

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**DISEÑO Y MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE LA  
BOCATOMA EL PUEBLO DEL DISTRITO DE  
CHÓCHOPE, PROVINCIA DE LAMBAYEQUE,  
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, UTILIZANDO EL  
MODELO NUMÉRICO TELEMAT - 2D**

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

**GIORGIO RENATTO NASSI MIRENGHI**

Chiclayo, 14 de Junio de 2018.

**DISEÑO Y MODALEMIENTO HIDRÁULICO DE LA  
BOCATOMA EL PUEBLO DEL DISTRITO DE  
CHÓCHOPE, PROVINCIA DE LAMBAYEQUE,  
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, UTILIZANDO EL  
MODELO NUMÉRICO TELEMAT - 2D**

**POR:**

**Giorgio Renato Nassi Mirengi**

Presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica  
Santo Toribio de Mogrovejo, para optar el Título de:

**INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

**APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR**

---

**Ing. Héctor Augusto Gamarra Uceda**

**PRESIDENTE**

---

**Ing. Aníbal Teodoro Díaz Orrego**

**SECRETARIO**

---

**Msc. Ing. Wilmer Moises Zelada Zamora**

**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres, quienes me dieron la vida y educaron con valores y principios siendo un pilar fundamental para mi formación personal y profesional, quienes como los consejeros y guías supieron dirigirme por el camino correcto.

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a Dios por darme la oportunidad de culminar con éxito este proyecto de tesis, por estar siempre conmigo y por no dejarme solo en los momentos que más lo necesito.

A mis padres por todo su esfuerzo brindado para ser cada día mejor, a mi asesor Msc. Ing. Wilmer Moises Zelada Zamora el cual ha demostrado que realmente posee la vocación para enseñar y hacer lo que un buen maestro hace guiándome para desarrollar de forma correcta mi tesis.

También un agradecimiento muy especial al Ing. Leo Guerrero Asmad por inculcarme el conocimiento sobre la modelación, su constante apoyo en el manejo del Telemac-2D y tener tiempo para la mínima duda presentada.

# ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2. BASES TEÓRICO-CIENTÍFICAS .....</b>	<b>19</b>
2.2.1. BOCATOMAS .....	19
2.2.2. CANALES .....	32
2.2.3. BLUEKENUE .....	33
2.2.4. PARAVIEW .....	34
2.2.5. TELEMAT 2D .....	34
2.2.6. Norma E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES. 2009. Perú: Reglamento Nacional de edificaciones .....	39
2.2.7. LEY GENERAL DEL AMBIENTE N° 28611 .....	40
2.2.8. LEY DE RECURSOS HÍDRICOS N° 29338.....	40
<b>2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....</b>	<b>40</b>
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>42</b>
<b>3.1. DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>42</b>
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	42
3.1.2. HIPÓTESIS .....	42
3.1.3. DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS .....	42
3.1.4. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN.....	42
3.1.5. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	42
3.1.6. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	42
3.1.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS .....	44
<b>3.2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>45</b>
3.2.1. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS .....	45
3.2.2. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS .....	47
<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1. ESTUDIOS DE TOPOGRAFÍA .....</b>	<b>49</b>
4.1.1. UBICACIÓN.....	49
4.1.2. TRABAJO DE GABINETE.....	49
<b>4.2. ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS .....</b>	<b>50</b>
4.2.1. UBICACIÓN DE EXPLORACIONES .....	50

4.2.2.	TRABAJO DE LABORATORIO .....	50
4.2.3.	PERFIL ESTRATIGRÁFICO:.....	52
<b>4.3.</b>	<b>ESTUDIO HIDROLÓGICO .....</b>	<b>52</b>
4.3.1.	DELIMITACIÓN DE CUENCA .....	52
4.3.2.	PARÁMETROS DE LA CUENCA .....	53
4.3.3.	TRIANGULACIÓN DE THIESSEN .....	54
4.3.4.	CAUDALES MEDIOS MENSUALES.....	55
4.3.5.	CAUDAL ECOLÓGICO .....	56
4.3.6.	DETERMINACIÓN DE MÁXIMAS AVENIDAS.....	56
4.3.7.	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	56
4.3.8.	DEMANDA DE AGUA .....	57
4.3.9.	BALANCE HÍDRICO .....	57
4.3.10.	CALIDAD DEL AGUA.....	58
<b>4.4.</b>	<b>DISEÑO HIDRÁULICO .....</b>	<b>59</b>
4.4.1.	DIMENSIONES FINALES DE LA ESTRUCTURA.....	59
4.4.2.	CÁLCULOS HIDRÁULICOS.....	60
4.4.3.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....	61
4.4.4.	SOCAVACIÓN.....	67
<b>4.5.</b>	<b>MODELAMIENTO HIDRÁULICO .....</b>	<b>68</b>
4.5.1.	MODELAMIENTO NUMÉRICO SIN ESTRUCTURA.....	68
4.5.2.	MODELAMIENTO NUMÉRICO CON ESTRUCTURA.....	81
<b>V.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>98</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>103</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>104</b>
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>107</b>
	ANEXO 01: PLANOS	
	ANEXO 02: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
	ANEXO 03: ESTUDIO HIDROLÓGICO	
	ANEXO 04: PANEL FOTOGRÁFICO	
	ANEXO 05: DISEÑO HIDRÁULICO	
	ANEXO 06: MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON TELEMAT 2D	
	ANEXO 07: GUIA MATLAB civil3DTINToBlueKenue	

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Bocatoma Raca Rumi– Lambayeque.....	17
FIGURA 2.2: Bocatoma Miraflores - Olmos.....	18
FIGURA 2.3: Partes de una bocatoma.....	21
FIGURA 2.4: Lugar adecuado para construir una bocatoma.....	22
FIGURA 2.5: Bocatoma de doble derivación.....	22
FIGURA 2.6: Elementos de la bocatoma.....	25
FIGURA 2.7: Detalle de relación de área para dimensionamiento.....	27
FIGURA 2.8: Tipo de compuertas.....	28
FIGURA 2.9: Canal de limpia.....	28
FIGURA 2.10: Ventana de captación.....	30
FIGURA 2.11: Muros de encauzamiento.....	31
FIGURA 2.12: Ejemplo de una red de un río y diques.....	36
FIGURA 2.13: Malla del río Isla (Escocia).....	37
FIGURA 4.1: Ubicación del terreno donde se realizó la topografía.....	49
FIGURA 4.2: Ubicación de calicatas.....	50
FIGURA 4.3: Delimitación de la cuenca Chóchope.....	52
FIGURA 4.4: Ubicación de estaciones para triangulación de Thiessen.....	54
FIGURA 4.5: Caudal ofertado por el río Chóchope.....	56
FIGURA 4.6: Expresión gráfica de la demanda mensual de agua.....	57
FIGURA 4.7: Expresión gráfica del balance hídrico.....	58
FIGURA 4.8: Sección transversal barraje fijo y móvil.....	59
FIGURA 4.9: Dimensiones del barraje fijo.....	59
FIGURA 4.10: Dimensiones de los dentellados.....	60
FIGURA 4.11: Fuerzas actuantes sobre el barraje fijo.....	61
FIGURA 4.12: Fuerzas actuantes sobre el pilar.....	63
FIGURA 4.13: Fuerzas actuantes sobre muro de encauzamiento.....	65
FIGURA 4.14: Altura de socavación general.....	67
FIGURA 4.15: Representación de la superficie en AutoCAD Civil 3D.....	68
FIGURA 4.16: Representación de la superficie en Bluekenue.....	68
FIGURA 4.17: Representación de la superficie en Paraview.....	69
FIGURA 4.18: Representación de la superficie a través de la malla computacional.....	69
FIGURA 4.19: Representación gráfica de vectores y líneas de corriente de la velocidad en el cauce del río, software Bluekenue.....	70

FIGURA 4.20: Representación gráfica y valores de la velocidad en el cauce del río, software Paraview.....	70
FIGURA 4.21: Representación gráfica y valores de la velocidad en el cauce del río, para los puntos del eje de la bocatoma. ....	71
FIGURA 4.22: Valores de la velocidad en el cauce del río, para los puntos del eje de la bocatoma. ....	71
FIGURA 4.23: Representación gráfica y valores de caudales para los puntos en el eje de la bocatoma, software Bluekenue. ....	72
FIGURA 4.24: Representación gráfica y valores de caudales para los puntos en el eje de la bocatoma, software Paraview. ....	72
FIGURA 4.25: Valores de caudales unitarios en el cauce del río, para los puntos del eje de la bocatoma. ....	73
FIGURA 4.26: Representación gráfica y valores de tirantes para los puntos en el eje de la bocatoma, software Bluekenue. ....	73
FIGURA 4.27: Representación gráfica y valores de tirantes para los puntos en el eje de la bocatoma, software Paraview. ....	74
FIGURA 4.28: Valores de tirantes en el cauce del río, para los puntos del eje de la bocatoma. ....	74
FIGURA 4.29: Representación gráfica y valores de esfuerzos cortantes en el fondo para los puntos en el eje de la bocatoma, software Bluekenue. ....	75
FIGURA 4.30: Representación gráfica y valores de esfuerzo cortante en el fondo para los puntos en el eje de la bocatoma, software Paraview. ....	75
FIGURA 4.31: Valores de esfuerzo cortante en el fondo del río, para los puntos del eje de la bocatoma. ....	76
FIGURA 4.32: Representación de la sección transversal de la superficie sin agua en -0+010. ....	76
FIGURA 4.33: Representación de la sección transversal de la superficie con agua en -0+010. ....	77
FIGURA 4.34: Data de resultados de la sección transversal de la superficie con agua en -0+010. ....	77
FIGURA 4.35: Representación de la sección transversal de la superficie sin agua en 0+000. ....	78
FIGURA 4.36: Representación de la sección transversal de la superficie con agua en 0+000. ....	78
FIGURA 4.37: Data de resultados de la sección transversal de la superficie con agua en 0+000. ....	79
FIGURA 4.38: Representación de la sección transversal de la superficie sin agua en 0+010. ....	79
FIGURA 4.39: Representación de la sección transversal de la superficie con agua en 0+010. ....	80

FIGURA 4.40: Data de resultados de la sección transversal de la superficie con agua en 0+000. ....	80
FIGURA 4.41: Representación de la superficie del río en AutoCAD Civil 3D. ....	81
FIGURA 4.42: Representación de la superficie de la estructura en AutoCAD Civil 3D. ....	81
FIGURA 4.43: Representación de la superficie del río con estructura en Bluekenue....	82
FIGURA 4.44: Representación de la superficie con estructura en Paraview.....	82
FIGURA 4.45: Representación de la superficie con estructura a través de la malla computacional.....	83
FIGURA 4.46: Representación gráfica de vectores y líneas de corriente de la velocidad en el cauce del río con estructura, software Bluekenue. ....	83
FIGURA 4.47: Representación gráfica de vectores de la velocidad en el cauce del río con estructura, software Paraview. ....	84
FIGURA 4.48: Representación gráfica y valores de la velocidad en el cauce del río con estructura, software Bluekenue.....	84
FIGURA 4.49: Valores de la velocidad en el cauce del río con estructura, para los puntos de análisis indicados. ....	85
FIGURA 4.50: Representación gráfica y valores de caudales en el cauce del río con estructura, software Bluekenue.....	86
FIGURA 4.51: Representación gráfica y valores de caudales en el cauce del río con estructura, software Paraview.....	86
FIGURA 4.52: Valores de caudales unitarios en el cauce del río con estructura, para los puntos de análisis indicados. ....	87
FIGURA 4.53: Representación gráfica y valores de tirantes en el cauce del río con estructura, software Bluekenue.....	88
FIGURA 4.54: Representación gráfica y valores de tirantes en el cauce del río con estructura, software Paraview.....	88
FIGURA 4.55: Valores de tirantes en el cauce del río con estructura, para los puntos de análisis indicados. ....	89
FIGURA 4.56: Representación gráfica y valores de esfuerzos cortantes en el fondo del cauce del río con estructura, software Bluekenue. ....	90
FIGURA 4.57: Representación gráfica y valores de esfuerzo cortante en el fondo del cauce del río, software Paraview. ....	90
FIGURA 4.58: Valores de esfuerzo cortante en el fondo del cauce del río con estructura, para los puntos de análisis indicados. ....	91
FIGURA 4.59: Representación del perfil longitudinal de la superficie sin agua, 50m aguas arriba y aguas debajo de la bocatoma.....	92
FIGURA 4.60: Representación del perfil longitudinal de la superficie con agua, 50m aguas arriba y aguas debajo de la bocatoma.....	92

FIGURA 4.61: Representación del remanso a través del perfil longitudinal de la superficie con agua, 70m aguas arriba y 30m aguas debajo de la bocatoma. ....	93
FIGURA 4.62: Representación de la sección transversal de la superficie sin agua en -0+010. ....	93
FIGURA 4.63: Representación de la sección transversal de la superficie con agua en -0+010. ....	94
FIGURA 4.64: Data de resultados de la sección transversal de la superficie con agua en -0+010. ....	94
FIGURA 4.65: Representación de la sección transversal de la superficie sin agua en 0+000. ....	95
FIGURA 4.66: Representación de la sección transversal de la superficie con agua en 0+000. ....	95
FIGURA 4.67: Data de resultados de la sección transversal de la superficie con agua en 0+000. ....	96
FIGURA 4.68: Representación de la sección transversal de la superficie sin agua en 0+010. ....	96
FIGURA 4.69: Representación de la sección transversal de la superficie con agua en 0+010. ....	97
FIGURA 4.70: Data de resultados de la sección transversal de la superficie con agua en 0+000. ....	97
FIGURA 5.1: Valores obtenidos en el diseño hidráulico. ....	99
FIGURA 5.2: Cálculo realizado en programa HCANALES. ....	100
FIGURA 5.3: Cálculo realizado en programa PONCE. ....	100
FIGURA 5.4: Valores de tirantes dados por programa TELEMAC-2D.....	101
FIGURA 5.5: Valores obtenidos de tirantes de agua.....	101
FIGURA 5.6: Valores de velocidad dados por programa TELEMAC-2D. ....	102
FIGURA 5.7: Valores de coeficiente de fricción colocados. ....	102
FIGURA 7.8: Desborde de río.....	104

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 4.1: Estaciones de poligonal.....	49
TABLA 4.2: Contenido de Humedad.....	50
TABLA 4.3: Límite Líquido.....	50
TABLA 4.4: Límite Plástico.....	50
TABLA 4.5: Índice de Plasticidad .....	51
TABLA 4.6: Peso Específico Relativo de Sólidos.....	51
TABLA 4.7: Contenido de Sales Solubles Totales.....	51
TABLA 4.8: Contenido de Cloruros Solubles.....	51
TABLA 4.9: Contenido de Sulfatos Solubles.....	52
TABLA 4.10: Resumen de Parámetros de la Cuenca .....	53
TABLA 4.11: Caudales Promedios Mensuales .....	55
TABLA 4.12: Cálculo de Caudal Ecológico .....	56
TABLA 4.13: Demanda mensual de agua de acuerdo a la cédula de cultivo.....	57
TABLA 4.14: Balance de Agua – Irrigación Chochope m <sup>3</sup> /mes .....	57
TABLA 4.15: Análisis Físico y Químico del Agua.....	58
TABLA 4.16: Curva de remanso. ....	60
TABLA 4.17: Valores de las fuerzas actuantes sobre el barraje fijo. ....	61
TABLA 4.18: Valores de las fuerzas actuantes sobre el pilar. ....	63
TABLA 4.19: Valores de las fuerzas actuantes sobre el muro de encauzamiento. ....	65
TABLA 5.1: Valores de factores para el área de estudio. ....	98

## RESUMEN

Esta investigación se desarrolló principalmente para representar el comportamiento hidráulico de la bocatoma el Pueblo mediante la modelación numérica, para lo cual primero se tuvo que diseñar la bocatoma, luego con los datos históricos y valores calculados se logró una buena calibración. Las fases de estudio se realizó en tres partes: el diseño hidráulico de la bocatoma, el modelo del río sin estructuras y el modelo del río con estructura.

La longitud del modelo consta de 640ml aguas arriba y 500 ml aguas abajo del eje de la bocatoma para condiciones con y sin estructuras. Los ensayos sin estructuras definieron las condiciones de borde y la correcta calibración del modelo. Los ensayos con estructuras consistieron en evaluar el comportamiento hidráulico del flujo sobre la bocatoma.

Los resultados presentados en los ensayos del modelo hidráulico comprenden: niveles de agua, velocidades, líneas de corriente y adicionalmente se muestra el esfuerzo de corte para poder interpretar la capacidad de arrastre en las estructuras.

Con el modelo numérico TELEMAC-2D se verificará el comportamiento hidráulico sobre la bocatoma diseñada con el fin de dar una visión global de cómo funcionaría una bocatoma en esa zona proyectada.

Adicionalmente esta herramienta beneficia económicamente al diseño de estructuras, ya que pueden ir analizando varias opciones para llegar al diseño definitivo y correcto.

**Palabras claves:** comportamiento hidráulico, bocatoma, modelación numérica, líneas de corriente, esfuerzo de corte.

## ABSTRACT

This research was primarily developed to represent the hydraulic behaviour of the intake El Pueblo through numerical modeling, which first had to design the product, then with historical data and calculated values is accomplished a good calibration.

The phases of study was conducted in three parts: the intake hydraulic design, the model of the river without structures and model of the River with structure.

The length of the model consists of 640ml upstream and 500 ml water down the axis of the intake for conditions withand without structures.Trials without structures defined the boundary conditions and the correct calibration of the model.Trials with structures consisted of evaluating the hydraulic behavior of the flow on the intake.

The results presented in the hydraulic model tests include: water levels, speeds, power lines and additionally cutting effort shown to be able to interpret theability to drag in structures.

With the numerical model TELEMAC-2D will verify the hydraulic behaviour on the intake designed in order to give a global vision of how would run an intake in the projected área.

Additional this tool is of benefit economically to the design of structures, since they can be analyzing several options to come to the definitive and correct design.

**Key words:** hydraulic behavior, intake, numerical modeling, lines of current, effort of court.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es el componente más abundante e importante de nuestro planeta; el hecho de que todos los seres vivos dependan de la existencia del agua nos da una pauta para percibir su importancia vital.

El agua es indispensable para el ser humano. Los usos del agua admiten cierto margen temporal, incluso los elementos de bebida y limpieza; la naturaleza, suministra el agua solo en lugares concretos, y el hombre ha de ir por ellos para disponer del preciado líquido. Por eso el agua ha obligado al hombre a esforzarse e ingeniarse para conseguirla, transportarla y almacenarla, derivándose de ello una tecnología que ha condicionado y caracterizado las distintas civilizaciones. (Cánovas, 2014)

El hombre primitivo, nómada, tuvo que idear el uso de recipientes (de piel, cerámica, etc.) para no carecer de aquella. Más tarde, al hacerse sedentario y agricultor, hubo de instalarse en la proximidad de un río o lago o acarrear el agua por sí mismo o por medio de animales. Luego alguien más ingenioso se le ocurriría echar unas piedras o ramas en el río para hacer subir el nivel hasta una zanja excavada en la tierra, con lo que, sin esfuerzo humano, por gravedad, podía llevarse el agua hasta una cierta distancia. (Cánovas, 2014)

El agua promueve o desincentiva el crecimiento económico y el desarrollo social de una región. También afecta los patrones de vida y cultura regionales, por lo que se la reconoce como un agente preponderante en el desarrollo de las comunidades. En este sentido, es un factor indispensable en el proceso de desarrollo regional o nacional. (Almirón, 2011)

La agricultura, y especialmente la agricultura de regadío, es con mucho el sector con mayor extracción y uso consuntivo de agua. La productividad de las tierras de regadío es aproximadamente tres veces superior a la de las de secano. Más allá de este dato global, existen muchas razones para destacar la función del control de los recursos hídricos en la agricultura. La inversión en la mejora de los regadíos supone una garantía frente a las variaciones pluviométricas y estabiliza la producción agrícola, impulsando la productividad de los cultivos y permitiendo que los agricultores diversifiquen su actividad. Ello tiene un reflejo en un incremento y una menor volatilidad de los ingresos agrícolas. (FAO, 2012)

Desde los años sesenta, la producción mundial de alimentos ha mantenido el paso del crecimiento demográfico mundial, suministrando más alimentos a precios cada vez más bajos en general, pero a costa de los recursos hídricos. Al final del siglo XX, la agricultura empleaba por término medio el 70% de toda el agua utilizada en el mundo, y la FAO estima que el agua destinada al riego aumentará un 14% para 2030. Aunque este aumento es muy inferior al registrado en los años noventa, según las proyecciones, la escasez de agua será cada vez mayor en algunos lugares y, en algunos casos, en algunas regiones, lo que limitará la producción local de alimentos. (FAO, 2013)

Desde el enfoque mundial, un desarrollo social y económico sostenible en África se basa necesariamente en el desarrollo de su sector agrícola, del que depende un 70% de su población y un 80% de sus pobres. Sin embargo, tan solo un 7% de la superficie cultivable

de África es de regadío, dato que se rebaja al 4% para el África subsahariana. Por el contrario, la superficie de regadío supone el 38% de la tierra cultivable en Asia. Como resultado de ello, el África subsahariana utiliza menos de un 3% de sus recursos hídricos, en comparación con un 20% en Asia. Dado que un tercio de la población del África subsahariana está sub-nutrido y que su actual población de 700 millones de habitantes llegará previsiblemente a los 1 200 millones en 2030, están claras las oportunidades para mejorar los medios de vida de las comunidades rurales a través del control de los recursos hídricos. (FAO, 2012)

Desde el enfoque nacional, el aprovechamiento sostenible del agua requiere de un manejo integral por cuencas hidrográficas, que contemple la variabilidad de su cantidad y calidad en el tiempo y en el espacio, en condiciones racionales y compatibles con la capacidad de recuperación y regeneración de los ecosistemas involucrados, en beneficio de las generaciones futuras. La mayoría del uso efectivo del agua en el país se debe a actividades agrícolas, las cuales consumen 12 veces más que para fines poblacionales. (MINAG, 2012). La sierra y selva Peruana por acción de la naturaleza es beneficiada puesto que el 97,7% del recurso hídrico fluye por la vertiente oriental amazónica, donde únicamente reside el 26 % de la población. (Muñoz, 2011)

Desde el enfoque local, el área en estudio es accesible desde la ciudad de Chiclayo, carretera asfaltada Chiclayo-Motupe. (74 km), se desvía hacia una vía de penetración asfaltada en buenas condiciones de mantenimiento, luego de 10.0 Km. de recorrido, se llega hasta la Urbe del Distrito de Chóchope y después se continua por una trocha la cual comunica Chóchope – Penachí, un recorrido de 3.5 km se llega hasta la zona de proyección de la infraestructura hidráulica (sobre el río Chóchope). En total, partiendo desde Chiclayo se efectúa un recorrido de aproximadamente 87.5 Km. Con un tiempo estimado de viaje en camioneta de 1 .5 horas.

En las últimas décadas, la modelación del flujo de agua ha surgido como un área de intenso trabajo. En vista que los conocimientos computacionales fueron progresando, el interés de modelar con exactitud el comportamiento del flujo de agua fue en aumento. Los fenómenos implicados presentan un comportamiento hidrodinámico tridimensional que no puede ser deducido apropiadamente con el uso de fórmulas y gráficos. Por lo tanto, se requirió el uso de la modelación numérica para apreciar y entender dicho comportamiento, permitiendo evaluar alternativas preventivas y correctivas para la estructura.

La cuenca hidrográfica del río Chóchope pertenece a la vertiente del pacífico que tiene un régimen irregular y torrencioso que produce del 60 al 70% de la descarga total anual entre los meses de diciembre y marzo con periodos de estiaje y sequía el resto del año. Esta vertiente es una de las que tiene mayor demanda en el país y su uso predominante es agrícola.

El distrito de Chóchope cuenta con una población de 1231 habitantes y su superficie abarca 79.27 km<sup>2</sup>, las principales actividades de sustento económico son la agricultura y la ganadería; en la agricultura trabajan el 82% de la población económicamente activa, en esta zona cultivan productos como algodón, frejol caupi, frejol de palo, maíz amarillo duro, mango, maracuyá, limón sutil y naranja logrando ocupar 1100.7 has cultivadas, que en las mejores temporadas de cosecha solo se logra cosechar 1040.0 has; en la actualidad la agricultura viene siendo afectada por falta de agua, 72.4 hectáreas se han quedado sin

un sistema de riego la cual perjudica directamente a gran parte de los 240 regantes y a los pobladores de dichos caseríos, afectando en su economía debido a que su principal ingreso proviene de la agricultura; los cultivos como maíz han disminuido notablemente su producción por hectárea que en temporadas buenas llegan a producir 52 ton por hectárea; debido a la falta de agua la producción ha disminuido, en algunos casos han tenido que buscar cultivos alternativos que necesiten menos agua; ya que de donde derivan el agua para sus cultivos es una captación rústica hecha por los mismos regantes la cual por el mismo hecho de ser rústica no capta el volumen necesario para abastecer las 1112.4 has.

Actualmente los pobladores comercializan el 90% de sus productos obtenidos a las distintas empresas productivas que se encuentran cerca al distrito como son Backus de Motupe, agroexportadora Gandules, agroindustrias AIB y Frutosa de Tongorrape; y el otro 10% de sus productos es para consumo propio.

En el sector educativo, Chóchope tiene una población estudiantil de 237 alumnos para los cuales cuenta con 06 infraestructuras educativas: 03 de educación inicial, 02 de educación primaria y 01 de educación secundaria, no obstante el 20% de la población de 15 años a más son analfabetos.

En el sector de salud, Chóchope tiene 01 puesto de salud de primeros auxilios de 169 m<sup>2</sup>, el cual cuenta con: 01 medico, 01 obstetra, 02 enfermeras y 4 técnicos.

Las enfermedades más comunes son 5, las cuales se mencionan por orden mayoritario: Paludismo-Malaria: Vivatx-Fitlaparium, Digestivos (diarreas), Pulmonares (tos, bronquios), Micosis (hongos), Parasitarias (debido al agua no tratada). Presenta una tasa de mortalidad en la cual el 80% es de cáncer al estómago (debido a que los pobladores son agricultores y no almuerzan a sus horas recomendadas) Gastritis y Úlcera, y el 20% es Cirrosis Hepática y Neumonía en niños. Para aplicar las medidas de prevención en el hogar y acudir a los centros de atención de la salud, se requiere de recursos económicos que los agricultores campesinos, solo lo pueden obtener de su actividad económica, para ello se requiere mejorar su rentabilidad y generar empleo.

En el sector vivienda, la población del distrito de Chóchope cuenta con 392 viviendas. Según los resultados del empadronamiento, el 87.9% estaban habitadas y el 12.1% no. El material predominante en la construcción de las viviendas es el adobe o tapia, cuyo piso se encuentra a nivel de tierra natural. Los techos son de calamina, Asbesto - Cemento y en menor proporción material noble.

En servicios básicos, las viviendas que cuentan con abastecimiento de agua son 157, la gran mayoría (50.31%) es abastecida con red pública.

En alcantarillado básico, el único que posee es el cercado del Distrito de Chóchope. Parte de la población de la zona rural cuenta con sistemas de letrinas que en su mayoría se encuentra en mal estado (84.46%), por lo que sus necesidades fisiológicas las realizan a campo libre.

Por otro lado los proyectos hidráulicos de ingeniería tienen un gran impacto e importancia en el norte del país, en estos proyectos se presentan fenómenos hidráulicos de carácter tridimensional que pueden afectar el desarrollo de la estructura. Teniendo en cuenta que en la realidad los ingenieros utilizan ecuaciones teóricas y experimentales despreciando

los otros componentes que puedan afectar su comportamiento, es por ello que se ha decidido realizar esta tesis “DISEÑO Y MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE LA BOCATOMA EL PUEBLO UTILIZANDO EL MODELO NUMÉRICO TELEMAC-2D” para la captación de las aguas del río Chóchope y verificar el comportamiento y obtener parámetros hidráulicos importantes. Para ello se requiere diseñar la bocatoma y analizar su comportamiento a través de un modelamiento hidráulico en software.

Considerando la información existente, se realiza la siguiente pregunta:  
¿Cuál es el Diseño y modelamiento hidráulico de la bocatoma El Pueblo del distrito de Chóchope, provincia de Lambayeque departamento de Lambayeque, utilizando el modelo numérico Telemac – 2D?

Con el diseño y modelamiento hidráulico de la bocatoma El Pueblo del distrito de Chóchope, provincia de Lambayeque departamento de Lambayeque, se analizará el comportamiento hidráulico así como el sistema de captación y los parámetros hidráulicos importantes resultado del modelo numérico.

Se planteó como objetivo general realizar el modelamiento hidráulico a partir del diseño de la bocatoma El Pueblo mediante el modelo numérico bidimensional TELEMAC-2D, permitiendo evaluar alternativas preventivas y correctivas para la estructura y obtener resultados a detalle de diferentes parámetros que ayudarán a conocer el comportamiento hidráulico de la bocatoma.

Asimismo los objetivos específicos son:

- Realizar el levantamiento topográfico del área de estudio para conocer características como la altimetría y taquimetría; y así poder ubicar la captación.
- Hacer los estudios hidrológicos y los estudios de mecánica de suelos que permitirá determinar ciertos parámetros de diseño que se emplearán.
- Calcular el caudal requerido para cubrir la demanda de agua.
- Realizar el cálculo hidráulico de la bocatoma El Pueblo.
- Realizar el modelamiento hidráulico en TELEMAC-2D.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

**Díaz Ibáñez, Raúl. 2015. Análisis de estabilidad y diseño estructural de la bocatoma del P.H. Paso Ancho. Tesis profesional: Universidad Nacional Autónoma de México.**

En el presente documento se indica la metodología aplicada para el análisis de estabilidad y el diseño estructural de la bocatoma de la Obra de Generación; dicho análisis hace referencia principalmente a las 3 condiciones de estabilidad (el deslizamiento, el volteo y la flotación) para las cuales la bocatoma debe presentar condiciones de seguridad durante las etapas de construcción y de operación, en las cuales se presentan eventos usuales, inusuales y extremos, que son analizados mediante recomendaciones de manuales y/o reglamentos y por la experiencia del diseñador.

**Autoridad Nacional del Agua ANA. 2010. Gestión Agua-Rio Chancay-Lambayeque. Lambayeque: Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales.**

Aquí se presenta la descripción de las obras consideradas y construidas en la Bocatoma Raca Rumi, ubicada en el Distrito de Chongoyape, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque.

**FIGURA 2.1: Bocatoma Raca Rumi– Lambayeque**



Fuente: Google imágenes.

**Autoridad Nacional del Agua ANA. 2010. Manual de Criterios de Diseños de Obras Hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico. Lima: Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales.**

En este manual se presenta los estudios y pasos que se deben seguir para un análisis y diseño de una bocatoma de montaña, diseño de canales abiertos como también las consideraciones para la construcción y mantenimiento de la bocatoma y canales para la conservación del agua.

**Cuervo Muñoz, Astrid Elena. Comparación de los modelos hidráulicos unidimensional (HEC-RAS) y bidimensional (IBER) en el análisis del rompimiento de presas de materiales sueltos. Tesis de Master, Universidad Politécnica de Catalunya.**

En el presente informe de Tesis para optar el título de Máster en Recursos Hídricos, se hace una comparación de los modelos hidráulicos unidimensional (HEC-RAS) y bidimensional (IBER), utilizados en este estudio para determinar los hidrogramas

generados por la rotura de presas de materiales sueltos de diferentes dimensiones (longitud, ancho y alto).

**Programa Nacional de Riego. 2011. Criterios de Diseño y Construcción de Tomas de Tipo Presa Derivadora. Cochabamba, Bolivia.**

El objetivo principal de este documento es poner a disposición de técnicos y especialistas en obras hidráulicas diversos criterios de diseño, así como de operación y mantenimiento de Presas Derivadoras, además de mostrar mediante estudios de caso realizados en La Paz y Oruro, las características de estas obras, su desempeño en diversas condiciones y algunas respuestas a los problemas relacionados con ellas, de manera que cuando se adopte este tipo de obras para la captación de agua, sea de una forma apropiada y en concordancia a las condiciones de cada sitio.

**Arturo Rocha. 1978. Introducción Teórica al Estudio de Bocatomas. 1-34**

En este documento el autor indica y hace referencia a los aspectos básicos de distribución de sólidos en una bifurcación que se deben tener en cuenta en el diseño de una bocatoma.

**Arturo Rocha. 2012. Hidráulica de Tuberías y Canales.**

En este documento el autor hace una breve descripción sobre los aspectos teóricos básicos de canales, así como también el cálculo de ellos.

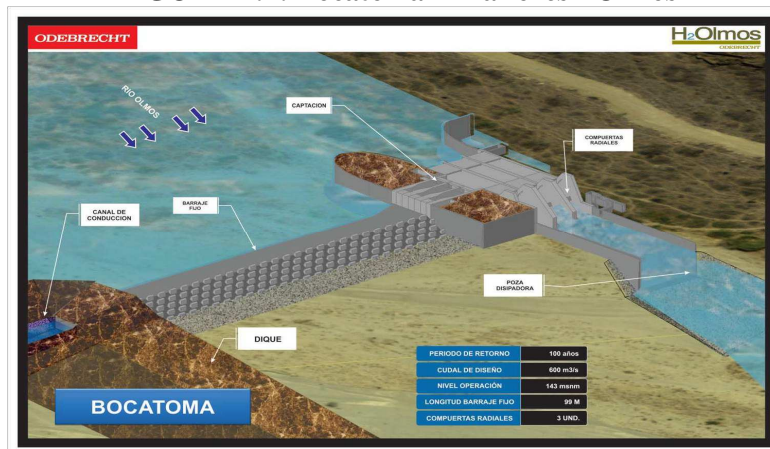
**SAGARPA. Diseño hidráulico y estructural de presas derivadoras.**

Este documento presenta una breve descripción sobre los aspectos teóricos básicos de estructuras derivadoras así como los pasos para su diseño.

**H2Olmos ODREBRECHT. 2012. Proyecto de Irrigación Olmos. Lambayeque.**

H2Olmos presentó al Gobierno Regional de Lambayeque una propuesta de optimización que contempla la distribución de agua presurizada a los usuarios en el valle nuevo de Olmos y agricultores del valle viejo. De esta manera, más de 40,000 hectáreas contarán con un sistema presurizado de distribución de agua de riego. El GRL aceptó la propuesta de Optimización la misma que ya está plasmado en el Contrato de Concesión.

**FIGURA 2.2: Bocatoma Miraflores - Olmos**



Fuente: Google imágenes.

**Willis Samamé, Eduardo. 2015. Optimización del diseño hidráulico del proyecto miraflores utilizando el modelo numérico telemac-2D. Tesis profesional, Universidad de Piura.**

En el presente informe de Tesis emplea el modelo numérico Telemac-2D con el cual calcula muchas magnitudes como los cambios en el nivel del agua en cualquier punto en el modelo o en la descarga que fluye a lo largo del río, o una evaluación de las trayectorias, etc.

## **2.2. BASES TEÓRICO-CIENTÍFICAS**

### **2.2.1. BOCATOMAS**

Las obras de toma o bocatomas son las estructuras hidráulicas construidas sobre un río o canal con el objeto de captar, es decir extraer, una parte o la totalidad del caudal de la corriente principal. La obra de toma es la estructura hidráulica de mayor importancia de un sistema de aducción que alimentará un sistema de generación de energía hidroeléctrica, riego, agua potable, etc. A partir de la obra de toma, se tomarán decisiones respecto a la disposición de los demás componentes de la obra.

Vargas Vargas, Wilson (2013), define una bocatoma o captación, como una estructura hidráulica destinada a derivar agua de un río, arroyo, o canal; o desde un lago; o incluso desde el mar, una parte del agua disponible en esta, para ser utilizada en un fin específico, como pueden ser abastecimiento de agua potable, riego, generación de energía eléctrica, acuicultura, enfriamiento de instalaciones industriales, etc.

Las bocatomas suelen caracterizarse principalmente por el caudal de captación, el que se define como el gasto máximo que una obra de toma puede admitir. Así por ejemplo, el caudal de captación de la bocatoma. Los Ejidos, sobre el río Piura, Proyecto Chira-Piura, es de 60 m<sup>3</sup>/s.

Tradicionalmente se ha usado el concepto de Avenida de Diseño para designar el máximo caudal del río que una bocatoma puede dejar pasar sin sufrir daños que la afecten estructuralmente. (Rocha, 2003, pág. 2-3).

#### **2.2.1.1. Desarrollo histórico de las bocatomas en el Perú**

Según Mansen (2006), realizando una visión a través del tiempo y desde un punto de vista técnico, podemos establecer tres etapas del desarrollo de la construcción de bocatomas.

- a) Empleo de madera y piedras  
Ante las limitaciones de las técnicas de uso del concreto, manufactura del acero o generación de energía, se usaron la madera y piedras (caballos) como elementos principales para la construcción de las bocatomas. Es conocido que las bocatomas construidas de este modo son arrastradas y destruidas durante la época de avenidas a pesar de que se construyen tratando de darle la menor resistencia al efecto erosivo del río.
- b) Empleo del acero y concreto  
Esta etapa se caracteriza con la aparición de nuevas técnicas de fabricación del concreto y el acero, así como la introducción de la energía eléctrica para la operación y construcción, haciendo posible la edificación de vertederos rígidos con mayor resistencia. Sin embargo, esto genera problemas de roturas

en los diques laterales, debido al impacto directo de las aguas hacia ellos. Para prevenir este problema se recomienda construir el vertedero en el ángulo recto con respecto a la dirección del flujo, siendo la mayor parte del cauce del río cubierto por el vertedero o barraje.

c) Empleo de maquinaria pesada

La etapa más reciente se caracteriza con la aparición de potentes maquinarias para la construcción civil (retroexcavadoras, bulldozers, etc.) y el empleo de nuevas técnicas en ingeniería civil y en la comunicación, los que han permitido la construcción de cimentaciones que pueden alojar compuertas de grandes luces que son accionadas por equipos con sistemas eléctricos o hidráulicos, recomendándose siempre la necesidad de contar con un equipo auxiliar independiente para casos de emergencia.

Actualmente existen grandes luces de vertederos móviles que son controlados con sensores a control remoto que permiten un manejo más apropiado del caudal del río que discurre a través de la bocatoma.

### 2.2.1.2. Tipos de Bocatomas

Según Mansen (2006):

a) **Toma Directa**

Se trata de una toma que capta directamente mediante un canal lateral, que por lo general es un brazo fijo del río que permite discurrir un caudal mayor que el que se va a captar. Su mayor ventaja es que no se necesita construir un barraje o azud que por lo general constituye una de las partes de mayor costo.

Sin embargo; tiene desventaja de ser obstruida fácilmente en época de crecidas, además permite el ingreso de sedimentos hacia el canal de derivación.

b) **Toma Mixta o Convencional**

Se trata de una toma que realiza la captación mediante el cierre del río con una estructura llamada azud o presa de derivación, el cual puede ser fija o móvil dependiendo del tipo del material usado. Será fija cuando se utiliza un elemento rígido, por lo general concreto, y será móvil cuando se utilizan compuertas de acero o madera.

La captación en ese tipo de bocatomas se realiza por medio de una ventana que puede funcionar como orificio o vertedero dependiendo del tirante en el río.

c) **Toma Móvil**

Se llama así aquella toma que para crear la carga hidráulica se vale de un barraje móvil. Son tomas que por la variación de niveles en forma muy marcada entre la época de estiaje y avenida, necesitan disponer de un barraje relativamente bajo, pero que para poder captar el caudal deseado necesitan de compuertas que le den la cota a nivel de agua adecuado.

A los barrajes con compuertas que permiten el paso del caudal de avenida a través de ellos se les conoce como barraje móvil. Su principal ventaja es que permite el paso de los materiales de arrastre por encima de la cresta del barraje vertedero o azud.

#### d) Toma Tirolesa o Caucasiona

Son tomas cuyas estructuras de captación se encuentran dentro de la sección del azud, en un espacio dejado en él, protegido por una rejilla que impide el ingreso de materiales gruesos. Estas tomas no son recomendables en ríos donde el arrastre de sedimentos es intenso, ya que podrían causar rápida obstrucción de las rejillas.

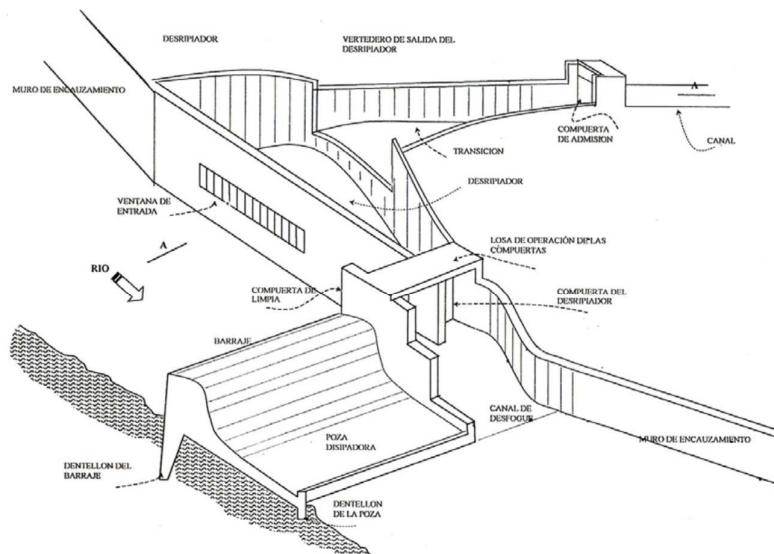
Conviene comentar que la gran mayoría de ríos del Perú son muy jóvenes y arrastran gran cantidad de sedimentos en épocas de crecidas, por lo que la construcción de estas tomas debe ser donde las condiciones lo favorezcan.

#### 2.2.1.3. Partes de una bocatoma

Según Autoridad Nacional del Agua (2010), nos indica que:

- Dique, Barraje, Presa o Azud: Su función es cerrar el cauce del río, obligando al agua que se encuentra por debajo de la cota de su cresta, a que ingrese a la conducción. El dique, en épocas de creciente, funciona como un vertedero.
- Rejilla: Ésta impide que pase al canal de conducción material sólido muy grueso.
- Zampeado y colchón al pie de azud: Sirven para disipar la energía con la que cae al agua desde el azud en épocas de lluvia, y así evitar que se erosione la zona del pozo de quietamiento. El fenómeno, si no es controlado, puede socavar las estructuras y causar su destrucción.
- Compuerta de purga: Se ubica al lado de la reja de entrada. Su función es eliminar, mediante la operación de la compuerta, el material grueso y mantener limpio el sector frente a la rejilla.

**FIGURA 2.3: Partes de una bocatoma.**



Fuente: Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos de ANA (Autoridad Nacional del Agua).



- c. Perfil longitudinal del río, por lo menos 1000m, tanto aguas arriba como aguas abajo del eje del barraje; la escala recomendada es  $H = 1:2000$  Y  $V = 1:200$ .
- d. Secciones transversales del cauce del río a cada 50 m, en un tramo comprendido 1000 m, aguas arriba y 500 m, aguas abajo del eje del barraje; la escala variara entre 1:100 y 1:200.

### **Geológicas y Geotécnicas**

Es importante conocer las condiciones geomorfológicas, geológicas y geotécnicas, ya que su conocimiento permitirá dimensionar en mayor seguridad la estructura; por lo que se recomienda la obtención de los siguientes datos como resultado de los estudios geológicos – geotécnicos:

- a. Curva de graduación del material conformante del lecho del río.
- b. Sección transversal que muestre la geología de la zona de ubicación de la bocatoma.
- c. Coeficiente de permeabilidad.
- d. Capacidad portante
- e. Resultados sobre ensayos de hincado de pilotes ó tabla, estacas
- f. Cantidad de sedimento que transporta el río.

### **Información Hidrológica**

Es de suma importancia conocer el comportamiento hidrológico del río, ya que esto permitirá garantizar el caudal a derivar y así como definir el dimensionamiento de los elementos conformantes de la bocatoma.

Entre los datos a obtener son:

- a. Caudal del diseño para una avenida máxima.
- b. Caudales medios y mínimos.
- c. Curva de caudal versus tirante en la zona del barraje.

### **Condiciones Ecológicas**

Siempre toda construcción en un río causa alteración del equilibrio ecológico de la zona, sobre todo en lo relacionado con la fauna. Es por esta razón que, se debe tratar de no alterar dicho equilibrio mediante la construcción de estructuras que compensen este desequilibrio causado por la bocatoma; aunque debemos reconocer que, en nuestro país estas estructuras son de costo elevado y que siempre se tratan de obviar por limitaciones presupuestales; como por ejemplo la escalera de peces y camarones.

### **Otros**

En este grupo se puede incluir las limitaciones u obligaciones que se deben tener en cuenta para la construcción de la bocatoma; estas son de orden legal, ya que, mediante la bocatoma por efecto del remanso que se forma, podrían inundarse terrenos aledaños o construcciones anteriores (puentes, caminos, etc.).

Asimismo en algunos casos será necesario pedir autorización del Instituto Nacional de Cultura por la existencia de restos arqueológicos. Por este motivo, todo diseño se deberá ser previamente coordinado con todos los demás entes estatales y particulares que estén relacionados de alguna manera con el río donde se va a construir la bocatoma, con el fin de evitar duplicidad o generación de problemas en proyectos similares por la construcción de una estructura en el mismo cauce.

### 2.2.1.5. Obtención de caudales

El diseño de estructuras hidráulicas está íntimamente ligado al conocimiento de las descargas de un río; en el caso de bocatomas importa de manera especial la descarga máxima, el valor medio y los valores mínimos; así como la ley de probabilidad de ocurrencia de los mismos.

#### Uso de registros históricos

En este caso podemos observar la posibilidad de que se disponga de registros suficientes en la sección de interés para el diseño, o que la misma se halle a cierta distancia aguas arriba o abajo de la sección de control y por lo tanto muestre diferencias en cuanto a valores de descargas con relación a las disponibles. Como consecuencia de esta diferencia entre secciones existirá diferencias de valores debidos al aporte diferencial, pérdidas o usos de terceros.

#### Análisis de máximas avenidas

Se debe de contar con una serie de registros de 15 años a más y disponemos de un valor por cada año, luego ajustaremos a cualquiera de las funciones teóricas de probabilidad más conocida entre ellas:

- Gumbel
- Log - Pearson III
- Log - Normal II y III

#### Caudal medio

Curva de Duración: Muestra el porcentaje de tiempo que un especificado caudal fue igualado o excedido durante el periodo de análisis

#### Caudal mínimo

Curva de Frecuencias Empíricas: dada por la selección de los valores de Q tomando el mínimo valor de la serie caudal mínimo anual, ordenado en forma decreciente, que permite calcular la probabilidad de ocurrencia por métodos estadísticos.

### 2.2.1.6. Cálculo hidráulico de la toma o bocatoma

Comprende:

- a. Dimensión del orificio y conducto
- b. Determinación del gasto máximo que puede pasar por las compuertas
- c. Determinación de la capacidad del mecanismo elevador
- d. Diseño que une la transición que une la salida de la toma con el canal de riego

#### a) Dimensión del orificio y conducto

Para un mejor funcionamiento hidráulico de la bocatoma conviene que el orificio trabaje ahogado: sumergido y es recomendable que como mínimo se tenga un ahogamiento de 10 cm.; en estas condiciones la fórmula:

$$Q = CA\sqrt{2gh}$$

Donde:

Q = Gasto de derivación o gasto normal en la toma (m<sup>3</sup>/seg)

$C$  = Coeficiente de descarga ( $C = 0.80$ ) considerado para orificio ahogado en anteproyectos  
 $A$  = Área del orificio ( $m^2$ )  
 $g = 9.81 \text{ m/seg}^2$   
 $h$  = Carga del orificio en m.

Dependiendo de la magnitud del gasto, el área necesaria podrá dividirse en uno o más orificios y así será también el número de compuertas que se tenga en la toma.

**b) Determinación de las dimensiones y número de compuertas**

Se considera un  $h = 0.10\text{m}$  y se calcula el área para tener una idea de su valor. De acuerdo con este valor se podrá saber si conviene más de una compuerta y además seleccionar sus dimensiones usuales o comerciales, consultando los manuales.

$$A = Q / (C \sqrt{2gh})$$

Determinación de la carga del orificio

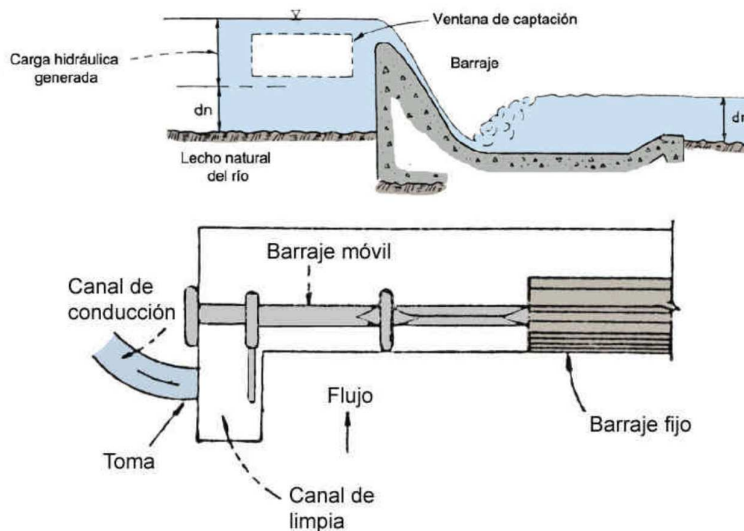
$$h = \frac{Q^2}{2C^2 A^2 g}$$

Otra forma: suponer una velocidad en el orificio:  
 $V = 0.50 - 1.00 \text{ m/seg.}$

Calcular el área correspondiente con la fórmula de la continuidad:  $Q = V \cdot A$   
 $A = Q / V$

**2.2.1.7. Diseño de bocatomas**

**FIGURA 2.6: Elementos de la bocatoma.**



Fuente: Diseño de Bocatomas del Ing. Alfredo Mansen Valderrama.

**a. Canal de limpia**

Es la estructura que se instala en las tomas con objeto de eliminar los sedimentos que se depositan al ingreso del bocal de toma y que permite mejorar la captación en las épocas de estiaje especialmente en ríos con gran variación de caudales como los de la costa peruana.

Su trazo es perpendicular al eje de barraje y su flujo en el mismo sentido del río; puede formar ángulos entre 60° y 90° con el eje de captación.

Para separar el canal de limpia del tramo de barraje fijo se construye un muro guía que permite encauzar mejor las aguas hacia el canal de limpia.

**Velocidad de arrastre**

La magnitud de la velocidad para iniciar el arrastre de los sólidos depositados viene dada por la fórmula:

$$V_c = 1.5 (C) (d)^{1/2} = 1.5 V_s$$

Donde:

V<sub>c</sub>: Velocidad requerida para iniciar el arrastre

C: Coeficiente en función del tipo de material

Arena y grava redondeada	:	3.2
Grava rectangular	:	3.9
Arena y grava	:	3.5 a 4.5

d: diámetro del grano mayor

V<sub>s</sub>: Velocidad de arrastre.

**Ancho de canal de limpia**

El ancho del canal de limpia debe tener las siguientes características:

- El caudal debe ser por lo menos del doble de la capacidad de la toma o derivar el caudal medio del río.
- La velocidad del agua en el canal de limpia debe variar entre 1.50 y 3.00 m/seg o por lo menos ser igual a la velocidad de arrastre.
- Se recomienda que su ancho sea un décimo de la longitud del barraje.

El ancho del canal de limpia se puede obtener de las relaciones siguientes:

$$B = \frac{Q}{q} \qquad q = \frac{(V_c)^3}{g}$$

Donde:

B: ancho del canal de limpia en m.

Q: caudal que discurre en el canal de limpia en m<sup>3</sup>/s

q: caudal por unidad de ancho m<sup>3</sup>/s/m

V<sub>c</sub>: velocidad de arrastre en m/s

g, aceleración de la gravedad m/s<sup>2</sup>

**Pendiente del canal de limpia**

La pendiente del canal de limpia debe permitir el arrastre de los materiales que arrastra el río, se calcula según la fórmula:

$$S_c = \frac{n \cdot g^{10/9}}{q^{2/9}}$$

Donde:

Sc: pendiente del canal de limpia

n: coeficiente de rugosidad de Manning

g: aceleración de la gravedad m/s<sup>2</sup>

q: descarga por unidad de ancho m<sup>3</sup>/s/ml

### Estructuras del canal de limpia

El canal de limpia o barraje móvil tiene generalmente un muro guía que separa el barraje fijo del móvil y permite encauzar mejor el flujo hacia el canal de limpia, y puede continuar hacia aguas abajo separando la poza de disipación en dos segmentos.

### Compuertas de limpia

Debiéndose mantener limpia de sedimentos transportados por el río la zona inmediata a la captación se debe dotar a la bocatoma de compuertas de limpia.

Criterios de dimensionamiento: Área de la sección transversal de la compuerta de limpia debajo de la corona de aliviadero varía de 1 a 2 veces el área de la ventana de captación.

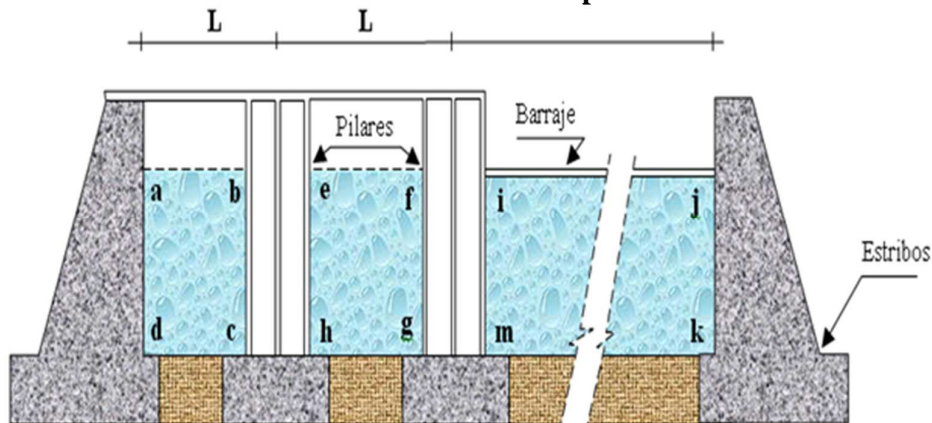
$A_{CL}$  : Área compuerta limpia

$$A_{CL} = (1 \text{ a } 2) A_{VC}$$

$A_{VC}$  : Área ventana captación

$$\text{Área } (\overline{abcd} + \overline{efgh}) = (1 \text{ a } 2) \text{ Área de la sección de toma de captación}$$

**FIGURA 2.7: Detalle de relación de área para dimensionamiento.**



Fuente: Diseño de Obras Hidráulicas de José Arbulú Ramos.

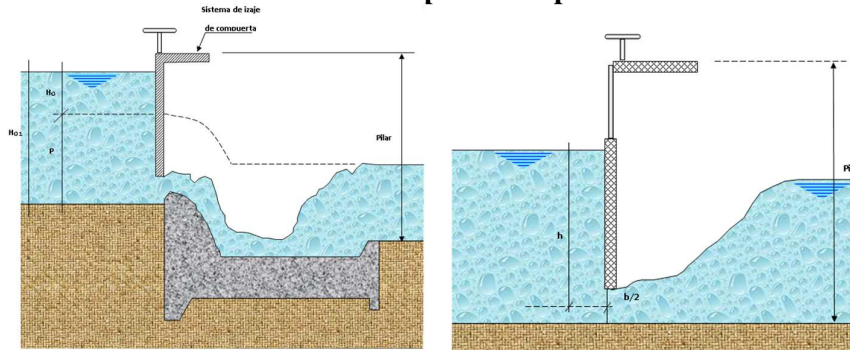
Área de la compuerta de limpia debajo de la cresta del aliviadero es 1/10 del área atajada por el aliviadero.

$$A_{CL} = 1/10 A_{AL} \quad A_{AL} : \text{Área atajada por el aliviadero}$$

$$\text{Área } (\overline{abcd} + \overline{efgh}) = 1/10 \text{ Área } (\overline{ijklm})$$

El tipo de compuerta puede ser de vagón o stoney, radiales y deslizantes.

**FIGURA 2.8: Tipo de compuertas.**



Fuente: Diseño de Obras Hidráulicas de José Arbulú Ramos.

**Caudal del canal de limpia**

Considerando que cada compuerta funciona como vertedero cuya altura  $P = 0$  tendremos

$$QL = CLH_{01}^{3/2}$$

$$H_{01} = P + H_0$$

$$L = L' - 2 (N.K_p + K_a) H_{01}$$

Para el nivel de agua en la cresta del aliviadero se verán las condiciones intermedias para el funcionamiento de la compuerta para diferentes gastos de salida por ella funcionando como orificio, no debiendo ser este menos de 0.10 m. debido a que las piedras arrastra el río pueden dañar el labio inferior de la compuerta.

Para el orificio se tendrá:

$$Q = C a b \sqrt{2 g h}$$

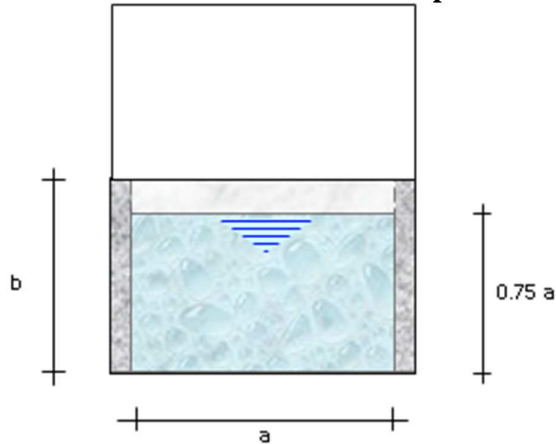
Siendo:

$h$  = Carga del orificio

$C = 0.75$  aprox.

$a, b$  = Dimensiones de la compuerta

**FIGURA 2.9: Canal de limpia.**



Fuente: Diseño de Obras Hidráulicas de José Arbulú Ramos.

Donde:

a : abertura de la compuerta

b : Altura del orificio en el canal desarenador.

$$A = Q/V$$

V = 2.5 – 4.00 m/seg (velocidad recomendable en algunos casos: 1.50 m/seg.)

#### **b. Pilares**

Son estructuras por las que se deslizan las compuertas. También sirven de apoyo a la losa de operación.

La Punta o Tajamar: Es de forma generalmente triangular o redondeada, para ofrecer la menor resistencia a la corriente.

#### **Altura del pilar**

Debe ser tal que en ningún momento el agua cubre los mecanismos de izaje o de losa de operación.

$$H_t = 1.25 (P + H_0)$$

Donde:

P = Altura del aliviadero sobre fondo del río.

H<sub>0</sub> = Carga de diseño.

#### Espesor

El espesor “e” del pilar para el predimensionamiento es:

$$e = L / 4 ; \quad L = \text{luz libre}$$

El pilar debe llevar dos ranuras. Una de ellas (la de más aguas arriba) sirve para colocar las ataguías que son compuertas provisionales que se colocan sólo en el caso de reparación o mantenimiento de las compuertas permanentes

#### **Análisis estructural del pilar**

- Debe trabajar a compresión (la resultante en el núcleo central); la situación más desfavorable es considerar cerrada una compuerta, actuando el empuje del agua en una de las caras del pilar.

El análisis debe hacerse para la máxima carga de aguas en el río y a diferentes alturas del pilar.

- Chequear la capacidad portante del terreno.
- Deslizamiento: Si es sólo una compuerta deberá considerarse la mitad del empuje sobre la compuerta que es transmitida a la ranura del pilar que actúa como apoyo.

Además se tiene el empuje del agua en la parte frontal del pilar.  
El análisis también debe hacerse para diferentes alturas y en la base.

- Colocar acero de temperatura en ambas caras, un detalle de refuerzo en las ranuras (aquí existe concentración de esfuerzos, siendo las zonas críticas porque debilitan el pilar).

### c. Ventana de captación

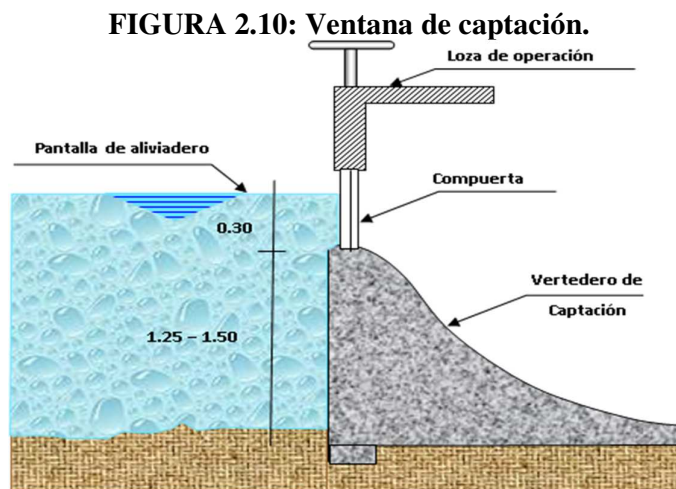
Para evitar la entrada de piedras de arrastre del fondo del río, la cresta de captación debe estar de (1.25 a 1.50) mínimo sobre el fondo del río. La cota de la cresta de captación se colocará a 0.30 m. debajo de la cota de la cresta del aliviadero de demasías.

La entrada de agua por las ventanas de captación puede ser por orificios o por vertederos.

#### La entrada por orificios

Se construye una pantalla como indica la siguiente figura de modo que la abertura del orificio sea de 0.35m.

Los 5 cm. de abertura adicional sobre la cresta del aliviadero de demasías es para evitar interferencia del flujo de la napa de agua para condiciones normales de operación de la bocatoma cuando la cota del embalse coincide con la cota de la cresta del aliviadero de demasías en este caso la captación es como VERTEDERO.



Fuente: Diseño de Obras Hidráulicas de José Arbulú Ramos.

En épocas de avenidas el agua en el embalse, sube por encima del labio superior del orificio y funcionando éste como tal.

En el caso de funcionar la captación siempre como vertedero, el control para épocas de avenidas máximas sería menos efectivo que en el caso del orificio ya que para igualdades de carga en el embalse, mayor cantidad de agua entra

a la captación por vertedero ya que la capacidad de un vertedero está en la relación a la carga  $H^{3/2}$  mientras un orificio lo es a la  $H^{1/2}$

Sin embargo cuando se quiere obtener dentro de ciertos límites la mayor captación posible, sobre todo en avenidas puede ser útil este caso, teniéndose compuertas tipo vertedero (compuerta de captación de la Bocatoma Raca Rumi – Proyecto Tinajones)

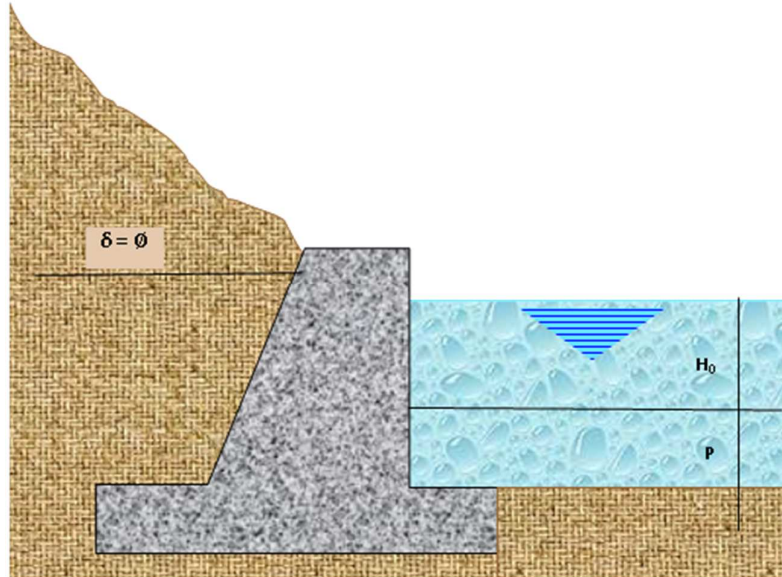
**d. Estribos y muros de encauzamiento**

Son estructuras que se construyen aguas arriba y aguas abajo del barrage en ambas márgenes con la finalidad de encauzar el flujo del río y proteger las obras de toma.

Los muros de encauzamiento pueden ser de concreto simple, concreto armado o ser diques construidos de tierra o de enrocamiento según los materiales que puedan conseguirse en zonas próximas a la toma.

Para fijar la altura de los muros se calcula la curva de remanso que se producirá como consecuencia de la implantación del barrage en el río, estos cálculos deben efectuarse en base a la avenida máxima de diseño y considerando un periodo de retorno apropiado.

**FIGURA 2.11: Muros de encauzamiento.**



Fuente: Diseño de Obras Hidráulicas de José Arbulú Ramos.

**Diseño de muros de encauzamiento (estribos)**

Altura total de estribos y muros de encauzamiento:

$$H = 1.25 (H_0 + p)$$

Donde:

H = altura total de los estribos y muros de encauzamiento

$P$  = altura del aliviadero de demasías.

$H_o$  =Carga hidráulica de diseño sobre el aliviadero (incluye  $h_v$ ).

Aguas arriba del aliviadero la altura, de los estribos decrecerá en forma discreta para los pilares.

#### Muros de Gravedad:

Concreto ciclópeo: Mampostería  $f'c = 140 \text{ Kg/cm}^2 + 40\%$  Piedra gruesa  
Diámetro  $\leq 4"$

- Resultante en el núcleo central
- Caso más desfavorable: no hay agua
- Fuerzas que actúan: empuje de tierras, sismo, peso de la estructura.
- El estribo debe terminar por lo menos al final de la poza y aguas arriba delante del paramento del aliviadero.
- Forma: trapezoidal.

Esfuerzos permisibles:

- Flexión :  $\Phi = 0.65$
- Compresión :  $\Phi = 0.70$
- Cortante :  $\Phi = 0.85$

Empuje del suelo:  $\mathbf{Pa = Ea = 0.5 W H^2 Ka}$

#### Estabilidad del muro:

Verificación esfuerzos en tracción en la unión del miembro y la base:

- No considerar  $P/A$  debido a  $P_{av}$  ni el peso del muro.
- Usar los momentos debido a  $P_{ah}$  y  $W$  y sumar momentos en el punto S.

### **2.2.2. CANALES**

Los canales artificiales son obras excavadas en el terreno, destinadas a transportar agua desde una fuente de origen hasta un lugar de destino, donde es consumida o utilizada. La condición que los caracteriza es que el escurrimiento se produce en superficie libre, sin presión. En estricto rigor, el concepto de canal incluye cauces naturales también.

Son de origen muy antiguo, utilizándose en numerosas aplicaciones, entre las que se pueden destacar: Agricultura, Generación de electricidad, Agua Potable (población rural y urbana), Industria y la Minería.

Geoméricamente son cuerpos prismáticos de gran longitud, a través de los cuales el agua fluye desde origen a destino de manera gravitacional, debido a la pendiente del fondo.

#### **2.2.2.1. Clasificación de los canales**

##### **a) Por la geometría de su sección transversal**

La sección transversal de los canales artificiales puede tener cualquier forma. Las más usuales para las aplicaciones antes descritas son: Rectangular, Trapezoidal, Triangulares, Circular, Herradura, Herradura modificada, Arco de

medio punto y para situaciones muy especiales pueden ser de sección parabólica, elíptica, o cualquiera que se desee.

**b) Por tipo de revestimiento**

Uno de los problemas que ocurren en los canales artificiales, es que un flujo de mucha velocidad produce erosión de los materiales en que está excavado. Por otra parte, si la velocidad es demasiado baja, aparte del mayor costo, se producen depósitos de los materiales que arrastra el agua y crecimiento de plantas parásitas; además se producen filtraciones. Para mitigar este problema se colocan láminas duras en las paredes y el fondo, llamadas revestimientos, cuyo objetivo es conseguir estabilidad de la geometría de la sección transversal y evitar además que se produzcan filtraciones.

Los revestimientos más usados son los siguientes: Hormigón simple o armado, Albañilería de piedra, Losetas prefabricadas, Madera, Hormigón proyectado, Láminas asfálticas y Láminas de polietileno de alta densidad, HDPE.

**c) Por condición de contorno**

Esta clasificación se refiere a la condición de clausura del entorno superficial del canal. Debe entenderse que el escurrimiento es siempre a superficie libre (en acueducto).

- Canales abiertos: son aquellos en que no existe una cobertura de su superficie libre. Son la mayoría de los casos.
- Canales cerrados: son aquellos en que existe una bóveda sobre la superficie libre. Habitualmente se les llama abovedados.

**2.2.3. BLUEKENUE**

Es una herramienta avanzada de preparación, análisis y visualización de datos para los modelistas hidráulicos. Proporciona un estado de interfaz de arte, integrando datos geoespaciales con datos de un modelo de entrada. BlueKenue ofrece la importación directa de los resultados al modelo Telemac-2D. Visualización en BlueKenue es proporcionada por dinámica 1D, Polar, 2D, 3D y vistas esféricas que pueden ser grabadas como películas digitales o guardadas como imágenes para su inclusión en los informes o presentaciones. Todas las vistas y datos son totalmente georreferenciadas y la conversión de las coordenadas entre las proyecciones comunes es compatible.

BlueKenue ofrece grilla rectangular y generación de la malla triangular. Los datos de entrada a los generadores de la grilla pueden incluir puntos, líneas o incluso otras redes regulares y triangulares. El generador de malla triangular permite al usuario especificar "puntos duros" y "break-líneas" que se conservan durante la creación del nodo / elemento. Controles de la animación permiten al usuario reproducir o de un solo paso hacia adelante o hacia atrás a través de un archivo de resultados. Series de tiempo puede ser extraído de cualquier punto del dominio del modelo.

#### **2.2.4. PARAVIEW**

ParaView es una aplicación de código abierto y multiplataforma de análisis y visualización de datos. Paraview es conocido y utilizado en muchas comunidades diferentes para analizar y visualizar conjuntos de datos científicos. Se puede utilizar para construir visualizaciones para analizar datos usando técnicas cualitativas y cuantitativas. La exploración de datos puede realizarse de forma interactiva en 3D o mediante programación utilizando las capacidades de procesamiento por lotes de ParaView.

ParaView fue desarrollado para analizar conjuntos de datos extremadamente grandes usando recursos de computación de memoria distribuida. Se puede ejecutar en supercomputadoras para analizar los conjuntos de datos de terascale, así como en las computadoras portátiles para los datos más pequeños.

ParaView es un marco de aplicación, así como una aplicación llave en mano. La base de código ParaView está diseñada de tal manera que todos sus componentes pueden ser reutilizados para desarrollar rápidamente aplicaciones verticales. Esta flexibilidad permite a los desarrolladores de ParaView desarrollar rápidamente aplicaciones que tengan funcionalidad específica para un dominio de problema específico.

Para ejecuciones paralelas en sistemas de paralelo y de un solo procesador de memoria distribuida y compartida. Se ha probado con éxito en Windows, MacOS, Linux, IBM Blue Gene, Cray Xt3 y varias estaciones de trabajo Unix, clusters y supercomputadoras. Bajo el capó, ParaView utiliza Visualization Toolkit (VTK) como el procesamiento de datos y el motor de renderizado y tiene una interfaz de usuario escrita utilizando Qt.

Los objetivos del equipo de ParaView incluyen lo siguiente:

- Desarrollar una aplicación de visualización de código abierto y multiplataforma.
- Apoyo a los modelos de computación distribuida para procesar grandes conjuntos de datos.
- Crear una interfaz de usuario abierta, flexible e intuitiva.
- Desarrollar una arquitectura extensible basada en estándares abiertos.

#### **2.2.5. TELEMAT 2D**

(Mensecal, 2012) Los diferentes módulos de simulación del sistema Telemac usan potentes algoritmos basados en los métodos de elementos finitos o volúmenes finitos. El espacio se discretiza en una rejilla 2D no estructurada de elementos triangulares, de modo que la rejilla de cálculo puede ser refinado localmente en áreas de interés.

El código Telemac-2D resuelve las ecuaciones de flujo de superficie libre de profundidad promedio tal como se deriva por primera vez por Barré de Saint-Venant en 1871. Los principales resultados en cada nodo de la de malla computacional son la profundidad del agua y los componentes de la velocidad de profundidad promedio. La principal aplicación de Telemac-2D es en superficie libre marítima o la hidráulica fluvial y el programa es capaz de tener en cuenta lo siguiente fenómenos:

- Propagación de ondas largas, incluidos los efectos no lineales.
- La fricción en el lecho.
- El efecto de la fuerza de Coriolis.

- Los efectos de los fenómenos meteorológicos, como la presión atmosférica y el viento.
- Turbulencia.
- Flujos supercríticos y subcríticos.
- Influencia de la temperatura y gradientes de salinidad horizontales sobre la densidad.
- Coordenadas cartesianas o esféricas de grandes dominios.
- Zonas secas en el campo computacional: planos de marea y llanuras de inundación.
- Arrastre y difusión de un trazador por las corrientes, incluidos términos de creación y desintegración.
- Seguimiento de partículas y el cálculo de las derivas de Lagrange.
- El tratamiento de singularidades: presas, diques, alcantarillas, etc.
- Saltos fuera del dique.
- La inclusión de las fuerzas de arrastre creadas por estructuras verticales.
- La inclusión de los fenómenos de porosidad.
- La inclusión de las corrientes inducidas por las olas (por vínculos transversales con los módulos de ARTEMIS y TOMAWAC).
- Acoplamiento con el transporte de sedimentos.
- Acoplamiento con herramientas de calidad del agua.

El software tiene muchos campos de aplicación. En el ámbito marítimo, en particular se puede hacer mención del dimensionamiento de las estructuras portuarias, el estudio de los efectos de la construcción de diques sumergibles o dragado, el impacto de los residuos de alta de un emisario de la costa o el estudio de los penachos térmicos. En las aplicaciones de los ríos, también se puede hacer mención de los estudios relacionados con el impacto de las obras de construcción (puentes, presas, espigones), roturas de presas, las inundaciones o el transporte de descomposición o trazadores no decadente. TELEMAT-2D también se ha utilizado para un número de aplicaciones especiales, tales como el estallido de depósitos industriales, avalanchas caer en un depósito, etc.

Telemac-2D fue desarrollado por el Laboratorio Nacional de Hidráulica y Medio Ambiente (Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement - LNHE) de la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Junta de Electricidad de Francia (EDF-I + D), en colaboración con otros institutos de investigación. Todos los módulos del sistema Telemac han sido fuente abierta desde julio de 2010 y se pueden descargar en la página web.

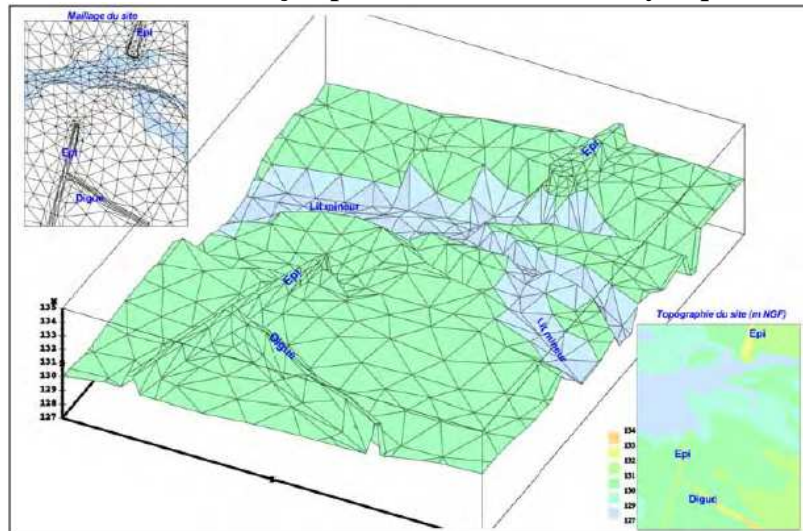
Al igual que las versiones anteriores del programa, la versión 6.0 cumple con los procedimientos de garantía de calidad del FED-de los programas científicos y técnicos.

Esto establece normas para el desarrollo y la comprobación de la calidad del producto en todas las etapas. En particular, un programa cubierto por procedimientos de garantía de calidad se acompaña de un documento de validación que describe el campo de la utilización del software y un conjunto de casos de prueba. Este documento se puede usar para determinar el rendimiento y las limitaciones del software y definir su campo de aplicación. Los casos de prueba también se utilizan para desarrollar el software y se comprueban cada vez que se producen nuevas versiones.

### 2.2.5.1. Característica específica del sistema TELEMAC: elementos finitos

La fuerza del modelado de elementos finitos reside en su caracterización completa de las principales magnitudes hidráulicas sobre la base de una representación del terreno natural que es fiel al modelo digital de terreno disponible. Este tipo de modelo implica una rejilla no estructurada que consiste en facetas triangulares en 3D de diferentes tamaños y formas construido como un modelo de terreno virtual.

**FIGURA 2.12: Ejemplo de una red de un río y diques.**

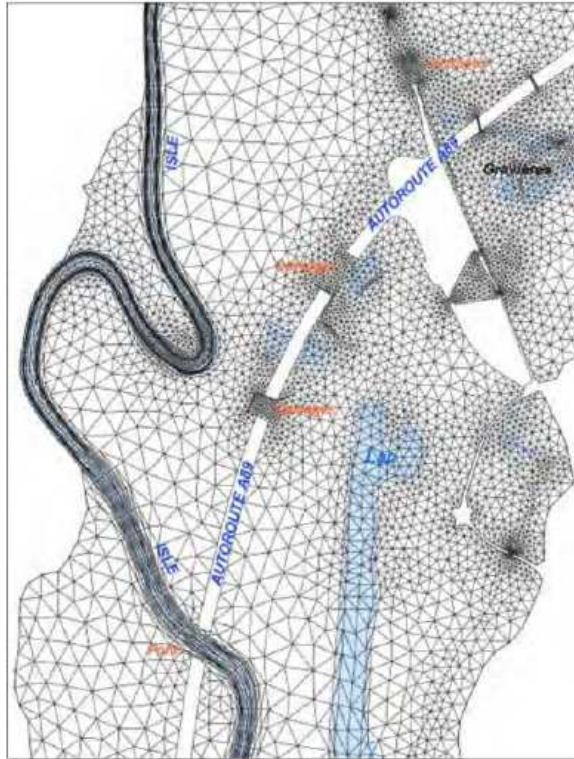


Fuente: Mensencal, 2012.

La punta de cada triángulo es un punto de cálculo se caracteriza por su planimetría (X, Y) y (Z) referencias altimétricas y por un coeficiente de rugosidad que representa el estado de la superficie del terreno.

El método de elementos finitos en que se basa Telemac, asociado con una rejilla de cálculo que consiste en facetas triangulares de diferentes tamaños y formas, permite que la topografía se descomponga de una manera adecuada y por lo tanto las complejas geometrías de la zona de estudio (terraplenes, baja -agua lecho de ríos serpenteantes, islas, estructuras, carreteras, calles, afluentes secundarios, etc.) que deben tenerse en cuenta. La cuadrícula se puede hacer más densas (y por lo tanto los resultados producidos por el modelo refinado) en áreas de interés especial, como alrededor de las estructuras de descarga, pilares de puentes y zonas sensibles.

**FIGURA 2.13: Malla del río Isla (Escocia).**



Fuente: Mensencal, 2012.

En términos de explotación actual, los modelos Telemac tienen la ventaja de procesamiento numérico: el uso de los resultados básicos, es posible calcular muchas otras magnitudes, como los cambios en el nivel del agua en cualquier punto en el modelo o en la descarga que fluyen a lo largo de un río, a través de una estructura o en una llanura de inundación, los cambios en los volúmenes almacenados en un lecho de agua de alta, o una evaluación de las trayectorias, etc.

A pesar de su aparente complejidad, este tipo de modelo produce un soporte de muy alta calidad para las evaluaciones hidráulicas en términos de análisis de los resultados y la comprensión de los fenómenos hidráulicos en la presencia de áreas de flujo complejas.

También sirve como un medio de comunicación en virtud de su representación extremadamente clara y la posibilidad de producir pantallas animadas.

#### **2.2.5.2. Aspectos teóricos**

El código Telemac-2D resuelve las siguientes cuatro ecuaciones hidrodinámicas simultáneamente:

Continuidad:

$$\frac{\delta h}{\delta t} + u \cdot \nabla(h) + h \operatorname{div}(u) = S_h$$

Momento a lo largo de x:

$$\frac{\delta u}{\delta t} + u \cdot \nabla(u) = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + S_x + \frac{1}{h} \text{div}(h v_t \nabla u)$$

Momento a lo largo de y:

$$\frac{\delta v}{\delta t} + u \cdot \nabla(v) = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + S_y + \frac{1}{h} \text{div}(h v_t \nabla v)$$

Conservación de indicadores:

$$\frac{\delta T}{\delta t} + u \cdot \nabla(T) = S_T + \frac{1}{h} \text{div}(h v_T \nabla T)$$

En donde:

h	(m)	profundidad del agua
u, v	(m/s)	componentes de velocidad
T	(g/l o C°)	indicador pasivo (no flotante)
g	(m/s <sup>2</sup> )	aceleración de la gravedad
v <sub>t</sub> , v <sub>T</sub>	(m <sup>2</sup> /s)	coeficientes de momento e indicadores de difusión
Z	(m)	elevación de superficie libre
t	(s)	tiempo
x, y	(m)	coordenadas espaciales horizontales
S <sub>h</sub>	(m/s)	fuelle o sumidero del disipador
S <sub>x</sub> , S <sub>y</sub>	(m/s <sup>2</sup> )	fuelle o condiciones del disipador en las ecuaciones dinámicas
S <sub>T</sub>	(g/l/s)	fuelle o disipador del indicador

h, u, v y T son las variables.

Las ecuaciones se dan aquí en coordenadas cartesianas. También pueden procesarse utilizando coordenadas esféricas.

S<sub>x</sub> y S<sub>y</sub> (m/s<sup>2</sup>) son términos fuente que representan el viento, la fuerza de Coriolis, la fricción del fondo, una fuente o un sumidero de momento dentro del dominio.

Los diferentes términos de estas ecuaciones se procesan en una o más etapas (en el caso de advección por el método de las características):

- advección de h, u, v y T.
- propagación, difusión y condiciones fuente de las ecuaciones dinámicas.
- difusión y condiciones de fuente de la ecuación de transporte del indicador.

Cualquiera de estos pasos se pueden saltar, y en este caso se resuelven diferentes ecuaciones. Además, cada una de las variables  $h$ ,  $u$ ,  $v$  y  $T$  pueden ser advectadas por separado. De esta manera es posible, por ejemplo, para resolver una advección de un indicador y la ecuación de difusión usando un campo de velocidad advección fijo.

La viscosidad turbulenta puede ser dada por el usuario o determinada por un modelo que simula el transporte de cantidades turbulentas  $k$  (energía cinética turbulenta) y Épsilon (disipación turbulenta), para los que las ecuaciones son las siguientes:

$$\frac{\partial K}{\partial t} + u \cdot \nabla(K) = \frac{1}{h} \operatorname{div} \left( h \frac{V_t}{\sigma_K} \nabla K \right) + P - \varepsilon + P_{KV}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u \cdot \nabla(\varepsilon) = \frac{1}{h} \operatorname{div} \left( h \frac{V_t}{\sigma_\varepsilon} \nabla \varepsilon \right) + \frac{\varepsilon}{K} (C_{1\varepsilon} P - C_{2\varepsilon} \varepsilon) + P_{\varepsilon V}$$

Las condiciones del lado derecho de estas ecuaciones representan la producción y la destrucción de cantidades turbulentas (energía y disipación).

### 2.2.5.3. Aplicaciones

El software tiene muchos campos de aplicación. En el ámbito marítimo, en particular se puede hacer mención del dimensionamiento de estructuras portuarias, el estudio de los efectos de la construcción de diques sumergibles o dragado, el impacto de los residuos de alta de un emisario de la costa o el estudio de plumas termales. En las aplicaciones de los ríos, también se puede hacer mención de los estudios relacionados con el impacto de las obras de construcción (puentes, presas, espigones), roturas de presas, las inundaciones o el transporte de descomposición o indicadores no decadentes.

Telemac-2D también se ha utilizado para un número de aplicaciones especiales, tales como el estallido de depósitos industriales, avalanchas caer en un depósito, etc.

### 2.2.6. Norma E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES. 2009. Perú: Reglamento Nacional de edificaciones

Esta Norma establece los requisitos, desde el punto de vista de la Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, para la ejecución de Estudios de Mecánica de Suelos (EMS), con fines de cimentación de edificaciones y otras obras indicadas en esta Norma. Los EMS se ejecutarán con la finalidad de asegurar la estabilidad de las obras y para promover la utilización racional de los recursos. Se aplica a los EMS para la cimentación de edificaciones y otras obras indicadas en esta Norma. Su obligatoriedad se reglamenta en esta misma Norma y su ámbito de aplicación comprende todo el territorio nacional.

Las exigencias de esta Norma se consideran mínimas. La presente Norma no toma en cuenta los fenómenos de geodinámica externa o en los casos que haya presunción de la existencia de ruinas arqueológicas; galerías u oquedades subterráneas de origen natural o artificial. En estos casos deberán efectuarse estudios específicamente orientados a confirmar y solucionar dichos problemas.

### **2.2.7. LEY GENERAL DEL AMBIENTE N° 28611**

La Ley General del Ambiente es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú.

Establece los principios y normas básicas que aseguren el efectivo ejercicio del derecho constitucional al ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida.

Asimismo, la Ley General del Ambiente regula el cumplimiento de las obligaciones vinculadas a la efectiva gestión ambiental, que implique la mejora de la calidad de vida de la población, el desarrollo sostenible de las actividades económicas, el mejoramiento del ambiente urbano y rural, así como la conservación del patrimonio natural del país, entre otros objetivos.

### **2.2.8. LEY DE RECURSOS HÍDRICOS N° 29338**

**Artículo 119.-** Programas de control de avenidas, desastres e inundaciones La Autoridad Nacional del Agua, conjuntamente con los Consejos de Cuenca respectivos, fomenta programas integrales de control de avenidas, desastres naturales o artificiales y prevención de daños por inundaciones o por otros impactos del agua y sus bienes asociados, promoviendo la coordinación de acciones estructurales, institucionales y operativas necesarias.

## **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **Aliviadero**

(ANA 2010).- Estas estructuras consisten en escotaduras que se hacen en la pared o talud del canal para controlar el caudal, evitándose posibles desbordes que podrían causar serios daños, por lo tanto, su ubicación se recomienda en todos aquellos lugares donde exista este peligro.

(Mansen, 2006, pág. 14-16).- Se usa para eliminar el caudal en exceso en la bocatoma y el tanque de carga regresándolo al curso natural.

### **Bocatomas**

(Rocha 2003, pág. 2).- Estructuras hidráulicas construidas sobre un río o canal con el objeto de captar, es decir, extraer una parte o la totalidad del caudal de la corriente principal. El éxito de una obra hidráulica depende básicamente de una buena y eficaz obra de toma o captación del agua.

### **Canal**

(Mansen, 2006, pág. 10).- Cauce artificial de agua, son conductos abiertos por donde circula el agua de un lugar a otro.

### **Caudal**

(UNSCH, 2003, pág. 2).- Cantidad de agua que circula por un conducto abierto o cerrado.

### **Desarenador**

(ANA 2010).- Son obras hidráulicas que sirven para separar (decantar) y remover (evacuar) después, el material sólido que lleva el agua de un canal.

(Rocha 2003, pág. 5).- Es un tanque de mayor dimensión a la obra de conducción en el que las partículas en suspensión pierden velocidad y son decantadas, cayendo al fondo.

### **Estudios de Mecánica de Suelos**

(RNE E.050.2012).- Conjunto de exploraciones e investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y análisis de gabinete que tienen por objeto estudiar el comportamiento de los suelos y sus respuestas ante las sollicitaciones estáticas y dinámicas de una edificación.

### **Precipitación**

(RNE OS.060.2012).- Fenómeno atmosférico que consiste en el aporte de agua a la tierra en forma de lluvia, llovizno, nieve o granizo.

### **Sedimentación**

(Rocha 2003, pág. 8).- es el proceso por el cual el sedimento en movimiento se deposita. Un tipo común de sedimentación ocurre cuando el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo de un río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin.

### **Vertedero**

(UNSCH 2003, pág. 7-8).- son barreras que permiten el paso del agua por rebose al alcanzar la superficie de esta un determinado nivel.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. DISEÑO METODOLÓGICO**

##### **3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

De acuerdo al diseño de investigación es descriptiva, la recolección de datos basado en la teoría existente, ha permitido sustentar las bases teóricas científicas y antecedentes, mediante consultas a: fuentes bibliográficas, libros, revistas, documentos, fuentes informáticas e internet.

Según el fin que persigue es aplicativa, se desarrolló en la cuenca Chóchope ubicados en distrito de Chóchope, provincia de Lambayeque, región Lambayeque. Se mantuvo una relación directa con el personal encargado del manejo del recurso hídrico y con las entidades encargadas del valle Motupe-Olmos-La Leche que son: ANA Motupe-Olmos-La Leche, Junta de Usuarios Sector menor Motupe y Comisión de usuarios sub sector hidráulico Chóchope. Además se mejorará con la aplicación del software TELEMAC 2D.

##### **3.1.2. HIPÓTESIS**

El diseño y modelamiento hidráulico de la bocatoma El Pueblo del distrito de Chóchope, provincia de Lambayeque departamento de Lambayeque, utilizando el modelo numérico TELEMAC-2D permitirá evaluar alternativas preventivas y correctivas para la estructura y obtener resultados a detalle de diferentes parámetros que ayudarán a conocer el comportamiento hidráulico de la bocatoma

##### **3.1.3. DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS**

El diseño de contrastación de la hipótesis es de tipo aplicada y científica, a través de esto se logrará obtener una estructura hidráulica que funcione de manera adecuada siendo verificada a través del modelo numérico TELEMAC-2D.

##### **3.1.4. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN**

Para este proyecto se plantearon variables independientes y dependientes, cuya operacionalización determina las características de cada una de ellas.

**Variable independiente:** Diseño de la bocatoma.

**Variables dependientes:** Bocatoma, Modelamiento hidráulico.

##### **3.1.5. POBLACIÓN Y MUESTRA**

Se establecerán los parámetros correspondientes a este acápite luego de identificar y describir las características de la zona y del proyecto mismo, constituido por el área del proyecto y el entorno en el cual se desarrollará, siendo el distrito Chóchope y los sectores de Sonolipe, El Papayo y Cerro La Vieja.

##### **3.1.6. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

###### **3.1.6.1. MÉTODOS**

- **METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE POBLACIÓN FUTURA**

En el presente proyecto de investigación, se tomó la población del Censo 2007 realizado por el INEI, con el cual se proyectó la población futura mediante cálculos estadísticos.

- **METODOLOGÍA PARA LA EJECUCIÓN DE ENSAYOS**  
Calicatas: El muestro de suelos para fines de Cimentación, se realizara según la norma E.050 Suelos y Cimentaciones.
- **METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA BOCATOMA**  
Para el diseño hidráulico de la bocatoma se tomó información meteorológica e hidrológica del SENAMHI, con el cual se calculó el caudal necesario mediante cálculos estadísticos.
- **METODOLOGÍA PARA EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO**  
Para el modelamiento hidráulico de la bocatoma que se realizará con el modelo numérico TELEMAC 2D se tomó información de la bocatoma, la topografía realizada a la zona y el diseño hidráulico establecido, el caudal de diseño y parámetros de la cuenca.

### 3.1.6.2. TÉCNICAS

- La Observación: Mediante las visitas a la zona de estudio, para la recolección de toda la información necesaria que permitan la elaboración pertinente del proyecto.
- Análisis de Contenido: Interpretando la información obtenida en las diferentes fuentes bibliográficas. Ensayos en laboratorio especializado, para obtener las características del suelo del área del proyecto.

### 3.1.6.3. FUENTES

- Reglamento Nacional de Edificaciones E.050. Suelos y Cimentaciones.
- Reglamento Nacional de Edificaciones E.060. Concreto Armado.
- Bibliografía.

### 3.1.6.4. INSTRUMENTOS

- **LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

Ensayo de Humedad: Ensayo se realizará según norma técnica peruana NTP 339.127 (ASTM D2216).

Equipos: Horno de Secado, Taras, Cucharas, Espátulas, Balanza.

Unidad: %

Ensayo de Granulometría: Ensayo se realizará según norma técnica peruana NTP 339.128 (ASTM D422).

Equipos: Tamices, Balanza, Horno, Pala, Cucharas, Agregados.

Unidad: %

Ensayo de Límite Plástico y Líquido: Ensayo se realizará según norma técnica peruana NTP 339.129 (ASTM D4318).

Equipos: Horno de Secado, Taras, Cucharas, Espátulas, Balanza, Copa Casagrande, Ranurador, Calibrador, Superficie de Rodadura.

Unidad: %

Ensayo de Peso específico relativo de sólidos: Ensayo se realizará según norma técnica peruana NTP 339.131 (ASTM D854).

Equipos: Fiola, Taras, Cucharas, Espátulas, Balanza, Agua destilada, Pipeta, Cocina Eléctrica, Termómetro.

Unidad: g/cm<sup>3</sup>.

Ensayo Corte Directo: Ensayo se realizará según norma (ASTM D3083).

Equipos: Equipo de Corte Directo, Taras, Cucharas, Espátulas, Balanza, Agua destilada, Tallador, Caja de Corte, Horno de Secado.

Unidad: Kg/cm<sup>2</sup>.

Ensayo Sales Solubles Totales: Ensayo se realizará según norma técnica peruana NTP 339.152.

Equipos: Taras, Cucharas, Espátulas, Balanza, Agua destilada, Cocina Eléctrica, Horno de Secado.

Unidad: %.

- **INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS**

Estación total, Prismas, GPS, Brújula, Wincha.

- **PROGRAMAS DE CÓMPUTO Y/O DE INGENIERÍA**

AutoCAD, Hec-hms, Telemac 2D, Bluekenue, Paraview, Microsoft Office: Excel, Word, Power Point.

### **3.1.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS**

#### **FASE I:**

1. Efectuar coordinaciones con las autoridades locales competentes.
2. Visita a la zona de estudio.
3. Recolección de información bibliográfica y antecedentes del proyecto.
4. Revisión de la normativa nacional vigente y alineación de la información.

#### **FASE II:**

5. Estudio Hidrológico.
6. Evaluar la calidad del agua.
7. Estudio Topográfico en la zona del proyecto.
8. Elaboración de Planos Topográficos del área del proyecto.
9. Toma de Muestras y Análisis de Ensayos de Mecánica de Suelos.

#### **FASE III:**

10. Diseño de las Obras de captación.
11. Elaboración de Memorias Descriptivas y Memorias de Cálculo.
12. Elaboración de Planos del Proyecto.
13. Elaboración del modelamiento hidráulico en TELEMAC 2D

#### **FASE IV:**

14. Evaluación de Análisis y Resultados.
15. Elaboración de Conclusiones y Recomendaciones.

## **3.2. METODOLOGÍA**

La metodología utilizada en este proyecto, es la siguiente:

### **3.2.1. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS**

El estudio topográfico se realiza con el objetivo de obtener las características superficiales (taquimetría y altimetría) del terreno en el cual se construirá la bocatoma.

Se realizó en el río Chóchope, se ha empleado la medición longitudinal, utilizando instrumentos como: wincha, estación total, trípode, estacas, prismas, equipos de radiocomunicación.

Para realizar el levantamiento topográfico se ubicaron puntos estratégicos con la cual se formó una poligonal abierta de 07 lados esta fue señalada sobre el terreno en cada uno de los vértices.

Todos los datos que se obtuvieron en campo fueron grabados en la memoria interna de la estación total para facilitar el procesamiento de datos; posteriormente pasamos a colocar el prisma en puntos estratégicos que se puede ver desde el vértice más cercano y así poder encontrar las distancias recorridas y los puntos visados.

#### **3.2.1.1. UBICACIÓN**

DEPARTAMENTO :	Lambayeque.
PROVINCIA :	Lambayeque.
DISTRITO :	Chóchope.
UBICACIÓN :	Río Chóchope.

#### **3.2.1.2. DESCRIPCIÓN DEL TERRENO**

El terreno donde se trabajó presenta relieve plano y por otros relieves moderados, con vegetación (sembríos de maíz, mango, limón, maracuyá, naranja).

#### **3.2.1.3. EQUIPOS UTILIZADOS**

- ✓ 01 wincha
- ✓ 01 estación total
- ✓ 01 GPS
- ✓ 01 trípode
- ✓ 04 prismas
- ✓ Pintura
- ✓ 04 estacas
- ✓ 02 equipos de radiocomunicación

#### **3.2.1.4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA ESTACIÓN TOTAL**

Se realizó un levantamiento topográfico de la zona de estudio, en la que se usó una estación total marca SOKKIS modelo SET-550RX.

Es capaz de medir hasta 4.000 metros con un prisma estándar, y pueden medir en modo sin prisma hasta 500m a una increíble precisión de 3mm +2ppm.

Las mediciones se llevan a cabo más rápido que nunca, y a 15 mm (más de 30 m), el láser de color rojo brillante detecta los puntos con facilidad.

MODELO:	SET-550RX
<u>MEDICIÓN DE ÁNGULOS</u>	
Precisión:	5"
Método de lectura:	Absoluto
Compensación:	Compensador de doble eje
<u>TELESCOPIO</u>	
Longitud:	171 mm
Diámetro del objetivo:	45 mm
Aumento de lente:	30 X
Imagen:	Recta
Campo visual:	1°30' (26m/1,000m)
Distancia min de enfoque:	1.3 mm
<u>MEDICIÓN DE DISTANCIAS: MODO PRISMA</u>	
01 Prisma:	4,000 mts.
03 Prismas:	5,000 mts.
Precisión de medida:	(2+2ppm x D) mm
<u>TIEMPO DE MEDICIÓN</u>	
Grueso:	0.9 seg.
Fino:	0.3 seg.
Continuo:	0.7 seg.
<u>DISPLAY</u>	
Pantalla:	Monocromática
Tipo de pantalla:	LCD
Tipo de teclado:	Alfa - numérico
<u>TIEMPO DE TRABAJO</u>	
Almacenamiento:	10,000 pts
Incluyendo la medición:	EDM
Medición de ángulos:	36 horas aprox.
Tiempo de recarga:	2 a 3 horas
Tipo de batería:	Batería Recargable Li-ion
<u>INTERFASE: BAJADA DE DATA</u>	
Cable USB:	Sí
Memoria USB:	Sí (Hasta 8Gb)
Bluetooth (sin cable):	Sí
<u>ESPECIFICACIONES FÍSICAS</u>	
Plomada óptica:	Sí
Plomada laser:	Opcional
Peso incluido la batería:	5.6 Kg.
Protección:	IP66 (IEC 60529:2001)
Rango de temperatura:	-20 °C a +50 °C

### 3.2.1.5. TRABAJO DE CAMPO

- ✓ Se realizó el reconocimiento del terreno tanto en el margen izquierdo del río Chóchope como en la margen derecho de este.
- ✓ Para el levantamiento topográfico se estableció los puntos de la poligonal, que sirvió de apoyo para el levantamiento. Se colocó un punto en el terreno, en la cual se pudo visualizar la mayor cantidad de puntos para el levantamiento.
- ✓ Se empleó 01 Estación Total marca SOKKIS modelo SET-550RX, con precisión de 5", 04 primas, 02 equipos de radiocomunicación.

- ✓ Colocamos la estación sobre el punto marcado y empezamos a tomar los puntos en la estación, tomando en cuenta los primas.
- ✓ Con los demás puntos marcados se realizó el mismo procedimiento.

### **3.2.1.6. TRABAJO DE GABINETE**

Terminado el trabajo en campo, se descargó los puntos de la memoria interna de la estación total y se procedió al procesamiento de la información topográfica en el software AutoCAD Civil 3D 2015, elaborando planos topográficos a escala, perfiles longitudinales y secciones transversales, curvas de nivel al metro a escala conveniente. (Ver Anexo N°01)

### **3.2.2. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

El estudio de mecánica de suelos, sirve para determinar el conjunto de características que nos permitirán obtener una concepción razonable del comportamiento mecánico del suelo que vamos a estudiar.

La extracción de muestras de suelo se realizó una a cada lado del margen del río Chóchope, Los ensayos se realizaron en el laboratorio de suelos.

#### **3.2.2.1. EQUIPOS UTILIZADOS**

- ✓ 01 retroexcavadora
- ✓ 01 wincha de mano
- ✓ 01 gps
- ✓ 01 palana

#### **3.2.2.2. INVESTIGACIÓN DE CAMPO**

Para la realización de la investigación geotécnica se ha realizado 03 exploraciones a cielo abierto (03 calicatas), la primera fue al margen izquierdo del río Chóchope, la segunda al margen derecho del río Chóchope, entre 0.00m a 3.00m de profundidad y la tercera se realizó cerca al canal existente donde se proyecta el desarenador, para la tercera calicata se profundizó hasta 2.5m bajo en nivel de terreno natural.

En cada sondaje se ha obtenido muestras de suelo, las cuales fueron descritas visualmente de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 399, 150 (ASTDM D2488), registrando el perfil estratigráfico del suelo en campo; así mismo, se ha tomado muestras de suelo tipo Mab en bolsas de plástico y en estado alterado e inalterada (Mit).

#### **3.2.2.3. TRABAJO DE LABORATORIO**

Con las muestras adquiridas en la investigación de campo, se ha realizado los ensayos de cada una de las muestras de suelo, con el objetivo de obtener las características y propiedades del suelo. Los ensayos bajo la NTP 339 del Reglamento Nacional de Edificaciones son las siguientes:

- ✓ Contenido de humedad (NTP 339.127) (ASTM D2216)
- ✓ Análisis Granulométrico (NTP 339.128) (ASTM D422)
- ✓ Límite líquido y límite plástico (NTP 339.129) (ASTM D4318)
- ✓ Peso específico relativo de sólidos (NTP 339.131) (ASTM D854)
- ✓ Clasificación unificada de suelos (SUCS) (NTP 339.134) (ASTM D2487)
- ✓ Contenido de sales solubles totales en suelos y agua subterránea (NTP 339.152) (BS 1377)

- ✓ Contenido de cloruros solubles en suelos y agua subterránea (NTP339.177) (AASHTO T291)
- ✓ Contenido de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea (NTP 339.178) (AASHTO T290)

Se obtuvieron 08 muestras de suelo, los ensayos mencionados anteriormente se realizaron el en laboratorio según norma.

#### **3.2.2.4. PERFIL ESTRATIGRÁFICO**

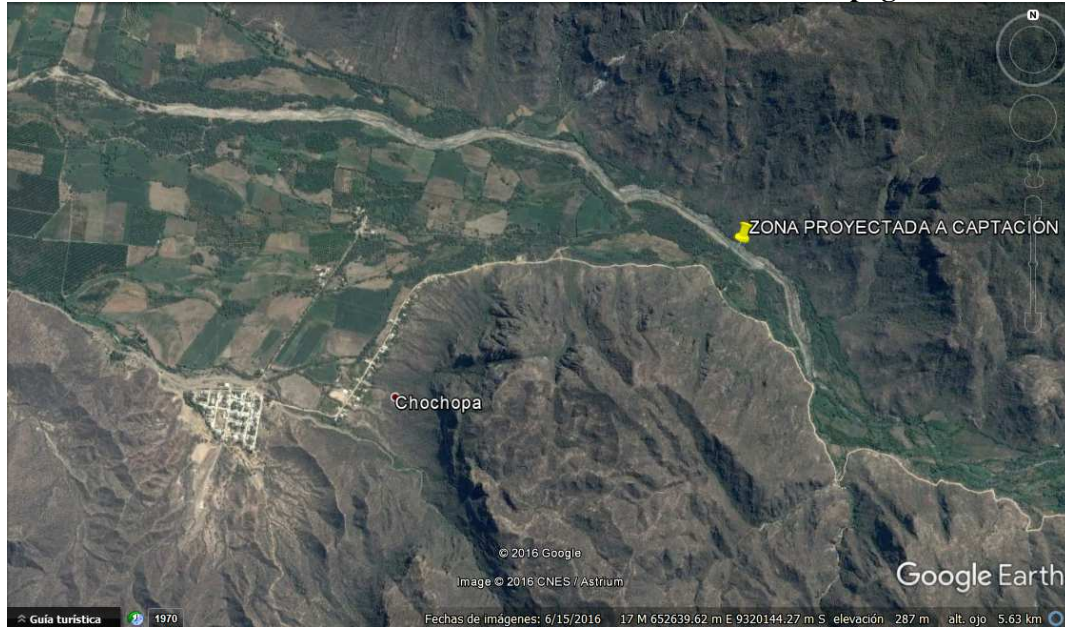
Es el que se realiza a partir de datos de calicatas (excavaciones) del terreno que muestran el suelo que conforma la columna estratigráfica, mediante los cuales se poder construir la estratigrafía del subsuelo. Con los datos obtenidos en campo y en laboratorio se han elaborado los perfiles estratigráficos de cada una de las calicatas realizadas.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. ESTUDIOS DE TOPOGRAFÍA

#### 4.1.1. UBICACIÓN

**FIGURA 4.1: Ubicación del terreno donde se realizó la topografía.**



Fuente: Google Earth.

#### 4.1.2. TRABAJO DE GABINETE

Ver anexo N°01

**TABLA 4.1: Estaciones de poligonal.**

COORDENADAS DE POLIGONAL DE ESTACIONES			
ESTACIÓN	NORTE	ESTE	COTA
BM - OFICIAL	643695	9319081	132.63
BM - BOCATOMA	652476.87	9320055.98	272.79
E1	652480.284	9320053.53	272.64
E2	652585.074	9320043.35	272.419
E3	652631.567	9319966.39	276.98
E4	652778.097	9319930.96	279.774
E5	652851.77	9319812.44	284.899
E6	652779.451	9319709.37	285.291
E7	652355.037	9320151.65	272.169
E8	652149.28	9320278.65	266.669

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS

### 4.2.1. UBICACIÓN DE EXPLORACIONES

FIGURA 4.2: Ubicación de calicatas.



Fuente: Elaboración propia.

### 4.2.2. TRABAJO DE LABORATORIO

#### 4.2.2.1. Contenido de Humedad

Se presentan los resultados del ensayo de Contenido de Humedad, realizados según norma NTP 339.127, basado en la Norma ASTM D 2216.

TABLA 4.2

CONTENIDO DE HUMEDAD			
MUESTRA	C-1	C-2	C-3
M-1	9.5	5.4	3.30
M-2	9.0	4.6	3.18

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2.2. Límite Líquido

Se presentan los resultados del ensayo para la determinación de Limite Liquido, realizados según norma NTP 339.129, basado en la Norma ASTM D 4318.

TABLA 4.3

LÍMITE LÍQUIDO			
MUESTRA	C-1	C-2	C-3
M-1	NP	NP	21.20
M-2	NP	NP	19.63

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2.3. Límite Plástico

Se presentan los resultados del ensayo para la determinación de Limite Plástico, realizados según norma NTP 339.129, basado en la Norma ASTM D 4318.

TABLA 4.4

LÍMITE PLÁSTICO			
MUESTRA	C-1	C-2	C-3
M-1	NP	NP	11.46
M-2	NP	NP	13.38

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2.4. Índice de Plasticidad

Se presentan los resultados del ensayo para la determinación de Índice de Plasticidad, realizados según norma NTP 339.129, basado en la Norma ASTM D 4318.

**TABLA 4.5**

ÍNDICE DE PLASTICIDAD			
MUESTRA	C-1	C-2	C-3
M-1	NP	NP	9.74
M-2	NP	NP	6.25

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2.5. Peso Específico Relativo de Sólidos

Se presentan los resultados del ensayo para la determinación de Peso Específico Relativo de Sólidos, realizados según norma NTP 339.131, basada en la Norma ASTM D 854.

**TABLA 4.6**

PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS			
MUESTRA	C-1	C-2	C-3
M-1	2.748	2.559	2.457
M-2	2.737	2.612	2.564

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2.6. Contenido de Sales Solubles Totales en Suelos

Se presentan los resultados del ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos, realizados según norma NTP 339.152 basado en la Norma BS1377.

**TABLA 4.7**

CONTENIDO DE SALES SOLUBLES TOTALES (%)			
MUESTRA	C-1	C-2	C-3
M-1	0.050	0.050	0.050
M-2	0.050	0.100	0.050

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2.7. Contenido de Cloruros Solubles en Suelos

Se presentan los resultados del ensayo normalizado para la determinación del contenido de Cloruros solubles en suelos, realizados según norma NTP 339.177 basado en la Norma AASHTO T291.

**TABLA 4.8**

CONTENIDO DE CLORUROS SOLUBLES (%)			
MUESTRA	C-1	C-2	C-3
M-1	--	---	---
M-2	0.0172	0.0137	0.0110

Fuente: Ensayo realizado en Laboratorio FERMATI.

#### 4.2.2.8. Contenido de Sulfatos Solubles en Suelos

Se presentan los resultados del ensayo normalizado para la determinación del contenido de sulfatos en suelos, realizados según norma NTP 339.1798 basado en la Norma AASHTO T290.

**TABLA 4.9**

<b>CONTENIDO DE SULFATOS SOLUBLES (%)</b>			
<b>MUESTRA</b>	<b>C-1</b>	<b>C-2</b>	<b>C-3</b>
M-1	--	---	---
M-2	0.164	0.107	0.1020

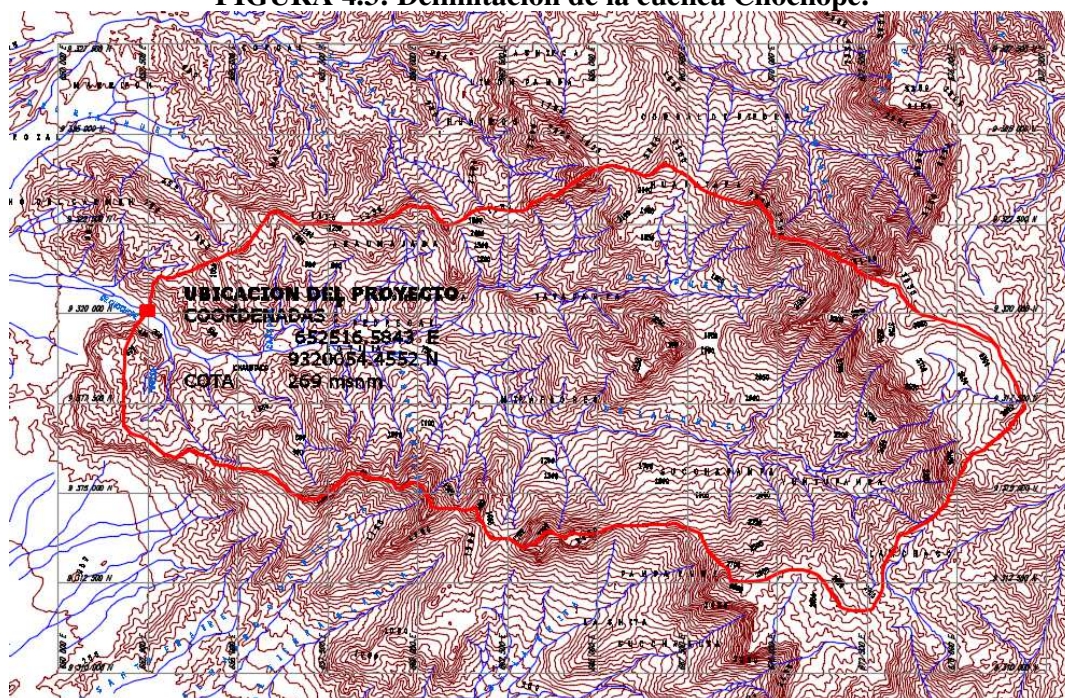
Fuente: Ensayo realizado en Laboratorio FERMATI.

**4.2.3. PERFIL ESTRATIGRÁFICO:**  
Ver Anexo 02.

**4.3. ESTUDIO HIDROLÓGICO**

**4.3.1. DELIMITACIÓN DE CUENCA**

**FIGURA 4.3: Delimitación de la cuenca Chóchope.**



Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.3.2. PARÁMETROS DE LA CUENCA

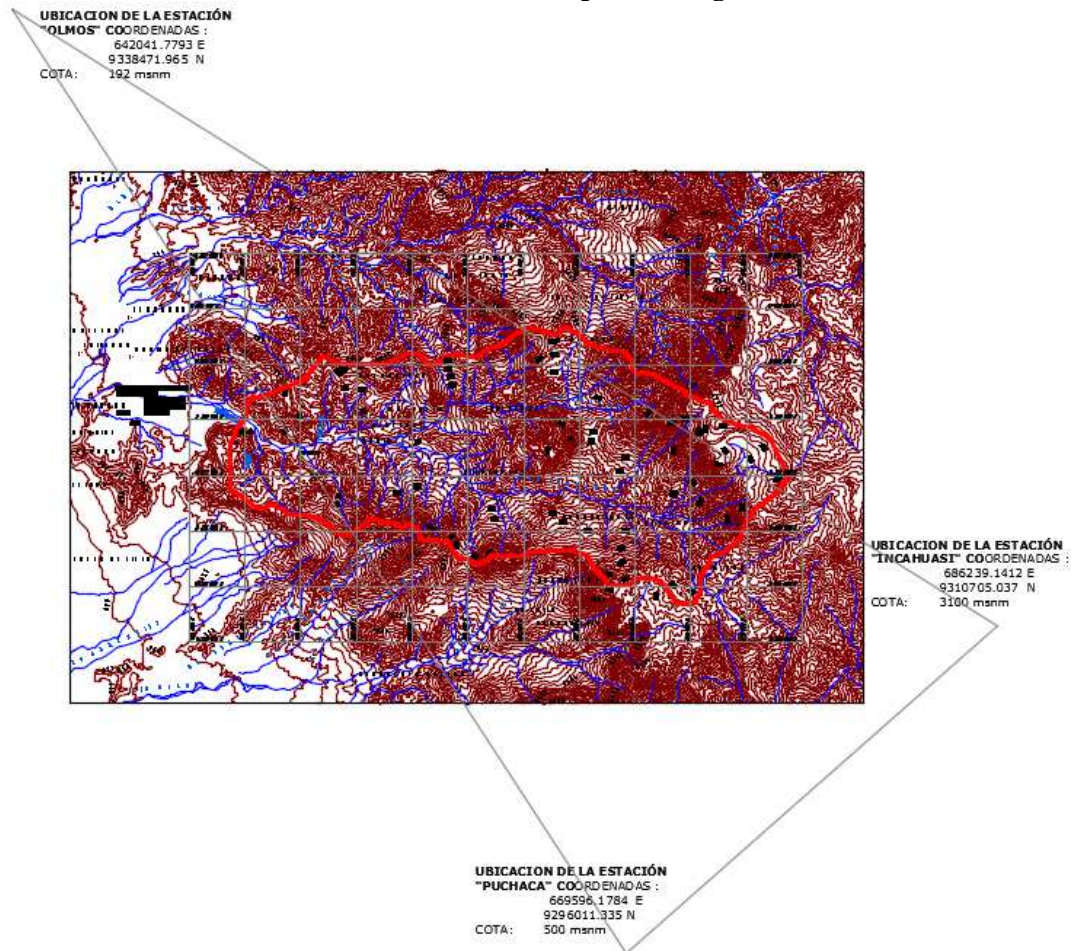
TABLA 4.10

<b>RESUMEN DE PARÁMETROS DE LA CUENCA</b>		
<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>VALOR</b>
<b>De la Superficie</b>		
Área de la sub cuenca	km <sup>2</sup>	191.036
Perímetro de la sub cuenca	km	65.714
<b>Cotas</b>		
Cota máxima	m.s.n.m	3850.000
Cota mínima	m.s.n.m	269.000
<b>Altitud</b>		
Altura promedio de la sub cuenca	m.s.n.m	1790.50
<b>Pendiente</b>		
Pendiente media de la cuenca	m/m	0.49
<b>De la Red Hídrica</b>		
Orden de la red hídrica	und	3
Longitud de la cuenca	km	24.43
Longitud del cauce principal	km	27.465
Pendiente del cauce principal	%	13.04
longitud de la red hídrica	km	183.106
<b>Aspectos Morfológicos de la Cuenca</b>		
Factor de forma Kf	adimensional	0.253
Coeficiente de compacidad	adimensional	1.331

Fuente: Elaboración Propia.

### 4.3.3. TRIANGULACIÓN DE THIESSEN

**FIGURA 4.4: Ubicación de estaciones para triangulación de Thiessen.**



Fuente: Elaboración propia.

Áreas del triángulo de Thiessen	
Estación Incahuasi:	96576627.17 m <sup>2</sup>
Estación Olmos:	40767003.07 m <sup>2</sup>
Estación Puchaca:	53692343.04 m <sup>2</sup>

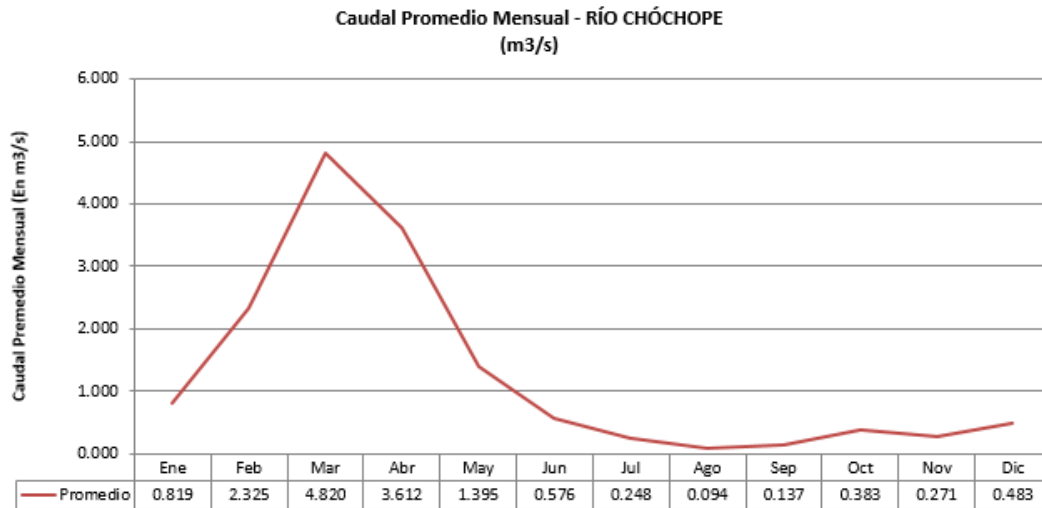
#### 4.3.4. CAUDALES MEDIOS MENSUALES

TABLA 4.11

CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES														
Generados por el Método de Lutz - Scholz														
Rio/Quebrada:	RIO CHOCHOPE												Area	191.04 km2
UND.	m3/s													
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	
1966	0.56	1.16	3.79	2.33	1.13	0.20	0.00	0.00	0.29	0.41	0.28	0.07	10.21	
1967	0.95	2.52	3.49	2.42	0.95	0.34	0.78	0.22	0.05	0.13	0.14	0.32	12.29	
1970	0.60	1.43	3.25	2.42	1.88	0.42	0.02	0.00	0.22	0.50	0.39	0.40	11.55	
1975	0.41	2.59	6.52	3.51	1.04	0.95	0.08	0.30	0.03	0.80	0.32	0.11	16.66	
1976	1.36	2.12	2.93	2.72	1.08	0.58	0.17	0.04	0.04	0.14	0.11	0.09	11.39	
1977	0.52	1.82	5.08	2.72	0.76	0.62	0.05	0.00	0.00	0.17	0.11	0.15	12.00	
1978	0.32	1.17	4.52	2.18	1.31	0.34	0.43	0.05	0.00	0.15	0.07	0.35	10.89	
1979	0.59	1.26	4.69	2.48	1.05	0.19	0.00	0.05	0.30	0.23	0.14	0.37	11.35	
1981	0.37	2.05	4.89	2.40	0.62	0.48	0.39	0.01	0.00	0.26	0.24	0.67	12.39	
1982	0.42	1.77	3.08	3.58	0.92	0.19	0.27	0.01	0.00	0.31	0.17	0.82	11.54	
1983	1.91	1.99	9.97	12.93	6.71	1.21	0.07	0.14	0.03	0.41	0.15	0.76	36.30	
1984	0.16	4.03	4.95	2.48	0.98	0.82	0.14	0.00	0.07	0.49	0.11	0.72	14.94	
1985	0.36	1.70	3.53	3.46	1.16	0.81	0.39	0.18	0.10	0.34	0.09	0.45	12.55	
1986	0.39	1.66	3.71	4.72	0.81	0.65	0.25	0.13	0.02	0.22	0.21	0.56	13.32	
1987	0.81	1.57	4.40	3.63	1.36	0.69	0.21	0.20	0.04	0.24	0.25	0.47	13.88	
1988	0.74	2.28	3.14	3.93	1.24	0.89	0.00	0.21	0.12	0.36	0.44	0.49	13.84	
1989	0.73	2.38	6.00	2.66	0.99	1.04	0.32	0.06	0.23	0.36	0.48	0.43	15.68	
1990	1.20	1.56	3.11	2.47	1.02	1.00	0.59	0.00	0.00	0.51	0.42	0.25	12.14	
1991	0.93	1.79	3.02	3.40	0.64	0.74	0.00	0.08	0.24	0.41	0.38	0.52	12.17	
1992	0.64	2.19	4.00	4.55	0.89	0.62	0.31	0.00	0.19	0.44	0.35	0.60	14.79	
1993	0.81	2.83	7.71	3.70	1.87	0.71	0.43	0.07	0.29	0.60	0.27	0.66	19.95	
1994	0.93	2.11	5.20	3.30	0.85	0.44	0.31	0.09	0.27	0.45	0.26	0.76	14.98	
1995	0.61	2.05	3.03	2.56	0.92	0.63	0.44	0.00	0.19	0.22	0.22	0.81	11.68	
1996	0.74	2.29	4.04	2.74	1.59	0.68	0.00	0.23	0.00	0.33	0.28	0.67	13.59	
1997	0.97	1.82	2.96	3.17	2.15	0.44	0.29	0.25	0.00	0.40	0.28	0.69	13.41	
1998	2.89	7.69	13.44	7.78	3.09	0.34	0.00	0.11	0.19	0.49	0.24	0.55	36.81	
1999	0.65	5.19	3.02	4.75	2.25	0.67	0.40	0.20	0.09	0.35	0.27	0.56	18.40	
2000	0.68	2.41	6.68	4.24	1.91	0.94	0.14	0.20	0.35	0.38	0.30	0.47	18.70	
2001	0.89	2.35	7.61	5.09	1.09	0.12	0.44	0.00	0.29	0.52	0.43	0.42	19.24	
2003	0.90	2.16	3.12	2.09	1.17	0.75	0.45	0.00	0.25	0.24	0.25	0.60	11.97	
2004	0.58	1.18	3.48	2.32	1.21	0.30	0.67	0.00	0.32	0.44	0.34	0.54	11.39	
2007	0.95	1.31	4.23	2.95	1.15	0.16	0.29	0.23	0.15	0.68	0.48	0.36	12.94	
2009	1.55	2.57	5.90	2.19	0.94	0.48	0.14	0.23	0.04	0.51	0.32	0.36	15.23	
2010	0.53	2.78	4.23	4.48	1.08	0.36	0.10	0.00	0.31	0.25	0.22	0.46	14.81	
2012	1.00	3.60	5.99	4.06	1.00	0.38	0.07	0.00	0.07	0.68	0.47	0.39	17.72	
<b>Q promedio</b>	<b>0.819</b>	<b>2.325</b>	<b>4.820</b>	<b>3.612</b>	<b>1.395</b>	<b>0.576</b>	<b>0.248</b>	<b>0.094</b>	<b>0.137</b>	<b>0.383</b>	<b>0.271</b>	<b>0.483</b>	<b>1.264</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 4.5: Caudal ofertado por el río Chóchope.**



Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.3.5. CAUDAL ECOLÓGICO

**TABLA 4.12**

CÁLCULO DEL CAUDAL ECOLÓGICO m <sup>3</sup> /s												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
0.819	2.325	4.820	3.612	1.395	0.576	0.248	0.094	0.137	0.383	0.271	0.483	<b>1.264</b>

CAUDAL = 10% del caudal promedio      **Q<sub>ec</sub> = 10% Q<sub>p</sub>**

**Q<sub>ec</sub> = 0.126 m<sup>3</sup>/s**

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.3.6. DETERMINACIÓN DE MÁXIMAS AVENIDAS

Conociendo el tiempo de retorno según Anexo 03 (Informe Hidrológico - cuadros N°7.29 y N°7.30) de las cuales obtenemos un **Tr= 50años**.

Se compararon los caudales máximos obtenidos por la simulación hidrológica en HEC HMS (Anexo 03: Informe Hidrológico - figura 7.13) y los caudales máximos establecidos por la simulación en HEC HMS (Anexo 03: Informe Hidrológico - cuadro N° 7.28), se comparan los resultados y se elige al mayor, en este caso como Q<sub>máx</sub> o Q de diseño se obtuvo un **Q<sub>máx</sub> = 155.2 m<sup>3</sup>/s**.

#### 4.3.7. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

En el río Chóchope la turbidez máxima según el Estudio Definitivo del Complejo Hidroenergético y de Irrigación Olmos (Vol. 6 Parte Clima e Hidrología), es de 0.33 Kg/m<sup>3</sup>.

Caudal de sólidos en suspensión: 8949.91 m<sup>3</sup>/año

Caudal de sólidos de arrastre: 9554.03 m<sup>3</sup>/s

Vida útil: 50 años.

**Volumen de sedimentos = 477701.5 m<sup>3</sup>**

#### 4.3.8. DEMANDA DE AGUA

**TABLA 4.13: Demanda mensual de agua de acuerdo a la cédula de cultivo.**

MÉTODO	DEMANDA MENSUAL DE AGUA (m <sup>3</sup> /s)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MÉTODO DE BLANEY Y CRIDDLE	0.39	0.78	0.42	0.38	0.14	0.14	0.14	0.12	0.14	0.13	0.14	0.30
MÉTODO DE HARGREAVES	0.39	0.70	0.41	0.33	0.11	0.10	0.10	0.06	0.12	0.13	0.13	0.31
MÉTODO DE THORNTHWAITE	0.28	0.60	0.38	0.29	0.10	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.21
PROMEDIO	0.35	0.69	0.40	0.33	0.12	0.11	0.10	0.08	0.11	0.11	0.11	0.27
FACTOR DE CONDUCCIÓN, EVAPORACION Y ROBO	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
DEMANDA	0.48	0.99	0.57	0.47	0.17	0.15	0.15	0.12	0.16	0.16	0.16	0.37

Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.6: Expresión gráfica de la demanda mensual de agua.**



Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.3.9. BALANCE HÍDRICO

**TABLA 4.14**

BALANCE DE AGUA - IRRIGACIÓN CHÓCHOPE m <sup>3</sup> /mes													
DESCRIPCIÓN	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	UNIDAD
DEMANDA	0.479	0.991	0.574	0.475	0.166	0.154	0.149	0.119	0.162	0.159	0.164	0.366	m <sup>3</sup> /s
OFERTA	0.725	2.231	4.726	3.518	1.301	0.482	0.154	0.000	0.043	0.289	0.177	0.389	m <sup>3</sup> /s
BALANCE	0.246	1.240	4.152	3.043	1.134	0.329	0.005	-0.119	-0.118	0.130	0.013	0.023	m <sup>3</sup> /s

Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.7: Expresión gráfica del balance hídrico.**



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.10. CALIDAD DEL AGUA

Comparando los resultados del análisis de agua y comparando con los parámetros y niveles admisibles de calidad, se puede apreciar que está bajo los límites admisibles y cumple con los niveles de calidad, es decir el agua es apta para uso agrícola.

**TABLA 4.15**

**ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DE AGUA**

<b>M</b>	<b>1</b>	
<b>TEX.</b>	<b>-</b>	
<b>C.E uS/cm</b>	<b>540</b>	
<b>PH</b>	<b>6.8</b>	
<b>M.O</b>	<b>-</b>	
<b>N%</b>	<b>-</b>	
<b>P%</b>	<b>-</b>	
<b>K%</b>	<b>-</b>	
<b>Co3</b>	<b>mg/litro</b>	<b>0</b>
<b>Hco3</b>		<b>1.8</b>
<b>Cl</b>		<b>2.5</b>
<b>So4</b>		<b>0.8</b>
<b>Ca</b>		<b>2.1</b>
<b>Mq</b>		<b>1.6</b>
<b>Na</b>		<b>0.6</b>
<b>k</b>		<b>0.3</b>
<b>RAS</b>		

Fuente: Análisis de agua – Laboratorio SEGENMA.



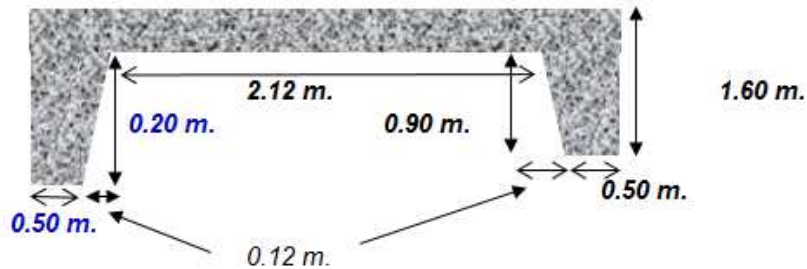
**Dimensionamiento de los Pilares:**

- a) Punta o Tajamar: Redondeada
- b) Altura  $H_t = 1.25 (P+H_o)$ : 3.14 → 3.20 m.
- c) Longitud: Hasta la terminación de la poza mínimo= 12.36 → 12.50 m.
- d) Espesor e: 0.60 m.

**Dimensionamiento de los Muros de encauzamiento:**

- a) Longitud: 18.86 → 19.00 m.
- b) Altura  $H_t = 1.25 (P+H_o)$ : 3.14 → 3.15 m.

**FIGURA 4.10: Dimensiones de los dentellados.**



Fuente: Elaboración Propia.

**4.4.2. CÁLCULOS HIDRÁULICOS.**

**TABLA 4.16: Curva de remanso.**

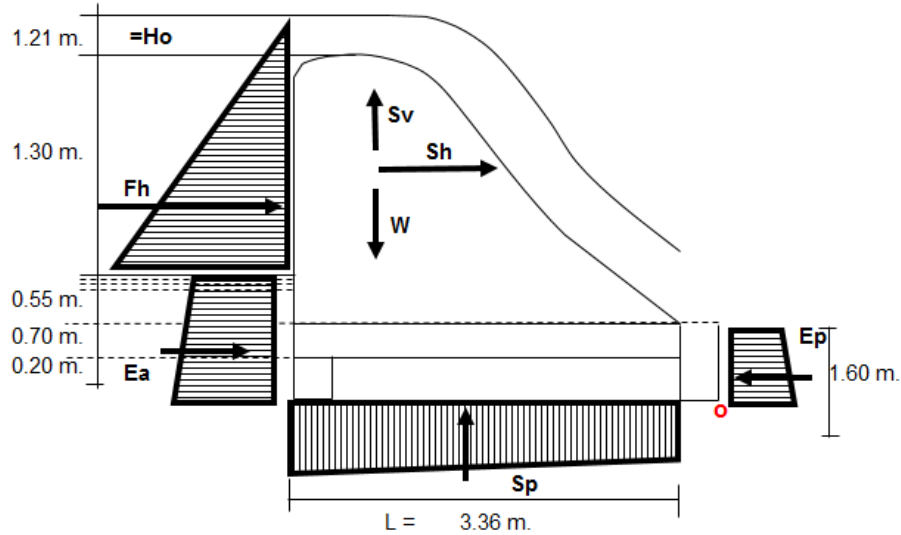
Método de Integración Gráfica										
<b>Q = 155.2 m<sup>3</sup>/s</b> <b>b = 50 m</b> <b>talud = 1.25</b> <b>S = 0.0247 m/m</b>					<b>n = 0.053</b> <b>y inicial = 2.51 m</b> <b>y final = 1.04 m</b> <b>N tramos = 20</b>					
y	A	P	R	T	V	Se	dE/dy	So - Se	f(y)	x
2.51	133.38	56.43	2.36	56.28	1.16	0.001	0.9418	0.023	40.079	0.00
2.44	129.26	56.24	2.30	56.09	1.20	0.001	0.9362	0.023	40.06	2.9
2.36	125.16	56.05	2.23	55.91	1.24	0.001	0.93	0.023	40.041	5.9
2.29	121.07	55.87	2.17	55.73	1.28	0.002	0.9229	0.023	40.022	8.8
2.22	116.99	55.68	2.10	55.54	1.33	0.002	0.9148	0.023	40.003	11.7
2.14	112.93	55.49	2.04	55.36	1.37	0.002	0.9056	0.023	39.985	14.7
2.07	108.88	55.30	1.97	55.18	1.43	0.002	0.895	0.022	39.97	17.6
2.00	104.84	55.12	1.90	54.99	1.48	0.003	0.8828	0.022	39.957	20.5
1.92	100.82	54.93	1.84	54.81	1.54	0.003	0.8687	0.022	39.95	23.4
1.85	96.81	54.74	1.77	54.63	1.60	0.003	0.8522	0.021	39.951	26.4
1.78	92.82	54.55	1.70	54.44	1.67	0.004	0.8328	0.021	39.964	29.3
1.70	88.83	54.36	1.63	54.26	1.75	0.004	0.81	0.020	39.996	32.2
1.63	84.87	54.18	1.57	54.08	1.83	0.005	0.7828	0.020	40.056	35.2
1.56	80.91	53.99	1.50	53.89	1.92	0.006	0.7502	0.019	40.16	38.1
1.48	76.97	53.80	1.43	53.71	2.02	0.007	0.7108	0.018	40.338	41.1
1.41	73.04	53.61	1.36	53.53	2.12	0.008	0.6627	0.016	40.637	44.0
1.34	69.12	53.43	1.29	53.34	2.25	0.010	0.6034	0.015	41.157	47.0
1.26	65.22	53.24	1.23	53.16	2.38	0.012	0.5296	0.013	42.119	50.1
1.19	61.34	53.05	1.16	52.98	2.53	0.015	0.4363	0.010	44.136	53.2
1.12	57.46	52.86	1.09	52.79	2.70	0.018	0.3167	0.006	49.724	56.7
1.04	53.60	52.68	1.02	52.61	2.90	0.023	0.1611	0.002	95.102	62.0
0.97	49.75	52.49	0.95	52.43	3.12	0.029	-0.045	-0.005	9.7522	65.8
0.90	45.92	52.30	0.88	52.25	3.38	0.038	-0.325	-0.013	24.138	67.1

Fuente: Elaboración Propia.

### 4.4.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

#### 4.4.3.1. Barraje fijo

FIGURA 4.11: Fuerzas actuantes sobre el barraje fijo.



Fuente: Elaboración Propia.

- **Requisitos de estabilidad**

TABLA 4.17: Valores de las fuerzas actuantes sobre el barraje fijo.

Tipo de Fuerza.	Fuerza (Kg)	Brazo (m)	Momento (Kg-m)
Fh	963.81	2.987	-2878.57
Sv	418.59	2.06	-860.591
Sh	1395.31	0.777	-1083.559
Sp	4906.87	2.079	-10199.48
W	13953.07	2.06	28686.35
Ea	3967.52	1.405	-5574.45
Ep	4536.49	0.638	2894.97

Fuente: Elaboración Propia.

$$\sum F_h = 1790.10 \text{ Kg}$$

$$M(+) = -20596.65 \text{ Kg-m}$$

$$\sum F_v = -8627.61 \text{ Kg}$$

$$M(-) = 31581.33 \text{ Kg-m}$$

Ubicación de la resultante respecto a “o”:

$$X_r = \frac{M(-) + M(+)}{\sum F_v} = 1.27 \text{ m}$$

**OK!, Cae en el tercio central**

### Estabilidad al volteo

$$FSV = \frac{\Sigma M(-)}{\Sigma M(+)} > 1.5 \rightarrow FSV = 1.54$$

**OK, No hay volteo.**

### Estabilidad al deslizamiento

$$\text{Fuerza resistente: } F_r = u * \Sigma F_v = 3451.04 \text{ Kg}$$

u= Coeficiente de fricción entre el concreto y el terreno, según el proyecto  
**u= 0.4** para grava y arena

Debe cumplir que:

$$1790.10 \text{ Kg} < \begin{matrix} F_h < F_r \\ < & 3451.04 \text{ Kg} \end{matrix} \quad \mathbf{OK!}$$

### Cálculo para hundimiento

p = resistencia del terreno, según estudios de suelos del proyecto.  
**p = 1.54 Kg/cm<sup>2</sup>.**

Estos esfuerzos están dados por:

$$p = \frac{\Sigma F_v * \left(1 \pm \frac{6e}{L * b}\right)}{b * L}$$

Donde:

$$e = 40 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$L = 336 \text{ cm}$$

$$p_1 = 0.26 \text{ Kg/cm}^2$$

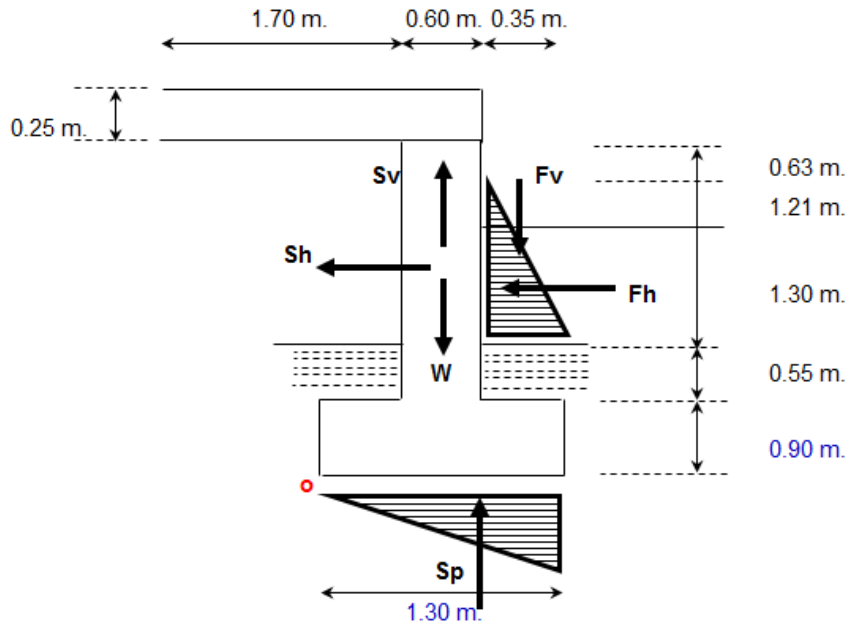
$$p_2 = 0.26 \text{ Kg/cm}^2$$

p<sub>1</sub> y p<sub>2</sub> se encuentran en el rango: 1.54 Kg/cm<sup>2</sup>

**OK!**

#### 4.4.3.2. Pilares

**FIGURA 4.12: Fuerzas actuantes sobre el pilar.**



Fuente: Elaboración Propia.

#### ○ Requisitos de estabilidad

**TABLA 4.18: Valores de las fuerzas actuantes sobre el pilar.**

Tipo de Fuerza.	Fuerza (Kg)	Brazo (m)	Momento (Kg-m)
Fh	439.25	2.287	-1004.42
Sv	285.05	0.65	-185.281
Sh	950.16	2.119	-2013.589
Sp	1631.50	0.867	-1413.97
W	9501.60	0.65	6176.04
Fv	439.25	1.067	468.53

Fuente: Elaboración Propia.

$$\sum F_h = 1389.40 \text{ Kg}$$

$$M(+) = 6644.57 \text{ Kg-m}$$

$$\sum F_v = 8024.30 \text{ Kg}$$

$$M(-) = -4617.26 \text{ Kg-m}$$

Ubicación de la resultante respecto a "o":

$$X_r = \frac{M(-) + M(+)}{\sum F_v} = 0.25 \text{ m}$$

**OK!, Cae en el tercio central**

### Estabilidad al volteo

$$FSV = \frac{\Sigma M(-)}{\Sigma M(+)} > 1.5 \rightarrow FSV = 1.50$$

**OK, No hay volteo.**

### Estabilidad al deslizamiento

$$\text{Fuerza resistente: } F_r = u * \Sigma F_v = 3209.72 \text{ Kg}$$

u= Coeficiente de fricción entre el concreto y el terreno, según el proyecto  
**u= 0.4** para grava y arena

Debe cumplir que:

$$1389.40 \text{ Kg} < \begin{matrix} F_h < F_r \\ < & 3209.72 \text{ Kg} \end{matrix} \quad \mathbf{OK!}$$

### Cálculo para hundimiento

p = resistencia del terreno, según estudios de suelos del proyecto.  
**p = 1.54 Kg/cm<sup>2</sup>.**

Estos esfuerzos están dados por:

$$p = \frac{\Sigma F_v * \left(1 \pm \frac{6e}{L * b}\right)}{b * L}$$

Donde:

e= 25 cm  
b= 100 cm  
L= 130 cm

$$p_1 = 0.62 \text{ Kg/cm}^2$$

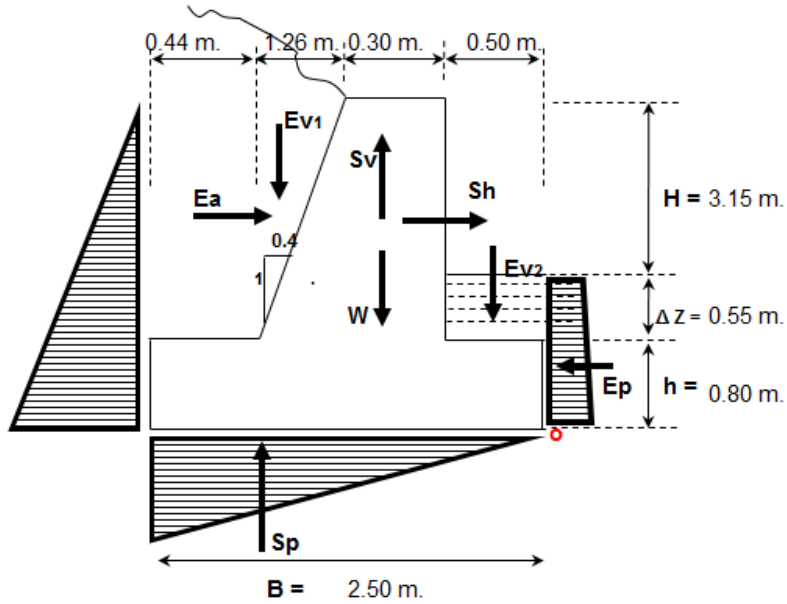
$$p_2 = 0.61 \text{ Kg/cm}^2$$

p<sub>1</sub> y p<sub>2</sub> se encuentran en el rango: 1.54 Kg/cm<sup>2</sup>

**OK!**

### 4.4.3.3. Muros de encauzamiento

FIGURA 4.13: Fuerzas actuantes sobre muro de encauzamiento.



Fuente: Elaboración Propia.

#### ○ Requisitos de estabilidad

TABLA 4.19: Valores de las fuerzas actuantes sobre el muro de encauzamiento.

Tipo de Fuerza.	Fuerza (Kg)	Brazo (m)	Momento (Kg-m)
<b>Ea</b>	5237.36	2.173	-11378.52
<b>Ev1</b>	7.13	1.903	13.56
<b>Ev2</b>	0.50	0.250	0.12
<b>Sv</b>	354.92	1.12	-398.54
<b>Sh</b>	1183.08	1.362	-1611.77
<b>Sp</b>	5625.00	1.667	-9375.00
<b>W</b>	11830.80	1.12	13284.82
<b>Ep</b>	2323.11	0.45	1045.40

Fuente: Elaboración Propia.

$$\sum F_h = 4097.30 \text{ Kg} \quad M(+) = -22763.83 \text{ Kg-m}$$

$$\sum F_v = -5858.50 \text{ Kg} \quad M(-) = 14343.90 \text{ Kg-m}$$

Ubicación de la resultante respecto a "o":

$$X_r = \frac{M(-) + M(+)}{\sum F_v} = 1.44 \text{ m}$$

**OK!, Cae en el tercio central**

### Estabilidad al volteo

$$FSV = \frac{\Sigma M(-)}{\Sigma M(+)} > 1.5 \rightarrow FSV = 1.59$$

**OK, No hay volteo.**

### Estabilidad al deslizamiento

$$\text{Fuerza resistente: } F_r = u * \Sigma F_v = 4100.95 \text{ Kg}$$

u= Coeficiente de fricción entre el concreto y el terreno, según el proyecto  
**u= 0.4** para grava y arena

Debe cumplir que:

$$4097.30 \text{ Kg} < \begin{matrix} F_h < F_r \\ < & 4100.95 \text{ Kg} \end{matrix} \quad \mathbf{OK!}$$

### Cálculo para hundimiento

p = resistencia del terreno, según estudios de suelos del proyecto.  
**p = 1.54 Kg/cm<sup>2</sup>.**

Estos esfuerzos están dados por:

$$p = \frac{\Sigma F_v * \left(1 \pm \frac{6e}{L * b}\right)}{b * L}$$

Donde:

e= 144 cm  
b= 100 cm  
L= 250 cm

$$p_1 = 0.24 \text{ Kg/cm}^2$$

$$p_2 = 0.23 \text{ Kg/cm}^2$$

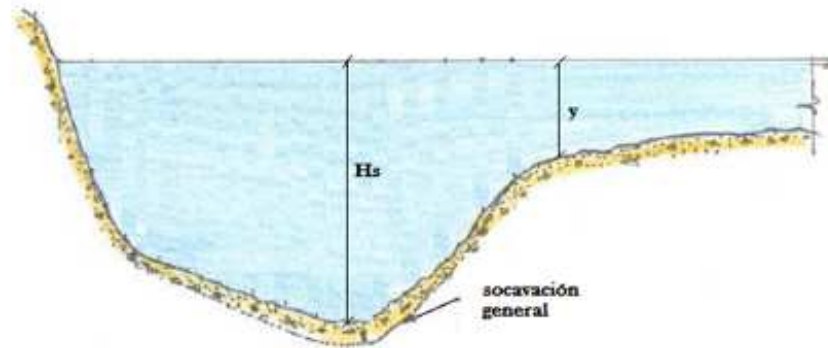
p<sub>1</sub> y p<sub>2</sub> se encuentran en el rango: 1.54 Kg/cm<sup>2</sup>

**OK!**

#### 4.4.4. SOCAVACIÓN

##### Método de Lischtvan-Lebediev

FIGURA 4.14: Altura de socavación general.



Fuente: Protección de taludes con enrocados. Luis Estellé. 1976.

##### Cálculo de socavación general

$$H_s = \left( \frac{\alpha \cdot y^{5/3}}{0.68\beta \cdot D_m^{0.28}} \right)^{\frac{1}{1+x}} = 1.53 \text{ m}$$

Donde:

$H_s$  = altura de socavación, socavación general.

$y$  = tirante normal.

$\alpha$  y  $\beta$  = coeficiente que tiene que ver con el periodo de retorno y la avenida máxima.

$D_m$  = diámetro medio de las partículas del lecho.

$x$  = coeficiente que está en función del diámetro medio de las partículas.

##### Cálculo de la profundidad mínima para el dentellón

$$H_s - y = 0.48 \text{ m}$$

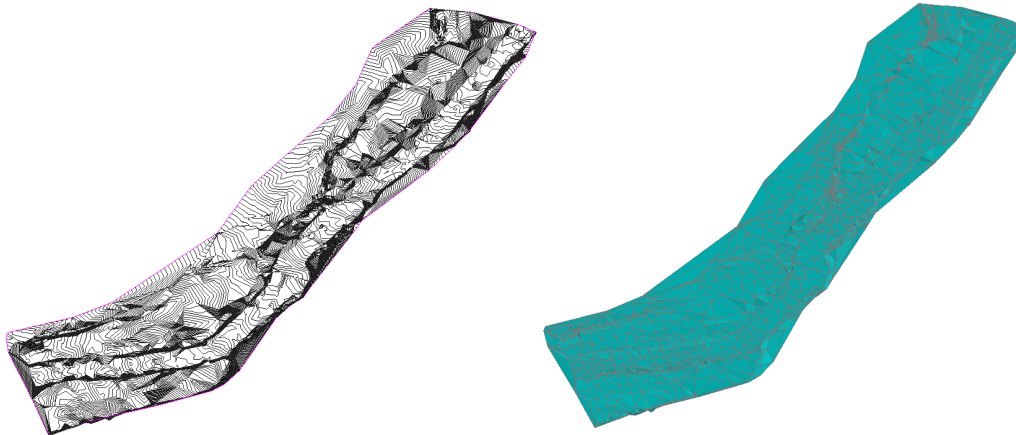
**OK!, No existe problema de socavación**

## 4.5. MODELAMIENTO HIDRÁULICO

### 4.5.1. MODELAMIENTO NUMÉRICO SIN ESTRUCTURA

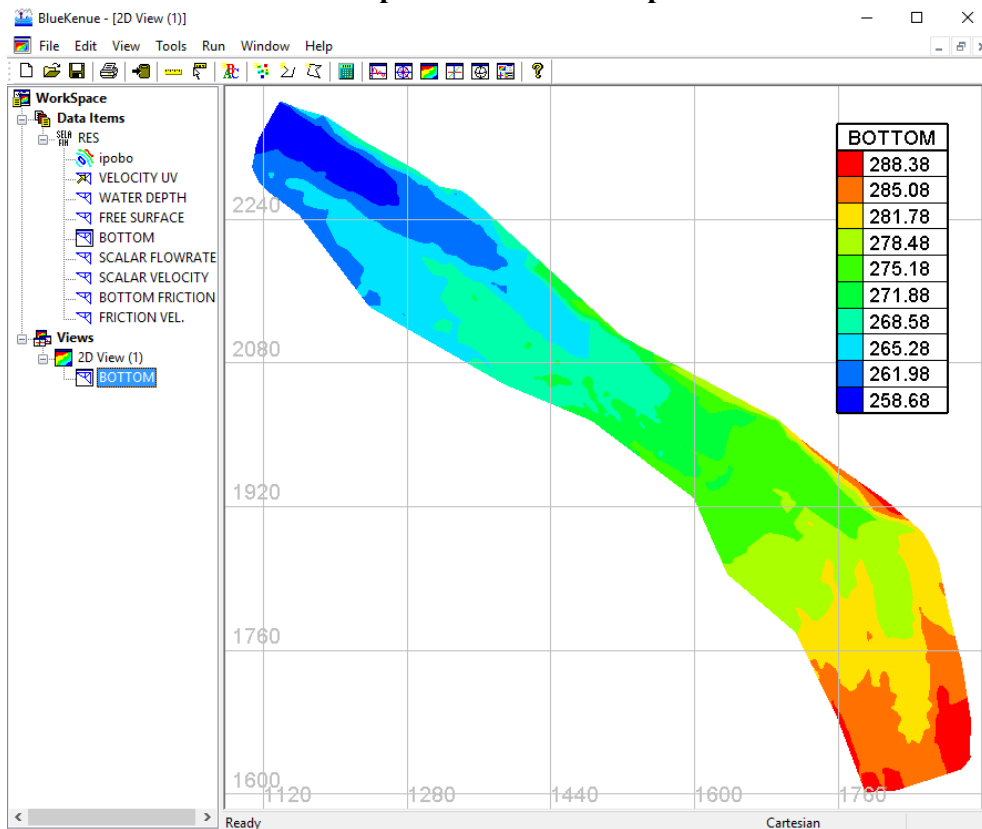
#### Superficie del río

**FIGURA 4.15: Representación de la superficie en AutoCAD Civil 3D.**



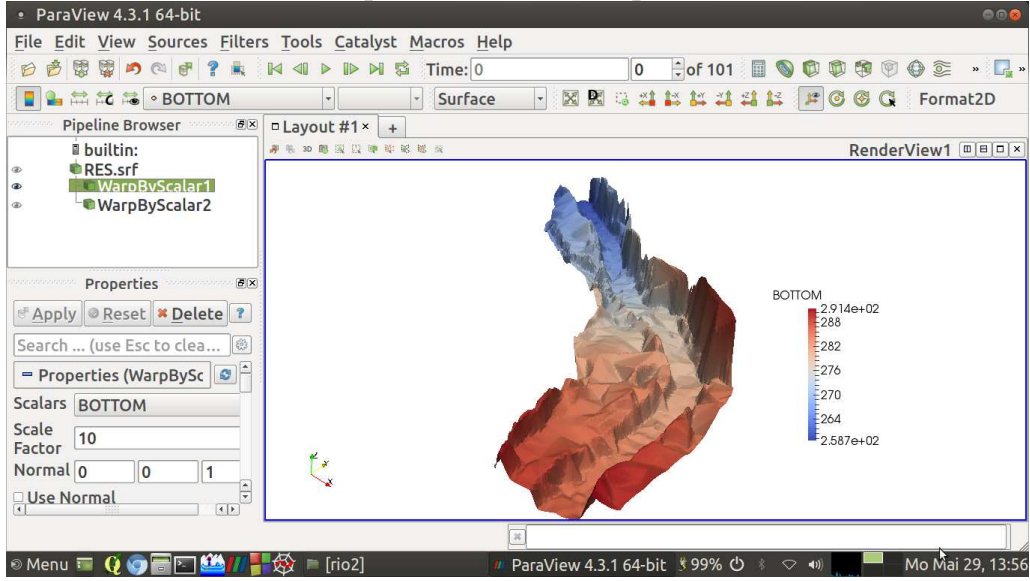
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.16: Representación de la superficie en Bluekenue.**



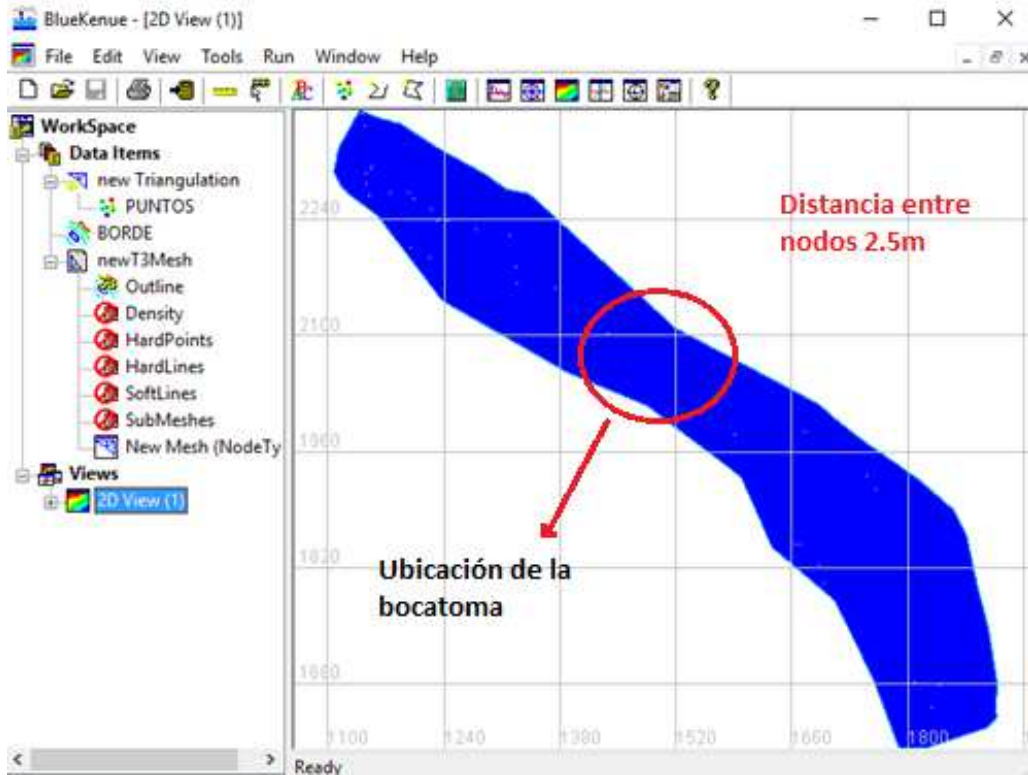
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.17: Representación de la superficie en Paraview.**



Fuente: Elaboración Propia.

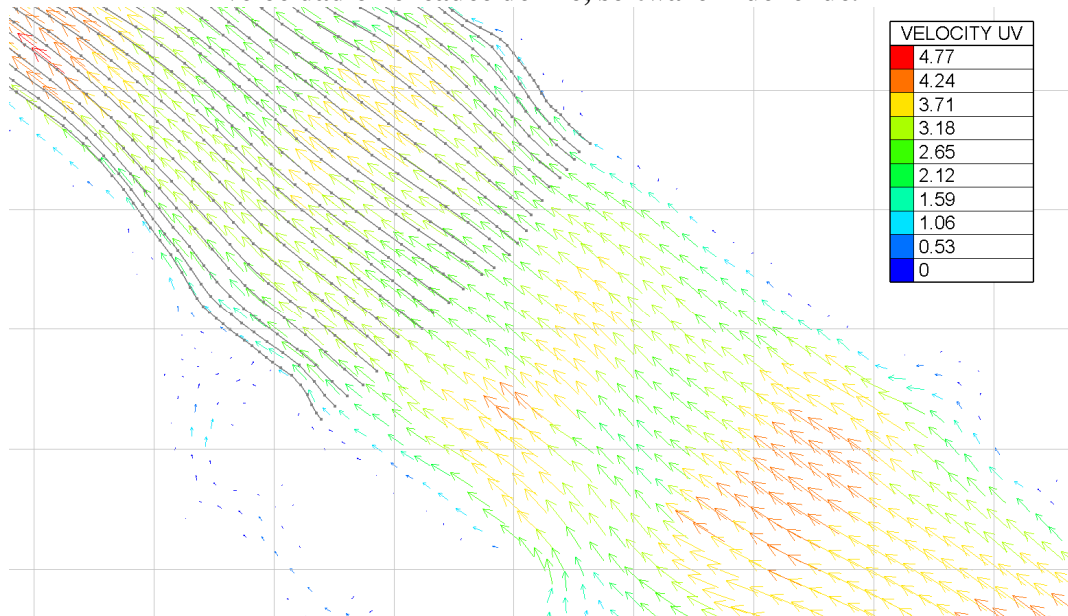
**FIGURA 4.18: Representación de la superficie a través de la malla computacional.**



Fuente: Elaboración Propia.

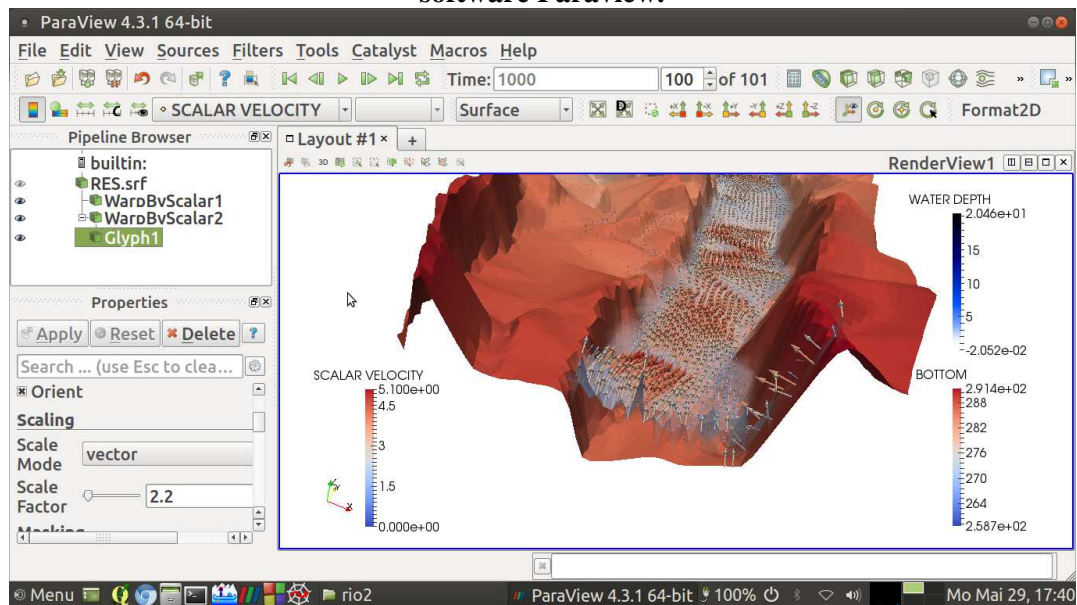
## Velocidad del flujo

**FIGURA 4.19: Representación gráfica de vectores y líneas de corriente de la velocidad en el cauce del río, software Bluekenue.**



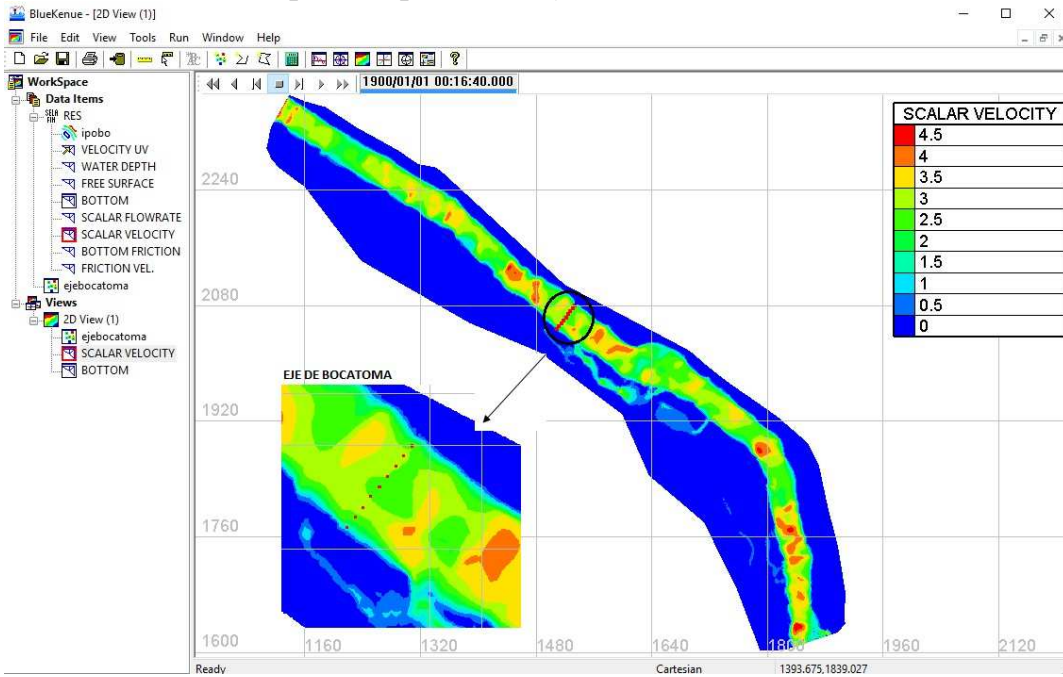
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.20: Representación gráfica y valores de la velocidad en el cauce del río, software Paraview.**



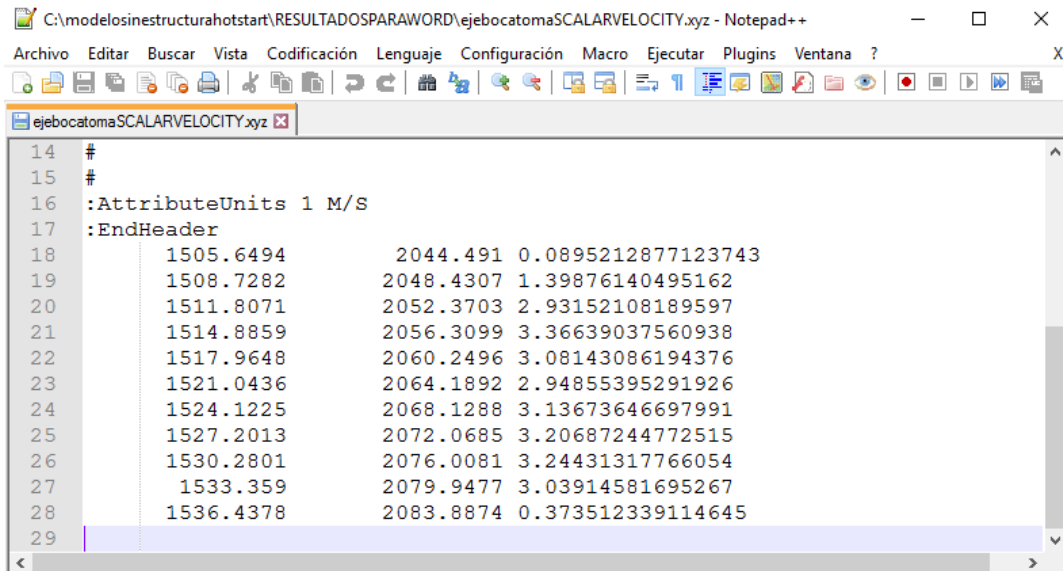
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.21: Representación gráfica y valores de la velocidad en el cauce del río, para los puntos del eje de la bocatoma.**



Fuente: Elaboración Propia.

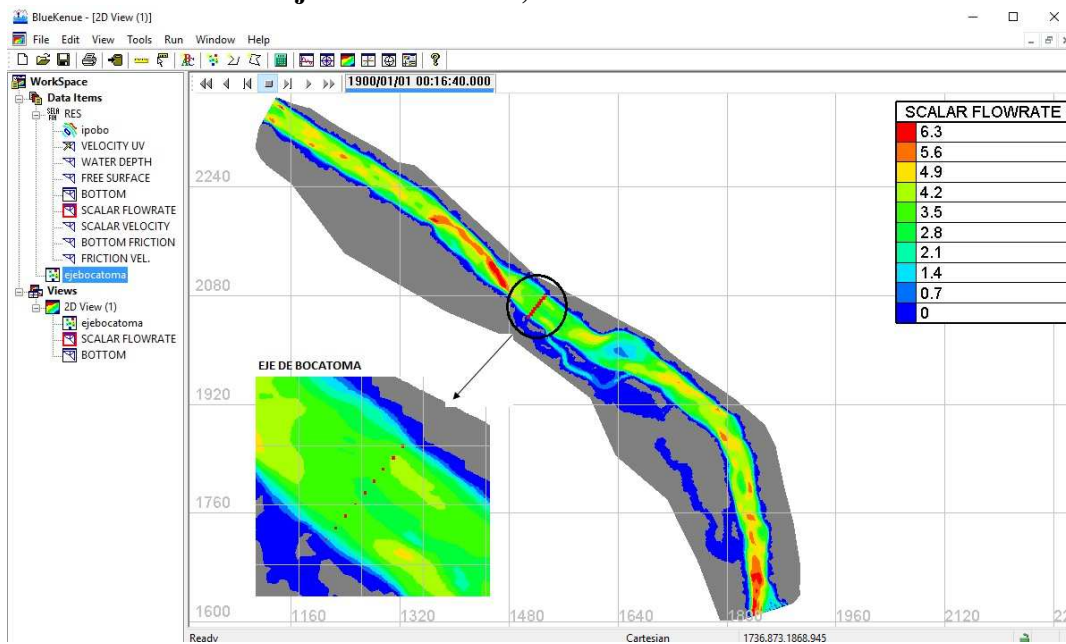
**FIGURA 4.22: Valores de la velocidad en el cauce del río, para los puntos del eje de la bocatoma.**



Fuente: Elaboración Propia.

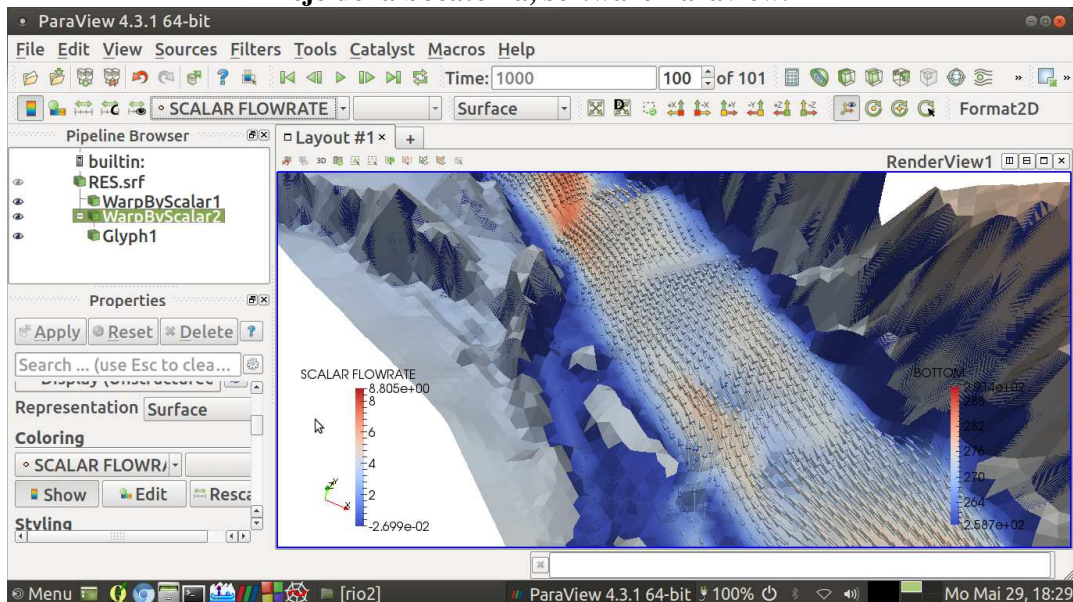
## Caudal

**FIGURA 4.23: Representación gráfica y valores de caudales para los puntos en el eje de la bocatoma, software Bluekenue.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.24: Representación gráfica y valores de caudales para los puntos en el eje de la bocatoma, software Paraview.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.25: Valores de caudales unitarios en el cauce del río, para los puntos del eje de la bocatoma.**

```

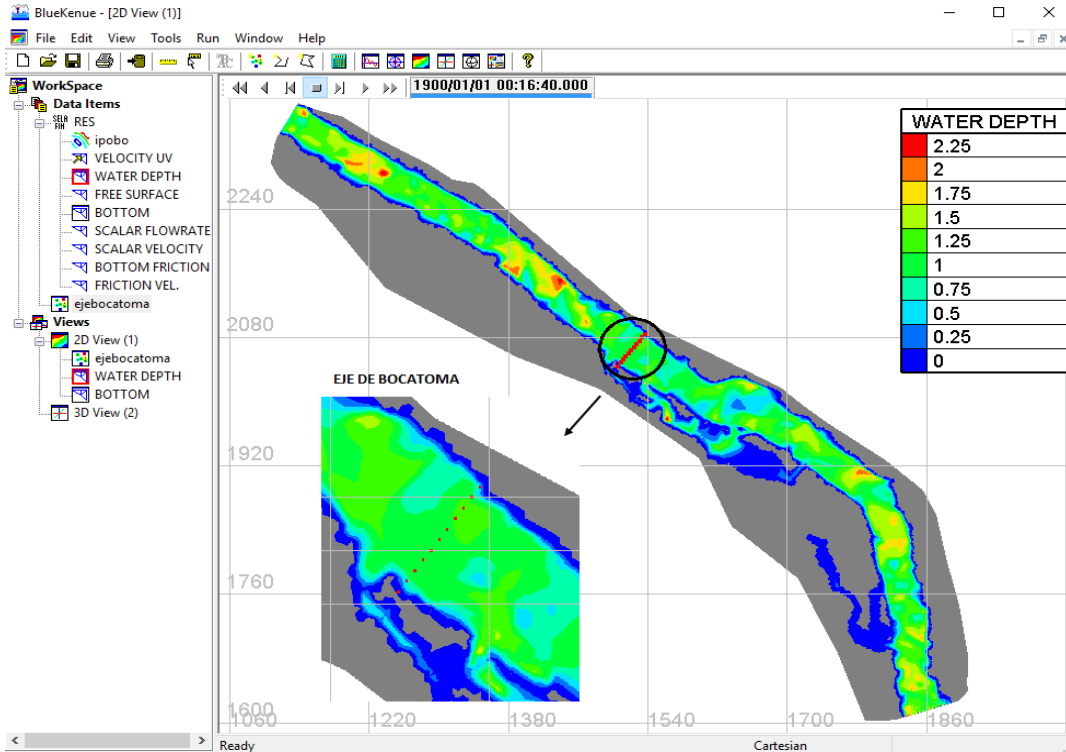
15 #
16 :AttributeUnits 1 M2/S
17 :EndHeader
18 1505.6494 2044.491 0.0240345700430381
19 1508.7282 2048.4307 1.20319643230631
20 1511.8071 2052.3703 3.24074657883197
21 1514.8859 2056.3099 4.02003720160038
22 1517.9648 2060.2496 3.72794956629022
23 1521.0436 2064.1892 3.36916341671523
24 1524.1225 2068.1288 3.62059323202582
25 1527.2013 2072.0685 4.1470048475952
26 1530.2801 2076.0081 4.37484737621191
27 1533.359 2079.9477 3.23031962247973
28 1536.4378 2083.8874 0.22571520866819
29

```

Fuente: Elaboración Propia.

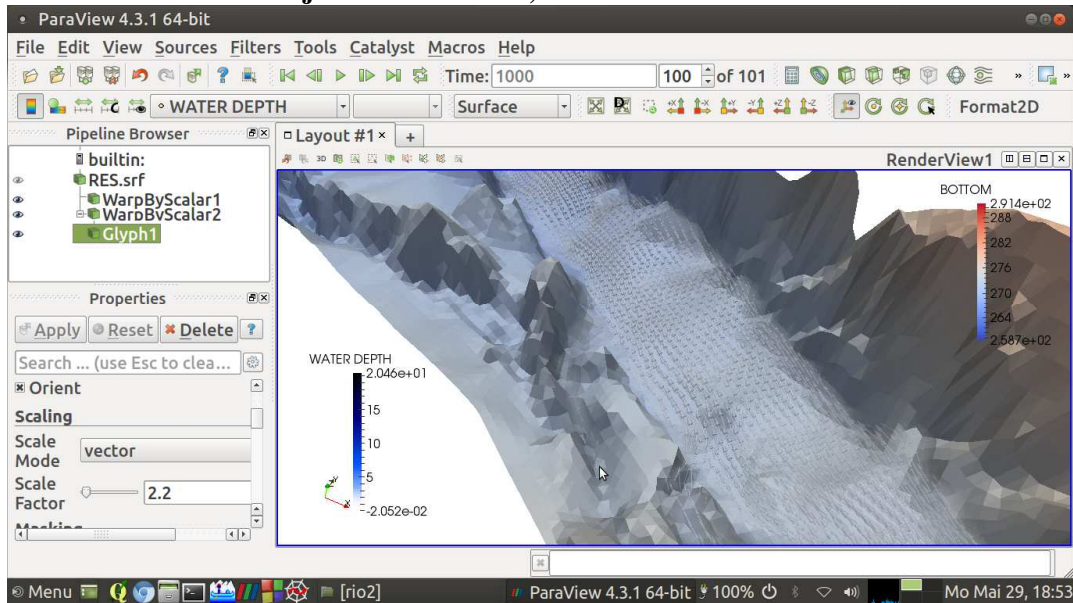
### Tirante de agua

**FIGURA 4.26: Representación gráfica y valores de tirantes para los puntos en el eje de la bocatoma, software Bluekenue.**



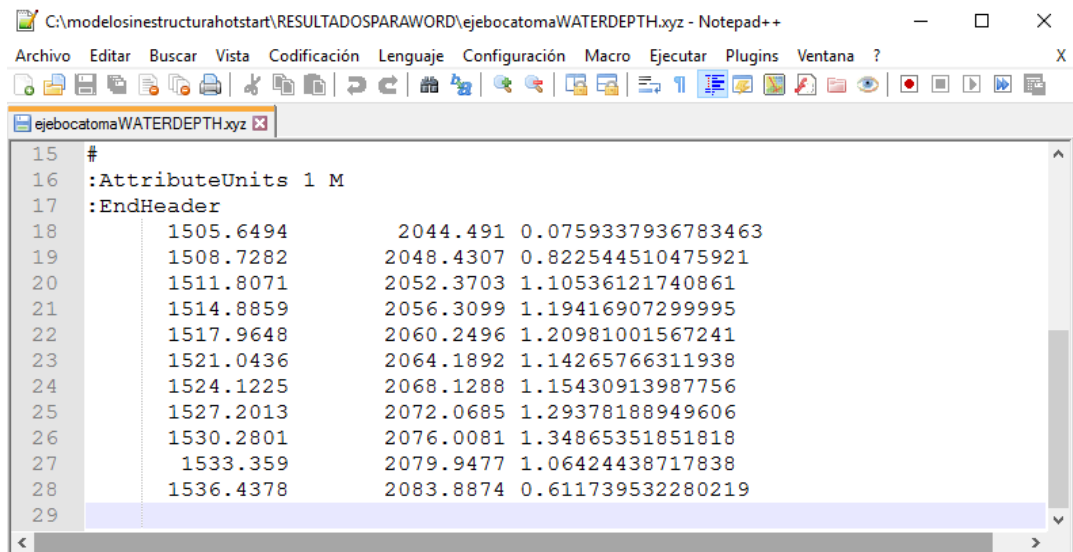
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.27: Representación gráfica y valores de tirantes para los puntos en el eje de la bocatoma, software Paraview.**



Fuente: Elaboración Propia.

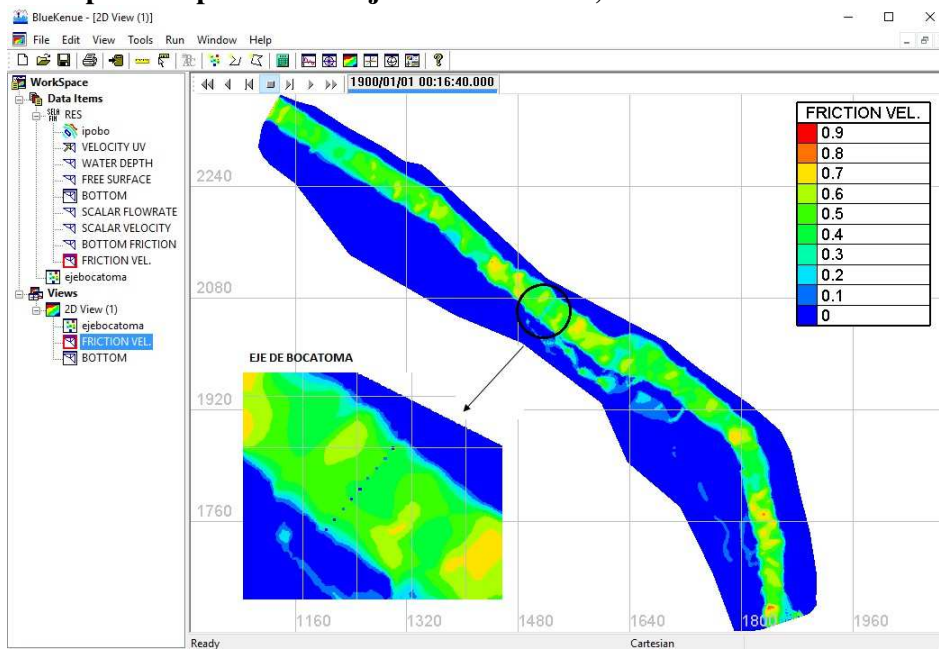
**FIGURA 4.28: Valores de tirantes en el cauce del río, para los puntos del eje de la bocatoma.**



Fuente: Elaboración Propia.

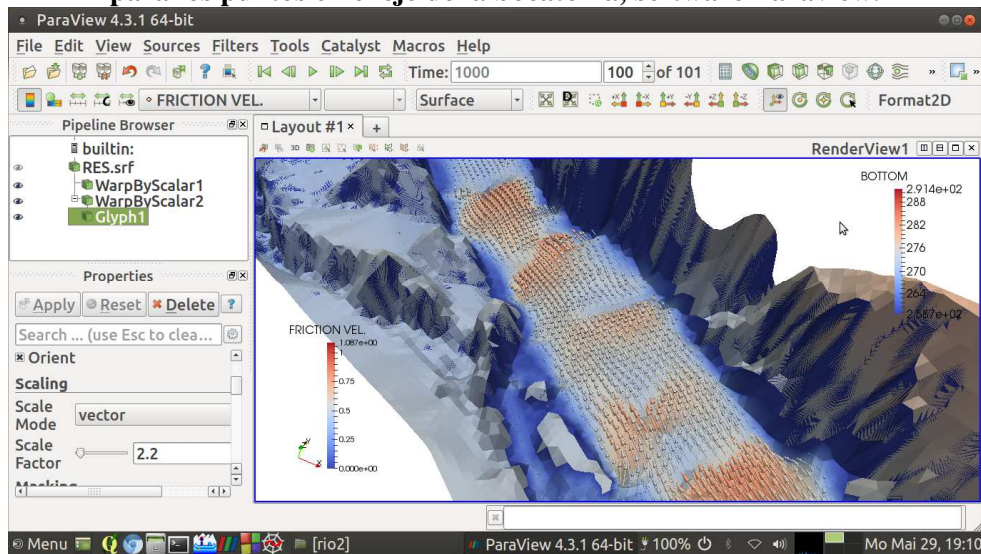
## Esfuerzo cortante en el fondo del río

**FIGURA 4.29:** Representación gráfica y valores de esfuerzos cortantes en el fondo para los puntos en el eje de la bocatoma, software Bluekenue.



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.30:** Representación gráfica y valores de esfuerzo cortante en el fondo para los puntos en el eje de la bocatoma, software Paraview.



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.31: Valores de esfuerzo cortante en el fondo del río, para los puntos del eje de la bocatoma.**

C:\modelosinestructurahotstart\RESULTADOSPARAWORD\ejebocatomaFRICTIONVELOCITY.xyz - Notepad++

Archivo Editar Buscar Vista Codificación Lenguaje Configuración Macro Ejecutar Plugins Ventana ?

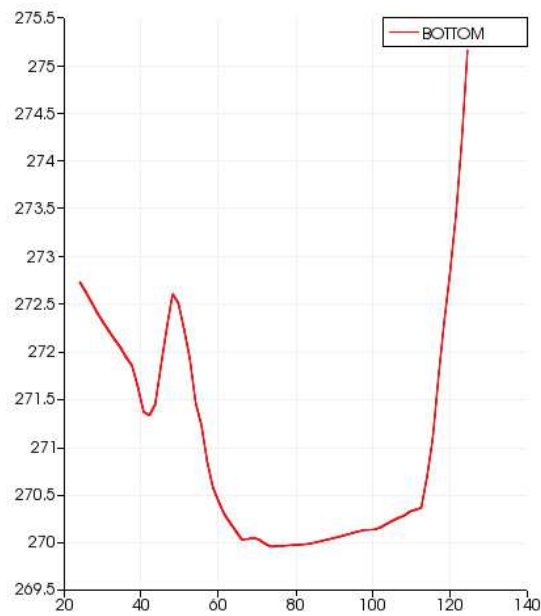
ejebocatomaFRICTIONVELOCITY.xyz

15	#												
16	:AttributeUnits	1	M/S										
17	:EndHeader												
18		1505.6494		2044.491		0.0174549052887711							
19		1508.7282		2048.4307		0.225164005762957							
20		1511.8071		2052.3703		0.451481694602897							
21		1514.8859		2056.3099		0.511828983080194							
22		1517.9648		2060.2496		0.467489318550127							
23		1521.0436		2064.1892		0.451612033735282							
24		1524.1225		2068.1288		0.479627665692322							
25		1527.2013		2072.0685		0.481203228591442							
26		1530.2801		2076.0081		0.483391643611178							
27		1533.359		2079.9477		0.471377382961617							
28		1536.4378		2083.8874		0.0667028103705816							
29													

Fuente: Elaboración Propia.

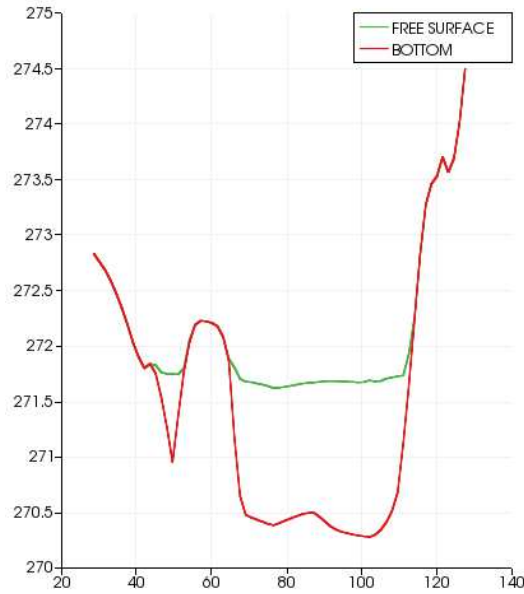
### Secciones Transversales al cauce del río

**FIGURA 4.32: Representación de la sección transversal de la superficie sin agua en -0+010.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.33: Representación de la sección transversal de la superficie con agua en -0+010.**



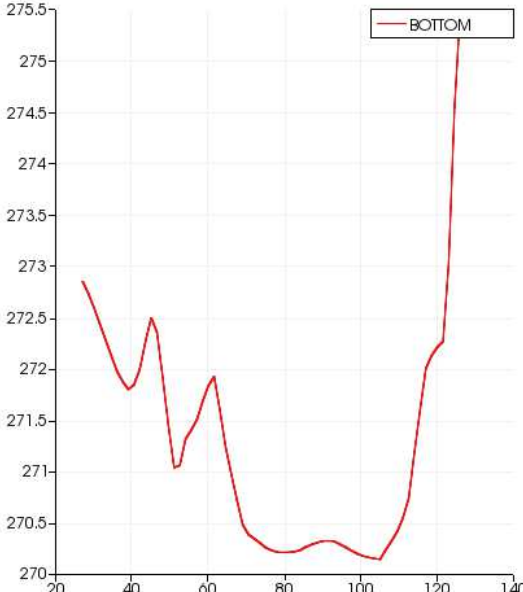
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.34: Data de resultados de la sección transversal de la superficie con agua en -0+010.**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	VELOCITY:0	VELOCITY:1	VELOCITY:2	WATER DEPTH	FREE SURFACE	BOTTOM	SCALAR FLOWRATE	SCALAR VELOCITY	BOTTOM FRICTION	FRICTION VEL.	Points:0	Points:1	Points:2
2	1.046E-08	-5.9657E-08	0	-0.00051713	272.73	272.73	-3.1298E-11	6.0469E-08	0.055	4.835E-08	1473.1	2021.2	0
3	1.0341E-08	-5.996E-08	0	-0.0005206	272.63	272.63	-3.160E-11	6.0845E-08	0.055	4.8951E-08	1474	2022.4	0
4	1.0189E-08	-6.0027E-08	0	-0.00052277	272.52	272.52	-3.1833E-11	6.0888E-08	0.055	4.8684E-08	1475	2023.5	0
5	1.0062E-08	-5.9969E-08	0	-0.00052409	272.41	272.41	-3.1879E-11	6.0880E-08	0.055	4.8621E-08	1475.9	2024.7	0
6	1.0113E-08	-5.9564E-08	0	-0.00052315	272.31	272.31	-3.1622E-11	6.0416E-08	0.055	4.8308E-08	1476.9	2025.9	0
7	1.0181E-08	-5.9036E-08	0	-0.00052044	272.22	272.22	-3.1201E-11	5.9990E-08	0.055	4.7901E-08	1477.8	2027	0
8	1.3564E-09	-5.529E-08	0	-0.00051618	272.13	272.13	-2.898E-11	5.6191E-08	0.055	4.493E-08	1478.8	2028.2	0
9	1.6591E-09	-4.9821E-08	0	-0.00050865	272.04	272.04	-2.5842E-11	5.0726E-08	0.055	4.056E-08	1479.7	2029.4	0
10	-9.852E-09	-4.4958E-08	0	-0.00049933	271.94	271.94	-2.5249E-11	5.0525E-08	0.055	4.0399E-08	1480.7	2030.5	0
11	-3.3841E-08	-3.9528E-08	0	-0.00048744	271.85	271.85	-2.5751E-11	5.2816E-08	0.055	4.2231E-08	1481.6	2031.7	0
12	-2.9211E-08	-3.9957E-08	0	-0.00047207	271.64	271.64	-2.381E-11	5.0326E-08	0.055	4.024E-08	1482.6	2032.8	0
13	-1.6977E-08	-4.205E-08	0	-0.00045548	271.37	271.37	-2.0828E-11	4.5709E-08	0.055	3.6548E-08	1483.5	2034	0
14	1.0498E-08	-1.921E-08	0	-0.00043481	271.33	271.33	-1.5334E-11	3.4914E-08	0.055	2.7917E-08	1484.5	2035.2	0
15	3.2832E-08	2.1054E-09	0	-0.00041437	271.44	271.44	-1.4561E-11	3.5343E-08	0.055	2.8259E-08	1485.4	2036.3	0
16	3.4803E-08	2.17E-08	0	-0.00039186	271.85	271.85	-1.6561E-11	4.243E-08	0.055	3.2926E-08	1486.4	2037.5	0
17	3.0539E-08	2.0501E-08	0	-0.00037195	272.24	272.24	-1.4233E-11	3.7825E-08	0.055	3.0244E-08	1487.3	2038.7	0
18	4.7487E-08	-2.4206E-08	0	-0.000345	272.6	272.6	-2.1789E-11	7.001E-08	0.055	5.5979E-08	1488.2	2039.8	0
19	0.012714	-0.0054471	0	0.0043603	272.52	272.51	0.00027073	0.013831	0.055	0.0045898	1489.2	2041	0
20	0.070144	0.073842	0	0.030142	272.26	272.23	0.0079351	0.12521	0.055	0.035074	1490.1	2042.2	0
21	0.048215	0.3788	0	0.23733	272.16	271.93	0.14252	0.41789	0.055	0.0951	1491.1	2043.3	0
22	-0.052979	0.87853	0	0.29407	271.76	271.46	0.25002	0.89386	0.055	0.19552	1492	2044.5	0
23	0.0019429	1.241	0	0.22127	271.45	271.23	0.27772	1.247	0.055	0.2766	1493	2045.6	0
24	0.15816	1.2303	0	0.29966	271.15	270.85	0.36258	1.244	0.055	0.266	1493.9	2046.8	0
25	0.032107	0.59069	0	0.56047	271.13	270.57	0.32491	0.86396	0.055	0.17807	1494.9	2048	0
26	-0.16519	-0.20584	0	0.78731	271.21	270.42	0.24847	0.29095	0.055	0.05295	1495.8	2049.1	0
27	0.10936	-0.042427	0	0.87711	271.17	270.29	0.33568	0.38734	0.055	0.06469	1496.8	2050.3	0
28	0.40367	0.18505	0	0.95239	271.15	270.2	0.44455	0.44764	0.055	0.077669	1497.7	2051.5	0
29	0.22229	0.22842	0	1.0261	271.14	270.11	0.43596	0.42516	0.055	0.073103	1498.7	2052.6	0

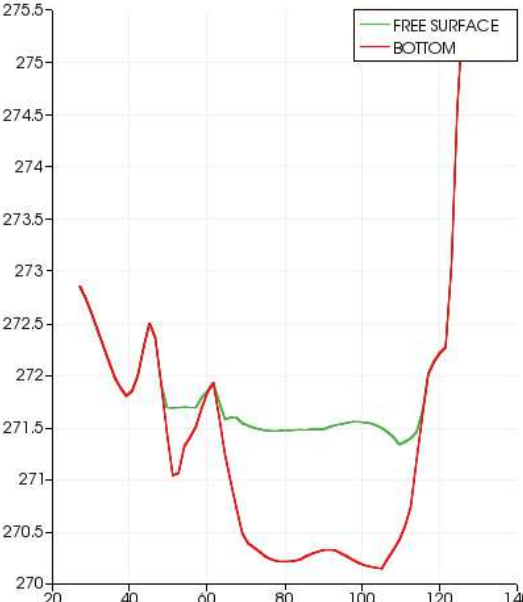
Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 4.35: Representación de la sección transversal de la superficie sin agua en 0+000.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.36: Representación de la sección transversal de la superficie con agua en 0+000.**



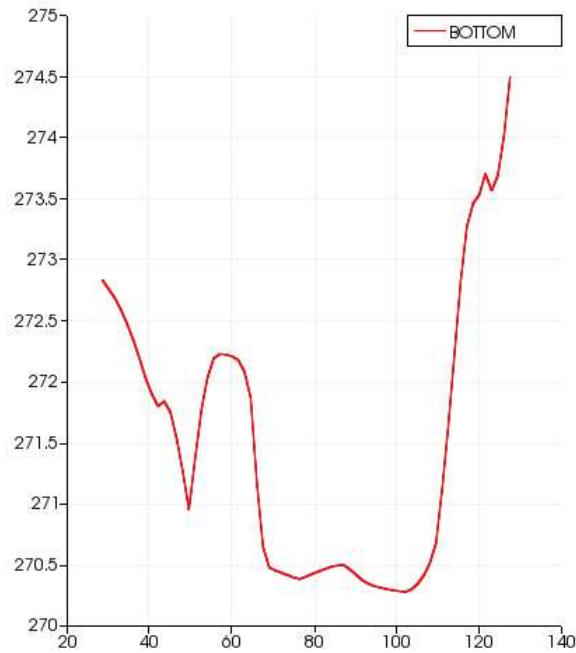
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.37: Data de resultados de la sección transversal de la superficie con agua en 0+000.**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	VELOCITY:0	VELOCITY:1	VELOCITY:2	WATER DEPTH	FREE SURFACE	BOTTOM	SCALAR FLOWRATE	SCALAR VELOCITY	BOTTOM FRICTION	FRICTION VEL.	Points:0	Points:1	Points:2
2	-6.4627E-08	-6.628E-08	0	-0.00070729	272.85	272.85	-6.6036E-11	9.3965E-08	0.055	7.4653E-08	1483.8	2016.5	0
3	-4.2898E-08	-7.2214E-08	0	-0.00071983	272.73	272.73	-4.1496E-11	8.5499E-08	0.055	6.8363E-08	1484.7	2017.7	0
4	-2.6511E-08	-7.7122E-08	0	-0.00072993	272.6	272.6	-6.0524E-11	8.2859E-08	0.055	6.6253E-08	1485.6	2018.9	0
5	-1.2741E-08	-8.2026E-08	0	-0.00073847	272.44	272.44	-6.3125E-11	8.5334E-08	0.055	6.8232E-08	1486.6	2020.1	0
6	-1.5669E-08	-7.7659E-08	0	-0.00074131	272.29	272.29	-6.0629E-11	8.156E-08	0.055	6.5214E-08	1487.5	2021.2	0
7	-1.4429E-08	-7.556E-08	0	-0.00074138	272.13	272.13	-5.6555E-11	7.8727E-08	0.055	6.2849E-08	1488.4	2022.4	0
8	-1.058E-08	-7.3651E-08	0	-0.00073879	271.98	271.98	-5.5466E-11	7.4899E-08	0.055	5.9807E-08	1489.3	2023.6	0
9	1.4373E-08	-5.9009E-08	0	-0.00073224	271.88	271.88	-4.8536E-11	6.6291E-08	0.055	5.3005E-08	1490.3	2024.8	0
10	3.8851E-08	-4.1017E-08	0	-0.00072384	271.8	271.8	-4.3628E-11	6.0115E-08	0.055	4.8067E-08	1491.2	2026	0
11	5.3775E-08	9.4386E-10	0	-0.00071382	271.85	271.85	-4.671E-11	6.4993E-08	0.055	5.1967E-08	1492.1	2027.2	0
12	6.2766E-08	3.41E-08	0	-0.00069702	272	272	-5.0276E-11	7.1852E-08	0.055	5.7452E-08	1493	2028.3	0
13	4.7973E-08	0.00000003	0	-0.00068179	272.27	272.27	-3.8294E-11	5.6672E-08	0.055	4.5314E-08	1493.9	2029.5	0
14	1.905E-08	1.4669E-08	0	-0.00066005	272.5	272.5	-2.0468E-11	2.9482E-08	0.055	2.3573E-08	1494.9	2030.7	0
15	-1.5165E-08	-2.3721E-08	0	-0.00063433	272.36	272.36	-2.3966E-11	3.5833E-08	0.055	2.8651E-08	1495.8	2031.9	0
16	-0.0035057	0.0026436	0	0.0027147	271.92	271.92	0.0017388	0.0043907	0.055	0.0008827	1496.7	2033.1	0
17	-0.2295	-0.1788	0	0.23824	271.69	271.69	0.13285	0.2912	0.055	0.057591	1497.6	2034.2	0
18	-0.44828	0.40274	0	0.64593	271.69	271.69	0.40127	0.60437	0.055	0.11259	1498.6	2035.4	0
19	-0.38372	0.40549	0	0.62807	271.69	271.69	0.38218	0.56642	0.055	0.10493	1499.5	2036.6	0
20	-0.2574	0.20603	0	0.37498	271.69	271.69	0.15336	0.34666	0.055	0.069197	1500.4	2037.8	0
21	-0.11735	0.093771	0	0.284	271.69	271.69	0.053402	0.18858	0.055	0.040098	1501.3	2039	0
22	0.038116	0.063242	0	0.1811	271.69	271.69	0.023858	0.11324	0.055	0.026734	1502.3	2040.2	0
23	0.013895	0.044598	0	0.10318	271.79	271.69	0.013172	0.053889	0.055	0.012032	1503.2	2041.3	0
24	-0.0025182	-0.0059506	0	0.0055394	271.84	271.84	0.00012797	0.0064618	0.055	0.0021402	1504.1	2042.5	0
25	1.2044E-08	4.4933E-07	0	-0.00033771	271.93	271.93	-2.3506E-10	6.6481E-07	0.055	5.3157E-07	1505	2043.7	0
26	-0.050109	0.10405	0	0.14508	271.74	271.6	0.035855	0.11549	0.055	0.024177	1506	2044.9	0
27	-0.1309	0.22699	0	0.335	271.58	271.24	0.098292	0.26691	0.055	0.054919	1506.9	2046.1	0
28	-0.51953	0.60262	0	0.61959	271.59	270.98	0.60362	0.80045	0.055	0.14566	1507.8	2047.2	0
29	-0.94489	1.0372	0	0.87033	271.59	270.72	1.2717	1.4033	0.055	0.24628	1508.7	2048.4	0

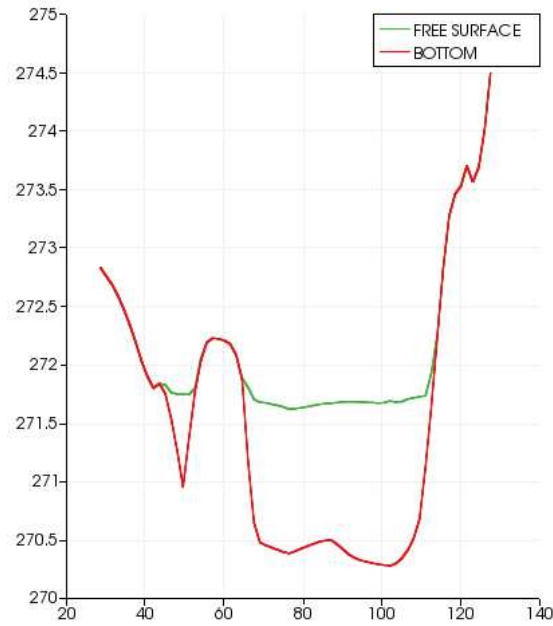
Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 4.38: Representación de la sección transversal de la superficie sin agua en 0+010.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.39: Representación de la sección transversal de la superficie con agua en 0+010.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.40: Data de resultados de la sección transversal de la superficie con agua en 0+000.**

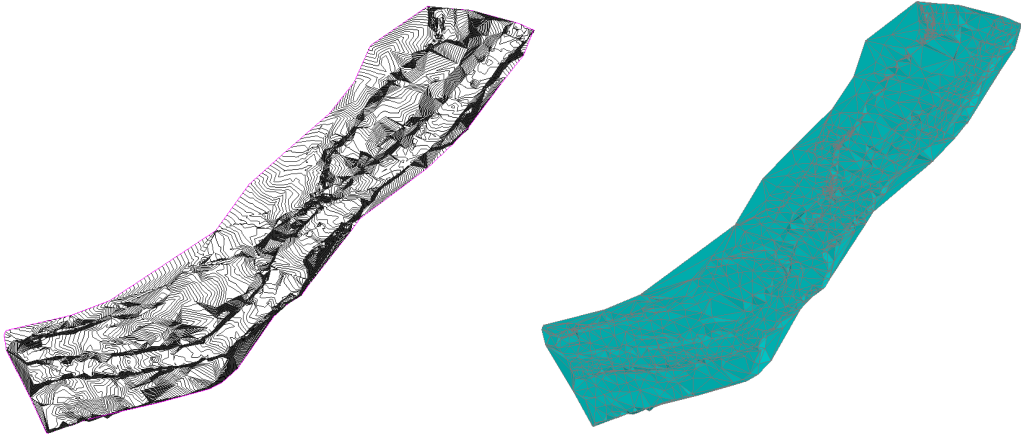
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	VELOCITY:0	VELOCITY:1	VELOCITY:2	WATER DEPTH	FREE SURFACE	BOTTOM	SCALAR FLOWRATE	SCALAR VELOCITY	BOTTOM FRICTION	FRICTION VEL.	Points:0	Points:1	Points:2
2	-1.0259E-09	-1.438E-07	0	-0.0011717	272.83	272.83	-1.6868E-10	1.4387E-07	0.055	1.1504E-07	1493.6	2010.9	0
3	-3.8937E-09	-1.4119E-07	0	-0.0011764	272.76	272.76	-1.6527E-10	1.4122E-07	0.055	1.1292E-07	1494.5	2012.1	0
4	-6.3438E-09	-1.3678E-07	0	-0.0011632	272.68	272.69	-1.6235E-10	1.3698E-07	0.055	1.0683E-07	1495.4	2013.3	0
5	-7.557E-09	-1.3424E-07	0	-0.0011934	272.59	272.59	-1.5939E-10	1.3448E-07	0.055	1.0751E-07	1496.3	2014.5	0
6	-7.557E-09	-1.3225E-07	0	-0.0012023	272.47	272.47	-1.5939E-10	1.3247E-07	0.055	1.0592E-07	1497.2	2015.7	0
7	-3.5259E-10	-1.2865E-07	0	-0.0012144	272.34	272.34	-1.5692E-10	1.2902E-07	0.055	1.0317E-07	1498.1	2016.9	0
8	-4.3041E-10	-1.2824E-07	0	-0.0012252	272.19	272.19	-1.5792E-10	1.2686E-07	0.055	1.0209E-07	1499	2018.1	0
9	-8.5133E-09	-1.3119E-07	0	-0.0012339	272.03	272.03	-1.6239E-10	1.3158E-07	0.055	1.0521E-07	1499.9	2019.3	0
10	2.1895E-08	-9.9026E-08	0	-0.0012352	271.9	271.9	-1.3981E-10	1.0895E-07	0.055	8.7114E-08	1500.8	2020.5	0
11	3.6005E-08	-6.2994E-08	0	-0.0012096	271.8	271.8	-1.1722E-10	8.9938E-08	0.055	7.1913E-08	1501.7	2021.7	0
12	-7.0853E-08	-4.4965E-08	0	-0.0010575	271.84	271.84	-1.2691E-10	1.1937E-07	0.055	9.5448E-08	1502.6	2022.9	0
13	-0.021956	0.045748	0	0.074271	271.83	271.75	0.01451	0.061894	0.055	0.013864	1503.5	2024.1	0
14	-0.077255	0.14289	0	0.2247	271.76	271.54	0.044397	0.19604	0.055	0.044144	1504.4	2025.3	0
15	-0.30514	0.3567	0	0.48078	271.75	271.27	0.31042	0.49005	0.055	0.094241	1505.3	2026.5	0
16	-0.55095	0.60723	0	0.79303	271.75	270.95	0.6515	0.82023	0.055	0.14685	1506.2	2027.7	0
17	-0.23666	0.34215	0	0.37313	271.74	271.37	0.2888	0.4371	0.055	0.065544	1507.1	2028.9	0
18	0.0085096	0.11229	0	0.037045	271.8	271.76	0.0074304	0.11251	0.055	0.030518	1508	2030.1	0
19	0.0041544	0.05482	0	0.017874	272.05	272.03	0.0036274	0.054977	0.055	0.014898	1508.9	2031.3	0
20	4.455E-08	-1.8831E-08	0	-0.00040793	272.19	272.19	-1.988E-11	4.8638E-08	0.055	3.8891E-08	1509.8	2032.5	0
21	3.3293E-08	-2.8671E-08	0	-0.00041305	272.23	272.23	-1.9198E-11	4.6271E-08	0.055	3.6998E-08	1510.7	2033.7	0
22	2.3445E-08	-3.1021E-08	0	-0.00037511	272.22	272.22	-1.5531E-11	4.0981E-08	0.055	3.2768E-08	1511.6	2034.9	0
23	1.258E-08	-3.0295E-08	0	-0.00033347	272.21	272.21	-1.1653E-11	3.3822E-08	0.055	2.7043E-08	1512.5	2036.1	0
24	-1.1641E-09	-1.8586E-08	0	-0.00025281	272.18	272.18	-5.552E-12	2.0432E-08	0.055	1.6337E-08	1513.4	2037.3	0
25	0.00041809	-0.00050902	0	0.00046749	272.08	272.08	1.0113E-06	0.00065872	0.055	0.00033411	1514.3	2038.5	0
26	-0.018968	0.020216	0	0.017123	271.88	271.87	0.0085397	0.030037	0.055	0.0088127	1515.2	2039.7	0
27	-0.48377	0.34163	0	0.6367	271.81	271.17	0.59515	0.93341	0.055	0.10286	1516.1	2040.9	0
28	-0.9717	0.65198	0	1.0552	271.7	270.65	1.2654	1.1708	0.055	0.19921	1517	2042.1	0
29	-1.5265	1.0129	0	1.2002	271.68	270.48	2.2054	1.8322	0.055	0.30604	1517.9	2043.3	0

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5.2. MODELAMIENTO NUMÉRICO CON ESTRUCTURA

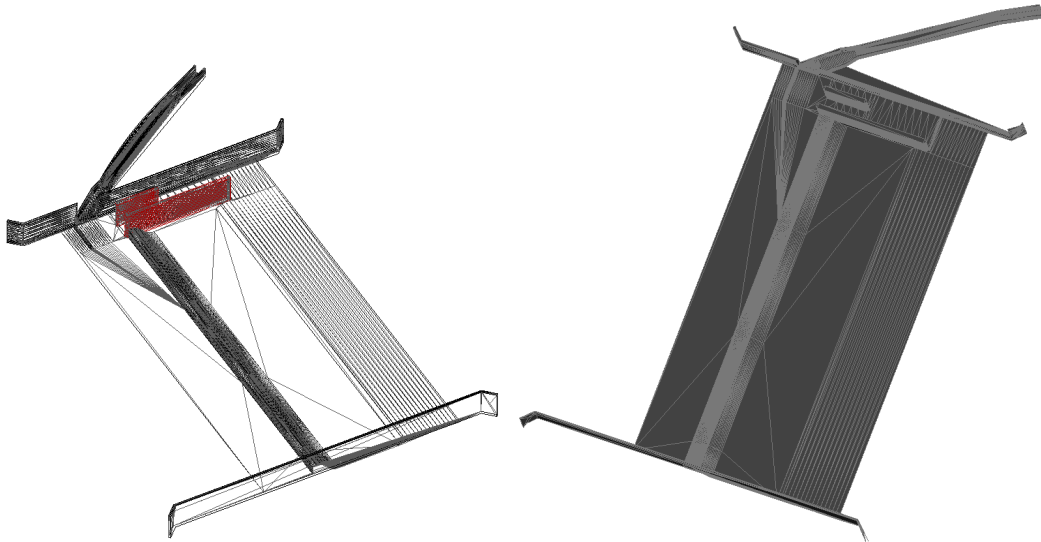
##### Superficie del río

**FIGURA 4.41: Representación de la superficie del río en AutoCAD Civil 3D.**



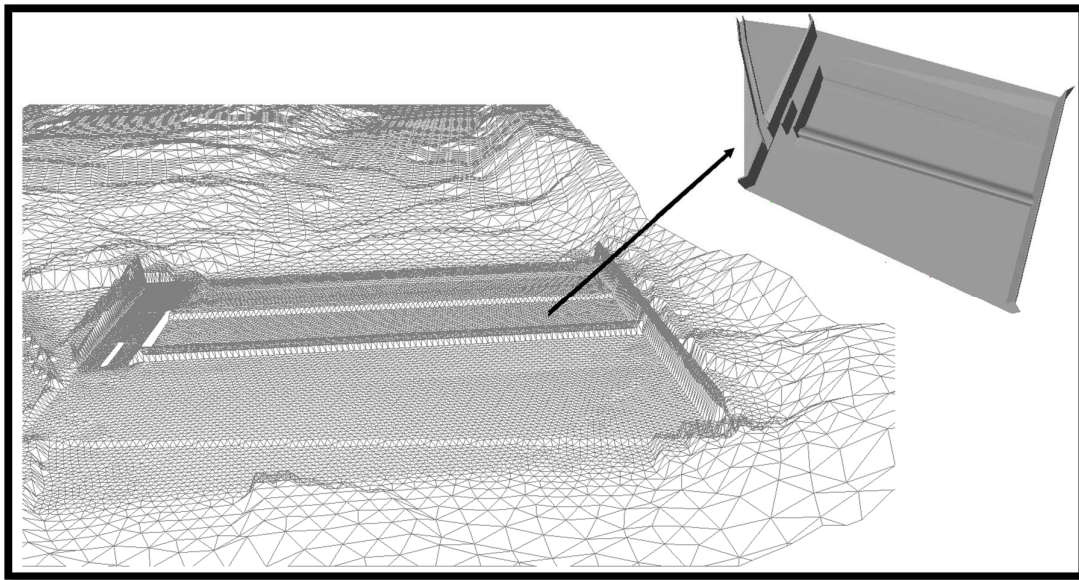
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.42: Representación de la superficie de la estructura en AutoCAD Civil 3D.**



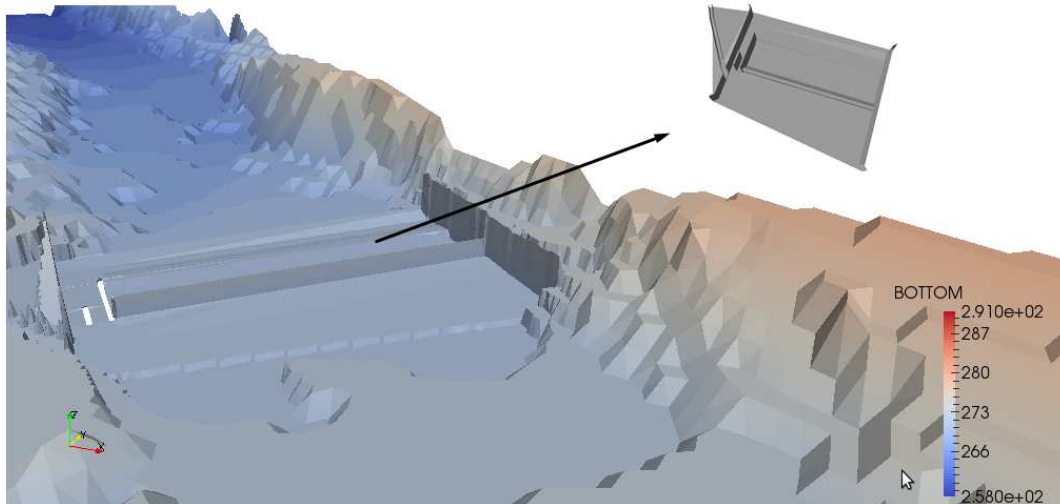
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.43: Representación de la superficie del río con estructura en Bluekenue.**



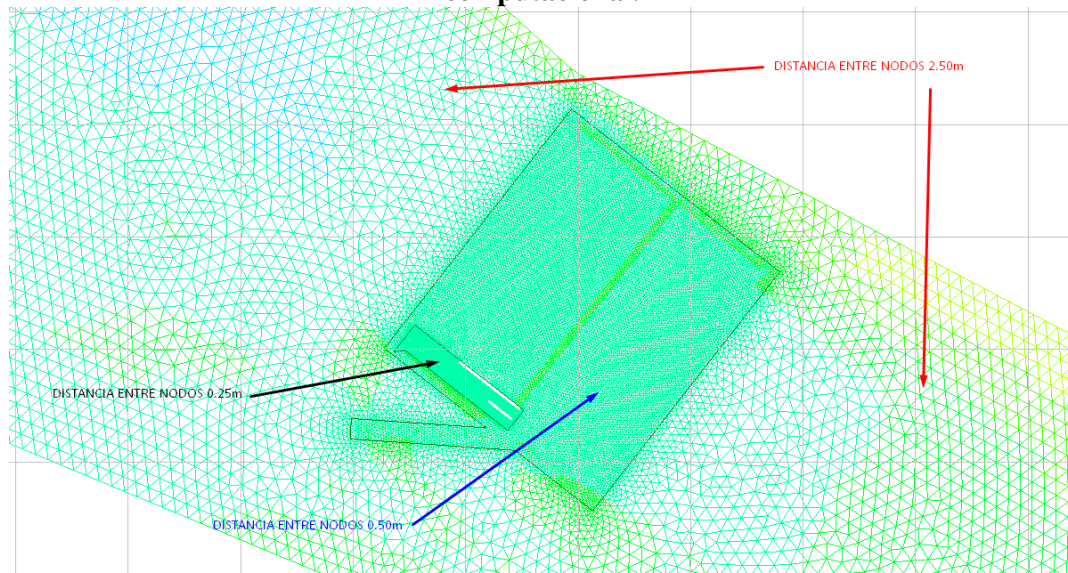
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.44: Representación de la superficie con estructura en Paraview.**



Fuente: Elaboración Propia.

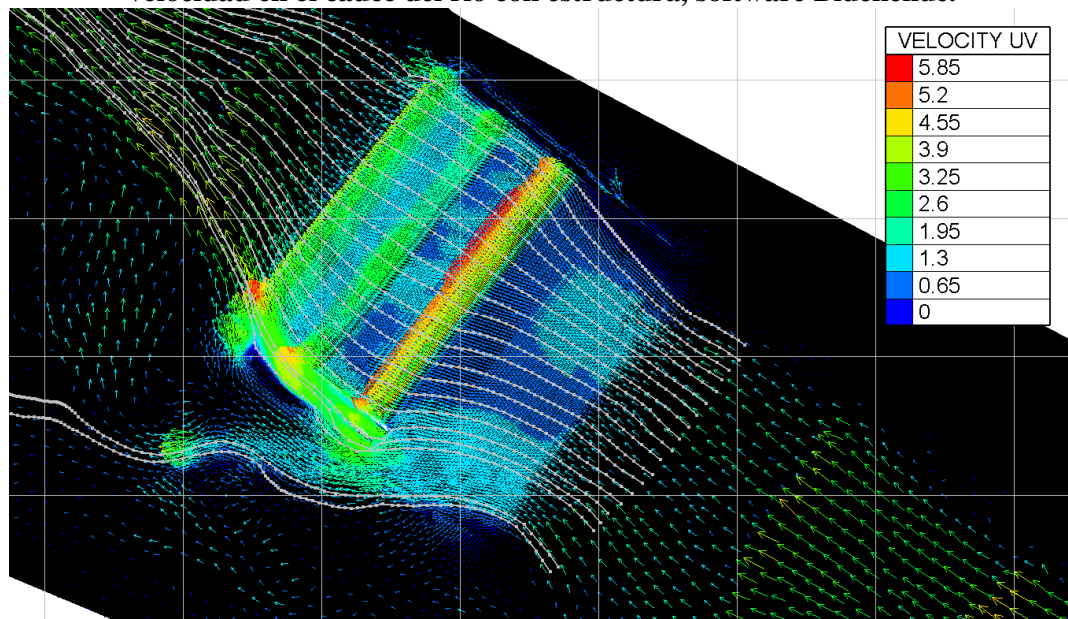
**FIGURA 4.45: Representación de la superficie con estructura a través de la malla computacional.**



Fuente: Elaboración Propia.

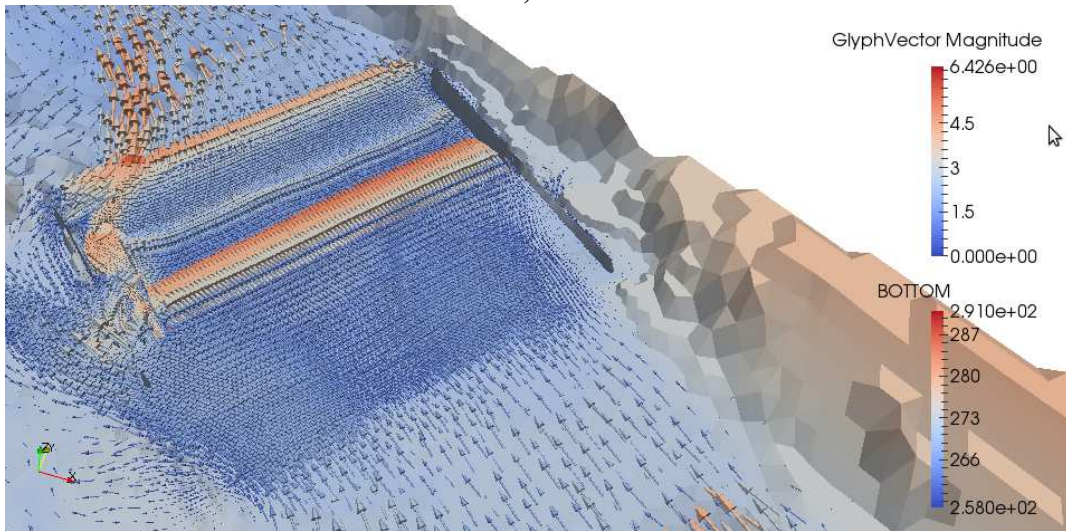
### Velocidad del flujo

**FIGURA 4.46: Representación gráfica de vectores y líneas de corriente de la velocidad en el cauce del río con estructura, software Bluekenue.**



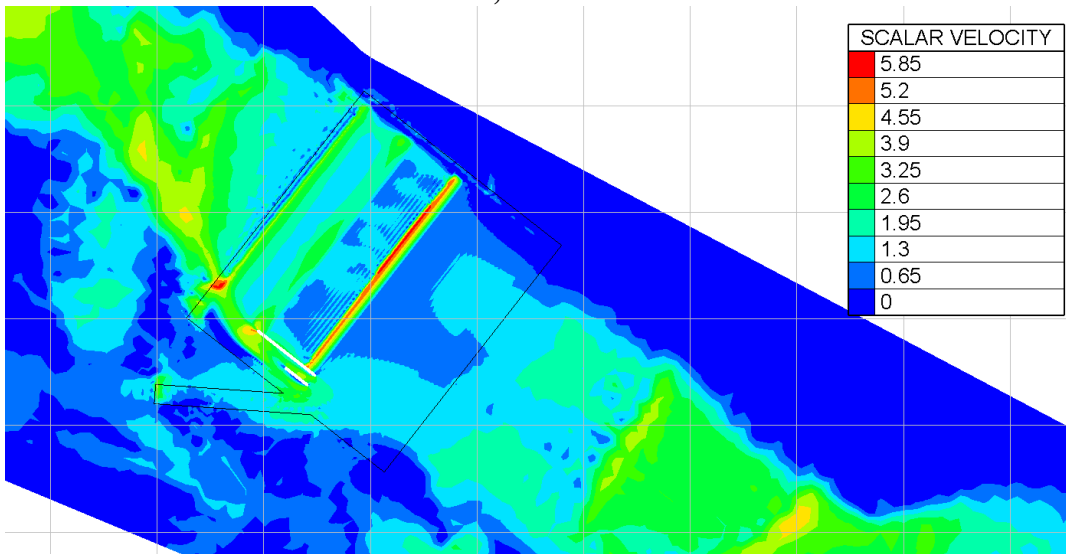
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.47: Representación gráfica de vectores de la velocidad en el cauce del río con estructura, software Paraview.**



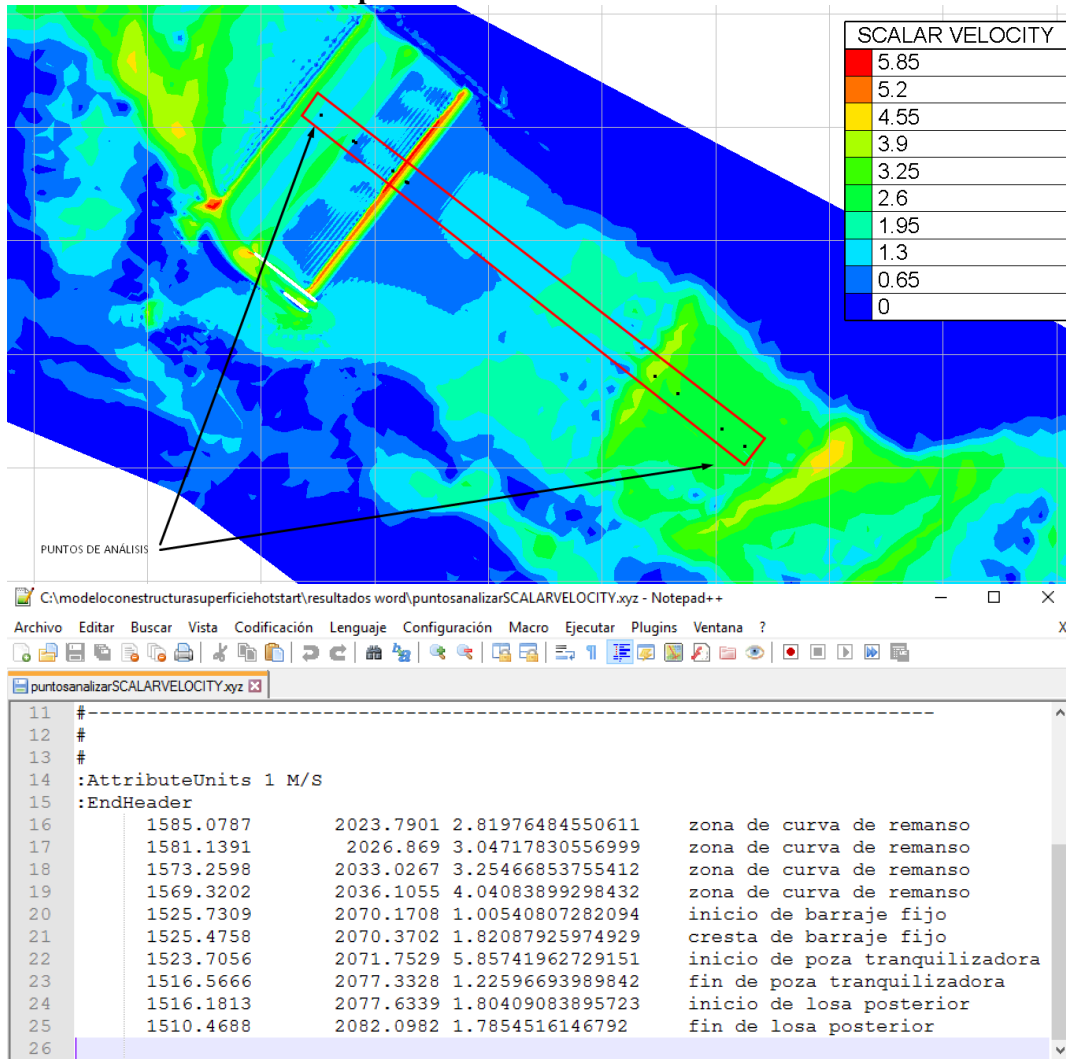
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.48: Representación gráfica y valores de la velocidad en el cauce del río con estructura, software Bluekenue.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.49: Valores de la velocidad en el cauce del río con estructura, para los puntos de análisis indicados.**



Fuente: Elaboración Propia.

**VALORES CALCULADOS CON FÓRMULAS EMPÍRICAS**

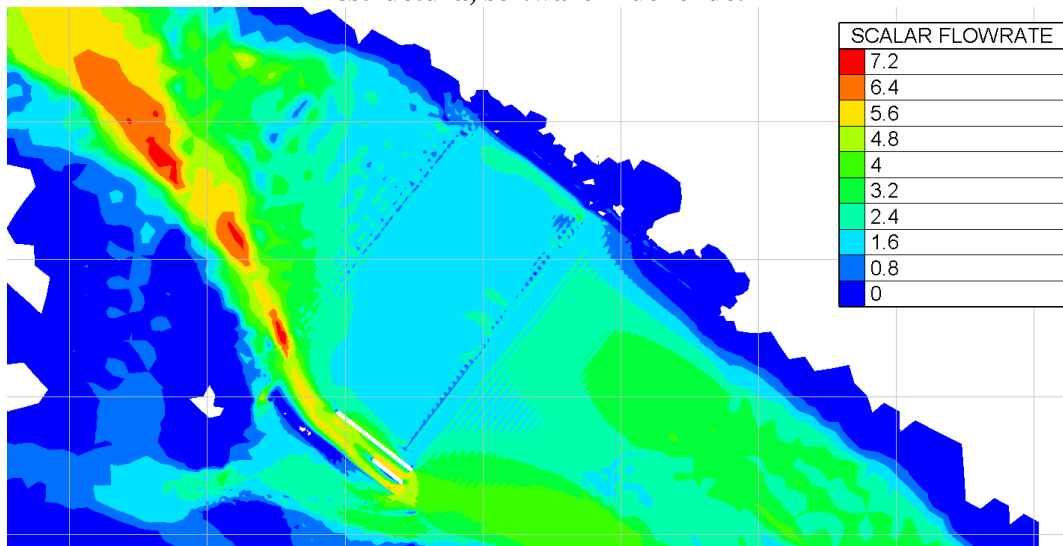
Velocidad al inicio de la poza tranquilizadora: 6.96 m/s

Velocidad al final de la poza tranquilizadora: 1.57 m/s

Los valores de velocidades en la sección de la entrada y salida de la poza tranquilizadora son muy similares a los valores obtenidos en el cálculo de diseño hidráulico de la estructura; lo cual confirma el buen funcionamiento de la poza disipadora.

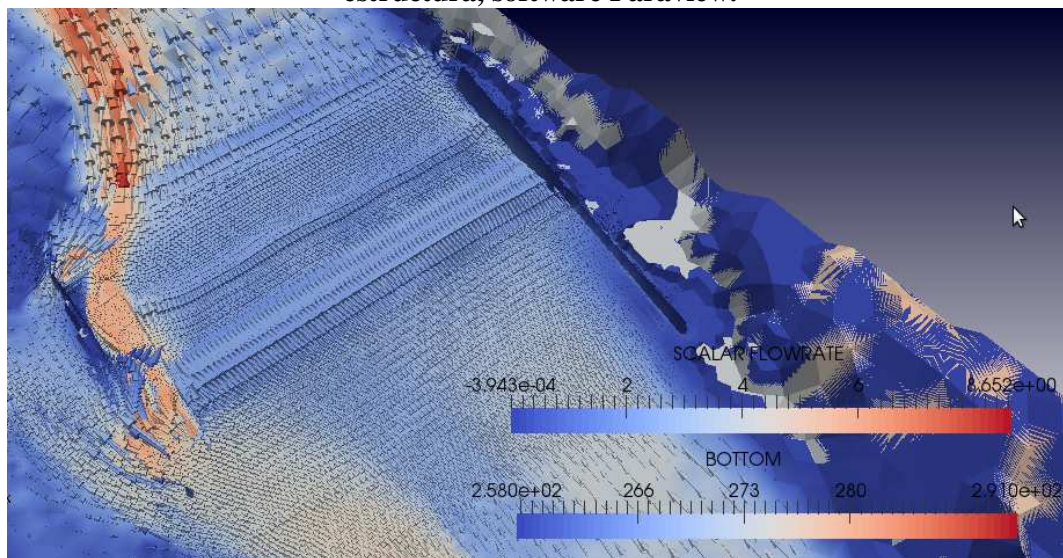
## Caudal

**FIGURA 4.50: Representación gráfica y valores de caudales en el cauce del río con estructura, software Bluekenue.**



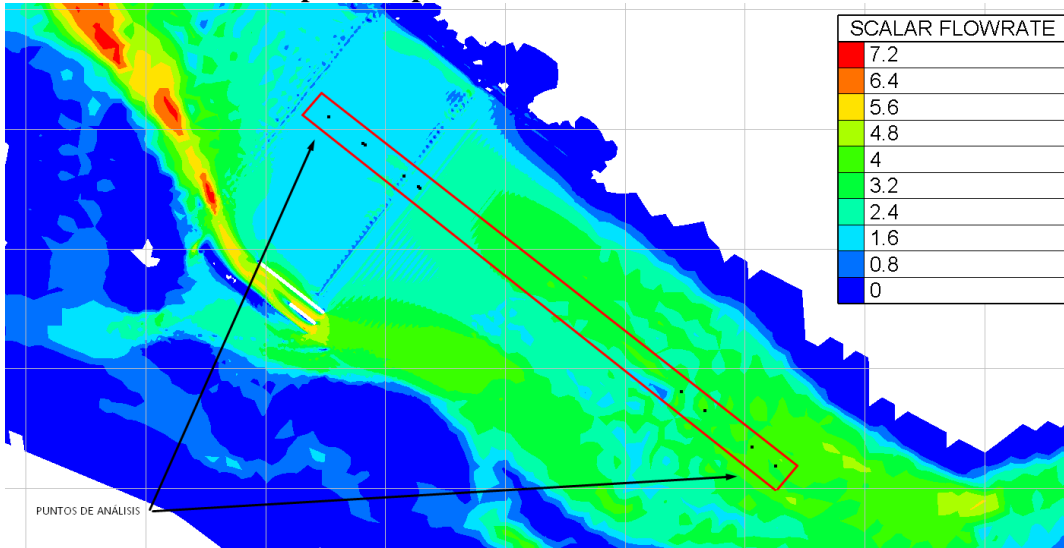
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.51: Representación gráfica y valores de caudales en el cauce del río con estructura, software Paraview.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.52: Valores de caudales unitarios en el cauce del río con estructura, para los puntos de análisis indicados.**



C:\modeloconestructurasuperficiehotstart\resultados word\puntosanalizarSCALARFLOWRATE.xyz - Notepad++

Archivo Editar Buscar Vista Codificación Lenguaje Configuración Macro Ejecutar Plugins Ventana ?

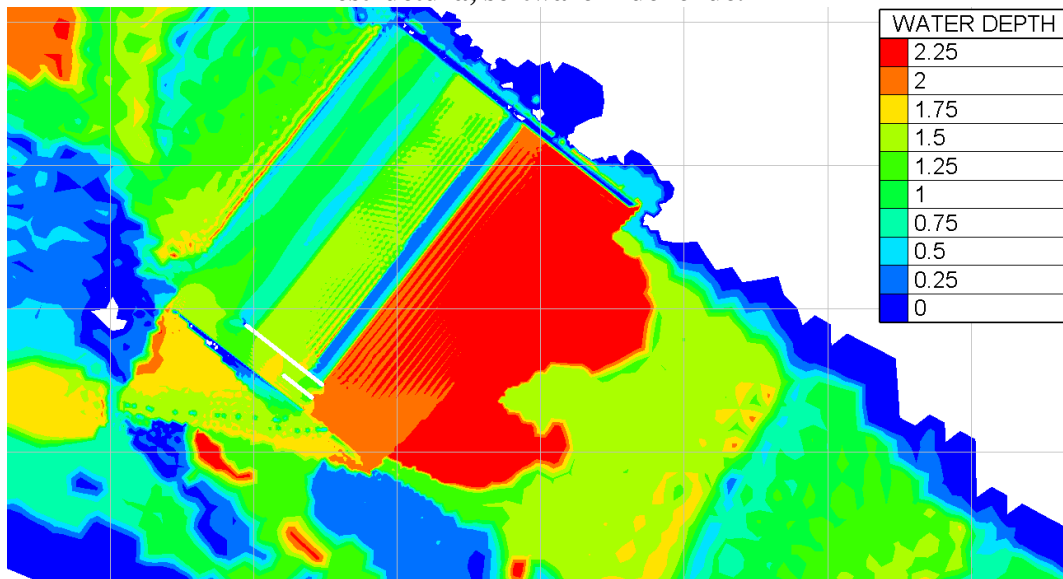
puntosanalizarSCALARFLOWRATE.xyz

Linea	Coordenada X	Coordenada Y	Caudal Unitario (M2/S)	Descripción
11				#
12				#
13				#
14				:AttributeUnits 1 M2/S
15				:EndHeader
16	1585.0787	2023.7901	4.12638855056375	zona de curva de remanso
17	1581.1391	2026.869	4.1168390405608	zona de curva de remanso
18	1573.2598	2033.0267	3.9642103972603	zona de curva de remanso
19	1569.3202	2036.1055	3.56626971809555	zona de curva de remanso
20	1525.7309	2070.1708	2.18031625233375	inicio de barrage fijo
21	1525.4758	2070.3702	1.96921147025415	cresta de barrage fijo
22	1523.7056	2071.7529	2.30337897557238	inicio de poza tranquilizadora
23	1516.5666	2077.3328	1.76724501708271	fin de poza tranquilizadora
24	1516.1813	2077.6339	1.71453885697243	inicio de losa posterior
25	1510.4688	2082.0982	2.27162875540554	fin de losa posterior
26				

Fuente: Elaboración Propia.

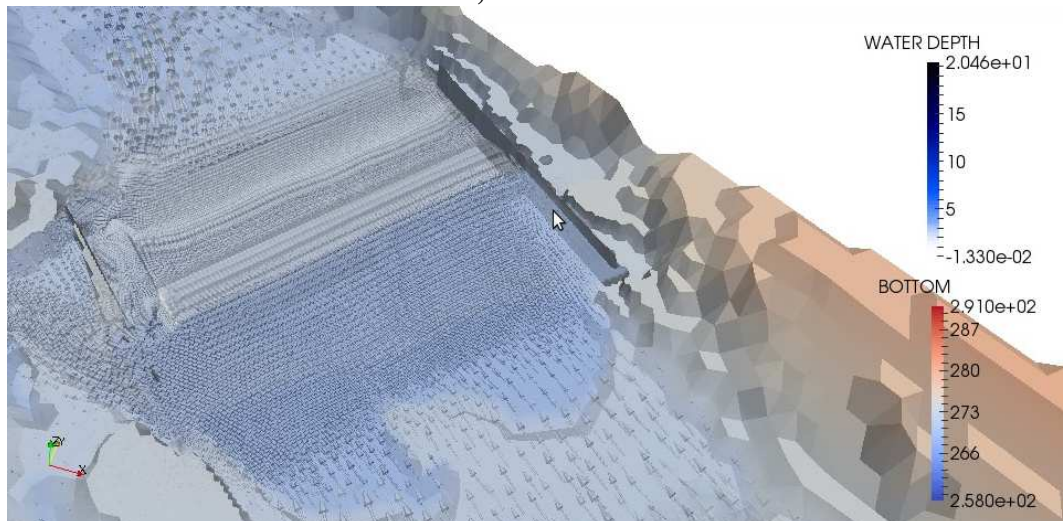
## Tirante de agua

**FIGURA 4.53: Representación gráfica y valores de tirantes en el cauce del río con estructura, software Bluekenue.**



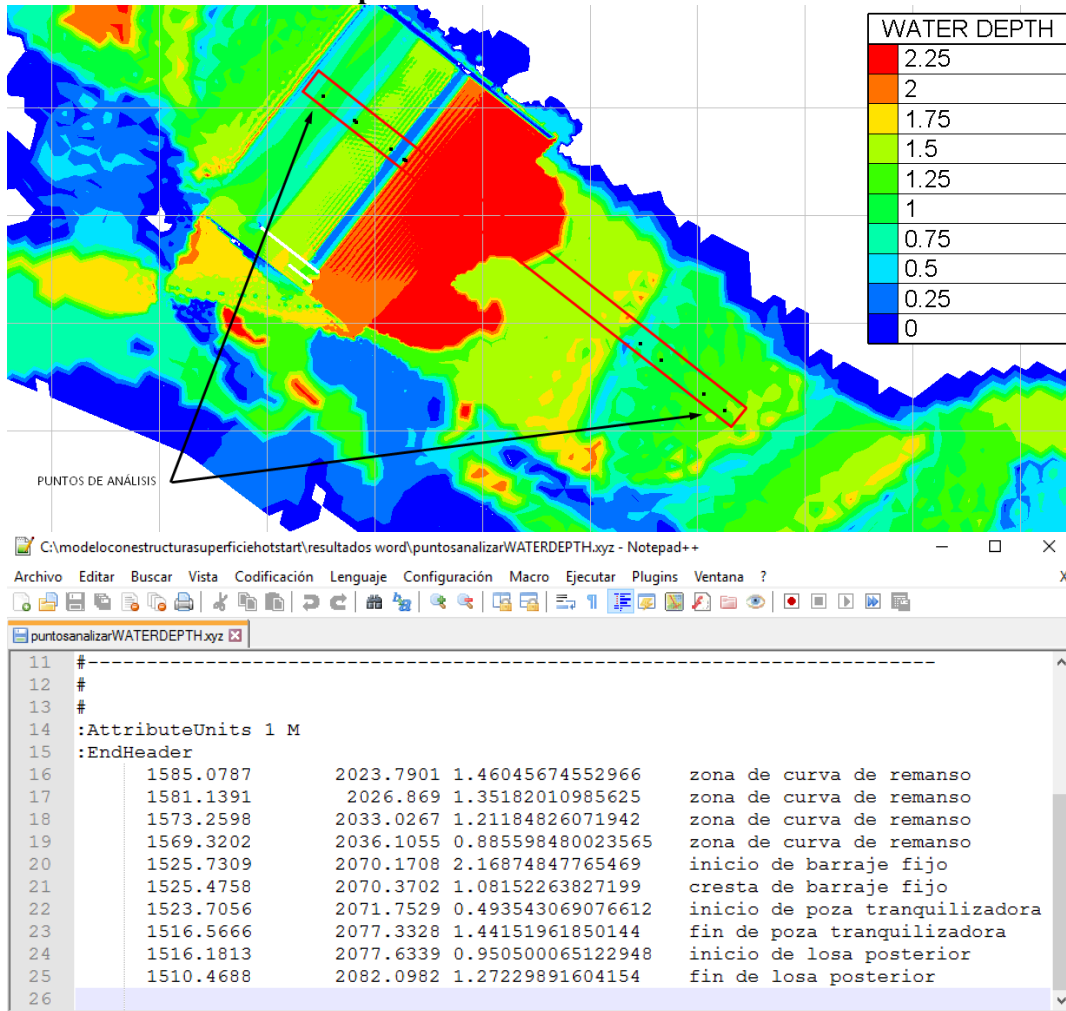
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.54: Representación gráfica y valores de tirantes en el cauce del río con estructura, software Paraview.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.55: Valores de tirantes en el cauce del río con estructura, para los puntos de análisis indicados.**



Fuente: Elaboración Propia.

**VALORES CALCULADOS CON FÓRMULAS EMPÍRICAS**

Tirante o carga sobre la cresta del barrage fijo: 1.21 m

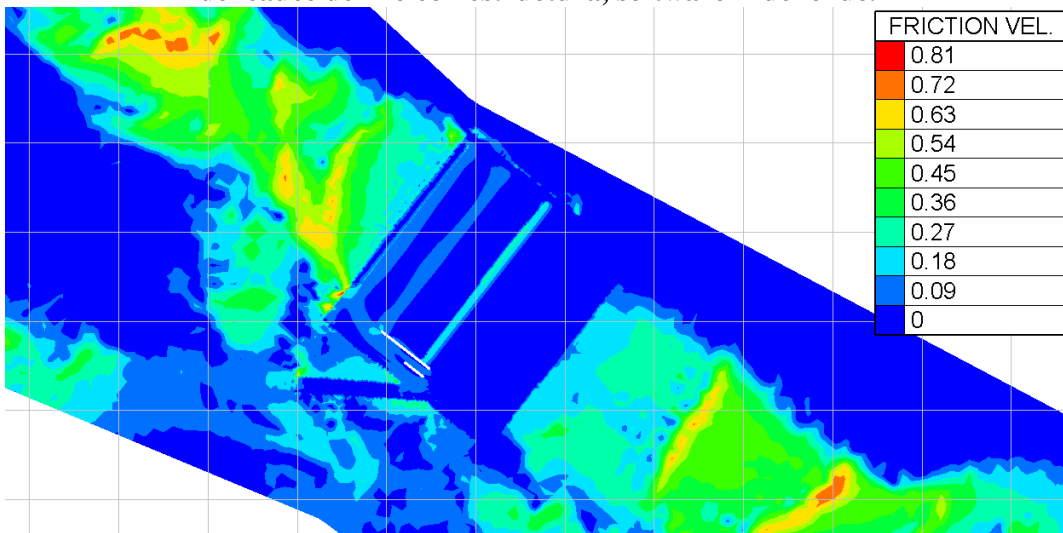
Tirante al inicio de la poza tranquilizadora: 0.41 m

Tirante al final de la poza tranquilizadora: 1.83 m

Los valores de tirantes en las diferentes secciones de la bocatoma son muy similares a los valores obtenidos en el cálculo de diseño hidráulico de la estructura; lo cual confirma la veracidad de los resultados.

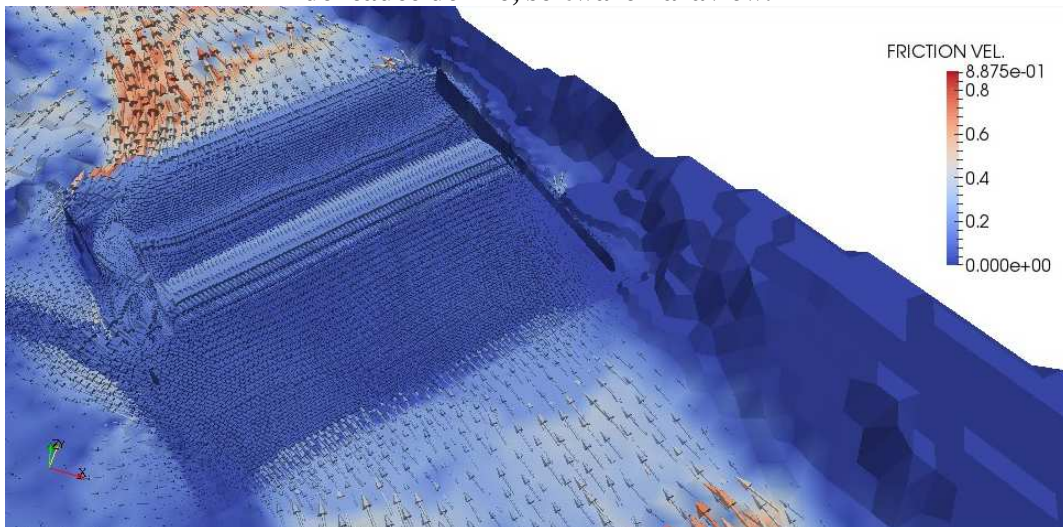
### Esfuerzo cortante en el fondo del río

**FIGURA 4.56: Representación gráfica y valores de esfuerzos cortantes en el fondo del cauce del río con estructura, software Bluekenue.**



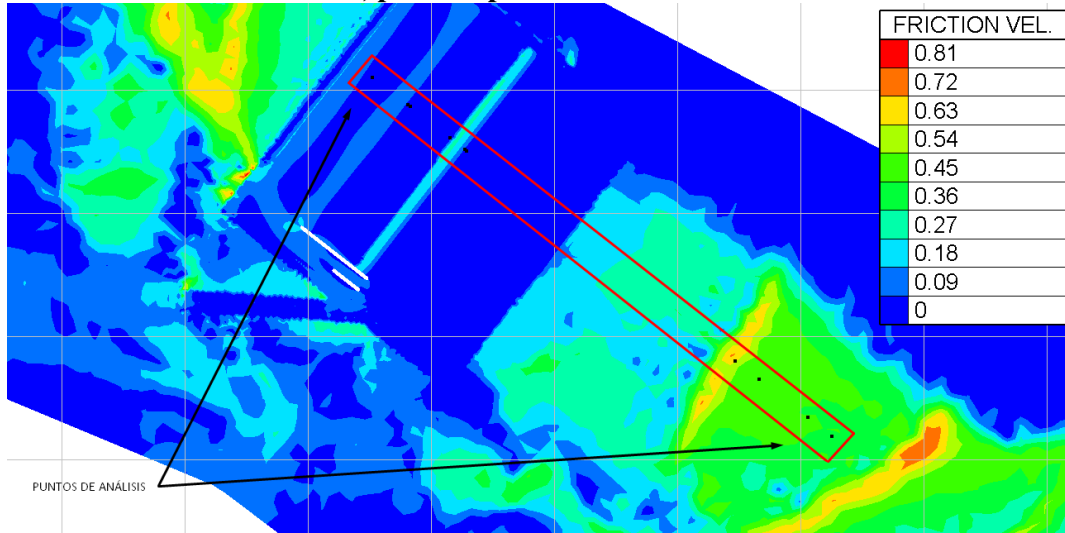
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.57: Representación gráfica y valores de esfuerzo cortante en el fondo del cauce del río, software Paraview.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.58: Valores de esfuerzo cortante en el fondo del cauce del río con estructura, para los puntos de análisis indicados.**



```

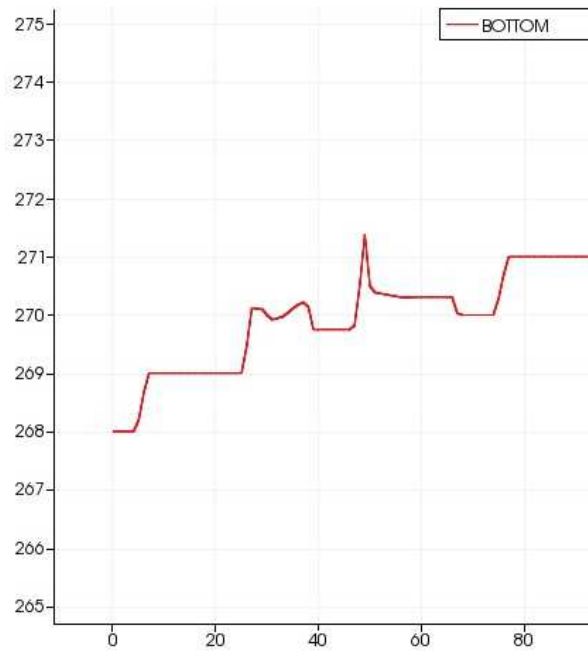
C:\modeloconestructurasuperficiehotstart\resultados word\puntosanalizarFRICTIONVELOCITY.xyz - Notepad++
Archivo Editar Buscar Vista Codificación Lenguaje Configuración Macro Ejecutar Plugins Ventana ?
puntosanalizarFRICTIONVELOCITY.xyz
11 #-----
12 #
13 #
14 :AttributeUnits 1 M/S
15 :EndHeader
16 1585.0787      2023.7901  0.414540914910485   zona de curva de remanso
17 1581.1391      2026.869   0.453953656389163   zona de curva de remanso
18 1573.2598      2033.0267  0.494128123062018   zona de curva de remanso
19 1569.3202      2036.1055  0.647001891772447   zona de curva de remanso
20 1525.7309      2070.1708  0.0359834347097163   inicio de barraje fijo
21 1525.4758      2070.3702  0.0731777260932063   cresta de barraje fijo
22 1523.7056      2071.7529  0.279017804422555   inicio de poza tranquilizadora
23 1516.5666      2077.3328  0.0469660891036021   fin de poza tranquilizadora
24 1516.1813      2077.6339  0.074076798502221   inicio de losa posterior
25 1510.4688      2082.0982  0.0698466023438441   fin de losa posterior
26

```

Fuente: Elaboración Propia.

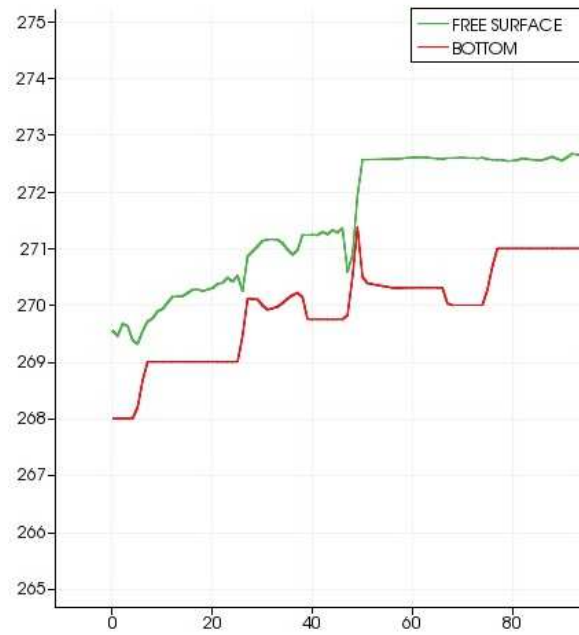
### Perfil longitudinal al cauce del río con estructura

**FIGURA 4.59: Representación del perfil longitudinal de la superficie sin agua, 50m aguas arriba y aguas debajo de la bocatoma.**



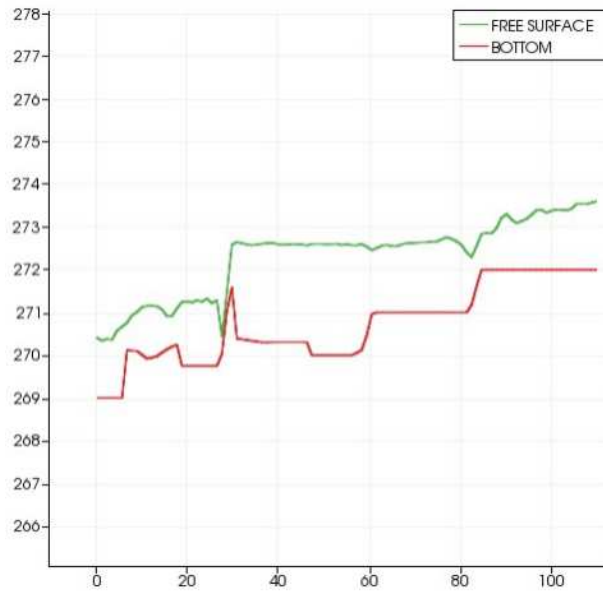
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.60: Representación del perfil longitudinal de la superficie con agua, 50m aguas arriba y aguas debajo de la bocatoma.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.61: Representación del remanso a través del perfil longitudinal de la superficie con agua, 70m aguas arriba y 30m aguas debajo de la bocatoma.**



Fuente: Elaboración Propia.

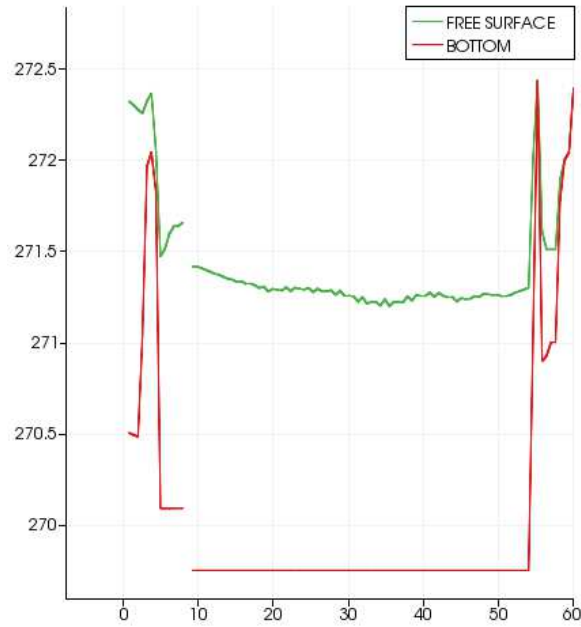
#### Secciones Transversales al cauce del río con estructura

**FIGURA 4.62: Representación de la sección transversal de la superficie sin agua en -0+010.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.63: Representación de la sección transversal de la superficie con agua en -0+010.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.64: Data de resultados de la sección transversal de la superficie con agua en -0+010.**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	"VELOCITY:0"	"VELOCITY:1"	"VELOCITY:2"	"WATER DEPTH"	"FREE SURFACE"	"BOTTOM"	"SCALAR FLOWRATE"	"SCALAR VELOCITY"	"BOTTOM FRICTION"	"FRICTION VEL."	"Points:0"	"Points:1"	"Points:2"
1	-1.2138	0.86007	0	1.7794	272.29	270.52	2.6475	1.4877	0.05	0.21165	1495.8	2049.1	0
2	-1.1808	0.8981	0	1.8172	272.32	270.5	2.5984	1.485	0.05	0.21053	1496.2	2049.6	0
3	-1.0758	0.86596	0	1.8085	272.3	270.49	2.5007	1.382	0.05	0.19607	1496.6	2050.1	0
4	-0.98897	0.83988	0	1.7927	272.28	270.48	2.3582	1.3171	0.05	0.18719	1497	2050.5	0
5	-0.79681	0.67536	0	1.2149	272.26	271.04	0.91306	1.0601	0.034981	0.092432	1497.3	2051	0
6	-0.73389	0.67302	0	0.35637	272.32	271.97	0.35241	1.0038	0.013	0.048921	1497.7	2051.5	0
7	-0.45575	1.1939	0	0.32207	272.36	272.04	0.43511	1.334	0.013	0.065633	1498.1	2051.9	0
8	0.12595	0.58873	0	0.22263	272.05	271.82	0.20031	0.62874	0.013	0.046129	1498.5	2052.4	0
9	-0.26585	1.8768	0	1.3826	271.47	270.09	3.8446	2.7858	0.013	0.10755	1498.9	2052.9	0
10	-0.8257	2.5759	0	1.423	271.51	270.09	5.4421	3.8237	0.013	0.14679	1499.2	2053.3	0
11	-2.8063	2.529	0	1.5054	271.6	270.09	5.6847	3.7779	0.013	0.14371	1499.6	2053.8	0
12	-2.6346	2.2913	0	1.5463	271.64	270.09	5.399	3.4915	0.013	0.13222	1500	2054.2	0
13	-2.7041	2.2844	0	1.5482	271.64	270.09	5.48	3.5399	0.013	0.134	1500.4	2054.7	0
14	-2.5986	2.2244	0	1.5664	271.66	270.09	5.4781	3.4973	0.013	0.13214	1500.7	2055.2	0
15	-2.0789	1.626	0	1.6651	271.42	269.75	4.3947	2.6393	0.013	0.098708	1501.5	2056.1	0
16	-1.8141	1.5128	0	1.6665	271.42	269.75	3.9369	2.3623	0.013	0.088335	1501.9	2056.6	0
17	-1.5636	1.3816	0	1.6592	271.41	269.75	3.4628	2.0868	0.013	0.078088	1502.3	2057	0
18	-1.3446	1.2514	0	1.6477	271.4	269.75	3.0273	1.8371	0.013	0.068825	1502.6	2057.5	0
19	-1.1697	1.1327	0	1.6384	271.39	269.75	2.6883	1.6284	0.013	0.061065	1503	2058	0
20	-1.0433	1.0253	0	1.6268	271.38	269.75	2.3799	1.4628	0.013	0.054923	1503.4	2058.4	0
21	-0.96642	0.93797	0	1.6207	271.37	269.75	2.1828	1.3468	0.013	0.0506	1503.8	2058.9	0
22	-0.93327	0.88495	0	1.6093	271.36	269.75	2.0699	1.2862	0.013	0.048381	1504.2	2059.4	0
23	-0.9342	0.84771	0	1.5991	271.35	269.75	2.0174	1.2615	0.013	0.047503	1504.5	2059.8	0
24	-0.9374	0.81422	0	1.5912	271.34	269.75	1.9654	1.2458	0.013	0.047454	1504.8	2060.2	0

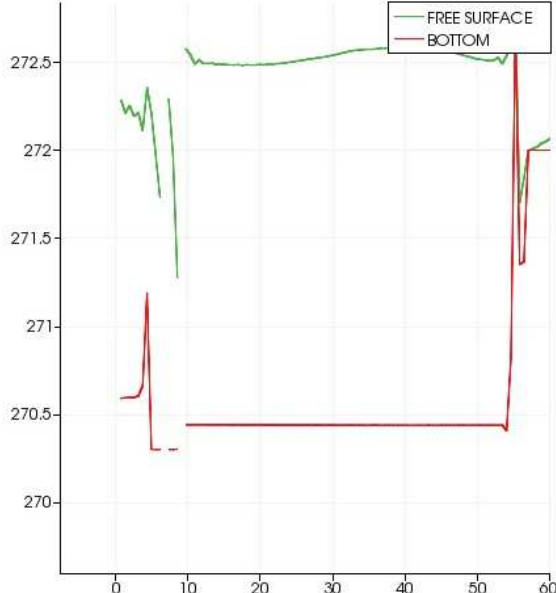
Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 4.65: Representación de la sección transversal de la superficie sin agua en 0+000.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.66: Representación de la sección transversal de la superficie con agua en 0+000.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.67: Data de resultados de la sección transversal de la superficie con agua en 0+000.**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	"VELOCITY:0"	"VELOCITY:1"	"VELOCITY:2"	"WATER DEPTH"	"FREE SURFACE "	"BOTTOM"	"SCALAR FLOWRATE"	"SCALAR VELOCITY"	"BOTTOM FRICTION"	"FRICTION VEL."	"Points:0"	"Points:1"	"Points:2"
2	-1.9922	0.37622	0	1.7794	272.34	270.56	3.6105	2.0295	0.026009	0.14928	1504.1	2042.5	0
3	-1.9098	0.3722	0	1.6946	272.28	270.59	3.3012	1.9467	0.013	0.072605	1504.5	2043	0
4	-2.0159	0.24719	0	1.6174	272.21	270.59	3.2843	2.031	0.013	0.076333	1504.8	2043.5	0
5	-2.1948	0.30204	0	1.6578	272.25	270.59	3.6753	2.2166	0.013	0.082958	1505.2	2043.9	0
6	-2.5883	0.40121	0	1.5977	272.19	270.59	4.1795	2.621	0.013	0.098752	1505.6	2044.4	0
7	-3.0305	0.46811	0	1.6095	272.21	270.6	4.921	3.0693	0.013	0.11559	1506	2044.9	0
8	-3.3707	0.39431	0	1.4475	272.11	270.66	4.9133	3.3951	0.013	0.12998	1506.3	2045.4	0
9	-3.1107	0.40335	0	1.1693	272.36	271.19	3.8009	3.1532	0.013	0.12688	1506.7	2045.8	0
10	-2.688	0.77165	0	1.912	272.21	270.3	5.33	2.7984	0.013	0.10236	1507.1	2046.3	0
11	-3.5406	0.79232	0	1.6727	271.97	270.3	6.0615	3.6312	0.013	0.13578	1507.4	2046.8	0
12	-3.406	0.72075	0	1.4326	271.73	270.3	5.0416	3.5026	0.013	0.13432	1507.8	2047.2	0
13	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	1508.2	2047.7	0
14	-2.4153	1.2189	0	1.9902	272.29	270.3	5.3737	2.7073	0.013	0.098343	1508.5	2048.2	0
15	-3.2419	1.0479	0	1.6683	271.97	270.3	5.6745	3.4112	0.013	0.12764	1508.9	2048.7	0
16	-3.3276	1.1604	0	0.97521	271.28	270.3	3.4846	3.5539	0.013	0.14683	1509.3	2049.1	0
17	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	1509.7	2049.6	0
18	-0.87155	-0.020045	0	2.1352	272.58	270.44	1.8769	0.88835	0.013	0.032002	1510	2050.1	0
19	-1.1478	-0.24525	0	2.1017	272.54	270.44	2.4559	1.1814	0.013	0.042669	1510.4	2050.6	0
20	-1.2822	-0.074562	0	2.0501	272.49	270.44	2.8225	1.2873	0.013	0.046627	1510.8	2051	0
21	-1.2405	-0.17797	0	2.0729	272.51	270.44	2.5817	1.2567	0.013	0.045466	1511.1	2051.5	0
22	-1.2468	-0.078572	0	2.052	272.49	270.44	2.5464	1.2519	0.013	0.045368	1511.5	2052	0
23	-1.2226	-0.058121	0	2.053	272.49	270.44	2.4951	1.2265	0.013	0.044444	1511.9	2052.4	0
24	-1.1928	-0.022848	0	2.0548	272.49	270.44	2.4333	1.1953	0.013	0.043311	1512.2	2052.9	0

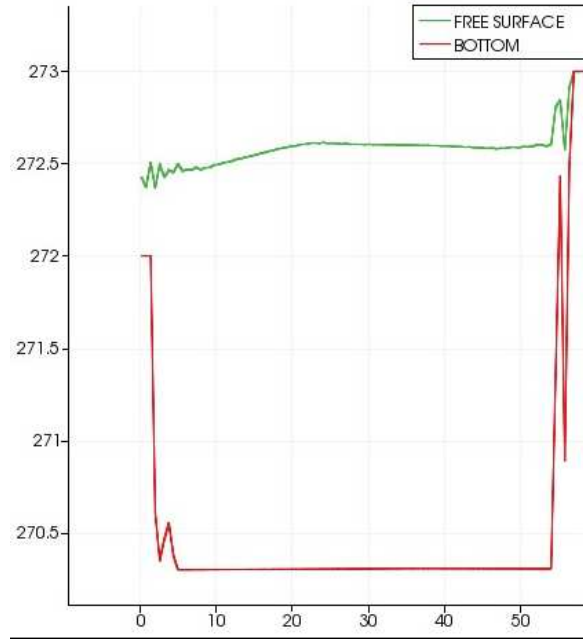
Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 4.68: Representación de la sección transversal de la superficie sin agua en 0+010.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.69: Representación de la sección transversal de la superficie con agua en 0+010.**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.70: Data de resultados de la sección transversal de la superficie con agua en 0+000.**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
#	"VELOCITY:0"	"VELOCITY:1"	"VELOCITY:2"	"WATER DEPTH"	"FREE SURFACE"	"BOTTOM"	"SCALAR FLOWRATE"	"SCALAR VELOCITY"	"BOTTOM FRICTION"	"FRICTION VEL."	"Points:0"	"Points:1"	"Points:2"
1	-0.81212	-0.53604	0	0.42606	272.43	272	0.41938	0.99384	0.05	0.18021	1512.5	2036.1	0
2	-0.73608	-0.69606	0	0.37137	272.37	272	0.3729	1.0162	0.05	0.18871	1512.9	2036.6	0
3	-0.67548	-0.46956	0	0.50997	272.51	272	0.41387	0.82761	0.05	0.14622	1513.2	2037	0
4	-0.6535	-0.075626	0	1.7559	272.37	270.61	1.1518	0.6739	0.05	0.098595	1513.6	2037.5	0
5	-0.79514	-0.095607	0	2.1478	272.5	270.35	1.7221	0.80264	0.041645	0.090591	1514	2038	0
6	-0.97676	-0.072291	0	1.9592	272.43	270.47	1.9085	0.98093	0.013	0.03576	1514.3	2038.5	0
7	-1.172	-0.12213	0	1.9115	272.47	270.55	2.2557	1.179	0.013	0.043099	1514.7	2039	0
8	-1.2945	-0.0014453	0	2.0739	272.45	270.38	2.6896	1.297	0.013	0.046772	1515	2039.4	0
9	-1.4214	0.013806	0	2.1978	272.5	270.3	3.1243	1.4215	0.013	0.050762	1515.4	2039.9	0
10	-1.546	0.086677	0	2.1597	272.46	270.3	3.3448	1.5485	0.013	0.055456	1515.8	2040.4	0
11	-1.6461	0.10815	0	2.1681	272.47	270.3	3.5768	1.6497	0.013	0.059043	1516.1	2040.9	0
12	-1.7018	0.13491	0	2.165	272.47	270.3	3.696	1.7072	0.013	0.061115	1516.5	2041.4	0
13	-1.776	0.15847	0	2.1785	272.48	270.3	3.8845	1.793	0.013	0.063764	1516.8	2041.8	0
14	-1.799	0.17913	0	2.1661	272.47	270.3	3.9155	1.8079	0.013	0.064715	1517.2	2042.3	0
15	-1.8267	0.21602	0	2.1764	272.48	270.3	4.0036	1.8396	0.013	0.065798	1517.6	2042.8	0
16	-1.8303	0.24418	0	2.1778	272.48	270.3	4.0214	1.8465	0.013	0.066038	1517.9	2043.3	0
17	-1.8457	0.25448	0	2.1922	272.49	270.3	4.0846	1.8632	0.013	0.066563	1518.3	2043.8	0
18	-1.8479	0.27933	0	2.1934	272.49	270.3	4.0994	1.8689	0.013	0.06676	1518.6	2044.2	0
19	-1.8492	0.2963	0	2.2035	272.5	270.3	4.1269	1.8729	0.013	0.06695	1519	2044.7	0
20	-1.8435	0.31754	0	2.2067	272.51	270.3	4.1282	1.8707	0.013	0.066758	1519.4	2045.2	0
21	-1.8299	0.33729	0	2.2135	272.52	270.3	4.119	1.8608	0.013	0.066369	1519.7	2045.7	0
22	-1.8159	0.35277	0	2.2221	272.52	270.3	4.1107	1.8499	0.013	0.065938	1520.1	2046.2	0
23	-1.7925	0.37127	0	2.2264	272.53	270.3	4.0757	1.8306	0.013	0.065228	1520.4	2046.6	0
24	-1.7678	0.38534	0	2.2332	272.54	270.3	4.0407	1.8094	0.013	0.064439	1520.8	2047.1	0
25	-1.7382	0.39604	0	2.2384	272.54	270.3	3.9908	1.7829	0.013	0.063472	1521.2	2047.6	0

Fuente: Elaboración Propia

## V. DISCUSIÓN

### ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

1. La exploración de las calicatas nos muestra que la zona en estudio presenta como terreno natural, según clasificación SUCS, (SP-SM) Arena pobremente graduada con limo y grava con presencia de piedras sub angulares de  $\varnothing > 2''$  y bolonería de gran tamaño mayor a  $\varnothing > 8''$ , (GP) Grava pobremente graduada con arena con presencia de piedras sub angulares y canto rodado mayor a  $\varnothing > 8''$  producto del basamento rocoso del sector, considerados como suelos ligeramente mejorados capaces de soportar las cargas de desplante, exploradas hasta la profundidad máxima de 3.00m; y (SC-SM) Arena limo arcillosa, de baja plasticidad, semi compacta, de color amarillento, con presencia de piedras sub angulares de  $\varnothing > 2''$  y bolonería de gran tamaño mayor a  $\varnothing > 8''$ , explorada hasta la profundidad de 2.50m.
2. De acuerdo con la nueva norma Técnica de Edificación E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE y el predominio del suelo bajo la cimentación, se recomienda adoptar en los análisis sismorresistente, los siguientes parámetros:

**TABLA 5.1: Valores de factores para el área de estudio.**

FACTOR	VALOR	OBSERVACIONES
Factor de zona (Z)	0.4	Pertenece a la zona 4 del
Factor de Uso (U)	1.5	Mapa de Zonificación del
Factor de Suelo (S)	1.2	Perú clasificado como
Periodo de vibración del suelo (Tp)	0.6	intermedios suelos tipo S2

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones.

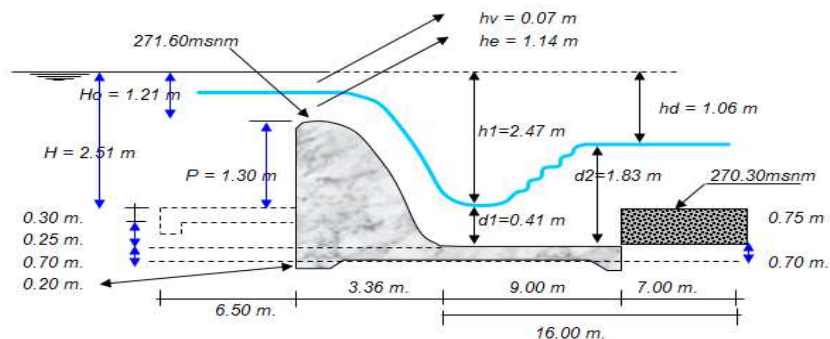
3. El nivel de cimentación a adoptar para la construcción de las obras hidráulicas será de 1.50m, referido al nivel del terreno natural.
4. La capacidad de carga de las muestras obtenidas de las calicatas es de 1.54 kg/cm<sup>2</sup> para la estructura de captación y de 1.05 Kg/cm<sup>2</sup> para el desarenador.
5. El nivel freático en la zona proyectada a captación es de 0.90m y en la zona proyectada para el desarenador de 1.10m bajo el nivel de terreno natural.
6. Presenta baja concentración de sales solubles totales, por lo que se recomienda utilizar el cemento apropiado, por ejemplo el Tipo I a nivel de construcción de la estructura hidráulica.
7. Para la ejecución de excavaciones se recomienda excavar generando un talud o colocar obligatoriamente soportes (encofrado) para sostener los taludes de las excavaciones de la cimentación, los que pueden causar daños a los trabajadores que van a realizar la excavación y de esa forma evitar pérdidas humanas.

## ESTUDIO HIDROLÓGICO

1. La oferta hídrica aportada por el río Chóchope que pertenece a la cuenca del río Motupe, de acuerdo a los caudales medio mensuales generados con los datos de registros históricos es de 1.264 m<sup>3</sup>/s. El régimen hídrico del río Chóchope es de carácter irregular con épocas de crecidas y estiajes de acuerdo al comportamiento de las lluvias.
2. La demanda hídrica (gasto agrícola) beneficiará a 1100.71 has con cultivos permanentes principalmente.
3. El caudal máximo (caudal de diseño) es de 155.2 m<sup>3</sup>/s.
4. El tiempo de retorno para la máxima avenida es de 50 años el cual se obtuvo a partir de cuadros que indican el periodo de retorno según obra hidráulica.
5. El caudal de derivación obtenido de la demanda hídrica es de 0.99 m<sup>3</sup>/s.
6. La calidad del agua que ofrece el río Chóchope es apta para uso agrícola.

## DISEÑO HIDRÁULICO

**FIGURA 5.1: Valores obtenidos en el diseño hidráulico.**

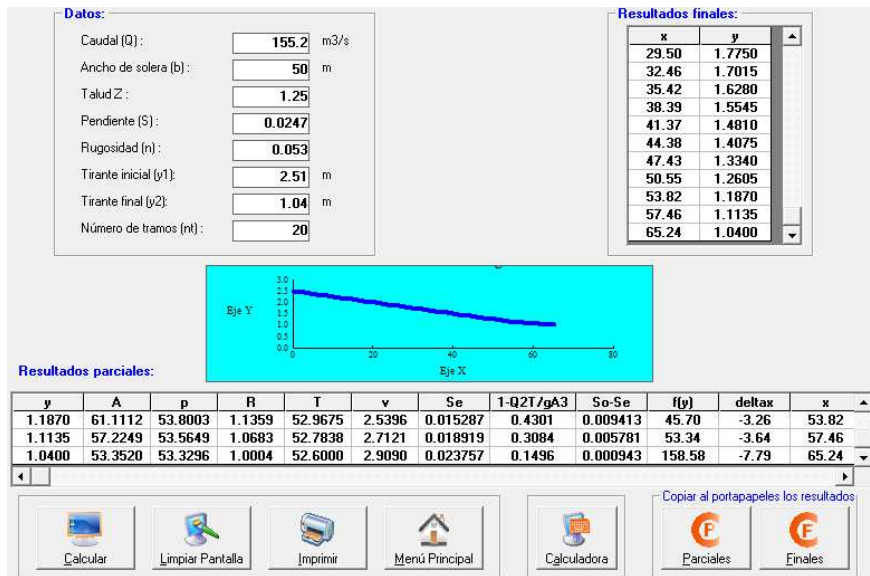


Fuente: Elaboración Propia.

## MODELACIÓN NUMÉRICA CON TELEMAT-2D

1. Realizando el cálculo de la longitud de la curva de Remanso en el programa de cálculo HCANALES se obtiene una longitud de 65.24 ml, en el programa de cálculo PONCE se obtiene una longitud de 64.00 ml y del análisis correspondiente de los tirantes en la modelación bidimensional con TELEMAT-2D podemos definir una longitud de curva de remanso de 60 m, con lo cual podemos comprobar que la modelación hidráulica se ajusta a los cálculos realizados con programas tradicionales.

**FIGURA 5.2: Cálculo realizado en programa HCANALES.**



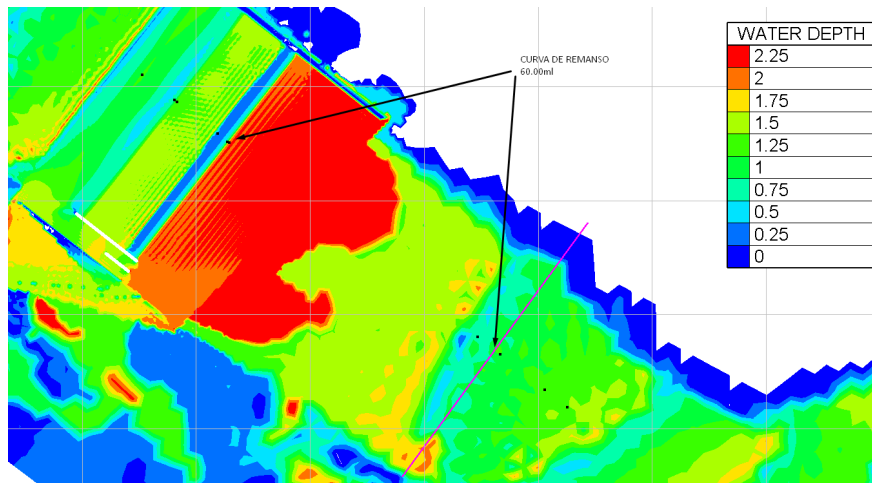
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 5.3: Cálculo realizado en programa PONCE.**

k	Depth (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Velocity (m s <sup>-1</sup> )	Velocity head (m)	Specific head (m)	Wetted perimeter (m)	Hydraulic radius (m)	Friction slope (m/m)	Average slope (m/m)	Specific head difference (m)	Length increment (m)	Total length (m)
0	2.51	133.38	1.16	0.069	2.579	58.04	2.3	0.00125415	-	-	-	0
1	2.436	129.21	1.2	0.074	2.509	57.8	2.24	0.00138639	0.00132027	0.07	3	3
2	2.362	125.06	1.24	0.078	2.44	57.56	2.17	0.00153729	0.00146184	0.069	3	6
3	2.288	120.93	1.28	0.084	2.372	57.32	2.11	0.00171021	0.00162375	0.069	3	8.9
4	2.214	116.8	1.33	0.09	2.304	57.09	2.05	0.00190922	0.00180971	0.068	3	11.9
5	2.139	112.7	1.38	0.097	2.236	56.85	1.98	0.00213934	0.00202428	0.067	3	14.9
6	2.065	108.6	1.43	0.104	2.169	56.61	1.92	0.00240678	0.00227306	0.067	3	17.8
7	1.991	104.52	1.48	0.112	2.104	56.38	1.85	0.00271926	0.00256302	0.066	3	20.8
8	1.917	100.45	1.55	0.122	2.039	56.14	1.79	0.00308651	0.00290289	0.065	3	23.8
9	1.843	96.4	1.61	0.132	1.975	55.9	1.72	0.00352080	0.00330365	0.064	3	26.8
10	1.769	92.36	1.68	0.144	1.913	55.66	1.66	0.00403787	0.00377934	0.062	3	29.7
11	1.695	88.33	1.76	0.157	1.852	55.43	1.59	0.00465800	0.00434794	0.061	3	32.7
12	1.621	84.32	1.84	0.173	1.793	55.19	1.53	0.00540768	0.00503284	0.059	3	35.7
13	1.547	80.32	1.93	0.19	1.737	54.95	1.46	0.00632187	0.00586478	0.056	3	38.7
14	1.473	76.34	2.03	0.211	1.683	54.71	1.4	0.00744734	0.00688461	0.054	3	41.7
15	1.398	72.37	2.14	0.234	1.633	54.48	1.33	0.00884752	0.00814743	0.05	3	44.8
16	1.324	68.41	2.27	0.262	1.587	54.24	1.26	0.01060976	0.00972864	0.046	3.1	47.9
17	1.25	64.47	2.41	0.295	1.546	54	1.19	0.01285651	0.01173313	0.041	3.2	51
18	1.176	60.54	2.56	0.335	1.511	53.77	1.13	0.01576263	0.01430957	0.035	3.3	54.3
19	1.102	56.62	2.74	0.383	1.485	53.53	1.06	0.01958330	0.01767296	0.026	3.7	58.1
20	1.028	52.72	2.94	0.442	1.47	53.29	0.99	0.02470000	0.02214165	0.015	6	64

Fuente: Elaboración Propia.

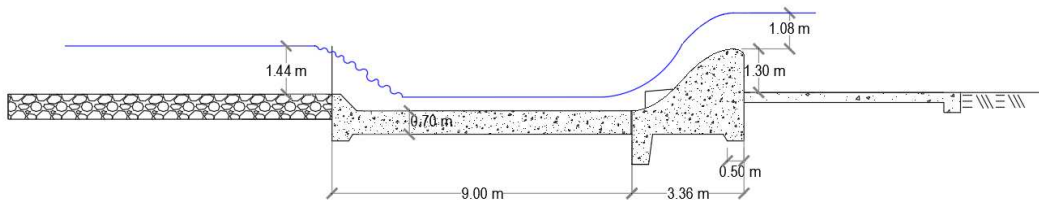
**FIGURA 5.4: Valores de tirantes dados por programa TELEMAC-2D.**



Fuente: Elaboración Propia.

- Realizando el cálculo de la carga sobre la cresta del barraje fijo y del resalto hidráulico a través de fórmulas empíricas se obtiene una carga de 1.21 m y un resalto hidráulico de 1.83 m, y observando los tirantes en la modelación bidimensional con TELEMAC-2D podemos definir una carga sobre la cresta del barraje fijo de 1.08 m y el tirante que representa al resalto hidráulico es de 1.44 m, con los cual podemos comprobar que el modelo numérico representa de forma aceptable el flujo hidráulico sobre el río.

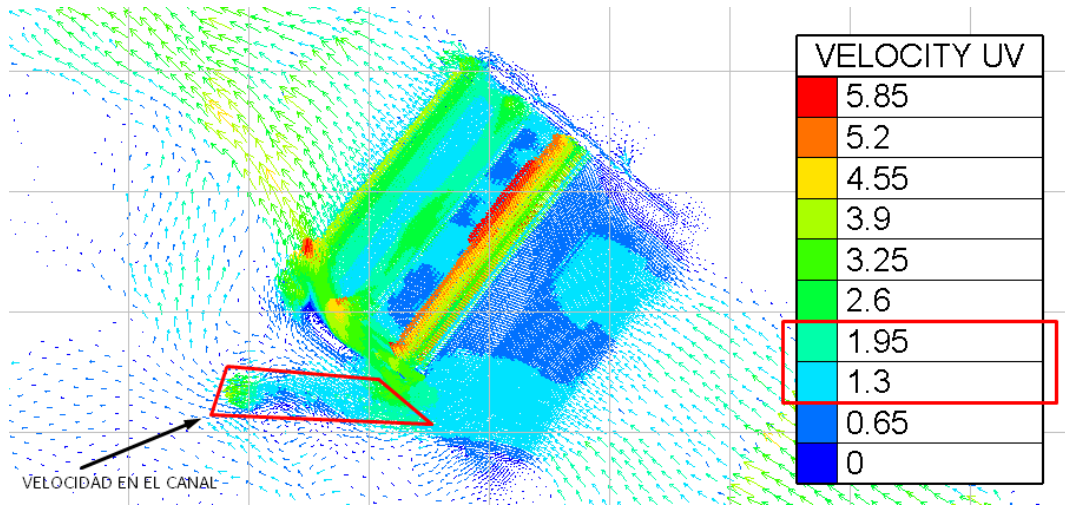
**FIGURA 5.5: Valores obtenidos de tirantes de agua.**



Fuente: Elaboración Propia.

- Revisando los resultados de la modelación hidráulica se obtuvo una velocidad en el canal de aproximadamente 1.50 m/s y según el Manual: Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos recomienda para canales revestidos con concreto velocidades entre 0.80 m/s – 3.0 m/s, por lo cual podemos decir que en el canal hay una velocidad con la cual no se quedarán los sedimentos y tampoco tendrá erosión por velocidad elevada.

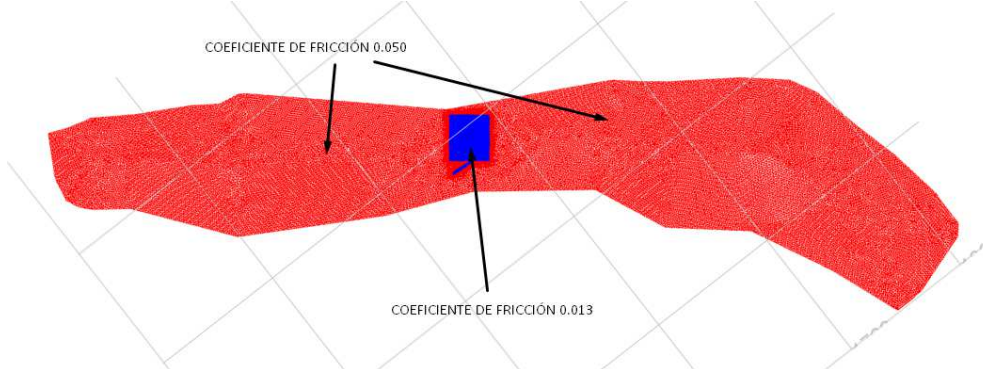
**FIGURA 5.6: Valores de velocidad dados por programa TELEMAC-2D.**



Fuente: Elaboración Propia.

4. Con respecto a la rugosidad en el Excel se trabajó con el  $\eta$  ponderado siendo  $\eta=0.053$ , para la simulación con la respectiva calibración de niveles de agua con referencia histórica se obtuvo una rugosidad  $\eta=0.050$ .

**FIGURA 5.7: Valores de coeficiente de fricción colocados.**



Fuente: Elaboración Propia.

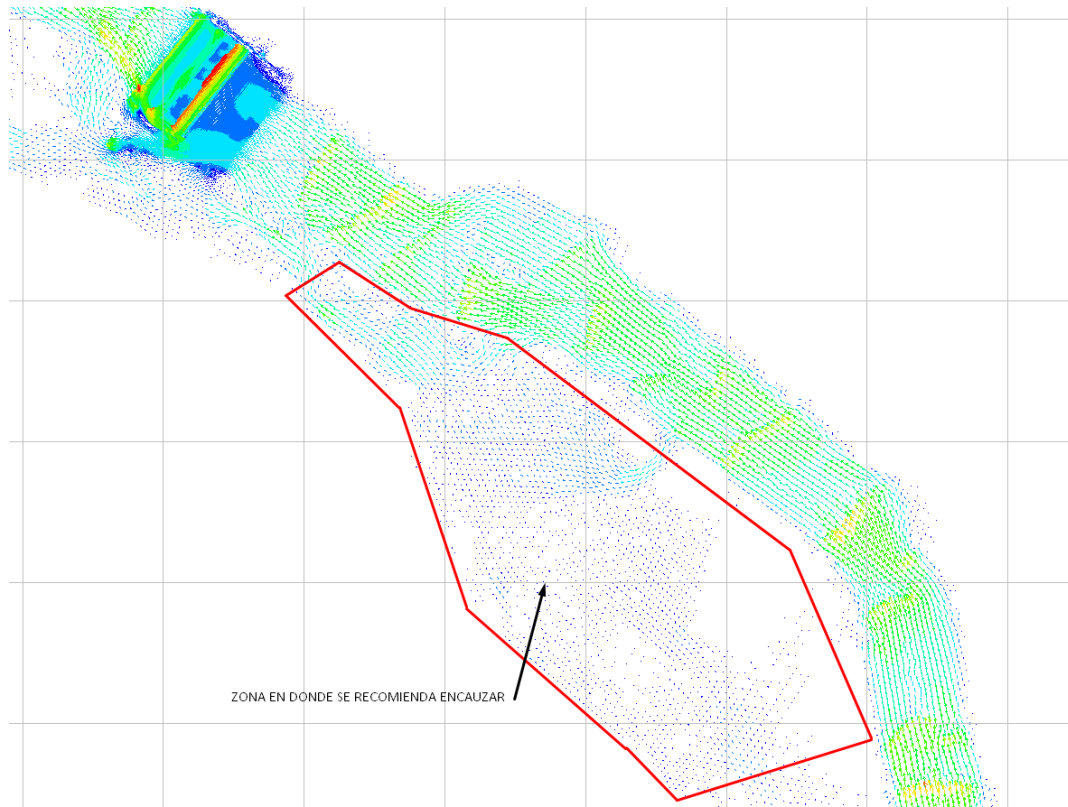
## VI. CONCLUSIONES

1. Del estudio topográfico se encontró la zona para ubicar la bocatoma en la cual el cauce del río es recta para evitar erosión y sedimentación presentando una pendiente de 2%.
2. Del estudio hidrológico la zona de estudio presenta un caudal de 155.2 m<sup>3</sup>/s para un tiempo de retorno de 50 años.
3. Del estudio de mecánica de suelos se encontró un suelo homogéneo de grava pobremente gradada con arena (GW-GM), con presencia de nivel freático a 0.90m del nivel natural y con una capacidad portante de 1.54 kg/cm<sup>2</sup>.
4. La modelación numérica con Telemac-2D mostró y representó el flujo sobre la superficie de manera aceptable, brindando los distintos valores y magnitudes de velocidad, caudal, líneas de corriente, tirantes, etc. Se logró comprobar la gran similitud en los valores obtenidos en el modelo numérico y los valores calculados con fórmulas empíricas. Por lo tanto, la utilización de la modelación numérica muestra en este caso ser una herramienta confiable para el diseño hidráulico.
5. La bondad de los modelos numéricos es que son una herramienta potente que a través de ellos podemos obtener gran cantidad de información debido a la gran cantidad de iteraciones que realiza lo cual para nosotros implicaría mucho esfuerzo y tiempo para realizarlo, del mismo modo el modelo numérico presenta varios campos de aplicación y pueden ser muy utilizados dentro de la ingeniería hidráulica, siempre y cuando se tenga datos para la calibración del mismo modelo y así poder reproducir la modelación con gran aproximación a la realidad.
6. El modelo numérico Telemac-2D simula el flujo hidráulico y su interacción directa con la estructura y elementos adicionales que puedan variar el comportamiento del agua, obteniendo resultados en menos tiempo que un modelo físico por ejemplo, de esta forma se puede aumentar la eficiencia en el diseño y rediseño de obras hidráulicas.
7. La veracidad y calidad de los resultados de la modelación está directamente relacionado con la topografía, batimetría realizada y la interpolación de los datos sobre la malla computacional triangular.
8. Con la calibración se determinó un coeficiente de fricción de 0.050 para el lecho del río.
9. De los resultados que ofrece el modelo se presentó solo una parte debido a que es por razones académicas, pero vale realzar el gran potencial de información que ofrece este modelo.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Para el procesamiento y la obtención de los resultados con Telemac-2D, se recomienda trabajar con un procesador y una tarjeta de video potentes, para optimizar el tiempo de obtención de resultados. También se recomienda utilizar sistemas de ventilación adecuadas para evitar fallas en el procesador y tarjeta.
2. En la modelación se pudo observar un leve desborde del río en el margen izquierdo aguas arriba de la bocatoma por lo cual es recomendable el encauzamiento en esa zona.

**FIGURA 7.8: Desborde de río.**



Fuente: Elaboración Propia.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aquaterra Ingenieros LTDA. 2009. Guías de reconocimiento de obras tipo y de procedimientos. Chile: Dirección general de aguas.
- Arbulú Ramos, José. 2010. Estructuras Hidráulicas. Perú: Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Mansen Valderrama, Alfredo. Diseño de Bocatomas. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento académico de Hidráulica e Hidrología.
- Autoridad Nacional del Agua. 2010. Manual: Criterios de Diseños de Obras Hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico. Perú: Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales.
- Gámez Moráles, William R. 2010. Texto Básico de Hidrología. Managua: Facultad de Recursos Naturel y del Ambiente de la Universidad Nacional Agraria.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática.  
<http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>  
(Consultada el 12 de Abril del 2016).
- Mansen Alfredo. 2006. Diseño de Bocatomas. Lima: Departamento de Hidráulica e Hidrología de La Universidad Nacional de Ingeniería.
- Mejía Juana, Funes Néstor, Luna José. 2011. Criterios de Diseño y Construcción de Tomas de Tipo Presa Derivadora. Bolivia: Instituto de Hidráulica de la Universidad Mayor de San Andrés
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.
- Organización Panamericana de la Salud. 2005. Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores. Lima: En Ingeniería Sanitaria.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). 2012. E.050. Suelos y Cimentaciones. Perú: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). 2012. E.060. Concreto Armado. Perú: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.
- Rocha Arturo. 2005. Clase de Diseño de Obras Hidráulicas. Apunte de Clases. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad Ingeniería Civil.

- Rocha Arturo. 2006. Introducción Teórica al Estudio de Bocatomas. Lima: Departamento de Hidráulica e Hidrología de La Universidad Nacional de Ingeniería.
- Villón, Máximo. 2005. Diseño de Estructuras Hidráulicas. Lima: Editorial Villón.
- Willis Samamé, Eduardo. 2015. Optimización del diseño hidráulico del proyecto Miraflores utilizando el modelo numérico TELEMAC 2D. Piura: Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Piura.
- Estellé, Luis. 1976. Protección de taludes con enrocados. Santiago de Chile: VII Congreso Latinoamericano de Hidráulica.

# **ANEXOS**