles de análisis de la aplicación de los principios, conceptos y leyes siguientes: principio de Newton del movimiento, primer y segundo; principios de la termodinámica, principio de conservación de la masa, ecuaciones de estado que relacionan las propiedades del fluido, ley de Newton de la viscosidad, conceptos de longitud de mezcla y las condiciones motivadas por la presencia de los contornos.

Figura 1: Fluido en movimiento.



Fuente: Streeter, Wylie, Bedford, y Saldarriaga, 1988, pag. 13

El movimiento de fluidos es un área fundamental en la mecánica de fluidos que estudia el comportamiento dinámico de los fluidos en movimiento. Este concepto es esencial en numerosos campos de la ingeniería, como la aerodinámica, la hidrodinámica, la ingeniería civil y la ingeniería química. Comprender el movimiento de fluidos es crucial para el diseño y

análisis de una amplia gama de sistemas y dispositivos, desde aviones y automóviles hasta tuberías y bombas hidráulicas.

2.1.1. Descripción Lagrangiana y euleriana

La descripción Lagrangiana y euleriana son dos enfoques fundamentales para estudiar el movimiento de fluidos. La descripción Lagrangiana sigue las partículas de fluido individualmente a lo largo de sus trayectorias en el espacio y el tiempo, lo que permite analizar el comportamiento del fluido desde el punto de vista de una partícula específica. Por otro lado, la descripción euleriana se centra en puntos fijos en el espacio y sigue cómo cambian las propiedades del fluido en esos puntos con el tiempo. Este enfoque es más conveniente para estudiar flujos turbulentos y fenómenos a gran escala en los que el movimiento de partículas individuales es difícil de rastrear.

El alcance de este concepto incluye:

- Diferencia entre descripción Lagrangiana y euleriana.
- Aplicaciones y ventajas de cada enfoque en el estudio del movimiento de fluidos.
- Relación entre la descripción Lagrangiana y euleriana en la mecánica de fluidos.

Descripción Lagrangiana: En este enfoque, se sigue el movimiento de partículas de fluido individuales a medida que se desplazan a lo largo del flujo. Cada partícula se considera un punto material, y su trayectoria se rastrea en función del tiempo. En el contexto de los ríos, esto podría significar seguir la trayectoria de una partícula de agua específica a medida que fluye por el curso del río. La descripción Lagrangiana es útil para analizar fenómenos que involucran partículas individuales, como la sedimentación o la dispersión de contaminantes en un río.

Descripción Euleriana: En contraste, la descripción Euleriana se basa en observar el flujo desde un punto de vista fijo en el espacio. En este enfoque, se estudian las propiedades del fluido (como velocidad, presión, densidad, etc.) en cada punto del dominio de flujo a lo largo del tiempo. En el contexto de los ríos, esto implica observar cómo cambian las propiedades del agua en diferentes ubicaciones a lo largo del río a medida que fluye con el tiempo. La descripción Euleriana es especialmente útil para resolver ecuaciones de movimiento y modelar el comportamiento del flujo en dominios complejos.

Ambos enfoques tienen sus ventajas y se utilizan de manera complementaria en el análisis de flujos en ríos y otros sistemas hidráulicos. La descripción Lagrangiana se utiliza

para estudiar fenómenos a nivel de partículas, mientras que la descripción Euleriana es más adecuada para analizar el comportamiento global del flujo en un dominio específico.

2.1.2. Teorema de transporte de Reynolds

El teorema de transporte de Reynolds es una herramienta fundamental en la mecánica de fluidos que establece una relación entre la derivada total y la derivada substancial de una propiedad fluida. Este teorema es esencial para derivar las ecuaciones de conservación del momento, la masa y la energía en un sistema de referencia euleriano. Proporciona una forma de expresar las leyes de conservación en términos de derivadas materiales, lo que facilita el análisis y la resolución de problemas de flujo de fluidos.

El alcance de este concepto incluye:

1. Explicación del teorema de transporte de Reynolds y su importancia en la mecánica de fluidos.
2. Derivación y aplicación del teorema en la formulación de ecuaciones de conservación.
3. Ejemplos prácticos de aplicación del teorema en el análisis de flujos de fluidos.

El teorema de transporte de Reynolds establece la relación entre la derivada material y la derivada convectiva de una propiedad extensiva en un flujo de fluido. La ecuación general se expresa como:

$$\frac{D}{Dt} \int_{V(t)} \rho \psi dV = \int_{V(t)} \left(\frac{\partial(\rho \psi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \psi \mathbf{v}) \right) dV$$

Donde ρ es la densidad del fluido, ψ es la propiedad extensiva por unidad de masa, \mathbf{v} es la velocidad del fluido, y $V(t)$ es el volumen material que contiene el fluido en el instante t .

2.1.3. Ecuaciones de movimiento

Las ecuaciones de movimiento, también conocidas como ecuaciones de Navier-Stokes, son un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales que describen la evolución

temporal del campo de velocidad de un fluido en movimiento. Estas ecuaciones son fundamentales para el análisis de flujos de fluidos en una amplia gama de aplicaciones, desde la aerodinámica hasta la ingeniería civil. Resolver las ecuaciones de movimiento permite predecir el comportamiento de los flujos de fluidos y diseñar sistemas y dispositivos que funcionen de manera óptima en condiciones específicas.

El alcance de este concepto incluye:

- Derivación de las ecuaciones de Navier-Stokes para fluidos incompresibles y compresibles.
- Explicación de los términos de las ecuaciones y su significado físico.
- Métodos de resolución numérica y analítica de las ecuaciones de movimiento.

Las ecuaciones del movimiento de los fluidos son las ecuaciones de Navier-Stokes. En su forma incompresible, estas ecuaciones se expresan como:

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{g}$$

Donde:

\mathbf{v} es el vector velocidad

p es la presión

ρ es la densidad del fluido

ν es la viscosidad cinemática

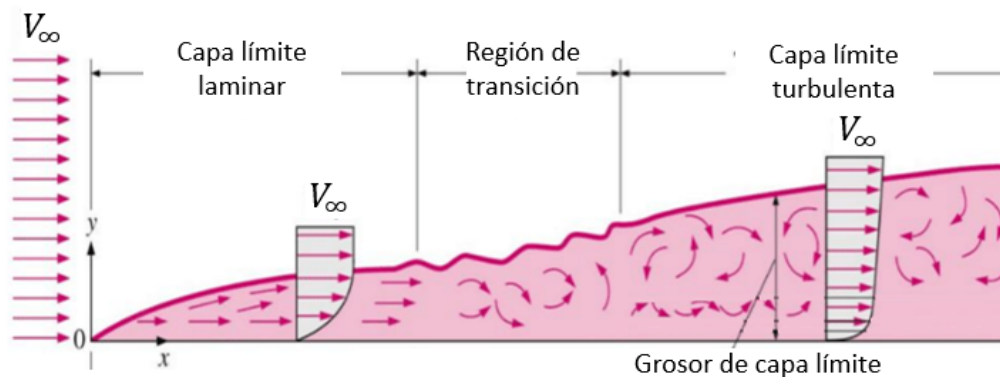
\mathbf{g} es la aceleración debida a la gravedad.

2.2. Flujos alrededor de un obstáculo - Capa límite

La capa límite es una región delgada adyacente a la superficie de un cuerpo sólido inmerso en un flujo de fluido, donde el efecto de la fricción viscosa es significativo y domina el comportamiento del flujo. Dentro de la capa límite, la velocidad del fluido disminuye gradualmente desde su valor en el flujo libre hasta cero en la superficie sólida. Este fenómeno es crucial en el análisis de la resistencia al flujo alrededor de cuerpos sólidos, como aviones, automóviles y estructuras civiles, y tiene importantes implicaciones en el diseño aerodinámico y la eficiencia energética, el alcance de este concepto incluye:

- Definición y características de la capa límite.
- Importancia de la capa límite en la aerodinámica y la hidrodinámica.
- Efectos de la capa límite en la resistencia al flujo y la eficiencia de los cuerpos sólidos.

Figura 2: Capa límite en fluidos

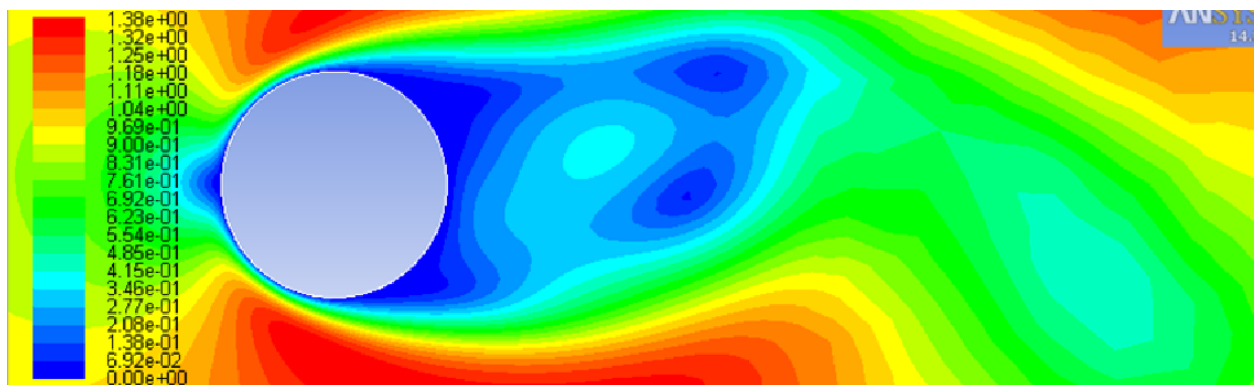


Fuente: Nuclear Power. Velocity Boundary Layer – Thermal Boundary Layer.

2.3. Vorticidad

La vorticidad es una medida de la rotación local del fluido en un punto dado en un campo de flujo. Se define como el rotacional del campo de velocidad del fluido y proporciona información sobre la tendencia de las partículas de fluido a girar alrededor de un eje en particular. La vorticidad es un concepto fundamental en la dinámica de fluidos y juega un papel importante en la formación de vórtices y la turbulencia en los flujos de fluidos que abarca la definición de matemática de vorticidad, la relación entre la vorticidad y la rotación local del fluido y las aplicaciones de la vorticidad en el análisis de flujos turbulentos y la formación de vórtices en ríos y cuerpos de agua.

Figura 3: Simulation of vortex-induced vibration of a bluff body structure by ANSYS fluent



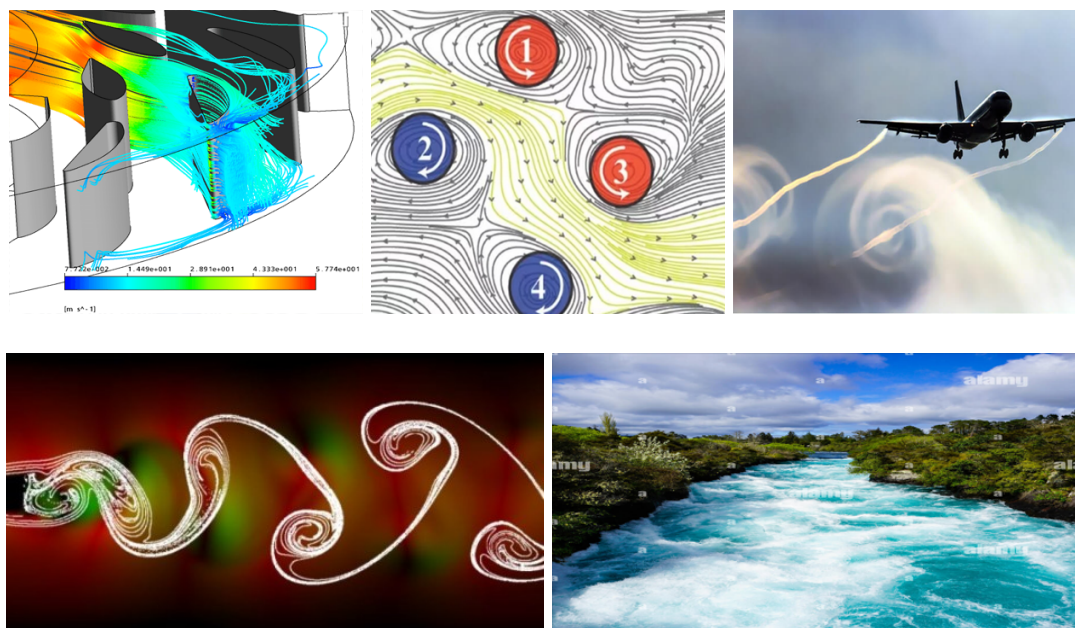
Fuente: Abdul Rashid Bin Abdul Rahman and Abd. Halim, CFD simulation of vortex-induced vibration of a bluff body structure by ANSYS fluent

Vórtice de herradura Se forma en la estela de un objeto que se mueve a través de un fluido, como barcos o aviones. Detrás del objeto, el vórtice se forma a partir de las puntas afiladas o los bordes y adopta una forma de herradura mientras gira, generando una resistencia al movimiento de objetos en los fluidos y también tener efectos importantes en la eficiencia y estabilidad de estructuras.

Vórtice superficial Es un tipo de remolino que se crea en la superficie de una masa de agua, como un río, un lago o el océano. Se generan estos vórtices a causa de velocidades diferentes y orientación del flujo de agua en la superficie, originando patrones rotacionales distintivos.

Vórtice de estela Este vórtice se forma en la estela que hay detrás de un objeto moviéndose a través de un fluido, por ejemplo, detrás de un barco, avión o edificio. Produciendo patrones de rotación característicos. El vórtice de estela puede afectar la aerodinámica y la hidrodinámica de manera significativa en objetos que se mueven, lo cual incluye la resistencia y estabilidad.

Vórtice efecto Von Karman Cuando el flujo de aire se separa de un objeto en movimiento, como un edificio o una torre, forma una serie de vórtices alternos en su estela, lo que produce el efecto Von Karman. Estos vórtices muestran un patrón de rotación distintivo, parecido a la estela de un cilindro, y podrían causar la generación de vibraciones y ruido.

Figura 4: Diferentes vortices

Fuente: <https://www.google.com/search?q=vortices>

Vórtices en ríos En los ríos se forman remolinos o corrientes circulares de agua, conocidos como vórtices, debido a la interacción entre la corriente principal y las características del lecho del río, tales como rocas, barrancos o cambios en la pendiente. Estos remolinos pueden cambiar en tamaño y rapidez, y juegan un papel crucial en la dinámica de los ríos, así como en el proceso de erosión y sedimentación.

2.4. Ecuacion de Navier Stokes

Las ecuaciones de Navier-Stokes son un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales que describen el movimiento de los fluidos. Se derivan de los principios fundamentales de conservación de la masa, la cantidad de movimiento y la energía en un sistema fluido. Estas ecuaciones permiten modelar el comportamiento de líquidos y gases en diversas aplicaciones científicas e ingenieriles, como la aerodinámica, la meteorología y la ingeniería de procesos.

Segun Ferziger y Perić, 2002 indica que las ecuaciones de Navier-Stokes expresan la relación entre la variación de la velocidad del fluido, la presión, las fuerzas viscosas y las fuerzas externas aplicadas al sistema. Su resolución analítica solo es posible en casos simples, por lo que en la práctica se emplean métodos numéricos como la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) Anderson, 1995.

Para un modelos de turbulencia se debe considerar al flujo con desplazamientos tridimensionales y en diferentes direcciones esto generar un comportamiento difícil de predecir y tratar de simplificar la ecuación de Navier Stokes.

$$\begin{aligned}
 v &= v_x(x, y, z) \hat{i} + v_y(x, y, z) \hat{j} + v_z(x, y, z) \hat{k} \\
 a &= \frac{dv}{dt} = \frac{dv_x}{dt} \hat{i} + \frac{dv_y}{dt} \hat{j} + \frac{dv_z}{dt} \hat{k} \\
 \frac{Dv_x}{Dt} &= \frac{\partial v_x}{\partial t} \hat{i} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} \hat{i} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} \hat{i} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \hat{i} \\
 \frac{Dv_y}{Dt} &= \frac{\partial v_y}{\partial t} \hat{j} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} \hat{j} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} \hat{j} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \hat{j} \\
 \frac{Dv_z}{Dt} &= \frac{\partial v_z}{\partial t} \hat{k} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} \hat{k} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} \hat{k} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \hat{k} \\
 \frac{Dv}{Dt} &= \frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla) v
 \end{aligned}$$

2.5. Dinamica de fluidos computacional (CFD)

Segun Versteeg y Malalasekera, 2007 define la Dinámica de Fluidos Computacionales (CFD, en inglés) como una disciplina de la mecánica de fluidos que emplea técnicas numéricas y algoritmos para examinar y solucionar problemas vinculados con el movimiento de fluidos. Se fundamenta en la solución de las ecuaciones de Navier-Stokes, que detallan la trayectoria de los fluidos, además de otras ecuaciones adicionales, en función de la aplicación concreta.

Ferziger y Perić, 2002 define como la Dinámica de Fluidos Computacionales (CFD) es la disciplina que permite sustituir las ecuaciones diferenciales parciales que controlan el flujo de fluidos por números, empleando técnicas numéricas, y progresar estos números a lo largo del tiempo y/o el espacio para conseguir una descripción numérica definitiva del campo de flujo total.

Tambien Anderson, 1995 define que la Dinámica de Fluidos Computacionales se refiere a la habilidad de sustituir las integrales o derivadas parciales en las ecuaciones que controlan el movimiento de los fluidos por formas algebraicas discretas, que posteriormente se solucionan para adquirir valores numéricos del campo de flujo en lugares discretos en el

espacio y tiempo.

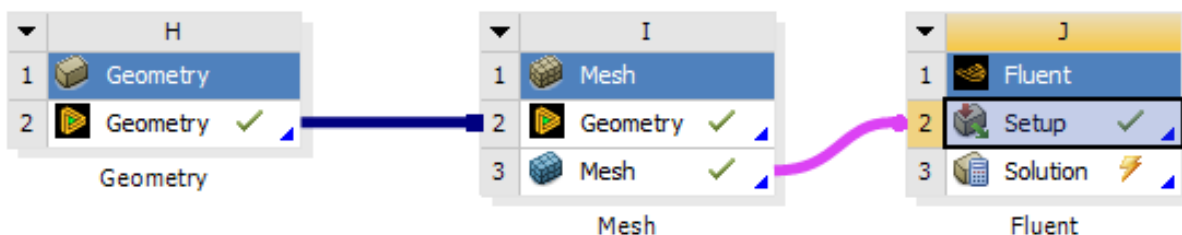
Patankar, 1980 refiere la importancia de emplear el método de volúmenes finitos (FVM) para simplificar y solucionar ecuaciones diferenciales parciales en cuestiones de transferencia de calor y dinámica de fluidos. Su énfasis en la formulación numérica y la solución de ecuaciones de conservación ha jugado un papel crucial en la evolución de CFD.

2.5.1. Proceso de la Dinámica de fluidos computacional (CFD)

El proceso general de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) se refiere a los pasos fundamentales para la simulación numérica de flujos de fluidos. Según Versteeg y Malalasekera, 2007 en *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*, como se aprecia en la figura 5 el proceso CFD se puede dividir en tres etapas principales:

- 1. Definición del problema:** El primer paso es definir claramente el problema que se quiere resolver, incluyendo la geometría, las condiciones de frontera (como velocidad, temperatura y presión) y los parámetros físicos del fluido (como viscosidad, densidad, etc).

Figura 5: Dinamica de fluidos computacional CFD Ansys Workbench



Fuente: Elaboracion propia Ansys Workbench

- 2. Creación del modelo geométrico:** Se crea una representación matemática o digital del objeto o sistema donde fluye el fluido. Esto puede incluir la creación de una malla de la geometría del dominio de flujo (el espacio donde se simula el fluido).
- 3. Generación de la malla:** La malla es la subdivisión del dominio en pequeñas celdas o elementos donde se resuelven las ecuaciones. La calidad de la malla es fundamental, ya que afecta la precisión y el costo computacional de la simulación.
- 4. Selección del modelo físico:** Dependiendo de las características del fluido y las condiciones, se seleccionan los modelos apropiados. Esto puede incluir modelos de turbulencia

(como el modelo $k-\varepsilon$ o el modelo de LES) y la elección de las ecuaciones de conservación adecuadas (de masa, energía y momentum).

- 5. Aplicación de condiciones iniciales y de frontera:** Se definen las condiciones iniciales del sistema (por ejemplo, la velocidad y temperatura inicial) y las condiciones de frontera (como los límites de velocidad y presión en las paredes o las entradas/salidas del dominio).
- 6. Solución numérica:** Se resuelven las ecuaciones de Navier-Stokes (que gobiernan el movimiento de los fluidos) usando métodos numéricos. Esto implica discretizar el espacio y el tiempo para aproximar la solución del problema.
- 7. Postprocesamiento:** Una vez que se obtiene la solución, se analizan los resultados mediante gráficos, mapas de velocidad, temperatura, presión, entre otros. Esto permite interpretar el comportamiento del fluido y validar la simulación.
- 8. Validación y verificación:** Es crucial verificar que los resultados sean correctos y válidos. Se puede comparar la simulación con datos experimentales, o verificar que la malla y el modelo físico sean adecuados.

2.5.2. Modelos y ecuaciones de la CFD

El análisis de CFD implica la aplicación de técnicas y herramientas de dinámica de fluidos computacional para estudiar y analizar problemas específicos de flujo de fluidos. Esto incluye la formulación de modelos matemáticos y la resolución numérica de las ecuaciones que describen el flujo de fluidos, así como la interpretación de los resultados obtenidos a partir de las simulaciones. El análisis de CFD puede proporcionar información detallada sobre la distribución de velocidades, presiones, temperaturas y otras propiedades del fluido en un sistema dado, lo que permite optimizar el diseño y el rendimiento de dispositivos y procesos.

La *Dinámica de Fluidos Computacional* es una rama de la mecánica de fluidos que usa métodos numéricos y algoritmos para resolver problemas relacionados con el flujo de fluidos Anderson, 1995.

El comportamiento de los fluidos se rige por las ecuaciones de conservación de la masa, la cantidad de movimiento y la energía.

- 1. Ecuación de Continuidad:** La ecuación de continuidad expresa la conservación de la

masa:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (2.1)$$

Para un fluido incompresible (ρ constante), la ecuación se reduce a:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (2.2)$$

2. **Ecuaciones de Navier-Stokes** Las ecuaciones de Navier-Stokes describen la conservación del momento:

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{F} \quad (2.3)$$

Donde: ρ es la densidad del fluido, \mathbf{u} es la velocidad, p es la presión, μ es la viscosidad y \mathbf{F} representa fuerzas externas.

3. **Ecuación de Energía** :Si el flujo involucra transferencia de calor, se usa la ecuación de energía:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla T = \frac{k}{\rho c_p} \nabla^2 T + \frac{\Phi}{\rho c_p} \quad (2.4)$$

Donde: T es la temperatura, k es la conductividad térmica, c_p es el calor específico a presión constante y Φ es la disipación viscosa.

2.5.2.1. Métodos Numéricos en CFD

Para resolver estas ecuaciones, se usan diferentes métodos numéricos Ferziger y Perić, 2002:

1. **Diferencias Finitas (FDM)**: Aproxima derivadas con diferencias discretas.
2. **Volúmenes Finitos (FVM)**: Integra ecuaciones en volúmenes de control.
3. **Elementos Finitos (FEM)**: Aproxima soluciones en elementos discretos.

2.5.3. Volúmenes Finitos (FVM)

El enfoque de volúmenes finitos, se destaca como uno de los métodos más usados en la dinámica de fluidos computacionales (CFD) para solucionar las ecuaciones de conservación (tales como las de masa, momentum y energía) en un dominio de flujo. Se aplica particularmente en simulaciones de fluidos, en las que se solucionan numéricamente las ecuaciones de Navier-Stokes y otras leyes físicas.

El **Método de Volúmenes Finitos (MVF)** es una técnica numérica utilizada para resolver ecuaciones diferenciales en problemas de transferencia de calor, mecánica de fluidos y otras áreas de la ingeniería y la física. Su enfoque consiste en dividir el dominio de solución en volúmenes de control discretos y aplicar la conservación de las propiedades físicas en cada volumen Ferziger y Perić, 2002

A diferencia de otros métodos como los *Elementos Finitos* o las *Diferencias Finitas*, el MVF garantiza la conservación de magnitudes físicas fundamentales, como la masa, la cantidad de movimiento y la energía, dentro de cada volumen de control. Esto lo hace especialmente útil en simulaciones computacionales de dinámica de fluidos (CFD).

2.5.3.1. Principios Básicos del Método de Volúmenes Finitos:

1. Discretización del dominio:

- El dominio de cálculo (el espacio donde fluye el fluido) se divide en un conjunto de volúmenes de control (o celdas). Estos volúmenes son pequeñas subregiones del dominio y son fundamentales para la formulación del método.
- A diferencia del método de elementos finitos (FEM), donde el dominio se divide en elementos, en FVM se dividen en volúmenes, y cada volumen se utiliza para formular las ecuaciones de conservación.

2. Formulación de las ecuaciones en forma de integrales:

- En FVM, las ecuaciones diferenciales que gobiernan el flujo (como las ecuaciones de Navier-Stokes) se integran sobre cada uno de los volúmenes de control.
- Las ecuaciones de conservación (por ejemplo, la ecuación de conservación de la masa, la cantidad de movimiento, la energía, etc.) se convierten en una integral sobre cada volumen de control. Esta es una de las claves del método, ya que se trabaja con integrales en lugar de ecuaciones diferenciales locales.

3. Flujo a través de las caras de los volúmenes:

- En lugar de resolver las ecuaciones en cada punto dentro del volumen, FVM considera el flujo a través de las caras del volumen de control.
- Las variables (como velocidad, presión, temperatura, etc.) se calculan en los centros de los volúmenes, y se evalúan los flujos a través de las caras del volumen. La cantidad que atraviesa las caras se usa para actualizar los valores en el centro de cada volumen.

4. Discretización de la ecuación de conservación:

- Para cada volumen de control, la ecuación de conservación se discretiza. Usualmente, esto implica aproximar las derivadas espaciales y temporales, y resolver la ecuación resultante para cada volumen de control.
- La ecuación general para un fluido incompresible y conservativo, por ejemplo, puede llevar a un sistema de ecuaciones algebraicas para resolver para las variables del fluido en cada volumen.

5. Manejo de condiciones de frontera:

- Las condiciones de frontera (como paredes, entradas, salidas) se aplican en las caras de los volúmenes de control que están en contacto con los límites del dominio. Esto puede implicar condiciones de no deslizamiento (en paredes) o condiciones de flujo de entrada y salida en las fronteras del dominio.

6. Métodos de interpolación y aproximación:

- Las variables del fluido (como velocidad, presión, temperatura) se interpolan entre los centros de los volúmenes de control y sus caras. Existen diversos esquemas de interpolación que se pueden utilizar dependiendo del caso (por ejemplo, interpolación lineal, central, etc).
- Para obtener una buena precisión, a menudo se utilizan métodos de esquemas de control de flujo como el esquema Upwind (para problemas convectivos) o esquemas más avanzados como los esquemas de interpolación de segundo orden.

2.5.3.2. Ventajas del Método de Volúmenes Finitos:

1. **Conservación Global:** El FVM tiene la ventaja de que conserva las cantidades físicas globales (como la masa, la energía, el momentum) de forma exacta, ya que las ecua-

ciones se integran sobre volúmenes de control.

2. **Flexibilidad en la malla:** FVM puede trabajar con mallas estructuradas (celdas cuadradas o rectangulares) o no estructuradas (triangulares o tetraédricas), lo que lo hace muy versátil para diferentes tipos de geometrías.
3. **Escalabilidad:** El método se puede aplicar de manera eficiente en simulaciones de alta resolución, lo que lo hace ideal para resolver problemas complejos y con geometrías irregulares.
4. **Aplicación en todo tipo de flujos:** FVM es adecuado para simular flujos tanto laminares como turbulentos, y se puede combinar con modelos de turbulencia y otras técnicas avanzadas de simulación.

2.5.4. CFD aplicado a fluidos turbulentos y Modelos computacionales

Simular y analizar numéricamente los flujos turbulentos en sistemas tridimensional implica la aplicación de CFD a problemas de fluidos turbulento en 3D. El estudio puede abarcar la turbulencia alrededor de objetos o estructuras, predecir la resistencia. El estudio de los fluidos turbulentos en 3D puede entregar datos importantes acerca del rendimiento y la dinámica de sistemas hidráulicos y aerodinámicos de los fluidos.

La dinámica de fluidos computacional (CFD) soluciona modelos en sistemas bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D), lo que incluye el estudio de la turbulencia y otros fenómenos complejos del flujo. Modelar con precisión la dinámica del flujo de fluidos en sistemas reales y evaluar el impacto de diferentes variables y condiciones en el comportamiento del fluido es posible mediante la simulación de problemas 2D y 3D. El uso de la CFD para resolver problemas en dos y tres dimensiones es una valiosa herramienta en el diseño y mejoramiento de dispositivos y sistemas que trabajan con fluidos, tales como aviones, automóviles, sistemas de calefacción y refrigeración.

Las Herramientas y Software mas comunes para solucionar estos modelos son los siguientes:

OpenFOAM: Software libre con gran capacidad de personalización.

HEC-RAS 2D: Más usado para modelado hidráulico en ingeniería civil.

ANSYS Fluent: Solución comercial con herramientas avanzadas de CFD.

IBER: Software especializado en hidráulica fluvial.

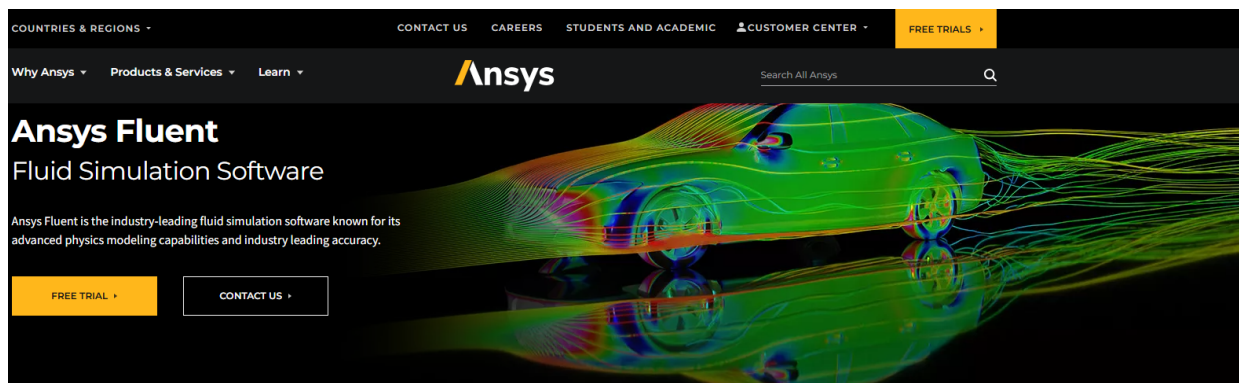
Tabla 1: Algunos Softwares para el analisis de fluidos con CFD

Programa	Interfaz gráfica	Licencia	Multiplicidad	Precisión	Flexibilidad
Ansys Fluent	Sí	Comercial	Multiplataforma	Alta	Alta
OpenFOAM	No	Libre	Multiplataforma	Variable	Alta
COMSOL Multiphysics	Sí	Comercial	Multiplataforma	Alta	Alta
STAR-CCM+	Sí	Comercial	Multiplataforma	Alta	Alta
Autodesk CFD	Sí	Comercial	Windows	Alta	Alta
Converge	Sí	Comercial	Windows	Alta	Alta
SimScale	Sí	Comercial	Nube	Variable	Alta
AVL FIRE	Sí	Comercial	Windows	Alta	Alta
NUMECA Fine/Open	Sí	Comercial	Windows	Alta	Alta
ADINA	Sí	Comercial	Windows	Alta	Alta

Fuente: Elaboración propia.

2.6. Ansys Fluent

Ansys Fluente es un software de CFD, utilizado para solucionar problemas relacionados con fluidos y transferencia de calor. Fluent propone herramientas y características para modelar y simular flujos complejos en diversas aplicaciones, desde la aerodinámica y las turbomáquinas. Este programa emplea un método basado en volúmenes finitos para solucionar las ecuaciones de Navier Stokes, facilitando el análisis y la optimización del desempeño de sistemas y aparatos bajo circunstancias reales.

Figura 6: Pagina Web de descarga del softawre Ansys Fluent

Fuente: <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>

III: Material y métodos

3.1. Tipo de investigación

En este trabajo pretende entender el comportamiento de flujos en ríos, para esto se ha considerado las condiciones de máximas avenidas de caudal en el río Cachi con la intersección del puente Allccomachay, identificando las zonas donde se genere la formación de vórtices que afectan directamente las fallas por socavación, **tipo de trabajo:** aplicada o tecnológica y un alcance descriptivo.

3.2. Nivel de Investigación

Los efectos negativos que genera grandes cantidades de volúmenes de agua produce la formación de vórtices a causa de obstáculos, para ello se analizaran el paso del caudal máximo del río Cachi al encontrarse a los pilares del puente Allccomachay, obteniendo todas las variables hidráulicas del flujo:

Investigacion Correlacional: Relación con las condiciones iniciales de análisis.

Investigacion explicativa: Explica de manera analítica la formación de vórtices en el río Cachi.

3.3. Unidad y tipo de investigación

La unidad de investigación esta definido por todos los casos de formación de vórtices a causa de obstáculos en ríos ocurrido a los largo del río Cachi, generando peligros al aumentar las socavación en pilares de puentes.

El tipo de información usada en el presente trabajo corresponde a:

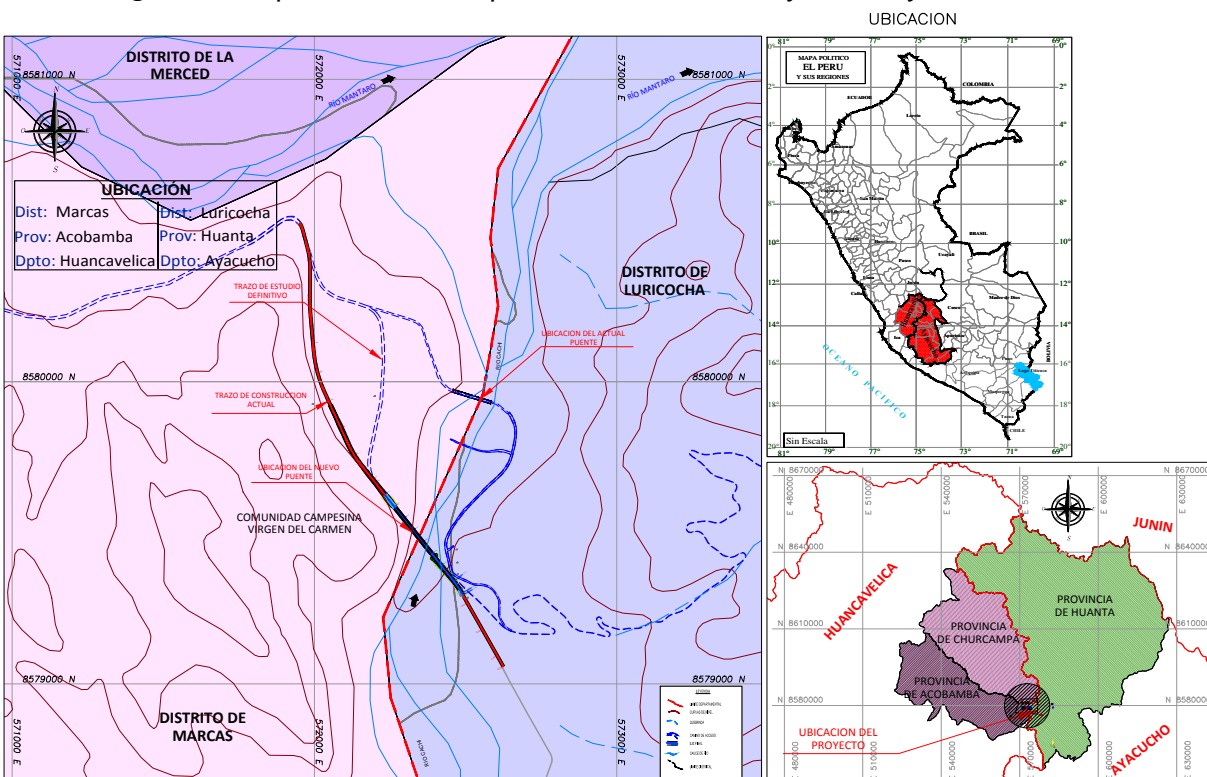
Fuente primaria , Se contó con información de DEM y la estructura del puente Allcomachay.

Fuente secundaria , Caudal de máximas avenidas.

3.4. Población

Según Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, y Baptista Lucio, 2014 indica que la delimitación de población representa un conjunto de casos que tienen una similitud en sus características, mientras la muestra es uno de los elementos del conjunto identificado.

Figura 7: Representación la población Rio Cachi Ayacucho y Huancavelica.



Fuente: Expediente técnico del puente Allcomachay

Esta investigación se ha tenido en consideración todo el recorrido del flujo del río Cachi donde intersecta con obstáculos naturales o artificiales generando cambio de presiones y la formación de vórtices que producen la socavación, todos estos cambios de régimen de flujo a lo largo del río Cachi, este río pro ser tan caudaloso intersecta con múltiples puentes a lo largo

de su recorrido, para el estudio se eligió la zona entre los límites de Huancavelica y Ayacucho como se muestra en la figura 7.

Unidad muestral.- La unidad muestral viene a ser definido por la zona de estudio del flujo de río con el puente Allccomachay, esto se lograra estudiando el comportamiento del flujo para una caudal máximo, como se indica en la imagen 8 se visualiza la zona poblacional.

Unidad de análisis.- La formación de vórtices a lo largo del río, se elige esta intersección por conveniencia; se cuenta con datos de campo e información de la estructura.

Delimitación de la población.- La delimitación de la población esta definido por todas las intersecciones con obstáculos que existen en el río Cachi..

Figura 8: Río Cachi con intersección al puente Allccomachay



Fuente: Trabajo de campo del tesista

Figura 9: Río Cachi intersección con el puente Allccomachay



Fuente: Trabajo de campo del tesista

3.5. Muestra

Dentro de la población definida, identificamos a la muestra como el tramo donde el Río Cachi intersecta con el puente Allccomachay, donde los pilares del puentes actúan como obstáculos en la dirección del flujo, eligiendo este tramo por conveniencia y se evalúa el comportamiento del flujo del río para máximo caudal, como se muestra en la figura 9.

3.6. Metodología seleccionada y aplicada al proyecto

Este trabajo trata de usar el conocimiento para evaluar la formación de vórtices producido por la obstáculo en la dirección del flujo, de esta manera explicar y conocer las zonas de formación de vórtices. Entonces resumimos la metodología como de tipo aplicativo y descriptivo de la ingeniería hidráulica.

3.6.1. Técnicas de obtención de datos para obtener la geometría

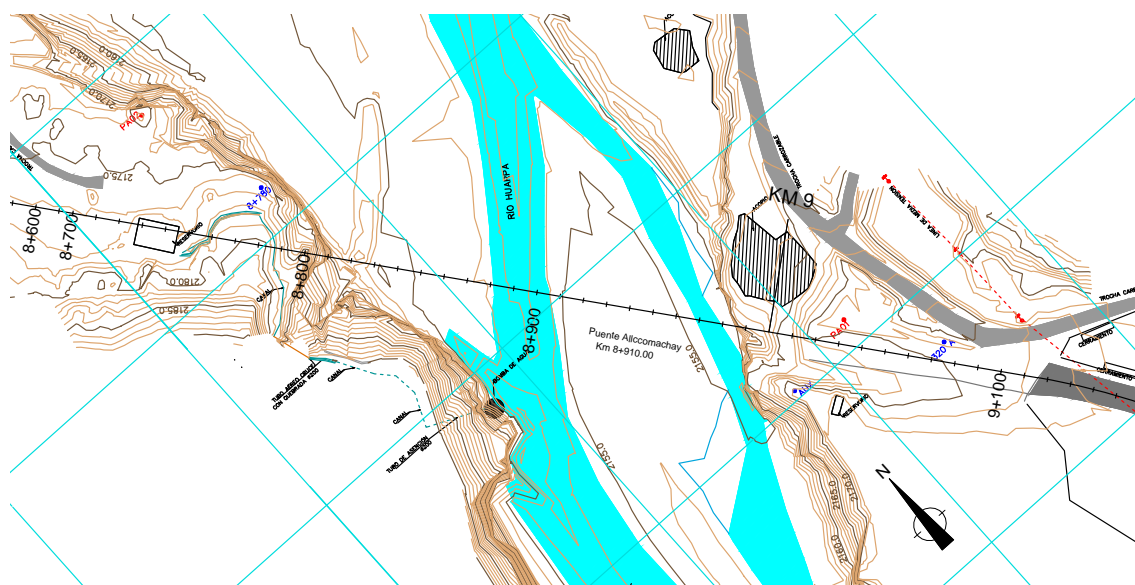
En este trabajo la técnica se trabajara con datos cuantitativos que describen las características de la condición inicial de la zona, para el análisis y simulación del flujo en ríos. En esta etapa de la investigación se detalla todas las técnicas usadas para la recolección de datos, para el caso se usa la técnica de observación experimental, teniendo en cuenta las unidades de muestreo, la muestra y sobre todo la delimitación de la población, siendo los trabajos de recolección los siguientes:

Topografía o modelos de elevación digital: Estos datos se obtienen de manera directa para conocer la morfología de la zona denominada Allccomachay de la carretera longitudinal de la sierra sur 3S en el kilómetro 8+900, obteniendo archivos raster con información detallada, del cual se generara secciones para realizar el análisis de modelo del cause del río, como se muestra en la figura 10 y 11 respectivamente.

Características geométricas del lecho del río: Para la obtención de las características geométricas del río y las estructuras, se uso la técnica de investigación de campo y técnicas de investigación documentaría, para ello se obtuvo la información directamente del expediente técnico **Estudio Definitivo par la construcción del puente Allccomachay y Accesos**, como se indica en la imagen 12 y 13 , donde se obtuvieron los resultados de cohesión, ángulo de fricción y pesos específicos.

A partir de estos datos se crearon secciones para poder visualizar el cause del río, usando método tradicionales para crear modelos representativos del río, relacionado las curvas de nivel con el nivel de río, incluyendo los pilares del puente este mismo resultados se contrasto con la recolección de datos de campo como muestra la figura 12 y 13 respectivamente.

Figura 10: Topografía de la zona de estudio



Fuente: Trabajo de campo, revisión de expediente técnico

Figura 11: Vista panorámica del puente Allcomachay.



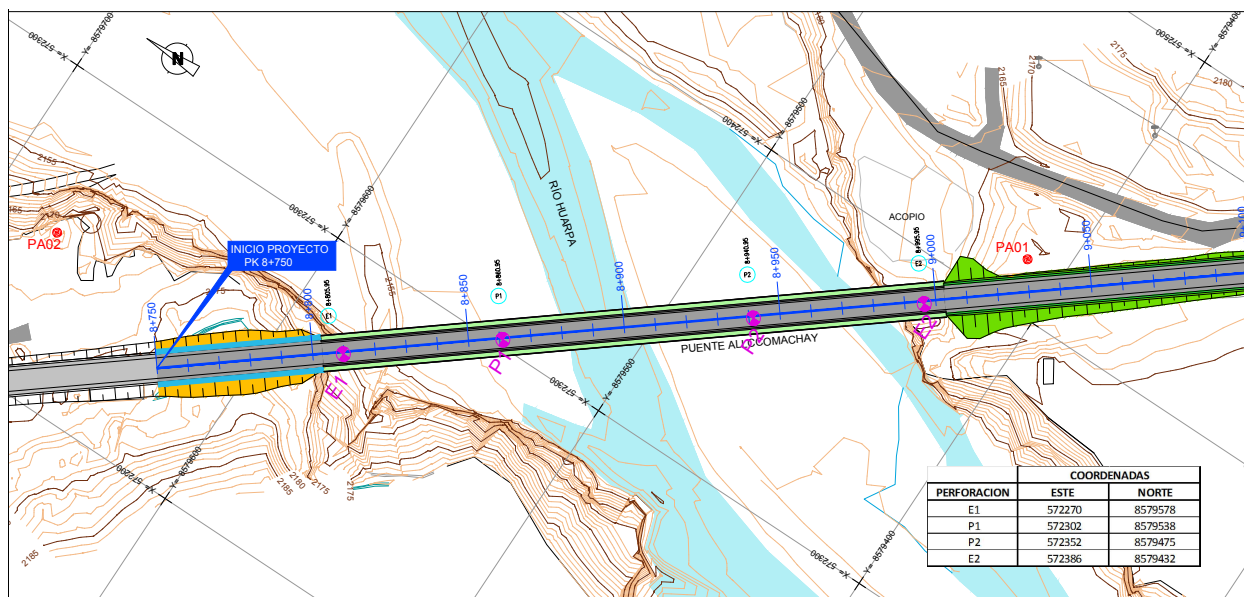
Fuente: www.google.com/imagenes

Figura 12: Geometría del puente Allccomachay



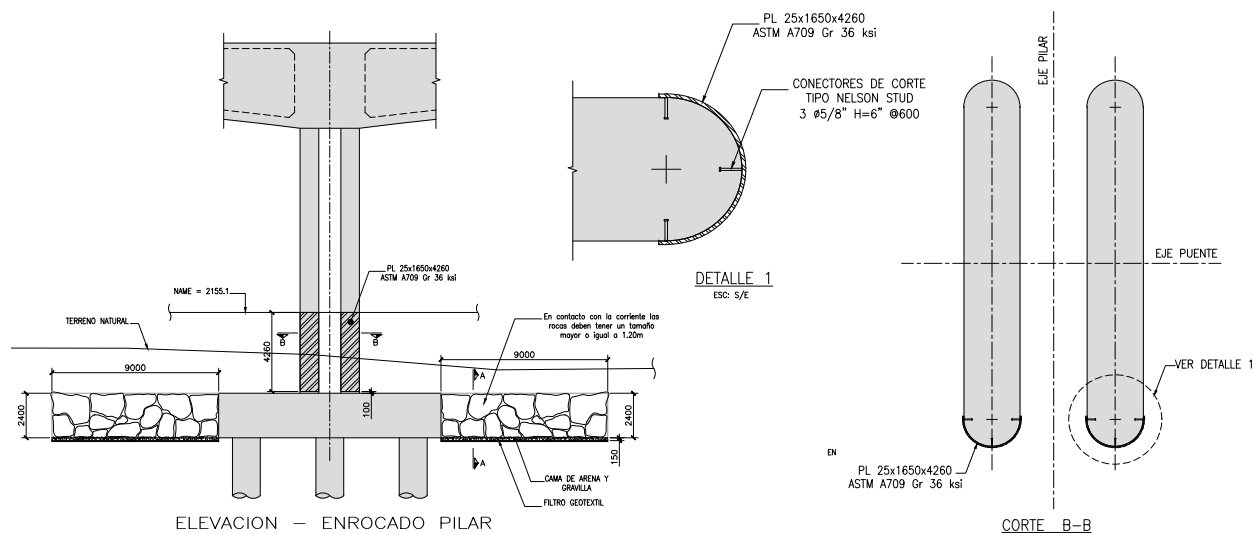
Fuente: Trabajo de campo y revisión de expediente técnico

Figura 13: Ubicación del río Cachi



Fuente: Trabajo de campo y revisión de expediente técnico

Figura 14: Geometría del pilar del puente Allcomachay



Fuente: Trabajo de campo y revisión de expediente técnico

Figura 15: Perfil y planta del puente Allcomachay

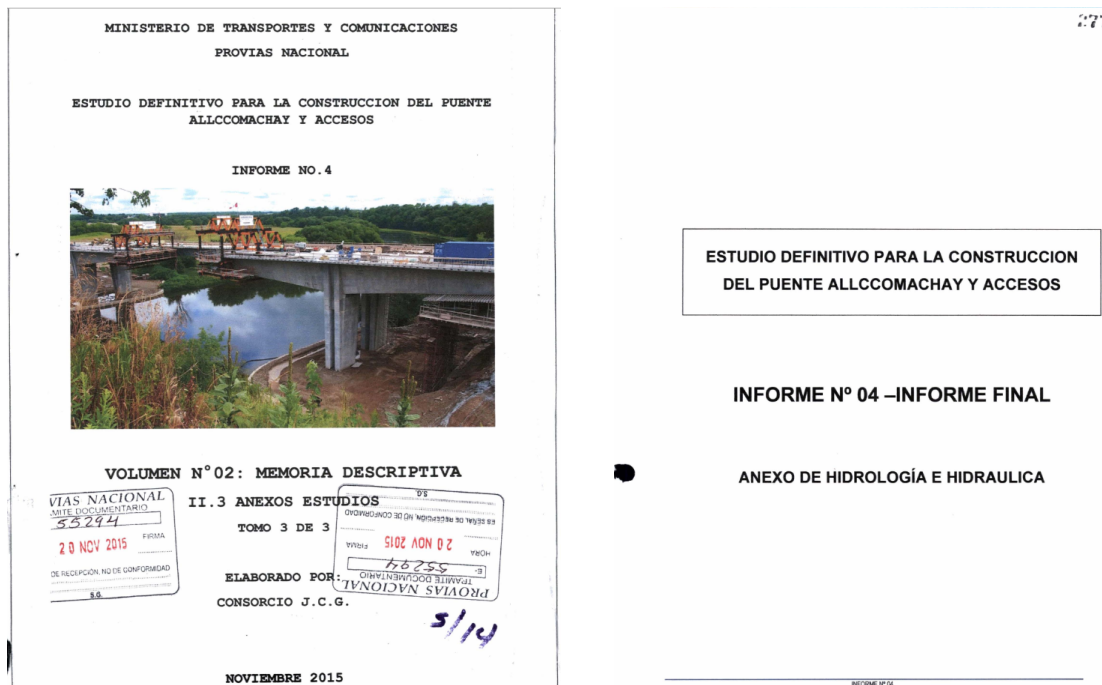


Fuente: Trabajo de campo y revisión de expediente técnico

3.6.2. Caudal de diseño considerado para el puente Allccomachay

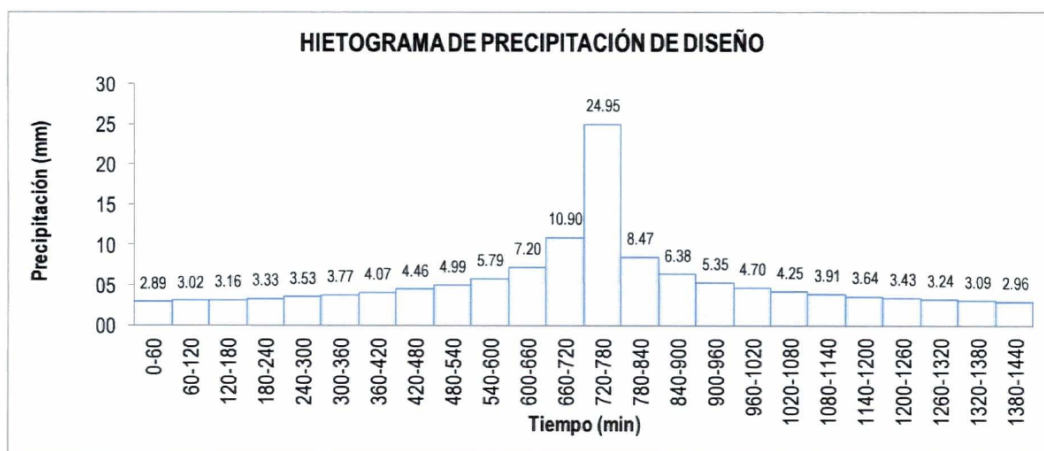
En esta investigación nuestro problema principal es el comportamiento de flujos al tener un obstáculo en la dirección de flujo y cuales son los efectos que se producen al colisionar las partículas de agua para nuestro caso con los pilares del puente Allccomachay. Para obtener las condiciones iniciales se han extraído la información del expediente técnico.

Figura 16: Revisión del estudio definitivo Puente Allccomachay y Accesos



Fuente: Trabajo de campo y revisión de expediente técnico

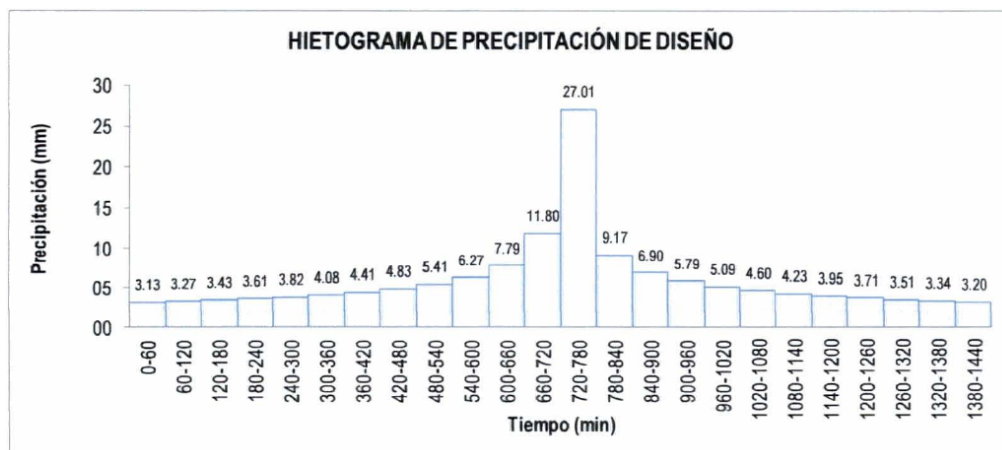
Figura 17: Hietograma de precipitación de diseño estación Quinua



Fuente: Revisión de expediente técnico

Para considerar el caudal transitado se ha extraído de los documentos del **VOLUMEN Nro 02: MEMORIA DESCRIPTIVA, II.3 ANEXOS ESTUDIOS**, obteniendo los siguientes valores.

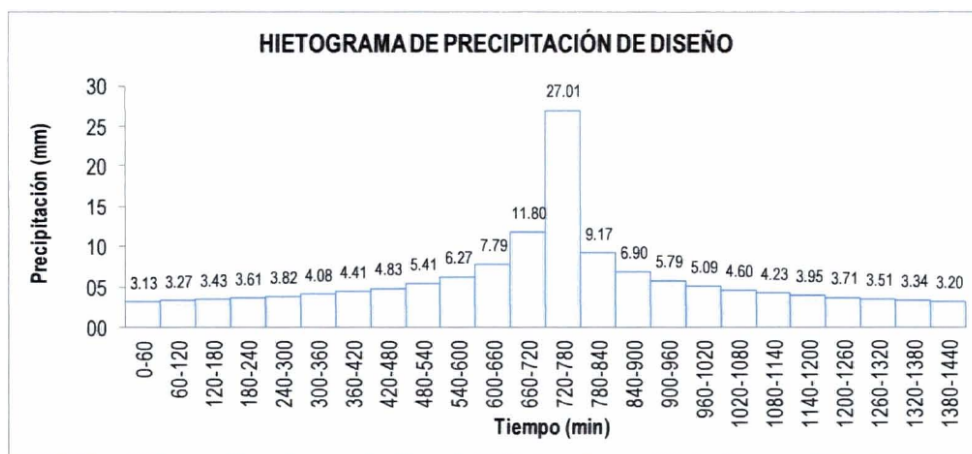
Figura 18: Hietograma de precipitación de diseño estación Acobamba



Fuente: Revisión de expediente técnico

Dentro de este ítem se han extraído la información para un periodo de retorno de 500 años, obteniendo un hietograma de precipitación de diseño como muestra en la figura 19. esto a partir de la modelo de dos subcuencas, la subcuenca de Quinua (hietograma de precipitación de la estación Quinua) figura 17 y la subcuenca Acobamba (hietograma de precipitación de la estación Acobamba) figura 18.

Figura 19: Hietograma de precipitación de diseño $Tr=500$ años



Fuente: Revisión de expediente técnico

Figura 20: Resumen de los parametros hidraulicos Expediente tecnico Tr=500años

CUADRO 01

RESUMEN DE LA DETERMINACION DE LOS PARAMETROS HIDRAULICOS - PUENTE ALLCCOMACHAY

Cuenca	Progresiva ref.Hec-ras (Km)	Nombre Puente	Caudal (m ³ /seg) Tr ₁₄₀ años	Pendiente (m/m)	luz hidráulica	Altura de agua (m)	Cota fondo	NAME	borde libre	Coeficiente de rugosidad		
					(m)	Diseño	(msnm)	(msnm)	(m)	margen izquierda	Cauce	margen derecha
Huarpa	0+385.0	Allccomachay	1602.8	0.0072	190.0	4.6	2150.95	2155.6	2.5	0.030	0.045	0.035

BELINDA GUILLEN VIDAL
Especialista en Hidrología e Hidráulica
Reg. CIP. N° 48726

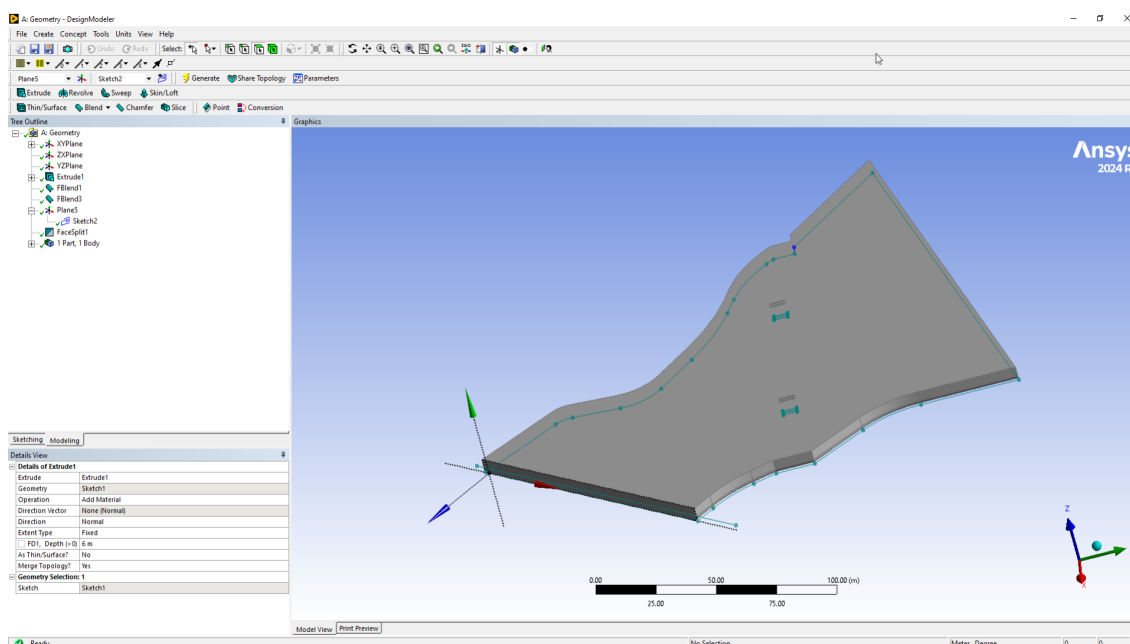
ING. JACK NORIEGA TORRES
Reg. CIP. N° 48828
JEFE DE PROYECTO

3.7. Procesamiento de datos en ANSYS 2024R1

3.7.1. Creación de la geometría - Ansys Geometry

En este ítem se ha tratado de recrear la geometría de la estructura a través de la información obtenida del expediente técnico, como se observa en la figura 21, se muestra la morfología del cause del río Cachi el cual se crea en el software Ansys como un sólido usando Ansys Geometry donde el entorno gráfico del software facilita el desarrollado para crear geometrías como sólidos y planos, así mismo se define la altura del nivel de agua que ingresa a una altura de 4.6m como se muestra en la figura 22.

Figura 21: Definición de la geometría del modelo tipo solido - Ansys Geometry



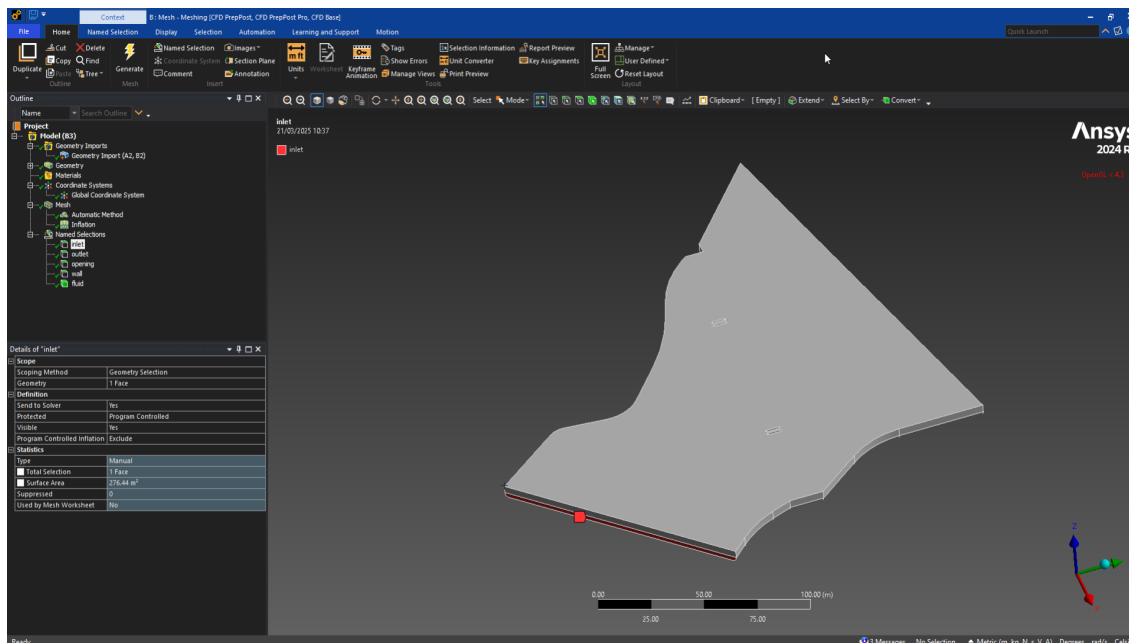
Fuente: Elaboración propia - Ansys Geometry

3.7.2. Creación de la malla - Ansys Meshing CFD

Como se indica en la figura 22, se asigna el área de ingreso del caudal usando la herramienta Ansys Meshing CFD, para luego asignar el valor de 1602.8 m³/seg y una velocidad media de 3.6m/seg como indica el estudio del proyecto, así mismo en la misma imagen se observa todas las condiciones de frontera que se aplica al modelo como las capas de **inlet** (superficies de ingreso del flujo), **outlet** (superficie de salida del flujo), **opening** (superficie

en contacto con la presión atmosférica), **wall** (paredes límites del modelo) y **fluid** (modelo de flujo aire y agua).

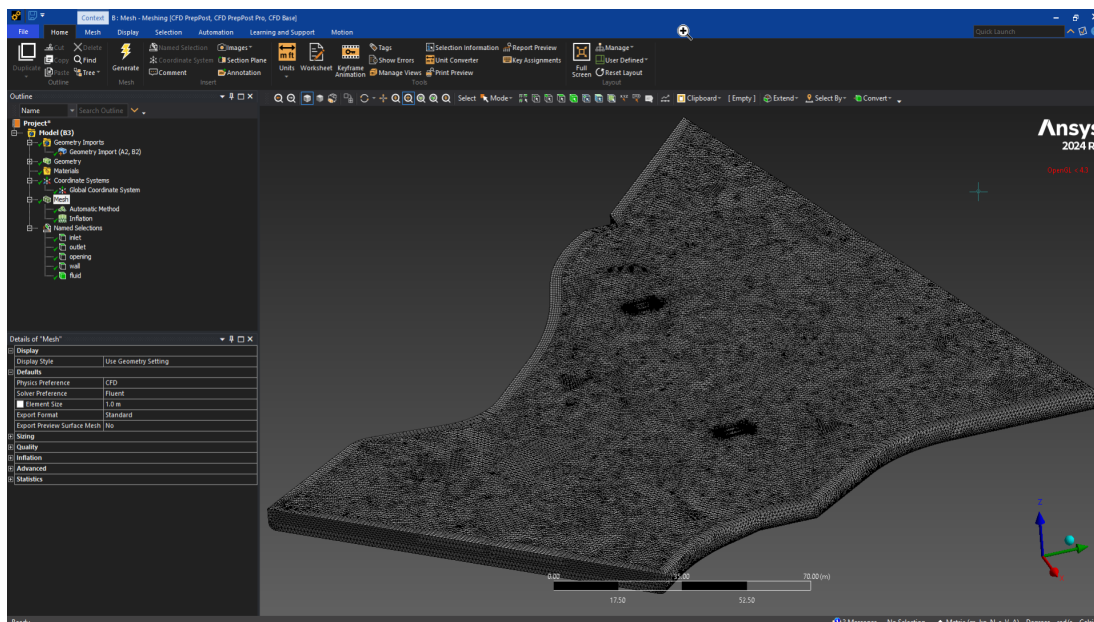
Figura 22: Definición de las condiciones de frontera - Ansys Meshing-CFD



Fuente: Elaboración propia - Ansys Meshing-CFD

Como se observa en la 23 representa el enmallado tetraedro y exagonal, así mismo el método de enmallado se realiza de manera automática, sin embargo se realiza una refinación en las zonas donde se requiere conocer más detalles cerca de la estructura de los pilares a través de la herramienta **inflation**, como muestra la misma figura.

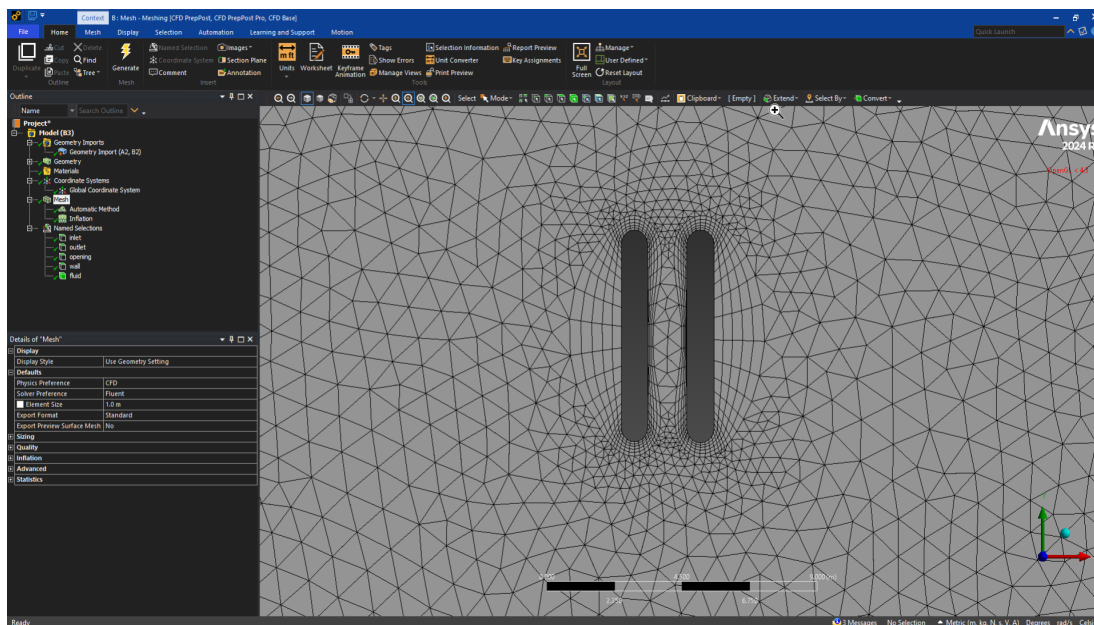
Figura 23: Creación de la malla - Ansys Meshing-CFD



Fuente: Elaboración propia - Ansys Meshing-CFD

La figura 24 muestra como se realiza el refinamiento cerca de la zona de los pilares del puente Allcomachay a través inflation de Ansys Meshing y generando la malla.

Figura 24: Refinamiento de la malla - Ansys Meshing-CFD



Fuente: Elaboración propia - Ansys Meshing-CFD

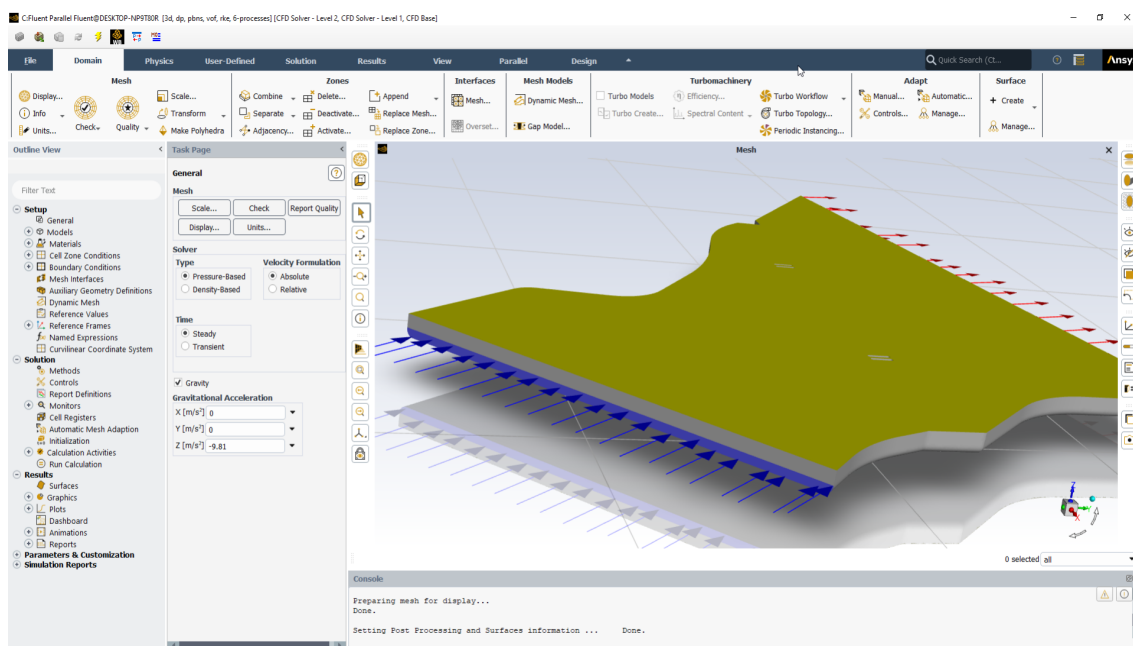
3.7.3. Condiciones iniciales para la simulación - Ansys Fluent

En este ítem se define las condiciones iniciales para iniciar la simulación del modelo, como se ve en la imagen 25 muestra las superficies antes definidas en Ansys Meshing, donde se definió las áreas de ingreso y salida de flujo correspondiente al caudal del río Cachi.

Así mismo en este ítem se define la dirección de como influye la gravedad en el modelo y se ingresa el valor de 9.81 m/seg² en la dirección z negativo.

También definimos el número de procesadores con el cual se va a trabajar, se verifica la calidad de enmallado, se realiza un reporte de calidad y usamos un tipo de análisis estacionario.

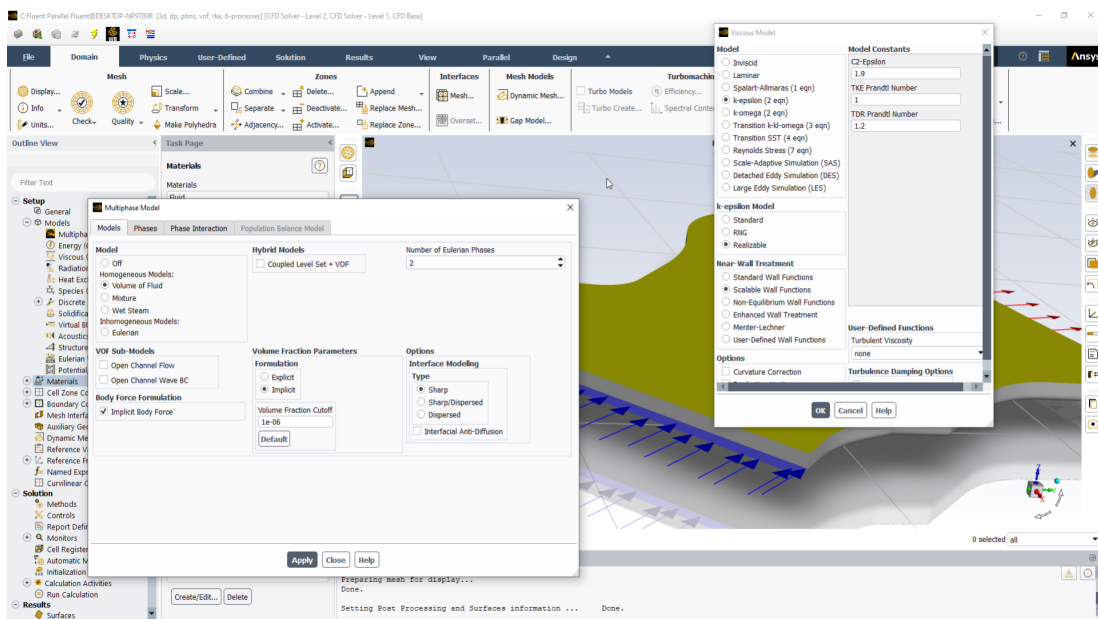
Figura 25: Condición inicial - Ansys Fluent



Fuente: Elaboración propia - Ansys Fluent

En esta sección se define el tipo de fluido, fases del modelo líquido (agua) y aire, estos dos flujos interactúan, estas configuraciones se muestran en la figura 26, también configuramos el modelo k-epsilon (se elegí el modelo por su sencillez) un modelo realizable y definimos una función de pared escalable.

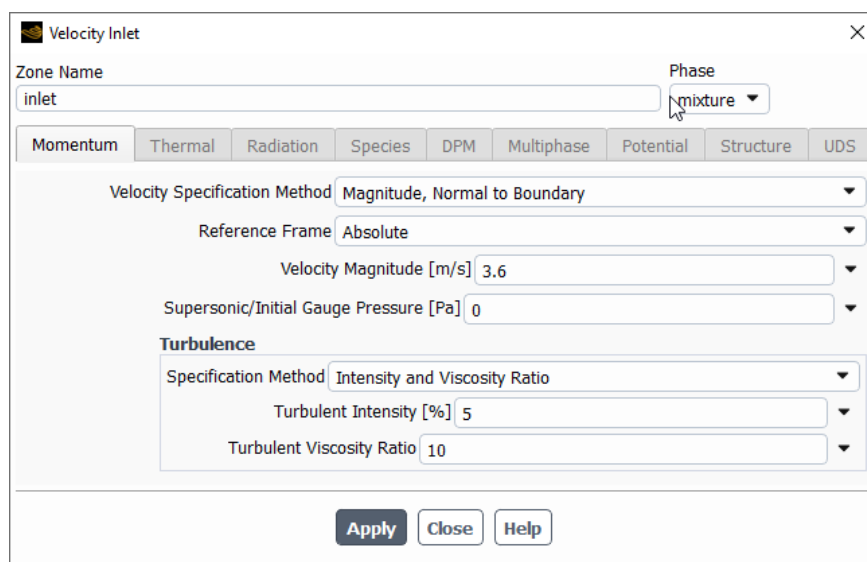
Figura 26: Configuración del modelo - Ansys Fluent



Fuente: Elaboración propia - Ansys Fluent

En la figura 27 y figura 28 muestra las condiciones iniciales del modelo para iniciar la simulación, ingresamos las velocidades perpendicular al solido, también la intensidad de turbulencia, así mismo definimos las condiciones de salida del flujo.

Figura 27: Condición inicial inlet - Ansys Fluent



Fuente: Elaboración propia - Ansys Fluent

Figura 28: Condición inicial outlet - Ansys Fluent

Pressure Outlet

Zone Name: outlet Phase: mixture

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential Structure UDS

Pressure Specification Method: Gauge Pressure

Gauge Pressure [Pa]: 0

Pressure Profile Multiplier: 1

Backflow Direction Specification Method: From Neighboring Cell

Backflow Pressure Specification: Total Pressure

Radial Equilibrium Pressure Distribution

Turbulence

Specification Method: Intensity and Viscosity Ratio

Backflow Turbulent Intensity [%]: 5

Backflow Turbulent Viscosity Ratio: 10

Apply Close Help

Fuente: Elaboración propia - Ansys Fluent

También ingresamos las condiciones de los muros del modelo espesores y coeficiente de rugosidad para la simulación, como se muestra en la figura 29, indica el tamaño de la rugosidad asociada al coeficiente de rugosidad, donde el espesor de la rugosidad es de 0.01 m para las paredes de pilar del puentes y 0.1 para el lecho del río.

Figura 29: Condición inicial Wall - Ansys Fluent

Wall

Zone Name: wall Phase: mixture

Adjacent Cell Zone: fluid

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Potential Structure Ablation

Wall Motion Motion

Stationary Wall Relative to Adjacent Cell Zone

Moving Wall

Shear Condition

No Slip

Specified Shear

Specularity Coefficient

Marangoni Stress

Wall Roughness

Roughness Models **Sand-Grain Roughness**

Standard High Roughness (Icing)

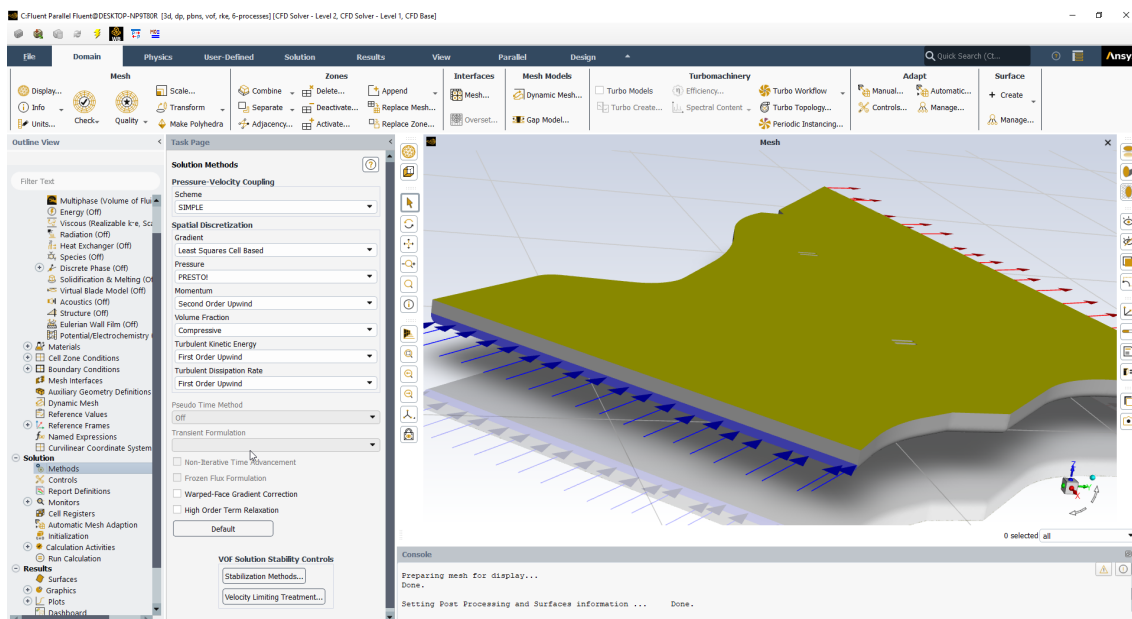
Roughness Height [m]: 0.01

Roughness Constant: 0.045

Apply Close Help

Fuente: Elaboración propia - Ansys Fluent

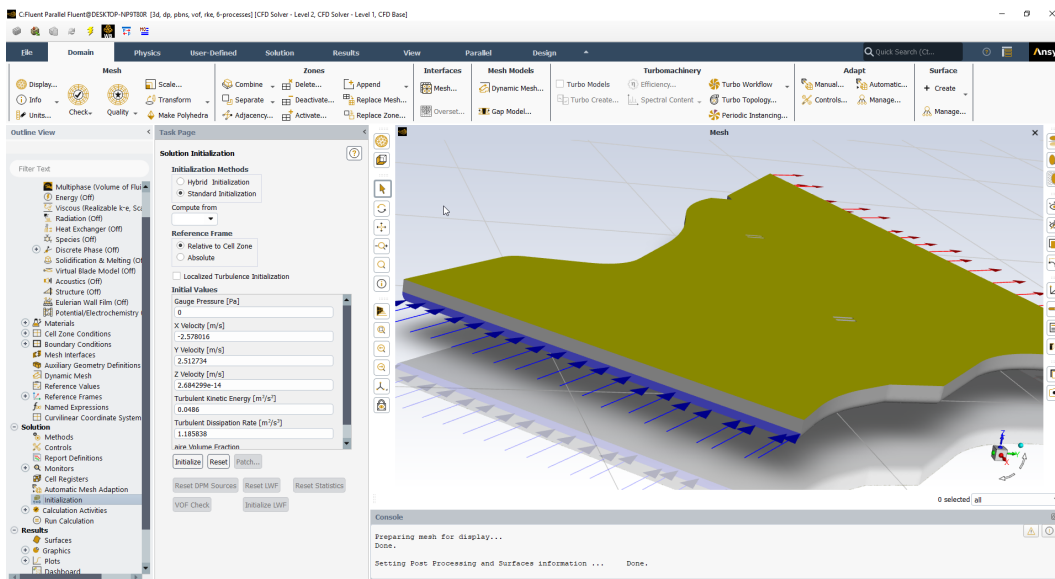
Figura 30: Configuración Methods - Ansys Fluent



Fuente: Elaboración propia - Ansys Fluent

Se procedió con la inicialización de la simulación para lo cual se reviso los parametros ingresados anteriormente, se verifica que en la direccion X se tiene una velocidad de -2.57m/s y en la direccion Y se tiene una velocidad de 2.51m/s haciendo, donde la velocidad de ingreso perpendicular a la cara definida como **inlet** es de 3.6m/s .

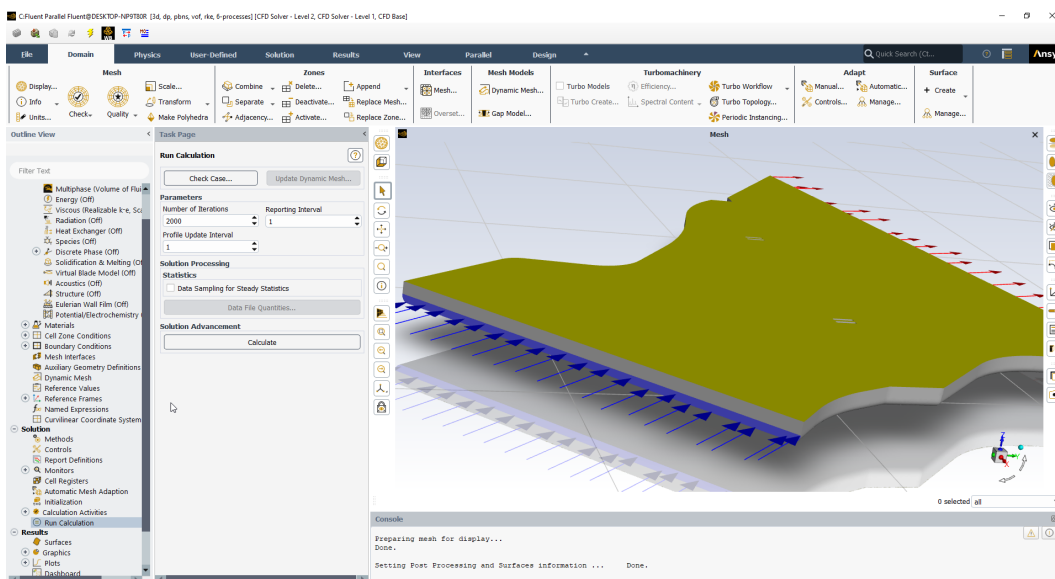
Figura 31: Configuración Initialization - Ansys Fluent



Fuente: Elaboración propia - Ansys Fluent

También se ingresa los límites de iteración, para nuestro modelo se asume un numero de iteraciones de 2000 para que el modelo pueda converger y obtener los resultados en un método estacionario.

Figura 32: Configuración Run Calculation - Ansys Fluent



Fuente: Elaboración propia - Ansys Fluent

IV: Resultados y discusiones

El desarrollo de esta investigación delimitado por la intersección del río Cachi y los pilares del puente Allcomachay, este análisis se desarrolla a través del modelo computacional Ansys Fluent, que involucra un régimen estacionario.

4.1. Descripción de la zona de estudio

Este trabajo se desarrolla en la zona donde se intercepta el río Cachi con la estructura del puente Allcomachay, aproximadamente en la Carretera Longitudinal de la Sierra Sur 3S en el kilómetro 8+900, donde se amplía el conocimiento mediante la simulación del flujo a través de modelos tridimensionales en pilares de puentes y ver la formación de vórtices.

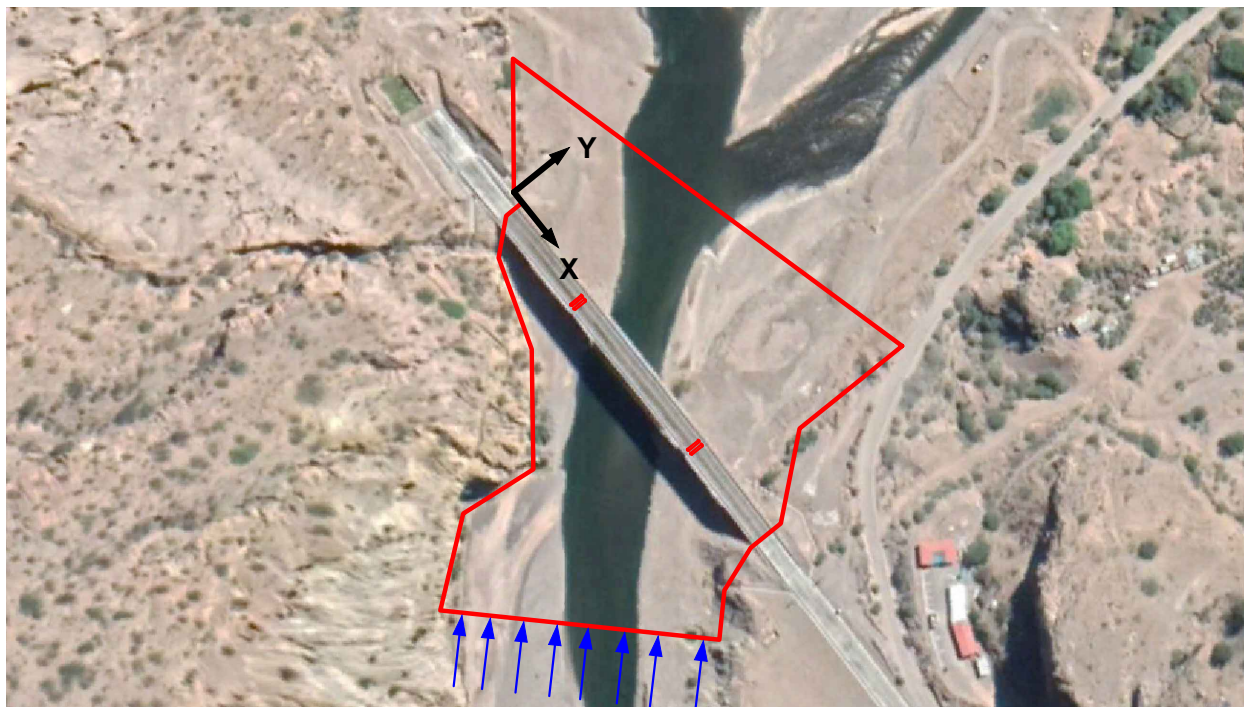
El tramo evaluado se encuentra entre una altura que oscila entre los 2100msnm, y se evaluara una tramo de 300m de longitud en un ancho de 190m, donde se desplaza el caudal de diseño de 1602.8.4m³/s. En la figura 33, se observa que el área identificado incluye todo el lecho del río, geometría de la estructura y la dirección del caudal de ingreso, estos obstáculos hacen que el flujo cambien de dirección de velocidades y se generen vórtices.

Para esta investigación se han desarrollado dos simulaciones, la primera simulación se ha considerado las condiciones iniciales para el modelo como caudal de diseño del puente Allcomachay que según el expediente técnico considera un caudal de 1602.8m³/s y 3.6m/s velocidad promedio para un periodo de retorno de 500 años , así mismo las condiciones de frontera se han tomado de los archivos presentes en el expediente técnico para obtener los resultados que se muestran en el ítem 4.2 donde muestra todas las variables hidráulicas del modelo.

En nuestro modelo tratamos de representar la realidad a un bosquejo matemático de un sólido por el cual asumimos el paso del flujo, como se observa en la figura 33 muestra como

se representa a dicha área asemejando a una figura geométrica cuyo origen de coordenada esta representado por el vértice izquierdo del estribo izquierdo, como muestra la figura.

Figura 33: Vista panorámica de la identificación de la geometría del modelo a simular



Fuente: Trabajo de campo .

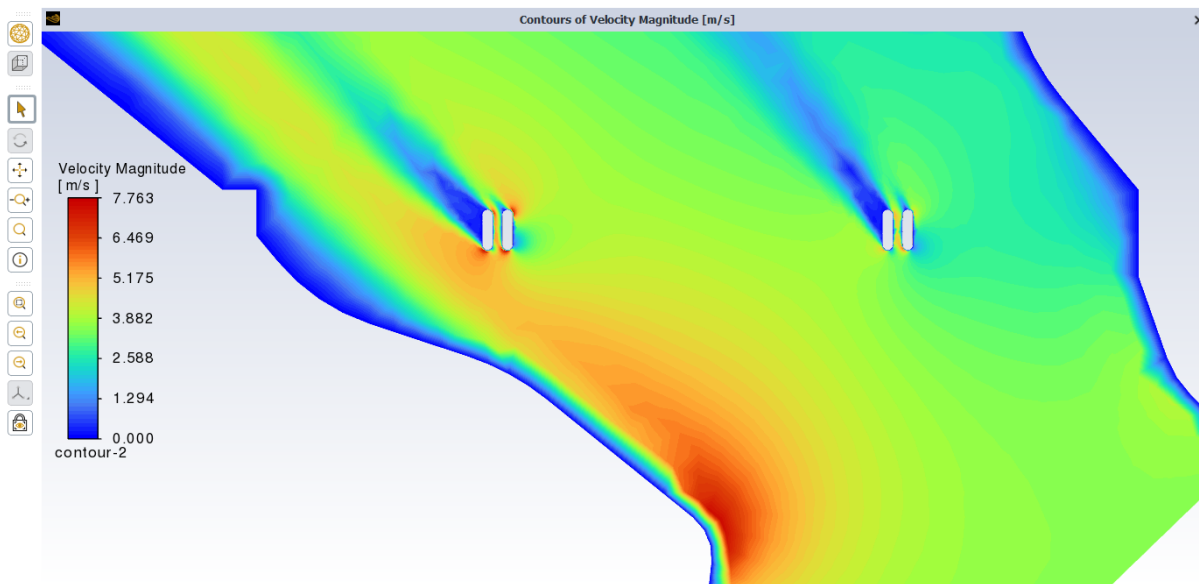
A partir de este modelo se realiza una segunda simulación donde consideramos el pilar izquierdo mas representativo debido que las velocidades son de magnitudes máximas en este pilar y donde se han tomado los resultados de la primera simulación para las condiciones iniciales y para las condiciones de frontera se han tomado un bloque con un ancho de 15 metros, una longitud de 50 metros y una altura de 3 metros, cuyos resultados presentan en el ítem 4.3.

4.2. Resultados de la primera simulación

En esta simulación se observa el modelo con los parámetros definidos, cave resaltar que para la simulación se uso un régimen estacionario reduciendo las variables respecto al tiempo, encontrando las diferentes resultados para contrastar los objetivos planteados en la investigación.

En la figura 34 se muestra los resultados de velocidades para el Río Cachi con la intersección del puente Allccomachay.

Figura 34: Velocidades obtenidas con la simulación del flujo



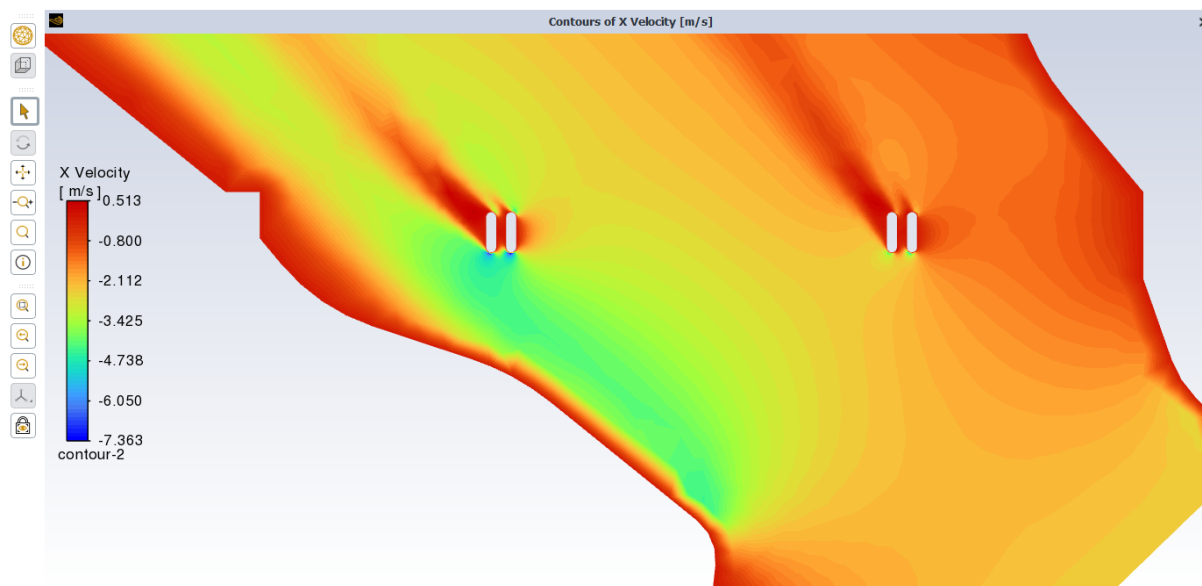
Fuente: Resultados Ansys Fluent

Como indica la figura 34 indica como va variando la velocidad desde velocidades bajas hasta los 7.7m/seg, las velocidades máximas se generan en los puntos donde existen cambios bruscos de condiciones de borde, se presenta en el punto con una leyenda de color rojo mostrando que el flujo al colisionar con el borde del río genera inmediatamente velocidades altas, este mismo resultados se obtiene en los puntos donde el flujo intersecta a los pilares, generando velocidades altas por el cambio de régimen provocados por obstáculos.

En esta simulación se ha considerado las siguientes condiciones iniciales:

Como se observa en la figura 35 se muestra los resultados de velocidades del flujo en la **dirección X** para el Río Cachi con la intersección del puente Allccomachay.

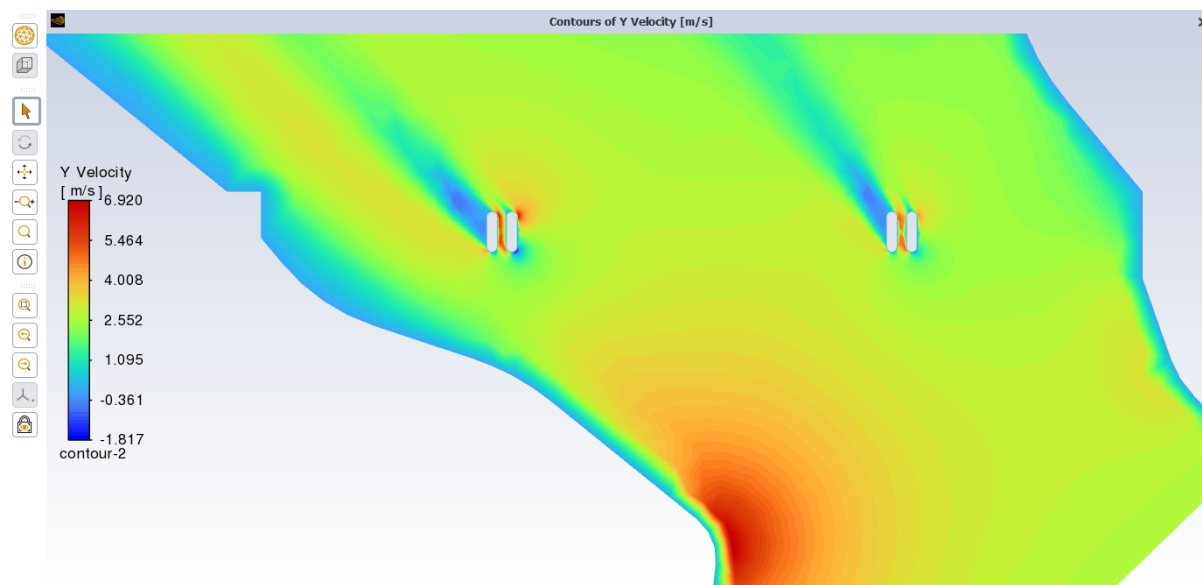
Figura 35: Velocidades en X, obtenidas con la simulación del flujo



Fuente: Resultados Ansys Fluent

Como se observa en la figura 36 se muestra los resultados de velocidades del flujo en la **dirección Y** para el Río Cachi con la intersección del puente Allccomachay.

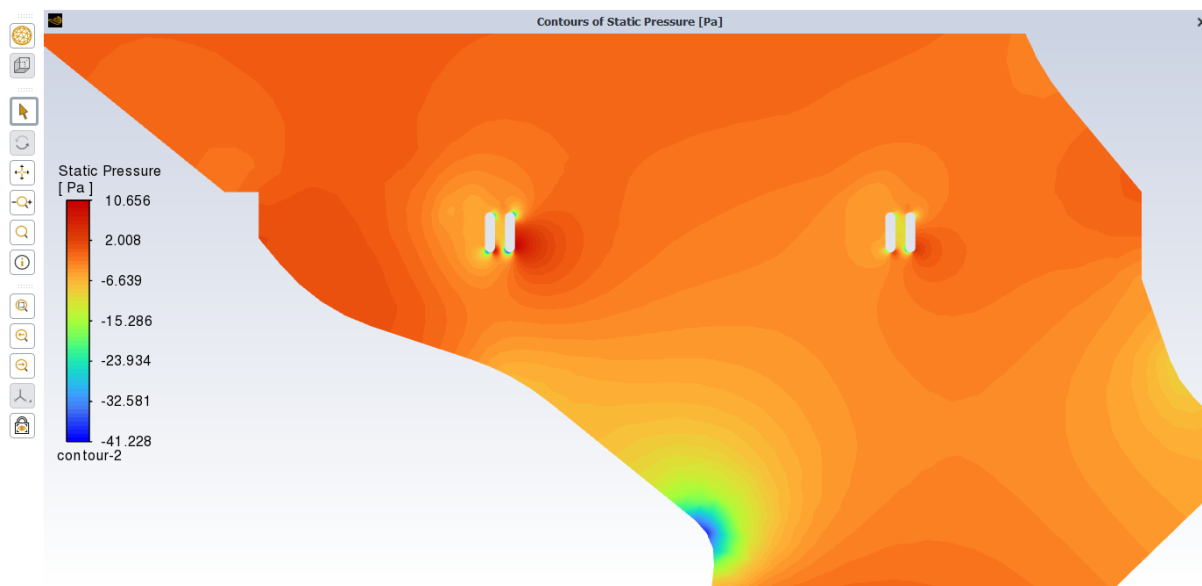
Figura 36: Velocidades en Y, obtenidas con la simulación del flujo



Fuente: Resultados Ansys Fluent

Como se observa en la figura 37 se muestra los resultados de la presión estática del Río Cachi sobre los pilares puente Allccomachay.

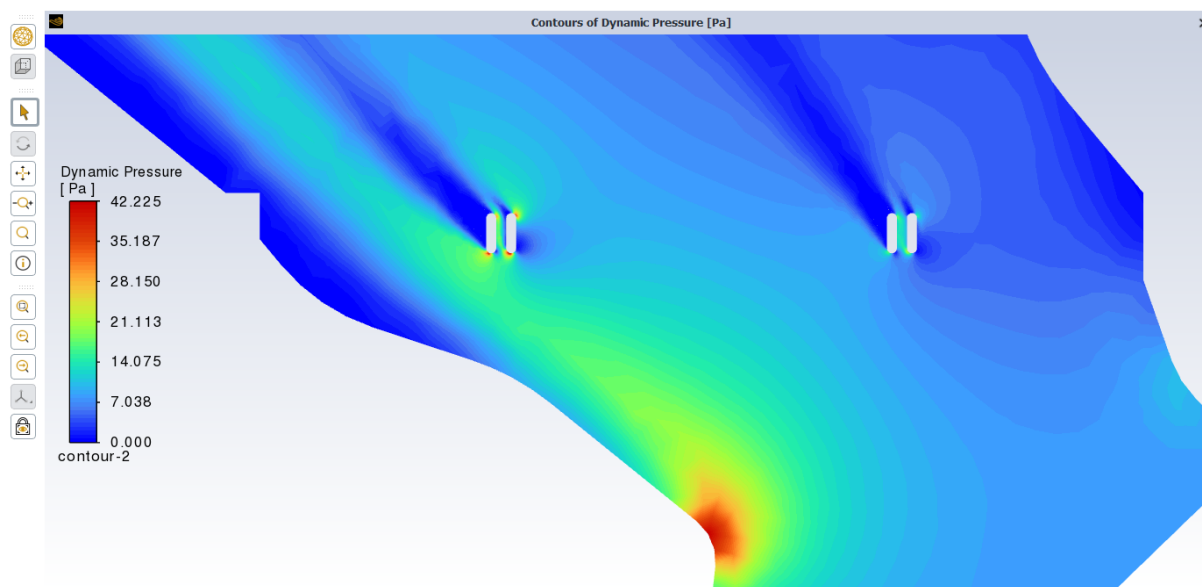
Figura 37: Presión estática obtenidas con la simulación del flujo



Fuente: Resultados Ansys Fluent

Como se observa en la figura 38 se muestra los resultados de la presión dinámica del Río Cachi sobre los pilares puente Allccomachay.

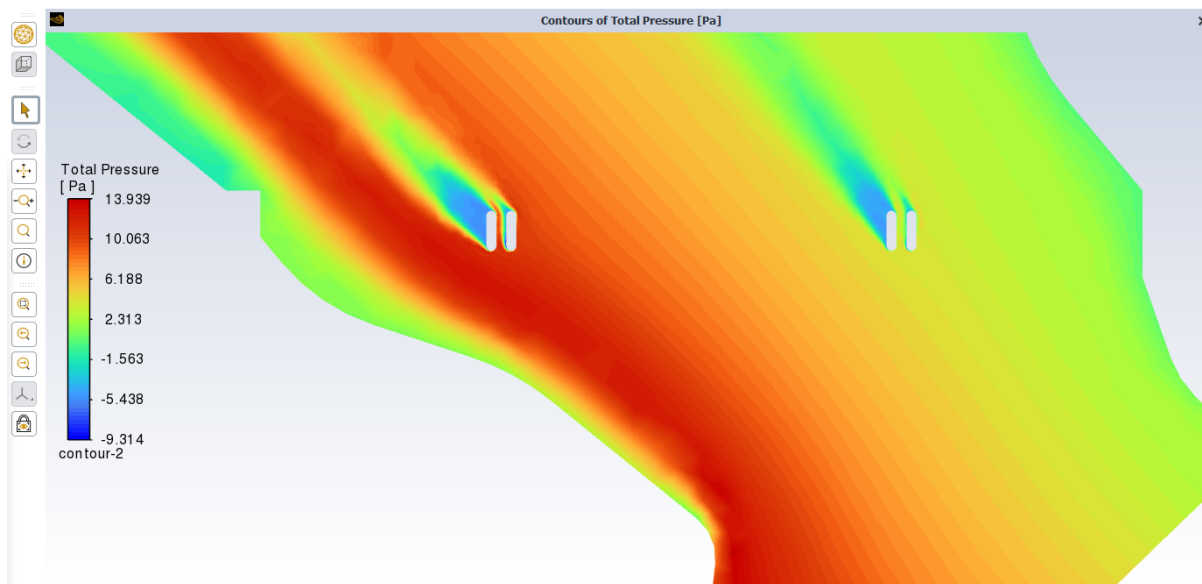
Figura 38: Presión dinámica obtenidas con la simulación del flujo



Fuente: Resultados Ansys Fluent

Como se observa en la figura 39 se muestra los resultados de la presión total del Río Cachi sobre los pilares puente Allccomachay.

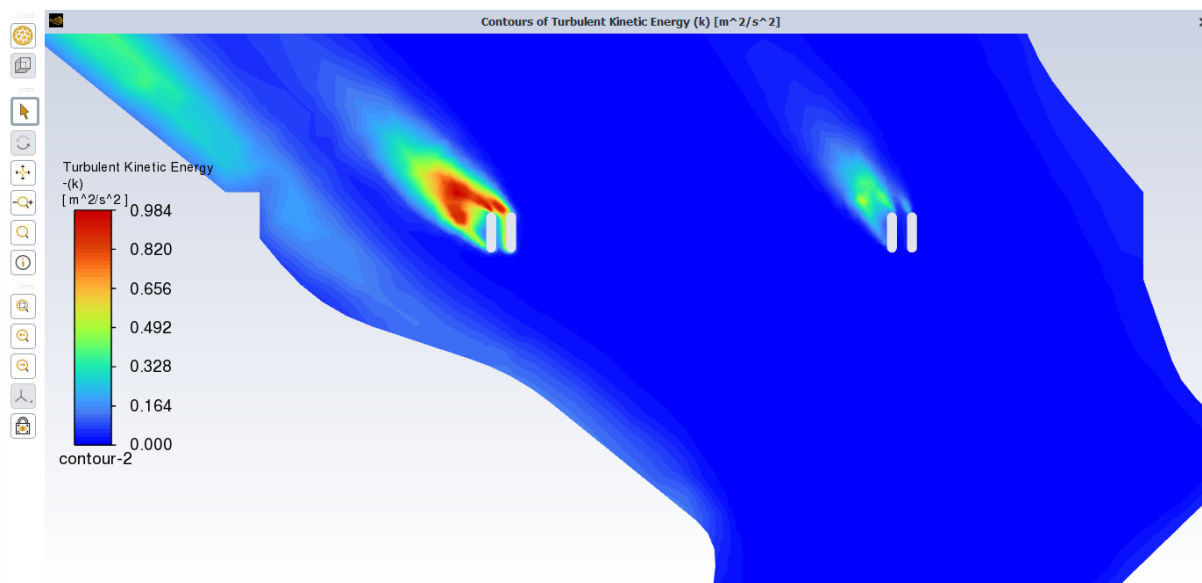
Figura 39: Presión total obtenidas con la simulación del flujo



Fuente: Resultados Ansys Fluent

Como se observa en la figura 40 se muestra los resultados de la Turbulencia en función al incremento de la energía cinética del Río Cachi sobre los pilares puente Allccomachay.

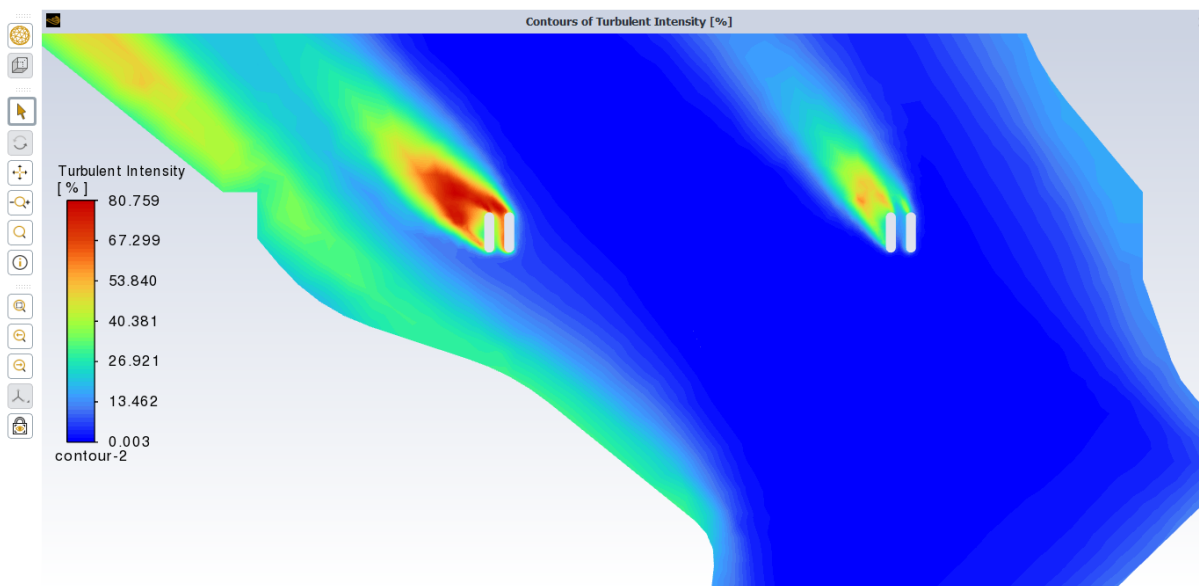
Figura 40: Turbulencia del río obtenidas con la simulación del flujo



Fuente: Resultados Ansys Fluent

Como se observa en la figura 41 se muestra los resultados de la Turbulencia en función al incremento de la energía cinética expresado en porcentaje del Río Cachi sobre los pilares del puente Allccomachay.

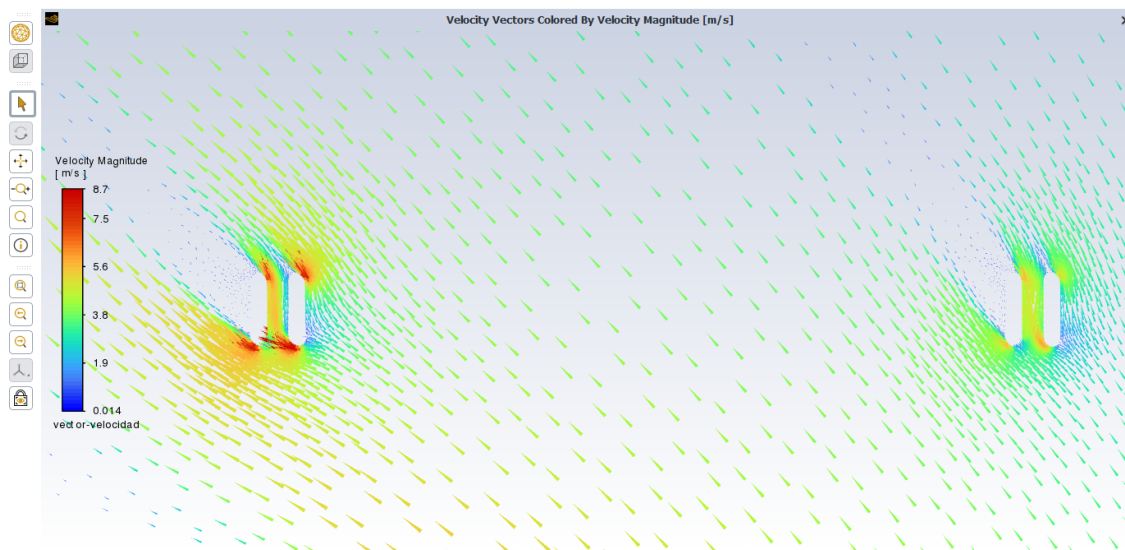
Figura 41: Turbulencia expresado en porcentaje obtenidas con la simulación del flujo



Fuente: Resultados Ansys Fluent

Como se observa en la figura 42 se muestra los resultados de como varia la direccion de las velocidades del río Cachi al interceptar a los pilares del puente Allccomachay.

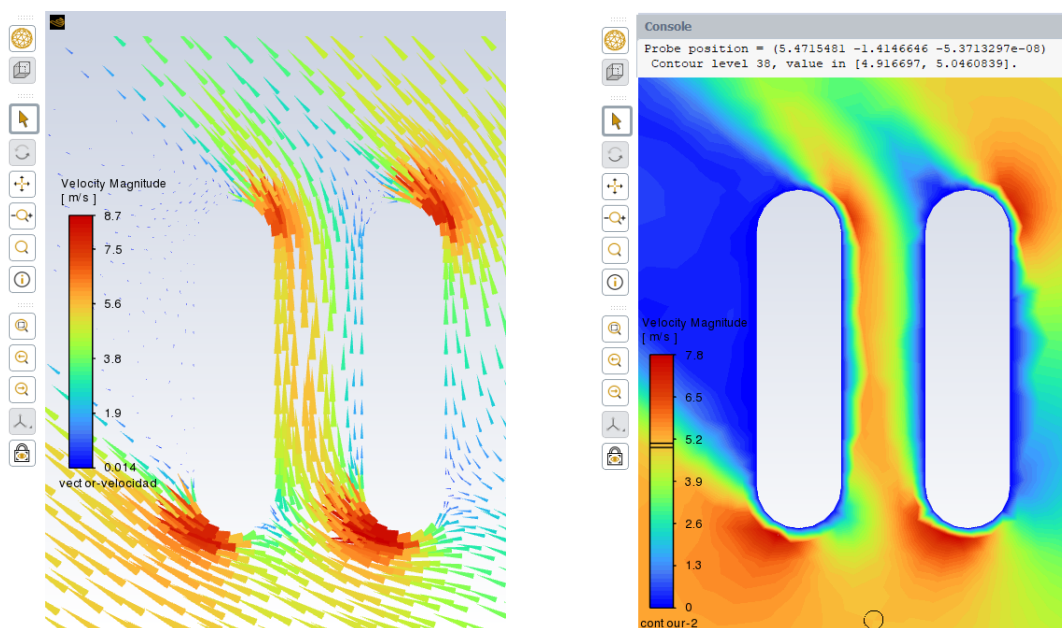
Figura 42: Variación de los vectores de velocidad con la simulación del flujo



Fuente: Resultados Ansys Fluent

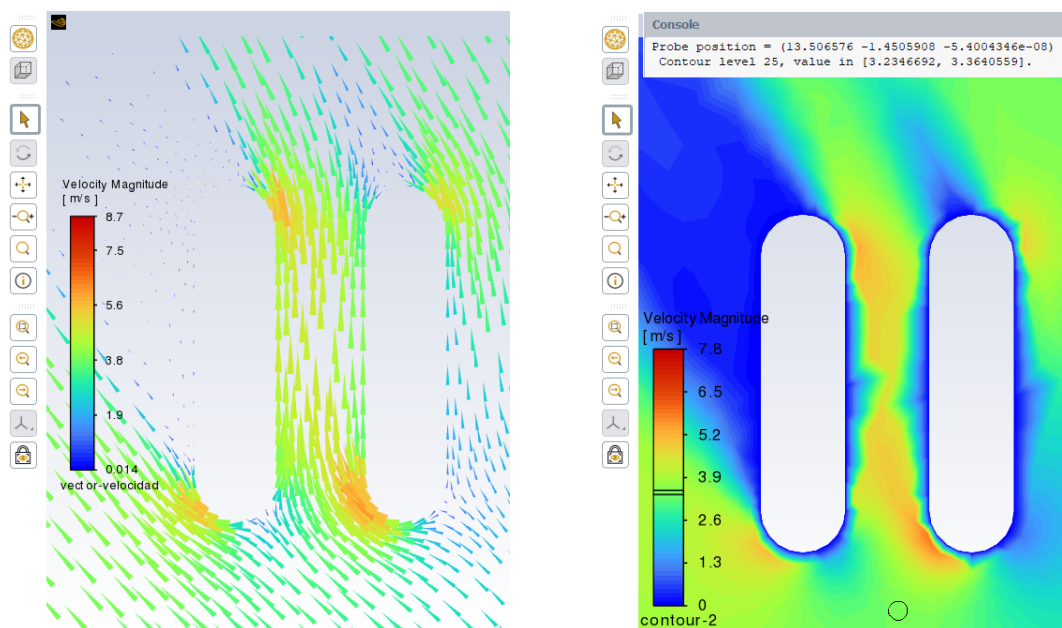
En la imagen 43, se observa una amplificación de las corrientes del flujo y su variación, de donde se aprecia que el pilar izquierdo es el que presenta mayor variación en la dirección del velocidades.

Figura 43: Variación de los vectores de velocidad en el pilar izquierdo



Fuente: Resultados Ansys Fluent

Figura 44: Variación de los vectores de velocidad en el pilar derecho



Fuente: Resultados Ansys Fluent

Como se puede observar el pilar izquierdo del puente tiene una mayor influencia en la dirección del flujo al generar mayor variación en la dirección de los vectores de velocidad, en la imagen 44 se aprecia que las velocidades aproximadamente 5 metros antes de llegar a los pilares es de 5m/s en el pilar izquierdo y una velocidad de 3.3m/s para el pilar derecho, con estos resultados se plantea una nueva simulación para observar a detalle el comportamiento del pilar izquierdo (mayor incidencia en la variación de flujo).

Figura 45: Velocidades obtenidos en campo Río Cachi, NAMO



Fuente: Resultados Río Cachi

Así mismo estos resultados de la primera simulación se han tratado de contrastar en el río Cachi, sin embargo el caudal no representa al máximo usado en la simulación, como se observa en la figura 45 y 46 se han contrastado con una equipo de monitorio de velocidades.

Figura 46: Velocidades obtenidos en campo Rio Cachi, NAMO



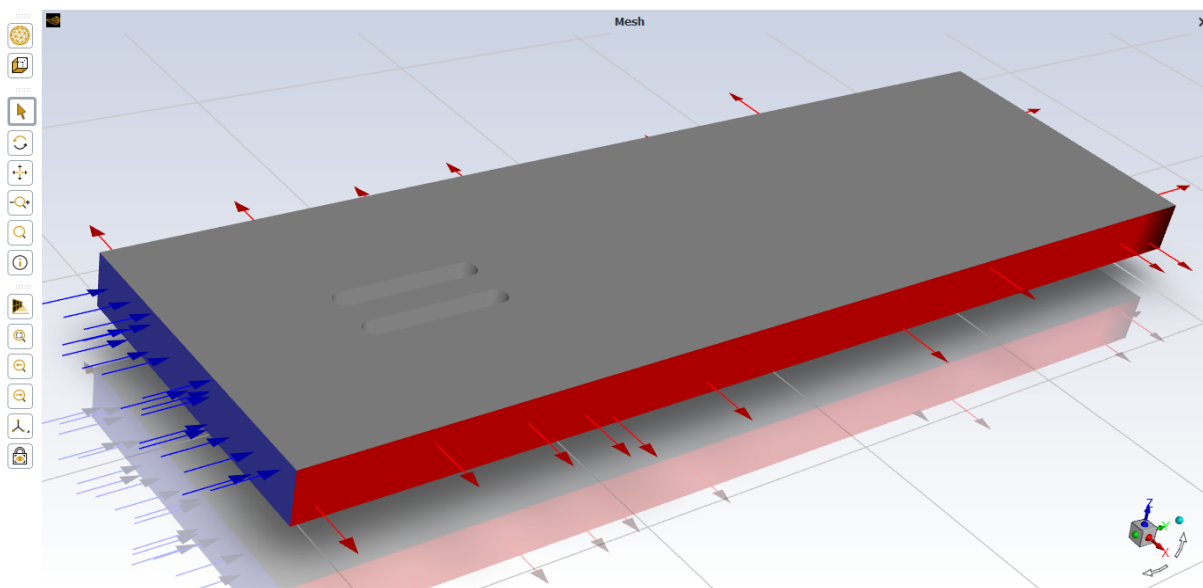
Fuente: Resultados Río Cachi

4.3. Resultados de la segunda Simulación

Para esta segunda simulación se a elegido el pilar izquierdo el que tiende a modificar la direccion de flujo, a partir de estos resultados se crean un modelo tridimensional del pilar y el flujo aproximadamente en un cubo de 20x50 con una altura de 2.5m, para realizar una simulacion obteneindo lo siguientes resultados.

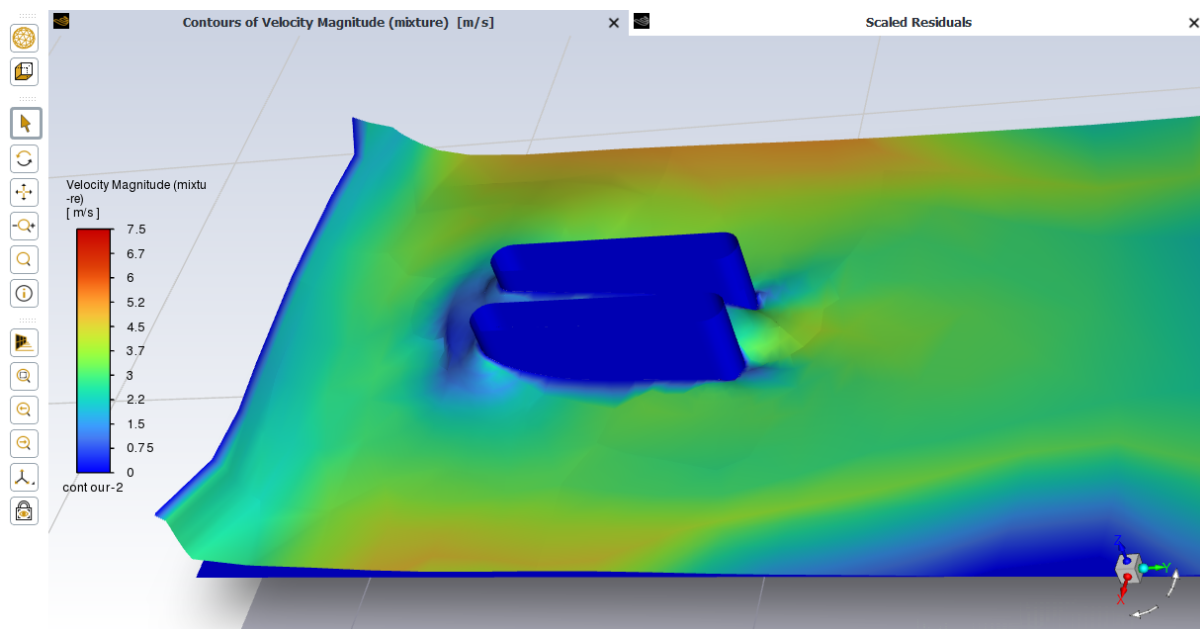
En la figura 48 representa los resultados de la simulación del pilar izquierdo, donde se visualiza las velocidades de ingreso y ademas la variación del tirante del agua en estas zonas.

Figura 47: Simulación del pilar izquierdo



Fuente: Elaboración propia

Figura 48: Simulación del pilar izquierdo

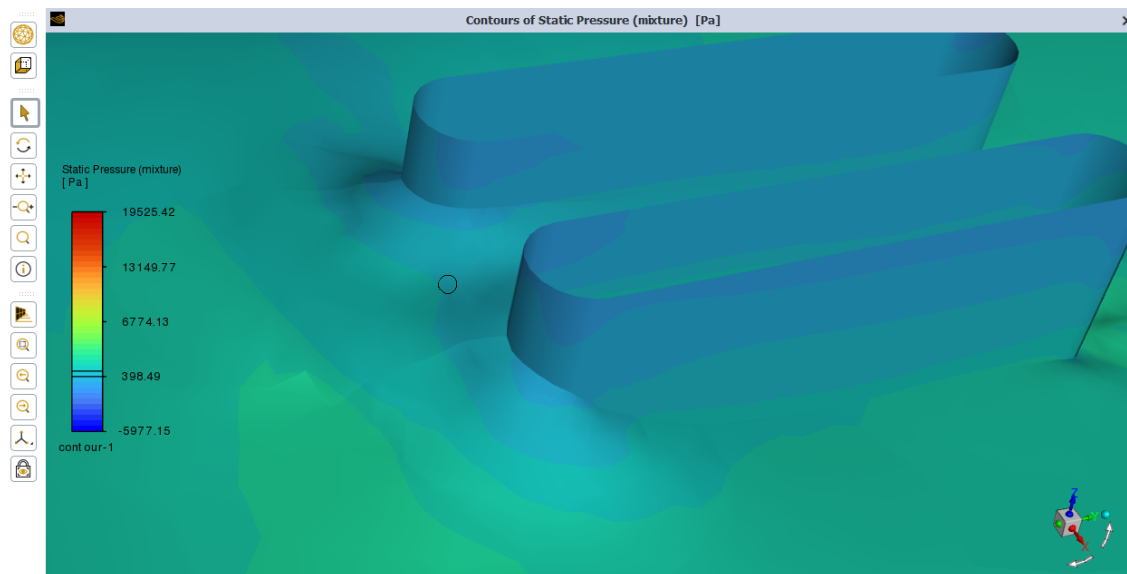


Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 49 y figura 50 se muestra los resultados de la presión estática del Río Cachi sobre los pilares puente Allccomachay, en la figura representa la distribución de presiones en todo el contorno del pilar y vistos de la parte inferior del flujo

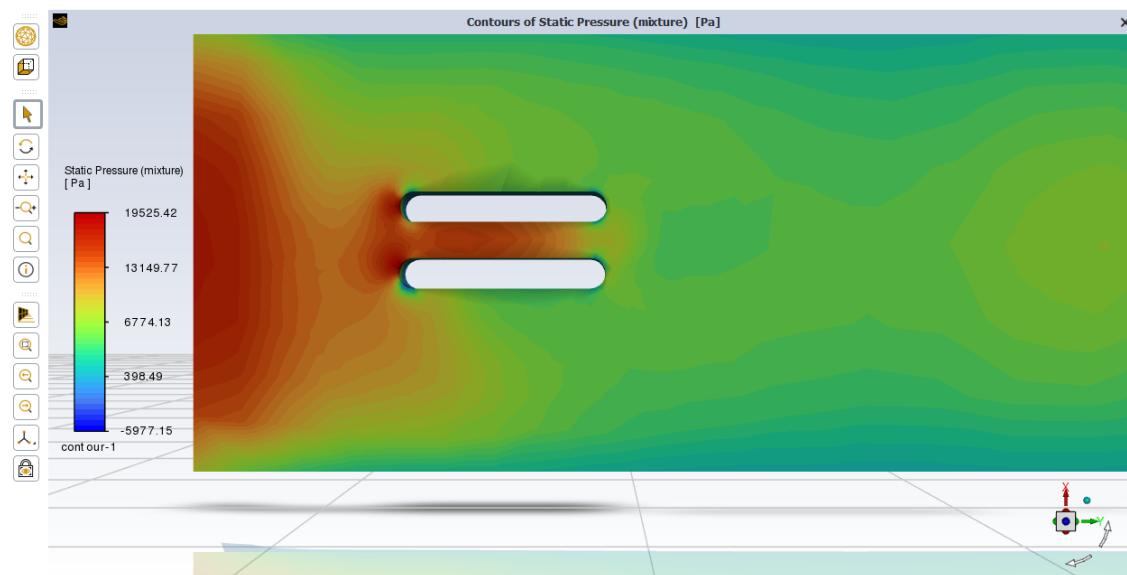
respectivamente.

Figura 49: Presión estática obtenidas con la simulación en el pilar izquierdo del puente Allccomachay



Fuente: Resultados Ansys Fluent

Figura 50: Presión en el superficie inferior, obtenidas con la simulación en el pilar izquierdo del puente Allccomachay

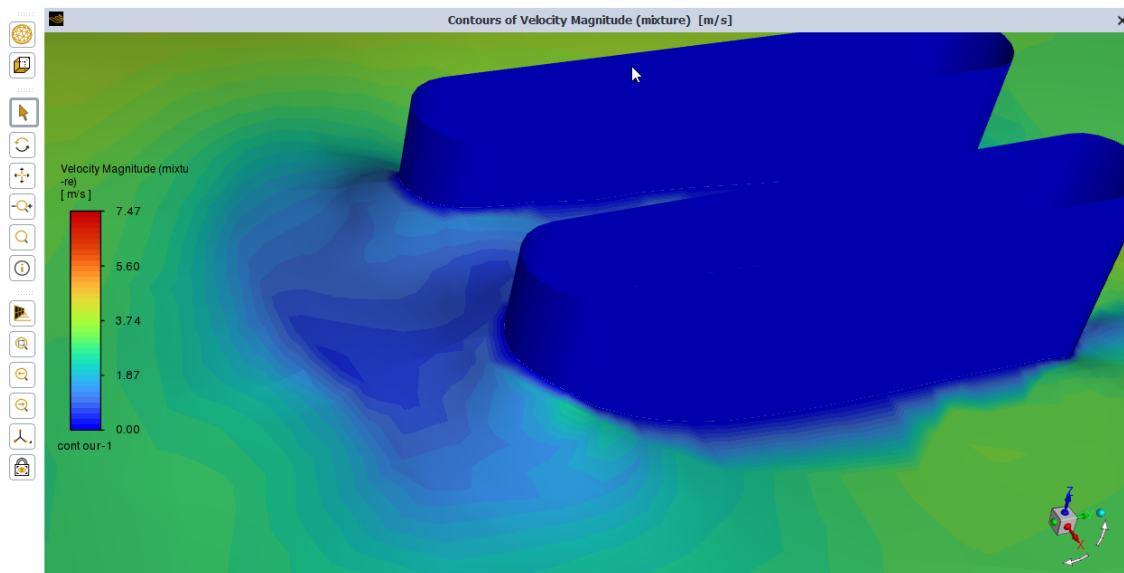


Fuente: Resultados Ansys Fluent

Como se observa en la figura 51 y figura 52 se muestra los resultados de la presión estática del Río Cachi sobre los pilares puente Allccomachay, en la figura 51 representa la

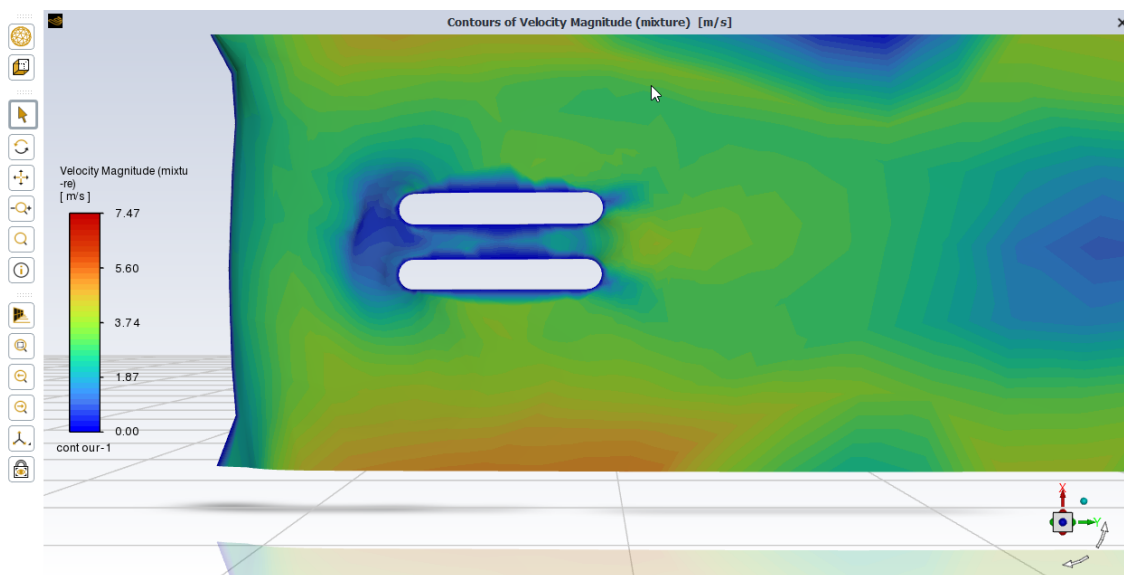
distribucion de velocidades en todo el contorno del pilar, mientras que en la figura 52 muestra las velocidades vistos de la parte inferior del flujo.

Figura 51: Velocidades obtenidas con la simulación en el pilar izquierdo del puente Allccomachay



Fuente: Resultados Ansys Fluent

Figura 52: Velocidades en el superficie inferior, obtenidas con la simulación en el pilar izquierdo del puente Allccomachay



Fuente: Resultados Ansys Fluent

Figura 53: Velocidades obtenidos en campo Rio Cachi, NAMO



Fuente: Resultados Río Cachi

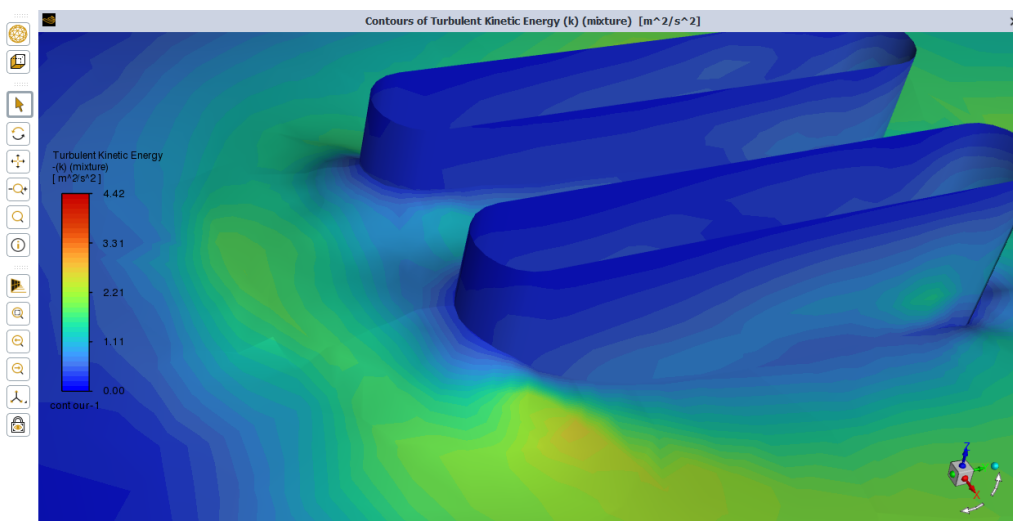
Las figuras 51 y 53 muestran el mismo evento desde dos ángulos diferentes: un modelo generado por Ansys Fluent. La imagen 51 muestra los resultados de la simulación, con la velocidad del flujo y la distribución de presión alrededor de los pilares. Muestra la propagación del campo de velocidad, donde las zonas azules representan áreas de movimiento lento (especialmente detrás de las columnas), y los tonos cálidos significan zonas con más velocidad, especialmente en los lados de la estructura. Este modelo ayuda a ver fácilmente cómo los patrones y áreas de remolino donde el flujo se acerca a una forma de objeto, que es común cuando una corriente golpea algo.

La imagen 53 muestra una foto del lugar analizado Puente Allcomachay con dos pilares en el lecho del río. En esta imagen, está claro cómo la transmisión se mueve alrededor de las columnas como en el modelo de computadora. Las ramas y la tierra se acumulan en el lugar donde están los pilares, y esto coincide con los puntos donde el agua se mueve lentamente y se mezclan, como se ve en el modelo de fluidez de Ansys Fluent. Este contraste entre los escenarios virtuales y reales permite confirmar la representación matemática y comprender más a fondo los impactos relacionados con el agua en construcciones como soportes

de puentes. Por lo tanto, la simulación no solo refleja exactamente lo que ocurre en el entorno natural, sino que también sirve como un instrumento crucial para examinar, la creación y el mantenimiento de estructuras sometidas al movimiento del agua.

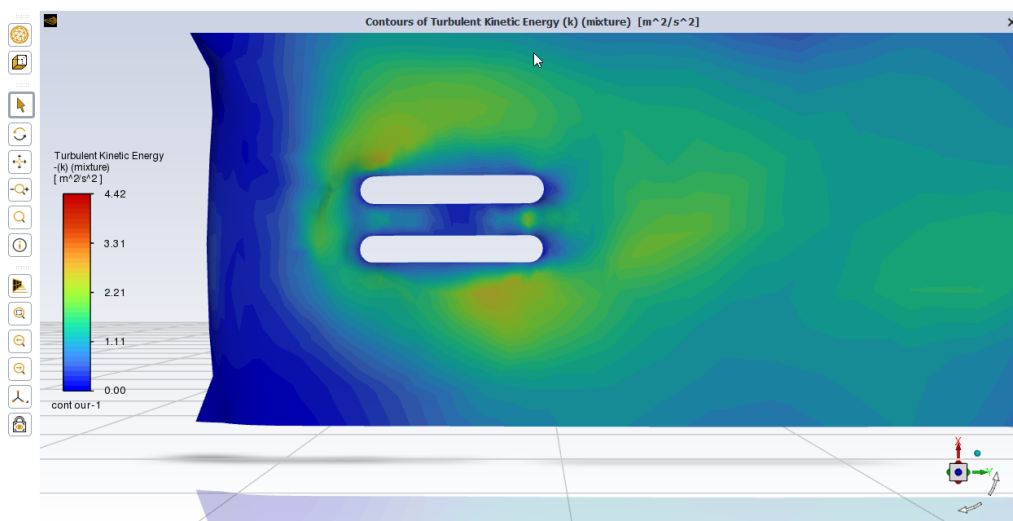
Como se observa en la figura 54 y figura 55 se muestra los resultados de la turbulencia del Río Cachi sobre los pilares puente Allccomachay, en la figura 54 representa la variación de la turbulencia en todo el contorno del pilar, mientras que en la figura 55 muestra como varia la turbulencia vistos de la parte inferior del flujo.

Figura 54: Turbulencia obtenidas con la simulación en el pilar izquierdo del puente Allccomachay



Fuente: Resultados Ansys Fluent

Figura 55: Turbulencia en el superficie inferior, pilar izquierdo del puente Allccomachay



Fuente: Resultados Ansys Fluent

4.4. Discusión de los resultados

Hipótesis general

Como se observo los resultados en las figuras 34 y 48, se valida el primer hipótesis, donde estas imágenes representan el comportamiento del río a través de la dinámica de fluidos computacional CFD, teniendo en cuenta la solución de las de Ecuaciones de Navier-Stokes usando régimen estacionario.

Como se indico se realizaron dos simulaciones obteniendo todas las variables hidráulicas en el ítem 4.2 y 4.3 se han observado los resultados, contrastando la hipótesis general donde usar los modelos CFD facilitan en la obtención del comportamiento de fluidos.

Asi mismo podemos obtener las magnitudes y direcciones de las velocidades en cada coordenada del espejo de agua del río Cachi, juntamente con las presiones que ejerce el flujo sobre los pilares del puente y la formación de turbulencias, estas variables son conocidas al emplear la dinámica computacional de fluidos,

Figura 56: Validacion del comportamiento de flujo en el Río Cachi



Fuente: Trabajo de campo

Se ha tratado de validar los resultados de la simulación, sin embargo no se cuenta con el caudal máximo del río pero se ha observado la formación de vórtices en algunos puntos

del río donde se presenta cambio brusco del lecho del Río Cachi.

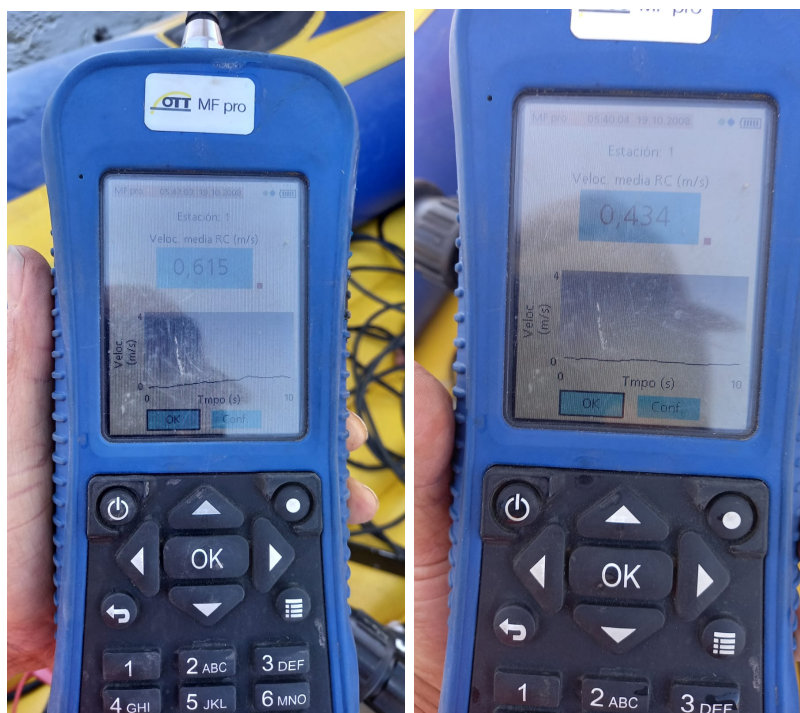
Hipótesis específico 1

Como indica nuestra hipótesis la orientación de los vectores de velocidad tienen una relación directa con la formación de vórtices, cuando los vectores cambian de dirección se genera una distribución caótica, dando lugar a la formación de vórtices, esto se evidencia en las figuras 42 donde se aprecia la dirección de cada punto evaluado en el río Cachi.

Así mismo en la imagen 43 y imagen 44 se observa como los vectores velocidad cambia en cada pilar del puente, en la imagen izquierda se observa los pilares izquierdo donde las velocidades de impacto hacia el pilar son de 5m/s y en el pilar derecho las velocidades son de 3.3m/s e inmediatamente pasando el pilar llegan a velocidades muy bajas.

Las velocidades una vez llegado a los pilares, están pasando a disiparse reduciendo drásticamente, llegando a un rango de 0-1m/s, demostrando que el cambio de velocidades de flujo dan inicio a la formación de vórtices, son los mismos resultados que se muestran en la figura 57, este cambio de dirección de velocidad genera la formación de vórtices, así resaltar que estos valores registrados se obtuvieron con las lecturas reales del NAMO.

Figura 57: Velocidades registrados en el Río Cachi



Fuente: Trabajo de campo

Hipótesis específico 2

En esta hipótesis se demuestra que el cambio de presión genera la formación de vórtices, como indican las imágenes 37, 38 y 39 se observan los resultados de la presión estática, presión dinámica y la presión total respectivamente del flujo sobre los pilares.

En la misma figura 39 se observa como la presión es regularmente constante, sin embargo al llegar a los pilares izquierdo y derecho esta presión se reduce inmensamente, haciendo que el cambio de presión genere la formación de vórtices, y estas se localicen inmediatamente después de los pilares.

Figura 58: Presión observado en el Río Cachi



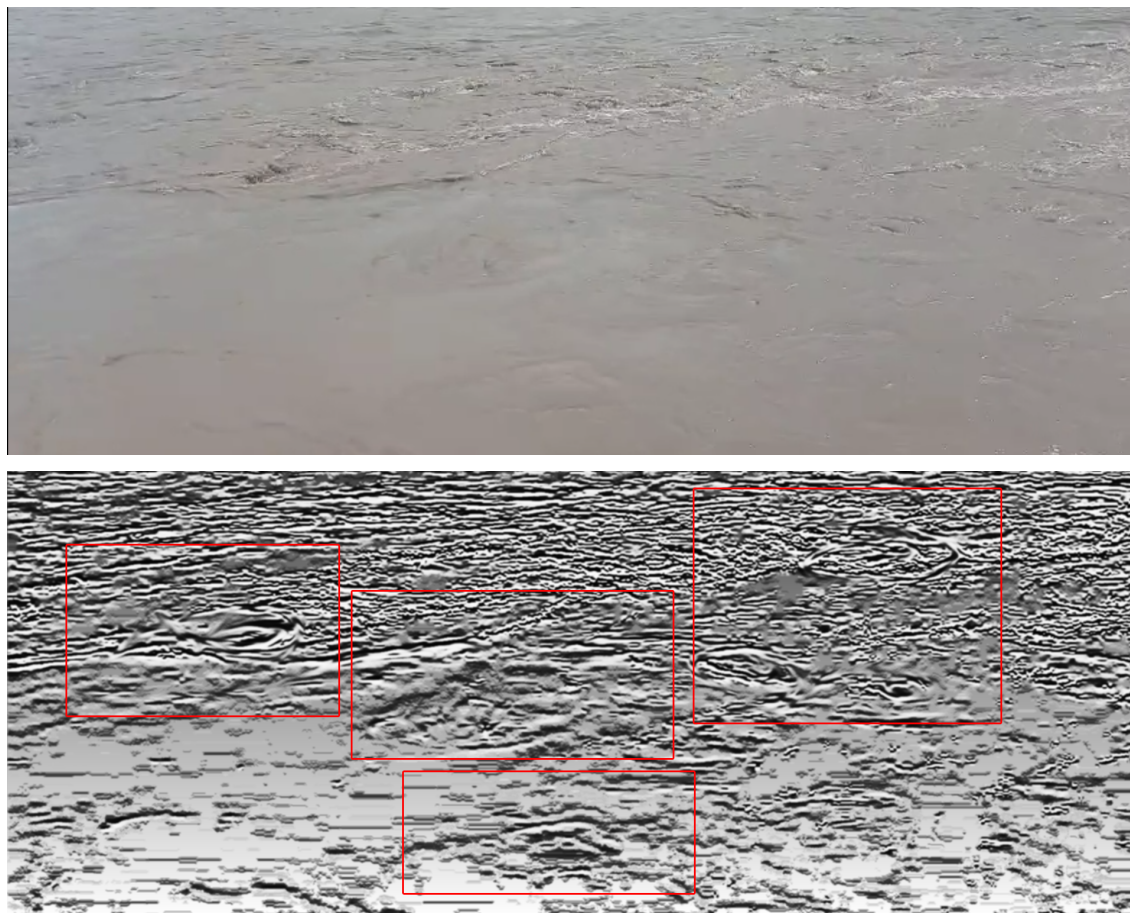
Fuente: Trabajo de campo

Hipótesis específico 3

Así mismo la turbulencia en flujos aumenta la formación de vórtices, como se observa en la figura 40, 41 y 58 para el río Cachi tiene una flujo constante, sin embargo al encontrarse el flujo con un obstáculo (pilar de puente), en la figura 40 muestra la turbulencia en función a la energía cinética del flujo y en la figura 41 muestra la intensidad de la turbulencia y se observa que pasando los pilares existe un porcentaje muy grande de turbulencia llegando a

un 80.7 % de turbulencia, es decir que los flujos turbulentos generan la formación de vórtices contrastando esta hipótesis.

Figura 59: Turbulencia registrados en el Río Cachi
Imágenes registradas en vídeo en 25 de febrero del 2025



Fuente: Trabajo de campo

V: Conclusiones

De acuerdo con los objetivos establecidos en el primer capítulo y las variables de diseño analizadas en el tercer capítulo, la investigación llevada a cabo y el posterior análisis de resultados se concluye lo siguiente:

1. Se ha obtenido que a través de la Dinámica de Fluidos Computacional se ha podido identificar las zonas donde se producen vórtices, para las simulaciones en el modelo 01, se ha evidenciado que posterior a los pilares izquierdo y derecho se han registrado la formación de vórtices, esto al usar modelos de CFD y a través del Ansys Fluent que describe muy bien el comportamiento de fluidos en el cual se tienen obstáculos como los pilares de puentes, obteniendo las variables hidráulicas de velocidad, presión y turbulencia usando estos modelos computacionales.
2. A través de los resultados obtenido en el capítulo precedente se ha visto que las velocidades influyen sobre la formación de vórtices en ríos, como se observó en los resultados los vórtices se identificaron en los puntos donde los vectores de velocidad cambian de dirección aumentando su probabilidad de formación en los puntos donde intersecciona a los pilares y en los puntos donde hay un cambio en las paredes del modelo (wall condiciones de frontera).
3. También se ha evidenciado que la variación de la presión influye directamente en la formación de vórtices en ríos, como se ha notado en los resultados se ha identificado que las presiones son superiores antes de ingresar a la zona donde se encuentra los pilares, y al pasar por ellos podemos apreciar que las presiones se reducen e incluso se forman presiones negativas.
4. Con las simulaciones realizadas en la figura 41, se aprecia que se generan turbulencias cuando el flujo se encuentra con los pilares del puente, se evidencia que el pilar izquierdo es donde se genera mayor formación de vórtices en el río Cachi.

VI: Recomendaciones

De la investigación realizada podemos recomendar lo siguiente:

1. En los modelos se han simplificado el comportamiento de fluidos usando un régimen estacionario, se recomienda considerar un régimen transitorio para solucionar las ecuaciones en tres dimensiones de Navier Stokes considerando las derivadas respecto al tiempo.
2. Para el diseño del puente Allcomachay se han considerado 6 simulaciones con el HecRAS para una periodo de retorno de 5 años, 50 años, 140 años y 500 años ($Q=1602.8\text{m}^3/\text{s}$) también se han simulado el agua en Niveles maximos ordinarios y Extraordinarios, se recomienda realizar las simulaciones para cada periodo de retorno para el río Cachi, debido que las simulaciones se han realizado para caudales de 500 años de retorno con $1602.8\text{m}^3/\text{s}$ y velocidad promedio de $3.6\text{m}/\text{s}$.
3. También podemos incluir modelos con tipos de flujos diferentes, se estima que un río puede llevar material orgánico y pedazos de roca, y estas características hacen que el liquido transitado no corresponda propiamente dicha del agua.
4. Al considerar los materiales que arrastra el flujo en el tiempo, las propiedades del liquido varían, y como consecuencia también la turbulencia en ríos cambia en cada instante de tiempo, se recomienda considerar la densidad del flujo en función a las precipitaciones de las zonas de la cuenca.

Referencia Bibliográfica

- Abarca Mora, D. (2018). *Modelamiento numérico de la vibración inducida por flujo en una tubería horizontal que transporta flujo bifásico turbulento agua – aire* (Tesis grado, Pontificia Universidad Católica del Perú).
- Agriman, S. (2023). *Aturbulencia en flujos multifase* (Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires en el área Ciencias Físicas - Argentina).
- Anderson, J. D. (1995). *Computational fluid dynamics: the basics with applications*. McGraw-Hill.
- Arteaga, A. C., Cervantes, G. A. T., & Vasquez, N. C. (2022). Modelación de dinámica de fluidos computacional (cfd) del efecto de socavación local en pilares circulares de puentes. *LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development - LEIRD 2022, 2do(7)*, 1-9.
- Chiliquinga Chiriboga, J. E. & Pinto Franco, C. A. (2019). *Análisis experimental en modelo físico de fenómenos de turbulencia causantes de erosión alrededor de pilas de puentes utilizando acoustic doppler velocimeter adv* (Tesis pregrado, Escuela Politécnica Nacional-Quito, Ecuador). Recuperado desde <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20363>
- Cordova Acuña, J. D. (2022). *Desarrollo de modelos de turbulencia les utilizados en simulaciones numéricas de flujos turbulentos complejos presentes en la industria minera* (Tesis pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú).
- De Souza Reátegui, N. M. & Aguilar Silvano, E. (2022). *Influencia de factores ambientales en la composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y grupos funcionales alimenticios en tres sectores de la cuenca del río chillón (lima)*. Recuperado desde <https://hdl.handle.net/20.500.12866/11661>
- Ferziger, J. H. & Perić, M. (2002). *Computational methods for fluid dynamics*. Springer.
- Hernández Olivares, A. O. (2019). *La turbulencia asociada al movimiento de olas que aún no rompen* (Tesis doctoral, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California).

- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. P. (2014). *Metodología de la investigación*. Recuperado desde <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Josefina Torres, M. (2014). *Estudio numérico de flujo turbulento cargado con partículas solidas a través de canales y tuberías de sección variable* (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid - Escuela Técnica Superior de ingenieros industriales - España).
- Leon Gimenez, E., Lizárraga Mendiola, L., Rivera Trejo, F., Nungaray Núñez, A., & Díaz Arcos, J. (2017). Cambio hidrodinámico y evolución de fondo en ríos de planicie por espigones. *UNISON-Epistemus*, 11(11), 27-35. Recuperado desde <https://epistemus.unison.mx/index.php/epistemus/article/download/43/32>
- Luciano Zuñiga, S. (2018). *Simulaciones de alta resolución de turbulencia no estacionaria* (Tesis maestría, Universidad Nacional de Cuyo, Departamento de mecánica computacional - Argentina). Recuperado desde <https://ricabib.cab.cnea.gov.ar/776/>
- Maza Sócola, J. P. (2019). *Análisis del comportamiento hidráulico del río Piura, en el tramo los ejidos-puente independencia* (Tesis pregrado, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú). Recuperado desde <https://hdl.handle.net/11042/4094>
- Patankar, S. V. (1980). *Numerical heat transfer and fluid flow*. Hemisphere Publishing Corporation.
- Peña Gonzalez, E. (2011). Caracterización de tensiones tangenciales y turbulencia en ríos meandriformes. estudio en modelo físico y modelo numérico. *Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil*.
- Rodriguez Briceño, J. K. (2020). *Existencia de soluciones estacionarias para un fluido compresible isotérmico* (Tesis grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Perú).
- Streeter, V. L., Wylie, E. B., Bedford, K. W., Saldarriaga, J. G., et al. (1988). *Mecánica de los fluidos*. McGraw-Hill Colombia.
- Versteeg, H. K. & Malalasekera, W. (2007). *An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method*. Pearson Education.

Anexo A

Estudio Hidraulico del Puente Allccomachay y Accesos



ANEXO A.2.4

HEC-HMS 3.5. $Tr = 500$ años




HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO
ESTACION LURICOCHA

Tr = 500 Años

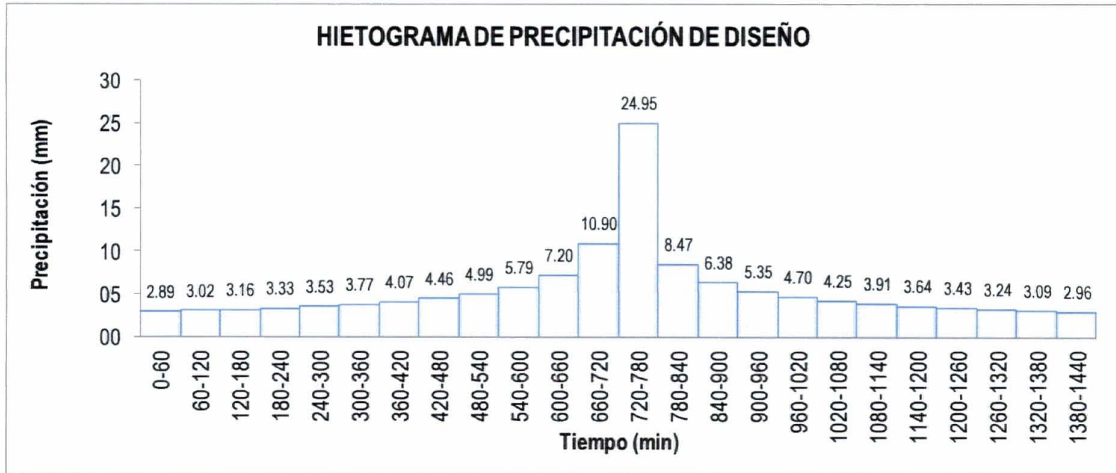
$$I = \frac{50.12 T^{0.202}}{0.477}$$

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	24.95	24.95	24.95	0-60	2.89
120	17.92	35.85	10.90	60-120	3.02
180	14.77	44.32	8.47	120-180	3.16
240	12.88	51.51	7.20	180-240	3.33
300	11.58	57.89	6.38	240-300	3.53
360	10.61	63.68	5.79	300-360	3.77
420	9.86	69.03	5.35	360-420	4.07
480	9.25	74.02	4.99	420-480	4.46
540	8.75	78.72	4.70	480-540	4.99
600	8.32	83.18	4.46	540-600	5.79
660	7.95	87.43	4.25	600-660	7.20
720	7.63	91.50	4.07	660-720	10.90
780	7.34	95.42	3.91	720-780	24.95
840	7.08	99.19	3.77	780-840	8.47
900	6.86	102.83	3.64	840-900	6.38
960	6.65	106.36	3.53	900-960	5.35
1020	6.46	109.79	3.43	960-1020	4.70
1080	6.28	113.12	3.33	1020-1080	4.25
1140	6.12	116.36	3.24	1080-1140	3.91
1200	5.98	119.53	3.16	1140-1200	3.64
1260	5.84	122.62	3.09	1200-1260	3.43
1320	5.71	125.64	3.02	1260-1320	3.24
1380	5.59	128.59	2.96	1320-1380	3.09
1440	5.48	131.48	2.89	1380-1440	2.96


BELINDA GUILLEN VIDAL
Especialista en Hidrología e Hidráulica
Reg. CIP. N° 48726


ING. JACK JORGE LOPEZ ACUÑA
Reg. CIP N° 6528
JEFE DE PROYECTO





HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO ESTACION QUINUA

Tr = 500 Años

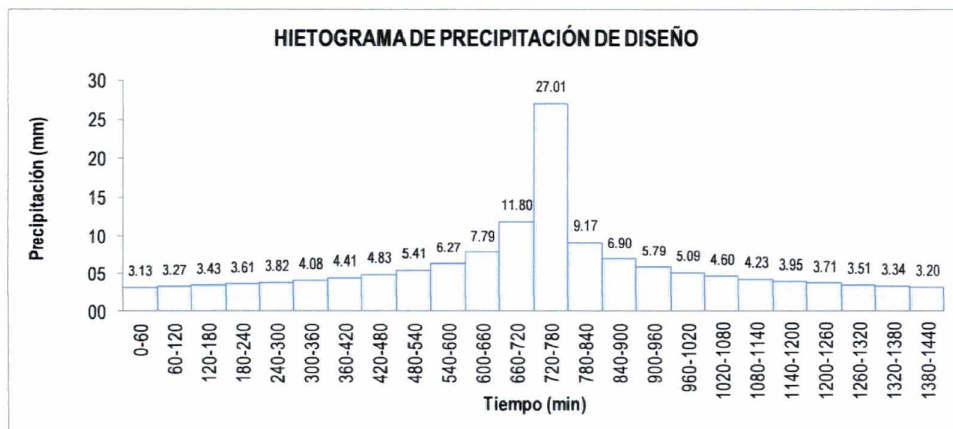
$$I = \frac{54.26 T^{0.203}}{t^{0.477}}$$

BELINDA GUILLEN VIDAL
 Especialista en Hidrología e Hidráulica
 Reg. CIP. N° 48726

ING. JACK JORGE LOPEZ ACUÑA
 Reg. CIP N° 6528
 JEFE DE PROYECTO



METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	27.01	27.01	27.01	0-60	3.13
120	19.40	38.81	11.80	60-120	3.27
180	15.99	47.98	9.17	120-180	3.43
240	13.94	55.77	7.79	180-240	3.61
300	12.53	62.67	6.90	240-300	3.82
360	11.49	68.94	6.27	300-360	4.08
420	10.68	74.73	5.79	360-420	4.41
480	10.02	80.13	5.41	420-480	4.83
540	9.47	85.22	5.09	480-540	5.41
600	9.01	90.05	4.83	540-600	6.27
660	8.60	94.65	4.60	600-660	7.79
720	8.26	99.06	4.41	660-720	11.80
780	7.95	103.30	4.23	720-780	27.01
840	7.67	107.38	4.08	780-840	9.17
900	7.42	111.32	3.95	840-900	6.90
960	7.20	115.15	3.82	900-960	5.79
1020	6.99	118.86	3.71	960-1020	5.09
1080	6.80	122.46	3.61	1020-1080	4.60
1140	6.63	125.97	3.51	1080-1140	4.23
1200	6.47	129.40	3.43	1140-1200	3.95
1260	6.32	132.74	3.34	1200-1260	3.71
1320	6.18	136.01	3.27	1260-1320	3.51
1380	6.05	139.21	3.20	1320-1380	3.34
1440	5.93	142.35	3.13	1380-1440	3.20



**HISTOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO
ESTACION ACOBAMBA**



BELINDA GUILLEN VIDAL
Especialista en Hidrología e Hidráulica
Reg. CIP. N° 48726

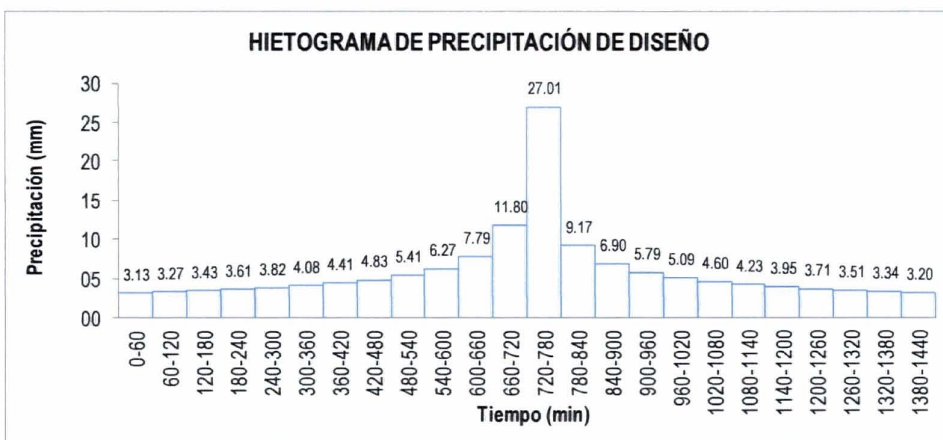
INFORME N° 04: INFORME FINAL
ESTUDIO DE HIDROLOGIA E HIDRAULICA

ING. JACK JORGE LOPEZ ACUÑA
Reg. CIP N° 8528
JEFE DE PROYECTO

Tr = 500 Años

$$I = \frac{54.61 T^{0.203}}{t^{0.477}}$$

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	27.07	27.07	27.07	0-60	3.12
120	19.44	38.87	11.80	60-120	3.26
180	16.01	48.04	9.16	120-180	3.42
240	13.95	55.82	7.78	180-240	3.60
300	12.54	62.71	6.90	240-300	3.81
360	11.50	68.98	6.26	300-360	4.07
420	10.68	74.76	5.78	360-420	4.40
480	10.02	80.15	5.40	420-480	4.82
540	9.47	85.24	5.08	480-540	5.40
600	9.01	90.05	4.82	540-600	6.26
660	8.60	94.65	4.59	600-660	7.78
720	8.25	99.05	4.40	660-720	11.80
780	7.94	103.27	4.23	720-780	27.07
840	7.67	107.35	4.07	780-840	9.16
900	7.42	111.28	3.94	840-900	6.90
960	7.19	115.10	3.81	900-960	5.78
1020	6.99	118.80	3.70	960-1020	5.08
1080	6.80	122.39	3.60	1020-1080	4.59
1140	6.63	125.90	3.50	1080-1140	4.23
1200	6.47	129.31	3.42	1140-1200	3.94
1260	6.32	132.65	3.34	1200-1260	3.70
1320	6.18	135.91	3.26	1260-1320	3.50
1380	6.05	139.10	3.19	1320-1380	3.34
1440	5.93	142.23	3.12	1380-1440	3.19



RESULTADOS

Resultados de la simulación hidrológica

Belinda Guillen Vidal
Especialista en Hidrología e Hidráulica
Reg. CIP. N° 48726

INFORME N° 04: INFORME FINAL
ESTUDIO DE HIDROLOGIA E HIDRAULICA

Ing. Jack Jorge Lopez Acuña
Reg. CIP N° 6528
JEFE DE PROYECTO



De acuerdo a la combinación del modelo de la cuenca (model basin), modelo meteorológico y especificaciones de control, se definen las respectivas corridas (run) para un tiempo de retorno de 500 años.

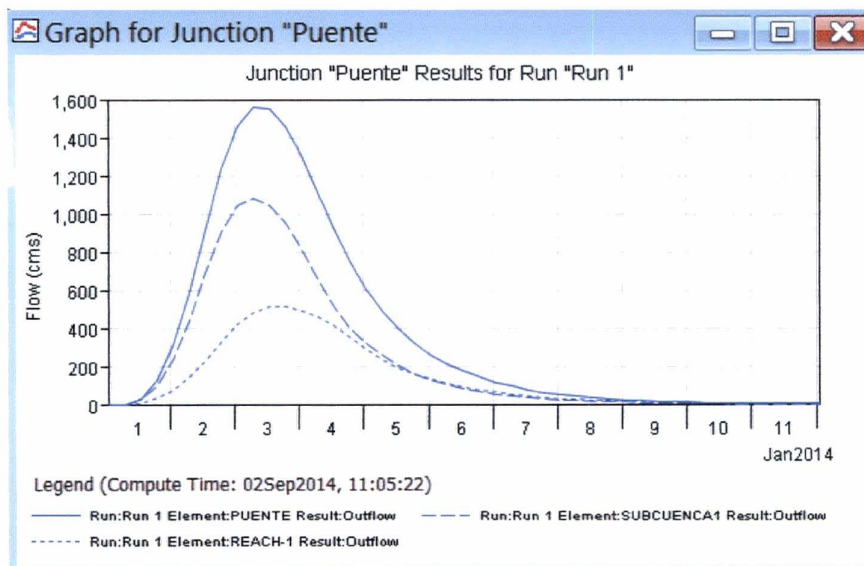
Global Summary Results for Run "Run 1"

Project: Huarpa Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01Jan2014, 01:00 Basin Model: Huarpa
 End of Run: 12Jan2014, 01:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 02Sep2014, 11:05:22 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume... MM 100l Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage A... (KM2)	Peak Disch... (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Subcuenca1	4288.9	1081.1	03Jan2014, 07:00	52.40
Subcuenca2	2512.3	512.7	03Jan2014, 19:00	52.31
Reach-1	2512.3	512.7	03Jan2014, 19:00	52.31
Puente	6801.2	1561.5	03Jan2014, 07:00	52.37



[Signature]
BELINDA GUILLEN VIDAL
 Especialista en Hidrología e Hidráulica
 Reg. CIP. N° 48726

[Signature]
ING. JACK JORGE LOPEZ ACUÑA
 Reg. CIP. N° 6528
 JEFE DE PROYECTO



ANEXO A.3.3

MODELAMIENTO HIDRAULICO TR = 500 años

CUADRO 01

RESUMEN DE LA DETERMINACION DE LOS PARAMETROS HIDRAULICOS - PUENTE ALLCCOMACHAY

Cuenca	Progresiva ref.Hec-ras (Km)	Nombre Punte	Caudal (m ³ /seg) T ₁₄₀ años	Pendiente (m/m)	luz hidráulica	Altura de agua (m)	Cota fondo	NAME	borde libre	Coeficiente de rugosidad		
					(m)	Diseño	(msnm)	(msnm)	(m)	margen izquierda	Cauce	margen derecha
Huarpa	0+385.0	Allccomachay	1602.8	0.0072	190.0	4.6	2150.95	2155.6	2.5	0.030	0.045	0.035

BELINDA GUILLEN VIDAL
Especialista en Hidrología e Hidráulica
Reg. CIP. N° 48726

ING. JACK ROBERT LOPEZ ACOSTA
Reg. CIP. N° 5558
JEF. DE PROY. TECNICO



ANEXO A.3.3.1

Modelamiento Hidráulico aplicando Hec-ras

MODELAMIENTO HIDRAULICO

RESULTADO DE LA MODELACION - Listado de corridas del HEC –RAS


Caudal de diseño:	1602.8 m ³ /s (TR ₅₀₀ años)
Luz libre:	190.00 m
Coeficientes de rugosidad	0.045 Canal principal 0.035 Margen derecha 0.030 Margen izquierda

Resultados para la sección transversal en la progresiva Eje –Ubicación del puente

Plan: Plan 01 huarpa4 huarpa4 RS: 385 Profile: TR500

E.G. US. (m)	2156.94	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	2156.19	E.G. Elev (m)	2156.86	2156.69
Q Total (m3/s)	1602.8	W.S. Elev (m)	2155.56	2155.13
Q Bridge (m3/s)	1603	Crit W.S. (m)	2155.56	2155.42
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	4.61	4.24
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	5.04	5.54
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	318.01	289.4
Weir Submerg		Froude # Chl	0.99	1.2
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	1307.37	1285.31
Min El Weir Flow (m)	2170	Hydr Depth (m)	2.62	2.17
Min El Prs (m)	2167.4	W.P. Total (m)	142.3	151.93
Delta EG (m)	0.29	Conv. Total (m3/s)	12079.7	9882.1
Delta WS (m)	1.28	Top Width (m)	121.35	133.09
BR Open Area (m2)	1955.84	Frctn Loss (m)		0.14
BR Open Vel (m/s)	5.54	C & E Loss (m)		0.03
Coef of Q		Shear Total (N/m2)	385.83	491.39
Br Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	1944.61	2721.52

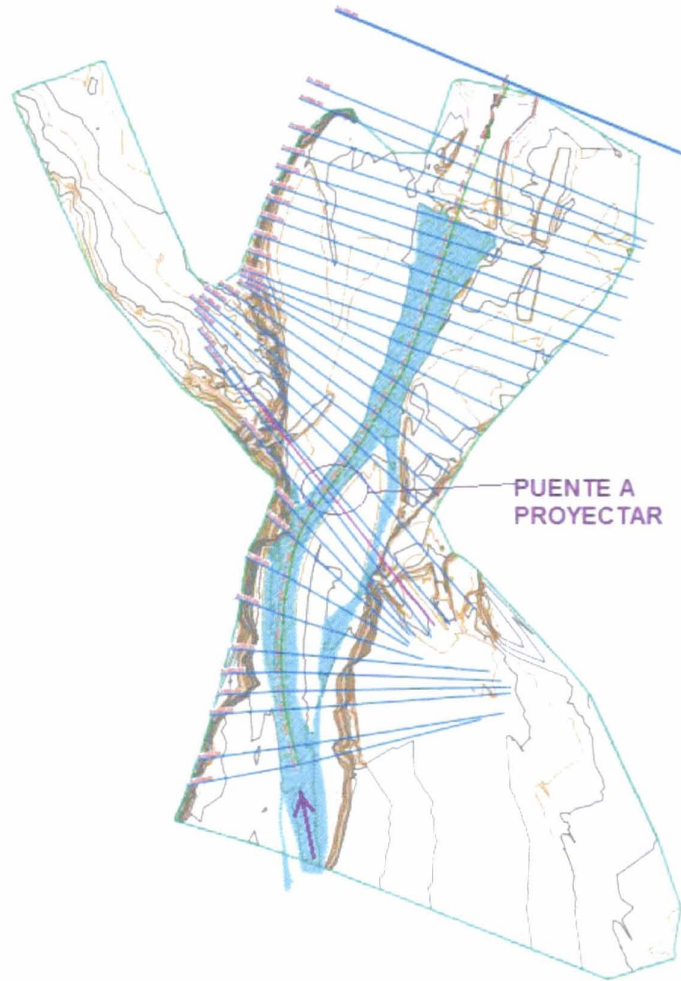
Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Tirante. (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	Altura E.G. Ele v. (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Prof.me dia (m)	Froude # Chl
Inside BR US	1602.8	2151.0	2155.56	4.61	2155.6	2156.9	5.9	5.0	318.0	121.4	2.6	1.0
Inside BR DS	1602.8	2150.9	2155.13	4.24	2155.4	2156.7	5.8	5.5	289.4	133.1	2.2	1.2


BELINDA GUILLEN VIDAL
 Especialista en Hidrología e Hidráulica
 Reg. CIP. N° 48726


ING. JACK JORGE LOPEZ ACUÑA
 Reg. CIP. N° 6528
 JEFE DE PROYECTO

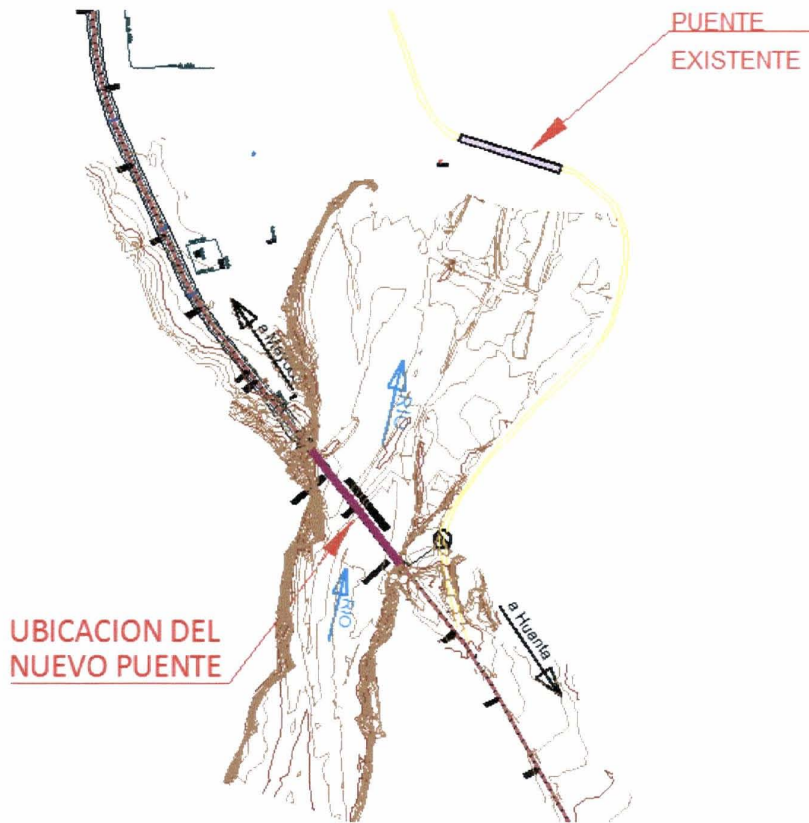


Vista en planta esquemática del cauce




BELINDA GUILLEN VIDAL
Especialista en Hidrología e Hidráulica
Reg. CIP. N° 48726


ING. JACK JORGE LOPEZACUÑA
Reg. CIP N° 6528
JEFE DE PROYECTO




BELINDA GUILLEN VIDAL
Especialista en Hidrología e Hidráulica
Reg. CIP. N° 48726

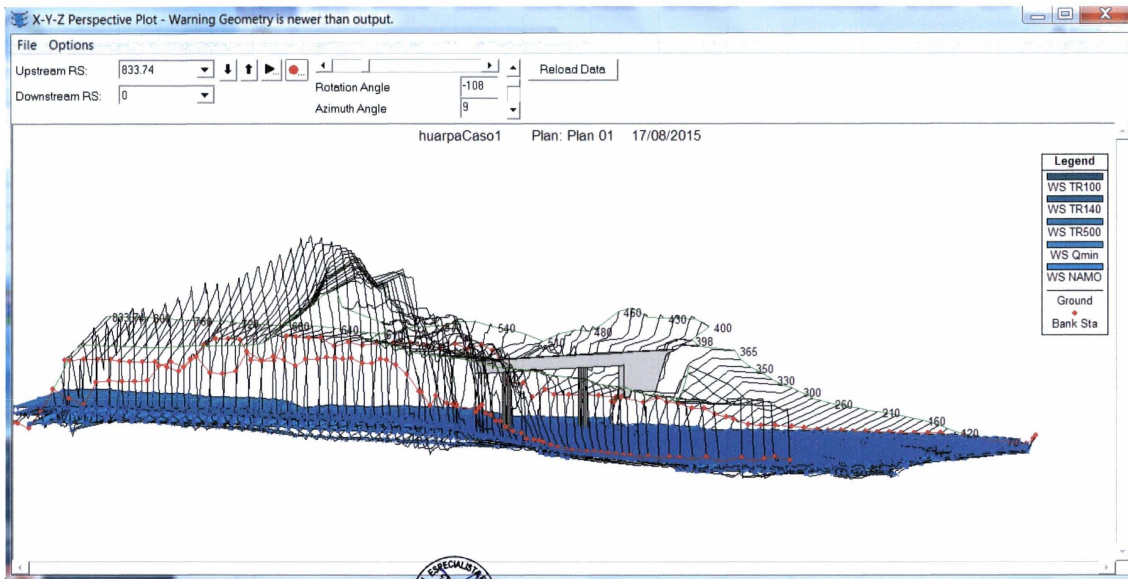

ING. JACK JORGE LOPEZ ACUNA
Reg. CIP. N° 6528
JEFE DE PROYECTO



Vista tridimensional del puente proyectado (Vista aguas arriba)


BELINDA GUILLEN VIDAL
Especialista en Hidrología e Hidráulica
Reg. CIP. N° 48726

ING. JUAN TORRE LOPEZ
Reg. CIP. N° 6928
JEFE DE PROYECTO



Listado de corridas del HEC –RAS

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Tirante (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	Altura E.G.Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Prof. media (m)	Froude # Chl
huarpa4	833.7	TR500	1602.8	2153.0	2159.1	6.1	2157.8	2159.4	6.4	0.0026	2.37	675.25	218.1	3.1	0.43
huarpa4	830	TR500	1602.8	2153.0	2159.1	6.1		2159.4	6.4	0.0026	2.36	679.66	219.9	3.1	0.43
huarpa4	820	TR500	1602.8	2153.0	2159.1	6.1		2159.4	6.4	0.0022	2.2	729.08	228.4	3.2	0.39
huarpa4	810	TR500	1602.8	2153.0	2159.2	6.2		2159.3	6.3	0.0014	1.9	841.65	233.6	3.6	0.32
huarpa4	800	TR500	1602.8	2153.0	2159.2	6.2		2159.3	6.3	0.001	1.79	896.81	223.7	4.0	0.28
huarpa4	790	TR500	1602.8	2153.0	2159.1	6.1		2159.3	6.3	0.0011	1.87	857.02	206.5	4.1	0.29
huarpa4	780	TR500	1602.8	2153.8	2159.0	5.2		2159.3	5.5	0.0016	2.16	740.91	189.2	3.9	0.35
huarpa4	770	TR500	1602.8	2153.9	2159.0	5.2		2159.3	5.4	0.0016	2.2	727.77	186.4	3.9	0.36
huarpa4	760	TR500	1602.8	2153.9	2159.0	5.1		2159.3	5.3	0.0018	2.3	695.97	180.1	3.9	0.37
huarpa4	750	TR500	1602.8	2153.9	2158.9	5.0		2159.2	5.3	0.002	2.42	661.55	172	3.8	0.39
huarpa4	740	TR500	1602.8	2154.0	2158.9	4.9		2159.2	5.2	0.0021	2.49	643.29	168.5	3.8	0.41
huarpa4	730	TR500	1602.8	2153.6	2158.8	5.2		2159.2	5.5	0.0023	2.57	622.48	165.7	3.8	0.42
huarpa4	720	TR500	1602.8	2153.3	2158.8	5.4		2159.2	5.8	0.0027	2.73	587.25	157.1	3.7	0.45
huarpa4	710	TR500	1602.8	2153.0	2158.7	5.7		2159.1	6.1	0.0027	2.84	563.81	143.3	3.9	0.46
huarpa4	700	TR500	1602.8	2153.1	2158.7	5.6		2159.1	6.0	0.0029	2.88	556.85	144.8	3.8	0.47
huarpa4	690	TR500	1602.8	2153.4	2158.6	5.3		2159.1	5.7	0.0029	2.93	546.67	140.7	3.9	0.47
huarpa4	680	TR500	1602.8	2153.0	2158.6	5.6		2159.0	6.0	0.0028	2.93	547.32	136.2	4.0	0.47
huarpa4	670	TR500	1602.8	2153.0	2158.5	5.5		2159.0	6.0	0.0032	3.11	514.73	128.9	4.0	0.5
huarpa4	660	TR500	1602.8	2153.0	2158.5	5.5		2159.0	6.0	0.0031	3.16	507.93	123.5	4.1	0.5
huarpa4	650	TR500	1602.8	2153.0	2158.4	5.4		2158.9	5.9	0.0033	3.3	486.13	115	4.2	0.51
huarpa4	640	TR500	1602.8	2153.0	2158.1	5.2		2158.9	5.9	0.0044	3.79	423.1	99.64	4.2	0.59
huarpa4	630	TR500	1602.8	2152.9	2157.2	4.2	2157.1	2158.7	5.8	0.013	5.54	289.34	87.75	3.3	0.97
huarpa4	620	TR500	1602.8	2152.3	2157.5	5.2		2158.5	6.1	0.0071	4.39	364.97	98.64	3.7	0.73
huarpa4	610	TR500	1602.8	2152.0	2157.5	5.5		2158.3	6.3	0.0055	3.92	408.36	107.5	3.8	0.64
huarpa4	600	TR500	1602.8	2152.0	2157.5	5.5		2158.3	6.3	0.0054	3.85	416.37	111.3	3.7	0.64
huarpa4	590	TR500	1602.8	2152.0	2157.5	5.5		2158.2	6.2	0.0053	3.83	418.57	111.2	3.8	0.63
huarpa4	580	TR500	1602.8	2152.0	2157.4	5.4		2158.1	6.1	0.0049	3.72	431.31	113.7	3.8	0.61
huarpa4	570	TR500	1602.8	2152.0	2157.5	5.5		2158.1	6.1	0.0041	3.44	466.33	119.5	3.9	0.56
huarpa4	560	TR500	1602.8	2152.0	2157.5	5.5		2158.0	6.0	0.0035	3.24	494.56	124.5	4.0	0.52
huarpa4	550	TR500	1602.8	2152.0	2157.4	5.5		2158.0	6.0	0.0034	3.21	499.12	126.2	4.0	0.52
huarpa4	540	TR500	1602.8	2152.0	2157.4	5.4		2157.9	5.9	0.0035	3.24	495.22	125.8	3.9	0.52
huarpa4	530	TR500	1602.8	2152.0	2157.4	5.4		2157.9	5.9	0.0034	3.21	499.15	125.7	4.0	0.51
huarpa4	520	TR500	1602.8	2151.4	2157.4	5.9		2157.9	6.4	0.0032	3.15	508.22	126	4.0	0.5
huarpa4	510	TR500	1602.8	2151.0	2157.3	6.3		2157.8	6.8	0.0031	3.08	520.7	128.3	4.1	0.49
huarpa4	500	TR500	1602.8	2151.0	2157.2	6.2		2157.8	6.8	0.0039	3.34	479.99	122.1	3.9	0.54
huarpa4	490	TR500	1602.8	2151.0	2156.9	5.9		2157.7	6.7	0.0063	4.05	395.63	107.4	3.7	0.67
huarpa4	480	TR500	1602.8	2151.0	2156.8	5.8		2157.6	6.6	0.0058	3.95	406.22	107.5	3.8	0.65
huarpa4	470	TR500	1602.8	2150.0	2156.6	6.6		2157.6	7.6	0.0074	4.3	372.46	104.1	3.6	0.73
huarpa4	460	TR500	1602.8	2151.0	2156.7	5.7		2157.4	6.4	0.0055	3.86	415.21	111	3.7	0.64
huarpa4	450	TR500	1602.8	2151.0	2156.7	5.7		2157.4	6.3	0.0049	3.67	436.2	111.6	3.9	0.59
huarpa4	440	TR500	1602.8	2151.9	2156.7	4.7		2157.3	5.4	0.0044	3.56	450.22	114.1	3.9	0.57
huarpa4	430	TR500	1602.8	2151.8	2156.7	4.8		2157.2	5.4	0.0037	3.29	487.08	123	4.0	0.53
huarpa4	420	TR500	1602.8	2151.4	2156.7	5.3		2157.2	5.8	0.0032	3.04	527.21	135.7	3.9	0.49
huarpa4	410	TR500	1602.8	2151.0	2156.7	5.7		2157.1	6.1	0.0028	2.85	561.61	147.1	3.8	0.47
huarpa4	400	TR500	1602.8	2151.0	2156.4	5.4	2155.4	2157.1	6.1	0.0052	3.61	444.15	128.9	3.4	0.62
huarpa4	395		Bridge												


BELINDA GUILLEN VIDAL
 Especialista en Hidrología e Hidráulica
 Reg. CIP. N° 48726


ING. JACK JORGE LOPEZ ACUÑA
 Reg. CIP N° 6526
 JEFE DEL PROYECTO



Listado de corridas del HEC –RAS

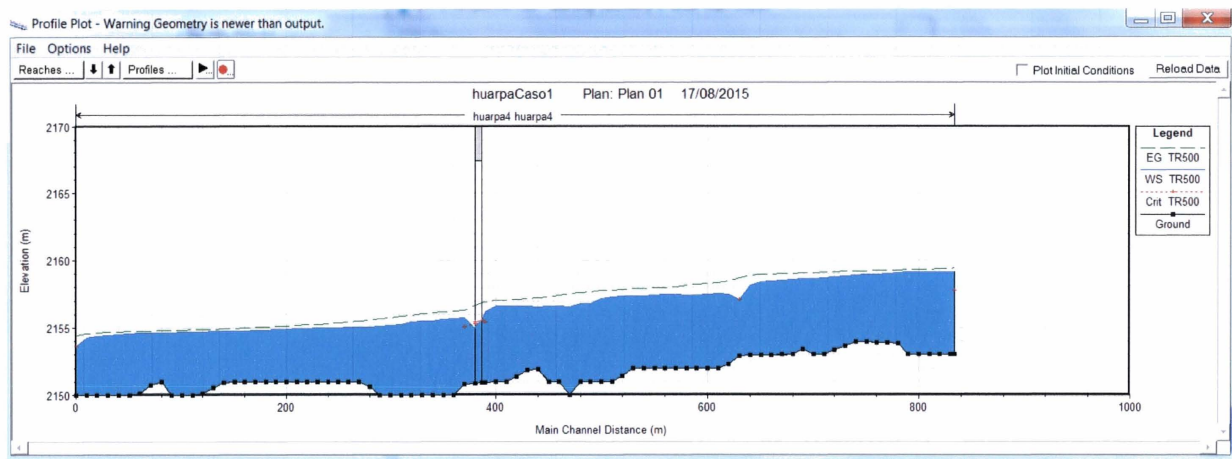
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Tirante (m)	Crit W.S. (m)	E. G. Elev (m)	Altura E. G. Elev (m)	E. G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Prof. media (m)	Froude # Chl
huarpa4	390	TR500	1602.8	2151.0	2155.2	4.3	2155.5	2156.8	5.9	0.0213	5.63	284.47	122.5	2.3	1.18
huarpa4	380	TR500	1602.8	2150.9	2154.6	3.7	2155.1	2156.5	5.6	0.0387	6.19	258.87	152.4	1.7	1.52
huarpa4	370	TR500	1602.8	2150.8	2155.7	4.9	2155.1	2156.3	5.6	0.0067	3.46	463.82	173.9	2.7	0.68
huarpa4	360	TR500	1602.8	2150.0	2155.7	5.7		2156.2	6.2	0.0059	3.29	487.1	178.6	2.7	0.64
huarpa4	350	TR500	1602.8	2150.0	2155.6	5.6		2156.2	6.2	0.0059	3.27	490.82	182.7	2.7	0.64
huarpa4	340	TR500	1602.8	2150.0	2155.5	5.5		2156.1	6.1	0.0077	3.44	466.58	198.1	2.4	0.71
huarpa4	330	TR500	1602.8	2150.0	2155.5	5.5		2156.0	6.0	0.0068	3.29	487.1	201.3	2.4	0.68
huarpa4	320	TR500	1602.8	2150.0	2155.4	5.4		2155.9	5.9	0.0062	3.12	513.06	214.4	2.4	0.64
huarpa4	310	TR500	1602.8	2150.0	2155.3	5.3		2155.9	5.8	0.0084	3.44	465.45	209.5	2.2	0.74
huarpa4	300	TR500	1602.8	2150.0	2155.2	5.2		2155.8	5.8	0.0083	3.4	470.76	214.7	2.2	0.73
huarpa4	290	TR500	1602.8	2150.0	2155.1	5.1		2155.7	5.7	0.0087	3.36	477.24	229.2	2.1	0.74
huarpa4	280	TR500	1602.8	2150.6	2155.1	4.5		2155.6	4.9	0.0072	3.09	519.15	246	2.1	0.68
huarpa4	270	TR500	1602.8	2151.0	2155.1	4.1		2155.5	4.5	0.0054	2.79	574.29	254.4	2.3	0.59
huarpa4	260	TR500	1602.8	2151.0	2155.1	4.1		2155.4	4.4	0.0049	2.68	598.64	264.6	2.3	0.57
huarpa4	250	TR500	1602.8	2151.0	2155.0	4.0		2155.4	4.4	0.0047	2.58	621.14	279.4	2.2	0.55
huarpa4	240	TR500	1602.8	2151.0	2155.0	4.0		2155.3	4.3	0.0042	2.46	651.94	291.2	2.2	0.52
huarpa4	230	TR500	1602.8	2151.0	2155.0	4.0		2155.3	4.3	0.0039	2.36	678.31	304.5	2.2	0.51
huarpa4	220	TR500	1602.8	2151.0	2155.0	3.9		2155.2	4.2	0.0038	2.31	692.98	313.1	2.2	0.5
huarpa4	210	TR500	1602.8	2151.0	2154.9	3.9		2155.2	4.2	0.0037	2.27	705.68	321.4	2.2	0.49
huarpa4	200	TR500	1602.8	2151.0	2154.9	3.9		2155.1	4.1	0.0036	2.24	716.33	328.4	2.2	0.48
huarpa4	190	TR500	1602.8	2151.0	2154.9	3.8		2155.1	4.1	0.0037	2.23	717.73	334.4	2.1	0.49
huarpa4	180	TR500	1602.8	2151.0	2154.8	3.8		2155.1	4.1	0.0033	2.15	746.16	339.4	2.2	0.46
huarpa4	170	TR500	1602.8	2151.0	2154.8	3.8		2155.0	4.0	0.0033	2.14	749.65	345.2	2.2	0.46
huarpa4	160	TR500	1602.8	2151.0	2154.8	3.8		2155.0	4.0	0.003	2.07	774.51	351	2.2	0.44
huarpa4	150	TR500	1602.8	2151.0	2154.8	3.8		2155.0	4.0	0.0028	2.02	795.15	356.4	2.2	0.43
huarpa4	140	TR500	1602.8	2150.9	2154.7	3.8		2154.9	4.0	0.0026	1.95	821.82	361.3	2.3	0.41
huarpa4	130	TR500	1602.8	2150.6	2154.7	4.2		2154.9	4.3	0.0023	1.86	861.16	368.8	2.3	0.39
huarpa4	120	TR500	1602.8	2150.2	2154.7	4.6		2154.9	4.7	0.0018	1.74	920.52	373.6	2.5	0.35
huarpa4	110	TR500	1602.8	2150.0	2154.7	4.7		2154.9	4.9	0.0017	1.69	946.07	376.1	2.5	0.34
huarpa4	100	TR500	1602.8	2150.0	2154.7	4.7		2154.8	4.8	0.0019	1.74	922.66	377.4	2.4	0.35
huarpa4	90	TR500	1602.8	2150.0	2154.6	4.6		2154.8	4.8	0.0023	1.85	865.33	375.2	2.3	0.39
huarpa4	80	TR500	1602.8	2151.0	2154.6	3.7		2154.8	3.8	0.0017	1.71	939.4	372.5	2.5	0.34
huarpa4	70	TR500	1602.8	2150.8	2154.6	3.8		2154.8	4.0	0.0017	1.71	935.38	365.6	2.6	0.34
huarpa4	60	TR500	1602.8	2150.1	2154.6	4.5		2154.8	4.7	0.0017	1.71	934.91	356.9	2.6	0.34
huarpa4	50	TR500	1602.8	2150.0	2154.6	4.6		2154.7	4.7	0.0016	1.69	946.66	351.6	2.7	0.33
huarpa4	40	TR500	1602.8	2150.0	2154.5	4.5		2154.7	4.7	0.0024	1.99	806.88	319.3	2.5	0.4
huarpa4	30	TR500	1602.8	2150.0	2154.5	4.4		2154.7	4.7	0.0029	2.13	753.25	311	2.4	0.44
huarpa4	20	TR500	1602.8	2150.0	2154.4	4.4		2154.7	4.7	0.0035	2.27	704.85	305	2.3	0.48
huarpa4	10	TR500	1602.8	2150.0	2154.3	4.3		2154.6	4.6	0.005	2.58	621.85	292.4	2.1	0.56
huarpa4	0	TR500	1602.8	2150.0	2153.7	3.7	2153.7	2154.5	4.5	0.0176	3.96	404.24	256	1.6	1.01

BELINDA GUILLEN VIDAL
 Especialista en Hidrología e Hidráulica
 Reg. CIP. N° 48726

ING. JACK JORGE LOPEZ ACUÑA
 Reg. CIP. N° 6528
 JEFE DE PROYECTO



PERFIL DEL FLUJO



BELINDA GUILLEN VIDAL
Especialista en Hidrología e Hidráulica
Reg. CIP. N° 48726

ING. JUAN JOSE LOPEZ ACUNA
REG. CIP. N° 6528
JEFE DEL PROYECTO

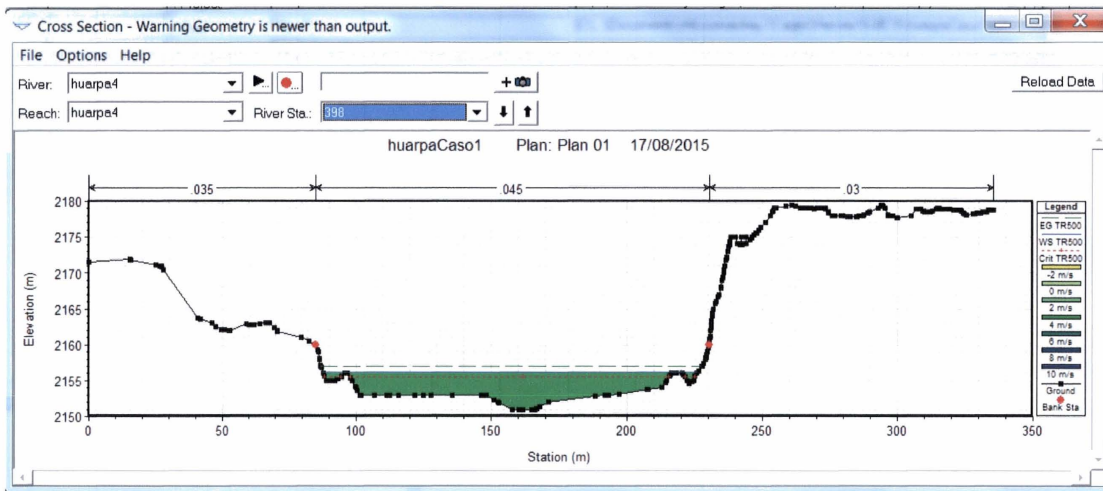


INFORME N° 04: INFORME FINAL
ESTUDIO DE HIDROLOGIA E HIDRAULICA



BELENDA GUILLEN VIDAL
Especialista en Hidrología e Hidráulica
Reg. CIP. N° 48726

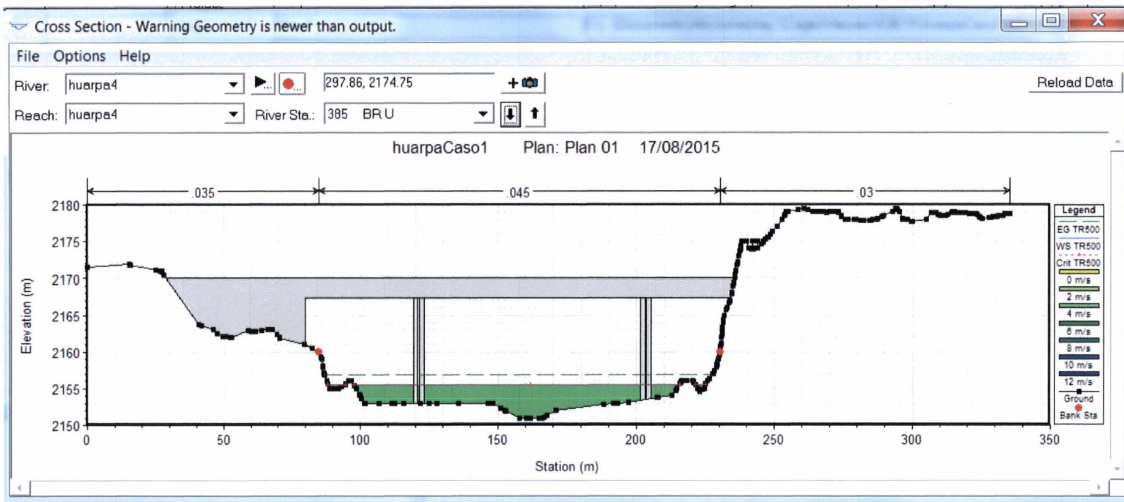
ING. JAVIER ROSE LOPEZ ACDINA
Reg. CIP. N° 96218
JEFE DE PROYECTO

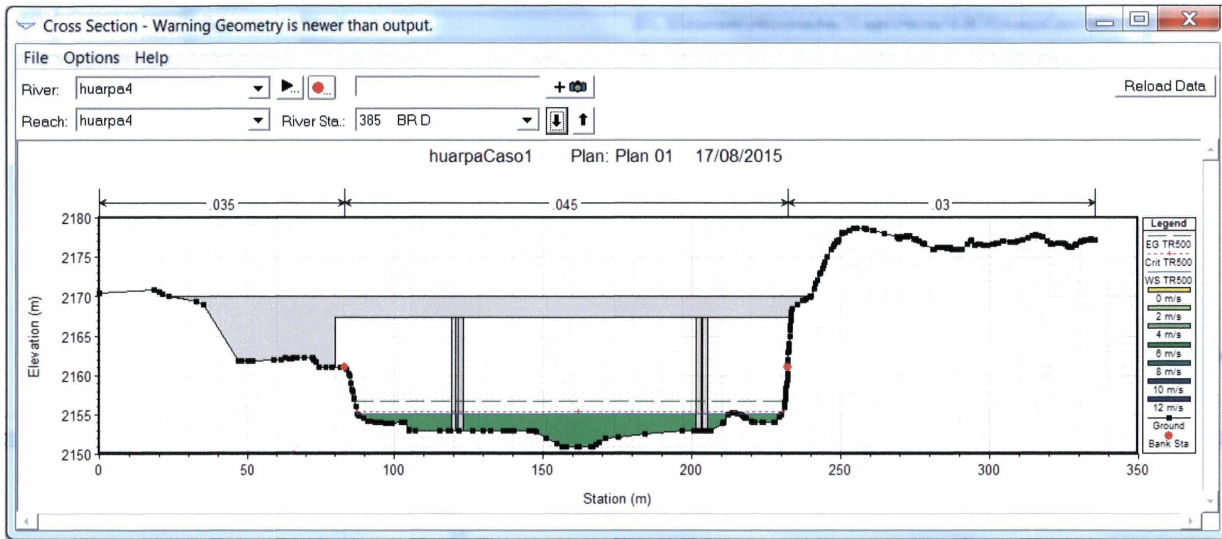




ING. BELINDA GUILLEN VIDAL
Especialista en Hidrología e Hidráulica
Reg. CIP. N° 48726

ING. JACKY ORDE LOPEZ AQUINA
Reg. CIP. N° 6528
JEFE DE PROYECTO



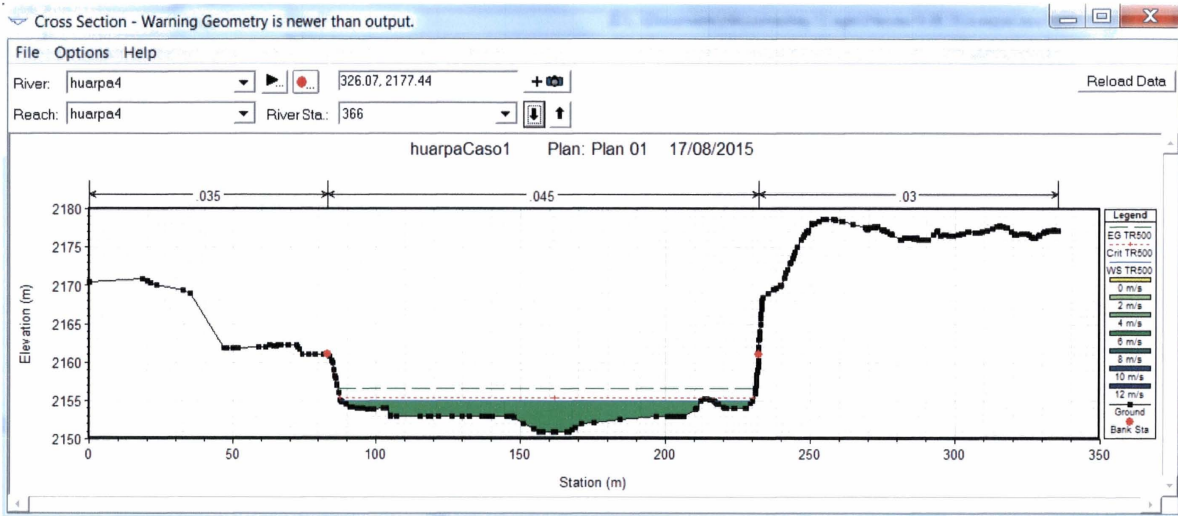


CELINDA GUILLEN VIDAL
 Especialista en Hidrología e Hidráulica
 Reg. CIP. N° 48726

ING. JACKSON TORO LOPEZ
 Reg. CIP. N° 6528
 JEFE DE PROYECTO



INFORME N° 04: INFORME FINAL
 ESTUDIO DE HIDROLOGIA E HIDRAULICA



BEUNDA GUILLEN VIDAL
Especialista en Hidrología e Hidráulica
Reg. CIP. N° 48726

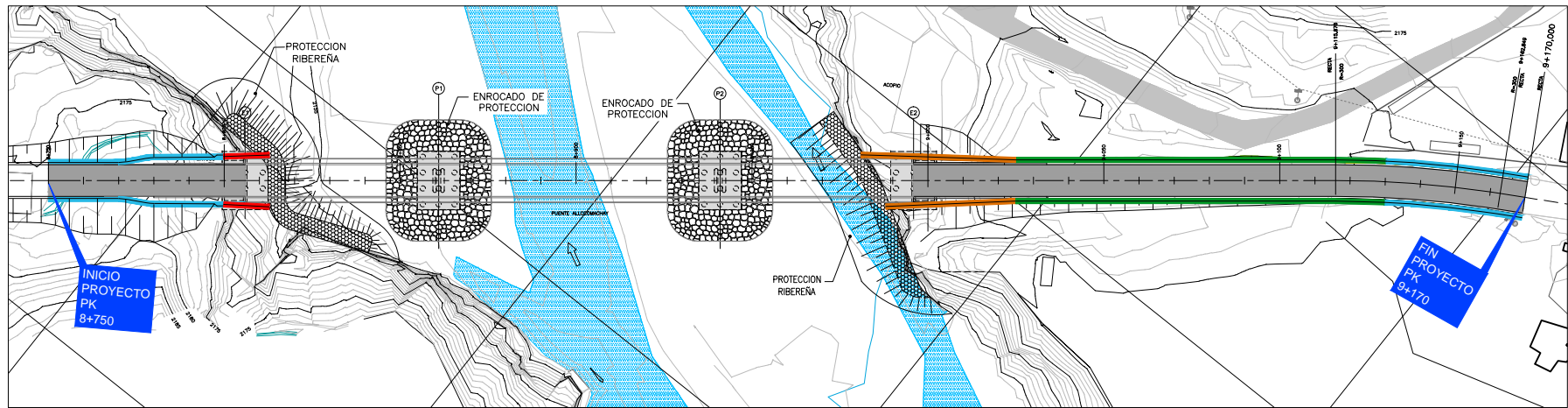
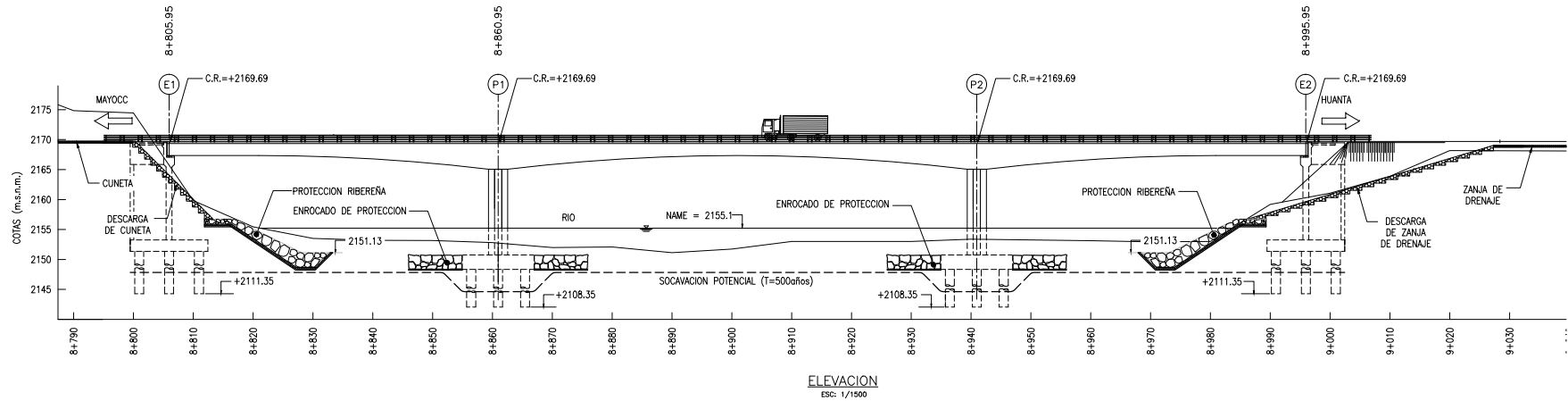
ING. JACK LOPEZ AYUNA
Reg. CIP. N° 8534
JEFE DE PROYECTO



INFORME N° 04: INFORME FINAL
ESTUDIO DE HIDROLOGIA E HIDRAULICA

Anexo B

Planos del Puente Allccomachay

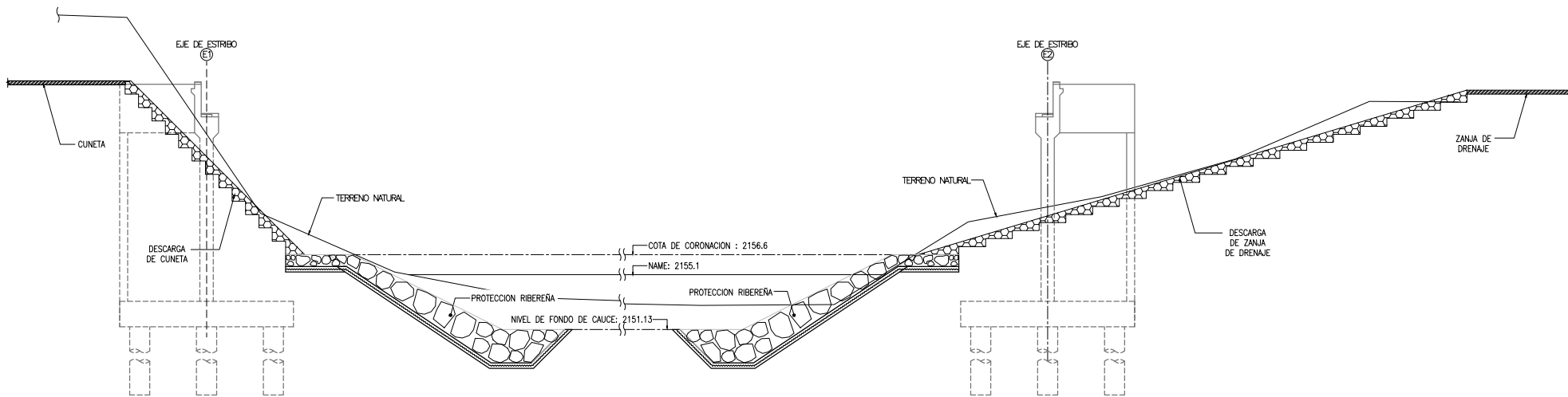


RELACION DE CUNETAS/ZANJAS PROPUESTAS

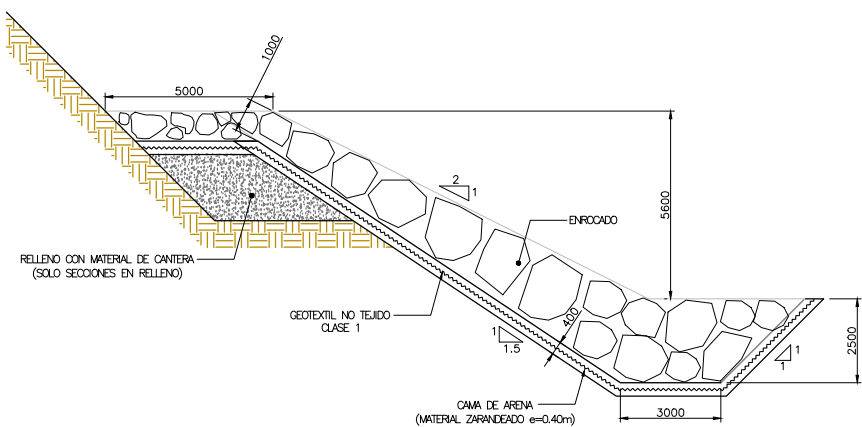
INICIO	FIN	TIPO DE ELEMENTO	LADO	LONGITUD	ENTREGA A:
08+750.00	08+799.92	CUNETETA	DER.	49.92	DESCARGA DE CUNETETA AL RIO (LONG. =29.7 m)
08+750.00	08+799.92	CUNETETA	IZQ.	49.92	DESCARGA DE CUNETETA AL RIO (LONG. =29.7 m)
09+130.00	09+170.00	CUNETETA	DER.	40.00	ENTREGA A ZANJA DE DRENAJE Km. 09+130
09+130.00	09+170.00	CUNETETA	IZQ.	40.00	ENTREGA A ZANJA DE DRENAJE Km. 09+130
09+025.25	09+130.00	ZANJA DE DRENAJE	DER.	104.75	DESCARGA DE ZANJA AL RIO (LONG. =55.0 m)
09+025.25	09+130.00	ZANJA DE DRENAJE	IZQ.	104.75	DESCARGA DE ZANJA AL RIO (LONG. =55.0 m)

LEYENDA	
█	CUNETAS
█	ZANJA DE DRENAJE
█	DESCARGA DE CUNETAS
█	DESCARGA DE ZANJA

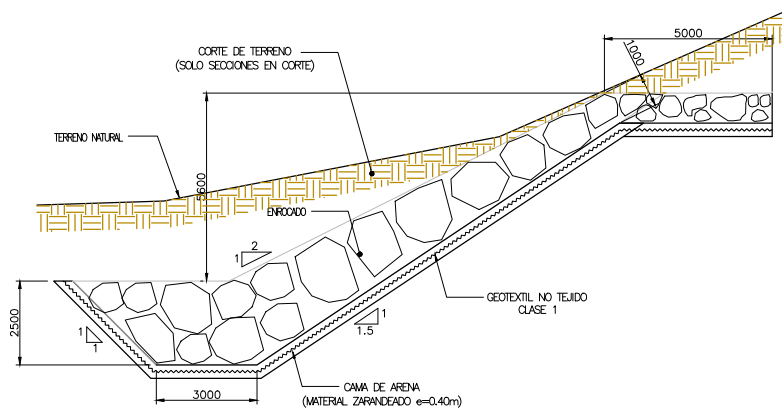
- NOTAS:
 1. Todos las dimensiones en milímetros (mm) salvo se indique lo contrario.
 2. Niveles en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)
 3. Escalas indicadas son para planos en formato A3.
 Para planos en formato A1 las escalas son el 50% de los valores indicados.



PROTECCION RIBEREÑA – EJE DEL PUENTE
ESC: 1/300



SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE PROTECCION RIBEREÑA – RELLENO
ESC: 1/150



SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE PROTECCION RIBEREÑA – CORTE
ESC: 1/150

GRANULOMETRIA DEL ENROCADO

DIAMETRO (m)					
D100		D50		D20	
max.	min.	max.	min.	max.	min.
1.50	1.00	0.75	0.70	0.40	0.20

- NOTAS:
 1. Todas las dimensiones en milímetros (mm) salvo se indique lo contrario.
 2. Niveles en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m)
 3. Escalas indicadas son para planos en formato A3.
 Para planos en formato A1 las escalas son el 50% de los valores indicados.

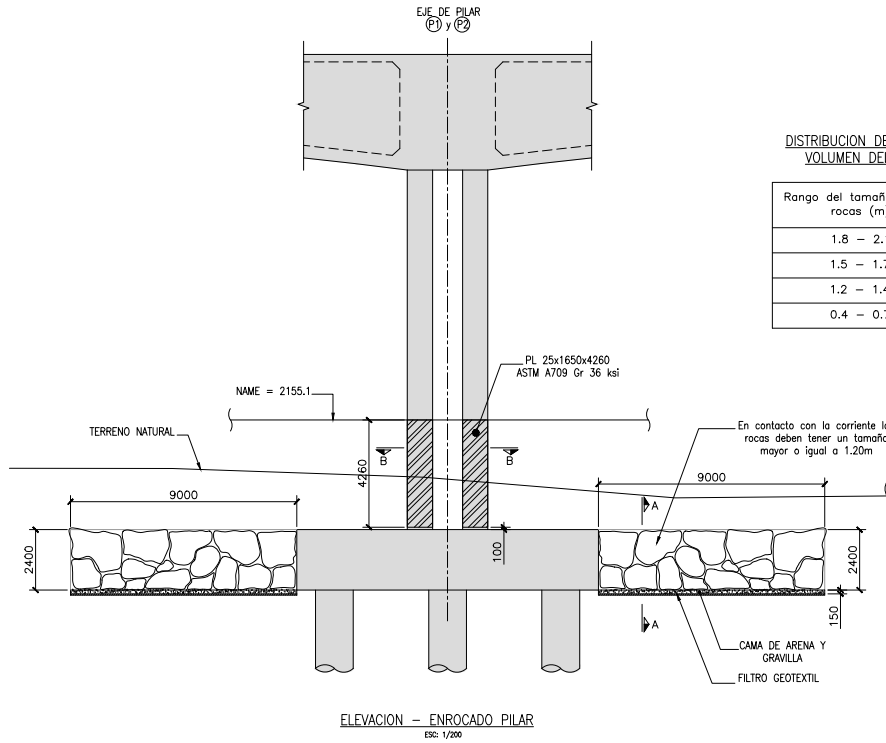
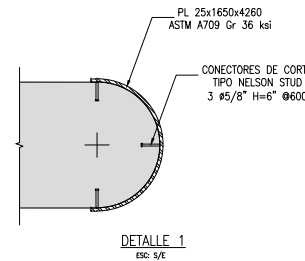
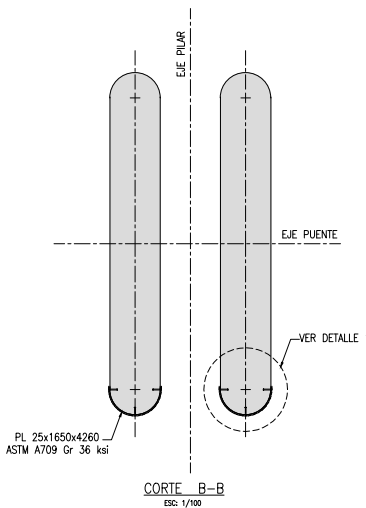
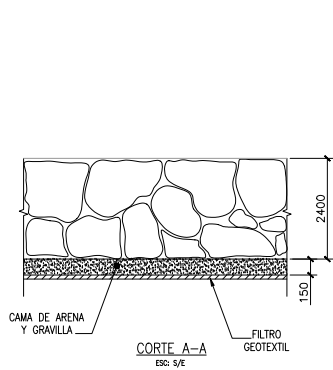
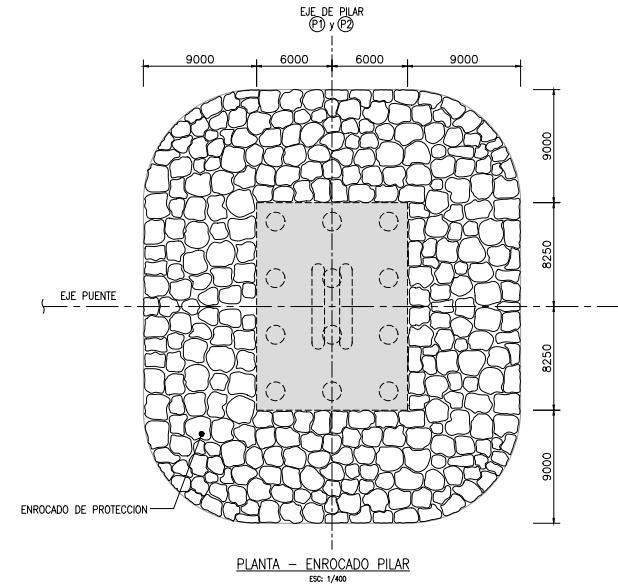
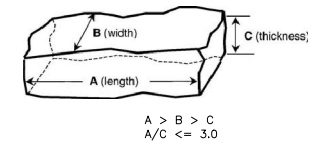


TABLA 1
DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE LAS ROCAS, POR VOLUMEN DEL ENROCADO DE PROTECCION

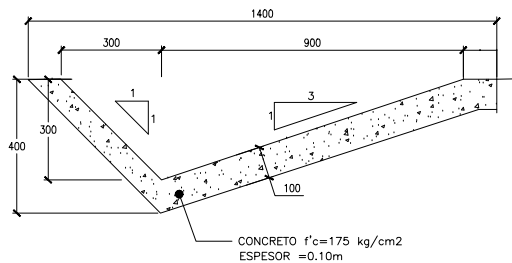
Rango del tamaño de las rocas (m)	Porcentaje del volumen total (%)
1.8 - 2.1	15
1.5 - 1.7	35
1.2 - 1.4	35
0.4 - 0.7	15



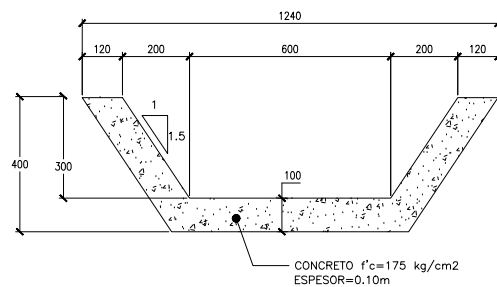
- ESPECIFICACIONES DEL ENROCADO:**
1. Las planchas de protección en las columnas solo irán en las caras expuestas aguas arriba.
 2. Las rocas deben ser duras, durables, de cantera, resistentes a la acción del agua.
 3. Las rocas deben tener la distribución de tamaños según TABLA 1.
 4. Al colocar el enrocado, las rocas en la superficie, en contacto con la corriente, deben tener un tamaño mayor o igual a 1.20m.
 5. Para evitar rocas planas o alargadas, se controlará la selección de material mediante el factor de forma, para lo cual se debe de cumplir que el largo entre el espesor del material sea menor o igual a 3 ($A/C \leq 3$).



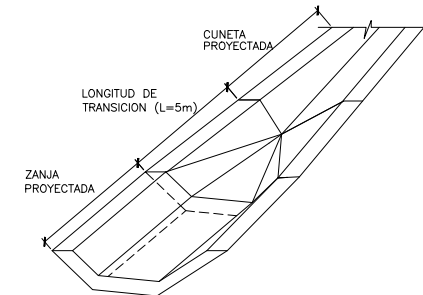
- NOTAS:**
1. Todas las dimensiones en milímetros (mm) salvo se indique lo contrario.
 2. Niveles en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m)
 3. Escalas indicadas son para planos en Formato A3.
Para planos en formato A1 las escalas son el 50% de los valores indicados.



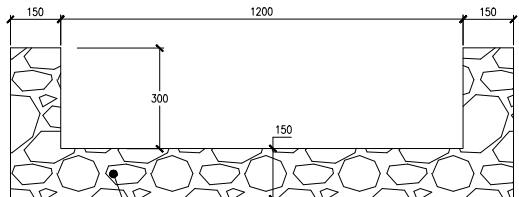
CUNETA
Esc: 1/15



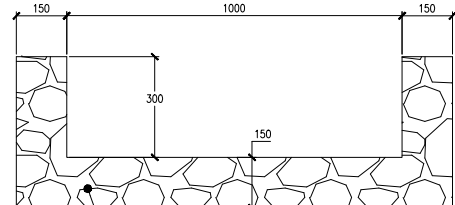
ZANJA DE DRENAJE
Esc: 1/15



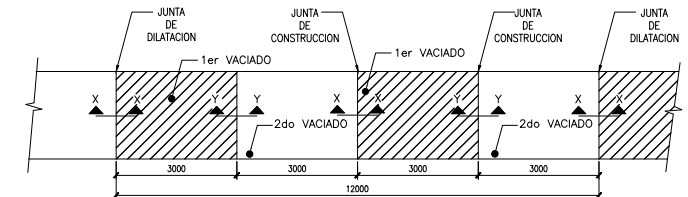
DETALLE DE LA TRANSICION DE CUNETA A ZANJA
Esc: 5/8



SECCION DE DESCARGA DE CUNETA MARGEN IZQUIERDA
Esc: 1/15

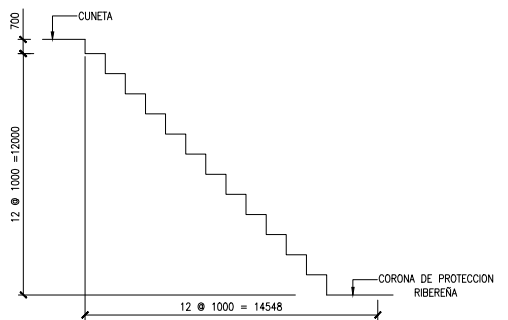


SECCION DE DESCARGA DE CUNETA MARGEN DERECHA
Esc: 1/15

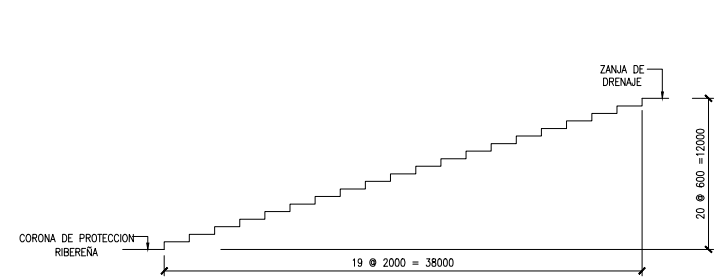


- NOTA:
- EL VACIADO DE PAÑOS SERA ALTERNADO, UNA VEZ FRAGUADO EL CONCRETO SE PASARA UNA PLANCHA BRUÑADORA DE 3 mm. EN EL CONTACTO CON LA CERCHA
 - EL SEGUNDO VACIADO SE HARA EN CONTACTO CON EL PRIMER VACIADO
 - EN EL CASO DE JUNTAS DE CONSTRUCCION SE PASARA UNA PLANCHA BRUÑADORA DE 6mm EN EL CONTACTO CON EL PRIMER VACIADO.
 - EN EL CASO DE JUNTAS DE DILATACION SE COLOCARA ESPUMA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (TEKNOPOR) EN LA CARA DE CONTACTO DEL PRIMER VACIADO.

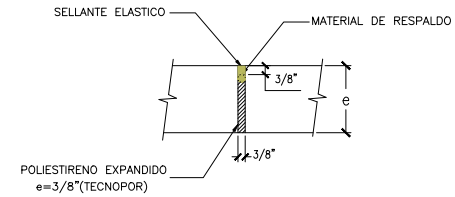
PROCESO CONSTRUCTIVO DE CUNETAS
Esc: 5/8



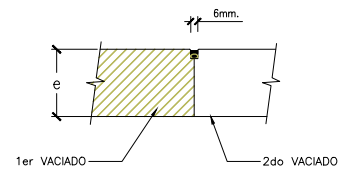
PERFIL DE DESCARGA DE CUNETAS MARGEN IZQUIERDA
Esc: 5/8



PERFIL DE DESCARGA DE CUNETAS MARGEN DERECHA
Esc: 5/8



NOTA: LAS JUNTAS SE COLOCARAN CADA 12.00m
CORTE Y-Y



NOTA: LAS JUNTAS SE COLOCARAN CADA 3.00m
CORTE X-X

DETALLES DE JUNTA DE DILATACION
Esc: 5/8

NOTAS:
1. Todas las dimensiones en milímetros (mm) salvo se indique lo contrario.
2. Niveles en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m)
3. Escalas indicadas son para planos en formato A3.
Para planos en formato A1 las escalas son el 50% de los valores indicados.

Anexo C

Panel fotografico

Figura 1: Vista fotográficas del trabajo de campo.



Fuente: Trabajo de campo.

Figura 2: Vista fotográfica del trabajo de campo validacion.



Fuente: Trabajo de campo.

**UNSCH**FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 021-2025-FIMGC****PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal No 178-2025-FIMGC-D**, a los **veintidós días del mes de julio de 2025**, siendo las **4:00 p.m.**, reunidos en el **Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil**, bajo la presidencia del **Mg. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS**, y los miembros: **MSc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZU PRADO** y **MSc. Ing. Alex Sander IRCAÑAUPA HUAMANI**, actuando como secretario docente el **MSc. Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNÁNDEZ**, para proceder a la sustentación de tesis para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**, del bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil:

MAX LIMBER FLORES DIAZ

Quien presentó la tesis denominada:

ANÁLISIS DE VÓRTICES EN EL RÍO CACHIA TRAVÉS DE LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL AL PIÉ DEL PUENTE ALLCCOMACHAY, AYACUCHO 2024

Los señores miembros del jurado luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:

Aprobado con dieciséis (16)

Siendo las **5:30 p.m.** del día **22 de julio del 2025**, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad lo actuado los miembros del jurado firmamos al pie del presente.

Mg. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS
Presidente

MSc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZU PRADO
Miembro

MSc. Ing. Alex Sander IRCAÑAUPA
HUAMANI
Miembro - Asesor

MSc. Ing. Saul Walter RETAMOZO
FERNÁNDEZ
Secretario docente de la FIMGC

FACULTAD DE INGENIERÍA
DE MINAS Y CIVIL
Av. Independencia S/N
Ciudad Universitaria
Central Tel. 066 312510
Anexo 151



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 012-2025-FIMGC/ASIH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, de la Escuelas Profesional de **Ingeniería Civil** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 697-2024-FIMGC-UNSCH-D**, dejo constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : MAX LIMBER FLORES DIAZ
Escuela Profesional : INGENIERÍA CIVIL
Título de la Tesis : ANÁLISIS DE VÓRTICES EN EL RÍO CACHI A TRAVÉS DE LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL AL PIÉ DEL PUENTE ALLCCOMACHAY, AYACUCHO 2024.
Evaluación de la Originalidad : 5 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega : 2729615021

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 14 de agosto de 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Alex Sander IRCAÑAUPA HUAMANI
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil

ANÁLISIS DE VÓRTICES EN EL RÍO CACHI A TRAVÉS DE LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL AL PIÉ DEL PUENTE ALLCCOMACHAY, AYACUCHO 2024

por Max Limber FLORES DIAZ

Fecha de entrega: 14-ago-2025 12:44p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2729615021

Nombre del archivo: Te_Max_Limber_Flores_Diaz.pdf (10.63M)

Total de palabras: 19616

Total de caracteres: 95252

ANÁLISIS DE VÓRTICES EN EL RÍO CACHI A TRAVÉS DE LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL AL PIÉ DEL PUENTE ALLCCOMACHAY, AYACUCHO 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	bdu.siu.edu.ar Fuente de Internet	1%
2	qdoc.tips Fuente de Internet	1%
3	myslide.es Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
5	cicese.repositorioinstitucional.mx Fuente de Internet	1%
6	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
7	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	laccei.org Fuente de Internet	<1%



Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo