

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

---

**Modelamiento hidráulico en el diseño de una bocatoma de concreto y sus obras de arte, localidad Quirihuac, distrito de Laredo, Trujillo – La Libertad.**

---

**Línea de investigación:**

Ingeniería Civil

**Sub línea de investigación:**

Hidráulica

**Autores:**

Figueroa Vásquez, Billy Mirko

López Gómez, Andy Josep

**Jurado Evaluador:**

Presidente: Narváez Aranda, Ricardo Andrés

Secretario: Cabanillas Quiroz, Guillermo Juan

Vocal: Salazar Perales, Álvaro Fernando

**Asesor:**

Medina Carbajal, Lucio Sigifredo

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5207-4421>

TRUJILLO - PERÚ

2023

**Fecha de sustentación: 2023/12/11**



**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

---

**Modelamiento hidráulico en el diseño de una bocatoma de concreto y sus obras de arte, localidad Quirihuac, distrito de Laredo, Trujillo – La Libertad.**

---

**Línea de investigación:**

Ingeniería Civil

**Sub línea de investigación:**

Hidráulica

**Autores:**

Figueroa Vásquez, Billy Mirko

López Gómez, Andy Josep

**Jurado Evaluador:**

Presidente: Narváez Aranda, Ricardo Andrés

Secretario: Cabanillas Quiroz, Guillermo Juan

Vocal: Salazar Perales, Álvaro Fernando

**Asesor:**

Medina Carbajal, Lucio Sigifredo

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5207-4421>

TRUJILLO - PERÚ

2023

**Fecha de sustentación: 2023/12/11**

# Modelamiento hidráulico en el diseño de una bocatoma de concreto y sus obras de arte, localidad Quirihuac, distrito de Laredo, Trujillo – La Libertad

## INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](http://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

8%

2

[repositorio.untumbes.edu.pe](http://repositorio.untumbes.edu.pe)

Fuente de Internet

2%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 2%

Excluir bibliografía

Apagado



LUCIO S. MEDINA CARBAL  
ING. CIVIL  
CIP No 76695

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Lucio Sigifredo Medina Carbajal, docente del Programa de Estudio de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis de investigación titulada “Modelamiento hidráulico en el diseño de una bocatoma de concreto y sus obras de arte, localidad Quirihuac, distrito de Laredo, Trujillo – La Libertad”, de los autores Andy Josep López Gómez y Billy Mirko Figueroa Vásquez, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 10%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 30 de noviembre del 2023.
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis “Modelamiento hidráulico en el diseño de una bocatoma de concreto y sus obras de arte, localidad Quirihuac, distrito de Laredo, Trujillo – La Libertad”, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Trujillo 30 de noviembre de 2023

---

Figueroa Vásquez, Billy Mirko  
DNI: 72448575

---

López Gómez, Andy Josep  
DNI: 71501767

---

LUCIO S. MEDINA CARBAJAL  
ING. CIVIL  
CIP No 76695

---

Medina Carbajal, Lucio Sigifredo  
DNI: 40534510  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5207-4421>

**MODELAMIENTO HIDRÁULICO EN EL DISEÑO DE UNA BOCATOMA DE  
CONCRETO Y SUS OBRAS DE ARTE, LOCALIDAD QUIRIHUAC, DISTRITO DE  
LAREDO, TRUJILLO – LA LIBERTAD.**

**JURADO CALIFICADOR**

.....  
**ING. NARVÁEZ ARANDA RICARDO ANDRES**

**CIP: 58776**

**PRESIDENTE**

.....  
**ING. CABANILLAS QUIROZ GUILLERMO JUAN**

**CIP: 17902**

**SECRETARIO**

.....  
**ING. SALAZAR PERALES, ÁLVARO FERNANDO**

**CIP: 97281**

**VOCAL**

.....  
**ING. MEDINA CARBAJAL LUCIO SIGIFREDO**

**CIP: 76695**

**ASESOR**

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a todas aquellas personas que estuvieron presentes en mi vida durante este camino, a mis padres, por siempre brindarme su apoyo moral y emocional incondicionalmente, a mi abuela, que, a pesar de ya no estar presente, siempre me impulsó a cumplir mis metas.

A mi abuelo, hermanos y sobrinos, los cuales me motivan cada día a seguir creciendo personal y profesionalmente.

A mis padres Julia Magnolia y José Luis quienes han sido mi fuerza motivadora en todo momento y me han apoyado en cada etapa de mi vida.

A mi hermana Adith Madeleyne quien ha sido una fuente de inspiración, y mi guía de introducción al mundo de la ingeniería

A mi amada Rocío Del Carmen, que nunca dejó de apoyarme y brindarme palabras de aliento y siempre confiar en mí.

**Br. Billy Figueroa Vásquez**

**Br. Andy López Gómez**

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco de manera especial a mi padre, que siempre me brindó su apoyo, además de sus consejos y aliento, también a mi madre y abuelos por brindarme su apoyo en la etapa inicial de mi carrera profesional y a mis hermanos por siempre estar en cada paso que doy, por último, quiero agradecer a mi asesor de tesis por habernos guiado en la elaboración de este trabajo de investigación

**Br. Billy Figueroa Vásquez**

En primer lugar, dar gracias a Dios, quien es la base en la que se sustenta este proyecto, ya que él es el que nos otorga la vida, salud y conocimiento para lograr nuestras metas y objetivos. A nuestro asesor, quien fue nuestro guía, ya que con su vasta experiencia y conocimiento nos ha orientado en todo momento y nos ha brindado las herramientas necesarias para llevar a cabo este proyecto. A nuestros compañeros de carrera, por compartir con nosotros sus conocimientos y experiencias, por brindarnos su ayuda y colaboración en momentos cruciales. Por último, a cada una de las personas que colaboraron en el desarrollo de esta tesis, y que contribuyen al avance de la ciencia y tecnología en nuestro país. Gracias por su confianza y apoyo.

**Br. Andy López Gómez**

## RESUMEN

En la presente investigación se realiza un diseño de una bocatoma en Quirihuac, la cual se validará mediante un modelo hidráulico tridimensional, la cual se parte de la obtención de caudales máximos del estudio hidrológico elaborado y el dimensionamiento del estudio hidráulico. Donde el estudio de las máximas avenidas permitió calcular un caudal máximo de 574.52 m<sup>3</sup>/s, lo cual constituye una base fundamental para el diseño de las estructuras complementarias de la bocatoma. Y el diseño de las diversas estructuras complementarias se llevó a cabo de manera acertada, siguiendo criterios técnicos y considerando la hidrología del área. Donde se verificó exitosamente el diseño de las estructuras de la bocatoma, evaluando los rangos de velocidades generados por el caudal de la hidrología, mediante el modelo tridimensional ANSYS. En conclusión, los resultados obtenidos en cada objetivo, refuerzan la importancia de implementar una infraestructura natural en la parte alta de la cuenca del río moche. El cálculo preciso de los caudales máximos, el diseño adecuado de las estructuras y la verificación mediante un modelo tridimensional son fundamentales para garantizar la funcionalidad, seguridad y sostenibilidad de la infraestructura propuesta. Estos resultados respaldan la viabilidad de la implementación de una bocatoma en la zona de Quirihuac, las cuales contribuyen al manejo adecuado de los recursos hídricos en la zona. Donde se recomienda continuar monitoreando y actualizando los datos hidrológicos: Dado que el diseño de las estructuras de la bocatoma depende de los caudales máximos y las avenidas, es importante mantener un monitoreo constante de los datos hidrológicos en la zona. Esto permitirá actualizar los valores de caudales y asegurar que los diseños estén acordes con las condiciones hidrológicas más recientes.

*Palabras claves:* Hidráulica, Hidrología, Modelo tridimensional.

## **ABSTRACT**

In the present investigation a design of an intake in Quirihuac is carried out, which will be validated by means of a three-dimensional hydraulic model, which is based on obtaining maximum flows from the hydrological study and the sizing of the hydraulic study. Where the study of the maximum avenues allowed calculating a maximum flow of 574.52 m<sup>3</sup>/s, which constitutes a fundamental base for the design of the complementary structures of the intake. And the design of the various complementary structures was carried out correctly, following technical criteria and considering the hydrology of the area. The design of the intake structures was successfully verified by evaluating the velocity ranges generated by the hydrological flow, using the three-dimensional ANSYS model. In conclusion, the results obtained in each objective reinforce the importance of implementing a natural infrastructure in the upper part of the Moche river basin. Accurate calculation of peak flows, proper design of structures, and verification using a three-dimensional model are essential to ensure the functionality, safety, and sustainability of the proposed infrastructure. These results support the feasibility of implementing an intake in the Quirihuac area and contribute to the proper management of water resources in the area. Where it is recommended to continue monitoring and updating hydrological data: Given that the design of the intake structures depends on peak flows and floods, it is important to maintain constant monitoring of hydrological data in the area. This will make it possible to update flow values and ensure that designs are in line with the latest hydrological conditions.

*Key words:* Hydraulics, Hydrology, Three-dimensional model.

## INDICE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	15
1. El Problema.....	15
1.1. Realidad Problemática.....	15
1.2. Formulación del problema .....	15
1.3.1. Justificación Social.....	16
1.3.2. Justificación técnica .....	16
1.3.3. Justificación económica .....	16
2. Objetivos .....	16
2.1. Objetivos generales .....	16
2.2. Objetivos específicos .....	16
II. MARCO DE REFERENCIA .....	17
2.1. Antecedentes del estudio.....	17
2.2. Marco Teórico.....	20
2.3. Marco conceptual.....	30
2.4. Sistema de Hipótesis .....	32
III. METODOLOGÍA EMPLEADA .....	34
3.1. Población.....	34
3.2. Muestra.....	34
3.3. Diseño de investigación .....	35
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	35
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	38
4.1. Estudio hidrológico.....	38
4.1. Estudio hidráulico.....	53
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	89
VI. CONCLUSIONES.....	90
VII. RECOMENDACIONES .....	92
Bibliografía .....	93

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Principales problemas de los registros históricos.....	20
<b>Figura 2</b> <i>Continuidad de un canal</i> .....	22
<b>Figura 3</b> Energía en canales.....	23
<b>Figura 4</b> Cantidad de movimiento.....	24
<b>Figura 5</b> Toma rustica.....	25
<b>Figura 6</b> Bocatoma directa frontal.....	25
<b>Figura 7</b> Bocatoma directa lateral.....	26
<b>Figura 8</b> Esquema típico de una bocatoma .....	27
<b>Figura 9</b> Aproximación de dimensión 1D – 2D – 3D.....	28
<b>Figura 10</b> Modelo Unidimensional .....	29
<b>Figura 11</b> Modelo Bidimensional.....	29
<b>Figura 12</b> Modelo Tridimensional.....	30
<b>Figura 13</b> Localización del área de estudio.....	34
<b>Figura 14</b> Ubicación de la estación Quirihuac. ....	38
<b>Figura 15</b> Precipitaciones máximas anuales para cada TR .....	47
<b>Figura 16</b> Curva de gasto.....	55
<b>Figura 17</b> Dimensiones del canal principal.....	56
<b>Figura 18</b> Isometría del canal de captación .....	56
<b>Figura 19</b> Dimensiones del canal de captación.....	57
<b>Figura 20</b> Isometría del canal de conducción .....	57
<b>Figura 21</b> Dimensiones del canal de conducción.....	58
<b>Figura 22</b> Dimensiones de la transición.....	58
<b>Figura 23</b> Elevación del barraje .....	60
<b>Figura 24</b> Dimensionamiento del barraje.....	61
<b>Figura 25</b> Isometrías de barrajes fijo y móvil .....	62
<b>Figura 26</b> Dimensionamiento de barraje mixto.....	63
<b>Figura 27</b> Dimensionamiento de barraje fijo .....	63
<b>Figura 28</b> Coeficientes de descarga para la cresta del vertedero .....	65
<b>Figura 29</b> <i>Relación de la carga sobre la cresta a la carga del proyecto</i> .....	65
<b>Figura 30</b> <i>Valores de P/Ho</i> .....	66
<b>Figura 31</b> <i>Interferencia del lavadero aguas abajo</i> .....	67
<b>Figura 32</b> <i>Sumergencia</i> .....	68
<b>Figura 33</b> <i>Dimensiones de Qt y Ho</i> .....	69
<b>Figura 34</b> Dimensionamiento de barraje fijo .....	71
<b>Figura 35</b> Esquema de las fases de un proceso por CFD.....	72
<b>Figura 36</b> Volumen de Fluido de Dominio en SPACE CLAIM.....	73
<b>Figura 37</b> Volumen de Fluido de Dominio en DESIGN MODELER .....	74
<b>Figura 38</b> Mallado del dominio .....	75
<b>Figura 39</b> Mallado en la entrada del dominio.....	75
<b>Figura 40</b> Mallado en paredes del dominio (barraje fijo).....	75
<b>Figura 41</b> Mallado en paredes del dominio (barraje móvil y canal).....	76
<b>Figura 42</b> Mallado en el piso del dominio.....	76
<b>Figura 43</b> Calidad del mallado. ....	76
<b>Figura 44</b> General .....	78

<b>Figura 45</b> Modelo Multifase .....	79
<b>Figura 46</b> Fases.....	80
<b>Figura 47</b> Coeficiente de tensión superficial .....	80
<b>Figura 48</b> Modelo Viscoso .....	81
<b>Figura 49</b> Mezcla de entrada Massflow.....	82
<b>Figura 50</b> Agua de entrada Massflow.....	82
<b>Figura 51</b> Mezcla de salida de presión.....	83
<b>Figura 52</b> Aire de salida a presión.....	84
<b>Figura 53</b> Métodos de solución.....	84
<b>Figura 54</b> Inicialización de la solución y su cálculo de ejecución .....	85
<b>Figura 55</b> Gráfica de Iteraciones vs Residuales.....	86
<b>Figura 56.</b> Gráfica de Tiempo vs Caudal Másico del canal de derivación .....	86
<b>Figura 57</b> Gráfica de Tiempo vs Caudal Másico de la estructura.....	87
<b>Figura 58</b> Resultados, Contornos VOF.....	87
<b>Figura 59</b> Resultados, Velocidad .....	88

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Distribuciones probabilísticas para estudios hidrológicos.....	21
<b>Tabla 2</b>	Matriz de Operacionalización de Variable .....	33
<b>Tabla 3</b>	Ubicación geográfica .....	34
<b>Tabla 4</b>	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos .....	35
<b>Tabla 5</b>	Valores máximos anuales .....	39
<b>Tabla 6</b>	Parámetros estadísticos .....	40
<b>Tabla 7</b>	Valores $K_n$ para la prueba de datos dudosos.....	40
<b>Tabla 8</b>	Valores máximos anuales modificado.....	42
<b>Tabla 9</b>	Distribuciones probabilísticas .....	43
<b>Tabla 10</b>	Prueba bondad de ajuste .....	46
<b>Tabla 11</b>	Caudales máximos para diversos TR, con intervalos de duración .....	47
<b>Tabla 12</b>	Extensión de terreno para cultivo por hectárea.....	48
<b>Tabla 13</b>	Determinación del coeficiente $K_cT$ mensual.....	48
<b>Tabla 14</b>	Determinación del coeficiente $E_{to}$ mensual.....	48
<b>Tabla 15</b>	Determinación de Evapotranspiración real .....	49
<b>Tabla 16</b>	Precipitación Total (P) .....	49
<b>Tabla 17</b>	Determinación de Precipitación efectiva .....	50
<b>Tabla 18</b>	Determinación de requerimiento de agua .....	50
<b>Tabla 19</b>	Determinación de requerimiento volumétrico de agua.....	50
<b>Tabla 20</b>	Determinación de módulo de riego .....	51
<b>Tabla 21</b>	Determinación de requerimiento bruto mensual lt/seg.....	51
<b>Tabla 22</b>	Determinación de requerimiento bruto mensual m <sup>3</sup> /seg .....	51
<b>Tabla 23</b>	Balance Hídrico .....	52
<b>Tabla 24</b>	Caudal requerido para el canal principal .....	53
<b>Tabla 25</b>	Coeficiente de escorrentía .....	53
<b>Tabla 26</b>	Parámetros del canal.....	54
<b>Tabla 27</b>	Caudales para diferentes cotas .....	55
<b>Tabla 28</b>	Cálculo de perfil.....	71

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. El Problema

#### 1.1.1. *Realidad Problemática*

Las inundaciones en el Perú afectan a las infraestructuras viales, edificaciones y parcelas agrícolas, además de tener un impacto negativo en las estructuras hidráulicas por lo que se encuentran directamente influenciado con el flujo de agua; y estos impactos perjudican en diferentes aspectos como la economía, social y ambiental. Además, Según (Nureña & Vásquez, 2020, p.3), nos describe que los caudales de los ríos costeros son muy variables en el tiempo, dado que existen diversos factores que altera su tendencia hidrológica. Es por ello que la cuenca del río moche tiene estas mismas características de variabilidad y se debe tener cuidado en las estructuras proyectadas.

En la localidad de Quirihuac, se caracteriza por su extensión agrícola mayor de 280 hectáreas y su única bocatoma rustica fue destruida por el fenómeno del niño de 2016-2017; Y es por ello que es necesario la construcción de una Bocatoma que pueda hacer frente a las avenidas extraordinarias que se pueden dar en el futuro. Además de considerar una seguridad contra las socavaciones en el lecho del río y proponer obras de artes que regula la captación y eliminan las partículas de sólidos de arrastres. Cabe mencionar que el río moche se caracteriza por tener caudales es correntoso y es necesario visualizar el comportamiento hidráulico de las estructuras proyectadas sujeta al flujo del agua, mediante herramientas computacionales como lo son los modelos numéricos con una aproximación tridimensional; con la finalidad de verificar el buen diseño hidráulico.

#### 1.1.2. *Formulación del problema*

¿De qué manera se podrá modelar hidráulicamente el diseño de una bocatoma de concreto y sus obras de arte en el Distrito de Laredo, Trujillo – La Libertad?

## **1.2. Justificación**

### **1.2.1. Justificación Social**

Se justifica socialmente, por lo que se diseñara una bocatoma de concreto y sus obras de arte, de tal manera que se encontrara validado por un modelo hidráulico para poder visualizar el comportamiento proyectado de las estructuras ante avenidas máximas y la población cercana pueda sentirse segura ante el diseño y se sientan satisfechos en un enfoque de irrigación.

### **1.2.2. Justificación técnica**

Se justifica técnicamente, por lo que se aplicara modelos numéricos aplicados a la hidráulica que nos ayudaran a representar eventos futuros y poder visualizar el buen comportamiento hidráulico, y con ello promover herramientas computacionales para el diseño y el modelado de estructuras hidráulicas.

### **1.2.3. Justificación económica**

Se justifica económicamente, porque se está dando como propuesta, una bocatoma y sus obras de arte, con un diseño eficiente, para que a largo plazo no llegue a colapsar y haya pérdidas económicas.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivos generales**

Realizar el modelamiento hidráulico del diseño de una bocatoma de concreto y sus obras de artes, Distrito de Laredo, Trujillo – La Libertad

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Realizar el estudio hidrológico de avenidas máximas
- Realizar el estudio hidráulico de la bocatoma y sus obras de arte
- Realizar un modelo hidráulico para verificar el diseño

## II. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1. Antecedentes del estudio

- **Internacionales**

Diaz (2020), en su tesis de pregrado de la Universidad Santo Tomas de Colombia, llamado "*Modelación mediante software CFD de los ensayos de vertedero rectangular y triangular del canal hidráulico del laboratorio de hidráulica de la Universidad Santo Tomas Sede Villavicencio*", tiene como objetivo modelar matemáticamente mediante uso de software CFD en las condiciones de flujo libre de los ensayos de un modelo físico como lo es el vertedero rectangular y triangular; además nos aporta la importancia del uso del software OpenFoam en la industria de ingeniería, por lo que tiene una capacidad de realizar modificaciones existentes y además tener un algoritmo que nos permita comprender los distintos fenómenos ocasionados por el flujo de agua (Diaz, 2020, p. 55-56). Este antecedente nos ayudara como base bibliográfica para entender el comportamiento físico bajo el modelo OpenFoam y sus comparaciones con los modelos físicos a baja escala como lo fue una estructura sujeta al flujo de agua y su validez de sí misma.

Aguilar y Escobar (2020), en su tesis de pregrado de la Universidad Católica de Colombia, llamado "*Simulación del flujo de agua sobre un vertedero rectangular, mediante el uso de una herramienta aplicada a la dinámica de fluidos computacional*", tiene como objetivo generar la simulación de un modelo físico de un vertedero con una geometría rectangular y paredes delgadas, ubicada en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Católica de Colombia; además nos aporta que el software no cuenta con una interfaz gráfica y dificulta la generación del mallado y es por eso que Salome-Meca simplificó la configuración de la geometría por medio de herramientas CAD (Aguilar y Escobar , 2020, p73). Este antecedente nos ayudara como base para entender la metodología del OpenFoam, como la configuración del modelo, ingreso de la información y visualización grafica de los resultados, basándose en la isometría de un software CAD.

- **Nacionales**

Nassi (2018), en su tesis de pregrado de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo llamado "*Diseño y modelamiento hidráulico de la bocatoma el pueblo del distrito de Chocope, provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque, utilizando el modelo numérico Telemac*", tiene como objetivo de modelar la hidráulica con una aproximación bidimensional con Telemac 2D, para medidas preventivas y correctivas para la estructura proyectado; además nos aporta la importancia del uso del software hidráulica por lo que nos brindan valores y magnitudes de velocidades, niveles y tirantes, mencionando que se puede calibrar con información de campo para darle mayor validez, además que la bondad que tiene los modelos numéricos es debido a la potencia por la cantidad de iteraciones que se da para la simulación (Nassi, 2018, p. 103). Este antecedente nos ayudara como base bibliográfica para entender el proceso a seguir para armar y simular un modelo hidráulico, además de las consideraciones para la verificación.

Cunia (2016), en su tesis de pregrado de la Universidad Nacional de San Martín, llamado "*Diseño hidráulico y estructural de la bocatoma del proyecto de irrigación avisado- valle "la conquista"*", tiene como objetivo diseñar hidráulicamente y estructural de la bocatoma y sus componentes, partiendo de estudios previos como la topográfica, suelos e hidrológicos, utilizando criterios hidráulicos al final para el dimensionamiento de la estructuras y sus componentes; además nos aporta que para el diseño hidráulico se debe considerar el diseño estructural como la fuerzas hidrostáticas que pueden ser provocadas por el flujo de agua, la subpresión afectando la cimentación de la estructura y el análisis de estabilidad por deslizamiento, hundimiento y por volteo (Cunia, 2016, pp. 104-112). Este antecedente nos ayudara como base bibliográfica para entender los criterios hidráulicos a considerar para el diseño hidráulico de la estructura, como también los factores estructurales mencionados anteriormente, por lo que influye en la estabilidad de la estructura proyectas y sus fenómenos originados por diversos componentes.

- **Locales**

Honorio (2020), en su tesis de pregrado de la Universidad Privado Antenor Orrego llamado *“Estudio hidráulico fluvial del río moche tramo puente – Quirihuac – Puente fierro”*, tiene como objetivo de realizar una estructura de protección con fines de mitigar el riesgo de inundación utilizando una modelación hidráulica para verificar que la estructura cumpla sus condiciones de retención al flujo de agua, además aporta detalladamente el estudio hidrológico para obtener los caudales máximos para diseñar estructuras, con la finalidad de incorporar dicha información obtenida a un modelo hidráulico. Cabe mencionar que nos recomienda tener buenos criterios y los fundamentos en claro para realizar una simulación efectiva Honorio, 2020, p. 145). Esta investigación nos ayudará conocer los criterios hidrológicos e hidráulicos para fines de simular el flujo con avenidas máximas, para poder proyectar estructuras contra el riesgo de inundación, mediante modelación matemática.

Benítez y Lázaro (2018), en su tesis de pregrado de la Universidad Privado Antenor Orrego llamado *“Diseño y modelamiento numérico de la bocatoma Poroto, Trujillo, La Libertad”*, tiene como objetivo de realizar el diseño hidráulico y el modelamiento hidrodinámico del río moche, sector Poroto, mediante herramientas computacionales tridimensionales como Flow 3D. Cabe mencionar que nos detalla el procedimiento de cálculo de avenidas máximas, donde se parte de un estudio de geomorfología de la cuenca de estudio en un software de sistema de información geográfica y los criterios a considerar para el diseño hidráulico y requerimientos del modelado tridimensional (Benítez y Lázaro, 2018, p. 23). Esta investigación nos ayudará conocer los criterios hidrológicos e hidráulicos para el diseño de una estructura y la importancia de incorporar un modelo hidráulico para visualizar el comportamiento hidrodinámico del río de estudio con la estructura proyectadas como una bocatoma dentro del cauce.

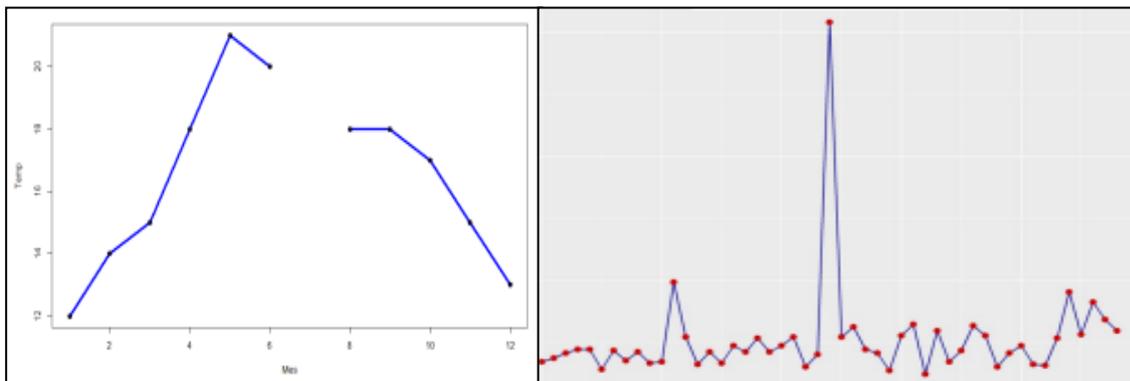
## 2.2. Marco Teórico

### 2.2.1. Estudio hidrológico

**2.2.1.1. Homogenización de las series hidroclimáticas.** La Homogenización consiste en corregir los cambios del comportamiento de la serie debido a factores externos no climatológicos. Donde los problemas principales son la ausencia de datos, valores sospechosos y tendencia sospechosa.

#### Figura 1

*Principales problemas de los registros históricos*



**Nota.** En la figura de la izquierda, se visualiza el problema de ausencia de datos; mientras en la derecha, los valores atípicos que se toman por diversas situaciones naturales y/o artificiales por el humano. Fuente: (Gujarro, 2018)

**2.2.1.2. Análisis de frecuencia.** El principal objetivo de un análisis de frecuencia en series hidrometeorológicas, es la estimación de máximos valores de las variables a estudiar, con diferentes periodos de retorno mediante distribuciones probabilísticas ( Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC], 2011)

**2.2.1.3. Tiempo de retorno.** Se define como el tiempo que transcurre para que un evento exceda o iguale al promedio de los eventos ocurridos históricamente ( Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC], 2011)

En caso de estudios de inundaciones, se le atribuye un periodo de retorno de 100 años como norma para estos tipos de cálculo, por el profesor Gilbert White. Donde citamos lo siguiente, mencionado en su documento "Entrevista con Gilbert F. White" por Martin Reuss (c. 2005)":

También se puede atribuir un periodo de retorno basado en el área de drenaje que tiene nuestra cuenca a estudiar. Ponce (2008), nos recomienda que áreas menores a 250 hectáreas, no llega a justificarse períodos de retorno superiores a 25 años. En cambio, áreas mayores hasta 10 mil, puede llegar a atribuirse periodo de retorno mayores a 100.

**2.2.1.4. Distribuciones probabilísticas.** En la estadística, existen diversas distribuciones probabilísticas, que es muy común en su uso de estudios hidrológicos, la cual son los siguientes.

**Tabla 1**

*Distribuciones probabilísticas para estudios hidrológicos*

<b>Nombre de la distribución</b>	<b>Acrónimo</b>	<b>Referencia</b>
Normal	(N)	(Gauss)
Log-Normal	(LN)	(Hazen, 1914)
Pearson tipo III	(P3)	(Foster, 1924)
Valores extremos tipo I	(EV1)	(Gumbel, 1941)
Valores extremos tipo II	(EV2)	(Gumbel, 1941)
Valores extremos tipo III	(EV3)	(Jenkinson, 1969)
Gamma 3 parámetros	(G3)	(Kristky & Mendel, 1946)
Gamma	(G)	(Moran, 1957)
Log-Pearson tipo III	(LP3)	(U.S.WRC, 1981)
Valores extremos generalizados	(GEV)	(Jenkinson, 1955)

**Nota.** Se describe las diferentes distribuciones probabilísticas con sus respectivas referencias para dar detalle a las ecuaciones de cada distribución. Fuente: (Organización Meteorológica Mundial [OMM, 1989]).

## **2.2.2. Flujo de canales abiertos**

**2.2.2.1. Tipos de flujo.** Según García (1978), Un flujo es permanente, cuando los parámetros hidráulicos (tirantes, velocidad, área, perímetro), se mantiene constante con respecto al tiempo. Este caso que se da en caso los canales; y un flujo es no permanente tiene sus parámetros hidráulicos que varían en el tiempo.

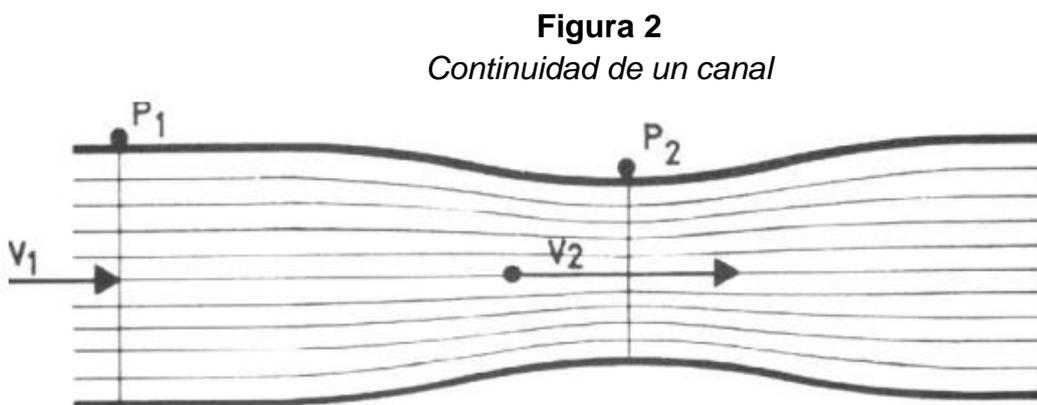
Ahora si hablamos por la parte Espacial, tenemos al flujo Uniforme o No

Uniforme. Por lo que el primer flujo sucede cuando los parámetros hidráulicos ya mencionados, no varían en ningún tramo de sus secciones y mientras él no uniforme no cumple con las condiciones del flujo uniforme.

**2.2.2.2. Ecuación de continuidad.** Cuando el flujo del canal es tipo permanente, donde el caudal es constante y la ecuación cumple ecuación de continuidad. Donde la cantidad de flujo (Q), que atraviesa una determinada el Área (A) con una velocidad (V) respecto al tiempo. Y se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$Q = V \times A$$

Donde la siguiente imagen se observa, que para una presión P1 se tiene un área A1 y una velocidad V1. Para la salida se tiene un P2, A2 y una velocidad V2, como se muestra a continuación.



**Fuente.** Extraído de Torres,2021.

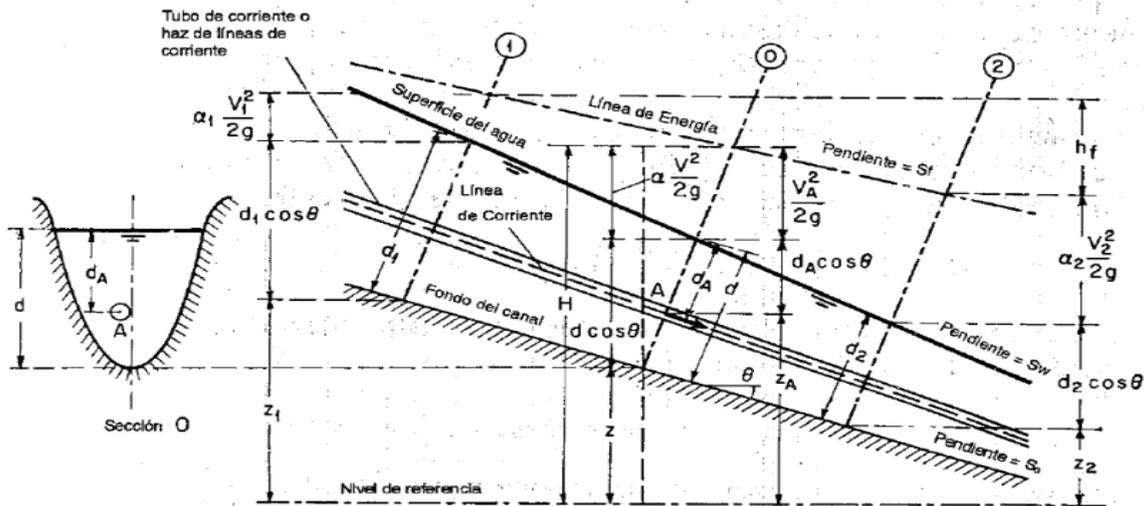
Donde se expresa de la siguiente manera.

$$Q1 = Q2$$

$$V1 \times A1 = V2 \times A2$$

**2.2.2.3. Ecuación de Bernoulli.** Este teorema describe que la línea de corriente es la sumatoria de energía cinética y potencial, y termina siendo constante. Es por ello que la aplicación considera el flujo del canal es permanente y uniforme.

**Figura 3** Energía en canales



**Fuente.** Extraído de Torres,2021.

La altura total en el punto A se encuentra en una línea de corriente del flujo del canal, se define de la siguiente manera.

$$z_1 + Y_1 + \left(\frac{V_1^2}{2g}\right) = z_2 + Y_2 + \left(\frac{V_2^2}{2g}\right)$$

**2.2.2.4. Ecuación de cantidad de movimiento.** Esta ecuación se da en flujos de tipo permanentes, donde se parte de las 2da ley del movimiento, el cual explica que un cuerpo que se encuentra bajo una fuerza constante, se obtendra una aceleración producida inversamente proporcional a la masa y proporcional a la fuerza.

Si hablamos en la aplicación de un canal, se describe que pasa un caudal en la sección, con una velocidad y cantidad de movimiento. Expresándose de la siguiente manera

$$\text{Cantidad Movimiento} = \beta \delta Q V.$$

$\beta$  = coeficiente de Bussinesq. (Adim.)

$\delta$  = densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )  $Q$  =caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$V$  = velocidad media ( $\text{m/s}$ )

Donde analizando las 2 secciones, se tiene lo siguiente.

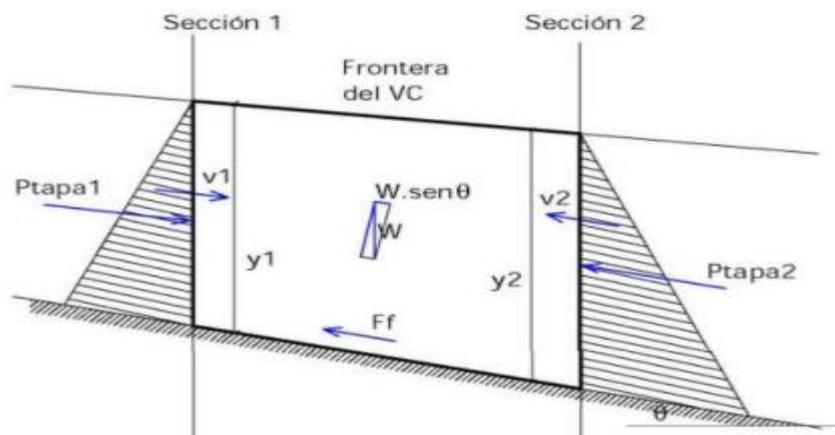
$$\text{Variacion de Cantidad Movimiento} = \delta Q(\beta_2 V_2 - \beta_1 V_1)$$

$$\delta Q(\beta_2 V_2 - \beta_1 V_1) = F_{p_1} - F_{p_2} + W \text{Sen} \alpha - F_f$$

Dónde:

$F_{p_n}$  Fuerza de presión,  $W$  Peso del fluido,  $F_f$  Fuerza externa total de resistencia que se opone al movimiento.

**Figura 4** Cantidad de movimiento



**Fuente.** Extraído de Torres,2021.

### 2.2.3. Bocatoma

Las bocatoma llamadas presas derivadoras o azud, además la finalidad de estas tipas de estructuras es levantar el nivel del tirante de agua de un cauce para derivar una cantidad de caudal del río hacia un canal, Cabe mencionar que son aplicados en proyectos de irrigación, abastecimiento de agua potable, etc.

**2.2.3.1. Tomas rusticas.** Son obras de derivación que construyen los campesinos mediante estacado instalado transversalmente al río (relleno con piedras y material de acarreo del río) y zanjas practicadas en la orilla del río.

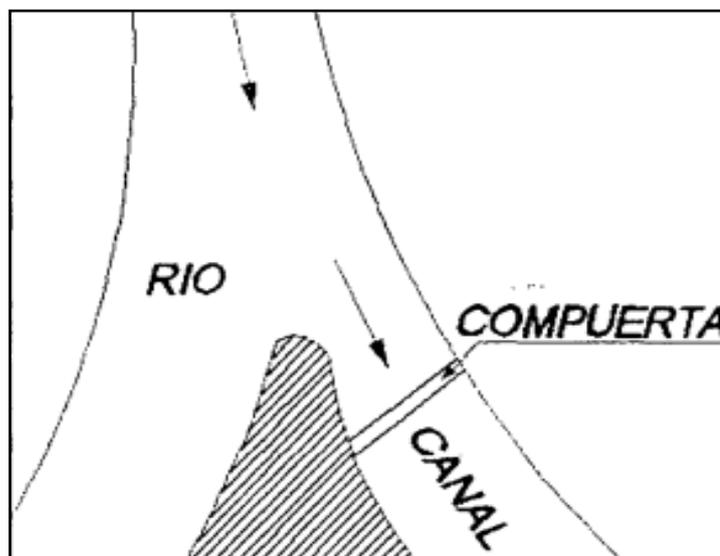
**Figura 5** Toma rustica



*Fuente.* Extraído de Torres,2021.

**2.2.3.2. Bocatoma directa frontal.** Se caracteriza por tener una captación normal a la dirección del flujo, ocasionando erosiones en las paredes en el canal

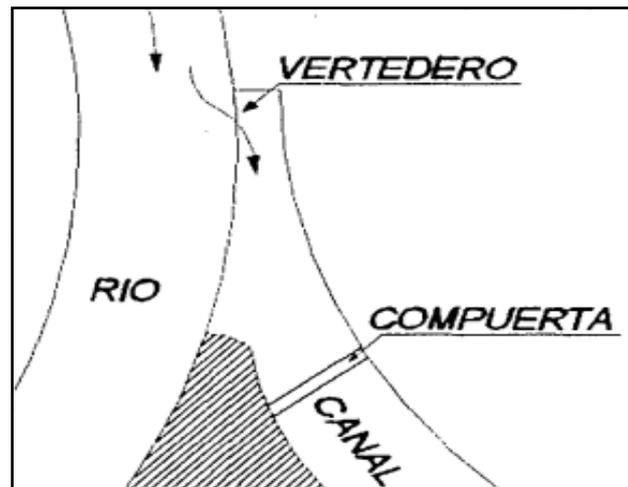
**Figura 6** Bocatoma directa frontal



*Fuente.* Extraído de Torres,2021.

**2.2.3.3. Bocatoma directa lateral.** Se caracteriza por tener una captación en las riberas de los ríos mediante una abertura en la misma y además controla un ingreso de una cantidad de volumen de agua en forma transversal al flujo del río por las compuertas, evitando así los sedimentos que puedan ingresar.

**Figura 7** Bocatoma directa lateral



**Fuente.** Extraído de Torres,2021.

**2.2.3.4 Bocatoma con presa derivadora.** Se caracteriza por lo que su toma que realiza captación mediante cierre del cauce con un azud, que asegura captaciones eficientes de las aguas, debido a la curva de remanso que se produce, y se clasifican en los siguientes.

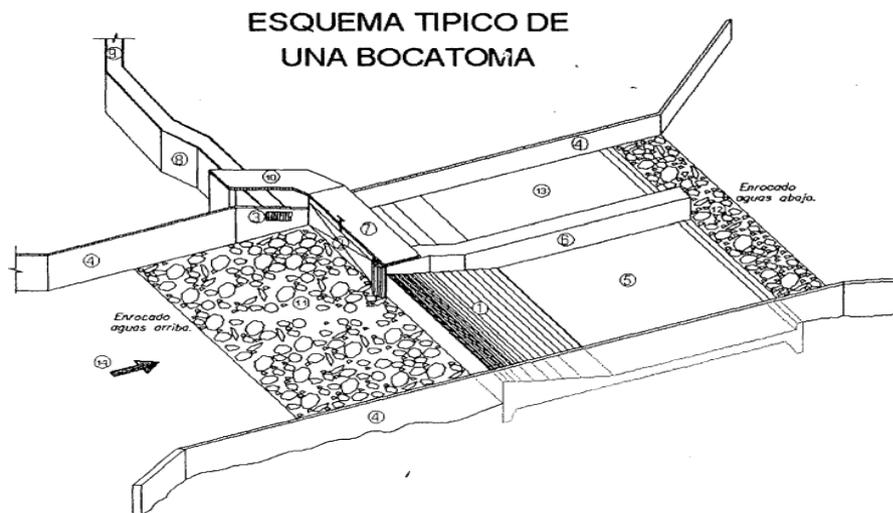
**2.2.3.5. Bocatoma con barraje fijo.** Es un tipo de presa derivadora que dentro de ella está constituido un elemento rígido (Preferible de concreto). Además, se recomienda en ríos de caudales altos y torrenciosos, cuando el volumen derivado es inferior al caudal promedio del río.

**2.2.3.6. Bocatoma con barraje móvil.** Es un tipo de presa derivadora que constituye con unas series de pilares, con la finalidad de soportar compuertas que cierran el curso y elevar el tirante de agua para derivar aguas.

**2.2.3.7. Bocatoma con barraje mixto.** Es un tipo de presa derivadora que constituye con elementos fijos y móvil, en un cauce cerrado. Diversos autores mencionan que estos tipos de estructuras deben ser usadas en rios de la selva y costa, donde sus flujos arrastran gran cantidad de sedimentos, y por lo contrario como el estiaje disminuye su caudal.

**2.2.3.8. Partes de la Bocatoma.**

**Figura 8** Esquema típico de una bocatoma



**Fuente.** Extraído de Torres,2021

- |                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1.- Cimacio o azud         | 8.- Transición.             |
| 2.- Compuerta de limpia.   | 9.- Canal de aducción.      |
| 3.- Ventana de captación.  | 10.- Compuerta de operación |
| 4.- Muro de encauzamiento. | 11.- Enrocado aguas arriba. |
| 5.- Poza amortiguadora.    | 12.- Enrocado aguas abajo.  |
| 6.- Pilar.                 | 13.- Canal de limpia.       |
| 7.- Compuerta de limpia.   | 14.- Cauce natural del río. |

## 2.2.4. Modelo hidráulico

Los modelos tienen el propósito general con una capacidad de resolver problemas de condiciones de flujo, con módulos adicionales que estudia y visualiza diferentes fenómenos como el transporte de sedimentos, dispersión de contaminantes, calidad del agua, etc.

El número de aproximaciones de dimensiones va depender de los propósitos que se quiere realizar para el estudio. Existen modelos unidimensionales (1D), bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D).

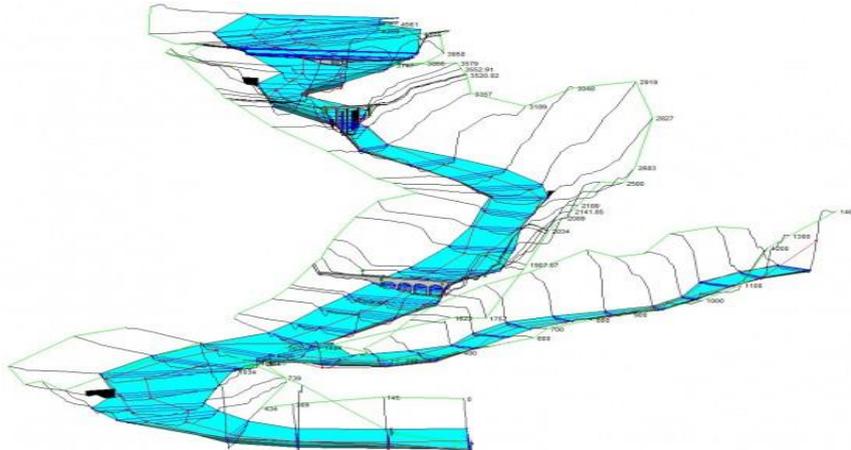
**Figura 9** Aproximación de dimensión 1D – 2D – 3D



**Fuente.** Extraído de Torres,2021

**2.2.4.1. Modelos Unidimensionales.** Esta dimensión se basa que el flujo del agua a lo largo del eje del río o canal, fluye en una sola dirección. Donde en esta dimensión se necesita información topográfica (solamente las curvas de nivel) y la información hidrométrica (caudales de entrada), donde se introduce en las secciones transversales, para después obtener los parámetros hidráulicos como en el tirante, niveles y velocidades promedios para cada sección.

**Figura 10** Modelo Unidimensional

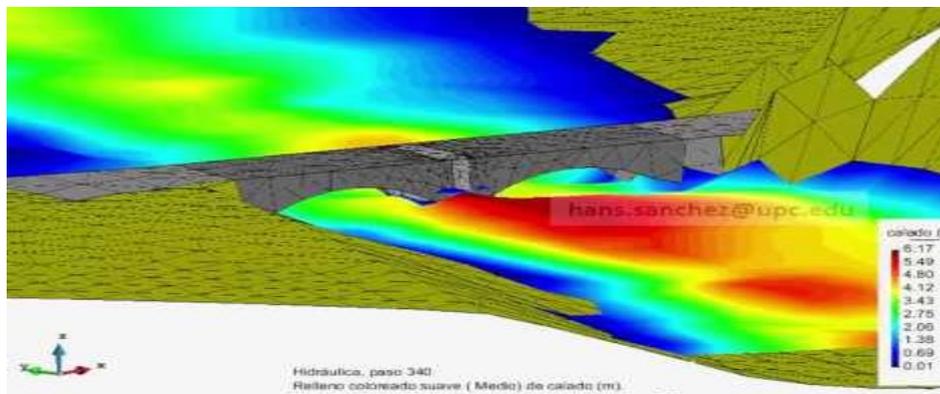


**Fuente.** Extraído de Torres,2021

**2.2.4.2. Modelos Bidimensionales.** Esta dimensión se basa que el flujo del agua a lo largo del eje del río o canal, fluye en dos direcciones. Donde en esta dimensión se necesita información topográfica (un modelo digital de elevación) y la información hidrométrica (caudales de entrada), cabe mencionar que en esta aproximación se puede configurar una malla computacional. Además, se podrá visualizar gráficamente los parámetros hidráulicos como tirantes y velocidades.

Estos modelos son especialmente útiles en flujos muy extendidos (como estuarios, lagos, o embalse tipo lago) donde se da el caso de una variación vertical como una velocidad pequeña, se le conoce como aguas poco profundas. Pero en velocidades apreciables no pueden ser aplicables, sin embargo, se pueden incorporar singularidades dentro de la modelación.

**Figura 11** Modelo Bidimensional

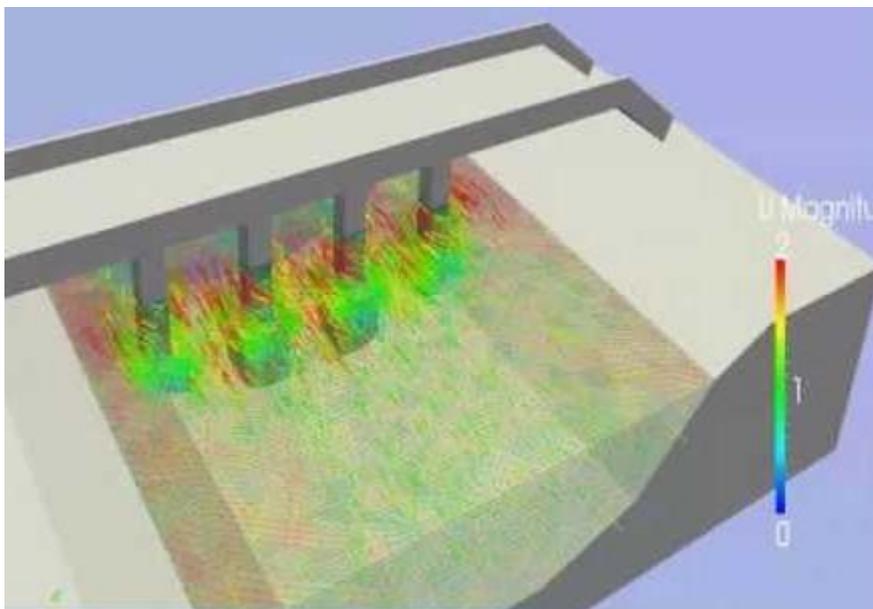


**Fuente.** Extraído de Torres,2021

**2.2.4.3. Modelos tridimensionales.** Esta dimensión se basa que el flujo del agua a lo largo del eje del río o canal, fluye en tres direcciones. Donde en esta dimensión se necesita información topográfica (en forma geométrica tridimensional o isometría) y la información hidrométrica (caudales de entrada).

Al tratarse de un modelo tridimensional, se entiende que se necesitara mayor información comparado con las anteriores aproximaciones, cabe mencionar que requieren de mejores computadoras para realizar diversas iteraciones en las simulaciones.

**Figura 12** Modelo Tridimensional



**Fuente.** Extraído de Torres,2021

## **2.3. Marco conceptual**

### **2.3.1. Contorno de cauce**

Se basa en las condiciones iniciales que caracterizan al cauce del río de estudio, como el tipo de material del lecho y las riberas (Barreto, 2015).

### **2.3.2. Discretización del modelo**

Se basa en la transformación del cuerpo de una naturaleza continua a un modelo numérico discreto (Frias, 2004).

### **2.3.3. Diseño hidráulico**

Se basa en el dimensionamiento de las estructuras sujeta al flujo de agua que se obtienen de las características hidráulicas del río (Montenegro, 2020).

### **2.3.4. Hidrometereológica**

Se basa en los parámetros meteorológicos e hidrométricos que se dan en el proceso del ciclo hidrológico (Montenegro, 2020).

### **2.3.5. Isometría**

Es la representación geometría que se encuentra espacialmente en tres dimensiones (Wikipedia,2021).

### **2.3.6. Mallas computacionales**

Se basa en la división de la geometría del fluido en pequeñas celdas, donde cada celda es solucionada mediante métodos de solución de ecuaciones diferenciales como los volúmenes y elementos finitos (Barreto, 2015).

### **2.3.7. Modelo numérico**

Se basa en la representación teórica de fenómenos naturales, donde se expresa matemáticamente utilizando herramientas computacionales (IGP, 2020).

### **2.3.8. Régimen de Flujo**

Se basa en la combinación de los efectos viscosidad y gravedad, en la cual se relaciona con fuerzas inerciales del flujo mismo (Barreto, 2015)

### **2.3.9. Rugosidad del río**

Se basa en la resistencia del material que impide el paso libre del flujo de agua, en la cual influye características físicas del río (Barreto, 2015).

### **2.3.10. Variación Temporal**

Se basa en la variación del flujo en el tiempo, como lo son el flujo de tipo permanente y no permanente, cabe mencionar que para cada tipo de flujo es diferentes sus condiciones de bordes (Frias, 2004).

## **2.4. Sistema de Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

El diseño de la bocatoma logra obtener una eficiente conducción hidráulica.

### **2.4.2. Variables**

**Variable Independiente:** Diseño de bocatoma

**Variable dependiente:** Comportamiento hidrodinámico

### 2.4.3. Operacionalización de Variables

**Tabla 2** Matriz de Operacionalización de Variable

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADOR
V.I	Se define como el dimensionamiento de las estructuras bajo diferentes criterios de diseño, en la cual es importante su buen diseño para que cumpla su finalidad.	Topografía	Levantamiento topográfico
		Mecánica de suelos	Granulometría por tamizado
		Hidrología	Avenidas máximas
		Hidráulica	Dimensionamiento hidráulico.
V.D	Se define como la simulación del movimiento del fluido de un fenómeno o un escenario futuro.	Información hidrometereológica y de relieve	Caudal de entrada y topografía

**Fuente.** Elaboración propia.

### III. METODOLOGÍA EMPLEADA

#### 3.1. Población.

La población está conformada por los 102 kilómetros del río moche, de la región de La Libertad.

#### 3.2. Muestra.

La muestra está conformada por el tramo del río moche que se encuentra en la localidad de Quirihuac, distrito de Laredo, Provincia Trujillo- La Libertad. Donde se encuentra geográficamente en las siguientes coordenadas.

**Tabla 3**

Ubicación geográfica

BOCATOMA	NORTE	ESTE	COTA
QUIRIHUAC I – Las cocas	9110745	738090	263 msnm.

*Fuente.* Elaboración propia

**Figura 13**  
Localización del área de estudio



*Fuente.* Elaboración propia

### 3.3. Diseño de investigación

Se define esta investigación, como un tipo experimental, basándonos en mediciones proporcionadas por estudios anteriores (Niveles) y la representación del comportamiento del flujo siéndose descargado por la bocatoma, con un modelo numérico que trabaja con diversos parámetros de ingreso (como caudal, Manning, modelo de turbulencia, etc). Estas nos ayudaran a representa un comportamiento dinámico del flujo de agua, por lo que están basados por ecuaciones diferenciales que representan al movimiento como el Navier Stokes.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Por lo que la investigación se caracteriza por tener un enfoque cuantitativo, se debe recolectar cuantitativamente la información necesaria para el desarrollo de la investigación. Se detalla a continuación.

**Tabla 4**

*Técnicas e instrumentos para la recolección de datos*

ESTUDIO	TÉCNICA	INSTRUMENTO	DETALLE
Topográfico	Levantamiento topográfico	Estación Total	Puntos de levantamiento cartográfico.
Hidrológico	Revisión documentaria	Guías de revisión documentaria Excel	Información hidrometereológica (SENAMHI)
Hidráulico	Revisión documentaria	Guías de revisión documentaria Excel y AUTOCAD	Información de los criterios de diseño de la estructura (Manuales y tesis).

Modelo Tridimensional	Modelación	AUTOCAD	Isometría de la bocatoma con sus estructuras, procesada en AUTOCAD
		Software ANSYS	Ingreso de velocidades y tirantes

Fuente: Elaboración propia

Se llevó a cabo la recopilación de datos históricos de caudales máximos y niveles de agua correspondientes a las avenidas ocurridas en el período comprendido entre 1950 y 2019. Estos datos fueron obtenidos de fuentes confiables y registros oficiales por parte de SENAMHI.

Posteriormente, se realizó un análisis exhaustivo de los caudales máximos registrados durante las máximas avenidas. Se determinó el valor máximo alcanzado y se evaluaron las velocidades generadas por este caudal para comprender su impacto en las estructuras existentes.

Con el objetivo de evaluar la adecuación de las diversas distribuciones probabilísticas en los valores máximos anuales obtenidos, se llevó a cabo una prueba de bondad de ajuste. Este análisis estadístico permitió determinar la capacidad del modelo para representar de manera precisa los datos recopilados.

Basándose en los resultados obtenidos y considerando las características específicas del sistema de canalización de agua, se procedió a desarrollar un diseño recomendado para las estructuras de la bocatoma. Se tuvieron en cuenta las dimensiones y características óptimas de los canales principales, el canal de captación, la ventana de captación y la transición entre las secciones del canal de captación y el de conducción. Se utilizaron principios de ingeniería hidráulica y se consideraron estándares y regulaciones aplicables.

Para validar y respaldar el diseño propuesto, se empleó un modelo tridimensional. Mediante la simulación y análisis detallado, se verificó la eficacia del diseño de las estructuras, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de los caudales máximos.

Esta metodología permitió obtener resultados confiables y fundamentados, los cuales fueron utilizados para respaldar el diseño de las estructuras de la bocatoma y garantizar su funcionalidad, seguridad y sostenibilidad en situaciones de máximas avenidas.

**3.4.1. Procesamiento y análisis de datos.** Para el procesamiento de datos se usará el modelo hidráulico tridimensional ANSYS, para visualizar el comportamiento hidráulico de la estructura proyectada como lo es la Bocatoma y sus obras de arte. Se detalla secuencialmente el desarrollo del proyecto.

Como actividad preliminar, se realiza el levantamiento topográfico donde se sitúa el área de estudio.

Primero, se realiza las avenidas máximas utilizando hidrología para obtener el caudal que va ingresar a la estructura bajo un periodo de retorno de 100 años.

Segundo, se realiza el diseño hidráulico de la bocatoma y sus componentes, bajo criterios de diversos autores para el dimensionamiento.

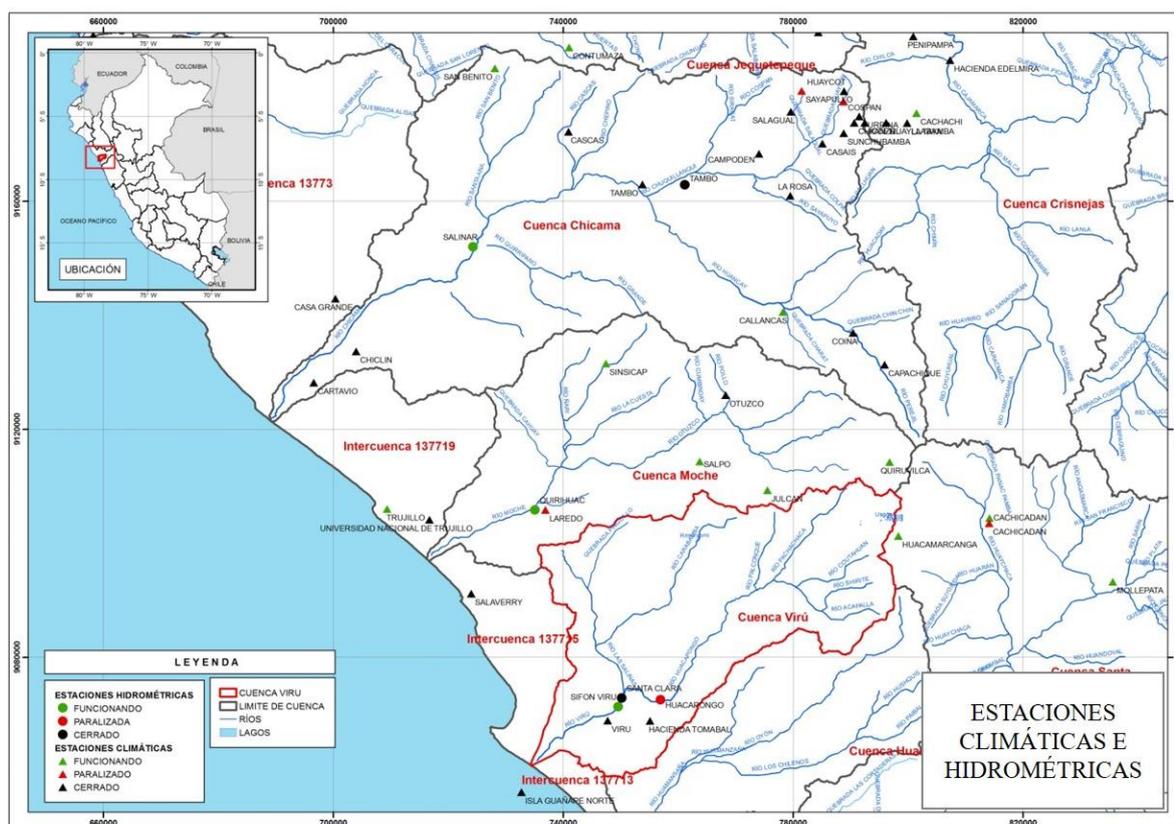
Tercero, se realiza la modelación tridimensional con Ansys, para visualizar el comportamiento del flujo al abrir las compuertas de la bocatoma.

## IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Estudio hidrológico

La Estación Quirihuac es limnimétrica y estuvo ubicada en el lugar denominado Puente de fierro, a una altitud de 196 msnm; instalada en el río Moche, esta estación fue destruida por los eventos del Fenómeno El Niño 1998.

**Figura 14**  
Ubicación de la estación Quirihuac.



Fuente. Elaboración en ArcGIS (2023).

Y teniendo identificada la estación, donde se obtendrá los caudales máximos anuales (Tabla 5), se procede a verificar si existe un valor fuera de los rangos, con una prueba de datos dudoso. En base a la ecuación de Water Resources Council (Consejo de Recursos Hídricos), donde se necesita calcular la desviación estándar, media y coeficientes adimensionales (Tabla 6).

**Tabla 5***Valores máximos anuales*

<b>N</b>	<b>AÑO</b>	<b>ORDEN</b>	<b>P24</b>	<b>log(P24)</b>	<b>AÑO</b>	<b>ORDEN</b>	<b>P24</b>	<b>log(P24)</b>
1	1950	48	56.00	1.748	1985	69	20.80	1.318
2	1951	53	48.26	1.684	1986	39	72.00	1.857
3	1952	15	170.17	2.231	1987	43	64.00	1.806
4	1953	33	94.33	1.975	1988	30	98.53	1.994
5	1954	34	93.26	1.970	1989	61	40.00	1.602
6	1955	22	132.75	2.123	1990	68	22.64	1.355
7	1956	5	212.88	2.328	1991	60	41.50	1.618
8	1957	11	197.93	2.297	1992	64	26.06	1.416
9	1958	37	88.33	1.946	1993	41	66.97	1.826
10	1959	27	117.50	2.070	1994	6	204.80	2.311
11	1960	10	198.63	2.298	1995	66	23.84	1.377
12	1961	57	43.92	1.643	1996	44	64.00	1.806
13	1962	13	180.31	2.256	1997	9	200.00	2.301
14	1963	26	117.57	2.070	1998	1	1000.00	3.000
15	1964	24	119.19	2.076	1999	4	240.36	2.381
16	1965	38	78.40	1.894	2000	40	71.02	1.851
17	1966	47	58.45	1.767	2001	19	150.00	2.176
18	1967	2	336.60	2.527	2002	29	109.46	2.039
19	1968	67	23.42	1.370	2003	59	42.51	1.628
20	1969	35	91.81	1.963	2005	62	39.41	1.5956
21	1970	32	96.10	1.983	2006	63	38.96	1.5906
22	1971	25	117.63	2.071	2007	55	46.60	1.6684
23	1972	21	138.25	2.141	2008	54	47.26	1.6745
24	1973	17	152.96	2.185	2009	51	53.72	1.7301
25	1974	52	50.29	1.701	2010	45	61.01	1.7854
26	1975	14	170.88	2.233	2011	56	43.97	1.6432
27	1976	28	112.85	2.053	2012	46	61.00	1.7853
28	1977	8	201.52	2.304	2013	31	98.49	1.9934
29	1978	65	24.00	1.380	2014	23	125.00	2.0969
30	1979	50	54.88	1.739	2015	42	65.13	1.8138
31	1980	49	56.00	1.748	2016	7	203.33	2.3082
32	1981	16	160.00	2.204	2017	58	43.30	1.6365
33	1982	36	90.00	1.954	2018	12	187.13	2.2721
34	1983	3	280.00	2.447	2019	20	142.90	2.1550
35	1984	18	152.00	2.182				

Fuente. Elaboración propia

**Tabla 6**  
Parámetros estadísticos

DESCRIPCIÓN	VALOR
Numero de datos n	69
Suma $\Sigma$	8132.8
Máximo	<b>1000.0</b>
Mínimo	<b>20.8</b>
Promedio $\bar{x}$	117.9
Desviación estándar s	127.51
Coficiente asimetría Cs	5.08
Cs/6 k	0.847

Fuente. Elaboración propia

Donde se aplicó la prueba de datos dudosos (Water Resources Council), y se debe estimar el valor adimensional de  $K_n$ , donde depende del tamaño de la muestra.

**Tabla 7**  
Valores  $K_n$  para la prueba de datos dudosos

Tamaño muestra	$K_n$	Tamaño muestra	$K_n$	Tamaño muestra	$K_n$
10	2.036	24	2.467	38	2.661
11	2.088	25	2.486	39	2.671
12	2.134	26	2.502	40	2.682
13	2.175	27	2.519	41	2.692
14	2.213	28	2.534	42	2.700
15	2.247	29	2.549	43	2.710
16	2.279	30	2.563	44	2.719
17	2.309	31	2.577	45	2.727
18	2.335	32	2.591	46	2.736
19	2.361	33	2.604	47	2.744
20	2.385	34	2.616	48	2.753
21	2.408	35	2.628	49	2.760
22	2.429	36	2.639	50	2.768
23	2.448	37	2.650	<b>69</b>	<b>2.893</b>

Fuente. U.S. Water Resources Council (1981)

- Se obtiene los umbrales de datos altos ( $X_H$ : Unidades logarítmicas), en base a la ecuación de Water Resources Council planteado en 1981.

$$X_H = \bar{X} + Kn S$$

Donde:

$\bar{X}$ : La media logarítmica

$Kn$ : Factor que depende de la muestra de datos

$S$ : Desviación Estandar logarítmica

$$X_H = 1.94 + 2.893 * 0.32$$

$$X_H = 2.88 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Precipitaciones máximas aceptada

$$PH = 10^{X_H}$$

Donde:

$\overline{XH}$ : Umbral de datos máximos

$$PH = 10^{2.88}$$

$$PH = 752.60 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Se obtiene los umbrales de datos bajos ( $X_L$ : Unidades logarítmicas)

$$X_L = \bar{X} - Kn S$$

Donde:

$\bar{X}$ : La media logarítmica

$Kn$ : Factor que depende de la muestra de datos

$S$ : Desviación Estandar logarítmica

$$X_L = 1.94 - 2.893 * 0.32$$

$$X_L = 1.01$$

- Precipitaciones máximas aceptada

$$PL = 10^{X_L}$$

Donde:

$\overline{XL}$ : Umbral de datos mínimos

$$PL = 10^{1.01}$$

$$PL = 10.20 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde se tiene valores atípicos, teniendo un valor máximo de 1000 m<sup>3</sup>/s, superando el valor máximo de 752.60 m<sup>3</sup>/s, es por ello que se cambiaran los valores al valor máximo permitido (tabla 8) y con ello podemos trabajar con las distribuciones probabilísticas (tabla 9).

**Tabla 8**

Valores máximos anuales modificado

N	AÑO	ORDEN	P24	log(P24)	AÑO	ORDEN	P24	log(P24)
13	1962	13	180.31	2.256	1997	9	200.00	2.301
14	1963	26	117.57	2.070	1998	1	<b>752.60</b>	3.000
15	1964	24	119.19	2.076	1999	4	240.36	2.381

Fuente. Elaboración propia

**Tabla 9**  
Distribuciones probabilísticas

N	T	P(X≤xT)	VALOR OBSERVADO		NORMAL		GUMBEL		LOGNORMAL		PEARSON III		LOGPEARSON III	
			P24	log(P24)	K <sub>T</sub>	ESPERADO								
1	70.00	1.43%	752.60	2.8766	2.1893	397.0	2.8569	482.2	2.1893	445.8	3.7377	594.5	2.3648	507.9
2	35.00	2.86%	336.6	2.5271	1.9022	360.4	2.3108	412.5	1.9022	360.0	2.5699	445.6	2.0213	393.4
3	23.33	4.29%	280.0	2.4472	1.7185	337.0	1.9889	371.5	1.7185	314.0	1.9635	368.2	1.8059	335.1
4	17.50	5.71%	240.4	2.3809	1.5792	319.2	1.7588	342.1	1.5792	283.1	1.5708	318.2	1.6450	297.3
5	14.00	7.14%	212.9	2.3281	1.4652	304.7	1.5789	319.2	1.4652	260.1	1.2891	282.2	1.5147	269.8
6	11.67	8.57%	204.8	2.3113	1.3676	292.3	1.4308	300.3	1.3676	241.9	1.0746	254.9	1.4042	248.5
7	10.00	10.00%	203.3	2.3082	1.2816	281.3	1.3046	284.2	1.2816	226.9	0.9048	233.2	1.3075	231.3
8	8.75	11.43%	201.5	2.3043	1.2040	271.4	1.1943	270.2	1.2040	214.1	0.7666	215.6	1.2211	216.9
9	7.78	12.86%	200.0	2.3010	1.1332	262.4	1.0963	257.7	1.1332	203.1	0.6518	201.0	1.1425	204.6
10	7.00	14.29%	198.6	2.2980	1.0676	254.0	1.0079	246.4	1.0676	193.5	0.5551	188.6	1.0703	193.9
11	6.36	15.71%	197.9	2.2965	1.0063	246.2	0.9272	236.1	1.0063	184.8	0.4725	178.1	1.0032	184.4
12	5.83	17.14%	187.1	2.2721	0.9485	238.8	0.8529	226.6	0.9485	177.1	0.4013	169.0	0.9403	176.0
13	5.38	18.57%	180.3	2.2560	0.8938	231.8	0.7839	217.8	0.8938	170.0	0.3395	161.2	0.8810	168.4
14	5.00	20.00%	170.9	2.2327	0.8416	225.2	0.7195	209.6	0.8416	163.5	0.2855	154.3	0.8247	161.5
15	4.67	21.43%	170.2	2.2309	0.7916	218.8	0.6589	201.9	0.7916	157.6	0.2381	148.2	0.7711	155.2
16	4.38	22.86%	160.0	2.2041	0.7436	212.7	0.6017	194.6	0.7436	152.0	0.1962	142.9	0.7197	149.3
17	4.12	24.29%	153.0	2.1846	0.6971	206.8	0.5475	187.7	0.6971	146.9	0.1593	138.2	0.6703	144.0
18	3.89	25.71%	152.0	2.1818	0.6522	201.0	0.4959	181.1	0.6522	142.0	0.1265	134.0	0.6227	138.9
19	3.68	27.14%	150.0	2.1761	0.6085	195.5	0.4465	174.8	0.6085	137.5	0.0974	130.3	0.5766	134.3
20	3.50	28.57%	142.9	2.1550	0.5659	190.0	0.3992	168.8	0.5659	133.2	0.0715	127.0	0.5318	129.9
21	3.33	30.00%	138.3	2.1407	0.5244	184.7	0.3538	163.0	0.5244	129.1	0.0485	124.1	0.4883	125.7
22	3.18	31.43%	132.8	2.1230	0.4837	179.5	0.3100	157.4	0.4837	125.3	0.0281	121.4	0.4459	121.8
23	3.04	32.86%	125.0	2.0969	0.4439	174.5	0.2676	152.0	0.4439	121.6	0.0099	119.1	0.4044	118.1
24	2.92	34.29%	119.2	2.0762	0.4047	169.5	0.2266	146.8	0.4047	118.1	-0.0062	117.1	0.3639	114.6
25	2.80	35.71%	117.6	2.0705	0.3661	164.5	0.1868	141.7	0.3661	114.8	-0.0205	115.2	0.3240	111.3

26	2.69	37.14%	117.6	2.0703	0.3281	159.7	0.1482	136.8	0.3281	111.6	-0.0332	113.6	0.2849	108.1
27	2.59	38.57%	117.5	2.0700	0.2905	154.9	0.1105	132.0	0.2905	108.5	-0.0443	112.2	0.2464	105.0
28	2.50	40.00%	112.9	2.0525	0.2533	150.2	0.0737	127.3	0.2533	105.6	-0.0541	111.0	0.2085	102.1
29	2.41	41.43%	109.5	2.0393	0.2165	145.5	0.0378	122.7	0.2165	102.7	-0.0626	109.9	0.1710	99.3
30	2.33	42.86%	98.5	1.9936	0.1800	140.8	0.0026	118.2	0.1800	100.0	-0.0700	108.9	0.1340	96.6
31	2.26	44.29%	98.5	1.9934	0.1437	136.2	-0.0319	113.8	0.1437	97.3	-0.0764	108.1	0.0973	94.0
32	2.19	45.71%	96.1	1.9827	0.1076	131.6	-0.0658	109.5	0.1076	94.7	-0.0818	107.4	0.0610	91.5
33	2.12	47.14%	94.3	1.9746	0.0717	127.0	-0.0991	105.2	0.0717	92.2	-0.0864	106.8	0.0249	89.1
34	2.06	48.57%	93.3	1.9697	0.0358	122.4	-0.1319	101.0	0.0358	89.8	-0.0903	106.4	-0.0110	86.7
35	2.00	50.00%	91.8	1.9629	0.0000	117.9	-0.1643	96.9	0.0000	87.4	-0.0934	106.0	-0.0468	84.4
36	1.94	51.43%	90.0	1.9542	-0.0358	113.3	-0.1962	92.8	-0.0358	85.1	-0.0960	105.6	-0.0824	82.2
37	1.89	52.86%	88.3	1.9461	-0.0717	108.7	-0.2278	88.8	-0.0717	82.9	-0.0980	105.4	-0.1179	80.1
38	1.84	54.29%	78.4	1.8943	-0.1076	104.1	-0.2591	84.8	-0.1076	80.7	-0.0995	105.2	-0.1534	78.0
39	1.79	55.71%	72.0	1.8573	-0.1437	99.5	-0.2901	80.9	-0.1437	78.6	-0.1007	105.0	-0.1889	76.0
40	1.75	57.14%	71.0	1.8514	-0.1800	94.9	-0.3208	77.0	-0.1800	76.5	-0.1014	104.9	-0.2245	74.0
41	1.71	58.57%	67.0	1.8259	-0.2165	90.3	-0.3514	73.1	-0.2165	74.4	-0.1019	104.9	-0.2602	72.0
42	1.67	60.00%	65.1	1.8138	-0.2533	85.6	-0.3819	69.2	-0.2533	72.4	-0.1022	104.8	-0.2960	70.1
43	1.63	61.43%	64.0	1.8062	-0.2905	80.8	-0.4122	65.3	-0.2905	70.4	-0.1023	104.8	-0.3321	68.3
44	1.59	62.86%	64.0	1.8062	-0.3281	76.0	-0.4425	61.4	-0.3281	68.5	-0.1023	104.8	-0.3684	66.5
45	1.56	64.29%	61.0	1.7854	-0.3661	71.2	-0.4728	57.6	-0.3661	66.6	-0.1023	104.8	-0.4050	64.7
46	1.52	65.71%	61.0	1.7853	-0.4047	66.3	-0.5031	53.7	-0.4047	64.7	-0.1024	104.8	-0.4420	62.9
47	1.49	67.14%	58.5	1.7668	-0.4439	61.3	-0.5335	49.8	-0.4439	62.8	-0.1026	104.8	-0.4795	61.2
48	1.46	68.57%	56.0	1.7482	-0.4837	56.2	-0.5640	45.9	-0.4837	61.0	-0.1031	104.7	-0.5175	59.5
49	1.43	70.00%	56.0	1.7482	-0.5244	51.0	-0.5948	42.0	-0.5244	59.2	-0.1040	104.6	-0.5561	57.8
50	1.40	71.43%	54.9	1.7394	-0.5659	45.7	-0.6257	38.1	-0.5659	57.4	-0.1053	104.4	-0.5954	56.1
51	1.37	72.86%	53.7	1.7301	-0.6085	40.3	-0.6570	34.1	-0.6085	55.6	-0.1073	104.2	-0.6354	54.5
52	1.35	74.29%	50.3	1.7015	-0.6522	34.7	-0.6887	30.0	-0.6522	53.8	-0.1101	103.8	-0.6764	52.9
53	1.32	75.71%	48.3	1.6836	-0.6971	29.0	-0.7209	26.0	-0.6971	52.0	-0.1138	103.4	-0.7184	51.2
54	1.30	77.14%	47.3	1.6745	-0.7436	23.1	-0.7536	21.8	-0.7436	50.3	-0.1188	102.7	-0.7615	49.6
55	1.27	78.57%	46.6	1.6684	-0.7916	16.9	-0.7869	17.5	-0.7916	48.5	-0.1254	101.9	-0.8060	48.0

56	1.25	80.00%	44.0	1.6432	-0.8416	10.6	-0.8211	13.2	-0.8416	46.7	-0.1338	100.8	-0.8520	46.4
57	1.23	81.43%	43.9	1.6427	-0.8938	3.9	-0.8562	8.7	-0.8938	45.0	-0.1445	99.4	-0.8998	44.8
58	1.21	82.86%	43.3	1.6365	-0.9485	-3.1	-0.8924	4.1	-0.9485	43.2	-0.1581	97.7	-0.9497	43.1
59	1.19	84.29%	42.5	1.6285	-1.0063	-10.4	-0.9300	-0.7	-1.0063	41.3	-0.1753	95.5	-1.0020	41.5
60	1.17	85.71%	41.5	1.6180	-1.0676	-18.3	-0.9691	-5.7	-1.0676	39.5	-0.1972	92.7	-1.0572	39.8
61	1.15	87.14%	40.0	1.6021	-1.1332	-26.6	-1.0102	-10.9	-1.1332	37.6	-0.2249	89.2	-1.1160	38.1
62	1.13	88.57%	39.4	1.5956	-1.2040	-35.7	-1.0538	-16.5	-1.2040	35.7	-0.2605	84.7	-1.1790	36.4
63	1.11	90.00%	39.0	1.5906	-1.2816	-45.5	-1.1003	-22.4	-1.2816	33.7	-0.3066	78.8	-1.2474	34.6
64	1.09	91.43%	26.1	1.4160	-1.3676	-56.5	-1.1509	-28.9	-1.3676	31.6	-0.3674	71.0	-1.3228	32.7
65	1.08	92.86%	24.0	1.3802	-1.4652	-69.0	-1.2067	-36.0	-1.4652	29.4	-0.4497	60.5	-1.4075	30.7
66	1.06	94.29%	23.8	1.3773	-1.5792	-83.5	-1.2700	-44.1	-1.5792	27.0	-0.5655	45.8	-1.5053	28.5
67	1.04	95.71%	23.4	1.3696	-1.7185	-101.3	-1.3446	-53.6	-1.7185	24.3	-0.7388	23.7	-1.6233	26.1
68	1.03	97.14%	22.6	1.3549	-1.9022	-124.7	-1.4390	-65.6	-1.9022	21.2	-1.0271	-13.1	-1.7765	23.3
69	1.01	98.57%	20.8	1.3181	-2.1893	-161.3	-1.5779	-83.3	-2.1893	17.1	-1.6333	-90.4	-2.0101	19.6

Fuente. Elaboración propia

Se utilizaron las funciones recomendadas por el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC 2018

Donde se tuvo que realizar la prueba bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov, para poder estimar cual distribución probabilística se ajusta mejor, donde el Log Normal, se ajusta mejor a los valores máximos anuales desde 1950 - 2019.

**Tabla 10**  
Prueba bondad de ajuste

Descripción			Normal	Log-Normal	Pearson III	Log Pearson III	GEV
n	69	D Max	0.20897	0.054	0.985	0.985	0.210
a	0.05	Dcritico > Dmax	No se ajusta	Si se ajusta	No se ajusta	No se ajusta	No se ajusta
Dcritico	0.16108	Mejor Ajuste	2	1	4	5	3

Fuente. Elaboración propia

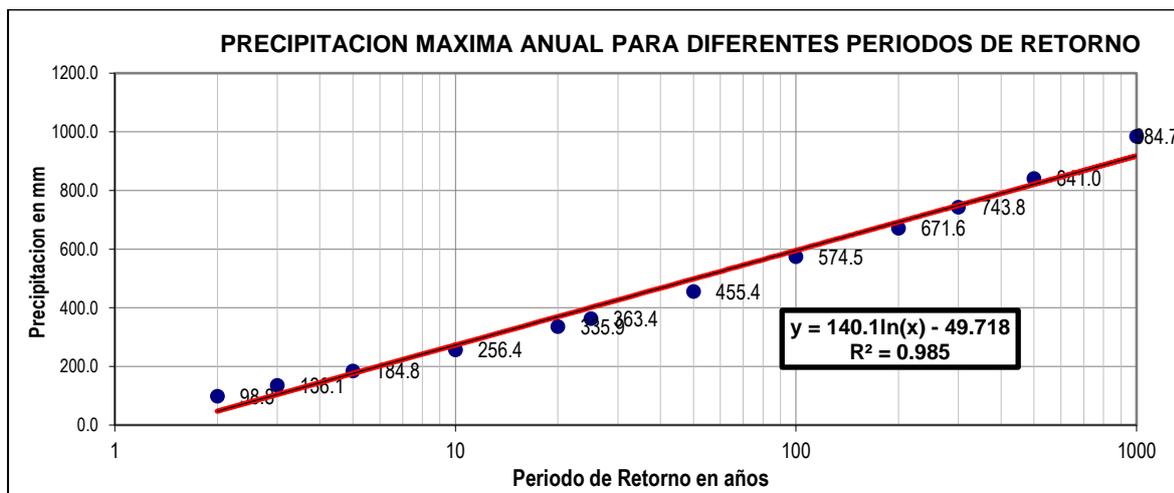
Y ya teniendo la distribución identificada, se procede a estimar los valores máximos para diferentes periodos de retornos, donde el valor máximo se debe corregir multiplicando por 1.13, considerándose como un factor de seguridad como medida de prevención, debido que los equipos se llegan a descalibrar.

T (años)	P( $X \leq x_T$ )	DISTRIB. LOGNORMAL			Q <sub>MAX</sub>	Q <sub>MAX</sub> (corregida)
		K <sub>T</sub>	x <sub>T</sub>	10 <sup>x<sub>T</sub></sup>	mm	mm
2	0.500	0.00	1.9416	87.4	87.4	98.8
3	0.667	0.43	2.0808	120.5	120.5	136.1
5	0.800	0.84	2.2136	163.5	163.5	184.8
10	0.900	1.28	2.3558	226.9	226.9	256.4
20	0.950	1.64	2.4732	297.3	297.3	335.9
25	0.960	1.75	2.5074	321.6	321.6	363.4
50	0.980	2.05	2.6053	403.0	403.0	455.4
100	0.990	2.33	2.6934	493.6	493.6	574.5
200	0.995	2.58	2.7740	594.3	594.3	671.6
300	0.997	2.71	2.8184	658.2	658.2	743.8
500	0.998	2.88	2.8717	744.2	744.2	841.0
1000	0.999	3.09	2.9402	871.4	871.4	984.7

Fuente. Elaboración propia

Y con ello, se puede graficar los valores máximos para diferentes periodos de retorno, teniendo una tendencia lineal (figura 15), donde se tiene una correlación de 0.985.

**Figura 15**  
*Precipitaciones máximas anuales para cada TR*



Fuente. Elaboración propia

Y con ello, se puede desglosar en intervalos de tiempos (Duración), teniendo lo siguiente.

**Tabla 11**  
Caudales máximos para diversos TR, con intervalos de duración

DURACIÓN		PERÍODO DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10.00	25.31	47.35	65.68	86.07	93.12	116.68	147.20	172.06	215.47
0.33	20.00	27.55	51.54	71.49	93.69	101.36	127.00	160.23	187.29	234.54
0.50	30.00	29.53	55.23	76.62	100.41	108.63	136.11	171.72	200.73	251.36
0.67	40.00	31.31	58.56	81.25	106.46	115.19	144.32	182.08	212.84	266.53
0.83	50.00	32.94	61.61	85.47	112.01	121.18	151.84	191.56	223.91	280.40
1.00	60.00	34.45	64.43	89.39	117.13	126.73	158.79	200.33	234.16	293.24
1.50	90.00	38.43	71.88	99.71	130.66	141.37	177.13	223.47	261.21	327.11
2.00	120.00	41.83	78.24	108.54	142.23	153.88	192.80	243.24	284.33	356.06
4.00	240.00	50.00	93.54	129.76	170.04	183.97	230.50	290.81	339.93	425.68
6.00	360.00	58.33	109.12	151.38	198.36	214.61	268.90	339.25	396.55	496.59
7.00	420.00	61.85	115.70	160.51	210.33	227.56	285.12	359.72	420.48	526.55
8.00	480.00	65.07	121.72	168.86	221.28	239.41	299.96	378.44	442.36	553.96
10.00	600.00	70.83	132.49	183.81	240.86	260.59	326.51	411.93	481.51	602.98
11.00	660.00	73.44	137.38	190.59	249.74	270.20	338.55	427.12	499.27	625.22
12.00	720.00	75.91	142.00	196.99	258.14	279.29	349.93	441.48	516.05	646.24
24.00	1440.00	98.79	184.79	256.35	335.92	363.45	455.38	<b>574.52</b>	671.56	840.98

Fuente. Elaboración propia

Posteriormente, se procede a calcular el módulo de riego, para lo cual se usará la estación meteorológica que está ubicada en la parte alta de la cuenca, en el lugar denominado Sinsicap.

**Tabla 12**

Extensión de terreno para cultivo por hectárea

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
476.5	476.5	476.5	476.5	476.5	476.5	476.5	476.5	476.5	476.5	476.5	476.5

Fuente. Elaboración propia

El análisis de la demanda de agua para riego se hará a partir del área de cultivo mostrada en la **Tabla 12**, para lo cual se tendrá en cuenta los siguientes factores:

- **Información Meteorológica** del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía, SENAMHI.

En la Región de La Libertad provincia de Otuzco, se obtuvo de la estación Meteorológica SINSICAP, la cual se encuentra en la parte alta de la cuenca en estudio, a una altitud de 2315 m.s.n.m.

- **Coefficientes de cultivo (KcT).** En el siguiente cuadro se muestran los Kc. Determinados para los cultivos en el área del proyecto

**Tabla 13**

Determinación del coeficiente KcT mensual

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1.05	0.85	1.05	1.05	0.00	0.00	1.05	0.85	1.05	1.05	0.80	0.00

Fuente. Elaboración propia

- **Cálculo del Eto.** Se emplearon los valores medios mensuales de las variables meteorológicas registradas en la estación Sinsicap, cuyos valores promedio mensuales se muestra en los cuadros siguientes:

**Tabla 14**

Determinación del coeficiente Eto mensual

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
90.10	74.70	76.20	65.80	57.90	48.40	48.00	47.30	49.30	58.80	67.30	79.90

Fuente. Elaboración propia

- **Evapotranspiración real de cultivo o uso consuntivo (UC).** Consumo real de agua por los cultivos; varía de acuerdo al estado de desarrollo de las plantas, se expresa en mm. La fórmula empleada para el cálculo de UC es la siguiente:

$$UC = Eto \times KcT$$

**Tabla 15**  
Determinación de Evapotranspiración real

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
94.61	63.50	80.01	69.09	0.00	0.00	50.40	40.21	51.77	61.74	53.84	0.00

Fuente. Elaboración propia

- **Precipitación efectiva (Pe).** Cantidad de agua que aprovecha la planta del total de precipitación de lluvia registrada, para cubrir sus necesidades parcial o totalmente y se expresa en mm.

**Tabla 16**  
Precipitación Total (P)

N°	Estación	Ubicación			Precipitación Mensual (mm)												Precip. Anual (mm)
		Lat.	Long.	Alt	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agosto	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	Laredo	-8.08	-78.85	253	2.9	5.3	7.0	1.4	0.7	0.2	0.0	0.1	0.1	0.8	0.4	1.5	20.5
2	Huamachuco	-7.82	-78.04	3290	120.7	155.1	162.0	99.3	41.2	19.3	10.1	13.2	40.3	103.9	95.6	111.9	972.5
3	Magdalena	-7.25	-78.65	1257	49.9	79.3	99.5	46.0	13.2	2.8	0.8	1.2	8.6	21.5	19.9	35.5	378.2
4	Salpo	-6.93	-79.13	3250	90.5	111.7	136.0	92.0	30.7	10.8	7.6	10.3	27.3	53.5	36.2	49.4	656.1
5	Lives	-7.08	-79.03	1800	75.2	123.5	141.8	57.8	14.5	6.8	2.0	3.8	10.7	27.1	22.5	38.9	524.6
6	San_Benito	-7.43	-78.93	1600	62.6	107.7	141.1	51.6	9.6	2.5	0.7	1.2	3.7	8.6	7.8	18.6	415.7
7	Quiruvica	-8.00	-78.31	3980	152.3	184.2	223.2	183.7	110.4	38.0	13.8	17.4	69.2	110.3	98.3	123.5	1324.2
8	Contumaza	-7.35	-78.82	2160	95.8	178.9	230.6	99.6	20.8	4.5	2.8	4.9	17.6	43.4	34.1	44.9	777.6
9	Cospan	-7.43	-78.38	2445	145.9	196.3	220.8	108.0	32.6	10.3	5.3	6.8	24.3	65.4	60.5	77.9	954.3
10	San_Juan	-7.30	-78.48	2469	133.7	186.0	211.2	104.4	25.3	10.8	3.2	5.2	22.0	61.3	59.4	93.3	915.9
11	Julcan	-8.05	-78.50	3460	128.1	172.4	202.3	111.3	41.7	12.5	7.6	15.6	47.6	91.4	67.8	92.0	990.4
12	Llapa	-6.98	-78.82	2900	118.6	153.5	201.3	116.5	44.1	18.8	9.4	15.5	46.8	89.4	69.2	90.6	973.7
13	Asuncion	-7.32	-78.52	2194	112.8	157.1	197.8	95.4	23.9	6.3	1.1	2.2	17.9	40.4	49.3	69.0	772.9
14	Callancas	-7.77	-78.48	1532	57.8	86.9	96.6	48.3	12.5	3.9	0.9	2.1	8.5	22.7	15.6	34.2	389.9
15	Capachique	-7.85	-78.32	2780	169.5	241.4	290.6	165.6	60.2	25.0	10.9	12.4	47.1	101.4	85.4	120.4	1329.8
16	Cascas	-7.48	-78.82	1700	40.5	70.1	90.2	33.3	7.6	2.7	1.1	1.2	3.4	7.6	6.6	16.4	280.8
17	Hda. Llegaden	-7.27	-78.58	2150	74.1	102.0	109.4	55.5	11.5	5.0	1.0	2.1	10.9	30.8	28.6	48.0	478.8
18	Otuzco	-7.90	-78.57	2660	60.8	82.4	99.8	63.4	16.5	4.9	3.0	6.2	15.5	36.5	22.2	33.8	444.9
19	Sayllapuyo	-7.42	-78.45	3432	191.9	257.0	339.2	226.2	47.9	6.8	0.5	1.7	18.6	48.8	45.9	50.8	1235.4
20	Sinsicap	-7.85	-78.76	2269	60.9	102.2	120.2	46.1	10.6	2.4	0.4	1.6	4.0	16.2	11.8	21.1	397.5
21	Alto_Peru	-9.07	-77.60	75	0.6	0.5	0.2	0.8	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5	1.1	4.4
22	Cachicadan	-8.10	-78.15	2890	134.8	155.5	180.0	108.0	35.4	16.5	8.4	9.5	29.6	72.9	65.0	95.8	911.4
23	Huacamarca	-8.10	-78.29	3953	109.7	146.8	181.5	90.3	32.9	17.4	9.8	12.2	29.2	71.7	61.7	82.3	845.7
24	Cabana	-8.35	-78.00	3160	90.6	129.3	153.8	95.9	46.3	17.2	6.2	5.5	30.4	64.7	50.7	68.1	758.7
25	Viru	-8.42	-78.75	64	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9

Fuente. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía, SENAMHI

**Distribución de la precipitación efectiva:**

VALOR DE PRECIPITACION	PRECIPITACION EFECTIVA
0	0
10	0
20	2
75	$Pe = 0.6 * P - 10$
MAS DE 75	$Pe = 0.8 * P - 25$

Fuente. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación)

**Tabla 17**

Determinación de Precipitación efectiva

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
26.54	56.76	71.16	17.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00

Fuente. Elaboración propia

- **Requerimiento de agua (Req).** Lámina de agua que se debe aplicar a un cultivo para satisfacer sus necesidades. Expresada como la diferencia entre el uso consuntivo y la precipitación efectiva en mm. Y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Req} = \text{UC} - \text{Pe}$$

**Tabla 18**

Determinación de requerimiento de agua

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
68.07	6.73	8.85	51.43	0.00	0.00	50.40	40.21	51.77	61.74	53.84	0.00

Fuente. Elaboración propia

- **Requerimiento volumétrico de agua (Req.Vol).** Volumen de agua que requiere una hectárea de cultivo. Se expresa en m<sup>3</sup>/Ha, y se determina de la siguiente manera:

$$\text{Req.Vol} = \text{Req (mm.)} \times 10$$

**Tabla 19**

Determinación de requerimiento volumétrico de agua

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
680.65	67.35	88.5	514.3	0	0	504	402.05	517.65	617.4	538.4	0

Fuente. Elaboración propia

- **Eficiencia de riego (Ef. Riego).** Es el factor de eficiencia del sistema de riego (eficiencia de conducción) y la aplicación del agua que la infraestructura de riego transporta, indicará el porcentaje de agua que es utilizada y será realmente utilizada por los cultivos-

Eficiencia	Actualidad
En la conducción	50.00 %
En la distribución	64.00 %
En la Aplicación	64.00 %

Eficiencia Total 20.42 %

- **Número de horas de riego (N° horas riego).** Para el presente estudio será de 24 horas.
- **Módulo de riego (MR).** Caudal continuo de agua que requiere una hectárea de cultivo, expresada en lts/seg; su cálculo se efectuara mediante la siguiente formula:

$$MR = \text{Req.Vol} * 1000 / 360 * N^{\circ} \text{ días mes} * N^{\circ} \text{ horas de riego}$$

**Tabla 20**

Determinación de módulo de riego

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2.63	0.26	0.34	1.98	0.00	0.00	1.94	1.55	2.00	2.38	2.08	0.00

Fuente. Elaboración propia

Del cual se obtiene un MR = 1.26 lts/seg

- **Caudal demandado (Qdem).** Definido como el caudal requerido por el sistema, de tal manera que se atienda a todos los cultivos instalados, se expresa en lit/seg. Su cálculo se hará a través de la siguiente expresión:

$$Q_{dem} = \text{Área Total} * MR$$

**Tabla 21**

Determinación de requerimiento bruto mensual lt/seg

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1251.27	123.81	162.69	945.46	0.00	0.00	926.53	739.11	951.62	1135.00	989.77	0.00

Fuente. Elaboración propia

**Tabla 22**

Determinación de requerimiento bruto mensual m3/seg

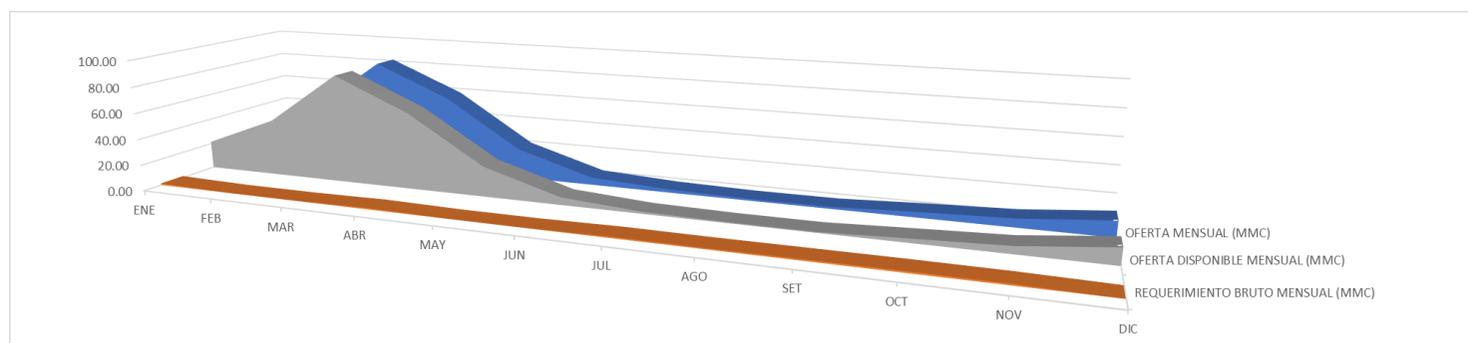
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1.25	0.12	0.16	0.95	0.00	0.00	0.93	0.74	0.95	1.13	0.99	0.00

Fuente. Elaboración propia

El siguiente cuadro muestra los resultados de los cálculos efectuado, teniendo en cuenta los conceptos y formulas descritas en los Ítem anteriores:

**Tabla 23**  
Balance Hídrico

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Área de terreno para cultivo (Ha)	476.50	476.50	476.50	476.50	476.50	476.50	476.50	476.50	476.50	476.50	476.50	476.50
Coef. Cultivo (KcT)	1.05	0.85	1.05	1.05	0.00	0.00	1.05	0.85	1.05	1.05	0.80	0.00
Evapotranspiración Potencial (Eto P) mm/mes	90.10	74.70	76.20	65.80	57.90	48.40	48.00	47.30	49.30	58.80	67.30	79.90
Evapotranspiración Real (Eto R) mm/mes	94.61	63.50	80.01	69.09	0.00	0.00	50.40	40.21	51.77	61.74	53.84	0.00
Precipitación Total (Pt) mm/mes	60.9	102.20	120.20	46.10	10.60	2.40	0.40	1.60	4.00	16.20	11.80	21.10
Precipitación Efectiva (Pe) mm/mes	26.54	56.76	71.16	17.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
Requerimiento neto (Req) mm	68.07	6.73	8.85	51.43	0.00	0.00	50.40	40.21	51.77	61.74	53.84	0.00
Requerimiento neto (Req. Vol) m3/ha	680.65	67.35	88.5	514.3	0	0	504	402.05	517.65	617.4	538.4	0
Eficiencia de riego	20.42	20.42	20.42	20.42	20.42	20.42	20.42	20.42	20.42	20.42	20.42	20.42
Requerimiento Bruto (lt/seg/ha)	2.63	0.26	0.34	1.98	0.00	0.00	1.94	1.55	2.00	2.38	2.08	0.00
Requerimiento Bruto Mensual (lt/seg}}	1251.27	123.81	162.69	945.46	0.00	0.00	926.53	739.11	951.62	1135.00	989.77	0.00
<b>REQUERIMIENTO BRUTO MENSUAL (MMC)</b>	<b>1.25</b>	<b>0.12</b>	<b>0.16</b>	<b>0.95</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.93</b>	<b>0.74</b>	<b>0.95</b>	<b>1.13</b>	<b>0.99</b>	<b>0.00</b>
<b>OFERTA MENSUAL (MMC)</b>	<b>22.74</b>	<b>44.02</b>	<b>84.27</b>	<b>60.19</b>	<b>23.26</b>	<b>5.77</b>	<b>2.52</b>	<b>1.38</b>	<b>1.57</b>	<b>4.30</b>	<b>6.56</b>	<b>12.13</b>
<b>OFERTA DISPONIBLE MENSUAL (MMC)</b>	<b>21.49</b>	<b>43.90</b>	<b>84.11</b>	<b>59.25</b>	<b>23.26</b>	<b>5.77</b>	<b>1.60</b>	<b>0.64</b>	<b>0.62</b>	<b>3.16</b>	<b>5.57</b>	<b>12.13</b>



## 4.2. Estudio hidráulico

Se tiene los datos hidrológicos como el caudal máximo y se obtiene el caudal de diseño, mediante la hidrología.

$$Q_{\text{diseño}} = 574.52 \frac{m^3}{s}$$

Y se empieza a obtener el caudal de derivación, en función al caudal necesario para fines de riego. Donde el área a irrigar según las hectáreas de riego que se necesita, mientras el módulo es según la condición del sembrío. Y el caudal se obtiene con el producto del área de irrigar con el módulo de riego.

**Tabla 24**  
Caudal requerido para el canal principal

Cultivo	Área a Irrigar (Ha)	Módulo de Riego (lt/seg/ha)	Q Necesario (lt/seg)
Varios	476.5	1.26	600.39
<b>TOTAL</b>			<b>0.60 m<sup>3</sup>/s</b>

Fuente. Elaboración propia

Se calcula el coeficiente de escorrentía, en base a la normativa de hidráulica de Tuberías y Canales por parte de Arturo Rocha Felices, donde se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 25**  
Coeficiente de escorrentía

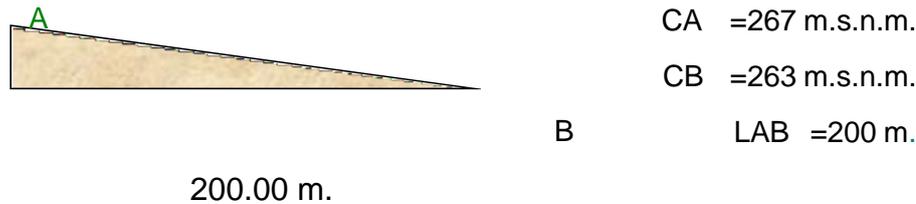
Número	Descripción	Valor
n0	Valor básico para cauce (depende de la rugosidad) (grava fina, grava gruesa, roca, tierra)	0.013
n1	Incremento por el grado de Irregularidad (cauces parejos, moderados, muy irregulares, poco irregulares)	0.005
n2	Incremento por la variación de la sección (graduales, ocasionales, frecuentes)	0.005
n3	Aumento por obstrucción de arrastres, raíces, etc. (efecto apreciable, poco efecto)	0.010
n4	Aumento por Vegetación (poco efecto, efecto medio, mucho efecto, muchísimo efecto)	0.005
n5	Aumento debido a la tortuosidad del cauce:	1.000

Fuente. Hidráulica de Tuberías y Canales - Arturo Rocha Felices

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times 0.33$$

$$n = 0.038$$

Teniendo el coeficiente de número de Manning, se procede a calcular la pendiente del perfil longitudinal de río. Donde detalla un bosquejo con sus diversas cotas y longitudes correspondientes



Para el cálculo de la pendiente, se dará por la diferencia entre la cota más alta con la cota más baja, entre su longitud entre esos puntos.

$$S = (CA - CB) / \text{Longitud AB}$$

$$S = 0.02$$

Para el caso del canal, se considera una geometría trapezoidal (Talud Z=1), y un ancho que se asemeja al ancho del tramo de estudio (80 metros).

**Tabla 26**  
Parámetros del canal

Parámetro	Valor	Unidad
Ancho (B)	80	M
Talud (Z):	1	-
Pendiente (S)	0.02	m/m

Fuente. Elaboración propia

Posterior a ella, mediante la fórmula de Manning propuesta en 1889, se calcula los caudales para diferentes cotas (msnm), para obtener la cota correspondiente que genera tal caudal de diseño y obtener el tirante de diseño del canal principal.

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

*Q*: Caudal en m<sup>3</sup>/s

*A*: Área de la sección del agua

*R<sub>h</sub>*: Radio hidráulico, en función del tirante hidráulico

*S*: Pendiente en m/m

*n*: Coeficiente de Manning

**Tabla 27**

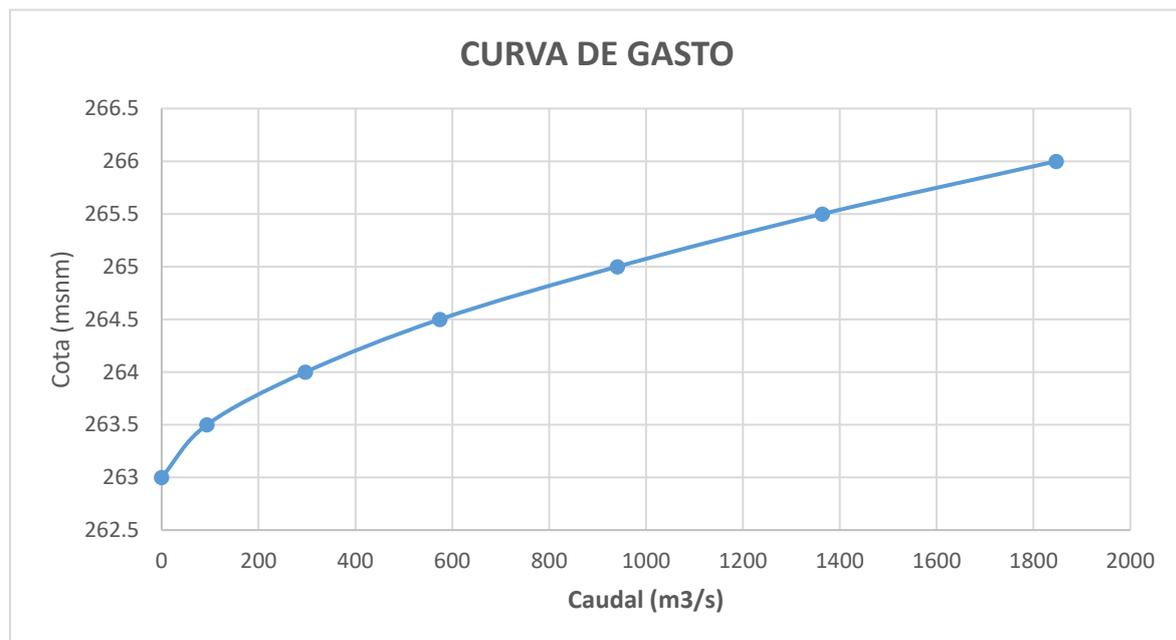
Caudales para diferentes cotas

COTA	Área	P	R.H. <sup>2/3</sup>	1 / n	S <sup>1/2</sup>	Q
263.00	0.00	80.00	0.00	26.31	0.14	0.00
263.50	40.25	81.41	0.62	26.31	0.14	93.65
264.00	81.00	82.82	0.98	26.31	0.14	296.99
<b>264.50</b>	<b>122.25</b>	<b>84.24</b>	<b>1.28</b>	<b>26.31</b>	<b>0.14</b>	<b>574.52</b>
265.00	164.00	85.65	1.54	26.31	0.14	941.08
265.50	206.25	87.07	1.77	26.31	0.14	1363.97
266.00	249.00	88.48	1.99	26.31	0.14	1847.06

Fuente. Elaboración propia

El valor de H para  $Q_d = 574.52 \text{ m}^3/\text{seg}$ , se tiene un nivel de máximos avenidas de 264.50 metros.

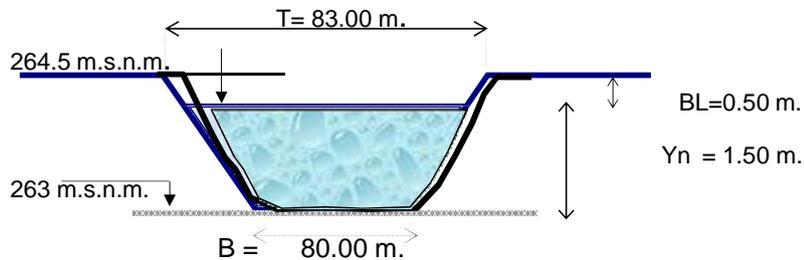
**Figura 16**  
Curva de gasto



Fuente. Elaboración propia

Y con ello se puede dimensionar el canal principal, con un tirante de 1.50 m con un borde libre de 0.50 m.

**Figura 17**  
Dimensiones del canal principal

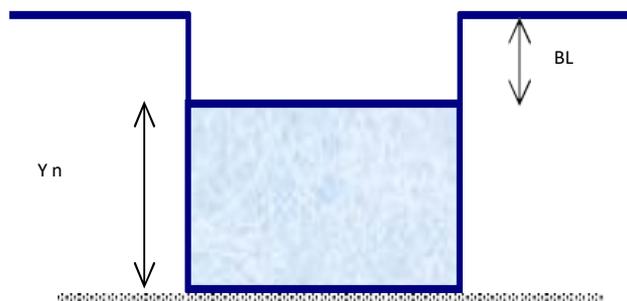


Fuente. Elaboración propia

- **Canal de captación (Margen Izquierda)**

Para el caso del canal de captación, se escoge un caudal de 0.60 m<sup>3</sup>/s, donde se requiere para satisfacer dicha demanda, y se asume un ancho de 1.20 m, para una sección rectangular.

**Figura 18**  
Isometría del canal de captación



Fuente. Elaboración propia

Asumimos un valor de  $b = 1.20 \text{ m}$ .

$$Q = 0.60 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$s = 0.0015 \text{ (Pendiente obtenida del margen izquierdo del río).}$$

$$n = 0.014 \text{ (Revestido de concreto)}$$

$$A = b * Y_n$$

$$P = b + 2Y_n$$

Reemplazando estos valores, tenemos que:

$$Q * n / (s^{0.5}) = A * (R^{2/3}) = [A^{5/3}] / [P^{2/3}]$$

$$[(b \cdot Y_n)^{5/3}] / [(b + 2Y_n)^{2/3}]$$

Iterando, se tiene:  $Y_n = 0.448$  metros.

$Y_n = 0.45$  m, será el tirante a considerar

Reemplaza Área (m<sup>2</sup>) = 0.538

Perímetro (m) = 2.096 metros

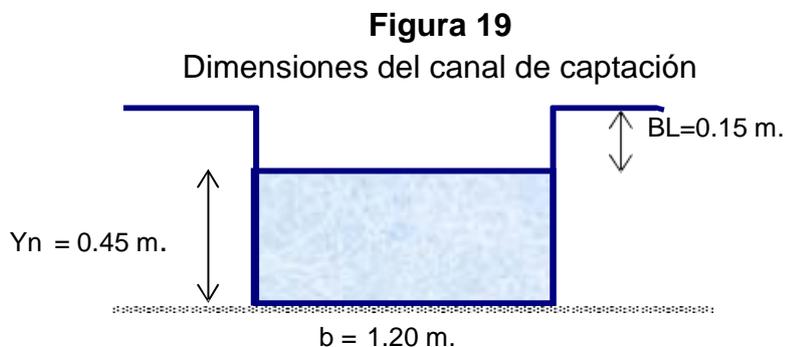
Borde Libre =  $Y_n / 3 = 0.15$  metros (1/3 del tirante)

Radio Hidráulica. (m) = 0.256 metros

Velocidad = 1.12 m/s

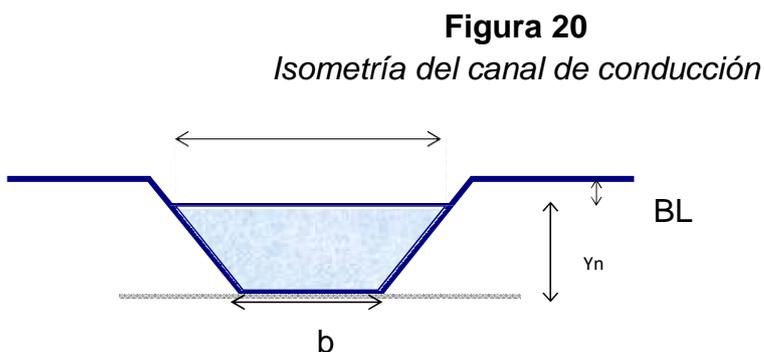
$h_v = 0.064$  m.

Y con ello se puede dimensionar el canal de captación:



Fuente. Elaboración propia

- **Canal de conducción**



Fuente. Elaboración propia

Adoptamos un caudal de 0.60 m<sup>3</sup>/s

$Q = 0.60$  m<sup>3</sup>/s

$b = 0.80$  m (en base al ancho según la topografía)

$Z = 1$  m

$n = 0.014$  (Revestido de concreto)

$s = 0.0015$  (Pendiente promedio de la sección)

Para una sección trapezoidal empleamos la ecuación simplificada de la ecuación principal:

$$0.217 = (A^{5/3}) / (P^{2/3})$$

Iterando tenemos:  $Y = 0.40\text{m}$

Con este dato reemplazamos en las fórmulas y tenemos:

$$\text{Área} = 0.529 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro} = 2.02 \text{ m}$$

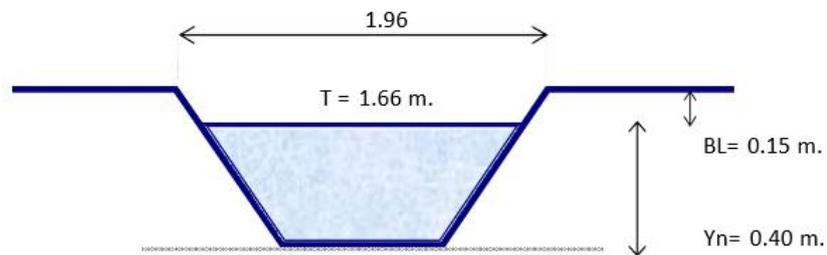
$$\text{Radio H.} = 0.26 \text{ m}$$

$$\text{Espejo} = 1.66 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad} = 0.135 \text{ m/s}$$

$$\text{Borde Libre} = 0.15$$

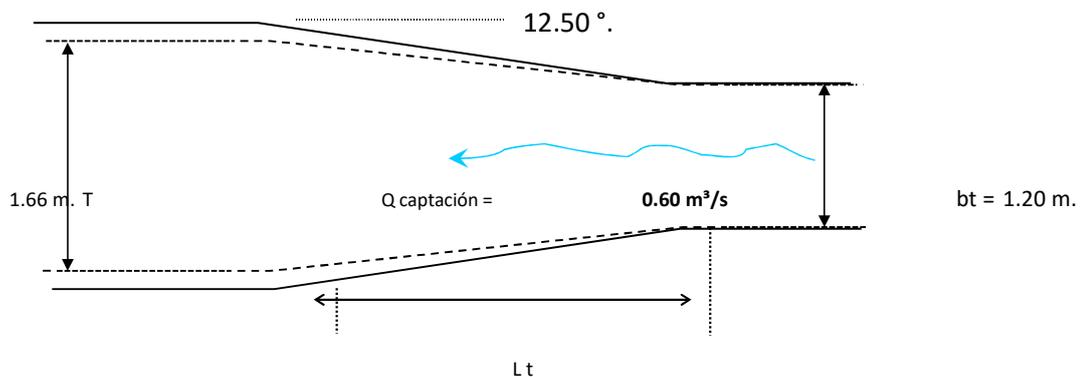
**Figura 21**  
Dimensiones del canal de conducción



Fuente. Elaboración propia

- **Transición que unirá el canal de captación y el canal de conducción:**

**Figura 22**  
Dimensiones de la transición



Fuente. Elaboración propia

Para la estimación de la longitud de transición, se sigue lo siguiente.

Para  $\alpha = 12.50^\circ$ . (ángulo recomendado)

$$L_t = (T - t) / (2 * \operatorname{tg} 12.5^\circ)$$

Donde:

T: 1.66 metros (Espejo de agua del canal de conducción)

t: 1.20 metros (Ancho del canal de captación)

Reemplazando:

$$L_t = 1.05 \text{ metros}$$

- **Ventana de captación**

Se recomienda que tenga velocidades entre:  $0.7 \text{ m/s} < V < 1.0 \text{ m/s}$

Escogemos una Velocidad =  $0.80 \text{ m/s}$  (por criterio)

Con lo cual requerimos un área de:

$$A = Q_{\text{derivación}} / \text{Velocidad}$$

$$A = 0.750 \text{ m}^2$$

Escogemos las dimensiones de las compuertas Tipo Guillotina de la captación:

$$B * H = 30 \text{ pulg} * 24 \text{ pulg.}$$

$$B * H = 0.76 \text{ m} * 0.61 \text{ m, y se tiene al área de las secciones.}$$

$$A_c = 0.465 \text{ m}^2$$

Número de compuertas

$$N_c = A/A_c$$

$$N_c = 1.61 = 2$$

Espesor de pilares =  $0.40$  (estipulado)

Ancho necesario del canal ( $b = 1.95$  metros)

Donde el  $b < b_{\text{asumido}} = 0.80$  (OK)

Caudal que pasa por la compuerta =  $0.60 \text{ m}^3/\text{s}$ .

- **Barraje Mixto**

Cálculo de la elevación del barraje fijo (Elev. B)

$$\text{Elev. B} = \text{CFC} + Y_n + h_v + 0.20$$

CFC = Cota de fondo de la rasante del canal de captación donde:

$$\text{CFC} = \text{CFR} + \text{altura de sedimentos.}$$

$$\text{CFR} = \text{Cota del fondo de rasante} + \text{Altura de Sedimentos} = 0.50$$

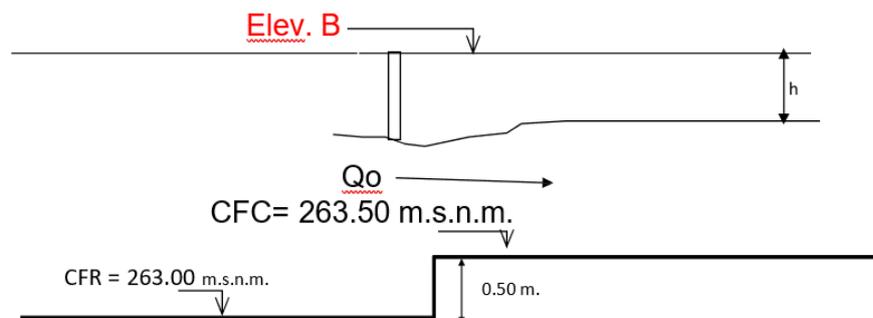
$$Y_n = 0.45$$

Tirante Normal del canal (m)

$$h_v = 0.064$$

Carga para el funcionamiento del orificio = 0.20

**Figura 23**  
Elevación del barraje



Fuente. Elaboración propia

Tenemos en cada compuerta que se da en la siguiente ecuación de orificio, derivada de la ecuación de Bernoulli de 1738:

$$Q_o = C * A * (2 * g * h)^{1/2}$$

$$Q_o = 0.600 \text{ m}^3/\text{s}$$

C = 0.8 (Coeficiente de descarga recomendado para nuestro caso)

$$a * b = 1.189 \text{ m}^2$$

$$g = 9.81 \text{ m}^2/\text{s}$$

Resolviendo tenemos que:  $h = 0.02 \text{ m}$

Se llega a reemplazar:

$$\text{Elevación B} = 263.50 + 0.45 + 0.02 + 0.20$$

$$\text{Elevación B} = 264.17 \text{ metros}$$

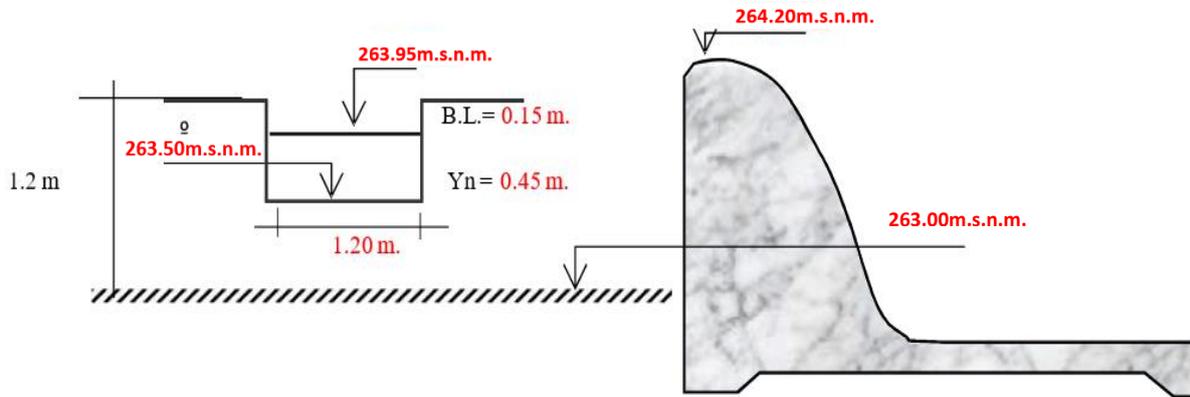
Donde la altura del barraje:

$$P = \text{Elevación B} - \text{CFR}$$

P = 1.20 metros.

Donde se tienen las siguientes dimensiones:

**Figura 24**  
Dimensionamiento del barrage



Fuente. Elaboración propia

- Longitud del barrage fijo y barrage móvil

El área hidráulica del canal de Limpia tiene una relación de 1/10 del área obstruida por el aliviadero, también puede ser de 1 a 2 veces el área de la ventana de captación

Área de la ventana de:  $0.485 \text{ m}^2$

Por lo tanto, "Área de la ventana limpia puede estar entre este rango:

$0.485 \text{ m}^2 \sim 0.970 \text{ m}^2$ :

Numero de compuertas = 1

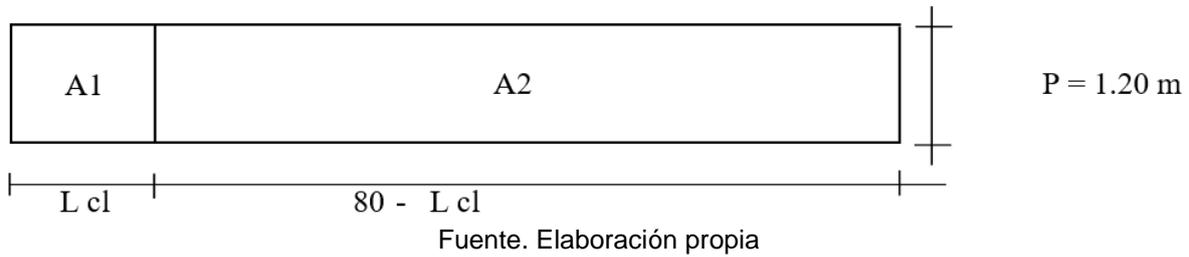
Área de compuertas =  $0.485 \text{ m}^2$

También:  $A_1 = A_2 / 10$

$A_1$  = Área del barrage móvil

$A_2$  = Área del barrage fijo

**Figura 25**  
Isometrías de barrajes fijo y móvil



Donde:

$$A1 = P * L \text{ cl}$$

$$A2 = P * (35 - L \text{ cl})$$

Reemplazando estos valores, tenemos que:

$$P * L \text{ cl} = P * (35 - L \text{ cl}) / 10$$

$$L \text{ cl} = 7.27 \text{ m.}$$

$$L \text{ cl} = 7.27 \text{ m.}$$

$$A1 = 8.73 \text{ m}^2$$

$$A2 = 87.27 \text{ m}^2$$

Área de compuerta = 8.73 m<sup>2</sup> (Área de Limpia - Margen Izquierda)

- **Canal de limpia (margen izquierda)**

Escogemos las dimensiones de las compuertas Tipo Radiales en el Canal de Limpia:

$$B * H = 141 \text{ pulg.} * 55.00 \text{ pulg.}$$

$$B * H = 3.58 \text{ m.} * 1.40 \text{ m.}$$

$$A_c = 5 \text{ m}^2$$

$$N_c = A/A_c$$

$$N_c = 1.744$$

Adoptamos  $N_c = 2$

Adoptamos  $N_c = 2$  (Margen Izquierda)

Espesor de Pilares = 0.70 m.

Ancho necesario en el canal de limpia:

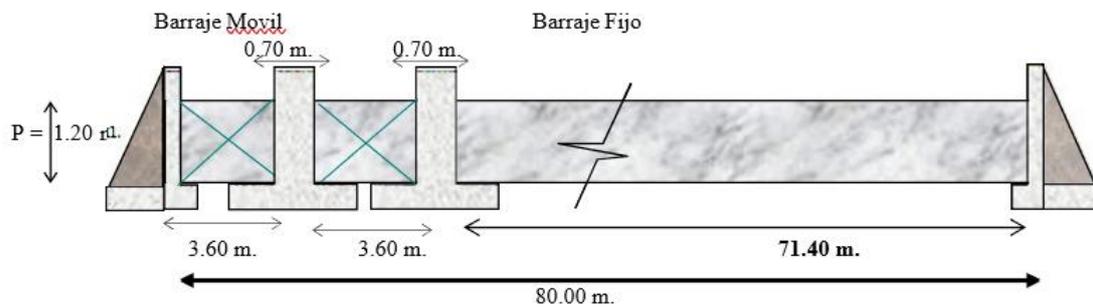
$$b = 8.60 \text{ m.}$$

Asumimos:  $L \text{ cl} = 8.60$  metros.

- **Barraje fijo**

$$35 - L_{cl} = 71.40 \text{ m.}$$

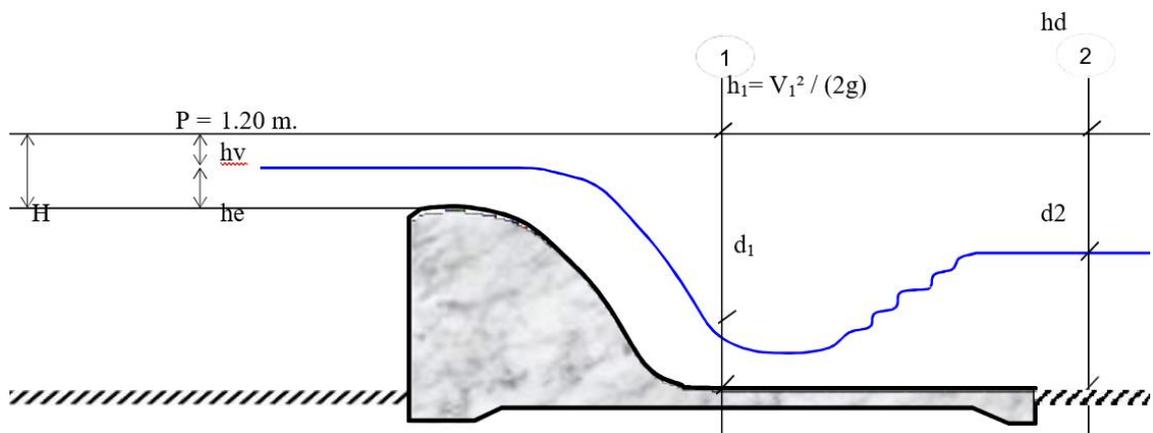
**Figura 26**  
Dimensionamiento de barraje mixto



Fuente. Elaboración propia

- **Cálculo de la carga Hidráulica "Ho"**

**Figura 27**  
Dimensionamiento de barraje fijo



Fuente. Elaboración propia

Para "Ho" se asume un valor, se calcula el coeficiente de descarga "c" y se calcula el caudal para el barraje fijo y móvil  
El caudal calculado debe ser igual al caudal de diseño.

$$Q_{\text{diseño máx.}} = Q_{\text{aliviadero}} + Q_{\text{canal de limpia}}$$

**Descarga sobre la cresta (barraje fijo):**

Se emplea la fórmula de Manning para el flujo de canales abiertos.

$$Q = C \times L \times H^{3/2}$$

$$L = L1 - 2(N \times Kp + Ka) \times H$$

Q al = Descarga del aliviadero

C = coeficiente del vertedero

L = Longitud efectiva de la cresta

H = Carga sobre la cresta incluyendo hv

L1 = Longitud bruta de la cresta = 71.4

N = Numero de pilares que atraviesa el aliviadero = 1

Kp = Coef. de contracción de pilares (triangular) = 0

Ka = Coeficiente de contracción de estribos = 0.1

Para esto se seguirá un proceso iterativo:

**Ho = 1.90**

**Primer tanteo**

L1 = 71.40m

L = 71.40 - 2((1x0) + 0.1) x 1.9

L = **71.02 m**

**Cálculo del coeficiente de descarga variable C para cresta de cimacio de control**

Para el diseño de aliviaderos se emplea la ecuación general del USBR.

$$C = Co \times K1 \times K2 \times K3 \times K4$$

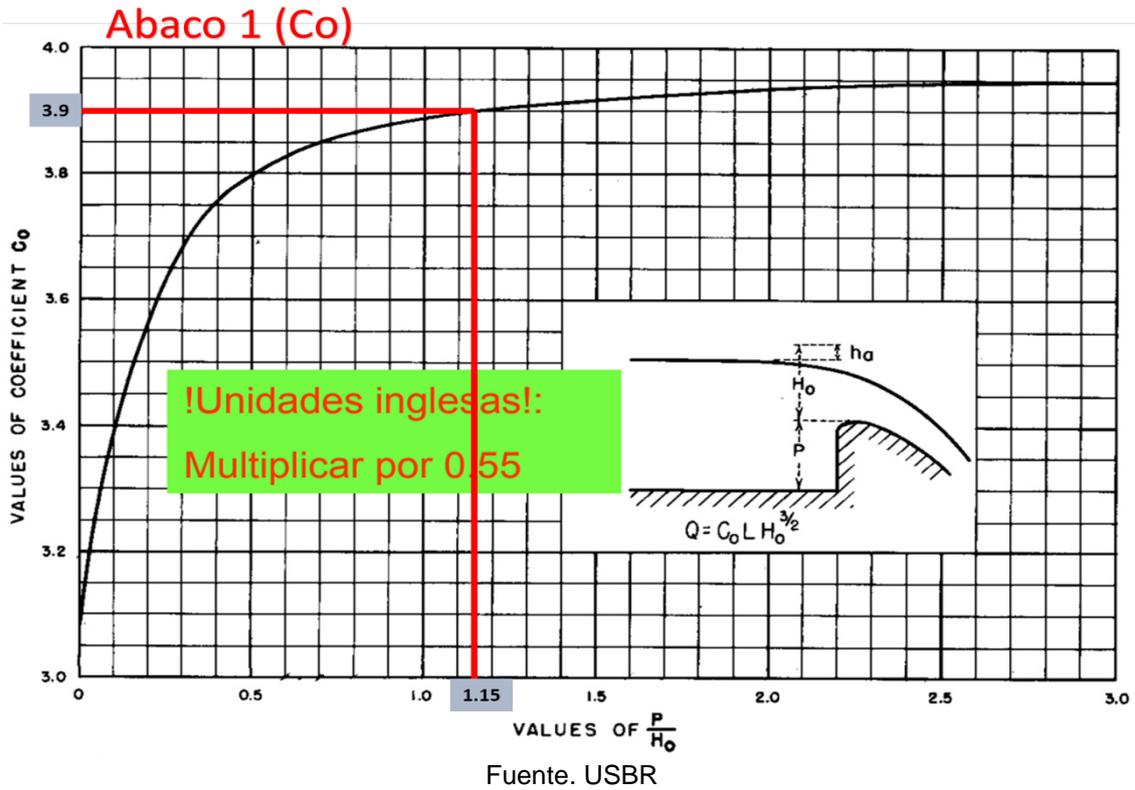
\* Por efecto de la profundidad de llegada (Co)

$$P / Ho = 1.20 / 1.9 = 0.632$$

Convirtiendo a unidades inglesas = 0.632 / 0.55 = 1.15

$$Co = **3.90**$$

**Figura 28**  
 Coeficientes de descarga para la cresta del vertedero

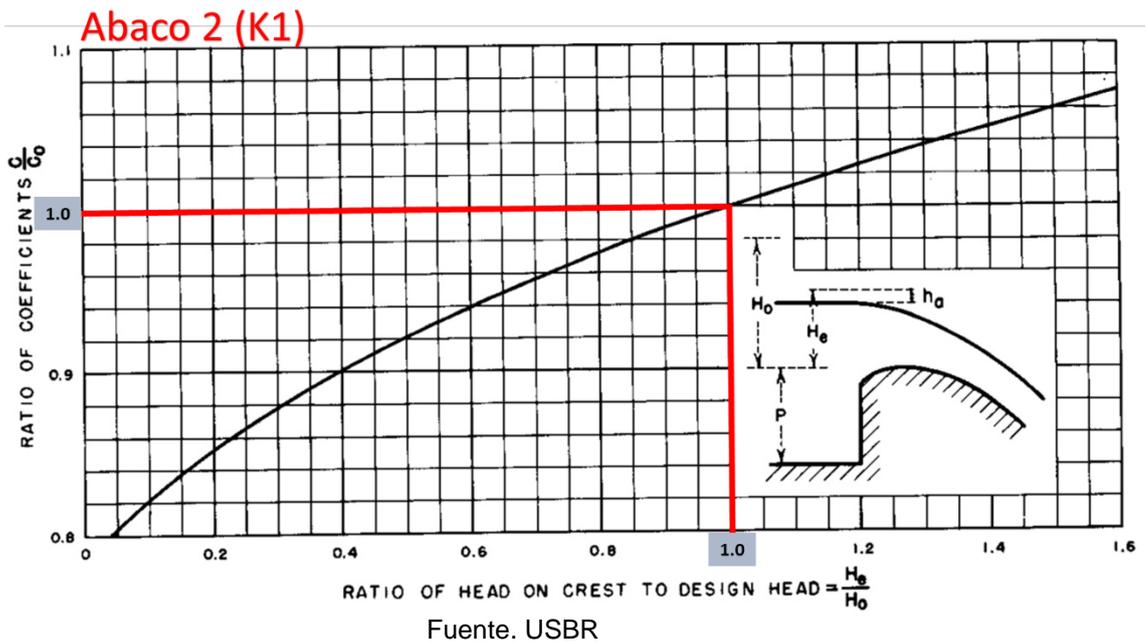


\* Por efecto de las cargas diferentes del proyecto (K1)

$$H_e/H_0 = 1.9/1.9 = 1.00$$

$$K_1 = 1.00$$

**Figura 29**  
 Relación de la carga sobre la cresta a la carga del proyecto



\* Por efectos del paramento aguas arriba (K2) para talud vertical

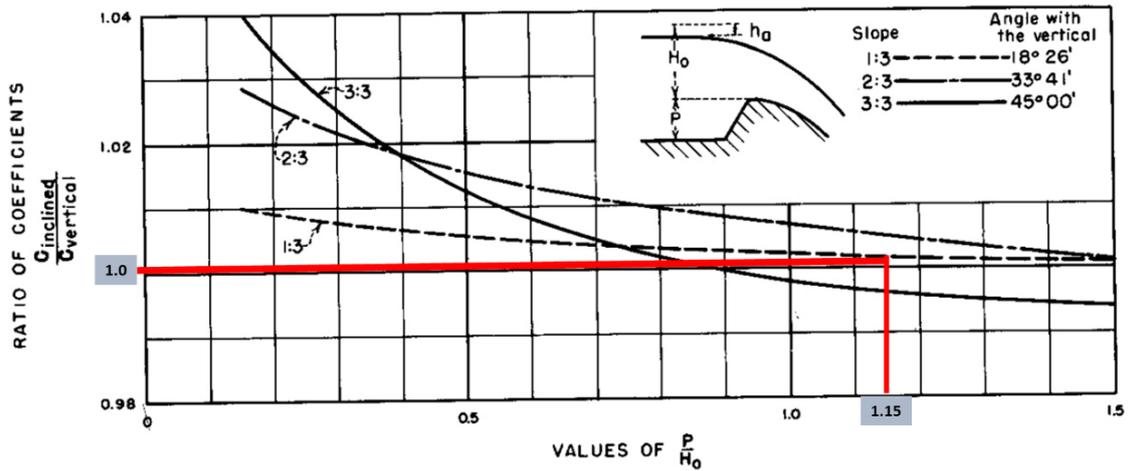
$$P / H_0 = 1.2 / 1.9 = 0.632$$

Convirtiendo a unidades inglesas =  $0.632 / 0.55 = 1.15$

$$K2 = \mathbf{1.00}$$

**Figura 30**  
Valores de  $P/H_0$

**Abaco 3 (K2)**



Fuente. USBR

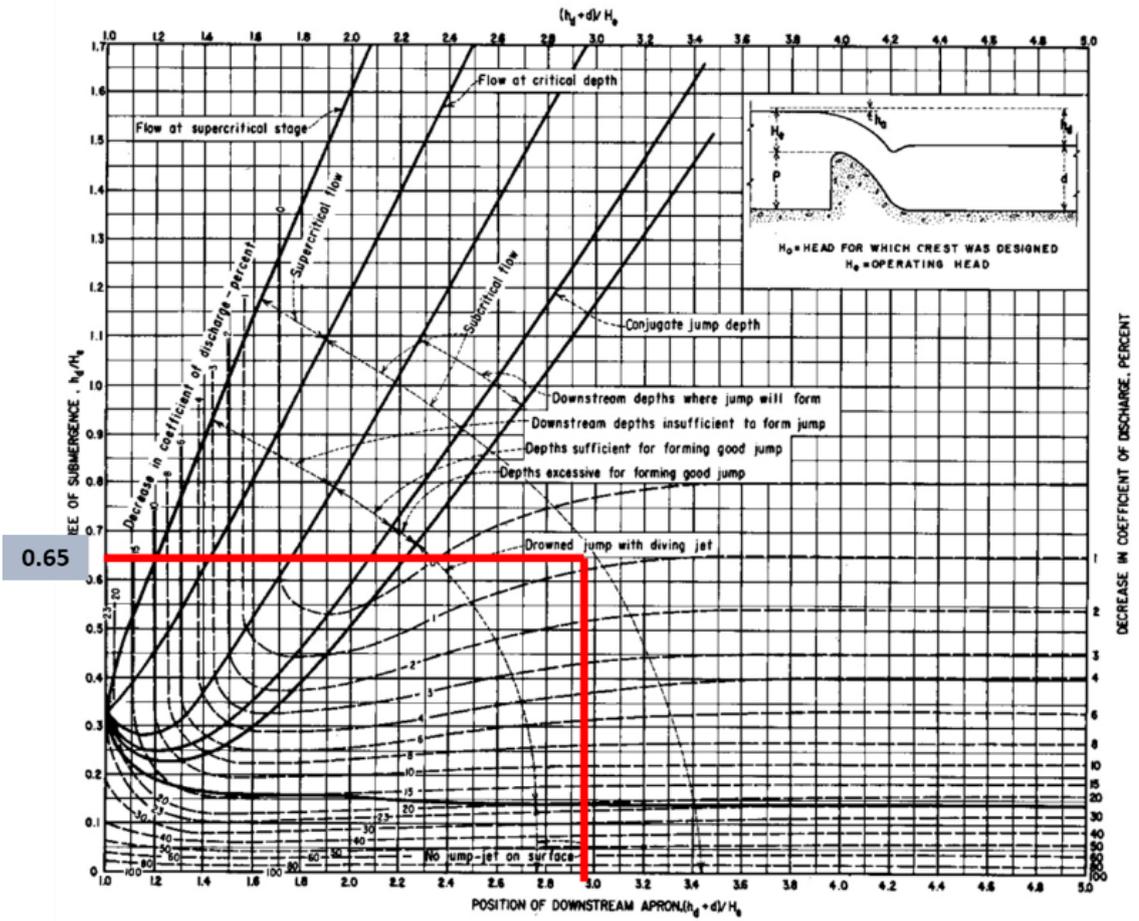
\* Por efectos de interferencia del lavadero de aguas abajo (K3)

$$(H_d + d) / H_0 = (P + H_0) / H_0 = 1.63$$

Convirtiendo a unidades inglesas =  $1.63 / 0.55 = 2.96$

$$K3 = \mathbf{0.65}$$

Figura 31  
 Interferencia del lavadero aguas abajo  
 Abaco 4 (K3)



Fuente: USBR

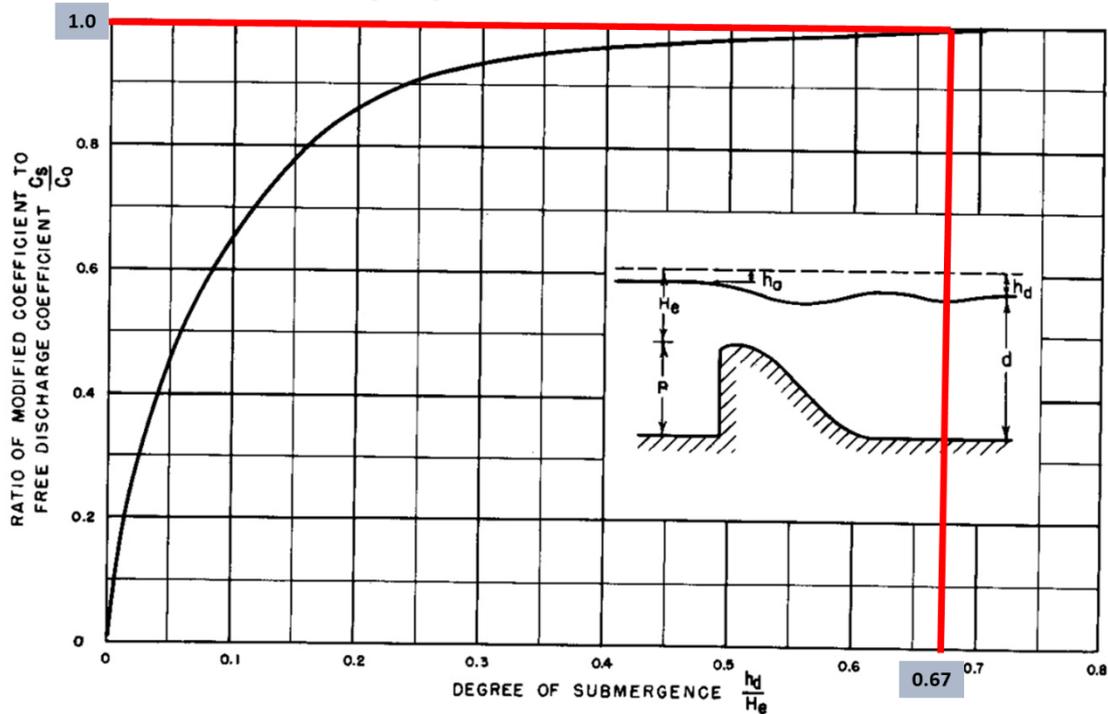
\* Por efectos de sumergencia (K4)

$$H_d / H_o = (2/3) H_o / H_o = 0.67$$

$$K4 = 1.00$$

**Figura 32**  
*Sumergencia*

**Abaco 5 (K4)**



Fuente: USBR

Reemplazando en la Formula  $C = C_o \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4$

$$C = 2.54$$

Reemplazando en la fórmula de "Q" (caudal sobre la cresta de barraje fijo) tenemos que.

$$Q_c = 2.54 \times 71.02 \times 2.619$$

$$Q_c = 471.51 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Descarga en el canal de limpia (barraje móvil)**

Para ello se continua iterando, en el cual se asumirá un valor h y se emplea la fórmula de Manning para el flujo de canales abiertos.

$$Q = C \times L \times h_i^{3/2}$$

$$L = L_1 - 2(N \times K_p + K_a)$$

L = Longitud efectiva de la cresta

L1 = Longitud bruta del canal = 8.60m

N = Numero de pilares que atraviesa el aliviadero = 2

Kp = Coef. de contracción de pilares (triangular) = 0.00

Ka = Coeficiente de contracción de estribos = 0.10

Considerando compuerta como vertedero:

$$P = 1.20 \text{ m.} \quad H = 1.90 \text{ m.}$$

entonces:  $h_i = P + H = 3.10 \text{ m.}$

Cálculo de "C":

Trabaja solo como orificio, solo se considera pérdidas por arrastre:

$$C = 2.40$$

Reemplazando en la fórmula de Q, tenemos que:

$$Q_{cl} = 104.53 \text{ m}^3/\text{s}$$

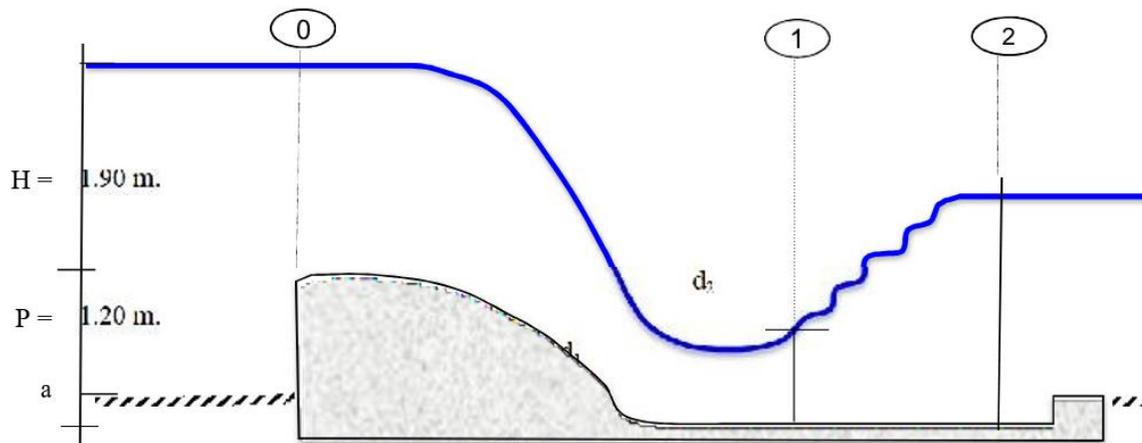
Descarga máxima total "Qt"  $Q_t = Q_c + Q_{cl}$

Reemplazando los caudales calculados, tenemos:

$$Q_t = 576.04 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_o = 1.90 \text{ m}$$

**Figura 33**  
*Dimensiones de Qt y Ho*



Fuente. Elaboración propia

Se aplica la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2.

$$V = Q_{al} / (B * (H + P))$$

Velocidad de llegada:

$$Q_c = 471.51 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 2.13 \text{ m/s}$$

$$B = 71.40 \text{ m.}$$

$$H = 1.90 \text{ m.}$$

$$P = 1.20 \text{ m.}$$

En (0) tenemos que:

$$Y_c = (Q^2 / (B^2 * g))^{1/3}$$

$$Y_c = 1.64 \text{ m.}$$

$$V_c = (Y_c * g)^{1/2}$$

$$V_c = 4.02 \text{ m/s}$$

Carga de Velocidad:

$$h_{vc} = 0.82 \text{ m.}$$

$$P + y_c + h_{vc} + a = d_1 + h_{v1}$$

$$Q_{al} = 471.508 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B = 71.40 \text{ m.}$$

$$h_1 = V_1^2 / (2g)$$

$$V_1 = Q_{al} / (d_1 * B)$$

Reemplazando el valor de  $V_1$  en  $h_1$  y luego en la formula:

Asumiendo:  $a = 1.02 \text{ m.}$

Se tiene:  $P + y_c + h_{vc} + a = d_1 + [(Q_{al}^2 / (d_1 * B))^2 / 2g]$

Iterando:  $4.69 \text{ m.} = 2.74 \text{ m.}$

$$d_1 = 1.200 \text{ m.}$$

$$v_1 = 5.50 \text{ m/s}$$

$$F = v_1 / (g * d_1)^{1/2}$$

$$F = 1.604$$

**Numero de Froud**  $2.5 < F < 4.5$

Según el número de Froud es un resalto inestable

Calculando el tirante conjugado tenemos que:

$$d_2 = -d_1 / 2 + \sqrt{(d_1^2 / 4 + 2 * V_1^2 * d_1 / g)}^{1/2}$$

$$d_2 = 2.19 \text{ m.}$$

**Longitud de la Poza para el resalto:**

Con un número de  $F = 1.604$

$$L / d_2 = 5$$

$$L = 10.94 \text{ m.}$$

Según Lindquist:

$$L_p = 5 * (d_2 - d_1) = 4.94 \text{ m.}$$

Según Safranez :

$$L_p = 6 * d_1 * V_1 / (g * d_1)^{0.5}$$

$$L_p = 11.55 \text{ m.}$$

Adoptaremos una  $L_p = 12.00 \text{ m.}$



$$X_c / H_o = 0.180$$

$$X_c = 0.34 \text{ m.}$$

$$Y_c / H_o = 0.060$$

$$Y_c = 0.11 \text{ m.}$$

$$R_1 / H_o = 0.500$$

$$R_1 = 0.95 \text{ m.}$$

$$R_2 / H_o = 0.280$$

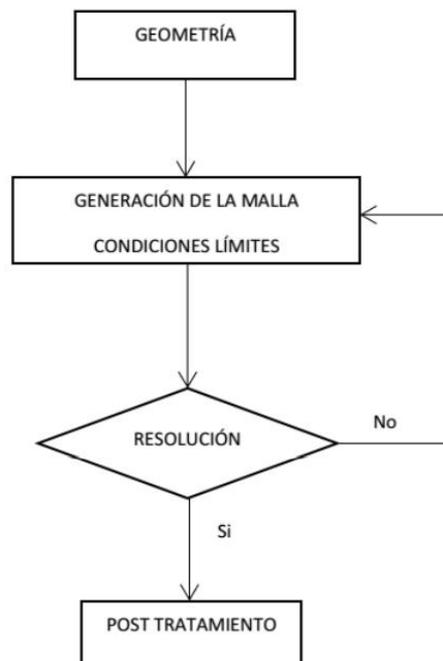
$$R_2 = 0.53 \text{ m.}$$

### 4.3. Modelo tridimensional

El análisis de cualquier proceso a través de técnicas CFD se compone de 4 fases distintas. Primero, se define la geometría del modelo. Luego, se genera la malla y se establecen las condiciones límites para el modelo. Después, se calibra el SOLVER de cálculo para que sea capaz de resolver el problema. Por último, se realiza el post procesamiento, que implica el procesamiento de los datos numéricos obtenidos en el análisis.

**Figura 35**

Esquema de las fases de un proceso por CFD

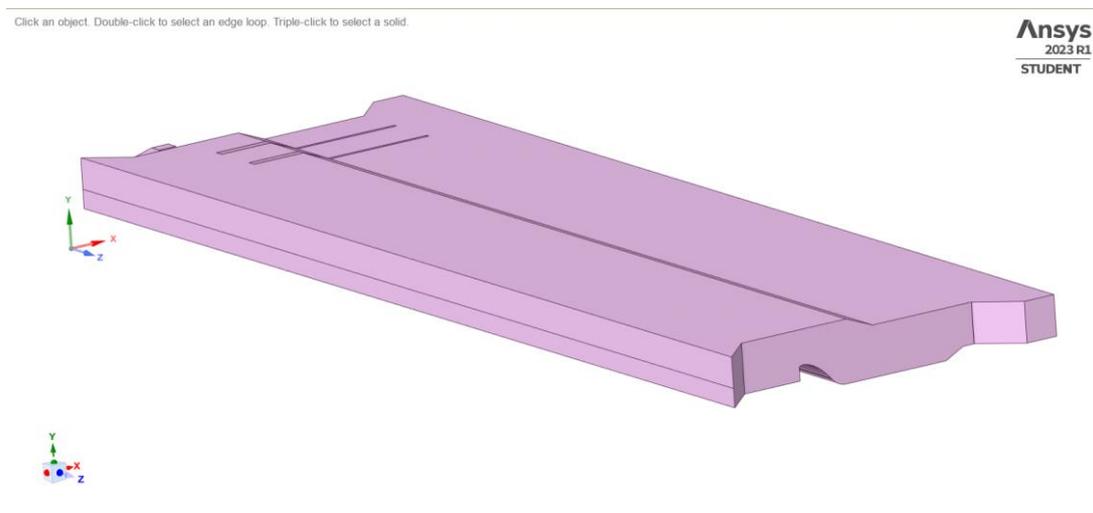


Fuente. Elaboración propia.

- **Definición de Geometría y Dominio**

La creación de la geometría para este caso de estudio se realizó mediante el software AutoCAD 3D - 2022, en base de los planos suministrados. Luego de realizar la geometría se procederá a crear el volumen de fluido en base al sólido creado en 3D. Luego, en el apartado de Space Claim de Workbench 2023, se realizará un corte en la entrada, indicando la altura o cota de nivel de agua. Para este caso la cota es de 264.5 m por lo que la altura en la entrada será de 1.5 m.

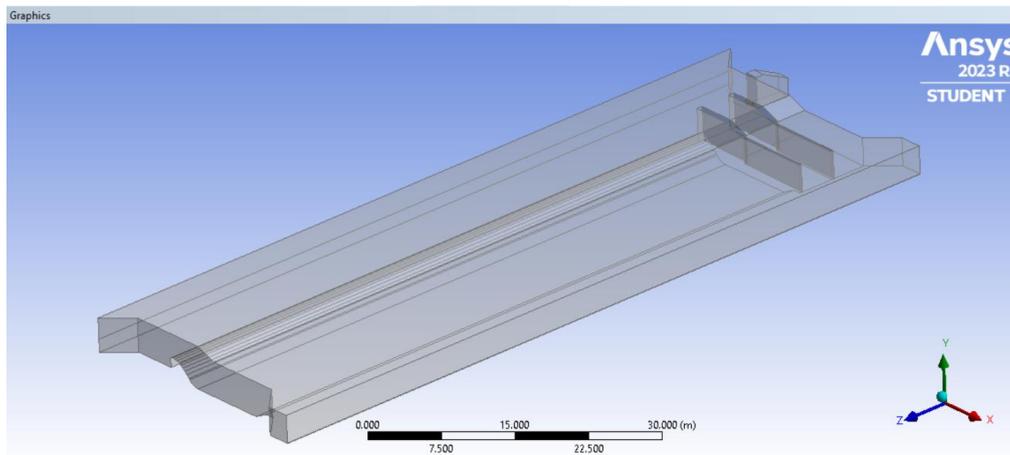
**Figura 36**  
Volumen de Fluido de Dominio en SPACE CLAIM



Fuente. Elaboración propia

En el apartado de DESIGN MODELER, colocamos las unidades de trabajo (metros) y corroboramos las medidas antes de cargar los resultados, para este estudio la altura máxima de volumen de fluido a incluir es de 4 m, misma medida que la altura máxima en las paredes descritas en los planos de la bocatoma.

**Figura 37**  
Volumen de Fluido de Dominio en DESIGN MODELER



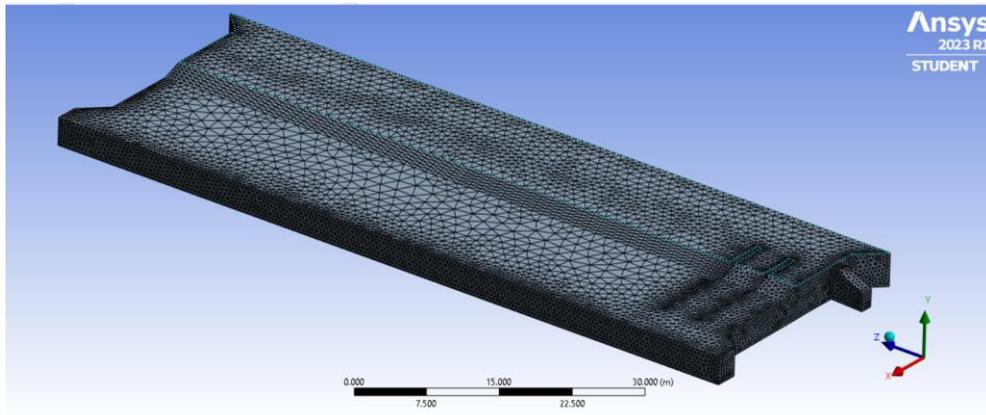
Fuente. Elaboración propia

Luego se procede a cargar la geometría en el apartado de Mesh para realizar el mallado.

- **Mallado del Dominio**

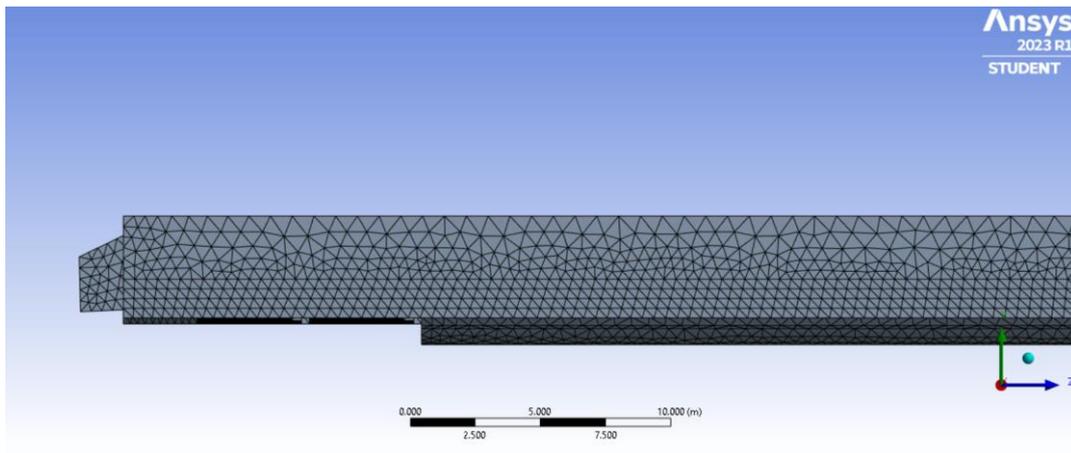
La versión académica de ANSYS 2023 tiene restricciones en cuanto al número de elementos permitidos en un modelo. La malla es fundamental para obtener soluciones precisas y estables en los estudios de CFD, ya que los algoritmos están diseñados para buscar soluciones eficientes en elementos finitos. La elección de la forma y el número de elementos en la malla es importante. En casos de geometrías complejas, existen restricciones en la elección de la malla. Es recomendable usar una malla regular para geometrías irregulares y combinar diferentes tipos de mallas. Para obtener resultados de alto rango, se necesita una malla adecuada, lo que puede llevar horas de estudio y experimentación. Por ende, para este caso; se utilizó un mallado híbrido (tetraédrico y rectangular), el cual por misma recomendación del sistema era el más optadle para la geometría cargada. Se hicieron refinamientos en la entrada, paredes y piso; ya que estas partes de la estructura son de mayor relevancia para la interacción de fluido-estructura; y así mismo se utilizó una relajación elementos en la entrada utilizando un mallado rectangular, para que en el modelamiento los vectores de velocidad del flujo, no tengan ningún inconveniente.

**Figura 38**  
Mallado del dominio



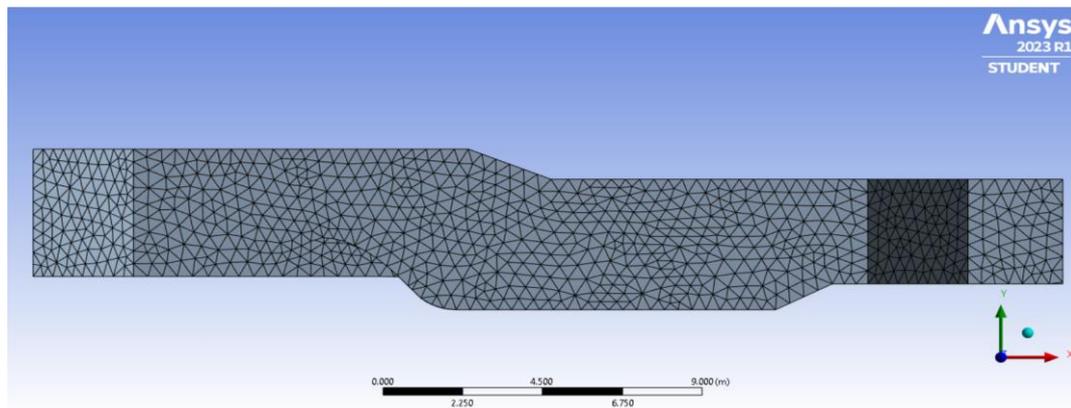
Fuente. Elaboración propia.

**Figura 39**  
Mallado en la entrada del dominio.



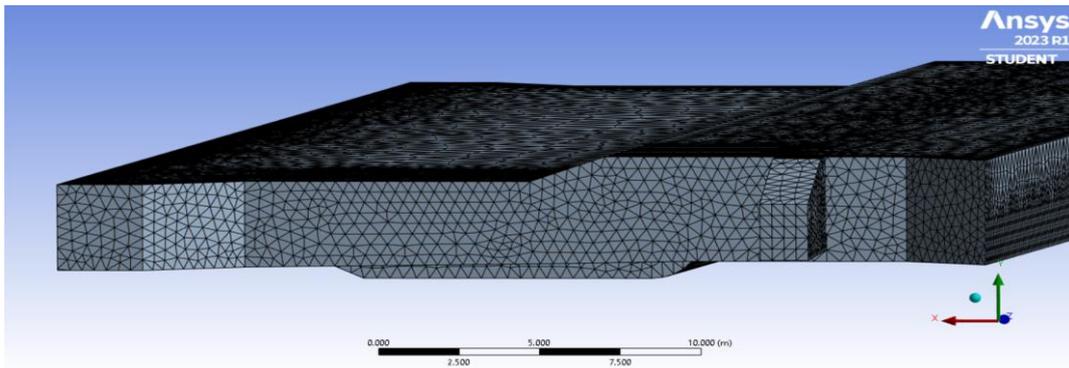
Fuente. Elaboración propia

**Figura 40**  
Mallado en paredes del dominio (barraje fijo).



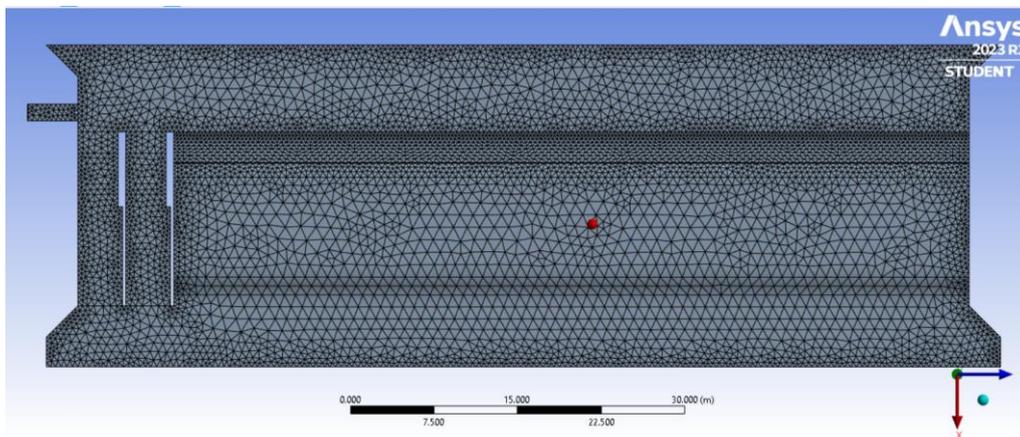
Fuente. Elaboración propia

**Figura 41**  
Mallado en paredes del dominio (barraje móvil y canal).



Fuente. Elaboración propia

**Figura 42**  
Mallado en el piso del dominio.



Fuente. Elaboración propia

Conforme se realiza y se prueba distintos mallados para la estructura, se debe corroborar la calidad de la malla. Para este caso se utilizó el criterio de oblicuidad, que según el espectro de calidad de métricas (ANSYS.Inc ,2011), el mallado es aceptable entre los valores de 0.80 – 0.94 para una oblicuidad o SKEWNESS, lo cual la superación de estos valores indicaría un mal mallado.

**Figura 43**  
Calidad del mallado.

Quality Criterion	Warning (Target) Limit	Error (Failure) Limit	Worst
Min Element Quality	Default (0.05)	Default (5e-04)	0.123
Max Aspect Ratio	Default (5)	Default (1000)	14.294
Min Orthogonal Quality	Default (0.05)	Default (5e-03)	0.112
<b>Max Skewness</b>	<b>Default (0.9)</b>	Default (0.999)	0.888
Min Tet Collapse	Default (0.1)	Default (1e-03)	0.103

Fuente. Elaboración propia

Seguidamente, se nombran los límites del dominio, los cuales serán utilizados para imponer condiciones de contorno en FLUENT. Para nombrar las caras de la geometría individualmente, se debe seleccionar cada superficie y asignarle un nombre. Se recomienda nombrar la superficie de entrada, salida y techo como Inlet, Outlet y Symmetry respectivamente, ya que el programa asignará automáticamente una condición predefinida. Las superficies no seleccionadas se declararán automáticamente como paredes. Este paso es importante para asegurar la precisión y estabilidad en los cálculos.

- **Configuración numérica**

Terminado el proceso de mallado, se procede a hacer la selección de los modelos. Esto se hará mediante el apartado de SETUP, en el cual en opciones se escoge una doble precisión y el número de núcleos a trabajar.

En la pestaña “General”, debe seleccionar si el modelo va a ser basado en la solución de la presión o de la densidad. Por facilidad de cálculo se escoge basado en la presión, además este es el único que tiene compatibilidad con el modelo VOF. Según la geometría y las condiciones de importación, se decide en que eje se va a definir la aceleración gravitacional. El estado de la simulación es estacionario.

**Figura 44**  
General

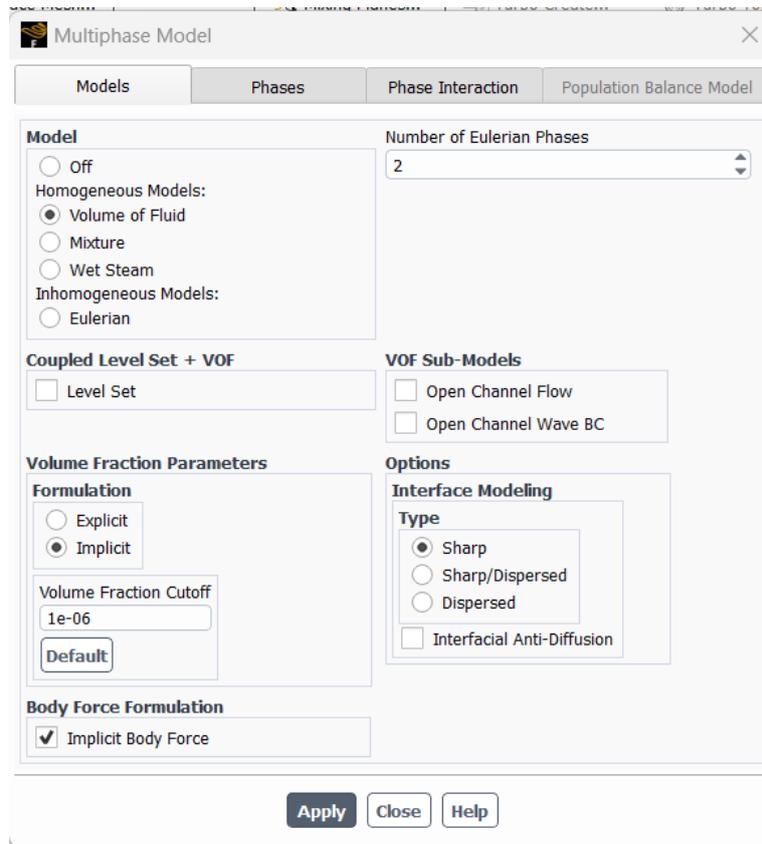
The image shows a software interface for the 'General' settings. It includes a 'Mesh' section with buttons for 'Scale...', 'Check', 'Report Quality', 'Display...', and 'Units...'. The 'Solver' section has two sub-sections: 'Type' with radio buttons for 'Pressure-Based' (selected) and 'Density-Based'; and 'Velocity Formulation' with radio buttons for 'Absolute' (selected) and 'Relative'. The 'Time' section has radio buttons for 'Steady' and 'Transient' (selected). There is a checked 'Gravity' checkbox. The 'Gravitational Acceleration' section has three input fields: X [m/s<sup>2</sup>] with value 0, Y [m/s<sup>2</sup>] with value -9.81, and Z [m/s<sup>2</sup>] with value 0. A help icon is in the top right corner.

Fuente. Elaboración propia

En la pestaña “Models” es donde se define el tipo de modelo. Como este trabajo hace énfasis en flujo bifásico, se selecciona la opción multifase.

En donde se define el modelo VOF “Volume of Fluids” debido a que los otros modelos tienen aplicaciones más enfocadas para simulación de transporte de sedimentos. Una vez seleccionado el modelo VOF. Se elige el esquema implícito para garantizar que la simulación sea transitoria, y se activa la casilla “Implicit Body Force” debido a que mejora la solución de la convergencia gracias a que representa el equilibrio parcial del gradiente de presión y las fuerzas del cuerpo en la ecuación de Momentum, por lo que se obtiene una mejor solución.

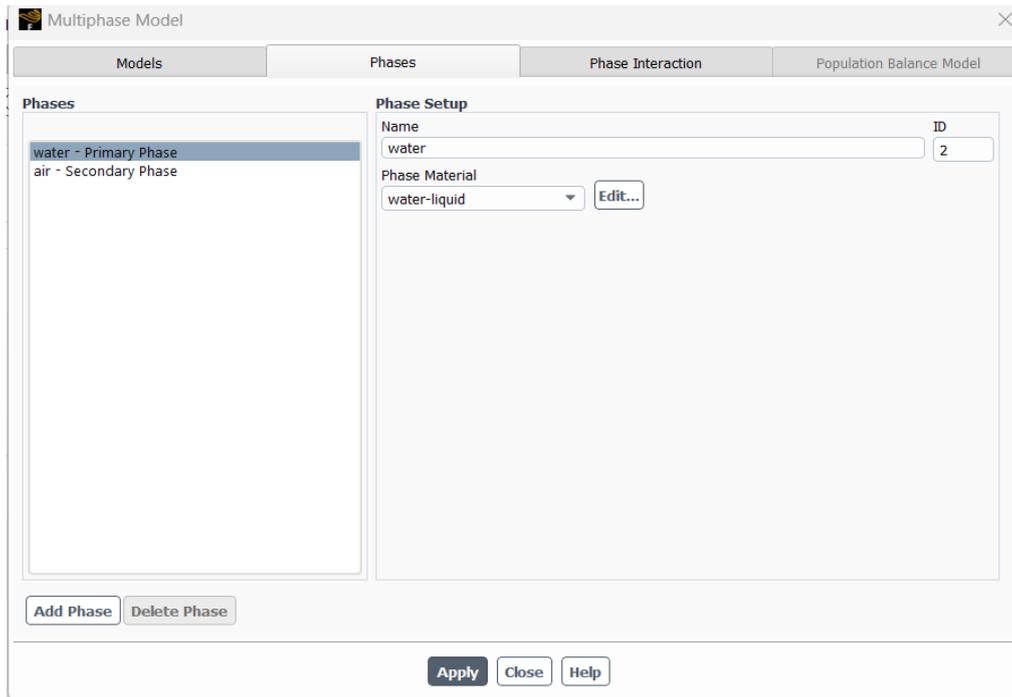
**Figura 45**  
Modelo Multifase



Fuente. Elaboración propia

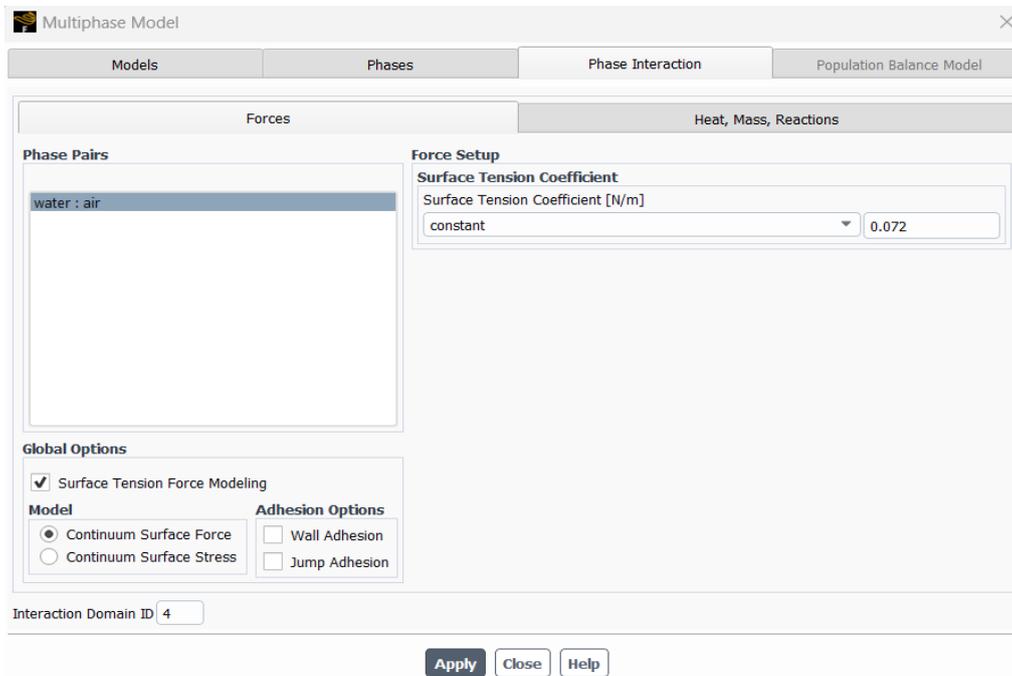
En la pestaña "Materials" se van a definir los materiales que componen las dos fases, agua será la primera fase y aire como segunda fase. Además se considerará la tensión superficial.

**Figura 46**  
Fases



Fuente. Elaboración propia

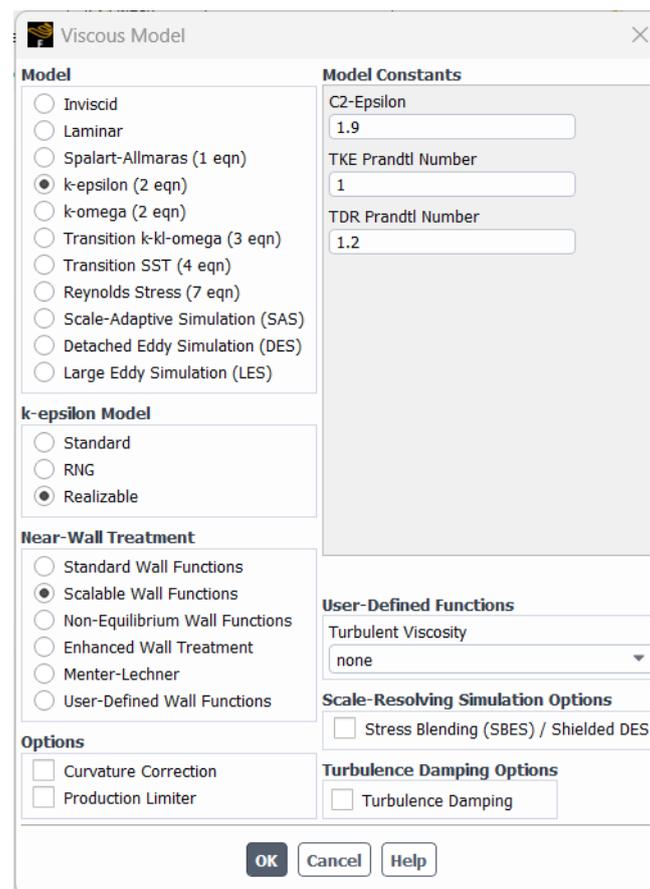
**Figura 47**  
Coeficiente de tensión superficial



Fuente. Elaboración propia

Como el flujo es turbulento, se escoge un modelo que pueda realizar un tratamiento matemático a este fenómeno, por lo que se selecciona el modelo k-epsilon realizable, al ser este un modelo compatible con ensayos de modelos físicos en laboratorio. Los valores que se encuentran en la parte superior derecha, son constantes que utiliza el modelo de turbulencia y se usan por defecto.

**Figura 48**  
Modelo Viscoso

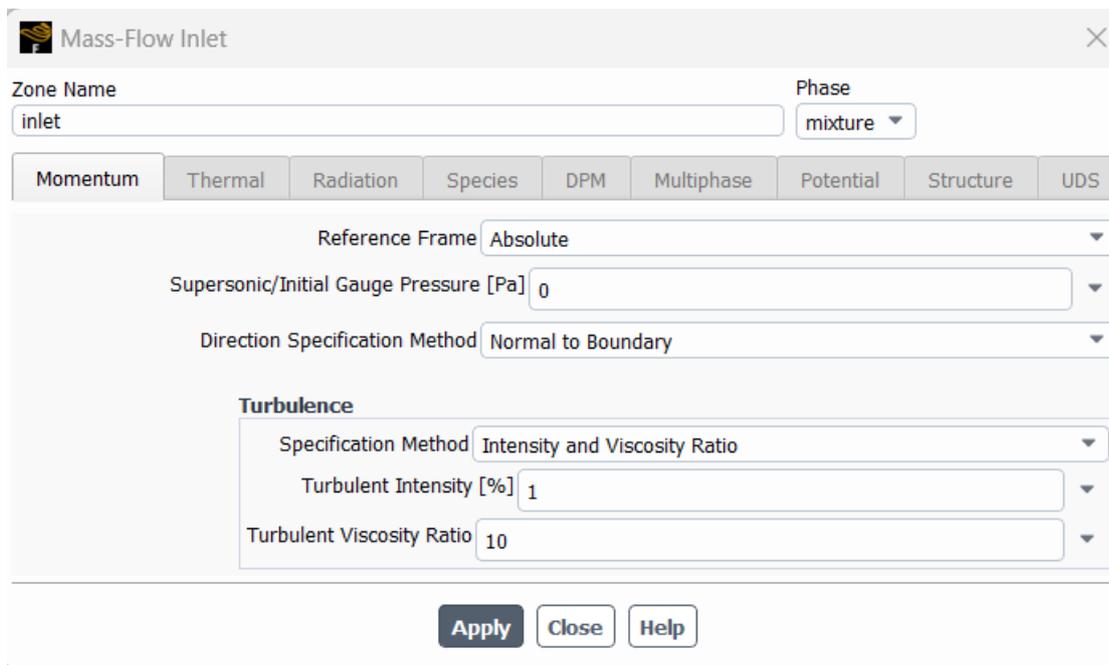


Fuente. Elaboración propia

En la pestaña “boundary Conditions”, se definirá cada condición de contorno de la siguiente manera. Primero se debe seleccionar una de las superficies que se nombró en la etapa de enmallado, en la casilla “type” hay una serie de opciones que permite escoger cuál sería la más adecuada. Para la superficie que se denominó “Inlet” se decidió que el tipo de condición es “Massflow-Inlet”, ya que en esta opción te permite ingresar el flujo másico, que vendría a ser el producto del caudal con la densidad del agua. Para esta modelación se tomó el caudal de diseño de 574.52

m3/s y la densidad predeterminada del sistema. Para la sección de turbulencia, se disminuye la intensidad hasta 1% con el fin de que no se forme una mayor turbulencia en la entrada y haya una mejor convergencia.

**Figura 49**  
Mezcla de entrada Massflow.



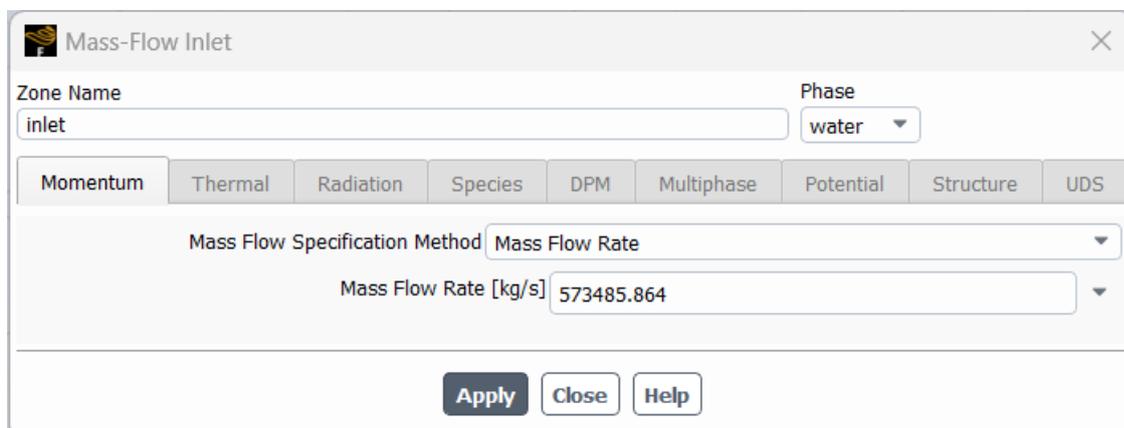
The screenshot shows the 'Mass-Flow Inlet' dialog box with the following settings:

- Zone Name: inlet
- Phase: mixture
- Momentum tab is selected.
- Reference Frame: Absolute
- Supersonic/Initial Gauge Pressure [Pa]: 0
- Direction Specification Method: Normal to Boundary
- Turbulence section:
  - Specification Method: Intensity and Viscosity Ratio
  - Turbulent Intensity [%]: 1
  - Turbulent Viscosity Ratio: 10

Buttons: Apply, Close, Help

Fuente. Elaboración propia

**Figura 50**  
Agua de entrada Massflow.



The screenshot shows the 'Mass-Flow Inlet' dialog box with the following settings:

- Zone Name: inlet
- Phase: water
- Momentum tab is selected.
- Mass Flow Specification Method: Mass Flow Rate
- Mass Flow Rate [kg/s]: 573485.864

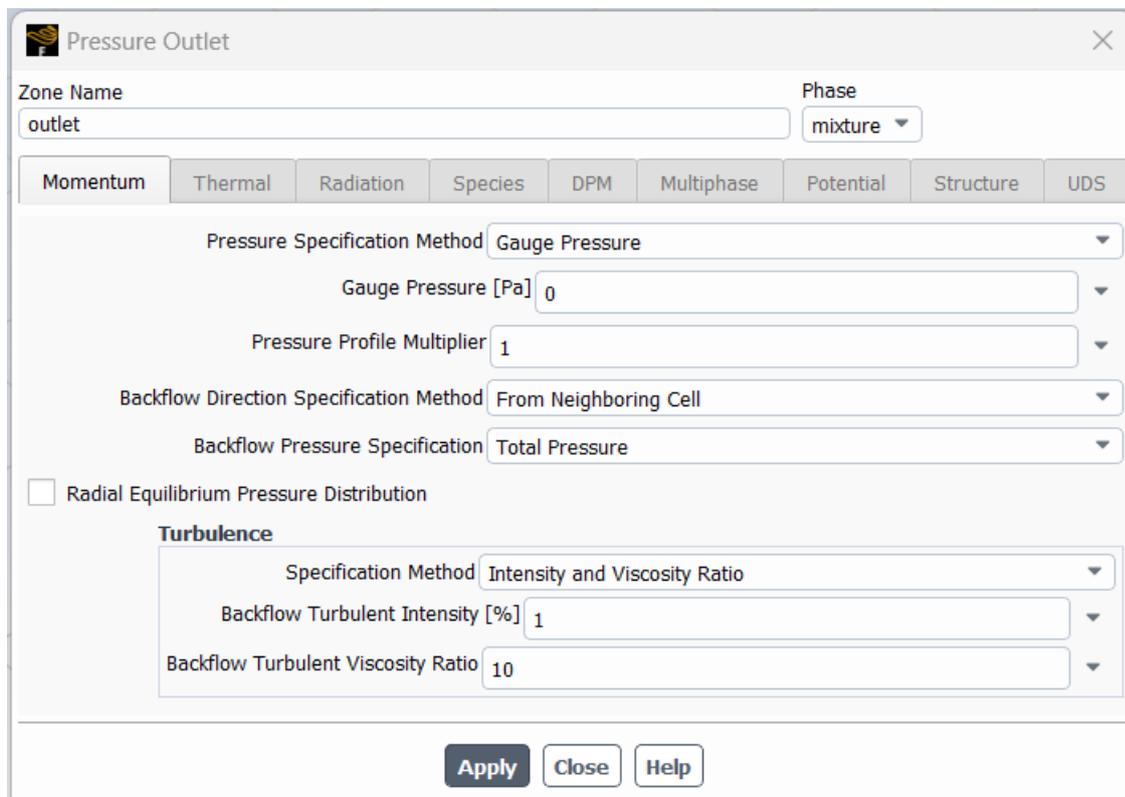
Buttons: Apply, Close, Help

Fuente. Elaboración propia

Para la condición de contorno de la salida se define que es “Pressure-Outlet”, con el objetivo que el modelo sea estable matemáticamente. En la pestaña “Momentum” se encuentra la opción “Backflow Direction Specification Method” la cual se selecciona que sea calculado a través de las celdas. En el recuadro de turbulencia, se coloca el mismo criterio de la condición de entrada. Así mismo para la condición de Backflow Volume Fraction en la fase del aire, colocamos el valor de 1; esto indica que existe la presencia de aire en la salida del dominio. Caso contrario a la entrada, el cual solo contiene agua.

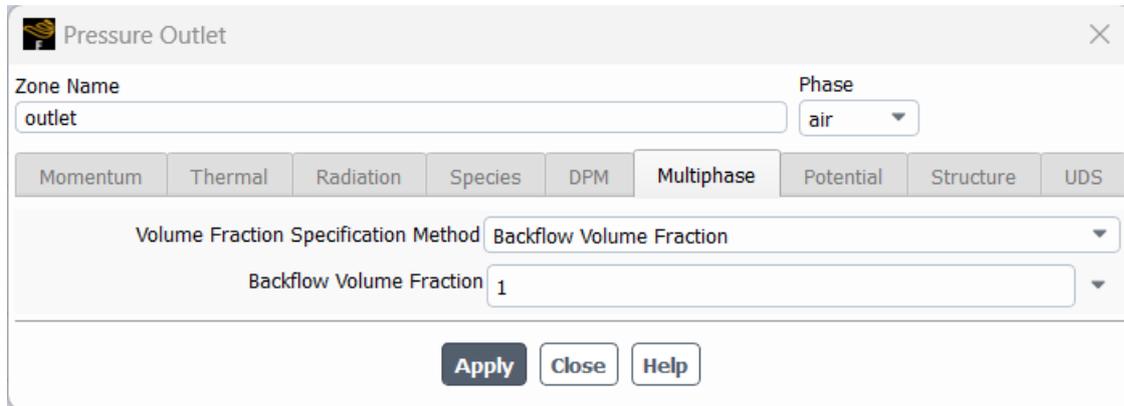
La condición de contorno superior se define como “Symmetry”, en la cual no hay que definir ningún parámetro. Para este caso no es necesaria declararla, debido a que cuando se nombró, se le puso el mismo nombre de la condición de contorno por lo que la asumió como del mismo tipo.

**Figura 51**  
Mezcla de salida de presión.



Fuente. Elaboración propia

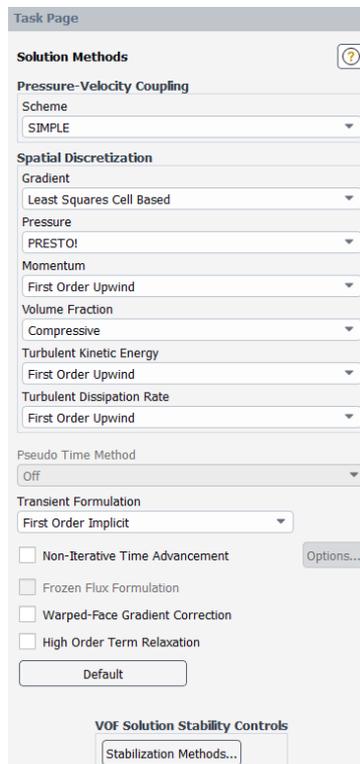
**Figura 52**  
Aire de salida a presión.



Fuente. Elaboración propia

En la pestaña “Solution Methods”, se estableció el esquema SIMPLE y PRESTO!, y se utilizaron discretizaciones de primer orden, para una mayor velocidad de convergencia.

**Figura 53**  
Métodos de solución.

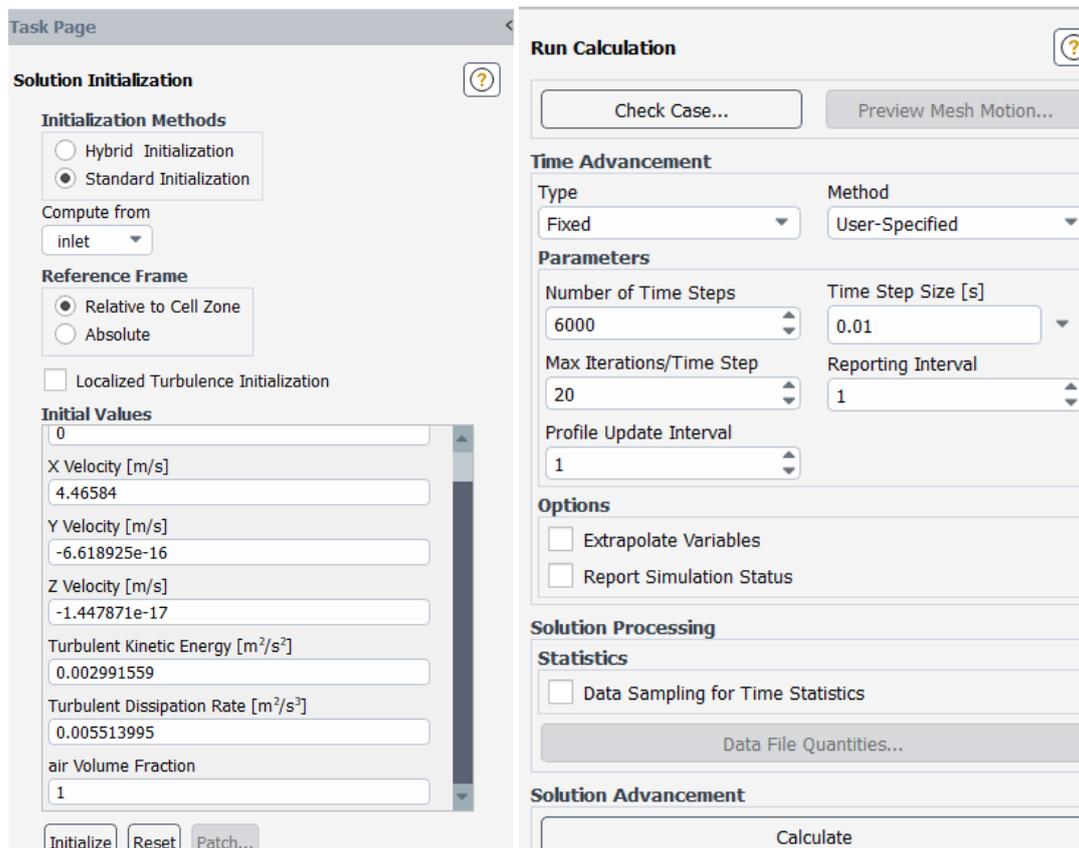


Fuente. Elaboración propia

En la pestaña “Solution Initialization”, se utiliza la inicialización estándar, en

“Compute from” se eligen todas las zonas para utilizar los parámetros de turbulencia declarados en la condición de contorno de la entrada, indicando el valor de 1 en air volumen fraction, ya que antes de que ingrese el agua a nuestro dominio, existe la presencia de aire. En la pestaña “Run Calculation”, se define el número de iteraciones y el número de paso, por último, se da clic en calcular

**Figura 54**  
Inicialización de la solución y su cálculo de ejecución

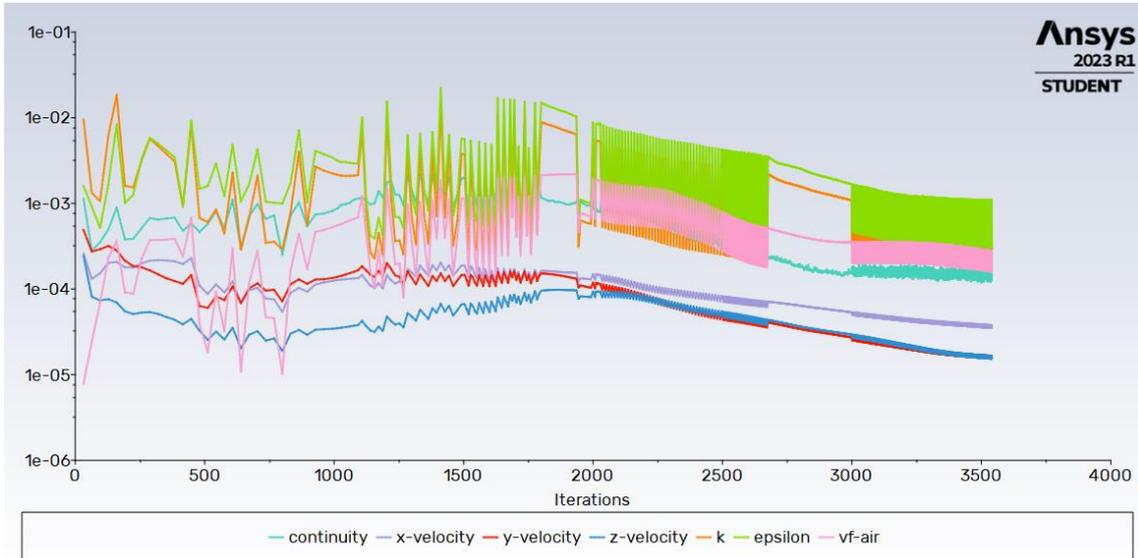


Fuente. Elaboración propia

- **4. Resultados**

La convergencia se consigue cuando los valores están por debajo de  $1e-03$ , los cuales son corroborados por el gráfico de iteraciones vs Residuales.

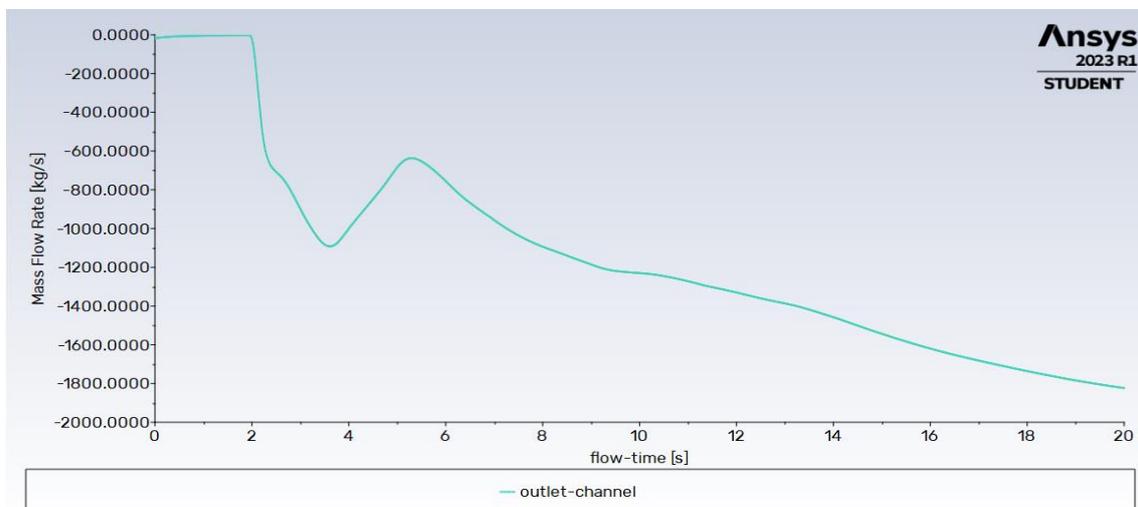
**Figura 55**  
Gráfica de Iteraciones vs Residuales.



Fuente. Elaboración propia

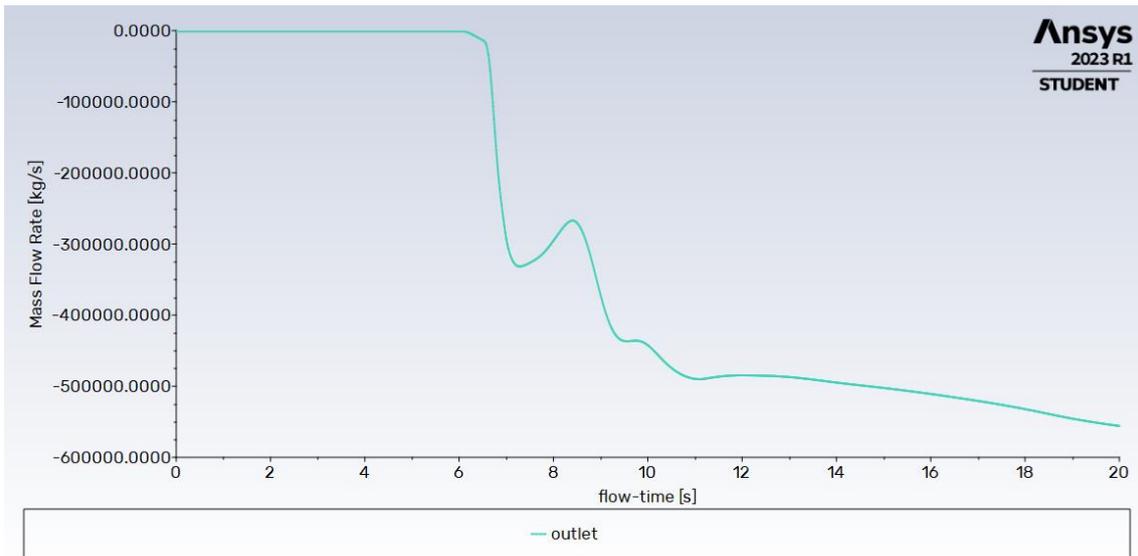
Otra manera de corroborar la convergencia es en el gráfico de tiempo vs caudal másico o mass Flow rate, el cual nos debe indicar una aproximación (lo más cercana) al caudal másico de entrada.

**Figura 56.**  
Gráfica de Tiempo vs Caudal Másico del canal de derivación



Fuente. Elaboración propia

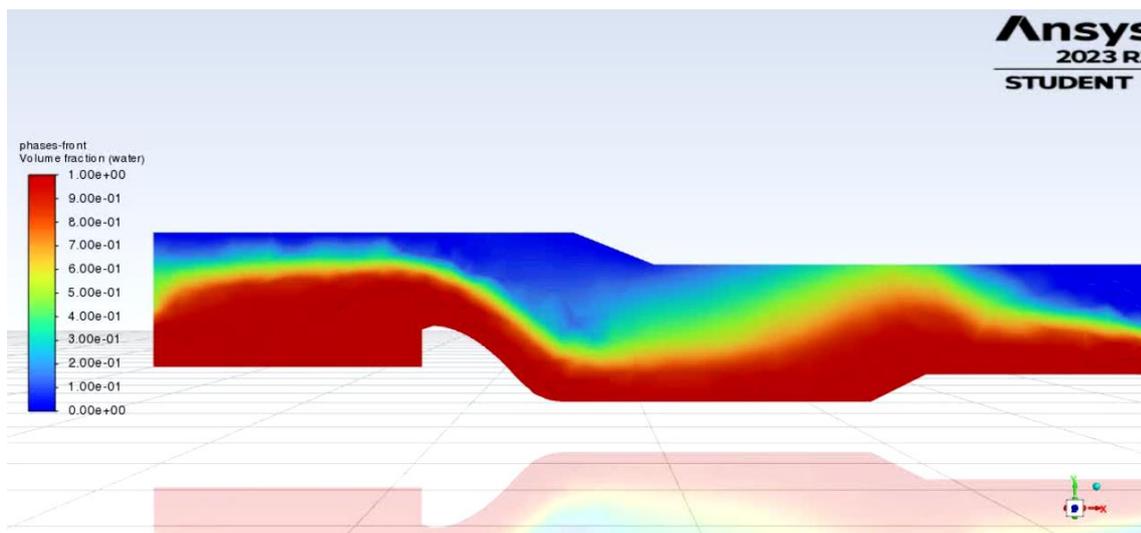
**Figura 57**  
*Gráfica de Tiempo vs Caudal Másico de la estructura.*



Fuente. Elaboración propia

Una vez terminada las iteraciones y llegada a su convergencia, se pueden visualizar los resultados en Animations, en el cual se puede observar la interacción entre las fases de aire y agua. Teniendo el valor de 1 para agua y de 0 para aire. El límite de altura que separa el aire del agua debe ser corroborado por ensayos en modelos físicos ya que estos suelen variar entre los valores medios entre 0 a 1.

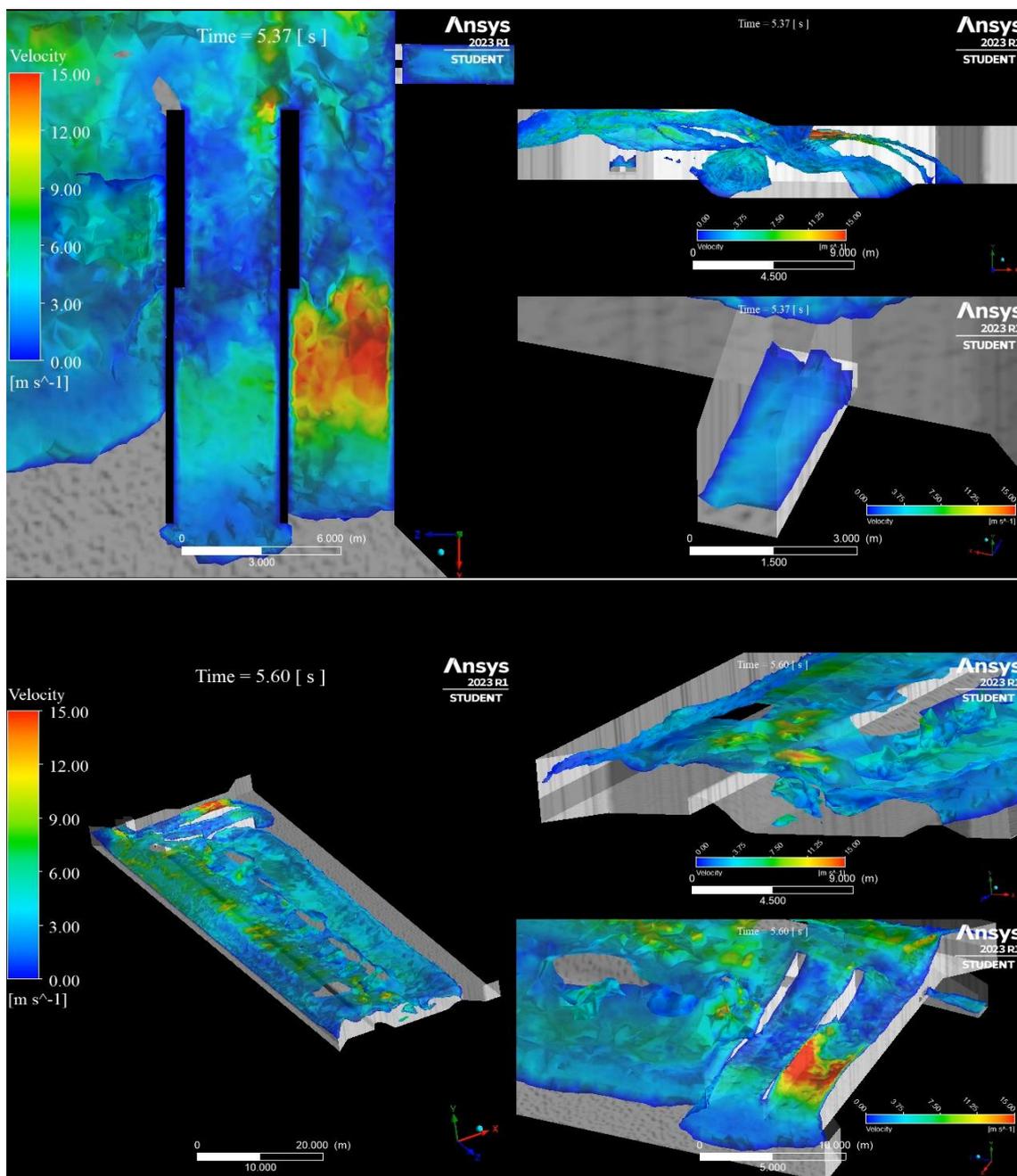
**Figura 58**  
*Resultados, Contornos VOF*



Fuente. Elaboración propia

Para un post proceso en el cual se pueda apreciar el flujo a través del tiempo, se utiliza el apartado de Resultados, en el cual se puede ver la interacción segundo a segundo o al paso de tiempo que se requiera. Una variable importante a considerar es la velocidad, en la cual en las siguientes imágenes se pueden ver las velocidades máximas alcanzadas en cada parte de la estructura, siendo las mayores en el barraje móvil (canal de limpia).

**Figura 59**  
Resultados, Velocidad



Fuente. Elaboración propia

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la presente investigación, se han obtenido resultados significativos en relación a los objetivos planteados. En cuanto al Objetivo 1, se ha calculado un caudal máximo de 574.52 m<sup>3</sup>/s, lo cual proporciona una base sólida para el diseño de las diversas estructuras complementarias de la bocatoma. Estos resultados son consistentes con los antecedentes encontrados en la literatura. Por ejemplo, en el estudio de Díaz (2020) y Honorio (2020), se evidencia la importancia de considerar caudales máximos y avenidas para el diseño de estructuras hidráulicas, lo cual respalda la relevancia de los resultados obtenidos en este estudio.

En relación al Objetivo 2, se ha logrado un diseño adecuado de las estructuras complementarias de la bocatoma, basándose en criterios técnicos y considerando la hidrología del área. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de los antecedentes encontrados. Tanto en el estudio de Díaz (2020) como en el de Aguilar y Escobar (2020), se destaca la importancia de utilizar herramientas de modelación y diseño hidráulico, lo cual concuerda con la metodología empleada en esta investigación. Por lo tanto, los resultados obtenidos respaldan la efectividad de dicho enfoque.

En relación al Objetivo 3, se ha utilizado un modelo tridimensional para verificar el diseño de las estructuras de la bocatoma. Estos resultados son congruentes con los antecedentes encontrados en la literatura. Por ejemplo, los estudios de Díaz (2020), Cunia (2016) y Benítez y Lázaro (2018) también emplearon modelos numéricos para simular el comportamiento hidrodinámico de estructuras relacionadas. Estos antecedentes proporcionan respaldo a la validez y eficacia del enfoque utilizado en esta investigación. Al utilizar un modelo tridimensional, se ha logrado verificar adecuadamente el diseño de las estructuras de la bocatoma, garantizando su estabilidad y resistencia frente a las fuerzas hidrostáticas y otros fenómenos asociados al flujo de agua.

## VI. CONCLUSIONES

- En base a la prueba de datos dudosos (Water Resources Council), se obtuvo que la precipitación máxima aceptada de la muestra desde 1950 hasta el 2019, es de 752.60 m<sup>3</sup>/s, dado en el año 1998.
- La distribución probabilística de Log Normal llego a evaluar el ajuste de los valores máximos anuales de caudal desde 1950 hasta 2019, demostrando una concordancia óptima con los datos recopilados, con lo cual, para un periodo de retorno de 100 años, se obtuvo un caudal de diseño de Qd = 574.52 m<sup>3</sup>/s.
- El base al diseño hidráulico realizado, se pueden obtener las dimensiones de las obras de arte que conforman la bocatoma, teniendo las siguientes estructuras y dimensiones:

### Barraje Fijo:

Ancho = 71.40m

Alto = 1.20m

### Barraje Mixto:

Ancho = 8.60m

Alto = >1.20m

Compuertas radiales = 2

### Ventana de captación:

Ancho de compuerta = 0.76m

Alto de compuerta = 0.61m

Compuertas tipo guillotina = 2

Qderivación = 0.60 m<sup>3</sup>/s

### Canal de captación rectangular:

Ancho = 1.20m

Tirante = 0.45m

Borde libre = 0.15m

Transición:

Longitud	=	1.05m
Ángulo	=	12.50°

Canal de conducción trapezoidal:

Ancho	=	0.80m
Espejo de agua	=	1.66m
Tirante	=	0.40m
Borde libre	=	0.15m

- Se logró obtener una exitosa verificación en el diseño de las estructuras de la bocatoma mediante el uso del modelo tridimensional. En este proceso, se obtuvo la velocidad máxima de 15 m/s generados por el caudal máximo en el barraje móvil, el cual representa la avenida correspondiente a un periodo de retorno de 100 años. Es fundamental destacar que el cálculo estimado de los caudales máximos desempeña un papel crucial en el diseño adecuado de las estructuras.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda actualizar periódicamente los caudales de la zona de estudio, esto permitirá tener una base más sólida en caso se realicen futuras investigaciones.
- Se recomienda seguir considerando la distribución probabilística de Log Normal para el cálculo de las máximas avenidas, dado que ha demostrado tener una mejor correspondencia con los datos recopilados.
- Se recomienda que en épocas de estiaje se realicen trabajos de descolmatación de la bocatoma y sus obras de arte, esto con el fin de asegurar que la capacidad hidráulica de la estructura se mantenga a lo largo del tiempo.
- Se recomienda realizar un mejoramiento del terreno en la margen izquierda y derecha de la bocatoma, debido a la acción erosiva del flujo de agua, reemplazando el material propio por un material granular (enrocados), el cual tiene un mejor comportamiento hidráulico ante socavaciones, en comparación al material propio presente en la zona, el cual al tener presencia de finos en su composición, puede sufrir la remoción de sus partículas.

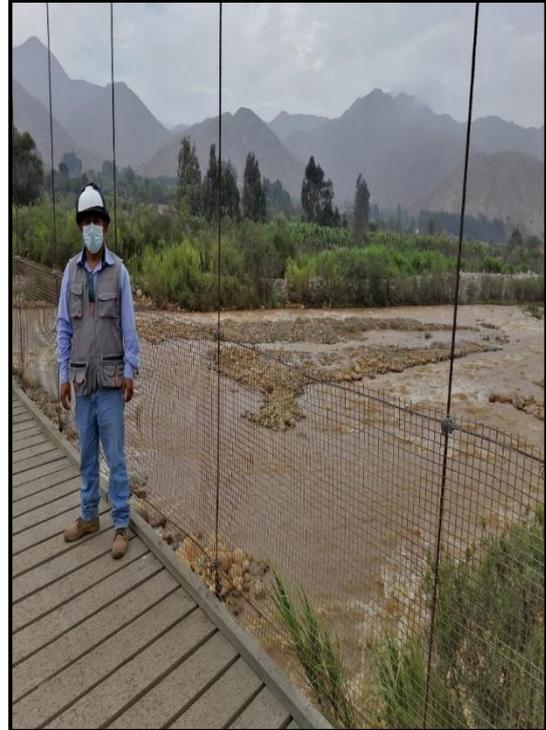
## BIBLIOGRAFÍA

- Barreto Escobedo, C. (2016). *Investigacion Hidraulica utilizando un modelo numerico 3D de la presa tablones Alto - Chinecas*. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil, Universidad de Piura.
- Cunia Perez, L. (2016). *Diseño hidraulico y estructural de la Bocatoma del proyecto de irrigacion - Valle "La Conquista"*. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil, Universidad Nacional de San Martin, Tarapoto.
- Honororio Sanchez, R., & Ramos Garcia, J. (2020). *Estudio de hidraulica fluvial del rio Moche Tramo puente Quirihuac*. Tesis para optar Titulo de Ingenieria Civil, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.
- IGP. (2020). *¿Qué son modelos numéricos?* Obtenido de Centro de Predicción Numérica del Tiempo y Clima: <http://met.igp.gob.pe/modelos/modelos.html>
- Nassi Mirengghi, G. (2018). *Diseño y modelamiento hidraulico de la Bocatoma El Pueblo, del distrito de Chocope, Provincia de Lambayeque, Departamento Lamabayeque, utilizando el modelo Telemac 2D*. Universidad Catolica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo.
- Rocha Felices, A. (2003). *La Bocatoma, estructura clave de aprovechamiento hidrico*. Lima.
- Salazar Gonzales, T. (2019). *Modelación numérica de fluidización de un lecho de partículas y su incidencia en el gasto sólido de fondo*. TESIS PARA OPTAR TITULO DE INGENIERIA CIVIL, Santiago de Chile, Chile.
- Torres Sanchez, J. (2021). *Diseño hidráulico y modelamiento en HEC-RAS del canal de concreto y de obras de arte del Proyecto Carpintero – Tramo Km 0+000 al Km 5+000*. Tesis para optar Titulo de Ingenieria Civil, Universidad Peruana en Ciencias Aplicadas, Lima.
- Vasquez, J. (2003). *Modelacion numerica en hidraulica*. Lima.

## ANEXOS

### Anexo 1

*Lugar de estudio – Tesista de la investigación*



*Fuente. Tomada por los tesistas.*

### Anexo 2

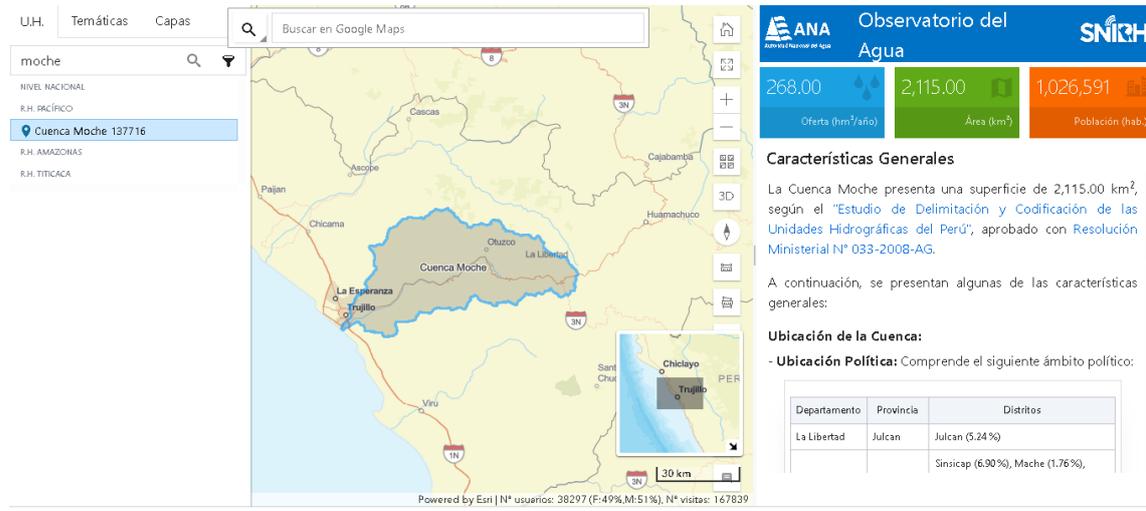
*Levantamiento topográfico con teodolito*



*Fuente. Tomada por el Tesista Figueroa*

## Anexo 3

### Plataforma de descarga de información hidrometeorológica



Fuente. Extraída de <https://snirh.ana.gob.pe/observatorioSNIRH/>

## **Anexo 4**

*Planos de la bocatomá y sus obras de arte*